

제 출 문

한우자조금관리위원회 위원장 귀중

이 보고서를 “저탄소 한우고기 생산을 위한 국내외 정책 및
산업적 전략분석”에 관한 완료보고서로 제출합니다.

연구책임자: 황인호 교수(전북대학교)

공동연구원: 김영순 교수(전주대학교)

정다운 박사(전북대학교)

2023년 11월

전북대학교 산학협력단

연구 요약

1. 저탄소 농업 선진국의 쇠고기 생산 정책과 기술 개발 조사

- 우리나라와 미국, 호주를 비롯한 주요 축산업 국가들은 2045- 2050년까지 탄소중립을 수립하겠다는 선언을 하였음. 각 나라들의 정부 탄소중립 선언과는 별개로 호주는 호주식육공사 주체로 2030년까지 붉은육류산업에서 탄소중립을, 영국은 농민연합 주체로 2040년까지 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 발표함.
- 축산분야에서의 주요 감축 수단은 크게 가축관리와 분뇨처리, 탄소저장으로 나누어짐. 가축관리에는 생산성향상(무리관리, 생산성향상 육종), 장내메탄배출 감소(저메탄사료첨가제, 저배출사료, 저메탄개체 선발 육종) 기술 등이 있음. 분뇨관리로는 가축분뇨처리 개선, 바이오에너지 등의 기술이 있음. 이외에도 토양 및 초지관리 개선, 바이오차, 탄소저장 등의 기술을 감축수단으로 채택함.
- 이외에도 우리나라와 독일의 경우 식생활 개선, 즉 육류소비 감소를 통해 목표감축량의 일부를 감축하고자 하는 계획을 가지고 있었음.
- 해외 주목할 저탄소 생산 정책으로는
 1. 작물-가축-산림을 통합한 생산 시스템(호주, 뉴질랜드, 브라질)
: 작물-가축-산림을 통합한 생산 시스템 구축으로 재생농업 추진
 2. 분뇨를 이용한 재생에너지 이용(미국)
: 대부분의 나라에서 분뇨를 이용한 재생에너지 기술 보급에 집중하고 있으며, 미국의 AgSTAR 프로그램이 가장 활발함.
 3. 분뇨 이용 바이오차, 토양 개선, 탄소 격리에 사용(일본, 호주, 뉴질랜드)
: 몇몇 국가에서는 바이오차 사용을 적극적으로 추진하고 있음.
 4. 기후변화 자금을 조성, 및 쇠고기 생산, 기술 개발 및 재생에너지 사용에 투자

2. 쇠고기 생산 과정에 따른 탄소 발생량 조사

- 국내외 쇠고기 생산의 온실가스 배출량을 조사한 결과, 생체중 1kg에서 8~23kg CO₂^{-eq}였으며, 우리나라 한우 거세우의 경우 21.5kg CO₂^{-eq}의 온실가스가 배출되는 것으로 조사됨. 주요국의 쇠고기 생산 및 유통과정을 포함한 전과정에서 20.06kg~48.53kg CO₂^{-eq}로 국가별로 큰 차이를 보였으나, 전체 배출량 중 85~96%가 농장단계에서 발생함.
- 주요 쇠고기 수출국인 호주, 뉴질랜드는 자국 축산물의 해외 흐름에 대한 전과정평가를 하여 쇠고기의 국가-국가간의 이동이 지구온난화에 큰 영향을 미치지 않는다는 자료를 확보하여, 향후 탄소중립 소고기의 국제적 흐름에 대비하고 있음.

3. 쇠고기 생산 과정에따른 저탄소 기술 조사

- 최근 10년동안 가축의 장내메탄생성/ 배출을 줄이는 기술과 분뇨처리 기술 및 활용에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며, 일부 획기적인 메탄저감효과를 가지는 기술들에 대해서는 이미 상용화가 이루어졌거나 상용화를 앞두고 있음.
- 주요 장내메탄저감 기술은 아스파라곱시스, 3-NOP, 식이 지질, 모넨신, 질산염, 탄닌과 사포닌, 식물유래 에센셜 오일, 저배출 사료, 항메탄백신, 프로바이오틱스, 유전적 생산능력 향상, 저메탄개체 선발 육종 등이 있음.
- 주요 분뇨처리 기술은 혐기성 소화방법과 호기성 처리방법, 분뇨의 고/액 분리하여 처리하는 방법 등이 있으며, 분뇨처리방법에 사용되는 소화조의 종류에 따라 적합한 축종과 농장 규모가 다름.

4. 저탄소 수입육에 대한 정책 및 기술적 대응방안

- 2012년부터 국내 저탄소농축산물인증제가 시행되었지만, 지금까지는 농산물에서만 인증사업이 진행되었음. 축산물은 2023년 한우 저탄소

인증제도시범사업이 처음으로 시작됨. 현행 제도에서는 저탄소 인증에 대한 프리미엄이 농가의 소득과 연결되지 않고 있어 한우 사육농가의 적극적인 참여가 이루어지기 어려운 구조임.

