

반추위 삽입 센서를 활용한 육성기 홀스타인 거세우의 생리 상태 변화 평가

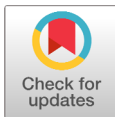
왕준호 · 유대겸 · 서자겸*

부산대학교 생명자원과학대학 동물생명자원과학과

The use of rumen bolus sensors to measure physiological changes in stressed growing Holstein steers

Junho Wang, Daekyum Yoo and Jakyoom Seo*

Life and Industry Convergence Research Institute, Department of Animal Science, Pusan National University, Miryang 50463, Korea



Received: Mar 7, 2022
Revised: May 20, 2022
Accepted: May 22, 2022

*Corresponding author

Jakyoom Seo
Life and Industry Convergence
Research Institute, Department of
Animal Science, Pusan National
University, Miryang 50463, Korea
Tel: +82-55-350-5513
E-mail: jseo81@pusan.ac.kr

Copyright © 2022 Korean Society of
Animal Science and Technology.
This is an Open Access article
distributed under the terms of the
Creative Commons Attribution
Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>)
which permits unrestricted
non-commercial use, distribution,
and reproduction in any medium,
provided the original work is properly
cited.

ORCID

Junho Wang
<https://orcid.org/0000-0002-8795-0644>
Daekyum Yoo
<https://orcid.org/0000-0002-6430-9539>
Jakyoom Seo
<https://orcid.org/0000-0002-9176-5206>

Abstract

In the last decade, the wireless biosensor technologies for cattle have been widely spread over the world. The objective of this study was to evaluate the changes of physiological state in Holstein growing steers using the rumen bolus sensor. A total of thirty-two Holstein young steers (219.48 ± 16.61 kg, 7.25 ± 0.40 months of age) were used and the rumen bolus was orally administered to each steer before conducting this experiment. The rumen bolus used in this study (Smart alyac[®], Hankook lot Corp, Gimcheon, Korea) can measure not only body temperature (BT) but also moving behavior which was expressed as indices (moving index, MI). All steers equipped with the bolus sensor were housed in pens (4 animals per pen) and the sensor data were collected for 29 days. During experimental period, the average MI for the day (day: 0700–1900, night: 2000–0600) was significantly higher than that for the night (day: 111.10, night: 98.53, $p < 0.0001$), but the result of average BT was opposite (day: 39.04°C, night: 39.62°C, $p < 0.0001$). The average MI in animals having low average daily gain (ADG) was higher than those having high ADG (low ADG: 105.46, high ADG: 103.66, $p < 0.0001$) and average BT was the same (low ADG: 39.41°C, high ADG: 39.33°C, $p < 0.0001$). When the steers exposed to several stresses, the average MI was significantly lower than that in normal condition (normal: 117.40, stress: 109.88, $p < 0.01$). Stressed steers also showed increased BT compared to steers in normal condition (normal: 38.78°C, stress: 39.50°C, $p < 0.0001$). In conclusion, rumen bolus sensors, which generally used in cows to detect estrus, can be applied even to steers to detect the physiological changes rapidly in stressful environment.

Keywords: Ruminants, Rumen bolus sensor, Stress, Moving index, Body temperature

Competing interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Funding sources

This work was supported by a Korea Institute of Materials Science (No. PICN630).

Acknowledgements

Not applicable.

Availability of data and material

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

Authors' contributions

Conceptualization: Wang JH, Yoo DK, Seo JK.

Data curation: Wang JH, Yoo DK, Seo JK.

Formal analysis: Wang JH, Yoo DK, Seo JK.

Methodology: Wang JH, Yoo DK, Seo JK.

Software: Wang JH, Yoo DK.

Validation: Wang JH, Yoo DK.

Investigation: Wang JH, Yoo DK.

Writing - original draft: Wang JH, Yoo DK.

Writing - review & editing: Wang JH, Yoo DK, Seo JK.

