

한우산업과 기술개발의 동향 및 전망

Current Status and Prospect of Hanwoo Industry and R&D

이현정^{1,*}, 장선식¹, 박병호¹, 원정일¹, 진실¹, 강성식¹, 조상래¹, 조수현², 박미나³, 백열창⁴
 (Hyun-Jeong Lee^{1,*}, Seon Sik Jang¹, Byung Ho Park¹, Jeong Il Won¹, Sil Jin¹, Seong Sik Kang¹,
 Sang Rae Cho¹, Soo Hyun Cho², Mina Park³, Yeol Chang Baek⁴)

¹국립축산과학원 한우연구소, ²국립축산과학원 축산물이용과,

³국립축산과학원 가축개량평가과, ⁴국립축산과학원 동물영양생리과

¹Hanwoo Research Institute, National Institute of Animal Science

²Animal Products Utilization Division, National Institute of Animal Science

³Animal Breeding Division, National Institute of Animal Science

⁴Animal Nutrition and Physiology Division, National Institute of Animal Science

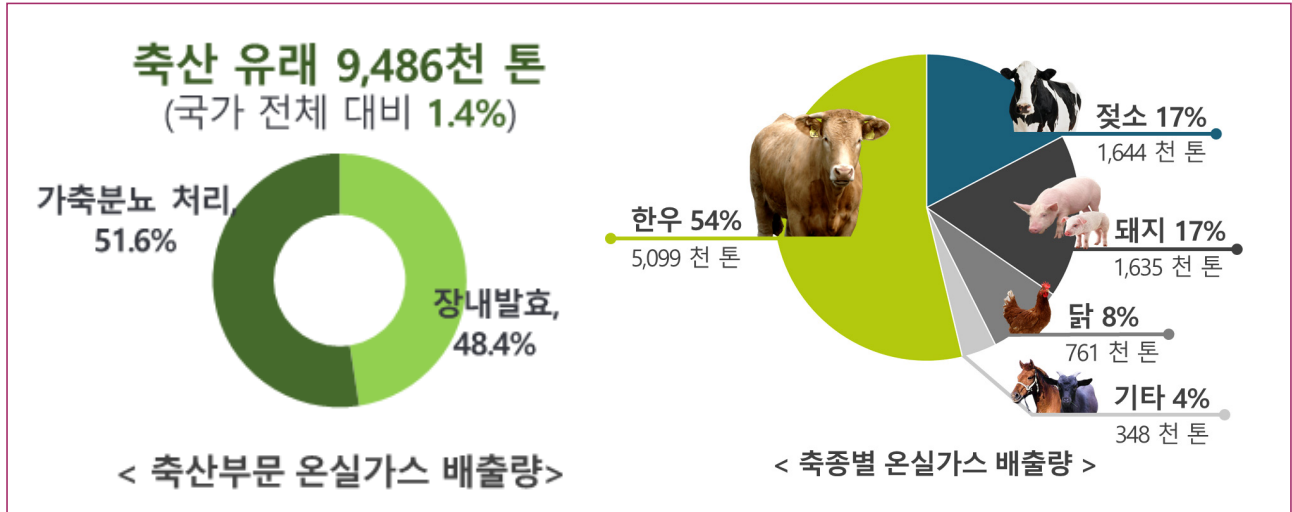
1. 한우산업의 여건변화

정부는 2020년 12월 관계부처 합동으로 「2050 탄소중립(Net-Zero) 추진전략」을 발표, 적극적으로 기후변화를 완화시키겠다는 의지를 표명하는 등 탄소중립이 국가적 어젠다로 부상하고 있다. 농업분야 탄소 배출량은 21 백만 톤 CO₂e.¹⁾으로 국가 총 배출량 701.4 백만 톤 CO₂e.의 3.0%를 차지하고 있고 축산분야 온실가스 배출량은 약 9.5 백만톤 CO₂e.(2019년 기준)으로 농업분야의 45.2%를 차지하고 있다. 이중 한우, 젖소 장내발효에 의해 4.6 백만 톤 CO₂e.(21.9%)이 배출되고, 분뇨처리에 의해 4.9 백만 톤 CO₂e.(23.4%)이 배출된다. 온실가스별로는 메탄(장내발효, 분뇨처리)이 6.0 천톤 CO₂e. 아산화질소(분뇨처리)가 3,494 천톤 CO₂e.를 차지하고 있다. 이 가운데 한우는 총 5,099 천톤 CO₂e.으로 축산에 의한 배출량의 54%를 차지한다. 축산부문 온실가스 감축목표는 2030년까지 4.9 백만 톤 CO₂e.(농축산부문 감축목표량의 약 84%), 2050년까지 감축량 5.9 백만톤 CO₂e.(농축산부문 감축목표량의 약 74%)이다(국가 온실가스 인벤토리 보고서, 2020).

1) 지구온난화지수(global warming potential) 단위: 이산화탄소가 지구온난화에 미치는 영향을 기준으로 다른 온실가스의 지구온난화에 기여하는 정도. 이산화탄소가 1일 때 메탄은 21, 아산화질소는 310.

*Corresponding author: Hyun-Jeong Lee
 Senior Research Scientist, Hanwoo Research Institute, National Institute of Animal Science,
 Rural Development Administration, Kyunggang-ro 4937, Gangwon 25340, Korea
 Tel: +82-33-330-0612
 Fax:+82-33-330-0660
 Email: hyunj68@korea.kr

그림 1. 축산 온실가스 배출량



R&D분야에서는 한우 분야 탄소중립을 위한 기술 개발 전략으로 첫째, 한우에 대한 온실가스 국가 고유 배출계수를 개발하고 산정방식을 고도화하여 정밀한 온실가스 통계를 구축하고 둘째, 메탄배출을 줄일 수 있는 저메탄 사료나 분뇨내 아산화질소를 줄이기 위해 단백질 저감사료를 개발하여 농가보급을 확대하고 양질의 조사료 급여를 확대하여 생산효율을 높임으로써 생산량 당 메탄배출량을 줄이는 것이다. 셋째로 한우의 생산성은 유지하면서 사육기간을 단축하여 전생애 메탄 배출량을 줄이고 사육시설에 ICT 장비를 활용함으로써 생산성을 높이는 것이다. 네 번째로는 가축분뇨에서 생산되는 온실가스의 에너지화 비율을 확대하는 것이다.

