

기술자료

# 축산 분야 온실가스 저감기술 적용 시나리오에 따른 충청남도 감축효과 평가

## Assessment of Greenhouse Gas Reduction Effects in Chungcheongnam-do through Livestock Mitigation Scenarios

황규철, 김영준<sup>1)</sup>, 박세찬<sup>2)</sup>, 신인철<sup>3)</sup>, 김정호<sup>4)</sup>, 김종범\*

충남연구원 서해안기후환경연구소, <sup>1)</sup>인천녹색환경지원센터 대외협력실,  
<sup>2)</sup>충남녹색환경지원센터 기업지원팀, <sup>3)</sup>충청남도보건환경연구원 환경조사팀,  
<sup>4)</sup>열린공간

Kyuchoel Hwang, Young-Joon Kim<sup>1)</sup>, Sechan Park<sup>2)</sup>, In-Chul Shin<sup>3)</sup>,  
Jeongho Kim<sup>4)</sup>, Jong Bum Kim\*

Seohaean Research Institute, ChungNam Institute, Hongseong, Republic of Korea

<sup>1)</sup>Incheon Green Environment Center, Incheon, Republic of Korea

<sup>2)</sup>ChungNam Green Environment Center, Hongseong, Republic of Korea

<sup>3)</sup>Chungcheongnam-do Institute of Health & Environmental Research, Hongseong, Republic of Korea

<sup>4)</sup>Open Space, Seoul, Republic of Korea

접수일 2025년 5월 9일  
수정일 2025년 6월 2일  
채택일 2025년 6월 5일

Received 9 May 2025  
Revised 2 June 2025  
Accepted 5 June 2025

\*Corresponding author

Tel : +82-(0)41-630-3924

E-mail : kjb0810@cni.re.kr

**Abstract** Analysis of greenhouse gas reduction technology and improvement effects in Chungcheongnam-do (Chungnam) based on reduction scenarios in the livestock sector with increasing climate variability due to climate change, the importance of greenhouse gas (GHG) emission management is being emphasized. South Korea, as a country with an energy-intensive industrial structure, is classified as a high GHG-emitting nation, and emissions from the livestock sector continue to rise. In particular, CH<sub>4</sub> (methane) and N<sub>2</sub>O (nitrous oxide), which have high global warming potential (GWP), are the major contributors, necessitating systematic management. However, previous efforts in the livestock sector have mainly focused on odor control and air pollutant emission reduction, while GHG mitigation technologies remain in their early stages. This study analyzes the livestock sector in Chungnam, the largest livestock-producing region in South Korea, and evaluates the GHG emission characteristics and mitigation effects of recently developed reduction technologies up to 2030. The results indicate that emission management for Korean beef cattle, cows, and pigs is crucial, with CH<sub>4</sub> showing a greater reduction effect compared to N<sub>2</sub>O upon the application of reduction technologies. By sector, enteric fermentation requires targeted management for Korean beef cattle, while manure management is most critical for pigs. However, since GHG reduction technologies for the livestock sector are still in their early stages and field applications are limited, quantitative analysis remains challenging. Therefore, continuous research support and policy attention from national and local governments are essential, along with the establishment and maintenance of regional governance for technology dissemination. This study is expected to serve as a foundational reference for policy-making and technology development aimed at reducing GHG emissions in the livestock sector.

**Key words:** Greenhouse gas, Livestock, Methane (CH<sub>4</sub>), Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), Reduction scenario, Chungcheongnam-do

### 1. 서 론

1988년 미국 하와이 마우나 로아 천문대에서 이산화탄소(carbon dioxide, CO<sub>2</sub>)의 지속적인 증가와 온도

상승이 관측되면서 지구온난화(global warming)에 대한 문제가 제기되었다(Forbes, 2023). 기후변화에 관한 정부 간 협의체 (intergovernmental panel on climate change, IPCC)에서 발간한 제4차 평가보고서(4th

assessment report, AR4)에서는 CO<sub>2</sub>를 비롯하여 메탄(methane, CH<sub>4</sub>), 아산화질소(nitrous oxide, N<sub>2</sub>O) 등 6개 물질을 온실가스로 규정하고, 이에 대한 배출량을 산정하고 있다. 또한, 기존 연구 결과에 따르면 온실가스 증가의 주요 원인은 인간의 활동에 기인할 가능성이 매우 높다고 보고하였다(IPCC, 2007).

온실가스의 증가는 전 세계적으로 홍수와 가뭄, 극심한 기후변화를 야기하며, 해수면 상승, 해양 및 농업 생산성 감소, 생물 다양성 감소, 폭염의 빈도 및 강도 증가, 매개체 감염병 증가 등 다양한 환경 문제를 초래하고 있다(Cassia *et al.*, 2018; Haines *et al.*, 2006; Hitz and Smith, 2003). 전 세계적으로 기후변화 대응이 중요한 이슈로 부각되면서 국내에서도 다양한 정책이 추진되고 있다. 탄소 배출 감축과 지속 가능한 발전을 도모하기 위해 2010년 「저탄소 녹색성장 기본법」이 수립되었으며, 이를 기반으로 2022년에는 탄소중립 달성을 위한 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)」이 제정되었다(MOE, 2022, 2010). 개정된 탄소중립기본법에서는 기후변화를 인간의 활동으로 인한 온실가스 증가의 결과로 정의하며, 탄소중립 목표 달성을 위해 IPCC에서 정의한 6대 온실가스를 포함한 기후변화 유발 물질의 관리를 명시하고 있다.

환경부 산하 온실가스 종합정보센터(greenhouse gas inventory and research center of Korea, GIR)에서는 1990년부터 6대 온실가스를 대상으로 에너지, 산업공정, 농업, 토지 이용 변화 및 산림(land use, land use change and forestry, LULUCF), 폐기물 등 분야별 배출량을 산정하고 있다. 국내 총 온실가스 배출량은 1990년 292,105 Gg CO<sub>2</sub>eq에서 2021년 676,648 Gg CO<sub>2</sub>eq로 2.3배 증가하였다. 부문별 증가율을 살펴보면, 산업공정이 2.5배로 가장 높은 증가율을 보였으며, 에너지는 2.4배, 폐기물은 1.5배 증가한 것으로 나타났다(GIR, 2023). 반면, 상쇄(sink) 효과를 가지는 LULUCF는 큰 변화를 보이지 않았다.

한편, 충청남도(충남)는 최근 12년간 전국에서 가장 많은 온실가스를 배출하는 지역으로 나타났다. 2010년 전국 총 온실가스 배출량 630,254 Gg CO<sub>2</sub>eq 중

25.8% (162,743 Gg CO<sub>2</sub>eq)를 차지하였으며, 2021년에는 전체 배출량이 감소했음에도 불구하고 여전히 전국 배출량의 21.2% (143,642 Gg CO<sub>2</sub>eq)를 차지하며 높은 배출 기여도를 보였다(GIR, 2023). 충남의 높은 배출량은 석탄화력발전소, 제철소, 석유화학단지 등 대규모 온실가스 배출 시설이 밀집해 있기 때문으로 분석된다(CNI, 2024). 이에 충남은 온실가스 배출량 감축과 탄소중립 조기 달성을 위해 「충청남도 2045 탄소중립 녹색성장 기본계획」을 수립하여 추진하고 있다. 충남은 2050년보다 앞선 2045년까지 탄소중립을 달성하는 것을 목표로 설정하였으며, 이를 위해 석탄화력발전소 조기 폐쇄, CCUS(carbon capture, utilization, and storage) 산업 육성, 제로에너지 빌딩 활성화, 친환경 차량 전환 촉진, 친환경 농축수산업 확대 등의 세부 정책을 제시하고 있다(CN, 2024).

충남의 온실가스 배출 기여도를 부문별로 살펴보면, 2021년 기준 에너지가 82.4%로 가장 높은 비율을 차지하며, 이어 산업공정이 13.9%, 농업이 2.6%를 차지하였다. 특히 충남은 국내 최대 규모의 축산업 단지로, 돼지 사육두수 기준 전국 1위, 닭과 소 사육두수 기준 전국 3위에 해당하는 지역이다. 축산 분야에서는 지구온난화지수(global warming potential, GWP)가 높은 CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O가 주로 배출되기 때문에 이에 대한 체계적인 관리가 필요하다(MAFRA, 2023a).

