

직접반사형 포토센서를 이용한 스톨 사육 모돈의 인공수정시기 예측 장치 개발

김동주 연성찬 장흥희

Development of a Device for Estimating the Optimal Artificial Insemination Time of Individually Stalled Sows Using Direct-reflex Photo-sensors

D. J. Kim S. C. Yeon H. H. Chang

Abstract

A device for estimating the optimal artificial insemination time consisted of a computer, RS module, and six direct-reflex photo-sensors. Program was written in LabWindows CVI. In order to establish references for estimating optimal artificial insemination time, lying rate of the thirty three Berkshire × Hampshire crossbred sows (parity 5 to 6) was recorded from 2 days after moving into stalls to artificial insemination using a time lapse VCR and was measured every hour with one minute interval using the scan point sampling method. Twenty four hours in a day were divided into three comparing periods : 21:00 to 06:59, 07:00 to 13:59, and 14:00 to 20:59. If sum of the percentages of lying during a comparing period was less than the reference value, the starting hour of the comparing period was considered as onset of estrus and the optimal artificial insemination time was estimated at 20 to 24 hours after onset of estrus. The experimental device was evaluated with twenty five Berkshire × Hampshire crossbred sows (parity 2 to 7) and 23 of 25 sows (92%) were pregnant. This result suggests that the experimental device is excellent in performance for estimating optimal artificial insemination time.

Keywords : Sow, Estrus, Artificial insemination, Time estimation

1. 서론

우리나라의 경우 양돈가의 수는 줄어드는 반면 돼지의 사육 두수는 증가하는 추세에 있기 때문에 양돈산업은 계속 규모화가 이뤄지고 있다. 또한 양돈산업이 규모화됨에 따라 양돈시설이 현대화 및 자동화되고 있다. 그러나 현재 양돈산업은 작업환경이 매우 열악한 업종으로 인식되어 인력을 수급하는데 상당한 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 소요 노동력을 최소화하기 위하여 사양관리방법 면에서 자동화가 절실히 요구되고 있다.

돼지의 발정재귀간격은 품종(Maurer 등, 1985), 산차(Maurer

등, 1985; Prunier 등, 1996; Szarek 등, 1981), 계절(Prunier 등, 1996; Szarek 등, 1981), 사료섭취량(O'Gray와 Hanrahan, 1975), 수유기간(Baker 등, 1953; Self와 Grummer, 1958) 등의 영향을 받아 폭넓게 나타나기 때문에 세심한 관찰이 요구되며, 발정은 일반적으로 이유 후 4일에서 6일 사이에 재귀된다(Walton, 1986). 현재 양돈가는 하루에 두 번 옹돈을 이용하거나 육안관찰을 통하여 모돈의 발정을 감지하고 있다. 이러한 방법에는 숙련된 기술과 풍부한 경험이 요구될 뿐만 아니라 총소요노동력의 30% 정도가 요구된다(Perez 등, 1986). 또한 하루에 두 번밖에 발정을 감지하지 않기 때문에 발정이

언제 시작되었는지를 정확히 알 수 없으므로 인하여 인공수정시기를 정확히 판단하기란 매우 어렵다. 만약 발정을 감지하였다 하더라도 인공수정시기를 정확히 판단하지 못하여 적기에 인공수정을 하지 못한다면, 수태율이 낮아지므로 경제적 손실이 초래된다. 이러한 이유로 인한 번식문제 때문에 모돈의 50% 정도가 매년 교체되고 있다(Baltussen 등, 1988).

돼지는 비발정기에 비하여 발정기에 더 많은 활동량을 나타낸다(Altman, 1941; Erez와 Hartsock, 1990). Freson 등(1998)은 스톨에서 개별적으로 사육되고 있는 모돈의 활동량을 적외선센서를 이용하여 측정함으로써 발정을 86%까지 감지하였다고 보고하였다. 그러나 이 연구는 단지 모돈의 발정을 감지하였을 뿐 번식관리에 있어서 가장 중요한 인공수정시기의 판단 기준을 제시하지 못하였다.

