

스마트팜 ICT 장치의 복합 데이터를 활용한 젖소 음수량 추정

장동화, 양가영, 김종복*, 권경석, 하태환, 김종곤
농촌진흥청 국립축산과학원

Estimation of Water Intake of Dairy Cows using Complex Data of ICT Devices in Smart Farm

Dong-hwa Jang, Ka-Young Yang, Jong-bok Kim*,
Kyeong-seok Kwon, Taehwan Ha, Jung-kon Kim
National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

요 약 물은 젖소의 사료 섭취량 및 산유량을 증가시키고, 소화와 영양소 흡수를 촉진시킨다. 그러나 일반농가에서는 유량센서를 이용한 농가 단위의 음수관리만 가능하며, 개체별 음수관리는 어려운 실정이다. 음수량 실측을 위하여 개체별로 별도의 측정 장치의 제작이 가능하나 경제성 등의 이유로 농가 적용에는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 실측이 어려운 젖소의 개체별 음수량을 추정하기 위해 선행 연구 결과를 바탕으로 스마트팜 ICT 장치의 복합 데이터를 활용한 음수량 추정 모델을 개발하였다. 개발 모델은 ICT 장치로 수집 가능한 산유량, 일 최저 기온의 7일 평균, 유지방, 착유주차, 체중을 통해 음수량을 추정한다. 선행 연구 데이터를 활용하여 개발 모델의 음수량 추정치와 실측치를 비교분석한 결과 평균오차는 약 3.3 kg/d(3.7%)로 나타났다. 또한, 개발 모델을 활용하여 ICT 장치가 설치된 농가의 산유량과 기온에 따른 음수량 변화를 평가하였다. 전체 개체에 대한 산유량과 음수량을 분석한 결과 산유량 kg 당 음수량은 2.97 kg으로 나타났다. 기온에 대한 음수량 분석을 위해 계절별로 데이터를 나누었으며, 전체 데이터에 대한 기온과 음수량은 양의 상관관계를 가졌다. 산유량과 기온에 따른 음수량의 변화는 선행 연구의 결과와 유사하게 나타났으며, 이를 통해 일반적으로 국내 낙농 스마트팜에 설치되어있는 ICT 장치 정보를 통한 음수량 추정의 가능성을 확인하였다.

Abstract Water management of dairy cows increases feed intake, milk production, and absorption of nutrients. However, general farms use only flow sensors for the water management of dairy cows, and hence it is difficult to manage water for each dairy cow. Therefore, this study developed a water intake estimation model using complex data of ICT devices to estimate the water intake of each dairy cow. The proposed model can estimate the water intake through the daily minimum ambient temperature, milk production, milk fat, week of lactation, and weight. Comparing the obtained water intake and the water intake predicted by the proposed model using the previous study data found an average error of 3.3 kg/d. Moreover, the farm data with ICT devices was used to evaluate changes in the water intake according to milk production and ambient temperature. The study result showed that the change in water intake according to milk production and ambient temperature was similar to the results of previous studies. In addition, the results confirmed the possibility of estimating water intake through complex data of ICT devices installed in domestic dairy smart farms.

Keywords : Water Intake, Dairy Cow, Smart Farm, ICT, Model

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 1세대 스마트팜 산업화기술개발사업의 지원(과제번호: 320098-1, 과제명: 젖소 스마트축사용 표준기반 통합제어 시스템 고도화 및 실증)과 2021년 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원 과정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

*Corresponding Author : Jong-bok Kim(National Institute of Animal Science)
email: jbkimj@korea.kr

Received November 3, 2021
Accepted December 6, 2021

Revised November 29, 2021
Published December 31, 2021

1. 서론

물은 모든 생명체의 영양소 전달을 도우며, 노폐물 배설 및 체온 유지와 같은 신진대사에 필수적인 매개체이다. 특히, 물은 젖소에게 필요한 모든 영양소 중에서 가장 중요한 요소로 지정되어있다[1]. 음수량은 젖소의 성장, 산유량, 번식, 사료의 수분 상태 등에 따라 영향을 받으며, 건강 상태를 확인하는데 있어 중요한 지표로 작용한다. 적절한 음수관리는 젖소의 사료 섭취량 및 산유량을 증가시키고, 소화와 영양소 흡수를 촉진시킨다[2-4]. 또한, 음수량 데이터의 시계열 분석으로 이상 개체 및 시설 이상 탐지를 통해 개선된 농장 관리를 가능하게 한다.

