

Cow Residual Feed Intake(RFI) monitoring and metabolic abnormality prediction system using wearable device for Milk cow and Beef

Jin-Wook Chang*, Ho-Young Kwak**

*Research director, HRG Incorporated., Jeju, Korea

**Professor, Dept. of Computer Engineering, Jeju National University, Jeju, Korea

[Abstract]

In this paper, by using the cattle feed intake, rumination, and in heat monitoring technology, RFI (Residual Feed Intake) monitoring and wearable devices and PCs for predicting abnormalities in budding target web and smart A monitoring system using a phone application was designed and implemented. With the development of this system, the farmer is expected to increase economic efficiency. By analyzing the feed intake, it is possible to identify the difference between the recommended feed amount based on the cow's weight and the feed amount consumed by the cow, and it is expected that early detection of metabolic disorders (abnormality of metabolism) is possible. Farmers using the results of this thesis can distinguish the cows with the most efficient performance, and the 6-axis motion sensor signals input from the wearable device attached to the cow's skin (neck) and the microphone attached to the wearable device. It is possible to measure the cow's rumination and feed intake through the sound of the cow's throat. In the future, improvements will be made to measure additional vital signs such as heart rate and respiration.

▶ **Key words:** feed intake, rumination, estrus, smart farm, prevention

[요 약]

본 논문에서는 소의 사료 섭취량(Feed Intake), 반추(Rumination), 발정기(In Heat) 모니터링 기술을 이용하여, RFI(Residual Feed Intake) 모니터링 및 신진대사 이상을 예측하는 웨어러블 디바이스 및 PC용 웹과 스마트폰 어플리케이션을 이용한 모니터링 시스템을 설계하고 구현하였다. 본 시스템의 개발로 농장주는 경제적 효율성의 증가가 기대된다. 사료 섭취량을 분석하면, 소의 체중에 근거한 추천 사료량과 소가 섭취하는 사료량과의 차이를 확인할 수 있으며, Metabolic disorder(신진대사 이상)에 대한 조기 발견이 가능할 것으로 예상된다. 본 논문의 결과물을 사용하는 농장주는 가장 효율적인 성과를 나타내는 소를 구별할 수 있으며, 소의 표피(목)에 부착하는 웨어러블 장치로부터 입력되는 6축 모션 센서 신호와 웨어러블 장치에 부착된 마이크를 통해 입력되는 소의 목넘김 소리를 통해서 소의 반추와 사료섭취량을 측정할 수 있다. 향후에는 심박, 호흡 등의 추가적인 생체신호를 측정할 수 있도록 개선 작업을 진행할 예정이다.

▶ **주제어:** 사료섭취량, 반추, 발정기, 스마트팜, 예방

-
- First Author: Jin-Wook Chang, Corresponding Author: Ho-Young Kwak
 - Jin-Wook Chang (kerimc14@gmail.com), HRG Incorporated.
 - Ho-Young Kwak (kwak@jejunu.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Jeju National University
 - Received: 2021. 09. 30, Revised: 2021. 10. 21, Accepted: 2021. 10. 22.

I. Introduction

농장의 인건비 상승, 자동화된 하드웨어 및 시스템에 대한 농장주의 선호도 증가, 센싱 기술의 발전, 그리고 아시아 태평양 지역의 가처분 소득 증가, 아시아 태평양 지역의 도시화의 급속한 성장으로 인한 유제품 수요 증가 등으로 농장 관리를 위한 하드웨어 및 시스템과 독립형 소프트웨어 시장은 연 평균 7.8%의 성장률과 2021년 시장 규모 3조5억원을 달성할 예정이다[1]. 하지만 기존의 사료섭취량 모니터링 시스템은 반추 시간과 발정기 모니터링 기능이 없고, 반추 시간과 발정기 모니터링 장비는 사료 섭취량 모니터링 기능이 없다. 그리고 각각의 시스템의 설치를 위해서는 농장 시설을 모두 교체해야 하므로, 비용과 설치 기간 모두에서 어려움이 있다. 따라서 (1) 사료 섭취, 반추, 발정기 세 가지 항목을 동시에 측정하며, (2) 웨어러블 장치만 소의 목에 부착하면 모든 설치가 완료되는 합리적 가격의 시스템 개발이 필요한 시점이다.