이에 본 연구에서는 충남을 대상으로 축산 분야의 온실가스 배출 특성과 이를 관리하기 위한 기술 현황을 분석하고, 현재까지 제시된 원단위를 기반으로 감축 시나리오를 제안하여 충남 축산 분야의 온실가스 감축 효과를 평가하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 자료 수집 및 배출량 산정 방법

본 연구 수행을 위해 환경부와 농림축산부 등에서 발간한 국가 자료를 활용하였다. 충남 지역의 가축 사육 현황을 파악하기 위해 농림축산부에서 발표한 통계연보를 사용하였으며(MAFRA, 2023a), 온실가스 배

출량은 국가 온실가스 종합정보센터에서 산정한 자료를 활용하였다(GIR, 2023). 온실가스 배출량 자료는 1990년부터 가장 최근 확정된 2021년 자료를 대상으로 하였다. 축산 분야에서 배출되는 온실가스 배출량은 장내발효와 가축분뇨 처리로 구분되며, 산정 대상으로는 젖소(Cow), 한육우(Korean beef cattle), 돼지(Pig), 가금류(Poultry) 등이 포함된다. 본 연구에서는 온실가스 배출량의 대부분을 차지하는 소(젖소 및 한육우)와 돼지를 대상으로 분석을 진행하였다.

### 2.1.1 축산 온실가스 배출 단계

축산 분야 온실가스 배출 과정은 크게 4단계로 구분되며, 그림 1은 1단계부터 4단계까지의 온실가스 배출 과정을 나타낸 것이다(KREI, 2024a). 첫 번째 단계는 사료의 제조, 생산, 수입 과정에서 배출되며, 이는 직접 배출보다는 간접 배출로 산정된다. 두 번째 단계는 가축의 사육 단계로, 가축 관리와 가축분뇨 처리 과정에서 발생하는 배출량이 포함된다. 세 번째 단계는 가축의 도축 과정이며, 마지막 네 번째 단계는 유통 및 소비 단계이다. 온실가스 배출량 산정 시 배출량으로 집계되는 부분은 2단계(가축 사육 및 가축분뇨 처리)에서 발생하는 직접 배출을 대상으로 하며, 현재까지 1,

3, 4단계는 간접 배출로 간주되어 온실가스 배출량 산정에는 포함되지 않는다. 본 연구에서는 국가 온실가스 통계에서 가축 부분 배출에 대해 분석을 진행하였으며 모든 자료의 값은 CO<sub>2</sub> equivalent 값으로 제시하였으며, 대부분의 온실가스 배출량을 차지하는 2단계의 장내발효와 가축분뇨 중 CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O를 대상으로 대해 분석을 진행하였다.

### 2.1.2 장내발효

장내발효에 의한 온실가스 배출량은 축종별 사육두수와 CH<sub>4</sub> 배출계수로 산정된다. 가축의 소화과정에서 CH<sub>4</sub>가 대사산물로 생산되며, 이는 주로 반추위(루멘, rumen)에 존재하는 미생물이 탄수화물 형태의 셀룰로스를 소화하는 과정에서 발생한다. 관련 산정 방법은 식 (1)과 같다(GIR, 2023).

$$E_i = EF_i \times Population_i \text{ (Gg/10}^6 \text{ kg)} \quad (1)$$

여기서

$E_i$ : 가축종  $i$ 의 CH<sub>4</sub> 배출량(천 톤 CH<sub>4</sub>/year)

$EF_i$ : 가축종  $i$ 의 배출계수(kg CH<sub>4</sub>/head/year)

$Population_i$ : 가축종  $i$ 의 사육두수(head)

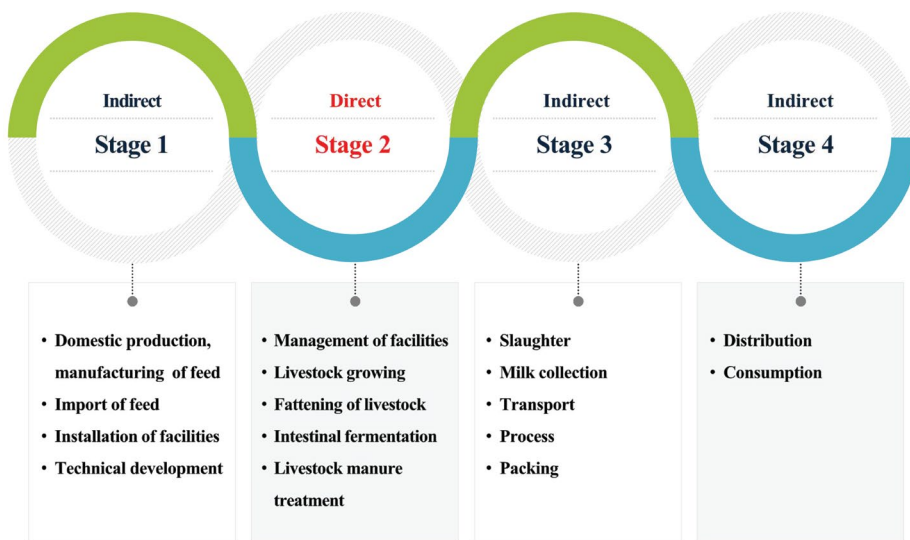


Fig. 1. General greenhouse gas emission processes in the livestock sector.

### 2.1.3 가축분뇨 처리

가축분뇨 처리 과정에서는 CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O가 발생하는 것으로 알려져 있다(Petersen *et al.*, 2013). 가축분뇨 내 유기물이 혐기성 환경에서 분해되면서 CH<sub>4</sub>가 발생하며, 분뇨 내 질소성분이 질산화 및 탈질화 과정을 거치면서 N<sub>2</sub>O가 배출된다. CH<sub>4</sub> 발생량은 분뇨의 총량, 분뇨 내 유기물 비율, 축종별 특성, 가축이 섭취한 사료의 종류, 분뇨 처리 방법에 따라 달라진다. CH<sub>4</sub>의 배출량 산정은 위의 식 (1)과 동일한 방식을 사용하며, N<sub>2</sub>O의 경우 식 (2)에 의해 산정된다(GIR, 2023).

$$N_2O = \left[ \sum_s \left[ \sum_T (N_T \times N_{ex(T)} \times MS_{(T,S)}) \right] \times EF_{3(s)} \right] \times \frac{44}{28} \quad (2)$$

여기서

N<sub>2</sub>O: 가축분뇨 처리시설의 N<sub>2</sub>O 배출량  
(kg N<sub>2</sub>O/year)

N<sub>T</sub>: 가축 종류와 분류에 따른 연간 사육두수(year)

N<sub>ex(T)</sub>: 축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량  
(kg N/head/year)

MS<sub>(T,S)</sub>: 가축분뇨 처리시설 S의 이용비율

EF<sub>3(s)</sub>: 가축분뇨 처리시설 S의 N<sub>2</sub>O 배출계수  
(kg N<sub>2</sub>O-N/kg N)

S: 가축분뇨 처리시설

T: 가축의 종류

44/28: 질소(N<sub>2</sub>)에서 N<sub>2</sub>O로의 전환계수

배출계수는 국가 온실가스 인벤토리 보고서에서 제시한 자료를 인용하였으며, 본 연구에서는 온실가스 종합정보센터에서 산정·고시한 축산 부문 온실가스 배출량 확정 자료를 활용하였다.

### 2.2 공간범위 및 대상기간

본 연구의 공간범위는 충남 지역을 대상으로 하였다. 충남은 한반도 정서쪽에 위치해 있으며 북쪽으로는 경기도, 남쪽으로는 전라북도와 인접해 있다. 충남의 서북부 지역에는 석탄화력발전소, 제철소, 석유화학단지 등이 위치해 있어 지역 배출원이 많은 지역이다(그림 2). 온실가스 전망을 위해 필요한 자료인 배출량 자료는 GIR에서 확인한 통계 자료를 대상으로 하였으며, 사육두수 자료는 한국농촌경제연구원(Korea Rural Economic Institute, KREI)에서 발표한 「농업전망 2024」를 활용하였다.