최근 사회적으로 한우를 포함하는 가축사육은 온실가스 배출, 가축분뇨 및 악취 등 축산환경 악화로 사회적 비용과 민원 증가 등 부정적 인식이 팽대해지고 있다. 관련하여 한우산업은 식량공급이라는 생산 중심의 관점에서 탈피하여 책임 있는 생산 행위와 지속가능성, 윤리적 생산 관점으로 변화가 요구되고 있다. 따라서

사육현장에서는 신기술 도입 적용과 노후화된 시설에 대한 경제적 부담 등 자발적인 시설개선 의지를 가지는 책임의식이 필요하다.

한편 국제 곡물가격은 러시아-우크라이나 사태, 흑해지역 선적차질, 남미 옥수수 생산량 감소 등으로 곡물가격 상승 및 대미 환율 상승으로 수입단가 상승되고 있다. 옥수수 선물시장 가격은 지난 2017~2021년 동안 146(US\$/톤)였으나 2222년 3월 기준 296(US\$/톤)으로 102%나 상승했다(KREI)²⁾. 관련하여 국내 배합사료 가격은 2222년 1월 기준 2018~2020년 대비 평균가격 110원/kg, 23.3%나 인상되었다(농식품부³⁾). 한우 배합사료의 경우, 394원/kg에서 528원/kg으로 33.9% 상승하였다. 사료 가격 상승에 따른 사료절감 방안 수립 등 신속한 대응이 필요한 상황이다.

II. 한우사육의 동향과 전망

한우 사육두수는 2015년 저점에서 2016년 이후 큰 소와 송아지 가격이 상승하면서 가임암소와 송아지 생

2) KREI 농업관측센터 2022년 3월호 국제곡물(aglink.krei.kr).

3) 농식품부 2021년도 12월 배합사료 가격 통계. 가격 기준: 공장도 가격.

산이 늘어 매년 증가 추세를 유지하고 있고, 도매가격이 크게 상승하면서 농가의 사육의향이 높아져 2021년 사육두수는 2020년 대비 5.6% 증가한 340만 8천 마리였다. 한국농촌경제연구원은 2023년에는 전국 한우 사육두수가 360만 9천마리 수준으로 역대 최대치를 기록할 것으로 전망하였다. 한우 사육 농장수는 지속적인 감소세를 보여 왔으나 2021년에는 소폭 증가하였고 사육 농장수 증가에도 한우 가격 강세로 송아지 입식이 증가하였고 암소 도태가 지연되는 등 전체 사육 마릿수가 더 많이 늘어 농가당 사육 마리수는 2021년에는 37.7마리였다(2022농업전망, 2021).

한우업계의 주기적 가격 파동, 2020년~2021년 국내외 코로나-19 창궐로 외식 위축과 학교급식 감소로 인한 소비 부진, 늘어난 공급물량으로 한우가격 하락이 예상되었으나, 가정소비를 중심으로 수요증가와 더불어 국민지원금지급 효과의 영향으로 한우 가격은 역대 최대 호황을 누렸다. 그러나 최근 코로나 상황이 진정되고 증가된 사육두수를 반영하듯 도축물량이 늘어나면서 평균 도매가격은 kg 당 19,000원대 후반에서 형성되고 있고, 소가격이 일시적 조정을 받으며 일관사육이 늘어나고 송아지 매매가 감소하면서 수송아지 가격이 350만원 대로 하락하는 등 한우업계의 변동성이 커

지고 있다(2022농업전망, 2021).

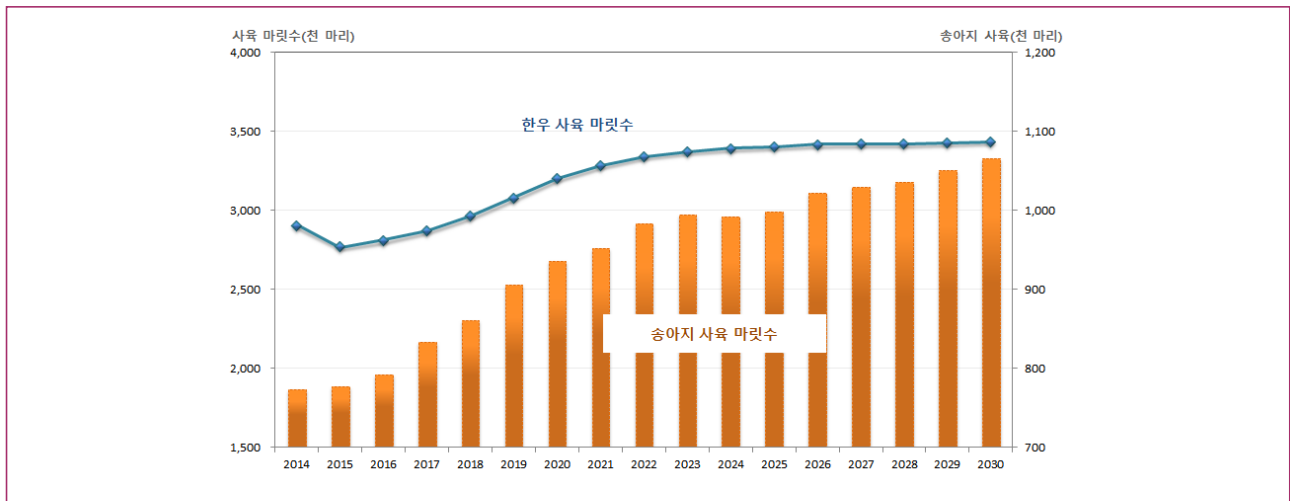
Ⅲ. 한우 연구 및 기술 동향

1. 유전·육종

한우 씨수소의 유전능력 평가는 1995년부터 2017년까지는 능력검정 자료와 혈통정보를 기반으로 한 BLUP법에 의해 이루어졌으며, 2018년부터는 능력검정 자료, 혈통정보 및 유전체정보를 활용한 유전체 선발(GBLUP)체계를 도입하여 한우씨수소 유전평가를 시작으로 산업에 적용되고 있고 암소 유전능력 분석에도 점진적으로 활용하고 있다.

2020년부터 한우의 당대 및 후대검정우를 참조집단으로 이용하여 암소 유전체 유전능력 분석을 시작하였다. 여기서, 참조집단(reference population)은 검정우의 체중, 육질 등과 같은 표현형 자료와 유전체 정보를 가지고 있는 개체들의 집단을 의미한다. 참조집단의 정보를 기반으로 개체 능력검정 결과와 혈통, 유전체 정보를 동시에 분석하여 조기에 능력을 추정한다. 개체의 능력은 혈통 및 유전체 정보만으로 유전능력(육종가; direct genomic value) 계산이 가능하여 조기 선발

그림 2. 한우 사육두수 전망



출처: 한국농촌경제연구원, KREI-KASMO, 2020.