- 호주와 뉴질랜드의 경우 공인받은 탄소중립 쇠고기가 생산, 판매되고 있으며, 일부 탄소중립 쇠고기 브랜드는 미국과 일본 등에서도 구입이 가능함. 호주의 탄소중립 목표를 고려해 볼 때 우리나라에도 탄소중립 소고기가 수입될 가능성을 배제할 수 없음. 우리 한우산업에서도 이에 대응할 수 있는 장치 마련이 필요함.
- 농가의 저탄소 인증 한우고기에 대한 이해 및 활동 유도를 위해 다음과 같은 방향의 정책을 제안: 체계적인 농가 탄소교육 프로그램 마련, 탄소 회계도구의 개발 및 시범사이트 운영, 저탄소 한우고기 프리미엄을 농가에 소득으로 연결할 수 있는 정책 마련과 지원금 확대, 협회 및 단체의 저탄소 한우고기 생산 이니셔티브 형성 등.
- 저탄소 수입 쇠고기에 대한 기술적 대응 방향 제안 : 농가 단위별 또는 지역별 혐기성 소화조 설치 및 운영에 대한 체계적인 제도 마련, 국제적인 효력을 가질 수 있는 저탄소 한우고기 인증 방법 개발을 통해 저탄소 한우고기 공신력 확보, 브라질의 통합 생산 시스템과 같은 한우농가에 적합한 통합 시스템 제안 및 시행 등.
- 소비자 대응 방향 제안: 소비자 인식 개선을 위해, 사실에 기반한 정확하고 이해하기 쉬운 정보의 제공과 동물성 단백질 섭취 중요성을 전달할 수 있는 지속적인 커뮤니케이션 방안 마련, 협회/단체의 “지속가능한 한우고기”에 대한 전략적인 이미지 메이킹 등.
- ‘저탄소 소고기’는 소고기를 생산하는 과정에서 탄소배출에 대한 의미가 강조될 수 있음. 탄소배출 의미를 줄이고 보다 지속가능성에 무게를 둔 명칭으로 변경을 검토해볼 필요가 있음.

목 차

1장. 연구 배경의 필요성	1
1절. 기존 연구 결과 및 문제점	1
2절. 본 연구의 차별성	3
3절. 연구 필요성	3
4절. 연구 목표	12
5절. 연구 내용 및 방법	12
2장. 연구 내용 및 방법	14
1절. 저탄소 농업 선진국의 쇠고기 생산 정책과 기술개발 조사	14
1. 한국(한우)	14
2. 미국	22
3. 캐나다	39
4. 호주	47
5. 뉴질랜드	56
6. 일본	63
7. 영국	71
8. 독일	76
9. 기타	80
10. 나라별 정책 비교	95
2절. 쇠고기 생산 과정에 따른 탄소 발생량 조사	98
3절. 쇠고기 생산 과정에 따른 저탄소 기술 조사	104
1. 장내 발효 메탄 배출	104
가. 반추위 내 메탄생성 억제 기작별 메탄배출 저감 기술 ..	104

나. 국외 장내메탄저감 기술개발 현황	116
다. 국내 기술개발 현황	124
라. 국내 장내발효 메탄배출 저감 기술 적용 제언	129
2. 분뇨 처리 배출	132
가. 분뇨 처리별(각종 소화조 포함)	132
나. 배출 가스 및 분뇨의 에너지화 및 탄소 저장 기술	143
다. 에너지 사용량	147
라. 적용 기술별 탄소발생량 저감 조사 및 효과분석	151
4절. 저탄소 수입육에 대한 정책 및 기술적 대응방안	156
1. 한우 생산 및 유통 관련 저탄소 정책 분석	156
2. 저탄소 쇠고기 선진국들의 우수사례	164
가. 미국	164
나. 호주	167
다. 브라질	170
라. 뉴질랜드	171
마. 해외 탄소중립 쇠고기 사례	172
3. 수입육에 대응할 수 있는 저탄소 한우고기 정책 제언	178
4. 소비자 인식개선 및 한우고기 이미지 전환	185
3장. 요약 및 결론	198
부록	203
(1) NTIS 검색 메탄 배출 저감보충제 관련 과제 목록 ('10-'23)	203
(2) '반추위내 메탄생성 억제' 관련 국내 특허 등록	212
(3) 저탄소 축산물 인증제 인증기준 (축산물품질평가원)	217