### 2.3 축산 분야 온실가스 감축 기술 현황

표 1은 현재 추진 중인 축산 분야 온실가스 감축 정

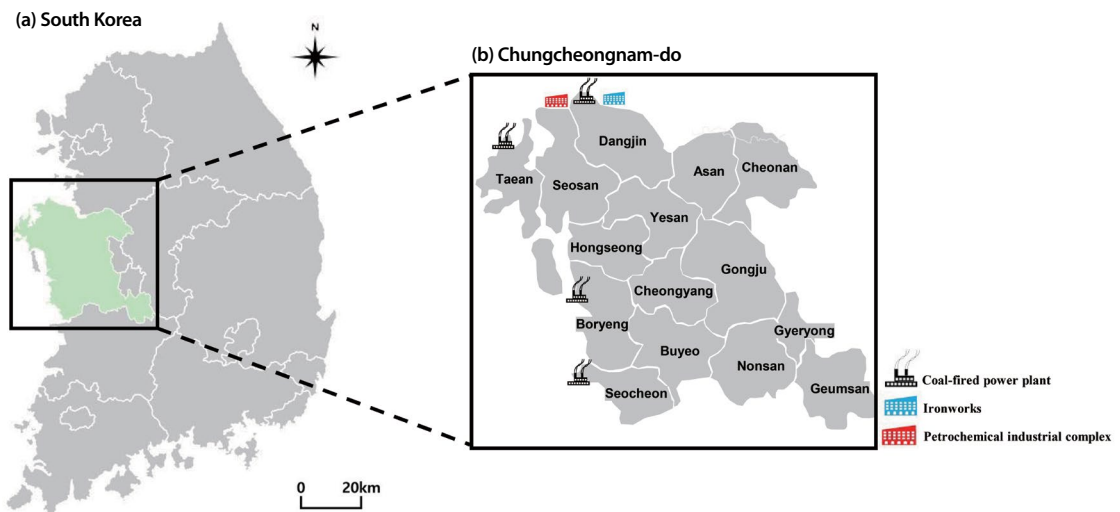


Fig. 2. Study area (Chungcheongnam-do) and major industry facilities.

**Table 1.** Technologies for reducing greenhouse gas emissions in livestock.

	Tier 1	Tier 2	Tier 3	
A	Reduction in number of livestock	1 Development of alternative food	a Development of insect, fungus, seaweed	
		2 Development of vegetable meat substitute	a Development of soy & wheat meat	
		3 Development of cultured meat	a Development of stem cells	
	B	Breeding	1 Management of growing period	a Shortening of growing period
			2 Increased productivity	a Increased meat and milk production
		4 Management of growing environment	a Improving of feed conversion ratio (FCR)	
b Management of appropriate rearing density				
c Enhancement of livestock facilities				
5 Management of intestinal fermentation	d Establish of local governance			
	a Development and distribution of low-CH <sub>4</sub> feed			
	b Development and distribution of protein feed			
C	Process	5 Improving of livestock manure treatment	c Introduction of emission trading system	
			a Advancement of greenhouse gas processing technology	
			b Activation of livestock manure recycling business	
	1 Slaughter and storage	c Shortening of livestock manure treatment period		
		a Updating of slaughter facilities		
		a Shortening of distribution and storage period		
2 Transportation	b Switch to eco-friendly vehicles and economical driving			
	c Shortening of distribution routes			
	3 Disuse	a Minimize waste generation		

책을 기반으로 적용할 수 있는 저감기술을 단계별로 정리한 것이다. 온실가스를 감축할 수 있는 방법은 크게 세 가지 대분류로 구분된다. 첫 번째 대분류(Tier 1A)는 가축 사육두수의 감소를 통해 축산 분야의 온실가스 배출을 근본적으로 감축하는 방법이다. 가축 사육두수를 줄임으로써 배출되는 온실가스를 감축하는 방안이며, 이를 위해 기존 육류를 대체할 수 있는 기술이 연구되고 있다. 대표적인 대체 기술로는 콩고기, 밀고기와 같은 식물성 대체육 개발, 곤충·해조류·균류 기반 대체 단백질 개발, 줄기세포 배양을 활용한 배양육 생산 등이 있다.

두 번째 대분류(Tier 1B)는 가축 사육 단계에서 발생하는 온실가스를 줄이는 방법이다. 이는 사육 기간 단축, 사육 환경 개선, 장내발효에 의한 배출 저감, 가축분뇨 처리 과정에서의 온실가스 감축 등을 포함한다. 가축 육종 개발을 통해 소의 사육 기간을 단축하

거나, 사료 전환율을 개선하여 적은 사료로 가축의 성장 속도를 촉진시키는 방법이 연구되고 있다. 또한 축사 내 적정 사육 밀도를 유지하여 배출량을 줄이고, 저메탄 및 저단백질 사료의 개발 및 보급을 통해 장내 발효 과정에서 발생하는 CH<sub>4</sub> 배출량을 줄이는 기술도 포함된다. 가축분뇨 처리 과정에서는 기존보다 효율적인 CH<sub>4</sub> 회수 및 정제 기술과 배출 저감 시설 도입을 통해 온실가스를 줄이는 방안이 고려되고 있다. 현재 축산 분야의 온실가스 감축기술 개발은 주로 사육 단계에 집중되어 연구가 진행되고 있으며, 이 단계에서 효과적인 감축 방안이 개발될 경우 전체 축산 분야 온실가스 배출량을 상당 부분 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

세 번째 대분류(Tier 1C)는 도축, 보관, 물류 및 폐기 과정에서 온실가스를 줄이는 방법이다. 가축의 도축 및 제품 보관, 물류 이송, 폐기 과정에서도 온실가스가

**Table 2.** Reduction effects at each strategy of livestock management (KREI, 2024a).

Strategy	Technology (Species)	Detailed reduction effects
Increased productivity	B1a Shortening of growing period (Korean beef cattle)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Target shipping age: 26~28 month (current: 31 month)</li> <li>• Reduction: 20,000~38,000 tCO<sub>2</sub>eq</li> </ul>
	Increased milk production (Cow)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Milk production/cow in 2018: 10,000 tons</li> <li>• Reduction: 160,000 tCO<sub>2</sub>eq (10% increase in yield)</li> </ul>
Low-carbon feeding management	B2a Increasing of MSY* (Pig)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actual MSY in Korea (2018): 17.9 pigs</li> <li>- US (25), EU (27.5), Denmark-(30)</li> <li>• Reduction: 31,000~42,000 tCO<sub>2</sub>eq</li> <li>- Increasing of MSY: 22.5~25</li> </ul>
	B4a Supply of low-CH <sub>4</sub> feed (Korean beef cattle, cow)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expected rate: 78% by 2030</li> <li>• Reducing rate in pre-study: 10, 20, 35%</li> <li>• Reduction: 310,000 tCO<sub>2</sub>eq</li> <li>- Based on supply rate 78%, CH<sub>4</sub> reducing rate 10%</li> </ul>
	B4b Supply of low-protein feed (Korean beef cattle, cow, pig)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expected rate: 48% by 2030</li> <li>• Reducing rate of protein in feed (1%, 2%)</li> <li>• N reducing rate in manure: 6.4~18.8%</li> <li>• Reduction: 440,000 tCO<sub>2</sub>eq</li> <li>- Based on supply rate 48%, protein reducing rate 2%</li> </ul>

\*MSY: marketed-pigs per sow per year

발생하기 때문에, 이 과정에서의 배출 저감을 위한 기술적 접근이 필요하다. 대표적인 방안으로는 도축 시설의 현대화를 통해 에너지 소비를 절감하고, 유통 및 보관 기간을 단축하여 냉장·냉동 저장 과정에서 발생하는 배출을 줄이는 것이 포함된다. 또한, 물류 이송 과정에서 온실가스를 줄이기 위해 운송 수단을 친환경 차량으로 전환하고, 경제적인 운전 기법을 적용하여 도로에서 배출되는 온실가스를 최소화하는 방안이 제시되고 있다.