표 1. 유전능력평가 모델 비교(BLUP 및 GBLUP)

기존 유전평가 모형(BLUP)	유전체육종가 추정 모형(GBLUP)
$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + A^{-1}\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + G^{-1}\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \end{bmatrix}$
개체의 능력뿐만 아니라 해당 개체와 혈연관계가 있는 모든 개체의 능력을 고려하기 위하여 혈통자료에 근거한 혈연 관계정보(A)를 이용 * 혈통에서 관계가 없는 개체간 상관은 0	개체의 능력뿐만 아니라 유전체 기반에서 해당 개체의 연관관계가 있는 모든 개체의 능력을 고려하기 위하여 유전체 연관관계정보(G)를 이용 * 혈통에서 관계가 없더라도 유전체 수준에서 같은 유전자형을 공유하는 개체간 상관이 존재(> 0)

출처: 농촌진흥청 국립축산과학원 가축개량협의회 한우분과 회의자료, 2018.

이 가능하며, 추정의 정확도는 참조집단의 크기, 집단의 유전적 조성 등에 따라 좌우된다. 즉, 유전체 정보와 능력검정 자료를 함께 가지고 있는 참조집단의 개체가 많아야 정확도가 향상된다. 참조집단의 크기를 키우기 위해서는 지속적인 참조집단 확대와 기관 간 유전체 정보 공유 시스템 구축이 필요하다.

현재까지 프로젝트 단위로 자료를 수집하여 관리하였으나, 프로젝트 종료 후 지속적인 자료 수집 및 사후 관리에 어려움이 있었으며, 전미 앵거스협회와 사육두수의 차이는 나지만 유전체 정보수를 절대적으로 비교하면 5% 수준인 상황이다.

또한 우리나라는 국가주도 개량으로 검정소에서 후대검정을 실시하여 다른 나라와 비교해 체중, 체척, 도체 및 10대 분할육 등 다양한 형질에 대한 정확한 정보

를 통합하여 관리하고, 평가에 이용하고 있다.

2. 영양 · 사양

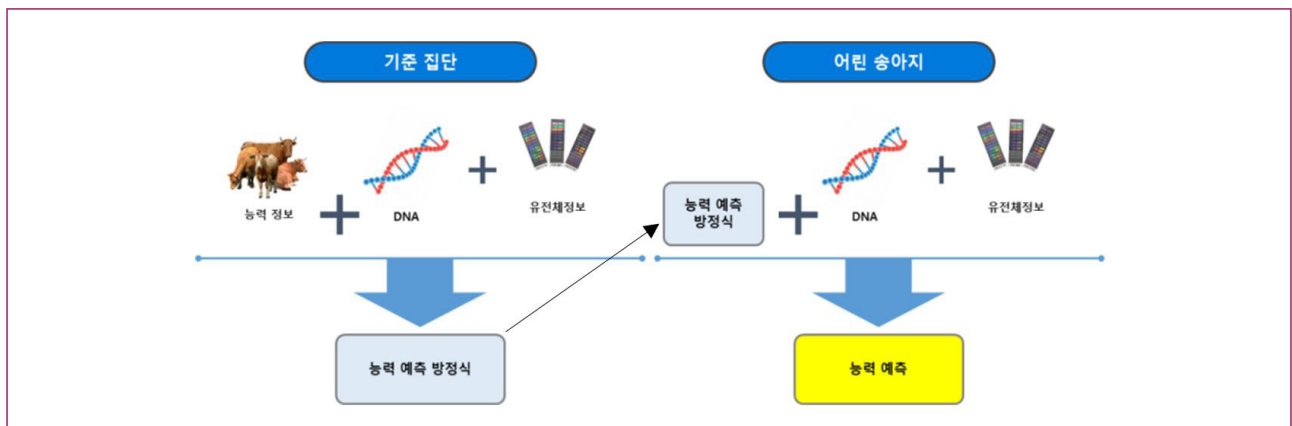
한우사양은 마블링이 좋은 고품질 한우고기 생산을 위해 곡물사료 위주(83%) 장기비육을 해왔으나 늘어나

표 2. 한우 유전체 정보 참조집단

보유기관(사업)	두수
국립축산과학원	13,800
바이오그린21	20,010
계	33,810

출처: 농촌진흥청 국립축산과학원 가축개량협의회 한우분과 회의자료(2021), 영농기술정보(농가한우 유전체 선별을 위한 거세우 30개월령 참조집단 활용방안, 2020).

그림 3. 능력예측방정식을 이용한 암소능력 조기예측



출처: 농촌진흥청, 2020.

는 사료비, 생산비를 절감하기 위해 비육기간을 단축하는 사육기술 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 28개월 단기비육의 경우 성장단계별 최적 영양소 공급량(육성기, TDN 70%, CP 17%; 비육전기, TDN 76, CP 16; 비육후기, TDN 80, CP 15)으로 설정하는 등 비육기간별 최적의 TDN, 조단백질, 조농비를 설정하는 연구가 진행되고 있다. 한편 사료비 절감 및 환경오염 저감을 목적으로 농식품부산물을 사료화하기 위해 농식품부산물 활용하는 TMR 배합 기술 및 사양프로그램 개발이 추진되고 있다.

국내 기관과 대학에 한우용 호흡챔버가 설치되면서 한우의 메탄발생량에 대한 평가, 사료에 따른 메탄발생량 특성 등 연구가 집중적으로 이루어지고 있으며 현재 In silico 방법을 통해 메탄 생성 억제에 효능이 있는 성분을 스크리닝, 선발 연구를 추진하고 있다.

최근 상용화되고 있는 한우 유전체정보를 이용하는 유전체 육종가를 활용하여 유전적 특성을 고려하는 맞춤형 정밀사양 기술이 개발되었다. 한우 개체가 갖고 있는 고유의 유전적 자질(육종가)을 판단하고 이를 비육 및 사양에 적용하여 출하시기 및 사료급여를 조절함으로써 생산효율을 극대화할 수 있다. 송아지 시기에 개체의 유전체 육종가를 추정하고 추정된 육종가를 기반으로 육질형, 육량형을 판단한 후 육성~비육전기를 통해 에너지(고, 저)와 급여기간을 조절하여 각 생산 특성에 맞는 정밀 사양 프로그램을 개발하였다(국립축산과학원 연구보고서, 2017).