또한 발정기 탐지 및 반추량 측정 웨어러블 장비의 세계 1위 업체인 SCR Dairy는 한국에 이미 진출하였으며, 국내 사료 업체와 총판계약을 맺고, 국내 농가에 공급을 시작하였다. 국내 축산업 관련 IT기술이 미비한 시점에 글로벌 강자가 국내를 공략하면 스마트팜과 관련된 국내 기술 개발은 위축될 것으로 예상되며, 축산농가의 사육환경 특성을 고려할 때, 한번 설치된 외산 장비를 국산장비로 추후 교체하는 것도 쉽지 않은 일이므로, 글로벌 경쟁업체로부터 방어기제로서의 역할이 중요하다.

사료섭취량 연구와 관련해서 출시된 장비는 Growsafe와 American Calan이 선두이다. 그러나, 200마리 농장에 적용하려면 3억원 이상의 구매비가 필요하다. 고가의 Feed intake monitoring 장비는 수의과대학을 비롯한 연구기관의 연구개발을 저해하는 요소이기도 하며, 그러므로 합리적 가격의 Feed intake monitoring 장비가 공급되어 축산업 연구개발에 도움이 되어야 한다.

본 논문에서 제안하는 웨어러블 장치와 모니터링 시스템 전체의 경쟁력이 확보되면, 기존 외산 대비 (1) 기능 측면(Feed intake+rumination), (2) 설치 측면(소 표피에 부착하는 것 이외의 설치 필요 없음), (3) 가격 측면(대당 150불, 그리고, 설치비 필요 없음) 등 이 세 가지 요건에서 충분한 경쟁력을 확보하게 되므로, 해외 판매 경쟁력 확보가 가능하다.

또한, 소를 사육하기 위한 비용의 40%~70%는 사료 구매 비용이다. RFI 지수가 낮은 소를 사육하는 경우, 12~13%의 사료 구매 비용을 절감할 수 있으며[2], 25~30%의 메탄가스 발생을 줄일 수 있다[3-4].

사료섭취량 추적은 신진대사이상(Metabolic disorder)에 대한 조기 발견이 가능한 것으로 보고된다[5-11]. 신진대사이상 조기 발견은 농장을 경영하는 경영주 입장에서는 평상시 육안으로 모든 소를 점검하고 있는데, 이 육안 점검은 소요되는 인건비와 노동시간이 상당히 소요된다. 본 논문의 결과물을 이용하면 육안 검사를 해야 하는 소를 시스템에서 미리 알려주고, 그 결과 육안 검사를 시행하는 소의 마릿수가 줄어들게 됨으로써 인건비와 노동시간이 줄어들게 되어 효율적인 농장경영에 도움이 될 것으로 예상된다.

전 생애 주기 기록은 씨앗소, 번식우 등의 판매 단가 제고에도 도움이 될 것으로 예측되며, 기존의 혈통, 외모 기록 외에 RFI 즉, 투입 대비 결과가 좋은 소라는 기록이 추가되면, 판매 단가 제고에 도움이 될 것으로 기대한다.

따라서 본 논문에서는 유우(乳牛)와 육우(肉牛)의 목에 착용하는 웨어러블 장치를 통해서 사료 섭취량과 신진대사이상을 예측하는 방법을 제시하였다.

본 논문의 2장에서 관련 연구와 동향에 대하여 기술하고, 3장에서는 웨어러블 디바이스를 이용하여 사료섭취량을 측정하는 방법을 설명하였으며, 그에 대한 실험 결과를 기술하였다. 끝으로 4장에서는 결론을 맺었다.

II. Preliminaries

1. Related works

1.1 technology trends and levels of key core technologies

첫째, 사료 섭취량 모니터링 시스템과 관련하여 본 과제에서는 6축 센서를 이용한 Neck posture tracking과 Chewing sound recording을 통한 디지털 필터 기술을 적용하고 있다. 6축 센서를 이용한 연구는 매우 활발히 이루어지고 있다. 특히, 사람의 모션 센싱과 관련되어 많은 연구가 활발히 진행되고 있으므로, 관련 기술을 접목하는 경우, 시너지가 발생할 것이다. 사운드 레코딩도 동일하게 IoT가 발전하면서 음성인식으로 작동하는 기기들이 개발되어 관련된 연구 결과를 함께 적용한다면 좋은 결과를 낼 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 이를 대동물용 IoT 기술로 적용한 사례가 국내외에 극히 한정되어 있어 이들 관련 기술을 대동물용 IoT 기술로 적용한다면 좋은 결과를 도출할 수 있을 것이다.