이와 같은 감축 시나리오를 기반으로 축산 분야의 온실가스 감축 기술을 적용하면, 전체적인 배출량을 상당히 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 다만, 축산 분야의 감축 기술이 아직 상용화 단계에 도달하지 않은 경우가 많고, 농가의 경제적 부담 문제로 인해 일부 기술의 도입이 어려운 상황이기 때문에, 정책적 지원과 기술 개발이 병행되어야 한다.

KREI에서는 저탄소 축산업으로의 전환을 위해 제시된 기술 중 저탄소 사양 관리 및 생산성 향상 기술에 대한 온실가스 감축량을 정량적으로 산정하였다(표 2). 표 2의 기술분류는 표 1의 온실가스 저감기술

단계 중 정량적으로 산정 가능한 기술을 나타낸 것이다. 생산성 향상(Increased productivity)은 비육 기간 단축, 젖소의 산유량 증대, 자돈 생산량 증가를 목표로 설정하였으며, 저탄소 사양 관리(Low-carbon feeding management)는 저메탄 및 저단백질 사료 공급을 통한 감축량을 산정하였다. 산정 결과, 2030년까지 해당 기술을 적용할 경우 총 96.1~99.0만 톤 CO<sub>2</sub>eq의 온실가스를 감축할 수 있을 것으로 예측되었다(KREI, 2024a).

## 2.4 온실가스 감축 시나리오

충남 지역에서 배출된 온실가스 감축을 목적으로 현재 수준에서 적용 가능한 기술을 적용한 경우를 대상으로 시나리오를 작성하였고, 기술 적용에 따른 온실가스 감축량을 산정하였다.

앞서 언급한 것처럼, 에너지·산업 분야의 온실가스 배출 기여도가 높은 반면, 농업 및 축산 관련 저감기술은 아직 초기 단계에 머물러 있으며, 이로 인해 현재 적용할 수 있는 원단위가 개발된 기술이 많지 않다. 이에 현재 적용할 수 있는 기술들을 기반으로 충남 지역 축산 분야의 온실가스 감축 시나리오를 작성하였다.

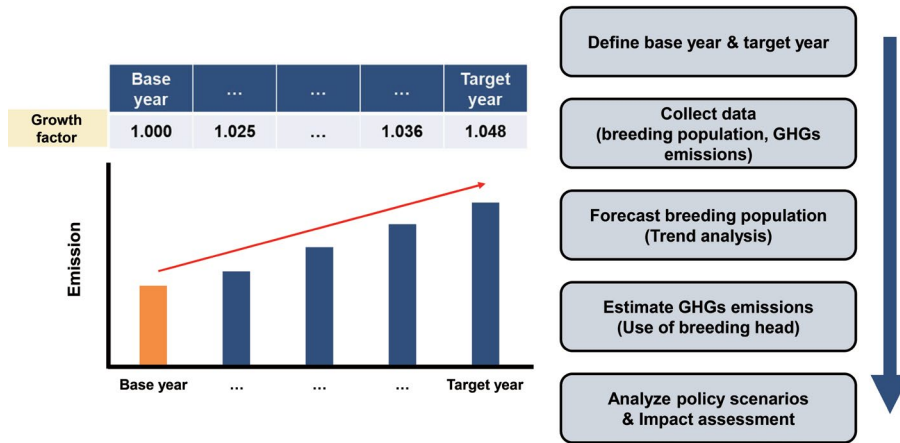


Fig. 3. BAU estimation method and flowchart (schematic diagram).

축산 분야 기술적용에 따른 감축 효과 분석을 위해 전 망배출량(business as usual, BAU) 개념을 사용하였다. BAU 산정에 필요한 사육두수 전망 자료는 KREI에서 발표한 농업전망 데이터를 활용하였다(KREI, 2024b). 사육두수 전망을 위한 성장계수(growth factor)는 2000 년도부터 2021년까지의 사육두수 통계 자료를 활용하여 1차 선형회귀( $y = ax + b$ )를 활용하여 2030년까지의 값을 산출하였다. 온실가스 전망 배출량은 앞서 계산한 사육두수 전망 자료와 GIR에서 발간한 온실가스 배출 산정 자료를 기반으로 산출하였다. 그림 3은 본 연구에서 제시한 미래 전망과 시나리오 적용에 따른 개선 효과 분석 방법 및 순서를 도식화한 것이다.

표 3은 배출량 전망을 위해 개발된 시나리오에 적용된 감축 기술을 나타낸 것이다. 현재까지 개발된 축산 분야의 온실가스 감축 기술 중, 온실가스 배출량 산정을 위한 원단위가 확립되어 정량화 가능한 기술 중에서 3개 기술을 적용하여 2개의 시나리오를 설정하였다. 젖소의 우유 생산량 증가 및 돼지의 양돈 생산성 증대는 온실가스 배출량 항목 세부 분류 부재 및 정량화하기 어려운 기술이므로 본 연구의 시나리오 적용에서는 제외하였다. 첫 번째 시나리오(Scenario 1, S1)는 비교적 소극적인 정책이 추진된 경우를 가정한 것이다. 저메탄 사료의 메탄 저감 효과를 10%로 설정하고, 적정 단백질 사료의 단백질 함량을 1% 감소시킨 경우를

Table 3. Comparison of reduction effects under two management scenarios.

S1*	S2**	Effect
28 month	26 month	Reduction in breeding period (B1a)
10%	20%	Reduction in CH <sub>4</sub> emissions (B4a)
1%	2%	Reduction in protein content in feed (B4b)

\*S1: Scenario 1 (conservative management strategy)

\*\*S2: Scenario 2 (proactive management strategy)

반영하였다. 또한 비육 기간을 기존 31개월에서 28개월로 3개월 단축한 시나리오를 적용하였다. 두 번째 시나리오(Scenario 2, S2)는 동일한 기술을 적용하되, 보다 적극적인 감축이 이루어진 경우를 가정하였다. 저메탄 사료의 메탄 저감 효과를 20%로 설정하고, 적정 단백질 사료의 단백질 함량을 2% 감소시킨 경우를 반영하였으며, 비육 기간을 S1보다 2개월 단축된 26개월로 설정하여 온실가스 배출 저감 효과를 극대화하는 방안을 적용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 전국 및 충남의 축산관리 현황

축산업은 최근 식습관의 변화와 함께 성장하고 있는 산업 중 하나이다. 농림축산식품부에 따르면, 소, 돼지,

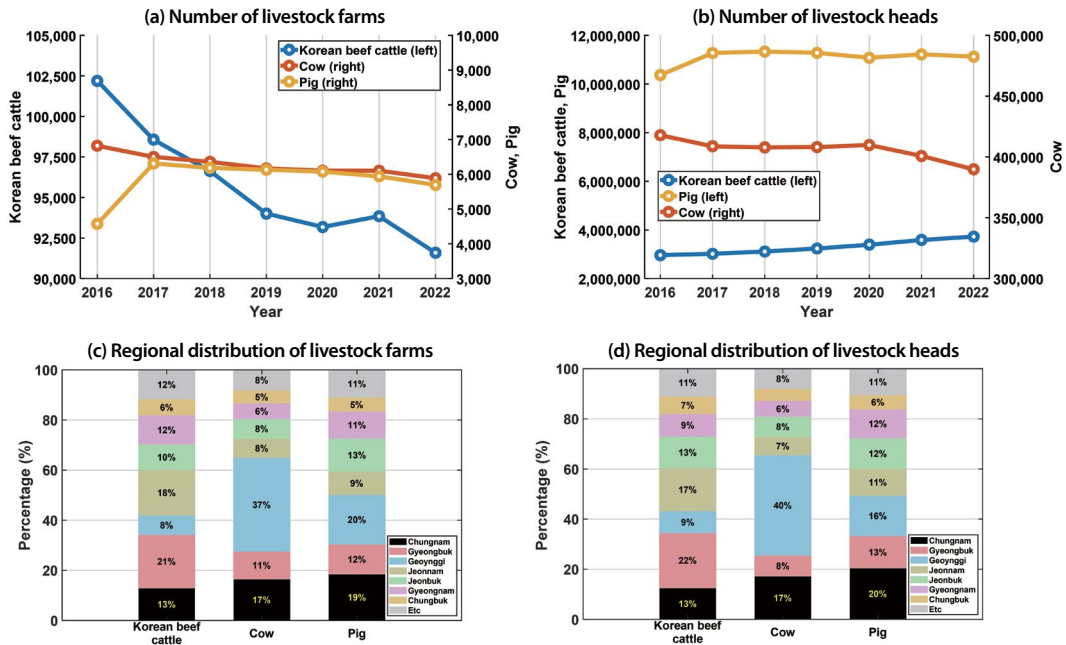


Fig. 4. Trends and regional distribution of livestock farms and heads.

