

한국 낙농 농가의 정밀 축산 기술 도입 실태 조사

이민경, 서성원*
충남대학교 동물자원과학부

Usage Status Survey of Precision Livestock Farming Technologies on Korean Dairy Farm

Mingyung Lee, Seongwon Seo*
Division of Animal and Dairy Sciences, Chungnam National University

요약 본 연구는 국내 낙농가의 정밀 축산 기술이 적용된 장비의 사용 현황을 알아보기 위해 수행되었다. 국내 전체 낙농가의 74.4%에 해당하는 4,800 농가를 대상으로 2018년 9월부터 10월까지 약 2개월간 우편을 통한 설문 조사를 수행하였다. 배부한 4,800건의 설문지 중 3,087건이 회수되었으며, 이 중 내용을 식별할 수 없는 91건을 제외한 2,996개 농가(국내 낙농가의 46.4%)의 응답이 현황 분석에 사용되었다. 분석 결과, 80% 이상의 농가에서 텐덤 및 헤링본식 착유장 시설을 사용하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 응답 농가의 24% 및 5%가 각각 유량계와 유질 분석기를 사용하고 있는 것으로 나타났다. 한편, 자동 착유 시스템(로봇 착유기)을 사용하는 농가는 1.8%에 불과한 것으로 나타났다. 전체 응답 농가 중 약 20%의 농가가 근사형 농후사료 자동 급이기(625개 농가)와 착용형 무선 생체 센서(591개 농가)를 사용하고 있는 것으로 확인되었다. 환경정보 수집 장비는 전체 2,996개의 응답 농가 중 10.7%만이 보유하고 있는 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 설문 조사에 참여한 농가의 약 5분의 1이 개체별 데이터를 수집하기 위한 정밀 낙농 기술이 적용된 장비를 최소 한 대 이상 보유하고 있음이 확인되었다.

Abstract This survey study was conducted to investigate the current status of the use of equipment for precision livestock farming (PLF) in Korean dairy farms. The survey questionnaires were distributed by mail to 4,800 households (74.4% of the total farms) from September to October 2018. A total of 3,087 farmers answered the questionnaires. Among these, 91 were excluded due to incomplete information, and the responses from the remaining 2,996 farmers were used for the analysis. More than 80% of the farms used a tandem or herringbone type milking machine. Milk meters and milk analyzers were used by 24% and 5% of the farms, respectively. Only 1.8% of the farms were using an automatic milking system. Over 20% of the farms stated that they were using an automatic feeding station. Wearable wireless biosensors were used in 591 farms. 10.7% of the farms were equipped with an environmental information collection system that measured temperature and humidity. This study confirmed that about one-fifth of the surveyed farms had at least one piece of PLF equipment to collect individual animal data.

Keywords : Precision Livestock Farming, Usage Status, Korean Dairy Farm, Survey, Individual Animal Data

본 논문은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원 첨단생산기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음(과제번호: 318005-4).

*Corresponding Author : Seongwon Seo(Chungnam National University)

email: swseo@cnu.kr

Received December 16, 2021

Revised January 19, 2022

Accepted February 4, 2022

Published February 28, 2022

1. 서론

한국의 낙농업은 미국, 유럽 연합, 호주, 뉴질랜드 등과의 자유무역협정 체결 및 발효와 우유 및 유제품 수입량의 확대로 생산기반이 점차 축소되고 있는 동시에, 전문 노동 인력 부족과 경영주의 지속적인 고령화로 인한 경영 문제에도 함께 직면해 있다. 이에 정부와 농가에서는 낙농 산업의 지속가능성을 높이기 위해 다양한 노력을 시도해왔으며, 특히 축사 시설의 현대화와 정밀 축산(precision livestock farming) 기술의 도입에 큰 노력을 기울여왔다.

정밀 축산은 전통적인 목장 단위 수준의 대단위 사양관리 대신 개체 단위의 생리, 행동, 생산성과 관련된 데이터를 모니터링 및 관리하는 사양 방식을 의미하며[1], 무선전자개체식별장치(RFID: Radio Frequency Identification, 이하 RFID) 등을 통한 개체 인식과 각종 센서를 통한 실시간 모니터링 기술을 기반으로 한다[2]. 정부에서는 2014년부터 ‘축산분야 ICT(information and communication technology) 융복합 확산사업’을 통해 컴퓨터 혹은 모바일로 모니터링과 제어를 할 수 있는 사료 배합기, 원유 냉각기, 환경정보 수집기와 같은 축사 시설 장비부터, 착유기, 사료 자동 급이기, 생체정보 수집기(발정탐지기) 등과 같은 개체 단위의 데이터 확보가 가능한 정밀 축산 장비 구매비용을 농가에 지원한 바 있다.

한편, 축산 선진국인 유럽 연합 국가를 비롯해 미국 및 캐나다 등의 북미 국가를 중심으로 개별 장비에서 생성되는 데이터의 양에 비해 장비 종류별·판매처별로 생성되는 데이터의 단위나 빈도가 달라, 이러한 데이터들을 통합하여 활용할 수 있는 플랫폼 개발의 필요성이 제기되었다[3-5]. 이들은 국가 단위로 이기종 데이터들을 통합하는 연구뿐 아니라 이를 이용한 생산량, 발정, 질병 발생 등의 다양한 예측 모델의 개발 및 나아가 목장의 사양관리 의사결정 지원 시스템의 개발 등 낙농 산업의 경쟁력을 높이고 부가 가치를 창출하기 위한 다양한 연구를 활발하게 추진하고 있다[6,7]. 반면, 국내의 경우 여전히 개별 장비에 의한 모니터링과 자동제어 단계에 머물러 있으며, 서로 다른 장비 간의 데이터를 통합하고 관리할 수 있는 시스템의 개발과 통합된 데이터를 이용한 분석과 예측 모델을 개발하는 연구가 부족한 실정이다. 향후 한국 낙농의 지속가능성을 높이기 위한 축사 시설의 현대화와 정밀 축산 기술의 도입을 더욱 촉진하기 위해서는 축산 선진국과 마찬가지로 이기종 장비에서 생성되는

데이터들을 통합하여 활용하는 연구에 대해 초점을 맞출 필요가 있다. 이를 위해서는 실제로 어떤 종류, 어떤 판매처의 장비들이 농가에 도입되어 있는지 파악하는 조사가 선행되어야 한다.