한우사양표준은 한우의 성별, 성장단계, 생산특성에 따라 유지와 생산에 필요한 1일 영양소 요구량을 과학적인 실험을 통해 결정해 놓은 기준이다. 원료사료의 대부분을 외국으로부터 수입하는 우리나라와 같은 상

황에서 정밀사양을 통해 과부족 없는 영양소 급여로 사료의 이용성을 극대화하는 것은 한우산업의 경쟁력 향상에 있어 매우 중요한 일이다. 2002년에 한국가축사양표준을 처음으로 제정한 후, 2007년에 1차, 2012년에 2차 개정을 하였으며, 2017년에 3차 개정하였다. 3차 개정판은 암소 육성우 및 성빈우에 대한 TDN, 사료 섭취량 추정식, 프로그램 요구량 산정식 개정 등 암소 영양소 요구량 검증 및 보정을 통하여 한우 사육기반 구축에 중점을 두고 개정되었다. 2022년 4차 개정판에서는 한우의 온실가스과 분뇨 배출 및 임신, 포유우, 송아지 성장 관련 내용이 추가될 것으로 예상된다.

최근 한우를 포함 가축 사육 현장에 ICT 기술 접목을 통한 생산성 향상 및 저비용 생산 기술 개발이 추진되고 있다. 한우에 있어 스마트팜은 생산성 중심으로 이뤄져 있고 개체별이 아닌 축군 모니터링 및 제어 기술 개발에 집중되어 있다. 빅데이터 등을 활용한 최적화 알고리즘 개발, 로봇 등과 연계된 자동화 기술 등은 현재 개발단계에 있으며 주로 CCTV를 이용한 축사 모니터링 및 THI 지수에 의한 송풍팬 자동제어, 음용수(냉수) 공급조절, 환경정보(온·습도, CO₂), 축사 채광관리 등과 같은 축사시설 관리에 대한 자동화 기술 등으로, 스마트 미디어를 통해 제어하는 수준이다. 또한 목걸이형 생체정보 수집장치를 이용하여 한우의 활동량 및 위치를 실시간 측정하고 분석하여 발정시기 예측하는 기술 개발이 추진되고 있다. ICT 스마트팜 기술수준은 미국을 100% 수준이라 할 때, 네덜란드(99.1%), 일본(97.5%), 독일(93.3%), 영국(89.5%), 호주(83.4%) 등의 순서이다(국내외 스마트농업 산업동향 분석 보고서, 2018) 현재 우리나라의 스마트팜 수준은 각국의 최고기술 보유국 대비 약 75% 수준으로

표 3. 세계 스마트팜 국가간 기술수준 및 격차

구분	한국	미국	일본	영국	네덜란드	독일	호주	중국
기술수준(%)	75.0	100	97.5	89.5	99.1	93.3	83.4	61.0
기술격차(년)	5.2	0	0.5	2.3	0	1.2	3.6	7.2

출처: 국내외 스마트농업 산업동향 분석 보고서, 2018.

기간을 설정하면 약 5.2년 정도의 격차가 있는 것으로 분석되고 있다.

3. 번식

우수한 한우의 유전자원의 확보하여 이용하기 위한 방법으로 암소의 난소에서 난자를 채취하는 생체난자 채취(Ovum pick up, OPU)방법이 이용되고 있다. 한우의 난소에서 1회당 채취 가능한 난자는 평균 11.8개로(한길우, 2017), 생체 난자 채취시 난포자극호르몬(Follicle stimulating hormone, FSH) 감량 처리와 단일 처리간의 난자 회수율 차이는 없었다(이효종 등, 1997). OPU를 이용한 난자 채취시 FSH에 의해 난소가 자극된 소는 FSH 무처리군에 비해 수정란 발생률이 높았으나, 난소의 회복속도가 더디고, 난포액과 난자 막을 둘러싸고 있으며 난자의 발생능력을 높여주는 난구 세포수가 감소하는 경향을 보였다(Roover et al., 2003). 공란우 1두에서 호르몬 처리를 하지 않고 주 2회 실시하고, 총 5개월까지 난자를 채취했을 때 난소에 형성되는 난포수에는 변화가 없었지만, 공란우에 무리를 주지 않는 적정 난자채취 기간은 3개월이 적절한 것으로 보고되었다(진종인 등, 2010). OPU 유래 동결 수정란 이식후 임신율은 11.1%(박성재 등, 2000)이며, 신선란은 40% 수준으로 보고되고 있다. OPU유래 난자와 수정란의 품질과 수정란 이식후 임신율을 향상시키기 위한 연구가 추진되고 있다(진종인 등, 2014).

한우 농가에서 원하는 성별을 지닌 송아지를 생산하기 위해 한우 정자의 성분리 기술도 연구되고 있다. 한우 정액 내의 X염색체 또는 Y염색체를 지닌 정자를 성분리 하기 위한 기술 연구가 진행되고 있다. 정자막에

발현하는 단백질의 응집 유도 반응을 통해 X 또는 Y 염색체를 가지고 있는 정자를 분리하는 기술로 체외수정란 생산시 85%의 정확도로 성감별 수정란 생산이 가능하였다. 수정란 이식후 임신율과 태어나는 송아지의 성비 검증이 필요한 단계이다(허영태 등, 2018). 마크 네틱 비드를 정액과 혼합하여 양성 전하를 가지는 Y염색체 정자를 선택적으로 분리할 수 있는 방법도 연구되었다(노아바이오텍). 국내의 성분리 정자를 이용한 인공수정 및 수정란 생산은 연구단계에 머물러 있다.

한우 정액은 대부분 수입 동결보존액을 이용하고 있는 실정이다. 국내에서는 한우의 정액을 동결 보존하기 위한 방법으로 최소화 동결보존액, 제주흑우용 정액의 동결 보존을 위한 하이포타우린과 저밀도 지질단백질을 첨가한 동결 보존액 연구도 진행되고 있다(오신애 등, 2012).

4. 축산물이용

우리나라 소비자는 근내지방 함량이 많은 쇠고기를 선호하여 육질등급이 낮거나, 근내지방 함량이 적은 부위의 소비적체 현상이 발생한다. 도체중량의 약 48%가 저지방 부위이며, 안심·등심과 같은 구이용 인기부위들은 부분육 경락가격에서도 우둔·설도와 같은 저지방부위와 약 2.7~3.4배 차이가 난다.