표 차 례

표 1. 2050 농식품 탄소중립 추진전략 비에너지부문 로드맵	7
표 2 한국 축산부문 탄소중립 관련 기관	14
표 3. 농림축산식품부 탄소중립 관련, 인증, 법령 및 국제화 보도자료 목록	19
표 4. 탄소중립 관련 연구 개발 및 보고서 목록	20
표 5. 탄소중립 관련 연구 개발 및 보고서	20
표 6. 프로젝트 Food Animal Production(NP #101) 목록	29
표 7. 미국 ARS의 반추동물 메탄발생 관련 연구 프로젝트 목록	33
표 8. 캐나다 농장기후행동기금 채택 12개 프로젝트와 지원 규모	41
표 9. Emissions Reduction Fund Factsheets 구축 항목 및 구축 정도	50
표 10. 호주 붉은 고기 자문 위원회 홈페이지 주소 목록	52
표 11. 호주 MAL 연구개발보고서 가축 메탄감소 관련 보고서 목록	53
표 12. UKR와 TFP로부터 보조받은 가축 관련 연구 목록	75
표 13. 우리나라와 주요 축산국의 탄소중립 정책 비교	97
표 14. 주요 국가들의 쇠고기 온실가스 배출량	101
표 15. 국가별 쇠고기생산 농장단계 온실가스 배출량 및 주요 배출 부문별 비율	103
표 16. NTIS 등록 장내발효 메탄배출저감 관련 분야별 연구과제수 및 연구비 규모 (2010-2023년 NTIS등록과제 기준)	125
표 17. 연도별 국가연구과제 수	125
표 18. 국내 반추위내 메탄생성억제 관련 등록특허의 유효물질별 분류	127

표 19. 주요 장내발효 메탄배출 저감 전략별 감축정도 및 도입의 잠재적 허들	130
표 20. 분뇨관리 방법에 따른 N ₂ O 배출 계수 (IPCC GL)	141
표 21. 가축분뇨 처리 시설별 N ₂ O 배출계수	142
표 22. 분뇨처리 기술별 설치비용, 관리비용, 저감효율 및 농가 수익 비교 ·	149
표 23. 분뇨처리 기술별 배출량 감소 정도	151
표 24. 미국의 AgSTAR 프로그램 진행 내용과 온실가스 저감 효과 ·	165
표 25. 호주의 주요 탄소 저감 정책(CN30)	168
표 26. 호주의 체계적인 농가대상 탄소 저감 교육 프로그램 소개 ····	169
표 27. 브라질 작물-가축-산림 통합 생산 시스템	170
표 28. 뉴질랜드의 육종개발과 목초지 적색육의 홍보	171
표 29. 해외 주요국의 탄소중립 정책 요약	179

그림 차례

그림 1. ‘저탄소 한우정책’에 대한 Bing과 Google의 검색결과	1
그림 2. “대체고기”에 대한 구글검색 정보	4
그림 3. 소고기 생산에서 발생하는 지구온난화가스(CO ₂ -eq) 발생량 비교	5
그림 4. 주요 축산물 1kg당 발생하는 탄소발생량(온난화지수;GWP) 비교	6
그림 5. 미국 쇠고기 생산 및 소비 전 과정에서 발생하는 환경 영향 비율	6
그림 6. 탄소발생 국가 Top 5	8
그림 7. 기후변화와 가축	9
그림 8. 미국 환경부의 글로벌 탄소 발생과 저감 효과	10
그림 9. 미국(왼)과 호주(오)의 (농)축산분야 탄소중립 방안-로드맵 제시	11
그림 10. 해외 탄소중립 인증 받은 쇠고기(호주)	11
그림 11. IPCC 기후변화 2023 종합보고서(위) 및 승인가년 포럼(아래)	16
그림 12. 2050 탄소중립녹색성장위원회-농림축산식품부 공동 포럼	18
그림 13. 미국 환경보호국 (U.S. Environmental Protection Agency)	24
그림 14. 미국 환경부의 글로벌 탄소 발생과 저감	25
그림 15. 미국 환경부의 글로벌 장내 메탄 배출량 계산 및 비용 저감 계산	26
그림 16. Biogenic carbon cycle	38
그림 17. 미국 산업별 온실가스 배출량 비교	38
그림 18. 캐나다 2030 온실가스 배출 축소 계획(좌),넷제로 2050(Net Zero)(우)	39

그림 19. 캐나다 농업 메탄 감축 챌린지(Agricultural Methane Reduction Challenge) 소개	44
그림 20. 캐나다 쇠고기 자문가(Canadian Beef Advisors)의 2030년 산업 목표	44
그림 21. 캐나다 육우연구회 Beef Cattle Research Council (BCRC)	46
그림 22. CN30 로드맵의 4단계 작업 영역 및 이점	47
그림 23. CN30에서 MLA의 역할	48
그림 24. 호주 붉은 고기 자문 위원회 체계도	51
그림 25. 뉴질랜드 농업 부분 온실가스 배출 정보 (소와 토양 탄소)	57
그림 26. 뉴질랜드 목축 온실 가스 연구 컨소시엄의 10가지 팩트 시트	59
그림 27. 뉴질랜드 목초지에서 사육하는 양과 쇠고기 이점	60
그림 28. 인공 번식(Artificial breeding)과(위) Hoop Print, Beef Pring 표시(아래)	62
그림 29. 일본 탄소중립 이슈 관련 정부 웹페이지	63
그림 30. “지속가능한 식품 시스템 전략, MeaDRI	65
그림 31. Climate Change Adaptation Plan of the MAFF outline	66
그림 32. J-Credit 홈페이지와 농업부문 적용 방법론	68
그림 33. 일본 Moonshot R&D program 의 9개 목표	70
그림 34. 영국 공식 통계 농업기후보고서(Defra)	73
그림 35. 독일의 농업 부문의 기후 변화 완화 및 기후 회복력 정책 소개	76
그림 36. 독일 가축 협회와 협회가 운영하는 가축에 관한 지식 창고	80
그림 37. 국가별 이산화탄소 배출 순위-중국 1위	81