일반농가에서는 각 우방에 연결되어 있는 음수조 및 전실에 설치된 유량센서를 이용한 농가 단위의 음수관리만 가능하며, 개체별 음수관리는 어려운 실정이다. 더욱이, 음수 활동 시 젖소의 음수활동과 별개로 물장난을 할 경우, 음수조 주변에 허실이 발생되어 정량적인 물 소비량 파악이 어렵다. 음수량 실측을 위하여 개체별로 별도의 측정 장치를 제작하는 것도 가능하나 경제성 등의 이유로 농가 적용에는 어려움이 있다. 이러한 이유로 젖소의 개체별 음수량을 간접적으로 추정하기 위한 다양한 연구들이 진행된 바 있다. [5,6]은 유량, 사료 중 건물함량(DM: Dry Matter), 건물섭취량(DMI: Dry Matter Intake)을 통해 음수량을 추정하며, 간접지표를 통한 음수량 추정의 가능성을 보였다. 이후 사료의 성분, 기온 등 여러 요소들의 조합으로 음수량을 추정하는 선행 연구[7-10]가 진행 되었지만 제약된 공간, 적은 양의 데이터 등 여러 문제로 정확한 검증이 요구되어졌다. 음수량 추정 시 적은 양의 데이터 문제를 개선하기 위해 기존 문헌을 이용한 메타 분석(Meta Analysis)이 진행되었다[11-14]. [13,14]는 단일 연구결과보다 높은 정확도의 음수량 추정 모델을 제시하였으며, DMI를 사용 시 음수량 예측의 정확도가 높아진다고 보고하였다. DMI 및 DM 등 사료섭취량 관련 정보를 변수로 사용하면 음수량 예측의 정확도는 증가하지만 실시간 수집이 어렵다는 한계를 가지고 있어 농가 적용에 어려움이 있다.

정보통신기술(ICT)의 발전은 축산업의 자동화 및 로봇화를 전인하면서 축산 스마트팜의 기술력을 발전시킬 수단으로 주목받고 있다. 돼지, 산란계, 오리, 한우 등 여러 축종에 대해 ICT 기반의 축산 스마트팜 모델 개발이 이루어지고 있다. 젖소 스마트팜의 경우 1세대 모델에 대한 설정이 완료된 상태이며 현장 실증을 통해 지속적으로 검증 및 개선을 진행하고 있다[15]. 1세대 젖소 스마

트팜은 개체인식 기반 자동사료급이기, 로봇포유기, 환경 정보수집장치, TMR 자동급이기, 생체정보수집장치, 로봇착유기, 유성분분석기 등이 접목되고 있으며, 이를 통해 착유량, 유성분, 기온 등 다양한 데이터가 수집되고 있으나, 이를 통한 음수량의 간접 추정 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구의 목적은 ICT 장치와 농가로부터 수집 가능한 정보를 이용하여 음수량 추정 모델을 개발하고, 이를 활용하여 일반 젖소 농가의 개체별 음수량을 추정하고 분석하는데 있다. 본 논문의 2.1장에서는 모델 개발을 위해 사용된 선행연구 데이터와 개발된 모델을 평가하기 위한 농가 데이터 세트 소개를, 2.2 및 2.3장은 음수량 추정 모델 개발 및 개발 모델의 성능 평가로 이루어져 있으며 3장에서는 개발 모델의 성능 평가 결과를 제시하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 1) 음수량 추정에 관한 선행 연구의 데이터 중 ICT 장치로부터 수집 가능한 정보만을 변수로 이용하여 음수량 추정 모델을 개발하고 선행 연구모델과 비교 분석하는 과정, 2) 일반농가에서 ICT 장치로부터 수집된 데이터를 기반으로 개발한 음수량 추정 모델을 적용 평가하는 과정으로 진행된다.

2.1 데이터 세트

2.1.1 선행 연구 데이터 세트

본 연구의 음수량 추정 모델 개발 및 평가에는 [14]에서 제시한 선행 연구 데이터 세트를 이용하였다(<https://doi.org/10.17632/ps59xvhwp.1>). 데이터 세트는 65개 선행 연구로부터 얻어진 257개의 평균데이터로 구성되어 있으며, 그 중 개발 모델에 필요한 정보를 모두 포함하고 있는 16개 선행 연구의 51개 평균데이터

Table 1. Summary of reference data

Variable	Mean±SD
Body weight (kg)	602.45±57.05
Week of lactation	17.14±9.76
Milk production (kg/d)	30.35±5.95
4 percent fat corrected milk (kg/d)	29.04±5.21
Dry matter intake (kg/d)	19.64±3.35
Water intake	89.68±21.20

를 사용하여 모델을 비교 분석하였다. 개발 모델의 비교 분석에 사용된 선행 연구 데이터의 분포는 Table 1과 같다.