따라서, 본 연구는 스톨에서 개별적으로 사육되고 있는 모돈의 활동량을 직접반사형 포토센서를 이용하여 측정하여 발정 시작 시간을 감지한 후 이를 기준으로 인공수정시기를 예측할 수 있는 장치를 개발하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

가. 공시동물 및 실험시기

공시동물로는 이유 직후 스톨에 입식시켜 발정을 감지하고 인공수정을 실시한 다음 다른 스톨로 이동시켜 임신말기까지 사육하는 방식으로 관리되는 버크셔 × 햄프셔 교잡종(F1)인 5~6산차 모돈 33두를 발정 시작 시간 감지 기준과 인공수정시기 예측 기준을 설정하기 위하여 이용하였다. 또한 실제 개발된 인공수정시기 예측 장치의 성능을 평가하는데 2~7산차 모돈 25두가 이용되었다. 모돈은 더위 스트레스에 매우 약하기 때문에 여름이 되면 다른 계절에 비하여 사료섭취량이 현저히 줄어들고 또한 서있거나 앉아있는 빈도수가 현저히 줄어든다. 따라서 모돈의 활동량을 측정하여 발정 시작 시간을 감지하고 인공수정시기를 정확히 예측하기 위해서는 크게 여름과 여름을 제외한 나머지 계절(봄, 가을, 겨울)로 나누어 기준을 설정해야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 여름을 제외한 나머지 계절 동안에만 수행되었다(1차 실험 : 2002년 4월 28일~5월 25일; 2차실험 : 2002년 11월 10일~2003년 2월 3일). 사료는 하루에 두 차례에 걸쳐 08시와 16시에 약 1.5 kg씩 급여하였으며, 물은 니플을 이용하여 자유롭게 음수하도록 하였다.

나. 돈사시설

돈사는 모돈 250두 정도를 수용할 수 있는 7열의 스톨(2.30 m×0.65 m)이 돈사 길이 방향으로 배치되어 있는 무창돈사

이었으며, 바닥은 콘크리트바닥이었다. 돈사 내부의 환경은 팬과 자동제어기에 의하여 자동으로 조절되었다. 돈사 내부에는 07시부터 21시까지 빛이 공급되었는데, 자연광이 부족한 일출 전 및 일출 후 일부 시간 동안에는 백열등에 의한 인공조명을 이용하였다.

다. 실험장치

스톨 내에서 사육되는 모돈은 발정기가 되면 앉아 있거나 서있는 시간이 증가하는 반면 누워있는 시간이 감소하는 특징을 가지고 있다(Erez and Hartsock, 1990; Freson 등, 1998). 본 연구에서 개발된 인공수정시기 예측 장치는 모돈의 누워있는 시간의 비율을 시간대별로 측정하여 발정 시작 시각을 감지한 후 이를 기준으로 인공수정시기를 예측할 수 있도록 그

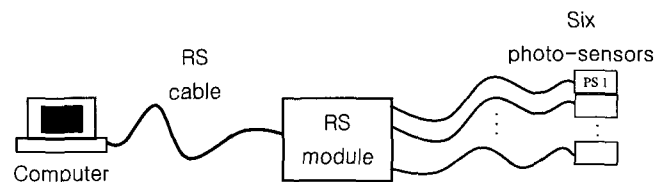


Fig. 1 The schematic diagram of the device for estimating the optimal artificial insemination time of individually stalled sows using direct-reflex photo-sensors.