그림 38. 글로벌 탈탄소 추진연구소와 6가지 정책 제안	83
그림 39. 중국 탄소 중립 추적	84
그림 40. 중국의 탄소중립의 관점에서 본 가축 및 가금류 분뇨 관리	86
그림 41. 브라질의 농업 분야 기후변화 적응 및 저탄소 배출을 위한 ABC+전략	87
그림 42. 브라질의 소고기 생산을 위한 황폐된 목초지 개간에 따른 탄소 배출 감소 연구	88
그림 43. 지역별 쇠고기 생산으로 인한 온실가스 배출에 대한 관리 변화의 순효과 차이	89
그림 44. 브라질 농업축산부문 대표단 한국(농림축산부) 방문	90
그림 45. 회전식 가마 반응기(좌)와 열변환 공정에 의한 가축 분뇨 평가(우)	91
그림 46. 쇠고기생산 농장단계의 온실가스 배출 부문별 비율	98
그림 47. 나라별 농장단계 발생 탄소발자국 비교	100
그림 48. 뉴질랜드의 관행 비육우농장과 낙농-비육우, 낙농우 농장에서 생산된 쇠고기의 요람에서 농장까지의 GHG 배출량	100
그림 49. 반추위 메탄생성 억제 사료첨가제분야 특허혁신에 대한 양적 평가	117
그림 50. 호주 “Future Feed”사의 아스파라곰시스 생산/가공 업체 라이선스 계약 현황	118
그림 51. 미국 Blue Ocean Barns사의 Brominate D, Brominate O (USDA 유기농 승인)	119
그림 52. Cargill사의 메탄저감 사료첨가제 Silvair®	122

그림 53. 영국 Mootral사 (Cow Credit 관련)	123
그림 54. Agolin사의 ‘Ruminant’(Carbon Trust 인증 관련)	123
그림 55. S.D.S. Biotech K K.사의 반추동물용 캐슈넛껍질추출액 제품 ...	124
그림 56. 가축 분뇨 처리 방법에 사용되는 소화조 종류별 외관과 모식도 ..	133
그림 57. 분뇨처리기술 - 완전 혼합 소화조의 외관과 모식도	134
그림 58. 분뇨처리기술 - 플러그 흐름 소화조 외관과 모식도	134
그림 59. 분뇨처리기술 - 덮힌 석호 외관과 모식도	135
그림 60. 분뇨처리기술 - 고정 필름 소화조 외관과 모식도	135
그림 61. 분뇨처리기술 - 고형물 재사용 소화조와 상향식 혐기성 슬러지층 소화조 모식도	137
그림 62. 분뇨처리기술 - 유동층 반응기 소화조 외관과 모식도	138
그림 63. 분뇨처리기술 - 혐기성 나열식 회분식 반응기 소화조 외관과 모식도	138
그림 64. 분뇨처리기술 - 폴리에틸렌 백 소화조 외관과 모식도	139
그림 65. 분뇨처리기술 - 돔소화조 모식도와 중앙집중식 소화조 원리 ..	140
그림 66. 우분 바이오차 현미경 사진 및 토양개질을 통한 함초 재배 ...	146
그림 67. 분뇨처리 기술별 탄소 저감량 비교	151
그림 68. 메탄 배출을 줄일 수 있는 몇 가지 일반적인 분뇨 관리	155
그림 69. 농축산물 인증제도 저탄소 농업기술	156
그림 70. 저탄소 축산물 표지와 축산물 이력정보 저탄소 인증 마크 표기 ...	158
그림 71. 롯데백화점 온라인 쇼핑몰 저탄소인증 한우고기 판매	159
그림 72. 풀무원 ORGA 온라인 쇼핑몰 저탄소인증 한우고기 판매	159

그림 73. 롯데백화점 저탄소 한우 검색 결과, 롯데백화점 저탄소 한우 제품설명 페이지 일부	162
그림 74. 미국 저탄소 소고기 민간 위탁 인증 기관 웹사이트	164
그림 75. 호주 Climate Active의 ‘Five founders’ 탄소중립 인증 웹사이트와, 호주 육류 전문 온라인몰에서 판매중인 탄소중립 소고기	172
그림 76. 호주 Climate Active의 ‘Coles Fnest’ 탄소중립 인증 웹사이트와, 호주 Coles 온라인몰에서 판매중인 ‘Finest’탄소중립 소고기 ..	173
그림 77. Silver fern farm 홈페이지 넷제로 인증과 USDA 라벨 승인 정보, 탄소중립 인증서 및 탄소중립 소고기 안심 스테이크 ..	175
그림 78. 뉴질랜드 silver fern farms사의 ‘넷 카본 제로’ 소고기 판매 웹사이트	175
그림 79. Silver fern farms 넷카본제로 소고기 미국 판매 웹사이트	175
그림 80. 미국 ‘Protein the PACT’ 홈페이지	186
그림 81. 호주 ‘Australian good beef’ 홈페이지	186
그림 82. ‘한우 유명한곳’ 홈페이지의 한우요리 레시피와 우수성 홍보 ..	187
그림 83. 우리나라 2020년 부문별 온실가스 배출구성	192
그림 84. 우리나라 2020년 온실가스별 배출구성	192
그림 85. 생물학적 탄소 순환	193
그림 86. ‘Good Beef’의 호주 생물학적 탄소순환 관련 영상자료 주요 장면 ..	195
그림 87. 캐나다 ‘Raising Canadian Beef’의 생물학적 탄소순환 관련 영상자료 주요 장면	195
그림 88. 독일 ‘Wageningen Livestock Research’의 물학적 탄소순환 관련 영상자료 주요 장면	196