2.1.2 일반농가 데이터 세트

일반농가의 개체별 음수량 추정 및 분석에는 안성시 소재 스마트팜 농장에서 수집된 2020년 1월 1일부터 2021년 2월 28일까지의 ICT 장치 데이터를 이용하였다. 데이터는 유량측정기, 유성분분석기, 환경 센서를 통해 음수량 추정에 필요한 정보를 자동으로 수집하였다. 수집된 데이터의 수는 젖소 91두에 대한 19,593개이며, 음수량 추정 및 분석에는 ICT 장치의 이상을 고려하여 개체별 평균 산유량 대비 50%이하 값을 제외한 19,547개를 사용하였다(Table 2). 연구대상 젖소의 봄(3-5월), 여름(6-8월), 가을(9-11월), 겨울(12-2월) 계절별 데이터 수는 각각 3,502, 3,848, 4,714, 7,483개이며 계절별 평균기온은 Table 3과 같다.

Table 2. Summary of farm data

Variable	Mean±SD
Body weight (kg)	701.11±92.61
Week of lactation	25.04±16.69
Milk production (kg/d)	27.10±7.02
Milk fat (kg/d)	1.05±0.26
Daily mean ambient temperature (℃)	9.61±10.03
Daily minimum ambient temperature (℃)	89.68±21.20

Table 3. Daily mean ambient temperature of farm data

Season	Daily mean ambient temperature (℃)
Spring	11.83
Summer	24.40
Autumn	13.16
Winter	0.13

2.2 음수량 추정 모델

음수량 추정 모델을 개발하기 위해 여러 선행 연구 모델을 검토하였다(Table 4). 모델 검토는 기온 정보의 활용, 데이터의 수집 가능 여부, 음수량 예측 정확도를 중심으로 확인하였다. [7] 모델과 [13] 모델이 계절 변화가 뚜렷한 국내 기후 특성에 적합한 모델로 선정되었다. [7] 모델과 [13] 모델은 각각 일 최저 기온의 7일 평균과

평균 기온을 변수로 포함하고 있어, 두 모델 모두 기온 변화를 반영할 수 있는 모델이다. 그러나 [13] 모델은 조단백질(Crude Protein) 함량과 DM과 같이 기존 ICT 장치 외에도, 농가에서 상시 데이터 생성이 실시되지 않는 정보를 변수로 사용하여 음수량 추정 모델로 적합하지 않다고 판단하였다. 반면, [7] 모델은 ICT 장치로 수집할 수 없는 DMI와 나트륨 섭취량을 변수로 포함하고 있지만, 선행연구 결과를 바탕으로 ICT 장치로 부터 수집된 정보로 치환하거나 상수화 할 수 있다. 또한, 오래된 모델임에도 평균제곱근예측오차(RMSPE: Root Mean Square Prediction Error)는 20% 이내로 낮게 평가되고 있어 ([13,14]) 이를 기초모델로 선택하였다.

Table 4. Extant models for dairy cows evaluated with in drinking water measurements