Ethics approval and consent to participate

The protocols for animal use in this study were reviewed and approved by the Animal Research Ethics Committee of Pusan National University (PNU-2020-2827).

서론

생체 센서(biosensor)는 동물에게 장착 시, 생리적 신호(움직임, 체온, 체액 내 성분, 호흡 내 기체 성분 등)를 실시간으로 감지할 수 있는 장치를 말하며, 가축 생산성 및 건강 증진을 위해 축산 분야에서 그 활용 가치가 증가하고 있다[1]. 또한, 최근 정보 통신 기술의 발달로 촉발된 사물인터넷(internet of things, IoT)이 축산 분야에서도 그 적용성이 확장되고 있다. 예를 들어, 생체 센서와 IoT 장비를 모두 구축한 축산 농가에서는 가축의 건강 상태를 생체 센서로 실시간 관측하고, IoT 장비를 통해 사용자의 위치에 관계없이 즉시 전달받을 수 있어 가축의 실시간 개체 관리가 가능하다. Caja 등은 반추 가축에게 실제 사용되고 있는 각종 센서들을 부착 위치와 이용 형태에 따라 8종(귀, 고삐, 목걸이, 반추위 삽입, 뒷다리, 꼬리 윗부분 고리형, 꼬리 밑동 삽입, 자궁 내 삽입)으로 나누고 총 31종의 센서가 사용 중이라고 보고하였다[2]. Neethirajan은 현재 동물에게 적용 중인 바이오센서의 감지 방법을 6개(antibiotic detection, microfluidics, fluorescence resonance energy transfer, quantum dots, surface plasmon resonance technology, hybrid technologies)로 분류하였고, 다른 근본적인 기술로 땀 분석, Micro-fluidic 바이오 센서를 이용한 잠재적 케톤증의 탐지, 농장 관찰, 병원체 탐지, 움직임 및 행동 감지, 스트레스 감지, 소리 분석, 생체 활동 측정, 독성물질 감지, 체온감지, 타액 분석, 대사산물 관찰, 호흡 분석 등이 가능함을 보고하였다[1]. Cooper-Prado 등은 반추위 삽입 센서를 이용한 실험을 통해 소들의 체온 측정을 이용해 발정과 출산 예측이 가능하다는 것을 보고하였다[3]. Timsit 등은 송아지에 반추위 삽입 센서를 장착시킨 뒤, 실시간 체온 측정을 통해 호흡기 질병 유무를 예측하였고, 수의사의 실제 진단과 비교하여 73%의 정확도를 보고하였다[4]. Lee와 Seo는 반추동물 생체 센서에 관한 다수의 논문을 메타분석 하였는데, 반추위 상태(pH, 온도), 섭식 행동(eating time, rumination time, drinking time), 활동(lying time, standing time, walking time, step count, active time, inactive time) 등에 대해 센서의 정확성을 조사하였다[5]. 반추위 삽입 센서를 통해 측정된 pH는 직접 측정된 값과 0.79의 연관성을 보였고(pearson correlation coefficient), 체온은 직장온도 측정치와 비교 시 0.67의 상관계수를 가진다고 보고하였다. 또한, 섭식 행동과 활동의 종류를 분석하는 정확도는 각 90.8%, 93.4%로 관측되어 향후 생체 센서의 활용 가능성이 높음을 언급하였다. 이러한 센서 기술의 발달로 인해 가축의 생리 상태 실시간 관측은 농가에 실제 적용되어 범용성이 확대되고 있는 추세이다[1]. 한편, 가축용 센서 개발의 세계적 추세에 맞춰 국내에서도 여러 센서가 개발되고 있으며, 본 연구는 이러한 센서 중 국내 개발된 반추위 삽입 센서(Smart alyac[®], Hankook Iot, Gimcheon, Korea)를 이용하여 특정 상황에서 소의 체온과 움직임 지수 변화를 관측하고, 적용 가능성을 평가하기 위해 수행되었다. 또한, 국내에서 사용되는 반추위 삽입 센서의 주 용도가 암소의 발정 감지임에 따라 본 연구는 상기 센서를 비육용 거세우에 삽입시켜 비육우의 이상 행동 감지 가능성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

이 실험을 위한 동물 사용 및 프로토콜은 부산대학교 동물윤리연구위원회에서 검토 및 승인되었다(2020-2827).