1장. 연구배경 및 필요성

1절. 기존 연구 결과 및 문제점

- “저탄소 한우고기”에 대한 소비자들과 소통에 혼선과 혼란 가중되고 있음.
 - 2023년 부터는 거세우(1세 미만, 이상)과 암소(1세 미만)은 우리나라 실정을 반영하여 개발한 Tier 2의 계수를 적용하여 계산하지만 한우 암소 2세 이상은 아직도 Tier 1의 계수를 사용하여 계산하고 있음.
 - 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)에 따라 한우고기 생산과정에서 발생하는 지구온난화가스는 분뇨와 장내 가스 발생량으로 계산하고 2022년 까지 우리나라는 Tier 1을 적용하였음.
 - 소비자 단계의 쇠고기의 최종 지구온난화 가스 발생량은 생산단계, 가공단계 및 유통단계에 따라 통합적으로 계산되고 있으며, 사회정보망(SNS) 및 일부 산업체에서는 ‘저탄소 한우고기’가 유통되고 있는 상태임.
 - 아래 사진은 ‘저탄소 한우정책’에 대한 Bing과 Google의 검색결과로 (2022.2.9.일 검색), 저탄소 한우고기 유통실태에 대한 정보를 제공하고 있음.

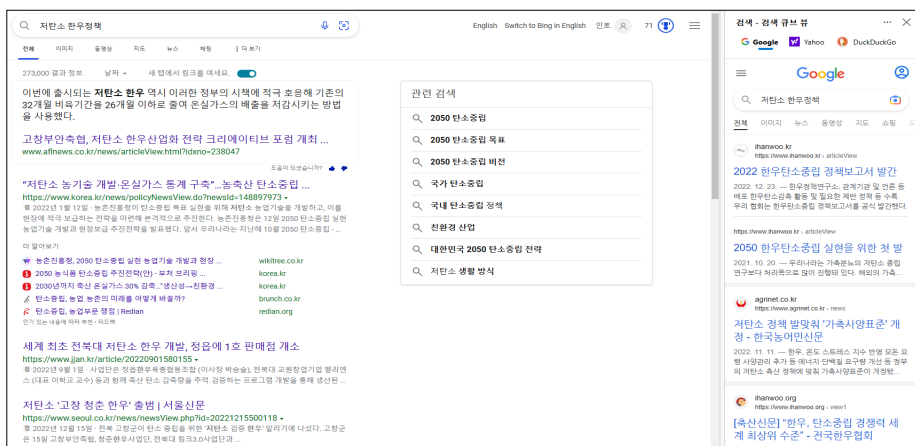


그림 1. ‘저탄소 한우정책’에 대한 Bing과 Google의 검색결과

○ 한우 농가나 단체가 실행할 수 있는 “저탄소 수입쇠고기”대응 메뉴얼이 미진함

- 우리나라를 비롯하여 미국, 유럽연합, 중국, 일본 등을 포함한 많은 국가에서 탄소중립 목표를 선언하면서 탄소중립 실현을 위한 구체적인 방안들을 제시하고 있음.
- 우리나라는 2050년까지 탄소중립을 선언함에 따라 탄소중립을 위한 종합적인 대책을 내놓았고, 농축산식품부에서도 2050 탄소중립을 위한 추진전략을 발표함¹⁾.
- 이에 따라 한국농수산물유통공사에서 미국, 영국, 유럽연합 등 주요국들에 대한 농식품분야 탄소중립 추진 현황에 대한 조사를 하였고, 세계 농식품분야의 탄소중립 요구 강화 추세에 따라 우리나라 농식품분야의 생산-유통-소비 전반에 걸친 탄소중립 정책의 점검이 필요하다고 제안함²⁾.
- ‘일본 농축산분야 탄소중립 대책’에 대한 보고에 따르면 혁신적인 기술개발을 통해 식량공급 시스템의 생산력 향상과 탄소배출 감축이 양립할 수 있는 ‘녹색식량시스템 전략’을 발표하였으며, 농림수산업 탄소배출 제로를 목표로 혁신적인 기술과 생산체계를 순차적으로 개발하고 사회구현 하는 전략을 수립함. 또한 축산분야에서 탄소중립 목표달성을 위한 기술개발공정표라는 보다 구체적인 계획을 발표함³⁾.
- 농촌진흥청의 ‘축산분야 탄소중립 이행을 위한 저탄소 축산기술 연구 방향 설정’ 연구에서 주요 축산 선진국의 탄소중립 대응 전략을 분석하고 저탄소 축산기술 관련 연구개발 현황과 기술 수준을 분석하여 축산부문 2050 탄소중립 이행을 위한 기술개발 로드맵을 제안하였음⁴⁾.