국내에서 낙농 농가에 대한 조사는 한국낙농육우협회 낙농정책연구소에서 매년 낙농경영실태조사 보고서를 발행함으로써 진행되고 있으나, 이는 주로 경영과 관련된 경영주 연령 분포, 부채액, 사육 두수, 쿼터, 헬퍼 이용 현황 등에 관한 내용을 담고 있으며, 장비의 경우 착유기만을 대상으로 장비에 대한 구체적인 정보 없이 착유기 형태(예: 텐덤, 파이프라인, 로봇 등)에 대한 보유율만을 조사하고 있다[8]. 또한, 이 조사의 경우에 조사 농가가 평균 700호 내외로 전체 낙농가의 10% 이하에 불과하므로 실제 낙농가가 보유하고 있는 장비의 현황 조사에는 표본의 수가 부족하다고 할 수 있다. 따라서, 본 연구는 통해 국내 낙농가에서 활용되고 있는 착유기, 유량계 및 원유 성분 분석기, 사료 자동 급이기, 생체정보 수집기와 같은 정밀 낙농 장비의 도입 현황과 개별 동물의 생산성, 질병 등에 영향을 미치는 농가 내 환경정보를 수집하는 환경정보 수집기의 현황을 조사하고자 실시되었다. 본 연구에서는 전국 낙농가의 74.4%(2018년 기준)인 약 4,800 농가를 대상으로 우편 조사를 실시하였으며, 그 중 회수된 약 3,000 농가의 설문지를 분석함으로써 실시되었다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 국내 낙농가를 대상으로 실시한 설문조사 내용을 바탕으로 수행되었다. 설문조사는 2018년 9월 4일부터 10월 19일까지 총 45일간 국내 낙농가 약 4,800호(전체 낙농가의 약 74.4%, 통계청 2018년 4/4분기「가축동향조사」보고 기준)를 대상으로 설문지를 우편 발송하여 실시되었으며, 주요 설문 항목 및 내용으로는 소재지, 사육 규모, 일일 유생산량 등의 목장 기초 정보와 착유기, 생체정보인식기, 사료 자동 급이기, 환경정보 수집기의 형태, 제조회사, 모델명, 구입 연도 등이었다[Table 1]. 설문지는 총 4,800부 중 3,087부(약 64.3%)가 우편을 통해 회수되었으며, 회수된 설문지는 추가 분석을 위해 2018년 11월 5일부터 11월 9일까지 약 5일간 엑셀을 기반으로 각 항목에 대해 데이터베이스화를 수행하였다. 회수된 설문지 3,087부 중 내용이 없거나, 식별할 수 없는 설문지 91부(약 2.95%)를 제외하고 총 2,996 농가

(전체 낙농가의 46.4%)의 설문지 결과가 데이터베이스화 되었으며, 분석에 이용되었다.

Table 1. Survey items and details

Items	Details	Contents
Basic information	Location	City & Province
	No. of animals	No. of total animals
		No. of lactating cows
Daily production	kg	
Milking machine	Type	Conventional system Robotic system
	Manufacturer	Model
	Sensor	Milk meter
Milk analyzer		
Automatic feeder	Manufacturer	Model
Wearable wireless biosensor (Heat detector)	Type	Neck collar
		Ear tag
		Leg tag
		Rumen bolus
		Tail tag
Manufacturer	Model	
Environmental information collection system	Collecting items	Ambient temperature
		Relative humidity
		Wind direction
		Wind speed
		CO ₂ gas
		NH ₃ gas

3. 결과

본 연구에 이용된 설문지를 작성한 농가 총 2,996호의 분포는 인천·경기 지역이 40.8%로 가장 높았으며, 세종·충남 지역 및 대구·경북 지역이 각각 16%, 11%로 그 뒤를 이었고, 강원 및 전남 지역이 약 4%씩으로 가장 적었다[Table 2]. 통계청에서 발표한 2018년 4/4분기 「가축동향조사」보고 기준으로 지역별 평균 조사 참여율은 48.8%였다.

Table 2. Summary of regional distribution of farms participated in the survey

Regions	Participated farms (%)	Total farms*	Percentage
Incheon & Gyeonggi	1,223 (40.8)	2,633	46.4

Sejong & Chungnam	467 (15.6)	1,086	43.0
Daegu & Gyeongbuk	321 (10.7)	670	47.9
Jeonbuk	258 (8.6)	495	52.1
Busan & Gyeongnam	249 (8.3)	400	62.3
Chungbuk	225 (7.5)	345	65.2
Gangwon	132 (4.4)	278	47.5
Jeonnam	121 (4.0)	466	26.0
Total	2,996 (100)	6,373	Avg. 48.82

*Out of a total of 6,451, 78 (Seoul), 24 (Ulsan), 8 (Gwangju), and 45 (Jeju) were excluded based on the 2018 4/4 Livestock Statistics Survey of Statistics Korea

3.1 착유기 보유 현황

설문 조사에 응답한 2,996호 중 일반 착유기 사용 농가가 98.1% (2,941호)를 차지하였으며, 로봇 착유기(자동 착유 시스템) 사용 농가는 1.9% (55호)만을 차지하였다[Fig. 1]. 일반 착유기는 오리온(ORION Machinery Co., Ltd, 일본), 웨스트팔리아(GEA Farm Technologies, 독일), 드라발(DeLaval International AB, 스웨덴), 풀우드(Fullwood Ltd., 영국), 보우메틱(Boumatic LLC, 미국)의 5개 업체가 일반 착유기를 보유한 농가 2,941호 중 약 70%를 차지하였다. 로봇 착유기의 경우 드라발과 렐리(Lely Industries NV, 네덜란드)의 2개 업체만이 확인되었다.

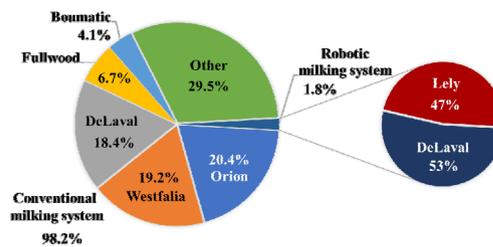


Fig. 1. Market share of milking machine by manufacturers (n = 2,996)

일반 착유기의 설치 형태는 텐덤식이 조사된 전체 일반 착유기 보유 농가의 43.8%를 차지하여 가장 많이 사용되고 있는 유형으로 나타났으며, 헤링본식이 38.3%로 두 번째로 많이 사용되고 있는 형태로 나타났다[Table 3]. 파이프라인 및 병렬식 형태는 각각 7.5%, 2.4%로 조사된 일반 착유기 보유 농가의 약 10%를 차지하였다. 조사된 농가의 착유기 유형 중 8%를 차지하는 기타 유형

로는 버킷식, 회전식(로터리)이 있었으나, 235호 중 230호의 답변은 기입 이상 및 누락 등으로 형태를 알 수 없는 경우에 해당했다.

Table 3. Installation type of conventional milking system (n = 2,941)

Type	No. of farm	Percentage
Tandem	1,289	43.8
Herringbone	1,126	38.3
Pipeline	222	7.5
Parallel	69	2.4
Others*	235	8.0
Total	2,941	100.0

*Bucket, rotary parlor, not applicable, and missing entry

착유기 내 개체별 유량 및 유성분 확인이 가능한 개체별 유량계 및 유성분 분석기가 설치된 농가는 이 두 가지 장치가 기본적으로 장착된 로봇 착유기를 보유한 농가 55호를 포함하여, 총 2,996 농가 중 각각 708호(23.6%), 135호(4.5%)로 나타났다[Fig. 2].