저지방 부위의 육질향상을 위하여 쇠고기 연도(tenderness)와 맛을 증진시키는 습식숙성(wet aging)과 식감과 향미를 향상시키는 건식숙성(dry aging)이 현장에 적용되고 있다. 국립축산과학원에서 습식숙성 기술로 한우고기 연도관리시스템과 24개 부위별 적정 숙성기간 예측프로그램과 건식숙성육 생산

표 4. 2021년 전국평균 쇠고기 부분육 경락가격

구분	구이용 부위			저지방 부위		
	등심	채끝	안심	설도	앞다리	우둔
도매가격(원/kg)	80,155	89,851	98,693	28,945	32,973	29,669

출처: 축산물품질평가원(KAPE), 2022.

기술을 개발하였고, 저지방 부위를 활용한 다양한 육제품 제조 기술을 개발·보급하였다.

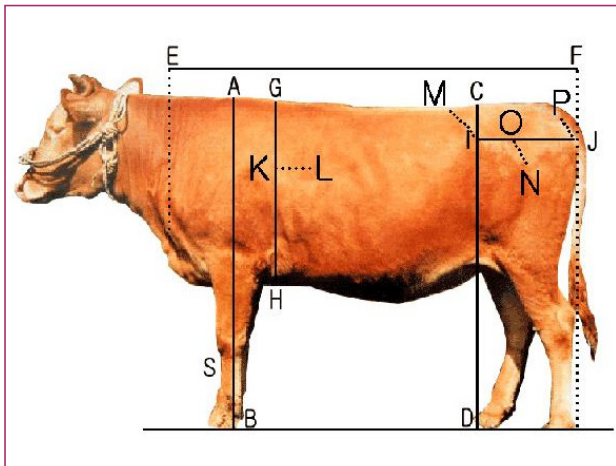
2025년에는 고령층 인구가 20%로 증가해 초고령사회로 진입예정이나 고령층의 식육 섭취량은 급격하게 감소하는 추세이다. 고령층 인구수 및 비율(통계청, 2021)은 (2018) 9,023천명, 17.5%(고령사회)에서 (2021) 10,525, 20.3(초고령사회)로 증가하는 반면에 연령별 식육 섭취량은 (55~59세) 70.1g/일, (60~64) 55.9, (65~69) 52.2, (70~74) 54.3, (75 이상) 50.6으로 감소하는 추세이다. 국립축산과학원에서 고령 소비자가 섭취하기 쉬운 식육의 조리방법에 따른 물성, 영양성분 및 고령층 기호도를 평가하여 쇠고기 부위별 고령친화식품 기준(경도 및 영양성분 함량)을 설정하였다.

IV. 미래 한우 기술 전망

1. 유전·육종

육종, 개량분야에서는 2021년부터 ‘스마트팜 다부처 패키지 혁신기술사업’을 통해 개량에 이용할 표현형 정보의 다양화 및 자동화 기술을 개발하고 있다. 한우는

그림 4. 한우 체측부위



A-B: 체고, C-D: 십자부고, E-F: 체장, G-H: 흉심, I-J: 고장, K-L: 흉폭, M: 요각폭, N-O: 곤폭, J-P: 좌골폭, G-H 둘레: 흉위, S: 전관위 출처: 한국중축 개량협회, 가축외모심사기준.

육우로써 체중 및 체척이 육량의 주요형질이며, 능력검정사업을 통해 당대검정우 및 후대검정우에서 체중과 체척을 측정하고 있다. 체중 및 체척의 측정을 위해서는 다수의 관리 인력과 시간이 소요되며, 특히 체척의 경우 10가지 체형부위를 직접 측정하는 만큼 사고의 발생위험이 높다. 이를 극복하기 위해 국가단위 한우 개량을 위한 한우 체중 및 체척 측정 자동화 시스템 구축 연구가 추진되고 있다.

디지털 축산 연계 자동 수집된 정보의 표준화·수집 정보 저장관리·활용체계 구축을 위하여 다음과 같은 사항이 필요하다. 첫째, 현안 중심의 한우 표현형 자료의 우선순위를 설정하고 표준화 연구를 통하여, 스마트 팜 빅데이터 기반 표현형 자료에 대한 가공 및 활용기준을 설정하고, 둘째로 이미지 정보를 이용한 체중, 체척 및 외모심사 성적 예측 모형 개발하고, 개체별 자동 검정성적 수집·관리용 DB를 구축하며 개체별 자동 수집된 정보를 이용한 능력검정 유전평가 체계 구축이 필요하다.

국가단위 유전체 참조집단 빅데이터 수집·공유체계 개발을 위하여, 한우의 참조집단의 크기를 확대하고, 개별 참조집단을 통합하고 수집된 자료를 공유하는 체계를 구축하며, 서로 다른 SNP chip 제품 정보를 호환할 수 있도록 유전자형 추정(imputation) 기반 구축이 요구된다.

AI 기반 유전체 유전능력 평가 기술 개발을 위하여 단·다형질, 임의회귀모형 및 베이지안 등 다양한 유전평가 모형과 유전체 정보를 평가에 이용할 수 있도록 패키지와 최적화 설정(hyperparameter tuning)을 통한 MLP(multilayer perceptron) 및 CNN(convolutional neural network) 적용 가능성을 검토하며, 새로운 경제형질(번식, 장수성 등 효율성, 생식체중, 이유시체중, 수태율, 사료효율성 형질 등)로 유전능력평가 범위 확대가 이루어져야 한다.

또한 디지털 육종 기반 맞춤형 한우 개량정보 제공 서비스 개발이 필요한데, 이를 위해 농가단위 유전체 유전능력 제공 서비스에 대한 표준화 기준을 마련하여

농가단위 사육 개체별 유전체 유전능력 제공하고, 개체별 SNP 정보 기반의 자손 유전능력평가 및 근친도 산출을 통해 계획교배 프로그램 개발이 필요하다.

형질에 영향을 주는 SNP, CNV, Indel 등 전장유전체염기서열 정보(DNA), gene expression, small-RNA, lncRNA 등 RNA 정보 및 Methylation, Histone, Chromatin modification 등 Epigenome 정보를 이용하여 한우개량을 위한 유전체 예측 연구의 다양화 및 고도화도 요구된다.