닭의 1인당 소비량은 2010년 각각 8.7 kg, 19.3 kg, 10.7 kg에서 2022년 14.9 kg, 30.1 kg, 14.8 kg으로 증가하였으며, 반대로 곡물 소비량은 감소하고 있다(MAFRA, 2023b).

그림 4a와 그림 4b는 전국을 대상으로 2016년부터 2022년까지 주요 가축(한우, 젓소, 돼지, 닭)의 사육농가 및 사육두수 변화를 나타낸 것이다. 2016년 이후 사육농가 수는 전반적으로 감소하고 있으며, 특히 한우의 사육농가 수가 급격히 감소하고 있는 것으로 확인된다. 반면, 사육두수는 전반적으로 증가하는 경향을 보이며, 특히 닭의 사육두수 증가율이 가장 높다. 사육농가 수는 감소한 반면 사육두수가 증가하고 있다는 점은 축산업이 점차 소규모에서 대규모로 전환되고 있음을 의미한다. 그림 4c와 4d는 사육농가 및 사육두수의 전국 분포를 나타낸 것이다. 사육농가 분포를 살펴보면, 한우의 경우 경북이 국내 전체 사육농가의 21%로 가장 높은 비율을 차지하며, 그 뒤를 이어 전북(18%), 충남(13%), 경남(12%) 순으로 나타났다. 젓소의 경우 경기도가 37%로 가장 높은 비율을 차지하

였으며, 충남(17%), 경북(11%) 순으로 분포하였다. 돼지의 경우, 경기(20%), 충남(19%), 전북(13%), 경북(12%), 경남(11%) 순으로 사육농가가 분포하고 있었다. 전국 17개 시·도 중 경북, 경남, 충남, 전북, 경기 등 5개 지역에서 대부분의 축산업이 진행되고 있다는 것을 확인할 수 있다.

사육두수를 기준으로 보면, 한우의 경우 경북이 22%로 가장 높은 비율을 차지하며, 전남(17%), 충남(13%), 전북(13%) 순으로 나타났다. 젓소의 경우 사육농가가 가장 많이 분포한 경기도가 40%로 가장 높은 비율을 보였으며, 그 뒤를 이어 충남(17%), 전북(8%), 경북(8%) 순으로 나타났다. 돼지는 사육농가 수에서는 경기도가 20%로 가장 높은 비율을 차지했으나, 사육두수 기준으로는 충남이 20%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 경기(16%), 경북(13%), 전북(12%), 경남(12%) 순으로 나타났다.

그림 5는 2022년 기준 충남 지역에서 사육 중인 한우, 젓소, 돼지의 시·군별 사육두수를 나타낸 것이다. 한우와 젓소는 예산군에서 가장 많이 사육되는

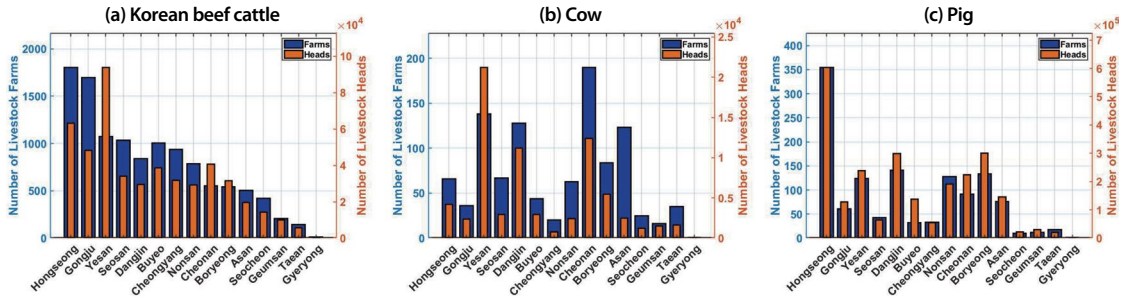


Fig. 5. Distribution of livestock farms and heads each species in Chungcheongnam-do.

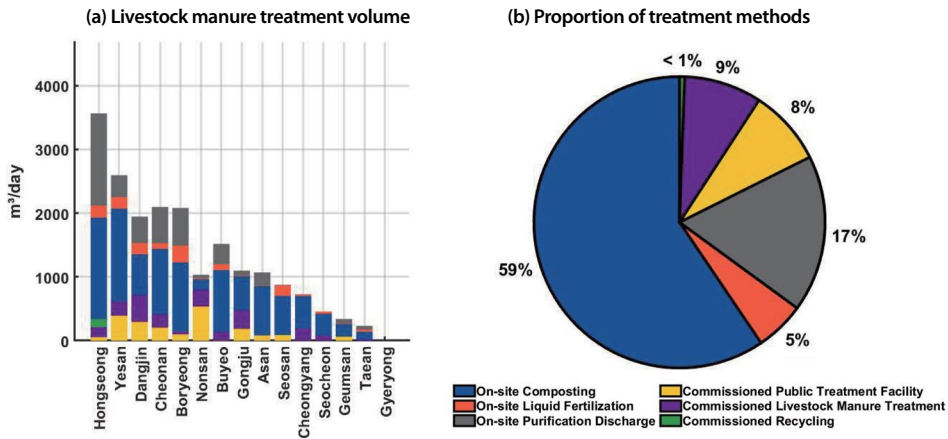


Fig. 6. Livestock manure treatment volume (a) and proportion of treatment methods (b) in Chungcheongnam-do.

것으로 확인되었으며, 돼지는 홍성군에서 가장 많은 개체 수가 사육되고 있었다. 축종별로 정리하면, 한육우는 예산 > 홍성 > 공주 > 천안 > 부여 순으로 많이 사육되고 있었으며, 젖소는 예산 > 천안 > 당진 > 보령 > 홍성 순으로 확인되었다. 돼지는 홍성 > 보령 > 당진 > 예산 > 천안 순이었다. 전반적으로 예산, 홍성, 당진, 천안, 보령 등 5개 시·군에 가축 사육이 집중되어 있는 것으로 확인되었으며, 이들 상위 5개 시·군에서 젖소(74.9%), 돼지(67.8%), 한육우(58.1%) 순으로 높은 비율을 차지하고 있었다.

그림 6은 충남 지역에서 배출된 가축분뇨의 처리 방법 및 시군별 처리 현황을 나타낸 것이다. 시군별 가축분뇨 처리량을 살펴보면, 돼지 사육두수가 가장 많은 홍성에서 전체의 16.4%를 처리하고 있었으며, 그

뒤를 이어 예산(13.5%), 당진(11.2%), 천안(10.5%), 보령(9.4%) 순으로 처리량이 많았다. 즉, 가축 사육두수가 많은 지역에서 많은 양의 가축분뇨를 처리하고 있는 것으로 확인되었다. 가축분뇨 처리 방법을 살펴보면, 전체 가축분뇨 중 59.5%가 퇴비화 방식으로 처리되고 있었으며, 정화 방류(17.4%), 가축분뇨 시설 처리(8.6%), 공공처리시설 처리(8.4%), 액비화 처리(5.5%) 순으로 나타났다. 전반적으로, 가축농가에서 자체적으로 처리하는 비율(82.4%)이 시설 위탁처리 비율(17.6%)보다 높은 것으로 확인되었다.