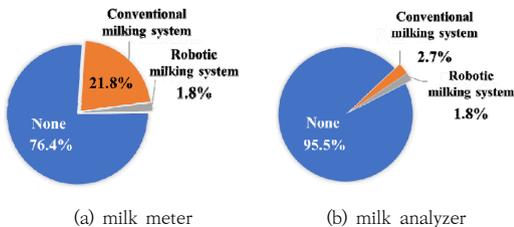


Fig. 2. Installation status of milk meter and milk analyzer in milking machine (n = 2,996)

3.2 농후사료 자동급이기 보유 현황

설문 조사 결과, 농후사료 자동급이기를 사용하고 있는 낙농가는 2,996호 중 37.7% (1,129호)로 나타났으나, RFID를 통해 개체별 급이량 설정과 섭취량 등의 급이 정보 기록이 가능한 스테이션 형태의 자동급이기 (automatic feeding station)를 사용하는 것으로 확인된 농가는 625호로 55.4%(전체 20.9%)를 차지하였으며, 개체 인식 기능 없이 정해진 양을 정해진 시간에 일괄적으로 시설이 설치된 사료조에 직접 급이 하는 기능을 가진 일반형 급이기를 사용하는 것으로 확인된 농가는 130호로 11.5%를 차지하였다. 제조사 확인은 가능하나 장비 종류의 식별이 어려운 경우와 정보의 불충분한 기입 등으로 제조사 확인조차 어려운 경우가 나머지 374

호(33.1%)에 해당하였다. 개체인식기능이 탑재된 군사형 장비의 제조사별 점유율은 다운(Dawoon Co., 한국)과 드라발 두 개 업체가 89%를 차지하였으며, 나머지 11%는 웨스트팔리아, 네답, 렐리 순으로 점유율을 보였다 [Fig. 3].

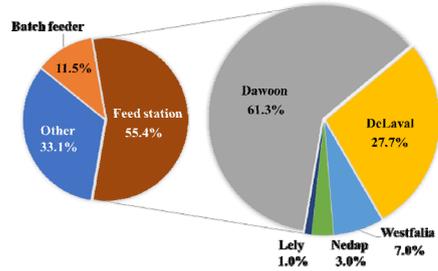


Fig. 3. Market share of automatic concentrate feeder by manufacturers (n = 1,129)

3.3 생체정보 수집기(발정탐지기) 보유 현황

생체정보수집기(일명 발정탐지기)의 경우 2,996호 중 591호로 전체의 20%가 사용하고 있는 것으로 조사되었다[Table 4]. 생체정보수집기의 종류로는 목걸이형이 591호 중 416호로 가장 많이 사용되고 있는 것으로 나타났다. 발목부착형, 귀부착형, 반추위삽입형이 각각 87호, 63호, 25호로 뒤를 이었다.

Table 4. Usage status of wearable wireless sensors (n = 591)

Type	No. of farm	Percentage
Neck collar	416	70.4
Leg tag	87	14.7
Ear tag	63	10.7
Rumen bolus	25	4.2
Total	591	100

목걸이형은 SCR(SCR Engineers Ltd., 이스라엘)과 드라발(DeLaval International AB, 스웨덴) 2개 업체가 총 416호 중 약 85%를 차지하였으며, 그 외 네답(Nedap livestock management, 네덜란드), 아피밀크(Afimilk Ltd., 이스라엘), ENGS(ENGS Systems Ltd., 이스라엘), GEA, 보우메틱 등의 업체가 나머지 약 14%를 차지하였다[Fig. 4(a)]. 발목부착형은 총 2개의 업체가 확인되었으며, 그 중 아피밀크사가 87호 중 96.6%로 대부분을 차지하였다[Fig. 4(b)]. 귀부착형의 경우 카우

매니저(CowManager B.V., 네덜란드)사가 63호 중 87%로 가장 많은 점유율을 나타냈으며, SCR의 경우 13%로 그 뒤를 이었다[Fig. 4(c)]. 반추위삽입형 역시 2개 업체가 양분하고 있었으며, 라이브케어(UlikeKorea Co., Inc., 대한민국)와 스맥텍(smaXtec animal care GmbH, 오스트리아)이 각각 60%와 40%의 점유율을 나타냈다[Fig. 4(d)].

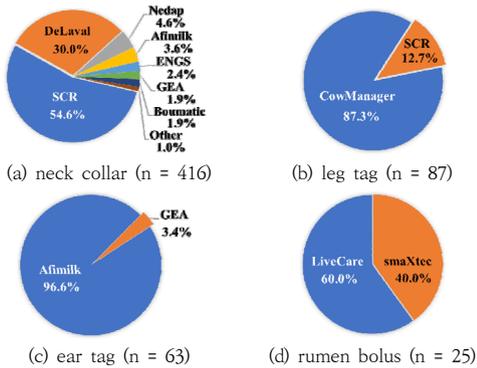


Fig. 4. Market share of wearable wireless sensor system by manufacturers

3.4 환경정보 수집기 보유 현황

농장 내외의 온도, 습도, 이산화탄소 및 암모니아 농도, 풍향, 풍속 등을 측정하는 환경 센서를 포함하는 환경 정보 수집기는 2,996호 중 10.7%(316호)가 보유하고 있다고 응답하였다[Table 5]. 중복응답이 가능한 측정 항목 별 조사에서 온도를 수집하는 농가가 316호 중 264호(83.5%)로 가장 많았으며, 습도를 측정하는 농가가 147호(46.5%), 풍향을 측정하는 농가는 52호(16.5%), 풍속을 측정하는 농가는 44호(13.9%)로 조사되었다. 이산화탄소 농도와 암모니아 농도를 측정하는 농가는 각각 6호 및 7호로 1.9%와 2.2%를 차지하는 것으로 조사되었다.

Table 5. Installation type of environmental information collection system
(n = 2,996; multiple selection possible)

Items	No. of farm	Percentage
Ambient temperature	264	83.5
Relative humidity	147	46.5
Wind direction	52	16.5
Wind speed	44	13.9
CO ₂ gas	6	1.7
NH ₃ gas	7	2.2
Total	316	-

또한, 1개 항목만을 수집하는 농가가 전체의 49%(155호)였으며[Fig. 5], 6개 항목 중 단일 항목으로 가장 많이 측정되는 항목은 온도로 69%를 차지하였다. 2개 항목을 수집하는 농가는 42.4%(134호)였으며, 온도와 습도를 함께 측정하는 농가가 87%를 차지했다. 3개 항목을 수집하는 농가 중 36%가 온도, 습도, 풍향을 가장 많이 수집하였으며, 4개 항목을 수집하는 농가는 여기에 풍속을 더해 수집하는 농가가 91%로 가장 많았다. 이산화탄소 농도를 포함하여 총 5개 항목을 수집하는 농가와 이산화탄소 농도 및 암모니아 농도를 포함하여 총 6개 항목을 모두 수집하는 농가는 각각 1곳으로 조사되었다.