Reference	Models for predicting water intake (kg/d)
Castle and Thomas (1975)[5]	$= -15.3 + 2.53 \times \text{Milk} + 0.45 \times \text{DM\%}$
Little and Shaw (1978)[6]	$= 12.3 + 2.15 \times \text{DMI} + 0.73 \times \text{Milk}$
Murphy et al. (1983)[7]	$= 15.99 + 1.58 \times \text{DMI} + 0.90 \times \text{Milk} + 0.05 \times \text{NaI} + 1.20 \times \text{mnTMP}$
Stockdale and King (1983)[8]	$= -9.37 + 2.30 \times \text{DMI} + 0.53 \times \text{DM\%}$
Holter and Urban (1992)[9]	$= -32.4 + 2.47 \times \text{DMI} + 0.60 \times \text{Milk} + 0.62 \times \text{DM\%} + 0.091 \times \text{JD} - 0.00026 \times \text{JD}^2$
Dahlborn et al. (1998)[10]	$= 14.3 + 1.28 \times \text{Milk} + 0.32 \times \text{DM\%}$
Khelil-Arfa et al. (2012)[11]	$= -77.6 + 3.22 \times \text{DMI} + 0.92 \times \text{Milk} - 0.28 \times \text{CONC\%} + 0.83 \times \text{DM\%} + 0.037 \times \text{BW}$
Khelil-Arfa et al. (2012)[11]	$= -41.1 + 1.54 \times \text{Milk} - 0.29 \times \text{CONC\%} + 0.97 \times \text{DM\%} + 0.039 \times \text{BW}$
Appuhamy et al. (2014)[12]	$= -34.6 + 2.75 \times \text{DMI} + 0.84 \times \text{Milk} + 2.32 \times \text{Ash\%} + 0.27 \times \text{DM\%}$
Appuhamy et al. (2016)[13]	$= -91.1 + 2.93 \times \text{DMI} + 0.61 \times \text{DM\%} + 0.062 \times \text{NaK} + 2.49 \times \text{CP\%} + 0.76 \times \text{TMP}$
Torres et al. (2019)[14]	$= -61.28 + 0.08115 \times \text{DM} + 0.6527 \times \text{Ash} - 0.0750 \times \text{CP} + 3.9669 \times \text{DMI}$

* Milk = milk production (kg/d); DM% = dry matter percentage of the diet; DMI = dry matter intake (kg/d); BW = body weight (kg); ; DM = dry matter in diet (g/kg); CONC% = concentrate content of the diet (% of DM); CP% = dietary CP content (% of DM); Ash% = dietary total ash content; Ash = diet (g/kg DM); NaK = dietary sodium and potassium content (mEq/kg of DM); NaI = sodium intake (g/d); mnTMP = weekly minimum ambient temperature (℃); TMP = daily mean ambient temperature (℃); JD = Julian day.

RMSPE는 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$RMSPE(\%) = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}}{\bar{O}} \times 100 \quad (1)$$

Where, n: number of water intake observations, O_i : i th observed value, P_i : corresponding predicted value, $\bar{O}$: average observed value

[7] 모델의 음수량 추정식은 산유량, DMI, 나트륨, 일 최저 기온의 7일 평균을 변수로 사용하고 있다. 음수량 추정에 필요한 DMI는 음수량과 마찬가지로 일반 농장에서 자동으로 정보수집이 불가능한 변수이다. 이를 보완하고자 [16]의 DMI 추정식을 사용하였다. [16]의 DMI 추정식은 식 (2, 3)과 같다.

$$DMI = (0.372 \times FCM + 0.0968 \times BW^{0.75}) \quad (2)$$

$$\times (1 - e^{(-0.192 \times (WOL + 3.67))})$$

$$FCM = (0.4 + 15 \times milkFat) \times milk \quad (3)$$

Where, FCM: 4 percent fat corrected milk (kg/d), BW: body weight (kg), WOL: week of lactation, milkFat: milk fat (%), milk: milk production (kg/d)

식 (2)는 ICT 장치와 농장으로부터 수집이 가능한 정보인 일 최저 기온의 7일 평균, 보정유 (FCM: Fat Corrected Milk Production), 체중, 착유주차를 변수로 사용하고 있다. 따라서 [7] 모델에서 수집이 불가능한 DMI를 식 (2)로 치환하여 음수량 추정 모델을 개발하였다.

개발된 음수량 추정 모델은 산유량, 유지방, 일 최저 기온의 7일 평균, 착유주차, 체중, 나트륨 섭취량을 변수로 포함하고 있다. 일반농가의 활용도를 높이기 위해 음수량과 상관성이 적은 나트륨 섭취량을 상수로 치환하였다. 나트륨 섭취량은 DMI에 의존하지만 그 값이 미미하므로 [3]과 동일하게 나트륨 섭취량은 DMI의 0.18 %로 계산하였으며, 개발된 음수량 추정 모델은 식 (4)와 같다.

$$WI = 15.99 + 1.5801 \times (0.372 \times ((1.9311 + 15 \times milkFat) \times milk) + 0.0968 \times BW^{0.75}) \times (1 - e^{(-0.192 \times (WOL + 3.67))}) + 1.2 \times mnTMP \quad (4)$$

Where, WI: water intake (kg/d), milkFat: milk fat (%), milk: milk production (kg/d), BW: body weight (kg), WOL: week of lactation, mnTMP: weekly minimum ambient temperature (°C)