공시재료 및 공시동물

본 연구에서는 부산대학교 생명자원과학대학 부속농장에서 사육 중인 홀스타인 거세우 32두

(219.48 ± 16.61 kg, 7.25 ± 0.40 months of age)를 공시동물로 사용하였다.

실험에 사용된 반추위 센서는 상용으로 판매되고 있는 Smart alyac[®]이 선정되었으며, 각 개체에 경구 투여 방식으로 삽입되었다(Fig. 1). 본 연구에 사용된 반추위 센서의 측정항목은 체온과 움직임 지수이다. 움직임 지수는 3-way accelerometer를 이용하여 측정된 값을 이용하여 제조사의 고유 계산식에 의해 산출되며, 지적 재산권의 이유로 지수 산출에 대한 산출식은 제공받을 수 없었다. 각 data는 개체별로 10분마다 자동 측정되는데, 자동 측정된 data는 1시간 평균으로 계산되어 회사에서 제공하는 mobile application(소지킴[®])을 통해 사용자에게 정보를 제공한다. 본 연구 수행을 위해 가공되지 않은 data가 필요함에 따라 반추위 센서개발회사에 요청하여 시험기간 동안 전체 공시동물의 체온과 움직임 지수에 대한 raw data를 제공받았다.

실험을 위해 사용된 공시동물은 한 우방(4.7 m × 8.75 m)에 4두씩 8그룹으로 배치되었으며, 조사료와 배합사료를 원물기준 1:9의 비율로 1일 2회(0900, 1600) 급여 받았으며, 조성은 Table 1과 같다. 또한, 공시동물은 음수 자동 급이기와 미네랄 블록을 통해 수분과 광물질을 자율급여 받았다.



Fig. 1. Rumen bolus sensor. (A) Smart alyac[®], (B) before oral insertion, (C) after oral insertion.

Table 1. Estimated chemical composition (% dry matter basis or as stated) of experimental feeds used for *in vivo*

Item	Composition	
	Concentrate	Forage
DM (% as fed basis)	89.8	87.8
CP (%)	17.5	6.00
NDF (%)	37.1	61.1
ADF (%)	17.8	40.0
Lignin (%)	3.76	5.59
EE (%)	4.07	1.85
Ash (%)	9.25	6.85
Ca (%)	1.28	0.16
P (%)	0.76	0.19
NFC (%)	32.08	24.2
TDN ¹⁾ (%)	68.2	57.3

¹⁾The value of TDN was calculated by the methods suggested from NASEM (2016).

DM, dry matter; CP, crude protein; NDF, neutral detergent fiber analyzed with heat stable α -amylase; ADF, acid detergent fiber; EE, ether extract; NFC, non-fibrous carbohydrate; TDN, total digestible nutrients.

실험설계

본 연구에서 대상 동물의 체온과 움직임 지수는 반추위 삽입센서를 통해 총 29일(21. 09. 06-21. 10. 04)간 측정되었고, 독립변수(주간 vs. 야간, 공시동물 일당증체량, 스트레스 여부)에 따른 체온과 움직임 지수 차이를 통계적으로 검증하여 상기 센서의 적용 가능성을 평가하고자 하였다.

반추 가축은 주, 야간 차이에 따라 움직임, 섭식 행위 등에 차이가 나타나며, 상기 센서가 정상 작동할 경우 주, 야간 움직임 지수에 차이가 있을 것이라 가정하여 데이터를 주간과 야간으로 구분하여 분석하였다. 주 야간의 구분은 시험기간 일조량을 고려하여 주간(0700-1900), 야간(2000-0600)으로 설정하였고, 총 시험기간 중 26일의 체온, 움직임 지수 데이터를 주간과 야간으로 구분하여 분석하였다. 시험기간 중 제외된 3일은 모든 공시 동물이 스트레스 처리를 받은 일수이다.