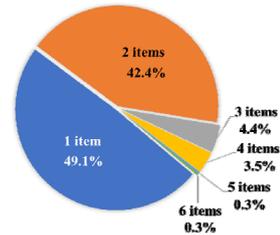


Fig. 5. Current status of the number of items to collect environmental information by farm (n = 316)

4. 결론

국내 낙농 산업의 고령화 등 지속적인 인력 문제의 대두와 정부 차원에서 실시된 대규모 지원 사업으로 국내 낙농가에는 다양한 ICT 융복합 장비가 도입되었다. 하지만, 지원 사업이 실시된 이후 현재까지 장비 종류, 유형, 수집 정보 등과 같은 구체적인 사용 현황에 대한 농가 단위의 실제적인 조사는 이루어지지 않은 실정이다. 따라서 본 연구는 국내 낙농 장비의 사용 현황을 조사하기 위해 실시되었다. 본 현황 조사에는 우편을 이용한 비대면 설문 조사 방법이 사용되었으며, 전국의 약 4,800여 개의 낙농가를 대상으로 설문 조사를 배부하고 회수된 약 3,000여 개 농가의 설문지를 분석함으로써 수행되었다.

설문에 대한 응답을 분석한 결과, 지난 20년간 국내 착유 시설에 큰 변화가 있었음이 확인되었다. 착유기는 버킷 및 파이프라인 착유기와 같은 구형 착유기, 텐덤, 헤링본, 병렬(혹은 side-by-side), 로터리 등의 형태를 갖는 착유실(milking parlor) 착유기, 인력 없이 착유가 가능한 로봇 착유기로 구분할 수 있는데[9,10], 구형 착

유기는 80년대, 착유실 착유기는 90년대 후반, 로봇 착유기는 2000년대 도입되었다. 본 연구에서 국내 낙농가의 80% 이상은 착유실 착유 방식(텐덤 및 헤링본)을 사용하고 있었으며, 구형 착유기(버킷 및 파이프라인)의 사용 비율은 단 7.5%로 나타났다. 이전 조사 결과에 의하면, 1995년 국내 착유기 사용 비율은 구형 착유기가 98% 이상이었으며, 착유실 착유기의 경우 단 1.8%였다[11]. 이후 구형 착유 방식의 비율은 2007년 54.4%에서 2011년 38.2%로 감소하였고, 정부의 지원 사업이 시행된 2014년에는 약 24%로 감소한 것으로 보고된 바 있다[12]. 반면 착유실 착유 방식의 이용률은 2007년에는 41%로, 2011년에는 58%로 증가하였고[11], 2014년에는 약 70%로 증가한 것으로 보고되었다[12]. 즉, 1995년부터 약 20여 년이 지난 현재 구형 착유기의 사용률은 1995년에 비해 90%p 이상이 감소하였고, 텐덤 및 헤링본 착유기의 사용 비율은 79%p 이상 증가하여, 국내 착유 시설에 상당한 변화가 있었다고 할 수 있다.

또한 착유기의 변화와 함께 개별 동물의 유량 및 유성분을 측정하는 센서 장비도 일부 농가에서 사용되고 있는 것으로 나타났다. 현대식 착유기는 유량계와 유성분 분석 센서 등을 추가 설치할 수 있는 옵션을 가지고 있는데, 설치 시 개체별로 측정된 정보를 별도의 프로그램을 통해 제공하며[13], 동물의 건강 이상이나 우유 이상 알람과 같은 사양 관리 지원 서비스도 함께 농장주에게 제공한다[14]. 과거에는 납유 후에 벨크 단위의 착유 정보만을 얻을 수 있었으며, 검정 사업에 참여하는 경우에만 개체 단위의 정보를 월별로 얻을 수 있었다. 이러한 착유 시스템의 발달은 일반 농가에서도 개체의 착유 정보를 일별로 확보할 수 있게 하였다. 이러한 장점에도 국내에서 유량계는 708호, 유성분 분석기는 단 135호만이 보유하고 있는 것으로 나타나, 아직 이러한 정밀 사양 관리를 위한 센서들의 보급은 저조한 것으로 나타났다. 국외에서는 일찍이 이러한 개체의 개별 착유 데이터를 이용한 생산 및 질병 예측 모델 개발뿐만 아니라 이러한 모델을 적용하였을 때의 농가 이익에 대한 연구들이 이루어지고 있다[15-18]. 반면, 국내에서는 현재까지 이러한 연구들의 진행이 미흡한 실정인데, 추후 국내에서도 이러한 데이터를 활용한 현장에서 활용할 수 있는 모델의 개발과 수익성 분석 연구 등이 이루어진다면, 개체별 착유 정보 확보를 위한 장비의 이용률도 증가할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 국내 착유 시스템의 현대화에도 불구하고 가장 최신의 착유 기술인 로봇 착유기의 경우에는 2007년 이

후 10년 이상이 지난 현재 다른 착유 시설에 비해 큰 이용률의 증가를 나타내지 않았다. 자동 착유 시스템(automatic milking system)이라고도 불리는 로봇 착유기는 로봇 팔(robot arm)이라는 장치로 자발적으로 입장한 젖소의 유두를 레이저로 인식하고 유두컵을 유두에 부착하여 착유하는데[19], 유량계, 유성분 분석 센서, 체세포 분석 센서 등 다양한 센서의 부착을 통해 다양한 생산 데이터의 확보가 가능하다[20]. 이러한 기능으로 인해 로봇 착유기는 일반 착유기와 비교하면 상당히 고가이나 노동 시간 및 노동 인력의 절감이 가능하며[21], 착유 횟수의 증가로 생산성 향상에 이점이 있는 장비로 알려져 있다[22-24]. 하지만 국내 낙농가의 로봇 착유기 보유율은 2007년 0.2%에서 2011년 0.2%p 증가한 0.4%를 나타냈으며[11], 한국낙농우육협회가 매년 약 700호의 낙농가를 대상으로 설문 조사를 실시한 후 발간하는 낙농경영실태조사 보고서에는 2016년이 되어야야 표본 농가에 로봇 착유기 도입 농가가 출현하였으며, 2017년에는 0.8%, 2018년에는 1.1%의 도입률을 나타냈다[25]. 약 3000호가 참여한 본 연구에서는 2007년과 비교하여 단 1.6%p 증가한 1.8%의 정체된 도입률을 나타냈다. 로봇 착유기 1대당 평균적인 착유 가능 두수는 50~60두로[26,27], 평균 호당 사육 두수가 2018년 기준 63두인 국내 낙농가의 경우 로봇 착유기 도입이 충분히 가능한 상황이지만, 조사 결과처럼 정체된 도입률을 나타내는 것은 쿼터 제도를 통해 납유량이 제한된 국내 낙농 산업의 특성상 이용률의 증가가 빨라지지 못한 것으로 판단된다. 하지만, 2018년 국내 낙농가 경영주의 연령분포 조사 결과에서 50대와 60대가 70% 이상을 차지하고 있으며, 2011년에 비해 50대의 비율이 26.5%p 감소하고 60대가 26.5%p, 70대가 1.1%p 증가하여 고령화가 심화되고 있는 것을 알 수 있으며[25], 국내 로봇 착유기 설치 동기를 조사한 이전 문헌에서는 전체 설치 동기 중 노동력의 부족이 첫 번째(44% 차지)로 나타난 바 있는데, 이러한 지속적인 낙농 인력의 고령화 문제를 생각할 때 향후 로봇 착유기의 도입은 생산성 향상 도모의 목적보다는 인력 대체의 목적으로 지속해서 증가할 가능성이 있다고 볼 수 있다.