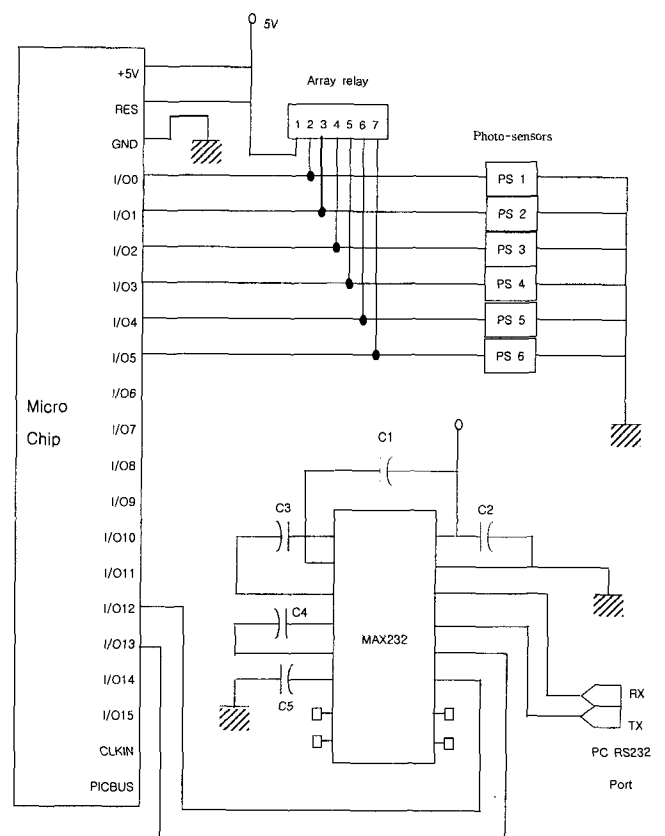


Fig. 2 Circuit diagram inside RS module.

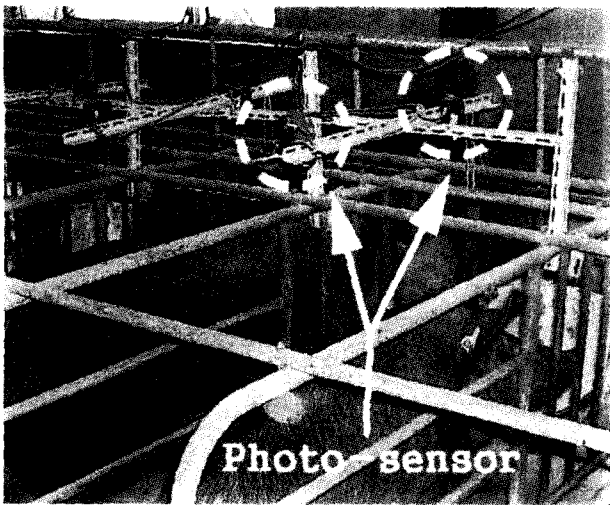


Fig. 3 Photograph of six direct-reflex photo-sensors installed on three stalls.

림 1 및 2와 같이 구성되었다. 포토센서(BX700-DFR, Korea)는 그림 3과 같이 스톨의 전면부로부터 30 cm 안쪽과 70 cm 안쪽에 바닥으로부터 120 cm 높이에 스톨 하나에 2개씩 각각 설치되었다(1번 스톨 : PS 1과 2, 2번 스톨 : PS 3과 4, 3번 스톨 : PS 5와 6). 만약 모돈이 앉아 있거나 서있으면 스톨마다 설치되어 있는 두 개의 포토센서 중에서 1개 또는 2개가 +5 V를 출력하며, 이처럼 출력된 +5 V가 그림 2에 있는 마이크로칩의 I/O0부터 I/O5에 입력된다. 컴퓨터가 제어프로그램에 의해 그림 2의 RX단자에 +10 V를 가하면 그림 2의 MAX232를 통하여 마이크로칩의 I/O13에 +5 V가 가해지며, 이에 따라 마이크로칩의 I/O0부터 I/O5에 입력된 값을 I/O12와 MAX232의 TX단자를 이용하여 컴퓨터로 받아들인다.