### 3.2 온실가스 배출량 및 축산 부문 기여도

우리나라는 고에너지 소비구조를 가지고 있어 온실가스 배출량이 높은 국가 중 하나이다. 유럽연합

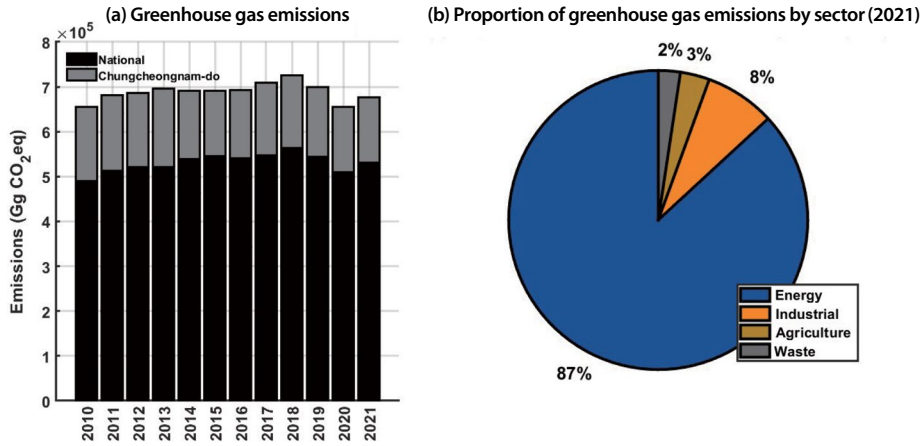


Fig. 7. Greenhouse gas emissions in Chungcheongnam-do and South Korea.

(European Union, EU)의 공동연구센터 (Joint Research Centre, JRC)에서 발표한 보고서에 따르면, 2023년 대한민국의 온실가스 배출 순위는 단일 국가 기준 세계 13위이며, 이는 전 세계에서 배출되는 인위적인 온실가스의 1.2%를 차지하는 수준으로, 1990년 대비 2.1% 증가한 것으로 나타났다(JRC, 2024).

그림 7a는 2010년부터 2021년까지 전국 온실가스 배출량 변화 추이와 전국 온실가스 배출량 중 충남 지역의 온실가스 배출 비율을 나타낸 것이며, 그림 7b는 2021년 기준 부문별 온실가스 배출 기여도를 나타낸 것이다. 2010년 국내 온실가스 총 배출량은 655,106 Gg CO<sub>2</sub>eq에서 2021년 676,648 Gg CO<sub>2</sub>eq로 3.3% 증가한 것으로 나타났다. 반면, 충남의 경우 2010년 162,743 Gg CO<sub>2</sub>eq에서 2021년 143,642 Gg CO<sub>2</sub>eq로 11.7% 감소하였다. 충남 지역은 석탄화력발전소를 비롯하여 대규모 에너지 산업 배출 시설이 다수 위치하고 있으나, 2016년부터 시작된 방지시설 개선 사업, 석탄화력발전소 조기 폐쇄, 온실가스 감축 정책 추진 등 다양한 정책적 노력의 결과로 온실가스 배출량이 감소한 것으로 판단된다.

전국 기준 온실가스 배출량 대비 충남의 기여도 역시 2010년 25.8%에서 2021년 21.2%로 소폭 감소하였다. 2021년 기준 부문별 온실가스 배출 기여율을 살펴보면, 에너지 부문이 86.9%로 가장 높은 비율을 차지

하였으며 다음으로 산업공정 및 제품 생산 7.6%, 농업 3.2%, 폐기물 2.4%로 나타났다. 이를 통해 여전히 에너지 산업 부문의 배출 비중이 가장 높다는 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 충청남도의 온실가스 배출량 변화 추이를 나타낸 것이다. 그림 8a는 연도별 온실가스 배출량을 시군별로 나타낸 것으로, 2010년부터 2021년까지 증감을 보이는 가운데 당진이 가장 높은 기여율을 기록하고 있으며, 그 뒤를 이어 태안, 보령, 서산 순으로 높은 배출량을 보이고 있다. 당진의 경우 석탄화력발전소와 제철소가 동시에 위치해 있어 가장 높은 온실가스 배출량을 기록하고 있으나, 2010년 71,481 Gg CO<sub>2</sub>eq에서 2021년 53,432 Gg CO<sub>2</sub>eq로 25.2% 감축하였다. 두 번째로 높은 태안은 10기의 석탄화력발전소가 운영 중인 지역으로, 2010년 29,374 Gg CO<sub>2</sub>eq에서 2021년 29,077 Gg CO<sub>2</sub>eq로 큰 변화 없이 일정한 배출량을 유지하고 있다. 세 번째로 높은 보령의 경우, 2010년 35,709 Gg CO<sub>2</sub>eq에서 2021년 26,766 Gg CO<sub>2</sub>eq로 25.0%의 감축률을 기록하였으며, 이는 보령 1·2호기의 조기 폐쇄로 인해 온실가스 배출량이 감소한 결과로 판단된다.

그림 8b는 충청남도 내 농업 부문의 온실가스 배출량 변화 추이를 나타낸 것이다. 2010년 농업 부문에서의 온실가스 배출량은 4,154 Gg CO<sub>2</sub>eq였으며, 2021년

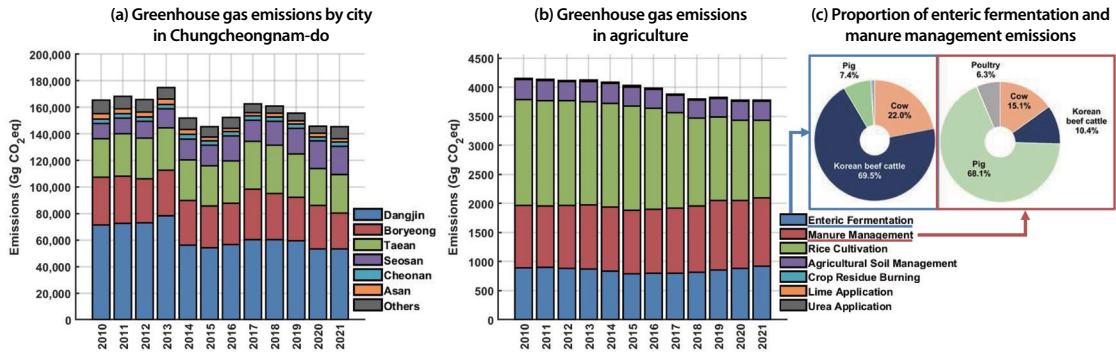


Fig. 8. Comparison of greenhouse gas emissions by city and agricultural sector in Chungcheongnam-do.

에는 3,785 Gg CO<sub>2</sub>e로 8.9% 감소한 것으로 나타났다. 그러나 축산 분야에서 발생하는 온실가스 배출량(장내발효 + 가축분뇨 처리)은 증가하는 추세를 보였다. 2010년 1,971 Gg CO<sub>2</sub>e였던 축산 분야 온실가스 배출량은 2021년 2,094 Gg CO<sub>2</sub>e로 증가하였으며, 전체 농업 부문 온실가스 배출량 중 기여율도 2010년 47.4%에서 2021년 55.3%로 증가한 것으로 나타났다. 이러한 추세를 고려할 때, 축산 분야 온실가스 배출에 대한 체계적인 관리가 필요할 것으로 판단된다. 2010년 장내발효와 가축분뇨 처리로 인한 온실가스 배출량은 각각 891 Gg CO<sub>2</sub>e, 1,080 Gg CO<sub>2</sub>e였으며, 2021년에는 923 Gg CO<sub>2</sub>e, 1,170 Gg CO<sub>2</sub>e로 각각 3.7%와 8.4% 증가하였다. 농업 부문 중 기여율 역시 2010년 장내발효 21%, 가축분뇨 처리 26%에서, 2021년 각각 24%와 31%로 증가 추세를 보였다. 그림 8c는 각각 장내발효 및 가축분뇨 처리에 대한 축종별 기여율을 나타낸 것이다. 장내발효의 경우 한육우가 69.5%로 가장 높은 기여율을 차지하였으며, 젖소(22.2%), 돼지(7.4%) 순으로 나타났다. 이 세 축종에서 전체 장내발효 온실가스 배출량의 99.1%가 배출되는 것으로 확인되었다. 가축분뇨 처리의 경우 돼지가 68.1%로 가장 높은 기여율을 보였으며, 젖소(15.1%), 한육우(10.4%), 가금류(6.3%) 순으로 나타났다. 본 연구 결과, 국내 축산 부문의 온실가스 감축을 위해서는 한육우, 젖소, 돼지의 배출 관리가 중요한 것으로 나타났다.