1) 농림축산식품부. 2050 통식품 탄소중립 추진전략. 2021.12.

2) 한국농수산물유통공사. 주요국 농식품 분야 탄소중립 현황 조사. 2022.08.

3) 황명철. 일본 농축산 분야 탄소중립 대책. 세계농업. 2021;243:59-82.

4) 황인호, 김영순, 정다운. 축산분야 탄소중립 이행을 위한 저탄소 축산기술 연구방향 설정. 2021. 농촌진흥청

- 기존의 연구들은 해외 주요 축산국의 농축산분야에서의 정책방향과 전 축종에 대한 탄소저감기술의 연구 동향에 대한 조사였지만, 국내 한우산업의 정책 방향 설정에 직접 활용할 수 있는 세밀한 정책, 기술조사는 이루어지지 않았음.

2절. 본 연구의 차별점

- 본 연구는 저탄소 한우고기 생산 전략 수립에 필요한 저탄소 농업 선진국의 정책과 저탄소 쇠고기 생산 기술 개발에 대한 심층적인 조사를 통해 국내 저탄소 한우고기 생산을 위한 실증적 예시를 제시하고자 함.
- 특히 우리나라와 생산환경이 유사한 나라(일본 등) 및 우리나라에 쇠고기를 수출하고 있는 나라(호주와 미국 등)에서 개발되어 활용되는 생산기술, 농가 지원정책 및 유통기술 등에 대한 방향성을 제시하려 함.
- 본 연구 내용의 주요 쟁점은
 - 수입 소고기와 한우고기 생산시 지구온난화가스 발생 탄소발자국 비교
 - 우리 정부와 주요 쇠고기 생산국들의 저탄소 쇠고기 생산, 정부정책 비교
 - 한우산업 현장에 적용 가능한 저탄소 쇠고기 생산국에서 적용하기 있는 탄소 저감기술 적용성 검토

3절. 연구 필요성

- 지구온난화와 적색육에 대한 소비자들의 대체식품 요구 대응이 필요함.
 - 이상기후와 팬데믹 영향으로 기후위기에 대한 인식이 높아지고 있으며, 국가 온실가스감축목표 상향조정으로 한우산업의 입지가 불안정해지고 있음.
 - 각종 연구결과나 다큐멘터리 등의 영향으로 최근 소비자에 소고기

섭취가 기후위기의 주범이라는 인식이 높아짐. 또한 배지테리언, 플렉시테리언의 수가 늘어나면서 축산물 수요가 줄어들 것으로 예상되어 소고기의 환경지속가능성과 가치소비에 대한 인식 변화가 필요한 시점임.

- 특히 배양육, 식물성육, 3D프린트 생산육, 임파서블 푸드 등이 지구를 보호하는 친환경 식품으로 인식, 소비자들의 관심을 받고 있음.
- 이러한 소비자들의 요구를 반영하여 아래의 사진은 “대체고기”에 대한 구글검색 정보로 성인병예방 대체식품, Beyond Burger, 배양육, 대체육, 마이크로 소프트사와 구글의 대체육에 대한 투자 등에대한 정보를 제공하고 있음(그림2).