라. 발정 시작 시각 감지 기준

발정 시작 시각 감지 기준을 설정하기 위하여 공시된 모돈 33두의 행동이 입식 직후부터 인공수정 때까지 CCD 카메라(SBC-340, Korea), 멀티플렉서(SDM-080, Korea), time lapse VCR(SRV-30, Korea), 비가시영역(파장 : 950 nm)의 다이오드(AUK SI5312-H, Korea)로 구성된 LED램프를 이용하여 녹화한 후 누워있는 행동, 앉아 있는 행동, 그리고 서있는 행동으로 구분하여 1분 간격으로 측정되었다. 발정감지는 스톨에 입식한 다음 날부터 최초 발정이 감지될 때까지 하루에 두 번 07시경과 18시경에 각각 실시하였으며, 인공수정은 최초 발정이 감지된 시점을 기준으로 대략 12시간 후에 실시하였다. 모돈이 옹돈 앞에서 관리자가 모돈의 등에 올라탔을 때(back pressure test) 승가허용자세를 취함과 동시에 외음부에서 점액이 관찰되고 외음부가 부풀어 올랐을 때 발정으로 간

주하였다.

발정 시작 시각은 승가허용자세가 처음 관찰된 시간을 기준으로 5시간을 뺀 시간으로 하였으며(Nissen 등, 1997), 이 발정 시작 시각부터 24시간 후까지의 데이터를 발정기 행동 기준 데이터로 이용하였다. 이 기준은 경산돈의 발정이 32시간부터 96시간까지 지속되는 점(Weitze 등, 1994)을 고려해 볼 때 문제가 없는 것으로 판단된다. 모돈은 입식한 날에 새로운 환경에 대한 경계심을 나타내기 때문에(Taylor와 Friend, 1988) 입식한 날의 데이터는 행동을 분석할 때 제외하였다. 발정 2일전과 발정당일 사이의 누워있는 시간 비율에 대하여 시간대별로 t-test를 실시하였다. 본 실험에서 공시동물에게 07:00부터 20:59까지 빛이 제공되었고 21:00부터 06:59까지 빛이 제공되지 않았기 때문에, 빛이 제공되지 않은 기간(21:00부터 06:59까지)과 빛이 제공된 기간으로 구분하고 다시 빛이 제공된 기간을 2등분하여 두 기간(07:00부터 13:59까지와 14:00부터 20:59까지)으로 구분하였다. 발정 시작 시각을 보다 정확하게 판단하기 위하여 24시간의 데이터에 대한 것과 시간대별 t-test 결과 유의차가 인정되지 않은 데이터를 배제한 것에 대하여 유의확률을 분석한 후 유의확률이 높은 방법을 발정 시작 시각을 판단하는 기준으로 선택하였다. 유의확률을 분석함에 있어서 각 기간동안의 시간대별 누워있는 시간의 비율을 합한 후 이를 가지고 발정 2일전과 발정 당일 사이의 유의성을 t-test로 검정하였다. 또한 유의확률이 높게 나타난 방법을 선택한 후 각 비교시간구간 내에서 비발정기의 누워있는 시간 비율 합과 발정기의 누워있는 시간의 비율 합에 대한 95% 신뢰구간을 구하였으며, 이를 기준으로 발정 시작 시각을 감지하였다.

마. 인공수정적기 예측 기준

Weitze 등(1994)에 의하면 경산돈의 평균 발정지속시간은 64시간이고, 배란은 발정지속시간을 4등분하였을 때 평균적으로 4분의 3에 해당되는 시간에 된다(Soede 등, 1995; Weitze 등, 1994). 그리고 Soede와 Kemp(1996)는 인공수정적기를 배란 전 24시간부터 배란 시까지로 보고하였다. 그러나 현장 사정을 고려해 볼 때 인공수정을 07시경과 18시경에 한하여 할 수 있기 때문에, 인공수정적기는 발정 시작 시각을 기준으로 20시간부터 24시간 후까지로 하였다.