또한, 개시 체중과 종료 체중을 측정한 뒤, 총 32두의 공시 동물 중, 상위 일당증체량(average daily gain, ADG) 8두, 하위 ADG 8두를 선정하여 총 시험기간 동안 성장성적에 따른 체온, 움직임 지수 차이를 분석하였다.

스트레스 상황의 가축은 체온 및 움직임에 직접적인 변화를 보일 것이라 가정하여 시험 기간 중 2주간의 적응 기간 후 일주일 간격(14일, 21일, 28일)으로 총 3회 스트레스를 유도하였다. 본 연구에서 스트레스 처리는 혈액 채취를 위한 동물 보정, 반추위액 채취를 위한 튜브의 경구 투여, 경정맥 혈액채취의 특수 상황 부여로 규정하였다(Fig. 2). 모든 공시동물은 상기의 스트레스 상황을 경험하였고, 시험적 처치 전 3시간을 normal로, 후 3시간을 stress로 설정하여 분석하였다.

영양소 성분분석

공시사료의 영양소 성분분석의 결과는 Table 1에 나타났다. 사료의 원료사료 건물(dry matter, #934.01), 조단백(crude protein, CP, #990.03), 산성세제불용섬유소(acid detergent insoluble fiber, ADF, #973.18), 조회분(ash, #942.05), 칼슘(Ca, #927.02), 인(P, #3964.06)은 AOAC[6], 조지방(ether extract, #2003.05)은 AOAC[7]에 제시된 방법에 따라 분석되었다. CP는 총질소 함량의 6.25배로 계산된 값을 측정하였고, 사료의 총질소 함량은 Nitrogen Combustion Analyzer (Leco FP-528 Leco, MI, USA)를 이용하여 측정되었다. 섬유소 함량 평가를 위한 중성세제불용성섬유소(neutral detergent fiber, NDF)와 산성세제불용성리그닌(acid detergent lignin, ADL)은 Van Soest[8] 등의 방법에 의해 분석되었으며, NDF 분석을 위해 열에 안정한 α -amylase를 사용하여 분석하였다.

상기의 분석항목을 이용하여 사료의 에너지가를 가소화 영양소 총량(total digestible nutrients)으로 평가하기 위해 NASEM 육우사양표준[9]을 사용하였고, 비섬유소탄수화물(non-fibrous

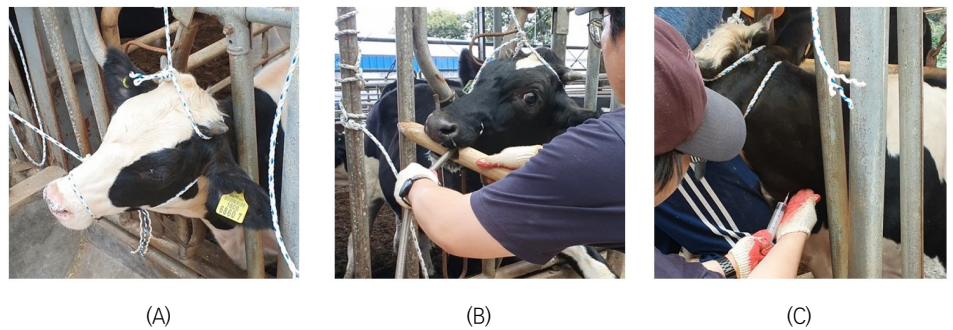


Fig. 2. Stress conditions. (A) head fixing, (B) oral stomach tube insertion, (C) jugular vein blood sampling.

carbohydrate, NFC)을 구하기 위해서는 아래의 수식을 이용하였다[9].

$$\text{NFC} = 100 - (\text{CP} + \text{EE} + \text{Ash}) - \text{NDF}$$

NFC: non-fibrous carbohydrate

CP: crude protein

EE: ether extract

NDF: neutral detergent fiber

통계 분석

In vivo 실험에서 측정된 data는 SAS package 9.4(SAS Institute, Carey, NC, USA)의 Shapiro-Wilk 검증을 통해 정규성을 검증하였고, 정규성을 따르는 모든 data는 *t*-test에 의해 분석되었다. 통계적 유의성은 $p < 0.05$ 로 정의하였다.