둘째, 반추 모니터링 시스템은 기존에는 소리와 모션으로 인식하였다. 소리와 모션을 통한 인식에 관한 연구는 매우 활발하다. 그러나 반추는 사료섭취량과 연계되어 비교된 데이터가 도출되어야만 한다. 해외의 사례를 살펴보면,

사료섭취 모니터링은 단지 사료섭취량 데이터만 취합하고, 반추 모니터링에서는 반추 시간만을 모니터링하고 있다. 따라서 반추 모니터링 업체의 결과 데이터를 살펴보면, “절대값”이 아닌 “추이”만 표시된다. 평균 반추 시간이 450분이더라도, 이를 “0”분으로 편집(bias)하여 표시하고 있다. 이는 정확한 사료 섭취량을 모르기 때문에 발생하는 오류이다. 그러므로 사료 섭취량과 반추 시간과의 관계에 대한 핵심기술 연구는 이제 시작 단계라고 할 수 있다.

1.2 Domestic and overseas market status of related products

1.2.1 국내 시장 현황

농촌진흥청에서는 2015년 소의 발정기를 활동량 감지를 통해서 활동량을 수량화하는 시스템을 개발하였다. 농진청이 2년간 시스템을 농가에 설치·보급한 결과, 암소의 발정재귀 일수가 67.7일에서 57.3일로 줄어들었으며, 수태율은 75%에서 83.6%로 높아진 것을 확인할 수 있었다.

반추 모니터링과 관련해서는 유라이크코리아에서 온도 및 PH센서를 접목한 경구투여 방식의 바이오캡슐을 반추 위에 부착하여 가축의 체내에서 체온을 측정해 체온변화를 실시간 모니터링하며, 이를 바탕으로 가축의 질병을 사전에 예방하는 시스템이 있다.

1.2.2 해외 시장 현황

사료 섭취량 모니터링은 해외에서는 (1) American Calan, (2) Growsafe System, 그리고 반추 및 발정기 모니터링으로는 (3) SCR이 대표적인 업체이다.

American Calan은 저울 방식(Fig. 1)으로 사료섭취 측정은 정확하나 한 마리씩만 측정이 가능하여 반추, 발정기의 측정 기능 없다. 장점으로는 사료 섭취량 모니터링 관련해서는 가장 오래되었으며, 저울을 통한 측정으로 정확도가 높다. 단점은 한 마리씩만 측정이 가능하여 동시에 여러 마리 측정 불가하다. 또한 시스템 구성품이 4가지로 복잡하며 기존 설비를 교체해야만 한다. 더구나 시스템 사용을 위해서 소를 교육시켜야 하며, 반추, 발정기는 측정이 안되어 연구개발용으로만 판매하고 있다.