육종 개량분야에서도 디지털 축산기기를 활용한 정보의 자동수집과 참조집단 확대가 필요하고, 성장, 번식 및 질병 등 자료 수집을 위한 데이터 표준화, 신규 개량형질 개발 및 이것을 유전평가에 활용하는 방안을 모색하며, 유전평가의 신뢰도 제고가 필요하다.

2. 영양·사양

기존의 사양연구는 생산성 향상 중심의 영양·사양 관리 기술을 개발하고 보급하는 것이었으나 가축사육의 지속가능성을 증진시키기 위해서는 가축의 생산성을 유지하면서 탄소배출을 줄이는 연구가 필요한 실정이다. 기존의 연구목표가 최대 성장이었다면, 앞으로는 효율 중심의 최적 성장 연구가 필요하다.

환경부 온실가스종합정보센터 국가 온실가스 인벤토리 보고서(2020)에 따르면 한우에서 발생하는 탄소는 크게 장내발효부분과 가축분뇨처리에서 두 가지로 분류된다. 장내발효 부분에서 산정하는 메탄 배출은 가축의 소화과정에서 생기는 대사산물로, 반추위에 존재하는 미생물들이 탄소화물 형태인 셀룰로스를 소화하는 과정에서 메탄을 발생시킨다. 한우에서는 두당 연평균 메탄 발생량(메탄 배출계수)으로서 47kg(메탄, 두/년)를 기준으로 사용한다. 가축분뇨처리 중 배출되는 온실가스는 메탄과 아산화질소로, 산소가 없는 혐기환경에서 미생물에 의해 메탄이 발생하며, 산소가 있는 경우 분뇨 질소가 질산화와 탈질화 과정을 거치면서 아산화질소가 발생한다.

한우의 탄소배출을 저감하는 중 대표적인 방법은 비육기간을 단축하는 방법과 저단백질 사료를 급여하는 방법이다. 성장은 유지하면서 최소 단백질을 급여해야만, 가축에서 배출되는 질소와 메탄배출량을 줄일 수 있다. 단백질 섭취량을 10~20%를 감소시키면 질소의 배출량을 12~21%, 질소의 손실량을 15~33%까지 낮출 수 있다고 보고되고 있다(Erickson and Klopfenstein, 2001). 한우의 비육기간을 단축하는 것은 생산비 절감 및 탄소저감에 효과적인 기술로 볼 수 있으며, 국내 비육우 사육형태가 유사한 일본의 경우 흑모화우의 경쟁력 강화를 위해 화우의 출하월령을 29개월에서 24~26개월 단축시키기 위한 개량 및 사양연구를 추진하고 있다.

한편 반추동물의 장내발효에서 생산되는 메탄을 저감하기 위한 신규 첨가제 개발 연구가 한창이며 *In silico* 방법을 선발된 성분에 대하여, *In vitro* 상에서 메탄저감 효과를 확인하게 되면 *In vivo* 한우 사양 시험을 통해 검증한 후 상용화될 것이다. 단기적으로는 국외에서 개발, 승인, 상용화단계를 추진하고 있는 3-NOP(네덜란드, DMS사)나 바다고리풀(호주, FutureFeed사)에 대해 한우에서 *In vivo* 효능을 검증하는 연구가 이루어질 것으로 예상된다.

지속적인 탄소배출을 위해서는 전과정평가(LCI)에 기반한 친환경 사료 개발이 필요하다. 전과정 평가는 정해진 제품 또는 시스템의 모든 과정에 관련된 투입물과 산출물을 정량화하고 이를 이용하여 환경영향 평가를 실시하는 방법으로 축산업의 환경영향 평가를 실시하는 데 있어서 효과적인 방법론으로 대두되고 있다. 적용 기술의 탄소저감 효과의 정확한 판단을 위해서는 한우의 전과정평가 기술 확립이 필요한 상황이다.

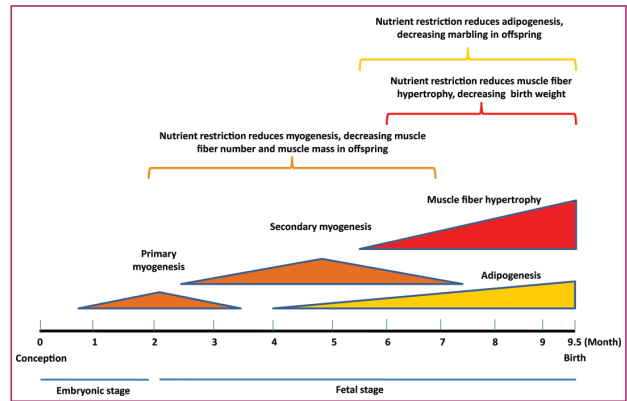
고도의 마블링 생산을 위한 거세한우 사육과정에서 발생하는 “극단적으로 굵고 과도한 근내지방”을 줄이고 멍친 지방에 대한 소비자들의 부정적인 인식을 반영하기 위해 근내지방의 섬세도를 높이면서 동시에 탄소배출량 및 사료비 절감을 유도하는 정밀사양 기술이 필요하다. 최근 근내지방 분포지수와 영상정보로 근내지방 분포지표 추정방법을 개발되었으며 사양기술로는 이유

와 거세시기를 조기화 할 때 섬세도가 높아짐을 확인했다(2021년 국립축산과학원 연구보고서, 인쇄 중). 향후에는 섬세도 관련 유전능력을 고려한 개체별 정밀 사양기술 개발이 필요하다.

한우 사육기간에 대한 영양사양 연구를 넘어 근육세포 및 지방세포수 등 잠재적 성장이 결정되는 태아기 영양 연구가 추진될 것으로 보인다. 즉, 한우 암소 임신기간 별 단백질 및 에너지 공급에 따라 태아기·송아지에서 근육과 지방의 성장과 발달이 향후 성우의 근육량, 근내지방, 도체중 및 육질등급에 미치는 영향 연구 등 모체에 대한 영양수준 조절로 자우의 성장 잠재력을 극대화함으로써 비육기간을 단축하고 효율적인 고품질 한우고기를 생산하는 정밀사양 기술 개발 연구가 본격적으로 추진될 것으로 전망된다.