바. 인공수정적기 예측 장치의 성능실험

그림 1과 2를 이용하여 설명한 하드웨어와 위에서 설명한 인공수정적기 예측 기준에 대한 알고리즘을 LabWindows CVI (Version 5.0.1)로 구현하였다. 본 연구에서 개발된 인공수정

적기 예측 장치의 성능을 농장에서 평가하기 위하여 그림 3 과 같이 실험장치를 농장에 설치한 후 모돈 25두를 대상으로 발정 시작 시각 감지 여부, 인공수정적기 예측 시각의 정확도, 그리고 각 부품의 내구성 등을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 발정 시작 시각 판단 및 발정기 데이터 선정

그림 4는 한 마리의 모돈에 대하여 back pressure test와 육안관찰을 한 결과를 근거로 발정 시작 시각을 판단한 예를 보여주고 있다. 07시경에 back pressure test를 하였을 때 처음 승가허용자세를 나타낸 것과 외음부에 점액이 고여 있고 외음부가 붉게 부풀어 올라있음을 기준으로 발정기에 있음을 확신하고 이 시간을 기준으로 5시간 전인 02시에 발정이 시작되었다고 판단하였다. Altman(1941), Erez와 Hartsock(1990) 그리고 Freson 등(1998)에 의하면, 모돈은 비발정기에 비하여 발정기에 더 많은 활동량을 나타낸다. 이처럼 본 연구의 결과인 그림 4에서도 발정 시작 시각인 02:00(onset of estrus) 이후에 앉아있는 시간 비율 또는 서있는 시간 비율이 증가함에 따라 누워있는 시간 비율이 현저히 감소하는 양상이 나타났으며, 또한 예상했던 것처럼 발정 시작 시각으로 판단한 02:00(onset of estrus) 이전에도 약간의 행동변화가 있었다. 이와 같은 비발정기에서 발정기로 넘어가는 과도기의 데이터를 발정 시작 시각을 판단하는 기준으로 이용할 경우 심각한 혼란을 초래할 수 있을 것으로 판단하고 모든 개체에서 이를 배제하였다. 즉, 발정 시작 시간 후 24시간 동안의 데이터만을 발정기 데이터로 이용하여 발정 시작 시각 및 인공수정적기를 예측하는 기준을 설정하였다.

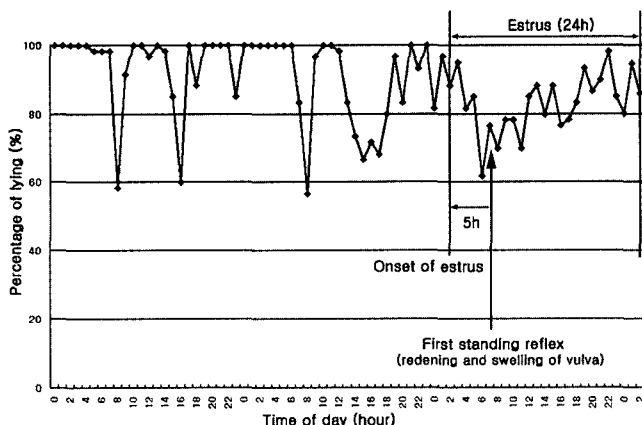


Fig. 4 An example of the first standing reflex and onset of estrus.

나. 발정 시작 시각과 인공수정적기 예측 기준

누워있는 시간 비율에 대하여 발정 2일전과 발정 당일 사이의 유의성을 검정한 결과는 표 1과 같다. 표 1에서 나타난 바와 같이 00시, 05시, 09시, 13시, 15시, 19시, 그리고 20시에는 유의차가 나타나지 않았다. 이처럼 유의차가 나타나지 않은 시간대를 제외한 데이터와 24시간의 데이터를 각각 이용하여 비교시간 구간 내에서 누워있는 시간 비율의 합을 구한 후 이에 대하여 발정 2일전과 발정당일 사이의 유의확률을 구한 결과, 표 2와 같이 24시간의 데이터를 모두 포함시켰을 때 유의확률이 높게 나타났다. 따라서 그림 5와 같이 24시

Table 1 Significant differences in lying rates between 2 days before estrus and the day of estrus.