2.3 음수량 추정 모델을 이용한 농가 데이터 분석

개발한 음수량 추정 모델의 성능을 확인하기 위해 ICT 장비가 설치되어있는 젖소 스마트팜 농가의 데이터를 이용하여 모델을 평가하였다. 실측된 음수량 값이 존재하지 않으므로 직접적인 음수량 비교가 불가능하다. 따라서 모델을 통해 계산된 음수량과 선행 연구의 결과를 비교 분석하였으며, 산유량과 기온 변화에 따른 음수량 차이를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 음수량 추정 모델 평가

[7] 모델의 음수량 추정식과 [16]의 DMI 추정식을 조합하여 음수량 추정 모델을 개발하였다. 개발 모델은 산유량, 평균 일 최저 기온, 유지방량, 착유주수, 체중을 변수로 포함하고 있다. 개발모델 평가를 위해 16개 선행 연구의 51개 평균데이터를 사용하였으며, 평균 일 최저 기온의 누락으로 전체 데이터 중 평균기온의 최저값을 이용하였다. [7] 모델과 개발모델에 대한 분석 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Summary of statistical measures using regression between observed (Y) and model predicted (X) water intake(WI) of dairy cows (n = 51)^a

Item	Model	
	Murphy et al. (1983)[7]	Proposed model
Observed WI ^b (Y), kg/d	89.7±21.41	89.7±21.41
Predicted WI (X), kg/d	88.5±9.84	93±8.07
Mean bias (Y-X), kg/d	1.18	-3.31
RMSPE ^c , (%)	23.02	22.11

^a Treatment means from data of 16 peer review papers

^b WI : Water intake

^c RMSPE : Root mean square prediction error

개발 모델과 [7] 모델의 추정 음수량은 각각 93.0±8.07, 88.5±9.84 kg/d로 나타났으며, 약 4.5 kg/d의 평균 음

수량 차이가 있는 것으로 나타났다. 개발 모델과 [7] 모델의 평균 음수량 오차는 각각 3.31, 1.18 kg/d로 나타났다. 이는 실측 평균 음수량의 약 3.7, 1.3%에 해당한다. 평균 음수량 오차는 [7] 모델이 개발 모델 보다 낮았으며, RMSPE는 개발 모델과 [7] 모델 각각 22.11, 23.02%로 개발 모델이 [7] 모델 보다 낮게 나타났다. 개발 모델과 [7] 모델을 비교 분석한 결과 그 차이가 크지 않았으며 결과의 경향이 유사함을 확인하였다. 이를 통해 자동 수집 가능한 정보로부터 음수량을 추정하기 위해 사용된 [16]의 DMI 추정식이 다양한 사육환경에서 수집된 실측 DMI를 유사하게 추정하고 있음을 확인하였다.

개발모델에 기초가 되는 [7]은 음수량 추정 비교에 기준이 되는 모델이다[2,7,13,14]. 선행 연구의 데이터를 통해 [7] 모델과 개발모델의 유사성을 확인하였고, 이를 바탕으로 개발모델의 성능을 간접적으로 입증하였다. 음수량 추정 모델을 이용하여 음수량의 시계열 데이터가 누적된다면 특정 기간의 전·후 경향을 비교하여 이상 개체, 시설 이상 등 이상 징후 탐지에 도움을 줄 것이라 판단된다.

3.2 음수량 추정 모델 일반농가 적용 평가

개발 모델을 이용하여 일반 농가의 젖소 음수량을 추정하였으며, 산유량과 음수량의 분포는 Fig 1과 같다. 전체 개체에 대한 산유량과 음수량의 분석 결과 산유량 kg 당 음수량은 2.97 kg으로 나타났다. 산유량이 33~35 kg/d인 개체의 경우 산유량 kg 당 음수량은 약 2.56 kg으로, 이는 [7,17,18]에서 제시한 2.0~2.7 kg과 유사한 수준인 것으로 확인되었다. [5,6,10]은 산유량이 26 kg/d 미만인 저생산우의 음수량의 경우 산유량 kg 당 3.3~4.2 kg로 음수량이 약 2.6 kg인 일반우보다 높게 나

타났다고 보고된 바 있다. 개발 모델을 통한 음수량 추정 결과에서도 저생산우와 일반우의 산유량 대비 음수량은 각각 3.51, 2.65 kg로 유사한 결과를 가졌다.