결과 및 고찰

본 연구는 반추위 삽입 센서를 이용해 특정 상황에서 소의 체온과 움직임 지수의 변화를 확인하기 위해 수행되었다. 본 연구에서 적용된 특정상황은 다음과 같다: (1) 주, 야간 차이가 체온 및 움직임 지수에 미치는 영향, (2) 연구 기간 중, 공시 동물의 증체량 차이가 체온 및 움직임 지수에 미치는 영향, (3) 시료채취 스트레스 여부 차이가 체온 및 움직임 지수에 미치는 영향을 연구하였다.

Animal management

공시동물의 건물섭취량(dry matter intake, DMI), ADG, 사료 요구율(feed conversion ratio, FCR)은 Table 2에 나타냈다. 미국육우사양표준에 의하면 본 연구에 사용된 홀스타인 거세우(7 m, 219 kg)의 예측 증체량과 예측 섭취량은 1.22 kg/d, 4.88 kg/d으로 추정되었다[9]. 본 연구에서 측정된 값은 DMI와 ADG 모두 예측치를 상회하였는데(Table 3), 이는 본 연구기간 동안 공시동물이 특별한 성장저하 요인 없이 정상적으로 성장한 것을 대변한다.

주, 야간에 따른 반추위 움직임 지수와 온도

주, 야간에 따른 움직임 지수는 주간이 111.10, 야간이 98.53으로 측정되었다(Table 4). 반추동물은 주로 야간에 수면하는 것으로 보고되는데[10], 본 연구의 결과는 역시 수면으로 인해 야간의 활동성이 낮게 관측된 것으로 보이며, 본 연구에서 사용된 반추위 삽입 센서가 반추동물의 움직임을 정상적으로 감지함을 추정할 수 있다. 체온은 주간 39.04°C, 야간 39.62°C로 관측되었다. Bewley 등은 반추위 삽입 센서를 이용한 실험에서 반추동물이 음수함에 따라 체온이 평균 8.5°C 떨어지며(7.6°C의 물 음수 시), 정상체온 회복 시간이 평균 3.5시간이라고 보고하였다[11]. 본 연구에서 사용된 센서 정보에 따르면 공시동물의 음수는 주간에 집중하여 이뤄졌고(data not

Table 2. Animal performances during *in vivo* experiment

Animal numbers	Months	Concentration intake (kg)	Forage intake (kg)	Total intake (kg)	ADG (g/d)	FCR
32	7.25 ± 0.40	6.46 ± 0.83	0.80 ± 0.11	7.26 ± 0.89	1,798.65 ± 250.07	4.14 ± 0.66

All values were represented as average with standard deviation.
ADG, average daily gain; FCR, feed conversion ratio (dry matter intake / ADG).

Table 3. Comparison of predicted and actual growth performances

Items	Predict (kg/d)	Actual (kg/d)
Average daily gain	1.22	1.80
Total intake	4.88	7.26
Concentrate intake	4.39	6.46
Forage intake	0.49	0.80

Predicted values of growth performances were estimated by using American feeding program "beef cattle nutrient requirements model 2016". Adapted from NASEM [9] with permission of National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine.

Table 4. Comparison of sensor data between day and night

Items	Day ¹⁾	Night ²⁾	SEM	p-value
Moving index	111.10	98.53	0.390	< 0.0001
Temperature (°C)	39.04	39.62	0.013	< 0.0001

¹⁾Day, the mean values of raw data collected during 0700-1900.