Corresponding hour	Two days before estrus	The day of estrus
00	99.2 ± 2.6 ¹⁾ NS	94.3 ± 7.0
01	100.0 ± 0.0 ^{***}	79.0 ± 16.8
02	100.0 ± 0.0 ^{***}	83.8 ± 10.9
03	100.0 ± 0.0 ^{***}	87.5 ± 11.3
04	98.3 ± 2.2 ^{***}	81.7 ± 7.4
05	97.2 ± 4.1 ^{NS}	80.0 ± 15.8
06	99.3 ± 1.2 ^{***}	67.0 ± 13.5
07	90.7 ± 15.3 ^{***}	67.8 ± 14.4
08	56.0 ± 6.8 [*]	59.3 ± 8.7
09	80.3 ± 16.9 ^{NS}	74.3 ± 13.2
10	99.8 ± 0.5 ^{***}	75.3 ± 11.7
11	94.5 ± 15.7 ^{***}	64.0 ± 9.0
12	93.8 ± 8.4 [*]	79.1 ± 15.0
13	86.2 ± 17.2 ^{NS}	78.3 ± 19.1
14	91.5 ± 15.3 [*]	73.8 ± 16.8
15	74.0 ± 14.3 ^{NS}	74.8 ± 13.3
16	52.8 ± 5.0 ^{**}	59.5 ± 10.5
17	75.7 ± 18.4 ^{**}	61.5 ± 11.0
18	91.2 ± 9.5 ^{***}	69.2 ± 15.3
19	88.2 ± 13.4 ^{NS}	88.8 ± 14.2
20	97.5 ± 5.8 ^{NS}	87.3 ± 14.7
21	96.3 ± 10.5 ^{**}	75.8 ± 15.5
22	98.5 ± 3.7 [*]	94.5 ± 7.4
23	91.3 ± 7.5 ^{**}	83.0 ± 11.5

1) : Mean ± SD in percent
 NS : Statistically not significant
 * : p < 0.1
 ** : p < 0.05
 *** : p < 0.01

Table 2 Statistical analyses for lying rates summed for each sow within a period between 2 days before estrus and the day of estrus.

Item	Time of day	Lying rate summed within a period (%)		Significance
		Two days before estrus	The day of estrus	
Periods including full day	21:00 to 06:59	980.2 ± 15.5 ¹⁾	826.7 ± 76.0	P < 0.001
	07:00 to 13:59	601.3 ± 55.3	501.2 ± 57.2	P < 0.001
	14:00 to 20:59	570.8 ± 38.9	513.8 ± 51.1	P < 0.001
Periods excluded insignificant hour	21:00 to 23:59, 01:00 to 04:59, 06:00 to 06:59	783.8 ± 15.0	652.3 ± 68.7	P < 0.001
	07:00 to 08:59, 10:00 to 12:59	434.8 ± 39.2	348.5 ± 44.5	P < 0.001
	14:00 to 14:59, 16:00 to 18:59	311.2 ± 28.8	264.0 ± 40.0	P < 0.005

¹⁾ indicates mean ± SD in percent.

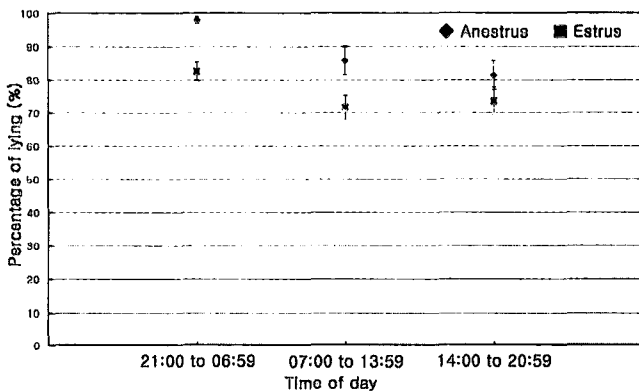


Fig. 5 Means and 95% confidence intervals of lying rate during an estrus and estrus periods.