농가 사육 노동력 절감을 위한 1세대 스마트팜 연구 개발이 완료되면서 1세대 성과들이 한우 사육현장에 점진적으로 보급되고 있으며 데이터, AI, 클라우드 기반 지능형 사양기술 개발을 목적으로 2세대 스마트팜 연구들이 추진되고 있다. 개체 기반(individual-based)으로 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅, 기계학습 및 딥러닝 기법을 활용하는 플랫폼 구축이 완성되고 실시간으로 한우의 생산성(성장율, 유생산)을 예측하는 모델 개발이 이루어지면서 이를 활용하여 실시간 개체의 상태를 판단하고 의사결정을 지원하는 솔루션 개발이

그림 6. 임신기 영양상태에 따른 태아의 근육 및 지방발달 영향



출처: Du et al., 2010.

추진될 것이다. 이를 이용하여 농가에서는 거세한우의 적정 출하시기, 암소의 수정적기를 판단하고, 질병을 예측하며 도태 의사결정을 내리는 데 도움을 주는 스마트팜 시스템은 농가의 경제성 및 경쟁력 증대에 큰 도움이 될 것이다.

3. 번식

번식을 개선을 위해서 기 개발된 기술의 고도화와 AI를 접목한 기술 개발이 진행되고 있다. ICT 장비의 정밀화로 가축의 번식시기를 구명하여 정밀 축산을 위한 번식기반을 구축하고, 기후변화에 따라 변화하는 암소 생리를 분석하고 사육기반 구축을 위한 번식 프로그램

그림 5. 한우 근내지방섬세도 측정방법 개발

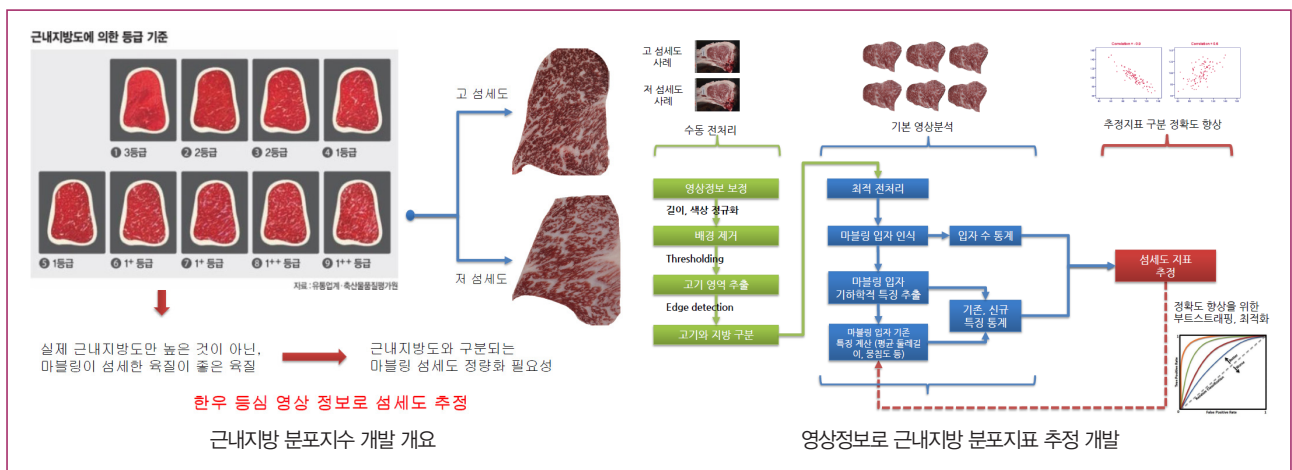


그림 7. 축산 스마트팜 농가 모식도



개발이 필요하다.

암·수 정자의 성분리 기술 정확도를 90% 이상으로 향상시키는 기술을 확보한다면 한우의 성비 조절로 한우 적정 생산규모를 예측하고 수급조절을 위한 번식 프로그램에 적용 가능할 것으로 예측된다.

우수한 유전형질을 지닌 개체의 유전자원 확보를 위한 OPU수정란 생산 및 동결보존 기술을 확립하고, OPU유래 동결 수정란의 이식후 임신율을 40% 이상 확보하여 유전자원 복원 및 보존성을 향상시킬 수 있을 것이다.

가축의 번식 효율 향상을 위한 인공지능기술을 결합한 기술 개발이 필요하다. 인공지능을 기반으로 번식우의 발정관찰에 따른 정확한 인공수정 시점 확보로 번식 효율을 향상시키는 것이 과제로 남아 있다. 또한, 기후 변화에 의한 번식기능 저하를 대비하여 번식우의 체내의 생식기관 변화를 측정할 수 있는 AI장비의 개발이 필요하다. 급격한 인구의 증가 및 농업생산 인구의 고

령화로 심각한 산업화 불균형을 초래할 가능성이 높아지고 있기 때문에, 노동력 절감과 생산성 향상을 위한 고도화된 번식과학 기술이 개발될 필요가 있다.

4. 축산물 이용

한우는 10개의 대분할육과 39개의 소분할육으로 구분되는데 소비가 부진한 저지방부위의 영양적 가치 구명과 다양한 상품개발을 통하여 부위별 균형소비 촉진을 유도해야 한다. 이를 위해서 건강에 유익한 생리활성 성분을 탐색하고 효과를 구명하여 기능성 물질을 발굴해야 한다. 또한 단백질 함량이 많고 지방이 적은 부위별 특성을 활용하여 고령친화식품 및 가정간편식(HMR) 등 수요자 맞춤형 축산식품 개발이 필요하다. 비파괴적 분석기술로 통한 도체수율 예측, 부위별 육질 예측 지표 및 판정기술 개발이 필요하다. 현재 Hyperspectral Imaging (HSI), Nuclear Magnetic

Resonance (NMR), Magnetic Resonance Imaging (MRI), Computed tomography (CT), Couple Charged Device (CCD) Camera 등 다양한 장비를 활용한 연구들이 추진되고 있다. 이러한 기술들이 산업현장에서 활용되기 위해서는 신속한 실시간 이미지 획득 및 자동 데이터 분석 프로그램 개발로 예측율의 정확도와 시설 비용 등 경제성 확보가 병행되어야 할 것이다. 한우는 ‘쇠고기 이력제’를 통하여 출생에서 도축, 포장처리, 판