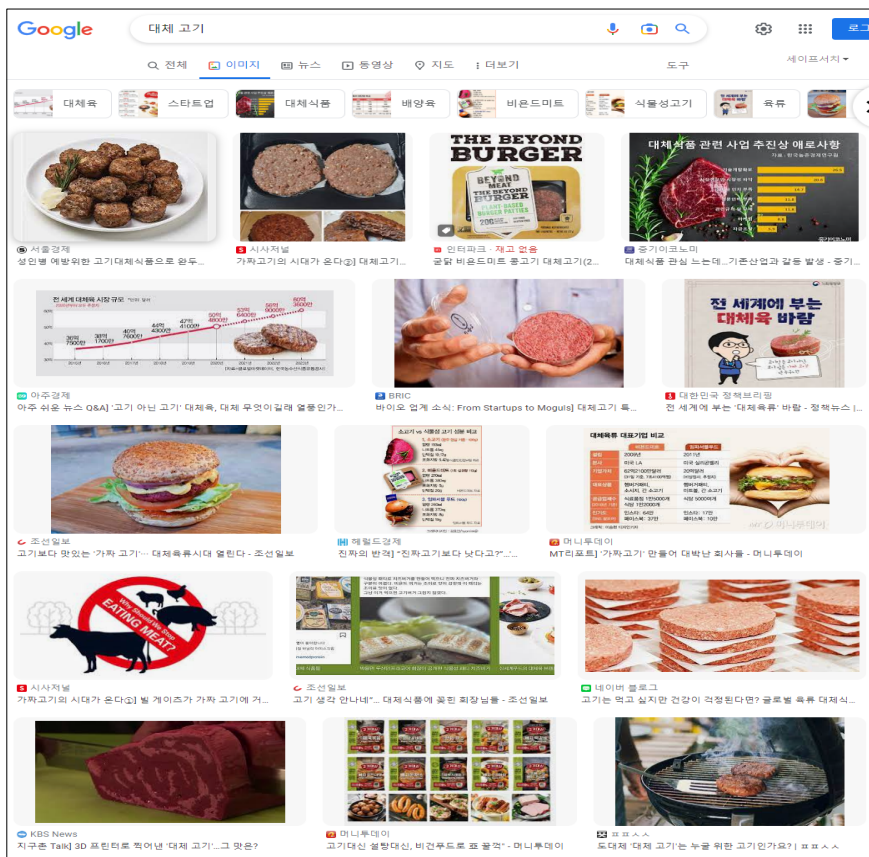


그림 2. “대체고기”에 대한 구글검색 정보

○ 저탄소 수입 쇠고기에 대응 방안 강구필요

- 우리나라 쇠고기 생산에서 발생하는 탄소발생량은 한우 생체중 1kg당 약 16.5kg 정도 이며⁵⁾ 도축, 가공, 유통 과정까지 포함한다면 보다 많은 탄소가 배출될 것으로 예상됨.
- 미국의 경우 곡물사양을 한 생우 1kg을 생산하는데 14.8kg의 탄소가 배출되었음⁶⁾.
- 호주의 경우 온도체 1kg을 생산하는데 9.9kg 의 탄소가 배출⁷⁾된다고 보고된 것과 비교해 볼 때 고급육 생산을 위한 장기비육, 곡물사육 중심의 사육방식과 대부분의 사료자원을 수입에 의존하는 우리나라의 소고기 생산 시스템에서 탄소발생 부담이 큰 편임을 알 수 있음.

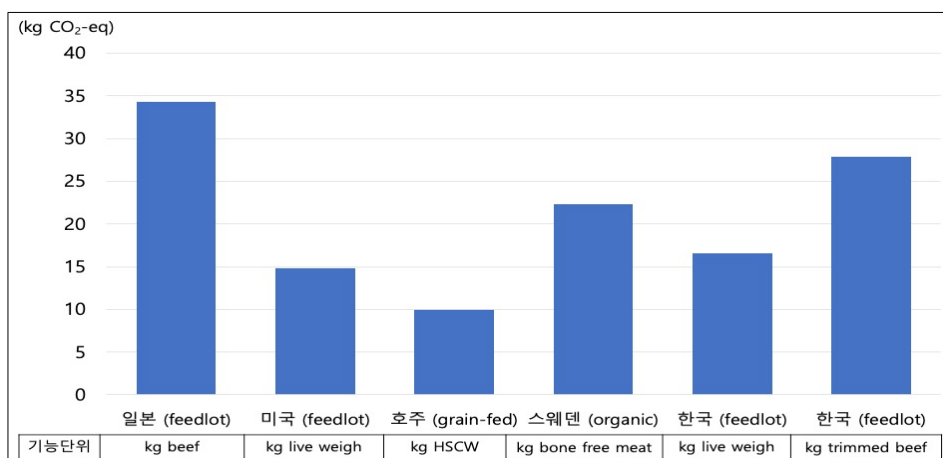


그림 3. 소고기 생산에서 발생하는 지구온난화가스(CO₂-eq) 발생량 비교.

- 각 축종별 온난화지수는 소고기에서 월등하게 높고 돼지고기, 닭고기, 계란, 우유 등의 순서로 높음⁸⁾

5) Jeong, D., Kim, Y.S., Cho, S., Hwang, I. A case study of CO₂ emissions from beef and pork production in South Korea Journal of Animal Science and Technology (2022, Accepted).

6) Pelletier N, Pirog R, Rasmussen R. Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. Agricultural Systems. 2010;103(6):380-9.

7) Peters GM, Rowley HV, Wiedemann S, Tucker R, Short MD, Schulz M. Red meat production in Australia: life cycle assessment and comparison with overseas studies. Environmental Science & Technology. 2010;44(4):1327-32.

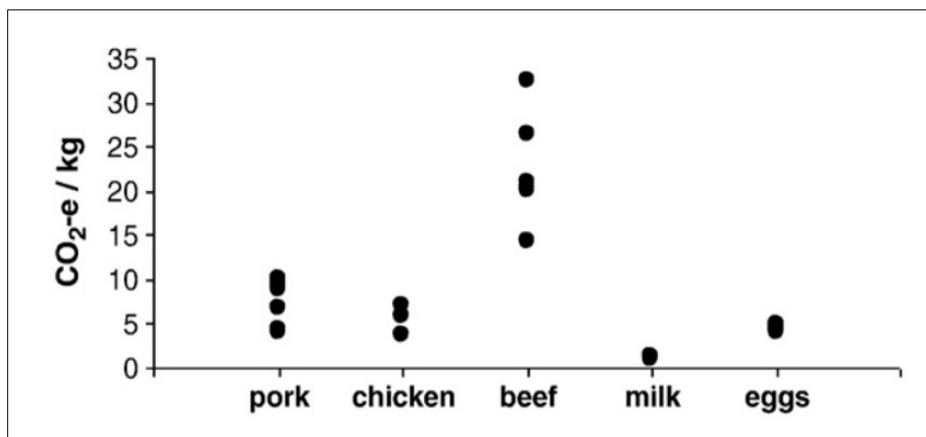


그림 4. 주요 축산물 1kg당 발생하는 탄소발생량(온난화지수;GWP) 비교.