Fig. 1. Calan Boradbent

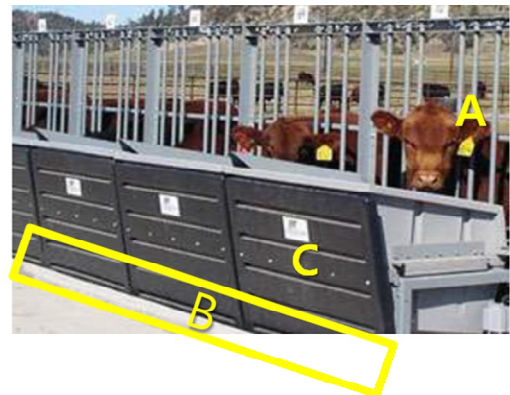


Fig. 2. Growsafe System

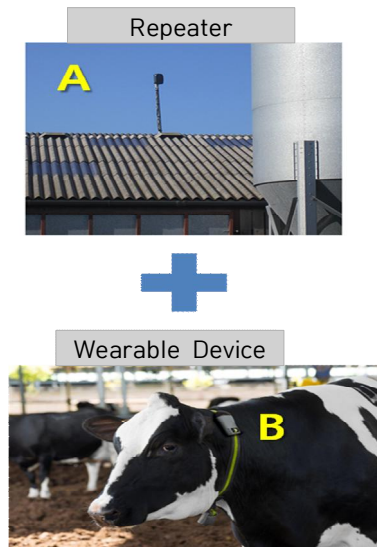


Fig. 3. SCR heat time

Growsafe사 system도 저울 방식(Fig. 2)으로 사료섭취 측정이 정확하며, 동시에 여러 마리 측정이 가능하지만 설치 비용이 고가이며, 반추, 발정기 측정 기능은 역시 없다. 장점으로는 동시에 여러 마리 측정 가능하다는 점과 저울을 통한 측정으로 정확도 높다는 것이다. 단점은 설치비가 120ft 기준으로 4천만 원 이상으로 고가이며, 설치를 위해

서는 기존의 Feed bunk 모두 교체해야 한다. 연구개발용으로만 판매하고 있으며, 반추, 발정기 측정은 불가하다.

SCR(Fig. 3)은 이스라엘 업체로서 반추 및 발정기 모니터링으로는 전 세계 1위이며 한국에도 진출하였다. 그러나 사료 섭취량 분석 기능이 없으며 사용을 위해서는 중계기를 농장에 설치해야 한다.

III. The Proposed Scheme

3.1 A proposed system for measuring residual feed intake

3.3.1 웨어러블 디바이스

측정을 위한 웨어러블 디바이스의 블록 다이어그램은 Fig. 4와 같다.

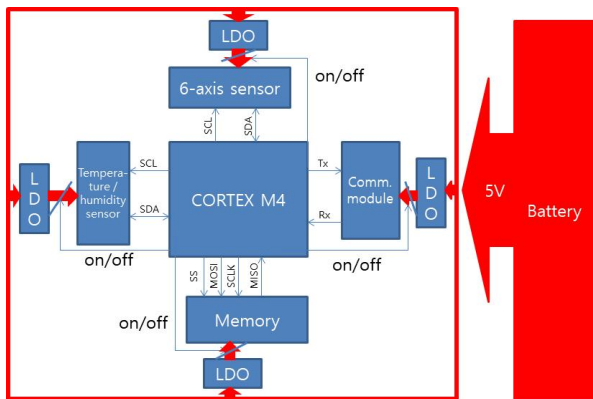
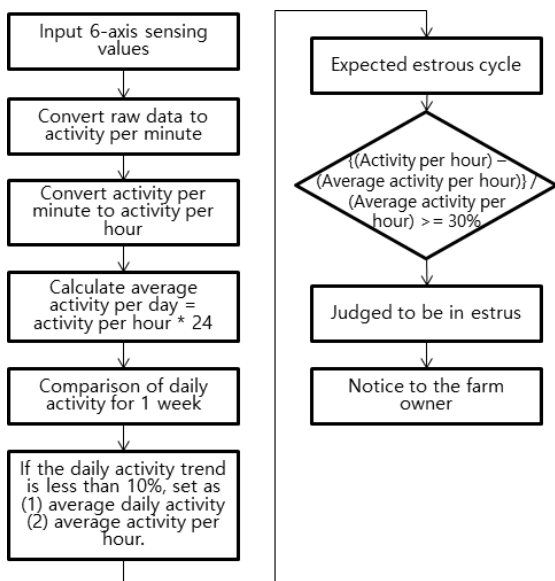