계절에 따른 음수량 변화를 확인하기 위해 봄, 여름, 가을, 겨울로 데이터를 나누어 분석하였으며 농가 전체 데이터의 음수량 추정결과는 Fig. 2와 같다. 봄, 여름, 가을, 겨울의 평균 기온은 각각 11.83, 24.40, 13.16, 0.13℃이며, 평균 추정 음수량은 각각 76.22±8.22, 96.64±8.85, 85.84±11.69, 70.50±9.99 kg/d로 나타났다. 평균 기온이 높은 계절일수록 음수량이 증가하는 경향을 보였으며, 기온 차가 가장 큰 여름과 겨울의 음수량 차이는 26.14 kg/d로 나타났다. 기온에 따른 음수량 추정결과는 Fig. 3과 같으며, 선행 연구들에서 확인된 바와 같이 평균 기온이 높을수록 음수량은 증가하는 경향을 보였다[9,18-20]. 8~19℃ 구간에서의 음수량의 증가량은 약 1.11 kg/d/℃ [7,21,22]에서 보고한 1.2 kg/d/℃와 유사한 형태를 띄고 있는 것으로 판단할 수 있다. 개발 모델의 음수량 추정값이 선행 연구들의 결과의 경향성을 따르며, 이는 ICT 장치 정보를 이용한 음수량 추정 모델로 일반농가의 개체별 음수관리의 가능성을 시사한다고 볼 수 있다.

추가적으로 모델의 활용도를 높이기 위해 일반농장에서 측정이 어려운 체중을 상수로 고정하여 음수 추정량을 비교 분석하였다. 앞선 농가 데이터의 개체별 체중을 평균 체중인 700 kg으로 치환하여 음수량을 추정하였다. 그 결과 개체별 체중을 적용한 결과와 평균 체중을 적용한 결과가 각각 80.39±14.65, 80.37±47.08 kg/d로 큰 차이가 없이 나타났다. 따라서 농가에서 비교적 수집이 어려운 체중 정보도 상수화하여 음수량 추정모델을 개량하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

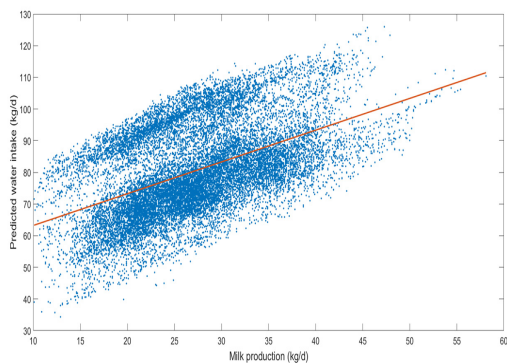


Fig. 1. Predicted water intake versus milk production; The red line represents the scatter regression line.

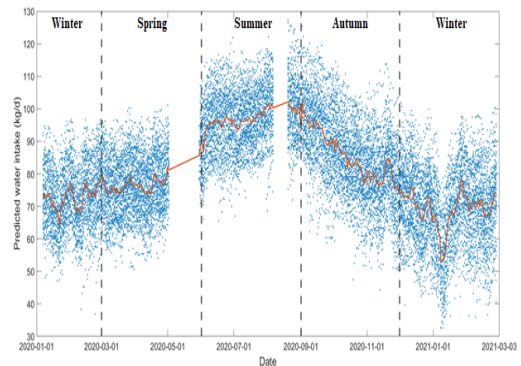


Fig. 2. Visualization of predicted water intake according to the season

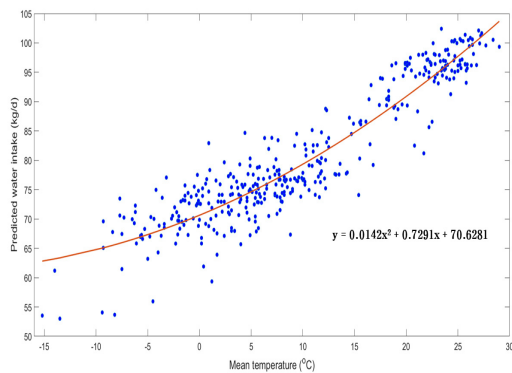


Fig. 3. Mean predicted water intake versus Mean temperature; The red line represents the scatter regression line.