착유기의 현대화와 더불어 국내 낙농가에는 개체별 생체정보수집기의 보급도 확인되었다. 응답 농가의 20%(591호)가 사용하고 있는 이 생체정보수집기는 젖소의 신체에 직접 삽입하거나 부착하는 기기로서 주로 개체의 발정을 탐지할 목적으로 사용되어 일명 발정탐지기라 불리는데, RFID 및 가속도 센서 등의 각종 측정 센서

들을 포함하고 있어 개체별 활동량, 반추 시간 등의 생체 정보를 생성하고, 자체 알고리즘을 통해 목장주에게 발정뿐만 아니라 건강 이상 등의 알람을 제공하는 기능을 한다[28]. 이러한 생체정보수집기는 장착 위치에 따라 귀 부착형, 굴레형, 목걸이형, 반추위 삽입형, 발목부착형, 꼬리부착형, 질 삽입형 등으로 구분할 수 있다[29]. 본 설문 조사 결과에서는 굴레형, 꼬리부착형, 질 삽입형은 확인되지 않았으나, 보유 농가 중 70.4%가 목걸이형을 사용하고 있는 것으로 나타났다. 이는 목걸이형 센서와 착유기 및 사료 자동 급이기와의 연동이 가능하기 때문으로 판단된다. 일반적으로 착유기 및 사료 자동 급이기 사용을 위한 개체 인식장치로 목걸이형이 주로 이용되며, 생체정보수집기능이 옵션으로 추가할 수 있다[28]. 실제로 여러 형태의 생체정보수집기 중 가장 많은 회사에서 목걸이형 센서가 판매되고 있으며[28], 본 조사에서도 목걸이형이 가장 다양한 제조사로부터 구매되었음이 확인되었다. 목걸이형과 마찬가지로 착유기와 연동을 할 수 있는 발목부착형 장치의 경우, 생체센서 보유 농가 중 두 번째로 많은 14.7%가 사용하고 있는 것으로 확인되었으며 이 중 약 97%가 착유기 제조사인 아피밀크(Afimilk)사에서 판매된 것으로 확인되었다. 하지만, 국내 젖소 농가의 경우 톱밥 깔짚 우사가 90% 이상을 차지하여[30], 프리스틀 형태의 우사가 대부분인 국외에 비해 센서가 분뇨로 오염되는 등의 문제가 쉽게 발생하기 때문에 목걸이형과 비교하면 선호도가 낮은 것으로 파악된다. 센서 보유 농가 중 10.7%가 사용하고 있는 귀부착형 센서의 경우, 젖소의 귀 중앙부에 이표와 같은 방식으로 장착하는 형태로 센서 중에서 가장 크기가 작고 무게가 가볍다[28]. 하지만 착유기 혹은 사료 자동 급이기 등과의 연동성은 적기 때문에 목걸이형이나 발목형에 비해 덜 선호되는 것으로 판단된다. 마지막으로 반추위 삽입형 센서의 경우, 본 연구에서 조사된 농가는 4%(25호)에 불과하나 유일하게 국내 제품의 점유율이 확인되었다. 이 센서의 경우 체외에 부착하는 다른 센서와는 달리 특수 기구(일명 bolus gun)를 이용하여 알약 형태의 센서를 반추위에 직접 투입함으로써 장착하는데, 센서의 장착 방식과 회수가 어려우므로 다른 생체정보수집기보다 선호도가 낮은 것으로 판단된다. 한편, 이 생체정보수집기는 섭취 시간, 반추 시간, 활동량, 반추위 온도 등과 같은 개별 동물의 행동 및 생리적 변수를 생성하기 때문에, 국외에서는 착유 정보와 함께 발정과 질병 예측 모델의 중요한 입력 변수로 활용해왔다[31-35]. 본 연구 결과에서 나타났듯이 생체정보수집기는 현재 국내에 많이 보급되

어 있지 않지만, 생성 정보의 다양성과 중요성이 이미 여러 연구에서 밝혀진 바 있으므로 앞서 언급한 것과 마찬가지로 생성되는 데이터를 이용하여 농가가 직접 사용할 수 있는 정확도 높은 발정 및 건강 진단 모델 등의 개발이 이루어진다면 마찬가지로 보급률이 높아질 것으로 판단된다.

농후사료 자동 급이기는 착유기 다음으로 낙농가에서 많이 보유하고 있는 장비로 나타났다. 이는 국내 낙농 사양이 완전혼합사료만을 급이 하는 TMR(total mixed ration) 사양 방식보다는 부분혼합사료를 급이 하며 개체 혹은 우군별로 농후사료를 추가적으로 급이 하는 PMR(partial mixed ration) 사양[36]을 주로 하고 있기 때문으로 사료된다. 농후사료 자동급이기는 국내에 두 가지 종류가 활용되고 있는 것으로 확인되었는데, 하나는 농후사료가 사료빈으로부터 디스크 혹은 오거 방식을 통해 여러 개의 디스펜서로 분배된 후, 정해진 시간에 일괄적으로 각 우방에 급이 되도록 하는 편의성을 강조한 기능을 가진 일괄 급이 형태의 자동 급이기로 착유장 내 농후사료 급여 장치(parlor feeding system)와 유사한 형태이다. 다른 하나로는 사료가 급여되는 장소에 개체가 원하는 시간에 자발적으로 방문하면 개체 인식 기능과 컴퓨터 프로그램을 통해 설정된 급이량에 따라 농후사료를 급이하고 급이 시간 및 급이량을 기록하는 스테이션 형태의 자동 급이기(automatic feeding station)가 있으며[37], 일반적으로 사료 자동 급이기는 이러한 스테이션 형태의 장비를 의미한다. 자동 급이기를 보유한 농가에서 스테이션 형태의 급이기 비율이 55.4%로 11.5%를 차지하는 일괄 급이 형태의 급이기에 비해 약 43%p 높았는데, 이는 낙농가에서 자동 급이기의 구매는 작업자의 편리성만을 위해 구매한 것이기보다는 개체별 맞춤 급여 관리를 목적으로 구매하고 있는 것으로 판단된다.