Fig. 4. Wearable device block diagram

3.3.2 발정기 알고리즘



Estrus notification algorithm

Fig. 5. Estrus prediction algorithm

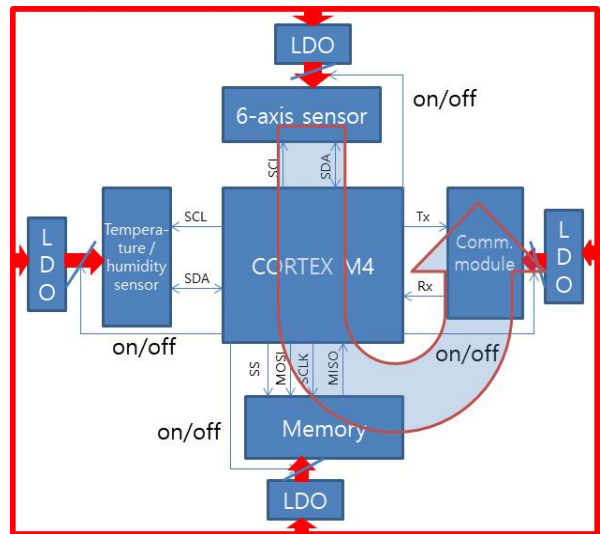


Fig. 6. the hardware flow diagram

3.3.3 Neck posture tracking 알고리즘

6축 센서의 FIFO에 저장된 가속도 값 3개 AcX, AcY, AcZ와 자이로 값 3개 GyX, GyY, GyZ를 저장된 순서대로 CPU가 판독하고, 판독한 데이터의 Y 축 방향 값의 변화를 가장 먼저 비교한다. 값의 변화가 감지되면, X축과 Y축 움직임도 감지한다. 산출 공식을 Fig. 8과 같으며, 소의 목 움직임 동작은 Fig. 9와 같이 움직이므로 이를 6축 센서를 통해 입력받는다.

$$\Delta Y_1 = (Y_2 - Y_1), \Delta Y_2 = (Y_3 - Y_2), \Delta Y_3 = (Y_4 - Y_3), \dots, \Delta Y_n = (Y_{n+1} - Y_n)$$

$$\Delta Y = \sum_{k=1}^n \Delta Y_k, \text{ if } (\Delta Y \leq 0), \text{ Calculate } X_1 \sim X_n, Z_1 \sim Z_n$$

$$F(x) = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$$

$$F(z) = z_1 + z_2 + z_3 + \dots + z_n$$

Fig. 7. Calculation formula of Neck posture tracking

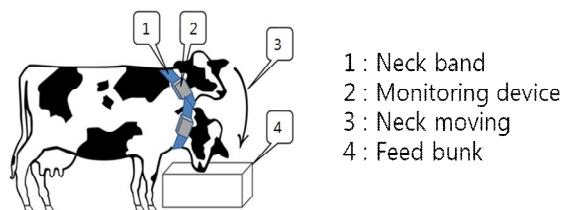
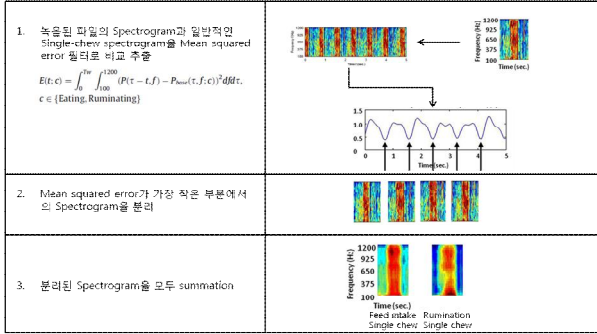


Fig. 8. Cow neck posture

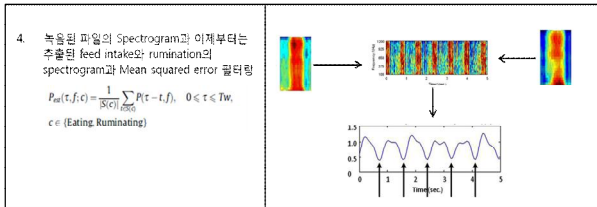
3.3.4 Chewing sound 분석 알고리즘

소의 Chewing sound를 분석하는 방법은 다음과 같다.