### 3.4 시나리오에 따른 온실가스 감축량

#### 3.4.1 사육두수 전망

사육두수 전망을 위해 2000년부터 2021년까지의 통계 자료를 활용하여 축종별 성장계수(Growth factor)를 산정하였으며, 이를 기반으로 2030년까지의 사육두수 전망 값을 산출하였다. 그림 9는 축종별 사육두수 전망 값을 그래프로 나타낸 것이다. 돼지의 경우 2011년 구제역 발생으로 개체 수가 급감한 시기를 제외하고는 지속적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 2030년 사육두수는 12,475,401두이며, 2021년 대비 약 10.9% 증가할 것으로 예측되었다. 젖소는 두당 착유량이 증가함에 따라 전체적인 개체 수가 감소할 것으로 전망되었다. 2030년 사육두수는 315,625두로 예측되었으며, 2021년 대비 약 21.4% 감소할 것으로 나타났다. 마지막으로 한육우의 2030년 사육두수는 4,508,574두로 예측되었으며, 이는 2021년 대비 약 27.4% 증가한 수치이다.

#### 3.4.2 온실가스 전망배출량 전망

그림 10은 축산 부문 BAU 및 시나리오 적용에 따른 개선 효과를 나타낸 것이다. BAU는 어떠한 정책 및 기술의 영향 없이 현재 상태가 유지된다는 조건하에 앞서 산정한 사육두수 전망 자료 및 기준 연도(2021년) 배출량 자료를 기반으로 2030년까지의 배출량을 산출하였다. S1과 S2는 앞서 표 3에서 제시한 기술을 적용했을 때의 감축량을 반영하여 산정되었다. 2021년 온

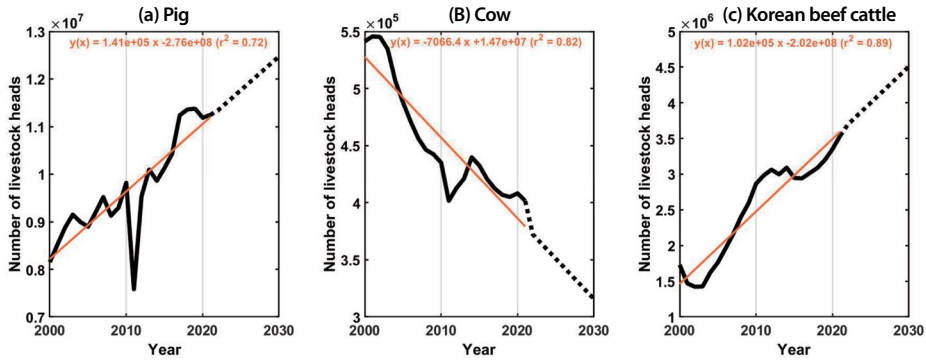


Fig. 9. Historical trends and forecasting of livestock population in South Korea. The solid black line represents observed data, the dashed black line represents predicted values, and the solid orange line represents the trend line  $y = ax + b$ .

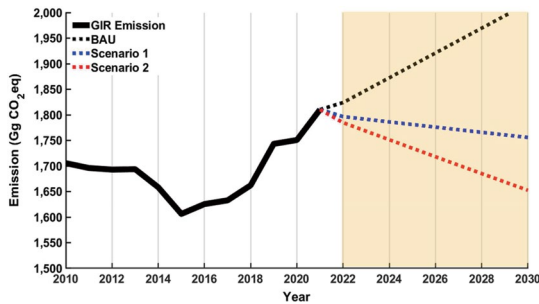


Fig. 10. Projected greenhouse gas emissions under BAU and reduction scenarios.

실가스 배출량은 약 1,810 Gg CO<sub>2</sub>eq이며, 아무런 정책을 도입하지 않는 2030년의 BAU는 약 2,018 Gg CO<sub>2</sub>eq로 나타났다. 반면, 상대적으로 소극적인 정책을 시행하는 시나리오 1 (S1)의 2030년 배출량은 약 1,756 Gg CO<sub>2</sub>eq로, BAU 대비 약 3.1% 감소할 것으로 나타났다. 상대적으로 적극적인 정책을 시행하는 시나리오 2 (S2)의 2030년 배출량은 약 1,652 Gg CO<sub>2</sub>eq로, BAU 대비 약 9.6% 감소하여 소극적인 정책에 비해 감소폭이 큰 것으로 나타났다.

### 3.4.3 시나리오 적용에 따른 개선 효과 분석

그림 11a는 기준연도(2021년) 온실가스 배출량 대비 BAU 및 정책도입(S1, S2)에 따른 온실가스 감축 효과를 나타낸 것이다. 충남 총 온실가스 배출량에서 아무런 정책을 시행하지 않을 경우(BAU) 2030년까지 축산

부문의 온실가스 배출량은 2021년 대비 약 11% 증가할 것으로 예측되었다. S1 (사육기간 31개월에서 28개월로 단축, CH<sub>4</sub> 배출량 10% 감축, 사료 내 단백질 함유량 1% 감축)은 BAU 대비 3%의 감축 효과를, S2 (사육기간 31개월에서 26개월로 단축, CH<sub>4</sub> 배출량 20% 감축, 사료 내 단백질 함유량 2% 감축)는 BAU 대비 9%의 감축 효과가 나타날 것으로 예측되었다.

그림 11b, 11c는 부문별(장내발효, 가축분뇨 처리), 그림 11d, 11e는 온실가스별(CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) BAU와 시나리오 적용 시 감축 효과를 나타낸 것이다. 장내발효의 경우(그림 11b), BAU는 약 15% 증가할 것으로 예측되었으며, 시나리오 적용 시 S1은 9%, S2는 13%의 감축 효과가 나타날 것으로 전망되었다. 가축분뇨 처리의 경우(그림 11c), BAU는 8% 증가할 것으로 예측되었으며, S1 적용 시 3%, S2 적용 시 2%의 증가할 것으로 예측되었다. 가축분뇨 처리는 기존에 대기 중 방출되거나 후처리 설비를 이용한 제거 방식이 주로 활용되었으며, 그 목적 역시 악취 저감 또는 대기 배출 관리가 중심이었다. 최근에는 기후변화 대응의 일환으로 바이오차 및 바이오가스 기술을 활용하여 축산 부문에서 배출되는 온실가스를 재활용하는 기술이 개발되고 있으나, 아직까지 현장에 적용된 사례가 많지 않아 정량적인 개선 효과를 분석하는 것이 어렵다. 따라서 현재까지는 원단위 효율이 높지 않아 감축 효과가 제한적으로 나타난 것으로 판단된다. 향후 관련 기술 적용이 확대되고 다양한 사례가 축적된다면, 보다 높은

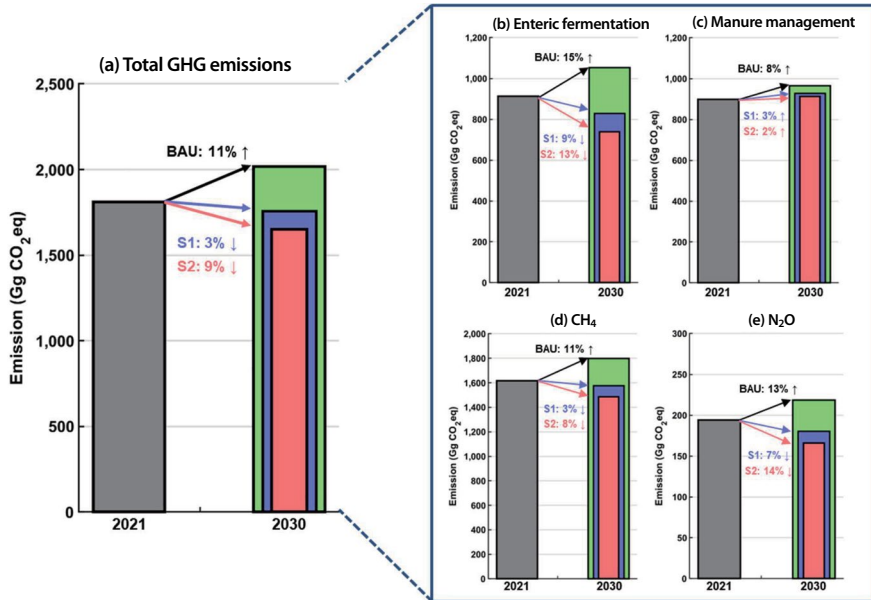


Fig. 11. Projected greenhouse gas emissions in 2030 compared to 2021.