3. 결론

본 연구에서는 실측이 어려운 젖소의 개체별 음수량을 추정하기 위해 선행 연구 결과를 바탕으로 스마트팜 ICT 장치의 복합 데이터를 활용한 음수량 추정 모델을 개발하였다. 개발 모델은 [7,16]의 모델을 활용한 모델이며, ICT 장치로 수집 가능한 산유량, 유지방, 일 최저 기온의 7일 평균, 체중 정보와 농장 관리자가 시스템에 입력하는 착유주차 정보를 통해 음수량을 추정이 가능하다. 선행 연구 데이터의 음수량 실측치와 비교분석 결과 음수량의 차이는 3.3 kg/d이다. 개발 모델의 RMSPE는 22.11%로 다소 높게 나타났으며, 이는 기온 데이터의 부족과 사육환경이 다른 데이터의 활용 때문에 발생한 결과로 판단된다. 기온이 중요한 변수로 작용하는 개발 모델에 개체별 일 최저 기온의 7일 평균을 이용한다면 더 우수한 성능을 보일 것이라 판단된다.

또한, 개발한 음수량 추정모델로 일반농가의 음수량을 추정할 결과, 음수량은 산유량의 약 3배로 나타났다. 기온에 따른 음수량 분포는 양의 상관관계를 가졌으며, 산유량과 기온에 따른 음수량의 변화는 선행 연구의 결과와 유사하게 나타났다. 본 연구를 통해 낙농 스마트팜에 설치되어있는 ICT 장치 정보를 통한 음수량 추정의 가능성을 확인하였다. 향후 개체별 음수량 추정을 통해 음수 관리에 대한 시스템이 농가에 보급될 수 있으며, 이를 바탕으로 음수량 추정치의 시계열 데이터가 누적 된다면 시계열 분석을 통해 음수경향 확인 또는 이상 개체 및 시설 탐지 등에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 추가적으로 ICT 장치 데이터와 함께 개체별 실측 음수량

데이터 수집을 통해 음수량 추정 모델의 개선에 대한 연구들도 추가로 필요하다고 생각된다.

References

- [1] D. M. Golher et al., "Factors influencing water intake in dairy cows: a review", *International Journal of Biometeorology*, Vol.65, No.4, pp.617-625, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02038-0>
- [2] U. Meyer, M. M. Everinghoff, D. Gädeken, G. Flachowsky, "Investigations on the water intake of lactating dairy cows", *Livestock production science*, Vol.90, No.2-3, pp.117-121, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.03.005>
- [3] D. N. Waldner, M. L. Looper, Water for dairy cattle. In: Cooperative Extension Service ANSI4275, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources, Oklahoma State University, 2007
- [4] V. Cardot, Y. Le Roux, S. Jurjanz, "Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake", *Journal of dairy science*, Vol.91, No.6, pp.2257-2264, 2008.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0204>
- [5] M. E. Castle, T. P. Thomas, "The water intake of British Friesian cows on rations containing various forages", *Animal Science*, Vol.20, No.2, pp.181-189, 1975.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0003356100035170>
- [6] W. Little, S. R. Shaw, "A note on the individuality of the intake of drinking water by dairy cows", *Animal Science*, Vol.26, No.2, pp.225-227, 1978.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0003356100039659>
- [7] M. R. Murphy, C. L. Davis, G. C. McCoy, "Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation", *Journal of dairy science*, Vol.66, No.1, pp.35-38, 1983.
DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(83\)81750-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(83)81750-0)
- [8] C. R. Stockdale, K. R. King, "Effect of stocking rate on the grazing behaviour and faecal output of lactating dairy cows", *Grass and Forage Science*, Vol.38, No.3, pp.215-218, 1983.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1983.tb01642.x>
- [9] J. B. Holter, and W. E. Urban Jr, "Water partitioning and intake prediction in dry and lactating Holstein cows", *Journal of dairy science*, Vol.75, No.6, pp.1472-1479, 1992.
DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(92\)77904-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77904-1)
- [10] K. Dahlborn, M. Akerlind, G. Gustafson, "Water intake by dairy cows selected for high or low milk-fat percentage when fed two forages to concentrate ratios with hay or silage", *Journal of Agricultural Research*, Vol.28, pp.167-176, 1998