축사 내외부의 환경 온도, 습도, 풍향, 풍속, 이산화탄소 농도, 암모니아 농도 등을 측정 및 기록하는 장비인 환경정보 수집기는 국내 낙농가에서 단독 장비 중 가장 적은 비율로 보유하고 있는 것으로 나타났다. 현재까지 환경정보에 대한 중요성은 환경 온도 및 습도[38,39], 가스[40,41] 등이 치명적으로 작용하는 돼지와 닭에서 주로 강조되어왔으며, 환경정보 수집기의 경우 환기 시스템을 갖춘 밀폐형 축사 비율이 높은 돈사와 계사에서 주로 연구 및 이용되어왔다[42-44]. 반면 소의 경우 환경 변화에 대한 영향이 닭 및 돼지와 비교하여 치명적이지 않으며[45], 우사 시설 역시 대부분 개방형이기 때문에

[30], 이러한 환경정보 수집기의 보급이 저조한 것으로 판단된다. 하지만, 낙농우 역시 환경 온습도의 변화에 따라 생산, 번식, 질병 발생 등에 영향이 있는 것으로 잘 알려져 있으며[46-48], 특히 이산화탄소나 암모니아와 같은 가스 발생량의 경우에는 낙농에서 지구온난화 및 환경 오염원으로서 연구되고 있는 주요 항목이다[49,50]. 또한, 온도, 습도, 풍속과 같은 환경정보의 경우 이미 젖소의 건물섭취량 예측 모델과 영양소 요구량 예측 모델과 같은 정밀 사양을 위한 모델의 보정에 있어 주요한 정보로 사용되고 있으므로, 이러한 모델에 대한 농가의 접근성이 가까워진다면 환경정보 수집기의 보급이 보다 확산될 것으로 판단된다.

결론적으로 본 조사는 낙농가가 보유하고 있는 시설을 대규모로 조사한 가장 최신의 연구로서, 2018년 한국낙농육우협회 낙농정책연구소에서 발표한 『2018 낙농경영 실태조사』에서 보고에 사용한 표본 농가 564호보다도 약 5.3배 많은 낙농가가 참여하여 응답한 결과라는 것에 의의가 있으며, 사료 자동 급이기, 생체정보수집기, 환경정보 수집기와 같은 ICT 장비에 대한 현황을 조사한 첫 번째 연구라는 점에 의의가 있을 것으로 판단된다. 본 조사를 통해 착유기의 경우 90년대 후반 버킷 및 파이프라인 착유 방식이 98%를 차지하고, 약 2%에 불과하던 텐덤 및 헤링본 착유 방식이 2018년에는 81%를 차지하는 것으로 나타나 20여 년간 국내 낙농 시설에 대규모의 변화가 있었다는 것을 확인할 수 있었으며, 공식적인 국내의 조사 결과 혹은 해외 자료가 존재하지 않아 보급률의 비교는 어려우나 개체 인식 기능을 통해 개체별 데이터 확보가 가능한 유량계, 사료 자동 급이기, 생체정보 수집기(발정탐지기)의 보급률이 20% 이상이라는 것을 통해 국내 낙농 시설의 현대화 및 선진화가 분명히 진행되고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

하지만 최근 축산 선진국을 중심으로 ICT 장비 도입 이후의 문제점으로 데이터 생성량에 비해 이러한 데이터들을 복합적으로 해석하고 활용할 수 있는 플랫폼이 부재하다는 점과 생성된 데이터의 품질을 관리하고 다양한 장비로부터 생성된 다양한 데이터를 통합하고 표준화하는 플랫폼이 부재하다는 점이 대두되었다[3-5]. 국내에서도 이러한 점을 해결하기 위한 연구 사업이 정부 기관을 중심으로 수행되고 있으나 현재 기초 수준에 머물러 있으며, 이는 ICT 장비를 판매하는 업체와 데이터 제공 협의뿐만 아니라 향후 업체 간의 장비 통신 및 데이터 규격을 표준화하는 등의 합의가 필요한 부분이 있어 국내 보유 중인 장비가 대부분이 외산 제품인 것을 고려할 때

대두된 문제점을 해결하기 위해서는 더욱 큰 어려움이 존재할 것으로 판단된다. 따라서, 이러한 문제를 해결하고 추가적인 낙농 시설의 선진화를 도모하기 위해서는 국산 제품의 개발과 보급을 장려함은 물론 현재 상용화된 제품들에 대한 규격을 통일할 수 있는 방안을 모색하는 것이 선행되어야 할 것으로 판단된다. 이러한 과정을 통해 통합된 ICT 데이터가 수집된다면, 현재 국내외로 개발되고 있는 ICT 데이터를 활용한 생산, 질병 및 발정 예측 등의 정밀 사양 모델의 현장 적용이 가능해지는 것은 물론 현재 미국에서 추진되고 있는 낙농 통합 의사결정 지원 플랫폼 “Dairy Brain” 프로젝트[6]나 유럽 연합의 “SmartCow” 프로젝트(<https://www.smartcow.eu/>)와 같이 한국형 낙농 스마트팜 통합 의사결정 지원 시스템의 개발이 가능해질 것으로 판단된다. 낙농 현장에 적용할 수 있는 시스템의 개발은 추가적인 ICT 장비의 도입률을 증진해 낙농 시설 선진화를 가속할 것이며, 이는 낙농 산업의 지속가능성 향상으로의 선순환을 일으킬 것으로 사료된다.

마지막으로 본 연구는 면접원의 이용 없이 우편을 통해 실시한 비대면 설문 조사 방법을 이용함으로써, 이 조사 방법에 대한 이점으로 보고된 바와 같이 더욱 넓은 지역을 저렴한 비용으로 빠르게 조사할 수 있었다는 장점이 있었으나[51], 응답자의 이해 수준에 따른 오폭기가 존재하고 표기한 내용에 대한 식별이 불가능한 경우 등 답변의 오류가 상당량 존재하였다는 점에 대해서는 한계점이 있었으며, 이는 설문 조사 결과를 종합하고 도출하는 과정에서의 시간 지연에 큰 영향을 미쳤다. 또한, 응답자 대부분이 고령임을 고려하고, 설문지의 회수율을 높이기 위해 최대한 간편하게 응답을 할 수 있도록 제작된 설문 형식으로 인한 제한된 답변으로 좀 더 세부적인 분석(보유한 장비의 모델, 사양, 생성 데이터 종류 등)이 어려웠다는 점에서 한계가 있었다. 향후 실시될 현황 조사의 경우 이러한 점을 보완할 수 있는 조사 방법을 선택(면접원 파견 혹은 설문 조사지 내 상세 설명 추가 등)하고, 좀 더 면밀한 분석이 이루어질 수 있도록 세부적인 필수 조사 항목을 추가한 설문 조사지의 작성이 중요할 것으로 보인다.