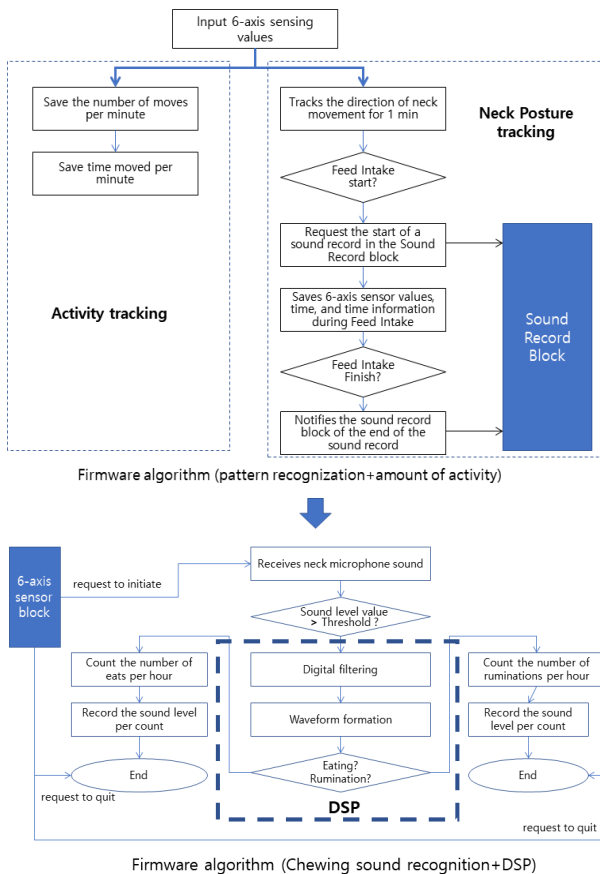
<1단계>



<2단계>



3.3.5 Neck posture tracking 알고리즘과 Chewing sound 분석 알고리즘 결합



Firmware algorithm (Chewing sound recognition+DSP)
Fig. 10. Combination of algorithms

3.2 Experiments and analysis

제안된 방법을 이용하여 다음과 같이 임상 실험을 실시하였다. Fig. 11은 실제 사료 섭취량을 측정하기 위해서 축사에 설치한 개체별 Feed bunk이다.



Fig. 11. Individual feed bunk

Fig. 12는 본 논문에서 제안한 웨어러블 장치를 소에 착용한 것을 보여주고 있다.



Fig. 12. Wearing a wearable device

다음 Fig. 13은 이스라엘 SCR 제품과 본 논문에서 제안한 시스템의 비교 분석 결과이다.

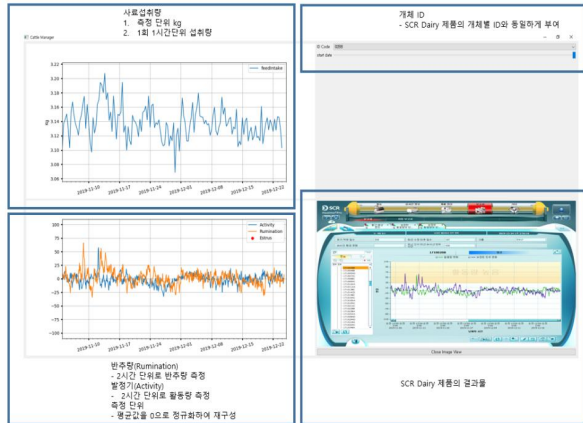


Fig. 13. Comparative analysis result of SCR and the proposed system

본 시스템을 21두의 한우에게 착용하여, 측정된 사료 섭취량 반추 발정기에 대한 정확도 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Result of accuracy measurement

Entity No.	Feed intake accuracy	Rumination Accuracy	Estrus Accuracy
02BB	97.3%	100%	100%
04BB	95.4%	100%	100%
05AD	96.8%	100%	100%
07AC	98.9%	100%	100%
08BC	95.3%	100%	100%
09AC	95.6%	100%	100%
10AA	97.4%	100%	100%
11AA	96.5%	100%	100%
13BC	95.2%	100%	100%
14CD	96.5%	100%	100%
15BC	95.4%	100%	100%
16AC	95.7%	100%	100%
18AA	95.7%	100%	100%
19AC	96.1%	100%	100%
21AC	95.6%	100%	100%
22BB	96.3%	100%	100%
23BA	95.7%	100%	100%
24AA	96.7%	100%	100%
28AD	99.2%	100%	100%
29AD	96.3%	100%	100%
31BA	95.6%	100%	100%

Table 1에서와 같이 21마리의 소에 웨어러블 장치를 착용하고, 사료 섭취량, 반추 정확도, 발정기 정확도를 측정한 결과, 사료섭취량은 96.3%, 반추와 발정기 정확도는 100%를 기록하였다. 정보를 인식하여 결합함으로써 개체별 측정도 가능하다.

IV. Conclusions

본 논문의 실험에서 보인 것과 같이 웨어러블에 내장된 6축 센서와 MEMS Mic를 이용하여 소의 목넘김 동작과 활동량, 그리고 목넘김 소리를 이용하여 사료섭취량, 반추량, 발정기를 계산할 수 있음을 보였다. 이렇게 측정된 값을 이용하여 동일 개체의 시간의 흐름에 따른 사료섭취량, 반추량의 변화를 추적함으로써 신진대사에 이상이 발생하는 지를 알 수 있으며, 이상이 발생한 경우를 모니터링 할 수 있다. 또한 활동량 추적으로 발정기도 체크가 가능하므로 이 데이터를 통하여 축주로 하여금 사육하고 있는 소의 발정기나 질병 상태 등을 상시 체크할 수 있다.