감축 효과를 기대할 수 있을 것으로 보인다.

온실가스별 감축 효과를 분석하면, CH<sub>4</sub>의 경우 BAU가 11% 증가할 것으로 예측되었으며, S1 적용 시 3%, S2 적용 시 8% 감축되는 것으로 나타났다. N<sub>2</sub>O의 경우 BAU는 13% 증가할 것으로 예측되었으며, S1 적용 시 7%, S2 적용 시 14% 감축 효과가 나타날 것으로 분석되었다. 감축률에서는 CH<sub>4</sub>보다 N<sub>2</sub>O의 감축 효과가 상대적으로 높으나, 절대적인 온실가스 배출량 (CO<sub>2</sub>eq)을 비교하면 CH<sub>4</sub>의 배출량이 N<sub>2</sub>O보다 약 5~7배 많기 때문에, 기술 적용 시 실질적인 감축 효과는 CH<sub>4</sub>에서 더 크게 나타날 것으로 예상된다.

#### 4. 결 론

기후변화로 인해 기후변동성이 증가하면서 전 세계적으로 다양한 환경 변화가 관측되고 있으며, 이에 따라 인위적으로 발생하는 온실가스에 대한 관리의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 우리나라는 에너지 산업이 집약된 국가로 온실가스 다(多) 배출국에 속하며,

각 분야에서 온실가스 감축을 위한 노력이 추진되고 있다. 이러한 조건에서 축산 부문에서의 온실가스 배출량은 농업 부문의 지속적인 감소 추세에도 불구하고 증가하고 있으며, 특히 GWP가 높은 CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O가 주요 배출원으로 작용하고 있어 체계적인 관리가 필요하다. 하지만 그동안 축산 부문의 관리는 주로 악취 저감 및 대기오염 물질 배출 억제를 목적으로 이루어졌으며, 온실가스 감축과 관련된 기술 개발은 아직 초기 단계에 머물러 있다.

본 연구에서는 전국 최대 축산 지역인 충청남도를 대상으로 축산 관련 현황 및 온실가스 배출특성을 분석하였으며, 최근 개발된 기술을 적용하여 2030년까지의 온실가스 감축 효과를 평가하였다. 분석 결과, 한육우, 젖소, 돼지의 배출 관리가 필요하며, 기술 적용 시 N<sub>2</sub>O 대비 CH<sub>4</sub>의 감축 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 부문별로 살펴보면, 장내발효에서는 한육우의 관리가 필요하며, 축산분뇨 처리에서는 돼지의 배출 관리가 중요한 것으로 확인되었다. 아직 관련 연구가 초기 단계에 있는 만큼, 국가 및 지자체의 지속적인 투자와 관심이 필요하며 각 부문 및 물질에 대한 정량적

인 감축량 개발, 개발된 기술의 확산을 위해 축산농가 등과 함께 지역 거버넌스 구축 및 유지가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 충청남도의 재원으로 충남연구원 전략과제 “충남 축산업 온실가스 배출실태 및 감축모델 구축 방안(24JU0025)”의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

- Cassia, R., Nocioni, M., Correa-Aregunde, N., Lamattina, L. (2018) Climate Change and the Impact of Greenhouse Gases: CO<sub>2</sub> and NO, Friends and Foes of Plant Oxidative Stress, *Frontiers in Plant Science*, 9, 273. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00273>
- Chungcheongnam-do (CN) (2024) 2045 Framework act on carbon neutrality and green growth in Chungnam. [https://www.2050cnc.go.kr/storage/board/base/2024/07/10/BOARD\\_ATTACH\\_1720570026929.pdf](https://www.2050cnc.go.kr/storage/board/base/2024/07/10/BOARD_ATTACH_1720570026929.pdf) (accessed on May 30, 2025).
- ChungNam Institute (CNI) (2024) Greenhouse gas emission status and reduction plan in the livestock in Chungnam. <https://www.cni.re.kr/main/search/projects.do?mid=46&project=30> (accessed on May 30, 2025).
- Forbes, K.F. (2023) CO<sub>2</sub> has significant implications for hourly ambient temperature: Evidence from Hawaii, *Environmental Metrics*, 34(6), e2803. <https://doi.org/10.1002/env.2803>
- Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea (GIR) (2023) 2023 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea. <https://www.gir.go.kr/eng/main.do> (accessed on May 30, 2025).
- Haines, A., Kovats, R.S., Campbell-Lendrum, D., Corvalan, C. (2006) Climate change and human health: Impacts, vulnerability and public health, *Public Health*, 120(7), 585-596. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2006.01.002>
- Hitz, S., Smith, J. (2003) Estimating global impacts from climate change, *Global Environmental Change*, 14(3), 201-218. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.04.010>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) The Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/> (accessed on May 30, 2025).
- Joint Research Centre (JRC) (2024) JRC Science for policy report: GHG emissions of all world countries. [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report\\_2024](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2024) (accessed on May 30, 2025).
- Korea Rural Economic Institute (KREI) (2024a) Plan to transition to low-carbon livestock farming. [https://www.aglook.kr/upload/event/pdf/2024/time2/9chapter\\_report.pdf](https://www.aglook.kr/upload/event/pdf/2024/time2/9chapter_report.pdf) (accessed on May 30, 2025).
- Korea Rural Economic Institute (KREI) (2024b) Agricultural outlook 2024. <https://aglook.krei.re.kr/main/uEventData> (accessed on May 30, 2025).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (2023a) Statistical yearbook of agriculture, food and rural affairs. <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/798/575203/download.do> (accessed on May 30, 2025).
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (2023b) Major Statistics on agriculture, food and rural affairs. <https://www.mafra.go.kr/english/index.do> (accessed on May 30, 2025).
- Ministry of Environment (MOE) (2010) Framework act on low carbon, green growth. <https://www.law.go.kr/LSW/LSInfoP.do?chrClsCd=010203&lsiSeq=98467&viewCls=engLslInfoR&urlMode=engLslInfoR#0000> (accessed on May 30, 2025).
- Ministry of Environment (MOE) (2022) Framework act on carbon neutrality and green growth for coping with climate crisis. <https://www.law.go.kr/LSW/LSInfoP.do?lsiSeq=199143&viewCls=engLslInfoR&urlMode=engLslInfoR&chrClsCd=010203#0000> (accessed on May 30, 2025).
- Petersen, S.O., Blanchard, M., Chadwick, D., Del Prado, A., Edouard, N., Mosquera, J., Sommer, S.G. (2013) Manure management for greenhouse gas mitigation, *animal*, 7(s2), 266-282. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000736>

## Authors Information

황규철 (충남연구원 서해안기후환경연구소 연구원)  
(kchwang@cni.re.kr)

김영준 (인천녹색환경지원센터 대외협력실 부장)  
(kyj@igec.re.kr)

박세찬 (충남녹색환경지원센터 기술지원팀 팀장)  
(scpark@cngcc.or.kr)

신인철 (충청남도보건환경연구원 환경조사팀 팀장)  
(sic33@korea.kr)

김정호 (열린공간 소장) (jeonghoflux@naver.com)

김종범 (충남연구원 서해안기후환경연구소 책임연구원)  
(kjb0810@cni.re.kr)