간의 데이터 모두를 이용하여 세 비교시간구간별로 비발정과 발정에 대한 95% 신뢰구간을 구하였는데, 14:00부터 20:59까지의 비교시간 구간에서만 약간 겹칠 뿐 나머지 두 비교시간 구간에서는 전혀 겹치지 않았다. 21:00부터 06:59까지의 비교시간 구간에서는 누워있는 시간 비율의 합을 구한 후 이 값이 발정에 대한 95% 신뢰구간 상한값(85.5%) 이하이면 21시에 발정이 시작된 것으로 간주하고 인공수정적기를 다음 날 18시로 예측하였으며, 07:00부터 13:59까지의 비교시간 구간에서는 누워있는 시간 비율의 합을 구한 후 이 값이 발정에 대한 95% 신뢰구간 상한값(75.2%) 이하이면 07시에 발정이 시작된 것으로 간주하고 인공수정적기를 다음 날 07시로 예측하였고, 14:00부터 20:59까지의 비교시간 구간에서는 누워있는 시간 비율의 합을 구한 후 이 값이 비발정에 대한 95% 신뢰구간 하한값(77.1%) 이하이면 14시에 발정이 시작된 것으로 간주하고 인공수정적기를 다음 날 18시로 예측하였다.

다. 인공수정적기 예측 장치의 성능

모든 25두를 대상으로 농장에서 실험장치의 성능을 평가한 결과, back pressure test를 하였을 때 처음 승가허용자세를 나타낸 것과 외음부에 점액이 고여있고 외음부가 붉게 부풀어 올라있음을 기준으로 발정 시작 시각을 예측한 것과 23두는 정확하게 일치하였다. 그러나 2두는 발정 시작 시각이 포함되어 있는 비교시간 구간에서 발정을 감지하지 못하고 그 다음의 비교시간 구간에서 감지하여 감지한 발정 시작 시각이 실제의 발정 시작 시각과 대략 9시간 정도 차이가 있었다. 이와 같은 결과는 종부사 내에 존재하는 암모니아, 황화수소, 그리고 먼지 등이 포토센서의 감도를 떨어뜨렸기 때문인 것으로 판단되었다.

본 실험장치가 예측한 인공수정적기에 인공수정을 한 결과 25두 중에서 발정 시작 시각을 정확하게 감지한 23두가 모두 수태되었고 9시간 늦게 감지된 2두는 수태되지 않아, 수태율이 92%로 나타났다. Freson 등(1998)이 적외선센서를 이용하여 모든의 발정을 86% 감지한 것과 우리나라의 전국평균 수태율 85%(김 등, 2002)를 고려해 볼 때, 실험장치의 성능이 매우 우수한 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

스틀 사육 모돈의 인공수정적기 예측 장치는 직접반사형 포토센서, RS모듈, 그리고 컴퓨터 등으로 구성되었으며, 구동 프로그램은 LabWindows CVI(Version 5.0.1)로 작성되었다. CCD 카메라, 멀티플렉서, time lapse VCR, LED램프 등을 이용하여 버크셔 × 햄프셔 교잡종(F1)인 5~6산차 모돈 33두를 녹화한 후 이들의 행동을 1분 간격으로 측정하였다.

이와 같이 측정된 행동을 분석한 결과를 토대로 하루 24시간을 21:00부터 06:59까지의 비교시간구간, 07:00부터 13:59까지의 비교시간 구간, 14:00부터 20:59까지의 비교시간구간으로 나눈 후 해당 비교시간 구간에서 누워있는 시간 비율의 합이 기준값 이하이면 발정이 비교시간구간의 시작 시간에 시작된 것으로 간주하고 인공수정적기는 이를 기준으로 20시간에서 24시간 후로 예측되도록 프로그램이 작성되었다.