향후에는 심박수 호흡수 체온 등 생체신호 취득 데이터를 추가적으로 분석을 할 필요가 있으며, 실시간으로 추출하는 목넘김 데이터의 압축을 통해서 배터리 사용 시간을 늘리는 개선 방안에 대하여 더 연구할 필요가 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, Forestry and Fisheries(IPET) through 1st generation smart farm industrialization technology development project, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA)(120106-1)

REFERENCES

[1] Research and Markets, "Dairy herd management market by product, application and region" -Global Forecast to 2021, pp 123-140

[2] R. M. Herd and P. F. Arthur, Physiological basis for residual feed intake, J Anim Sci, 87: E64-71E, 2008. DOI:10.2527/jas.2008-1345

[3] Adin, G., R. Solomon, R. M. Nikbachat, A. Zenou, E. Yosef, A. Brosh, A. Shabtay, S. J. Mabjeesh, I. Halachmi, and J. Miron. Effect of feeding cows in early lactation with diets differing in roughage-neutral detergent fiber content on intake behavior, rumination, and milk production. J. Dairy Sci. 92:336433-73, 2009. DOI:10.3168/jds.2009-2078

[4] T. J. McDonald, G. W. Brester, A. Bekkerman and J. A. Paterson,

- "*Professional Animal Scientist*", vol. 26 no. 6: 655-660, November 2010
- [5] Byskov, M. V., E. Nadeau, B. E. O. Johansson, and P. Nørgaard. Variations in automatically recorded rumination time as explained by variations in intake of dietary fractions and milk production, and between-cow variation, *J. Dairy Sci.* 98:39263937, 2015. DOI:10.3168/jds.2014-8012
- [6] Liboreiro, D. N., K. S. Machado, P. R. B. Silva, M. M. Maturana, T. K. Nishimura, A. P. Brandao, M. I. Endres, and R. C. Chebel. Characterization of peripartum rumination and activity of cows diagnosed with metabolic and uterine diseases. *J. Dairy Sci.* 98: 68126827, 2015. DOI:10.3168/jds.2014-8947
- [7] "*Alberta province Agriculture and Forest*". Agdex 420/11-1, pp 24-25, July 2006
- [8] T. J. McDonald, G. W. Brester, A. Bekkerman and J. A. Paterson, "*Professional Animal Scientist*", vol. 26 no. 6 655-660, Nov. 2010
- [9] A. K. Kelly, M. McGee, D. H. Crews, Jr., A. G. Fahey, A. R. Wylie, and D. A. Kenny, Effect of divergence in residual feed intake on feeding behavior, blood metabolic variables, and body composition traits in growing beef heifers, *J Anim Sci*, 88: 109-123, 2009. DOI:10.2527/jas.2009-2196
- [10] S. S. Moore, F. D. Mujibi, and E. L. Sherman, Molecular basis for residual feed intake in beef cattle, *J Anim Sci*, 87: E41-47E, 2009. DOI:10.2527/jas.2008-1418
- [11] N. Soriani, E. Trevisi, L. Calamari, Relationships between rumination time, metabolic conditions, and health status in dairy cows during the transition period, *J. Anim. Sci.*, 90(12), pp. 4544-4554, 2012. DOI:10.2527/jas.2011-5064

Authors



Jin-Wook Chang received the B.S. degrees in Electrical Engineering from Sungkyunkwan University, Korea, in 2004. Chang joined the LG electronics Multimedia research laboratory, Korea, in 2004, where he has served as the researcher. He is currently a research director, HRG Inc. He is interested in pet and livestock internet of things.



Ho-Young Kwak received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science from Hong-Ik University, Korea, in 1983, 1985 and 1990, respectively. Dr. Kwak joined the faculty of the Department of Computer Engineering at Jeju National University, Jeju, Korea, in 1990. He is currently a Professor in the Department of Computer Engineering, Jeju National University. He is interested in IT-Medical convergence, Healthcare system, IoT and Software system.