²⁾Night, the mean values of raw data collected during 2000-0600 at after day.

shown), 이에 따라 주간의 평균 체온이 유의적으로 낮게 관측된 것으로 사료된다. 또한, 본 연구에서 관측된 유의적 주, 야간 체온 차이는 Eihvalde 등의 선행 연구의 결과와 유사하였으며, 본 연구에서 사용된 반추위 삽입 센서가 반추동물의 체온을 정상적으로 감지함을 추정할 수 있다 [12].

성장성적 차이가 활동성 지수와 체온에 미치는 영향

본 연구에 이용된 총 32두의 공시 동물 중 상위 및 하위 ADG를 보인 각 8두를 선정하여 성장성적에 따른 움직임 지수와 체온 차이를 평가하였고(Table 5, 6), 성장성적 상위 개체와 하위 개체 간 움직임 지수와 체온에 유의적 차이가 있을 것으로 가정하였다. 분석 결과, 성장성적에 따른 움직임 지수는 하위 ADG 처리구(105.46)가 상위 ADG 처리구(103.66)에 비해 유의적으로 높은 것으로 관측되었다. Dohme-Meier 등은 활동량이 많을수록 소의 에너지 소모가 많아진다고 보고하였으며[13], West는 활동량의 증가가 골격근과 체조직에 의한 열발생을 증가시킨

Table 5. Comparison of biosensor data between High ADG and low ADG groups

Items	High ADG	Low ADG	SEM	p-value
Moving index	103.66	105.46	0.256	< 0.0001
Temperature (°C)	39.33	39.41	0.009	< 0.0001

High ADG, ADG range: 1,984-2,290 (n = 8); Low ADG, ADG range: 1,226-1,613 (n = 8); ADG, average daily gain.

Table 6. Growth performances of animals in a high average daily gain (ADG) group and low ADG

Items	High ADG	Low ADG	SEM	p-value
Intake (kg/d)	7.55 ± 0.40	7.43 ± 0.37	0.142	0.5545
ADG (g/d)	2,098.75 ± 113.21	1,500.25 ± 126.71	44.800	< 0.0001
FCR	3.60 ± 0.23	4.98 ± 0.43	0.151	< 0.0001

The counts of Animals belonging to each group were 8.

ADG, average daily gain; FCR, feed conversion ratio (dry matter intake / ADG).

다고 보고하였다[14]. 이를 통해 낮은 ADG 처리구는 활동량의 증가로 인해 체온과 에너지 소모가 증가하여 낮은 ADG와 높은 FCR을 보인 것으로 추정된다. 체온 또한, 하위 ADG 처리구(39.41°C)가 상위 ADG 처리구(39.33°C)에 비해 유의적으로 높은 것으로 관측되었으나($p < 0.0001$; Table 5), 온도 차이는 0.08°C에 불과하였고, 이는 정온동물의 특성에 의한 것으로 사료된다. Rutherford 등은 농후사료 공급이 증가할 경우, 섭취 후 반추위 발효 증가로 인해 체내 발열량이 증가하며, 그에 따라 체온이 상승하나, 그 효과가 일시적임을 보고하였다[15]. 따라서 반추위 발효가 활발하고 사료 이용성이 높아 상위 ADG를 나타낸 개체들이라도 하위 개체들에 비해 지속적인 체온 상승은 기대하기 어려울 것으로 보인다. 본 연구에서 하위 ADG 군의 체온이 유의미하게 높긴 하나, 그 온도 차이가 0.1°C 이내인 이유도 상기의 반추동물 특성에 따른 것으로 추정된다.