매단계까지 개체별 정보가 기록·관리되고 있는데 이러한 정보를 포함하여 한우의 개체별 부분육 수율, 품질 및 안전성 관리와 모니터링이 가능한 ‘이력시스템 고도화’ 기술 개발이 필요하다. 개체별 부분육 수율, 도축·가공·유통과정 중 온·습도 모니터링을 통한 품질과 신선도 변화 등 한우고기 수확 후 관리 정보 디지털화 및 인터페이스 네트워크 구축으로 유통 투명성, 품질 및 안전성까지 확보될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Antequera T, Caballero D, Grassi S, Uttaro B, Perez-Palacios T. 2021. Evaluation of fresh meat quality by Hyperspectral Imaging (HSI), Nuclear Magnetic Resonance (NMR) and Magnetic Resonance Imaging (MRI): A review. *Meat Sci* 172: 108340.
2. Du M, Tong J, Zhao J, Underwood KR, Zhu M, Ford SP, Nathanielsz PW. 2010. Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. *J Anim Sci* 88: E51-E60.
3. Erickson GE, Klopfenstein TJ, 2001. Nutritional methods to decrease N losses from open-dirt feedlots in Nebraska. *Sci World J* 1(S2): 836-843.
4. Roover RD, Feugang JMN, Bols PEJ, Genicot G, Hanzen CH. 2008. Effects of ovum pick-up frequency and FSH stimulation: A retrospective study on seven years of beef cattle *in vitro* embryo production. *Reprod Dom Anim* 43: 239-245.
5. Wakholi C, Kim J, Kwon KD, Mo CY, Seo YW, Cho SH, Lim JG, Lee WH, Cho BK. 2022. Nondestructive estimation of beef carcass yield using digital image analysis. *Comput Electron Agr* 194: 106769.
6. 고병익. 동아시아사의 전통과 변용. 1996. 문학과 지성사. p.63-69.
7. 국립축산과학원. 2018. 가축개량협의회 한우분과 회의자료. 국립축산과학원.
8. 국립축산과학원. 2018. 2017년 국립축산과학원 연구보고서. 국립축산과학원.
9. 국립축산과학원. 2021. 가축개량협의회 한우분과 회의자료. 국립축산과학원.
10. 국립축산과학원. 2022. 2021년 국립축산과학원 연구보고서. 국립축산과학원. 인쇄 중.
11. 김상호, 이용선, 허성윤. 2017. 연구보고서 R811 고령친화식품시장 현황 및 활성화 방안. 한국농촌경제연구원.
12. 농림축산식품부. 2021. 2021년도 12월 배합사료 가격 통계. 농림축산식품부.
13. 농촌진흥청. 2020. 영농기술정보. 능력예측방정식을 이용한 암소능력 조가예측. 국립축산과학원.
14. 농촌진흥청. 2020. 영농기술정보. 농가한우 유전체 선발을 위한 거세우 30 개월령 참조집단 활용방안. 국립축산과학원.
15. 민경세, 신예인. 2018. 미래안전망 강화를 위한 블록체인 활용연구. 식품안전정보원.
16. 박성재, 양보석, 임기순, 성환후, 장원경, 박충생. 2000. 한우에 있어서 초음파기기를 이용한 생체내 난자 채취에 관한 연

- 구 II. 난포란의 반복 채취가 난자 회수 및 발정주기에 미치는 영향. 한국동물번식학회지. 24(1): 83-88.
17. 박성재, 양보석, 임기순, 성환후, 장원경, 박충생. 2000. 한우에 있어서 초음파기기를 이용한 생체내 난자 채취에 관한 연구 II. 난포란의 반복 채취가 난자 회수 및 발정주기에 미치는 영향. 한국동물번식학회지 24(1): 83-88.
 18. 손우진, 강태영, 조성근, 심보웅, 최민철, 최상용, 박충생, 이효종. 1998. 한우에서 초음파 유래와 도축장 유래 난포란을 이용한 체외 수정란 생산에 관한 연구. 한국수정란이식학회지 13(2): 107-115.
 19. 오신애, 최선호, 고민희, 강태영, 오영미, 정영호, 조원모. 2012. 제주흑우 동결정액 제조 시 Low Density Lipoprotein (LDL) 의 첨가가 동결 용해 후 정자의 성상에 미치는 영향. 한국수정란이식학회지 27(3): 155-162.
 20. 유임중. 2021. 2020 축산물등급판정 통계연보. 축산물품질평가원.
 21. 이정민, 김창호, 김용렬. 2019. 농식품 분야 블록체인 기술 활용 현황과 시사. 농정포커스, 한국농촌경제연구원.
 22. 이효종, 강태영, 조성근, 박준규, 손우진, 최민철, 최상용. 1997. 과배란처리 한우에서 초음파 유도에 의한 난자채란에 대한 연구. 한국수정란이식학회지 12(2): 195-202.
 23. 임승수. 2018. 블록체인(blockchain) 기술의 식품산업 활용 사례. 해외곡물시장동향 7(4): 77-94. 한국농촌경제연구원.
 24. 장승진. 2022. 2021 축산물등급판정 통계연보. 축산물품질평가원.
 25. 조수현, 황인호. 2014. 지구온난화에 대응한 탄소절감형 축산물 유통기술 개발연구보고서. 국립축산과학원.
 26. ㈜비피기술거래. 2018. 국내외 스마트농업 산업동향 분석 보고서. 비티타임즈.
 27. 진종인, 권태현, 최병현, 김성수, 조현태, 공일근. 2010. OPU(Ovum Pick-Up) 채란기간이 난자 및 수정란 생산에 미치는 영향. 한국수정란이식학회지 25(1): 15-20.
 28. 진종인, 최병현, 김성수, 조현태, 선두원, 임현태, 이정규, 민찬식, 공일근. 2014. OPU 유래 한우 수정란 생산 및 이식. 29(3): 273-281.
 29. 최병현, 진종인, 권태현, 김성수, 조현태, 공일근. 2011. 한우와 젖소 대리모가 OPU 유래 한우 송아지의 체중과 임신 기간에 미치는 영향. 한국수정란이식학회지 26(1): 27-32.
 30. 한국농촌경제연구원. 2020. 2020 농업부문 전망모형 KREI-KASMO 2020 운용 · 개발 연구.
 31. 한국농촌경제연구원. 2021. 농업전망 2022. 한국농촌경제연구원.
 32. 한길우. 2017. Application of ovum pick up in Hanwoo (Korean cattle). 박사학위 논문. 충남대학교.
 33. 허영태, 김동구, 엄상준, 2018. 성분리 키트가 처리된 소정자를 이용한 체외수정란의 배양과 성분리 효율. 한국수정란이식학회지 33(3): 169-175.
 34. 환경부 온실가스종합보고센터. 2020. 2020 국가 온실가스 인벤토리 보고서. 온실가스종합정보센터.