References

- [1] J. Bewley, “Precision dairy farming: Advanced analysis solutions for future profitability”, *Proceedings of the*

- first North American conference on precision dairy management*, Toronto, Canada, pp.1-16, March 2010.
- [2] L. Ruiz-Garcia, and L. Lunadei, "The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.79, No.1, pp.42-50, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.08.010>
 - [3] C. Eastwood, L. Klerkx, and R. Nettle, "Dynamics and distribution of public and private research and extension roles for technological innovation and diffusion: Case studies of the implementation and adaptation of precision farming technologies", *Journal of Rural Studies*, Vol.49, pp.1-12, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.11.008>
 - [4] M. C. Ferris, A. Christensen, and S. R. Wangen, "Symposium review: Dairy Brain—Informing decisions on dairy farms using data analytics", *Journal of Dairy Science*, Vol.103, No.4, pp.3874-3881, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17199>
 - [5] N. Gengler, "Symposium review: Challenges and opportunities for evaluating and using the genetic potential of dairy cattle in the new era of sensor data from automation", *Journal of Dairy Science*, Vol.102, No.6, pp.5756-5763, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15711>
 - [6] V. E. Cabrera, J. A. Barrientos-Blanco, H. Delgado *et al.*, "Symposium review: Real-time continuous decision making using big data on dairy farms", *Journal of Dairy Science*, Vol.103, No.4, pp.3856-3866, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17145>
 - [7] L. Munksgaard, M. R. Weisbjerg, J. C. S. Henriksen, and P. Løvendahl, "Changes to steps, lying, and eating behavior during lactation in Jersey and Holstein cows and the relationship to feed intake, yield, and weight", *Journal of Dairy Science*, Vol.103, No.5, pp.4643-4653, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17565>
 - [8] Korea Dairy and Beef Farmers Association (KDBFA), 2020. 2020 Survey on dairy farm management. Korea Dairy and Beef Farmers Association, Seoul, Korea. (in Korean).
 - [9] J. E. Hillerton, "Milking equipment for robotic milking", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.17, No.1, pp.41-51, 1997.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(96\)01222-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(96)01222-7)
 - [10] M. Hovinen, M. D. Rasmussen, and S. Pyörälä, "Udder health of cows changing from tie stalls or free stalls with conventional milking to free stalls with either conventional or automatic milking", *Journal of Dairy Science*, Vol.92, No.8, pp.3696-3703, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1962>
 - [11] Rural Development Administration (RDA), 2018. Agricultural technology guide: livestock farming equipment. Rural Development Administration, Jeonju, Korea. (in Korean).
 - [12] Korea Dairy and Beef Farmers Association (KDBFA), 2014. 2014 Survey on dairy farm management. Korea Dairy and Beef Farmers Association, Seoul, Korea. (in Korean).
 - [13] N. R. Zwald, K. A. Weigel, Y. M. Chang, R. D. Welper, and J. S. Clay, "Genetic evaluation of dairy sires for milking duration using electronically recorded milking times of their daughters", *Journal of Dairy Science*, Vol.88, No.3, pp.1192-1198, 2005.
DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72785-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72785-5)
 - [14] E. Maltz, "Individual dairy cow management: Achievements, obstacles and prospects", *Journal of Dairy Research*, Vol.87, No.2, pp.145-157, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022029920000382>
 - [15] M. Nielen, Y. H. Schukken, A. Brand, S. Haring, and R. T. Ferwerda-Van Zonneveld, "Comparison of Analysis Techniques for On-Line Detection of Clinical Mastitis", *Journal of Dairy Science*, Vol.78, No.5, pp.1050-1061, 1995.
DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76721-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76721-2)
 - [16] T. Van Hertem, E. Maltz, A. Antler, C. E. B. Romanini, S. Viazzi, C. Bahr, A. Schlageter-Tello, C. Lokhorst, D. Berckmans, and I. Halachmi, "Lameness detection based on multivariate continuous sensing of milk yield, rumination, and neck activity", *Journal of Dairy Science*, Vol.96, No.7, pp.4286-4298, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6188>
 - [17] I. Adriaens, T. Huybrechts, B. Aernouts, K. Geerinckx, S. Piepers, B. De Ketelaere, and W. Saeys, "Method for short-term prediction of milk yield at the quarter level to improve udder health monitoring", *Journal of Dairy Science*, Vol.101, No.11, pp.10327-10336, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14696>
 - [18] D. B. Jensen, M. van der Voort, and H. Hogeveen, "Dynamic forecasting of individual cow milk yield in automatic milking systems", *Journal of Dairy Science*, Vol.101, No.11, pp.10428-10439, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14134>
 - [19] W. Rossing, and P. H. Hogewerf, "State of the art of automatic milking systems", *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.17, No.1, pp.1-17, 1997.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(96\)01229-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(96)01229-X)
 - [20] J. A. Jacobs, and J. M. Siegford, "Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare", *Journal of Dairy Science*, Vol.95, No.5, pp.2227-2247, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4943>
 - [21] K. de Koning, Y. van der Vorst, A. Meijering, "Automatic milking experience and development in Europe", *Proceedings of the first North American Conference on Robotic Milking*, Toronto, Canada, pp. 1-11, March 2002.
 - [22] A. M. Wagner-Storch, and R. W. Palmer, "Feeding behavior, milking behavior, and milk yields of cows milked in a parlor versus an automatic milking system", *Journal of Dairy Science*, Vol.86, No.4,