인공수정적기 예측 장치의 성능이 농장에서 2~7산차 모돈 25두를 이용하여 평가되었는데, 예측된 인공수정적기에 인공수정을 한 결과 수태율이 92%로 나타나 인공수정적기 예측 장치의 성능이 매우 우수한 것으로 판단되었다.



1. Altman, M. 1941. Interrelations of the sexcycle and behavior of the sow. *J. Comp. Psychology* 31:481-498.
2. Baker, L. N., H. L. Woehling, L. E. Casida and R. H. Grummer. 1953. Occurrence of estrus in sows following parturition. *J. Anim. Sci.* 12:33.
3. Baltussen, W. H., H. Altena, C. M. Bakker and D. Van Rijnkerk. 1988. Results of Dutch swine breeding herds in 1987. Swine Extension Service, Rosmalen, The Netherlands. p. 35.
4. Erez, B. and T. G. Hartsock. 1990. A microcomputer-photocell system to monitor periparturient activity of sows and transfer data to a remote location. *J. Anim. Sci.* 68: 88-94.
5. Freson, L., S. Godrie, N. Bos, J. Jourquin and R. Geers. 1998. Validation of an infra-red sensor for oestrus detection of individually housed sows. *Computers and Electronics in Agriculture* 20:21-29.
6. Maurer, R. R., J. J. Ford and R. K. Christenson. 1985. Interval to first postweaning estrus and causes for leaving the breeding herd in Large White, Landrace, Yorkshire and Chester White females after three parities. *J. Anim. Sci.* 61(6):1327-1334.
7. Nissen, A. K., N. M. Soede, P. Hyttel, M. Schmidt and L. D'Hoore. 1997. The influence of time of insemination relative to time of ovulation on farrowing frequency and litter size in sows, as investigated by ultrasonography. *Theriogenology* 47:1571-1582.
8. O'Gray, J. F. and T. J. Hanrahan. 1975. Influence of protein level and amino-acid supplementation of diets fed in lactation on the performance of sows and their litters. *Irish J. Agr. Res.* 14:127.
9. Perez, J. M., P. Mornet and A. Reat. 1986. Le porc et son élevage. Maloine, Paris, France. p. 575.
10. Prunier, A., H. Quesnel, M. Messias de Braganca and A. Y. Kermabon. 1996. Environmental and seasonal influences on the return-to-oestrus after weaning in primiparous sows: a review. *Livestock Production Science* 45:103-110.
11. Self, H. L. and R. H. Grummer. 1958. The rate and economy of pig gains and the reproductive behavior in sows when litters are weaned at 10 days, 21 days or 56 days of age. *J. Anim. Sci.* 17:862.
12. Soede, N. M. and B. Kemp. 1996. Timing of AI and ovulation in sows. *Reprod. Dom. Anim.* 31:201-207.
13. Soede, N. M., C. C. H. Wetzels, W. Zongdag, M. A. I. de Konning and B. Kemp. 1995. Effects of time of insemination relative to ovulation, as determined by ultrasonography, on fertilization rate and accessory sperm count in sows. *J. Reprod. Fertil.* 104:99-106.
14. Szarek, V. E., D. G. Levis and J. H. Britt. 1981. Characteristics of summer infertility in sows. *J. Anim. Sci.* 53 (Suppl. 1):3.
15. Taylor, L. and T. Friend. 1988. Effect of housing on in situ postures of gestating gilts. *Appl. Anim. Bhav. Sci.* 19:265-272.
16. Walton, J. S. 1986. Effect of boar presence before and after weaning on estrus and ovulation in sows. *J. Anim. Sci.* 62:9-15.
17. Weitze, K. F., H. Wagner-Rietschel, D. Waberski, L. Richter and J. Krieter. 1994. The onset of heat after weaning, heat duration, and ovulation as major factors in AI timing in sows. *Repod. Dom. Anim.* 29:433-443.
18. 김인철. 2002. 새로운 돼지 사육기술 - 돼지인공수정. 축산기술연구소. p. 124.