- [11] H. Khelil-Arfa, A. Boudon, G. Maxin, P. Faverdin, "Prediction of water intake and excretion flows in Holstein dairy cows under thermoneutral conditions", *Animal*, Vol.6, No.10, pp.1662-1676, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S175173111200047X>
- [12] J. R. N. Appuhamy, L. E. Moraes, C. Wagner-Riddle, D. P. Casper, J. France, E. Kebreab, "Development of mathematical models to predict volume and nutrient composition of fresh manure from lactating Holstein cows", *Animal Production Science*, Vol.54, No.12, pp.1927-1938, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1071/AN14533>
- [13] J. A. D. R. N. Appuhamy, J. V. Judy, E. Kebreab, P. J. Kononoff, "Prediction of drinking water intake by dairy cows", *Journal of Dairy Science*, Vol.99, No.9, pp.7191-7205, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10950>
- [14] R. N. S. Torres et al., "Factors affecting drinking water intake and predictive models for lactating dairy cows", *Animal Feed Science and Technology*, Vol.254, pp.114194, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.05.017>
- [15] G. S. Kwon, "Research trends on livestock smart farm using ICT convergence technology", *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.59, No.2, pp.39-45, 2017
- [16] NRC, "Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th Ed.)", National Academy Press, Washington. DC, 2001.
- [17] R. G. Dado, M. S. Allen, "Variation in and relationships among feeding, chewing, and drinking variables for lactating dairy cows", *Journal of Dairy Science*, Vol.77, No.1, pp.132-144, 1994.
DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)76936-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)76936-8)
- [18] M. P. Hoffman, H. L. Self. "Factors affecting water consumption by feedlot cattle", *Journal of animal science*, Vol.35, No.4, pp.871-876, 1972.
DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1972.354871x>
- [19] T. A. Shultz, "Weather and shade effects on cow corral activities", *Journal of Dairy Science*, Vol.67, No.4, pp.868-873, 1984.
DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(84\)81379-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81379-X)
- [20] J. I. Richards, "Effect of high daytime temperatures on the intake and utilisation of water in lactating Friesian cows", *Tropical animal health and production*, Vol.17, No.4, pp.209-217, 1985.
DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02356978>
- [21] M. Andersson, "Effects of free or restricted access to feeds and water, and social rank, on performance and behaviour of tied-up dairy cows [eating time]", *Journal of Agricultural Research*, Vol.17, No.2, pp.85-92, 1987.
- [22] J. Moran, "Tropical dairy farming: feeding management for small holder dairy farmers in the humid tropics", Csiro publishing, 2005.

장 동 화(Dong-Hwa Jang)

[정회원]



- 2020년 2월 : 전북대학교 농업기계공학과 (공학석사)
- 2020년 1월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 축산환경과 전문연구원

〈관심분야〉

축산 스마트팜, 영상처리

양 가 영(Ka-Young Yang)

[정회원]



- 2012년 2월 : 강원대학교 동물자원학 (농학석사)
- 2016년 8월 : 강원대학교 축산학 동물시스템과학 (농학박사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 전문연구원

〈관심분야〉

동물복지, 동물행동, 축산 스마트팜

김 종 복(Jong-bok Kim)

[정회원]



- 2006년 9월 : UCLA ElectricalEng. (공학석사)
- 2006년 10월 ~ 2018년 1월 : LG 이노텍 책임연구원
- 2018년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립축산과학원 연구관

〈관심분야〉

축산 스마트팜, 반려동물 ICT

권 경 석(Kyeong-seok Kwon)

[정회원]



- 2010년 8월 : 서울대학교 지역시
스템공학 (공학석사)
- 2016년 8월 : 서울대학교 지역시
스템공학 (공학박사)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청
국립축산과학원 연구사

〈관심분야〉

시설환경, 대기환경, 전산유체역학

하 태 환(Taehwan Ha)

[정회원]



- 2014년 2월 : 서울대학교 지역시
스템공학 (공학석사)
- 2018년 2월 : 서울대학교 지역시
스템공학 (공학박사)
- 2019년 2월 ~ 현재 : 농촌진흥청
국립축산과학원 연구사

〈관심분야〉

시설환경, 축산 스마트팜, 에너지부하해석

김 중 곤(Jung-kon Kim)

[정회원]



- 2007년 2월 : 조선대학교 생물신
소재학과(환경미생물학 전공, 공학
박사)
- 2008년 10월 ~ 2009년 10월 :
Iowa StateUniversity (Post-doc.)
- 2009년 11월 ~ 2012년 12월 :
농촌진흥청국립식량과학원
(Post-doc.)
- 2013년 1월 ~ 현재 : 농촌진흥청국립축산과학원 축산환
경과 농업 연구사

〈관심분야〉

가축분뇨처리, 바이오에너지