- pp.1494-1502, 2003.
DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73735-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73735-7)
- [23] K. de Koning, J. Rodenburg, Automatic milking: state of the art in Europe and North America: Meijering, Wageningen Academic Publishers, 2004, pp. 27-37.
- [24] G. André, P. B. M. Berentsen, B. Engel, C. J. A. M. de Koning, and A. G. J. M. Oude Lansink, "Increasing the revenues from automatic milking by using individual variation in milking characteristics", *Journal of Dairy Science*, Vol.93, No.3, pp.942-953, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2373>
- [25] Korea Dairy and Beef Farmers Association (KDBFA), 2018. 2018 Survey on dairy farm management. Korea Dairy and Beef Farmers Association, Seoul, Korea. (in Korean).
- [26] A. Bach, M. Devant, C. Igleasias, and A. Ferrer, "Forced traffic in automatic milking systems effectively reduces the need to get cows, but alters eating behavior and does not improve milk yield of dairy cattle", *Journal of Dairy Science*, Vol.92, No.3, pp.1272-1280, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1443>
- [27] J. A. Deming, R. Bergeron, K. E. Leslie, and T. J. DeVries, "Associations of housing, management, milking activity, and standing and lying behavior of dairy cows milked in automatic systems", *Journal of Dairy Science*, Vol.96, No.1, pp.344-351, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5985>
- [28] M. Lee, and S. Seo, "Wearable wireless biosensor technology for monitoring cattle: A review", *Animals*, Vol.11, No.10, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11102779>
- [29] G. Caja, A. Castro-Costa, and C. H. Knight, "Engineering to support wellbeing of dairy animals", *Journal of Dairy Research*, Vol.83, No.2, pp.136-147, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022029916000261>
- [30] B. R. Min, K. W. Seo, H. C. Choi, and D. W. Lee, "Surveying for barn facilities of dairy cattle farms by holding scale", *Journal of Animal Environmental Science*, Vol.15, No.3, pp.251-262, 2009. (in Korean).
- [31] R. M. de Mol, G. H. Kroeze, J. M. F. H. Achten, K. Maatje, and W. Rossing, "Results of a multivariate approach to automated oestrus and mastitis detection", *Livestock Production Science*, Vol.48, No.3, pp.219-227, 1997.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00028-6)
- [32] R. Firk, E. Stamer, W. Junge, and J. Krieter, "Improving oestrus detection by combination of activity measurements with information about previous oestrus cases", *Livestock Production Science*, Vol.82, No.1, pp.97-103, 2003.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00306-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00306-8)
- [33] C. Kamphuis, B. Dela Rue, G. Mein, and J. Jago, "Development of protocols to evaluate in-line mastitis-detection systems", *Journal of Dairy Science*, Vol.96, No.6, pp.4047-4058, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6190>
- [34] T. Van Hertem, C. Bahr, A. Schlageter Tello, S. Viazzi, M. Steensels, C. E. B. Romanini, C. Lokhorst, E. Maltz, I. Halachmi, and D. Berckmans, "Lameness detection in dairy cattle: single predictor v. multivariate analysis of image-based posture processing and behaviour and performance sensing", *Animal*, Vol.10, No.9, pp.1525-1532, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731115001457>
- [35] S. Paudyal, F. P. Maunsell, J. T. Richeson, C. A. Risco, D. A. Donovan, and P. J. Pinedo, "Rumination time and monitoring of health disorders during early lactation", *Animal*, Vol.12, No.7, pp.1484-1492, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731117002932>
- [36] Y. Son, "The current status and future improvement of TMR feeding system in Korea", *Dairy Industry and Technology*, Vol.1, No.1, pp.49-60, 2001. (in Korean).
- [37] A. Katainen, M. Norring, E. Manninen, J. Laine, T. Orava, K. Kuoppala, and H. Saloniemi, "Competitive behaviour of dairy cows at a concentrate self-feeder", *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science*, Vol.55, No.2-3, pp.98-105, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1080/09064700500239453>
- [38] F. N. Reece, J. W. Deaton, and L. F. Kubena, "Effects of High Temperature and Humidity on Heat Prostration of Broiler Chickens", *Poultry Science*, Vol.51, No.6, pp.2021-2025, 1972.
DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.0512021>
- [39] S. D'Allaire, R. Drolet, and D. Brodeur, "Sow mortality associated with high ambient temperatures", *The Canadian Veterinary Journal*, Vol.37, No.4, pp.237-239, 1996.
- [40] H. H. Kristensen, and C. M. Wathes, "Ammonia and poultry welfare: A review", *World's Poultry Science Journal*, Vol.56, No.3, pp.235-245, 2000.
DOI: <https://doi.org/10.1079/WPS20000018>
- [41] L. Hamon, Y. Andrès, and E. Dumont, "Aerial pollutants in swine buildings: A review of their characterization and methods to reduce them", *Environmental Science & Technology*, Vol.46, No.22, pp.12287-12301, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1021/es3025758>
- [42] J. Hwang, and H. Yoe, "Study of the ubiquitous hog farm system using wireless sensor networks for environmental monitoring and facilities control", *Sensors*, Vol.10, No.12, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.3390/s101210752>
- [43] G. A. Choukidar, and N. A. Dawande, "Smart poultry farm automation and monitoring system", *Proceedings of 2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation*, ICCUBEA, pp. 1-5, Aug 2017.
- [44] E. Arulmozhi, A. Bhujel, B.-E. Moon, and H.-T. Kim,

"The application of cameras in precision pig farming: An overview for swine-keeping professionals", *Animals*, Vol.11, No.8, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11082343>

- [45] D. Renaudeau, A. Collin, S. Yahav, V. de Basilio, J. L. Gourdine, and R. J. Collier, "Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production", *Animal*, Vol.6, No.5, pp.707-728, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>
- [46] M. O. Igono, H. D. Johnson, B. J. Steevens, W. A. Hainen, and M. D. Shanklin, "Effect of season on milk temperature, milk growth hormone, prolactin, and somatic cell counts of lactating cattle", *International Journal of Biometeorology*, Vol.32, No.3, pp.194-200, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01045279>
- [47] F. D. Rensis, and R. J. Scaramuzzi, "Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—a review", *Theriogenology*, Vol.60, No.6, pp.1139-1151, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00126-2](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00126-2)
- [48] J. W. West, "Effects of heat-stress on production in dairy cattle", *Journal of Dairy Science*, Vol.86, No.6, pp.2131-2144, 2003. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
- [49] A. Weiske, A. Vabitsch, J. E. Olesen, K. Schelde, J. Michel, R. Friedrich, and M. Kaltschmitt, "Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol.112, No.2, pp.221-232, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.023>
- [50] A. B. Leytem, R. S. Dungan, D. L. Bjorneberg, and A. C. Koehn, "Emissions of Ammonia, Methane, Carbon Dioxide, and Nitrous Oxide from Dairy Cattle Housing and Manure Management Systems", *Journal of Environmental Quality*, Vol.40, No.5, pp.1383-1394, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0515>
- [51] K. Kelley, B. Clark, V. Brown, and J. Sitzia, "Good practice in the conduct and reporting of survey research", *International Journal for Quality in Health Care*, Vol.15, No.3, pp.261-266, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzg031>

이 민 경(Mingyung Lee)

[정회원]



- 2014년 8월 : 충남대학교 동물바이오시스템학과 (농학사)
- 2016년 8월 : 충남대학교 낙농학과 (농학석사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 충남대학교 낙농학과 (박사수료)

<관심분야>

정밀축산기술, 빅데이터, 스마트팜

서 성 원(Seongwon Seo)

[정회원]



- 2000년 2월 : 서울대학교 동물자원과학과 (농학사)
- 2002년 2월 : 서울대학교 농생명공학부 (농학석사)
- 2006년 8월 : 미국 코넬대학교 축산학과 (이학박사)

• 2006년 9월 ~ 2008년 8월 : 미국 일리노이대학교 유전체 생물학 연구소 박사 후 연구원

• 2008년 9월 ~ 현재 : 충남대학교 동물자원과학부 교수

<관심분야>

정밀사양, 반추동물영양, 스마트팜