스트레스의 부여가 활동성 지수와 온도에 미치는 영향

공시 동물에게 스트레스를 부여하기 위해 시료 채취 과정(동물 고정, 반추위 삽입 튜브를 통한 위액 채취, 경정맥 혈액 채취)을 수행하였고, 스트레스 부여 전, 후 시간(1-3 h)을 기점으로 Normal과 Stress로 구분하였다(Table 7). 스트레스 부여 1 h 후의 활동성 지수는 유의적으로 감소하였고($p = 0.0062$), 2-3 h에서는 스트레스에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 이는 Van Reenen 등의 연구에서 스트레스의 부여 시 높은 cortisol 반응을 보이며, 스트레스 원인에 대한 회피로 인해 활동성에 부정적인 영향을 미친다는 결과와 유사한 것으로 추정된다[16].

또한, 시료 채취 스트레스는 모든 시간대에서 체온의 유의적인 증가를 나타냈는데($p < 0.0001$), 스트레스 부여 후 시간이 지날수록 체온이 하강하는 결과 역시 측정되었다. 본 연구에서 시도한 스트레스 부여 행위는 혈액 채취를 포함하는데, Bolaños 등의 연구에 의하면 경정맥 혈액 채취는 cortisol 수치를 증가시켜 혈액 채취행위가 스트레스를 유발함을 보고하였다[17]. Rutherford 등은 42두의 홀스타인 수소의 반추위 삽입 센서를 이용한 연구에서 스트레스(수송 및 도축 전 대기 등)가 증가함에 따라 체온이 상승하는 것을 보고하였고[18], 수송 스트레스 → cortisol의 농도 증가 → hypothalamic-pituitary-adrenal axis의 활성화 증가[19] → 체온 상승으로 기전을 설명하였다. 이는 본 연구에서 스트레스 부여 시, 공시동물의 체온이 유의적으로 상승하는 결과와 일치한다.

결론

생체 센서는 가축 생산성 및 건강 증진을 위해 축산 분야에서 그 활용 가치가 증가하고 있음

Table 7. Comparison of sensor data between normal and stress conditions

Items	Time	Normal ¹⁾	Stress ²⁾	SEM	<i>p</i> -value
MI	1 h	117.40	109.88	2.036	0.0062
	2 h	112.28	114.66	1.468	0.2482
	3 h	115.22	113.18	1.158	0.2094
Temperature (°C)	1 h	38.78	39.50	0.058	< 0.0001
	2 h	38.99	39.27	0.047	< 0.0001
	3 h	38.99	39.22	0.040	< 0.0001

¹⁾“Normal” is defined to average values collected from each time duration before sampling stress.

²⁾“Stress” is defined to average values collected from each time duration after sampling stress.

며, 최근 정보통신 기술의 발달로 촉발된 사물인터넷이 축산 분야에서도 그 적용성이 확장되고 있다. 가축용 센서 개발의 세계적 추세에 맞춰 국내에서도 여러 센서가 개발되고 있으며 본 연구는 이러한 센서 중 국내 개발된 반추위 삽입 센서를 이용하여 특정 상황에서 소의 체온과 움직임 지수의 변화를 관측하고, 이상 행동 감지 적용 가능성을 평가하기 위해 상기 센서를 비육용 거세우에 삽입시켜 비육우의 체온과 움직임 지수를 관찰하였다. 주, 야간 차이에 따른 움직임 지수의 차이에서는 주간이 야간보다 유의적으로 높게 나타났으며, 온도의 차이에서는 주간이 야간보다 유의적으로 낮게 나타났다. 성장성적 차이가 움직임 지수에 미치는 영향은 하위 개체들이 상위 개체들보다 높은 유의적인 차이가 나타났다. 체온에 미치는 영향은 하위 개체들이 상위 개체들보다 체온이 높은 유의적인 차이가 있었으나, 그 차이가 0.08℃에 불과하였다. 스트레스의 부여는 움직임 지수에 유의적으로 부정적인 영향을 미쳤으며, 체온은 스트레스가 부여될수록 유의적인 증가를 나타냈다. 상기의 결과들은 선행 연구들의 결과들과 같았으며, 이를 종합해 볼 때, 본 연구에서 사용된 반추위 삽입 센서가 반추동물의 움직임 지수와 체온을 정상적으로 감지함을 추정할 수 있다.

사 사

본 연구는 한국재료연구원 위탁과제 “작물 및 가축 생산성 향상을 위한 나노기반 정밀 바이오 센서 개발(No. PICN630)”의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Neethirajan S. Recent advances in wearable sensors for animal health management. *Sens Biosensing Res.* 2017;12:15-29. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2016.11.004>
2. Caja G, Castro-Costa A, Knight CH. Engineering to support wellbeing of dairy animals. *J Dairy Res.* 2016;83:136-47. <https://doi.org/10.1017/S0022029916000261>
3. Cooper-Prado MJ, Long NM, Wright EC, Goad CL, Wettemann RP. Relationship of ruminal temperature with parturition and estrus of beef cows. *J Anim Sci.* 2011;89:1020-7. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3434>
4. Timsit E, Assié S, Quiniou R, Seegers H, Bareille N. Early detection of bovine respiratory disease in young bulls using reticulo-rumen temperature boluses. *Vet J.* 2011;190:136-42. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.09.012>
5. Lee M, Seo S. Wearable wireless biosensor technology for monitoring cattle: a review. *Animals.* 2021;11:2779. <https://doi.org/10.3390/ani11102779>
6. AOAC. Official methods of analysis of AOAC International. 17th ed. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists; 2000.
7. AOAC. Official methods of analysis of AOAC International. 18th ed. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists; 2006.
8. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci.* 1991;74:3583-97. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
9. NASEM. Nutrient requirements of beef cattle. 8th ed. Washington, DC: National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine; 2016.
10. Ruckebusch Y. The relevance of drowsiness in the circadian cycle of farm animals. *Anim Behav.* 1972;20:637-43. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(72\)80136-2](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(72)80136-2)

11. Bewley JM, Grott MW, Einstein ME, Schutz MM. Impact of intake water temperatures on reticular temperatures of lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 2008;91:3880-7. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1159>
12. Eihvalde I, Kairisa D, Sematovica I. Long-term continuous monitoring of ruminal pH and temperature for dairy cows with indwelling and wireless data transmitting unit. *Parameters.* 2016;3555:4829.
13. Dohme-Meier F, Kaufmann LD, Görs S, Junghans P, Metges CC, van Dorland HA, et al. Comparison of energy expenditure, eating pattern and physical activity of grazing and zero-grazing dairy cows at different time points during lactation. *Livest Sci.* 2014;162:86-96. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.006>
14. West JW. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2003;86:2131-44. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
15. Rutherford NH, Gordon AW, Lively FO, Arnott G. The effect of behaviour and diet on the rumen temperature of Holstein bulls. *Animals.* 2019;9:1000. <https://doi.org/10.3390/ani9111000>
16. Van Reenen CG, O'Connell NE, Van der Werf JTN, Korte SM, Hopster H, Jones RB, et al. Responses of calves to acute stress: individual consistency and relations between behavioral and physiological measures. *Physiol Behav.* 2005;85:557-70. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.06.015>
17. Bolaños JM, Molina JR, Forsberg M. Effect of blood sampling and administration of ACTH on cortisol and progesterone levels in ovariectomized zebu cows (*Bos indicus*). *Acta Vet Scand.* 1997;38:1-7. <https://doi.org/10.1186/BF03548502>
18. Rutherford NH, Lively FO, Arnott G. Evaluation of rumen temperature as a novel indicator of meat quality: rumen temperature and haematological indicators of stress during the pre-slaughter period as predictors of instrumental meat quality in bulls. *Meat Sci.* 2019;158:107913. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107913>
19. Losada-Espinosa N, Villarroel M, María GA, Miranda-de la Lama GC. Pre-slaughter cattle welfare indicators for use in commercial abattoirs with voluntary monitoring systems: a systematic review. *Meat Sci.* 2018;138:34-48. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.12.004>