- 미국의 소고기 산업 전반(Cradle to grave)에 대한 환경영향평가를 실시한 결과 농장생산단계(Cradle to farm; 사료생산, 가축, 사육장)에서 총 온실가스 배출량의 87%가 배출되었음⁹⁾.

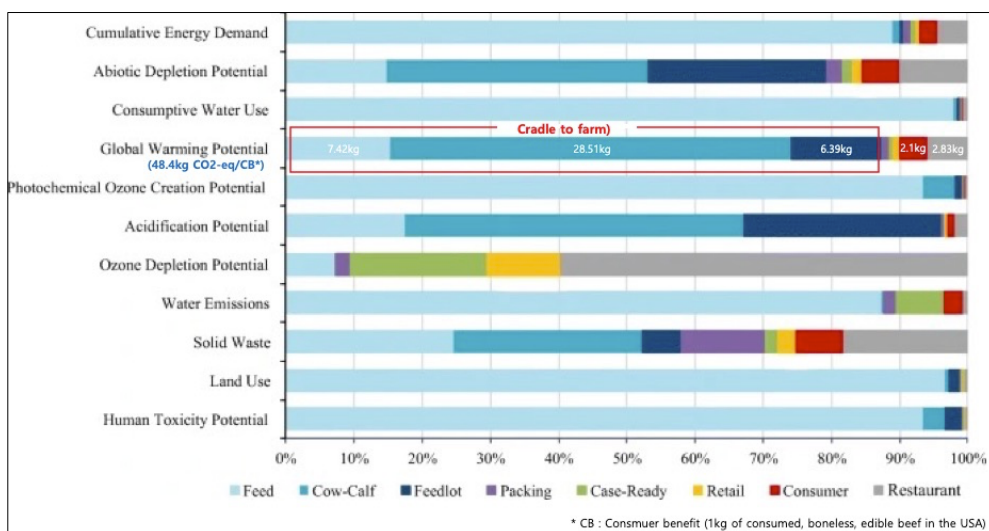


그림 5. 미국 쇠고기 생산 및 소비 전 과정에서 발생하는 환경 영향 비율

8) M. de Vries, I.J.M. de Boer, (2010) Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments, Livestock Science, 2010:128(1-3):1-11.
 9) Asem-Hiablie S., Battagliese T., Stackhouse-Lawson K.R., Alan Rotz C. The International Journal of Life Cycle Assessment. 2019:24:441-455.

○ 저탄소 쇠고기 생산 국가들의 정책 분석으로 국내 한우고기 생산 탄소중립 2050에 선제적 대응 필요

- 세계적으로 농축산분야에서 탄소배출을 줄이려는 논의는 계속되고 있으며, 세계 주요 국가들을 중심으로 2050 탄소중립 목표에 맞춰 탄소중립을 위한 구체적인 계획을 발표하였음. 주요 축산국인 미국, 일본은 2050년까지 농축산부문 탄소중립을 선언하였고, 호주의 경우 2030년까지 축산부문 탄소중립 계획을 가지고 있음.
- 2021년 10월 우리나라 정부는 온실가스 감축 목표를 상향조정, 확정하고 ‘2050 탄소중립 시나리오’를 발표함. 우리나라의 탄소중립 시나리오 중 농축산 비에너지 부분은 2050년까지 탄소배출량 감축목표를 8,012천톤 CO₂^{-eq}으로 제시하였음.

표 1. 2050 농식품 탄소중립 추진전략 비에너지부문 로드맵

구분 (천톤CO ₂ ^{-eq})		2030년		2040년		2050년	
		목표치	감축량	목표치	감축량	목표치	감축량
장내발효	소계		751		915		1,075
	저메탄사료(2세이상%)	30	121	65	261	100	402
	분뇨 내 질소저감(%)	13.2	630	13.2	654	13.2	673
가축분뇨	소계		2,058		2,212		2,355
	비농업계 이동 (에너지화 정화처리비율%)	33	2,058	34	2,212	35	2,355
생산성 향상	소계		452		649		1,773
	식단변화 가축감소율(%)					10.2	995
	축산생산성 향상 (스마트축사 보급율%)	30	389	40	507	50	579
	대체식품(%)	4.4	63	9.7	142	15	200
감축량 총계			3,261		3,776		5,203

(출처: 농림축산식품부, 2021.12 자료 재구성)

- 이 중 65%인 5,203천톤 CO₂^{-eq}를 장내발효, 가축분뇨, 식생활개선 및 생산성 향상을 통해 감축하고자 하는 로드맵을 작성하였고(표 1), 이는 기존 생산성 위주의 사육환경에서 환경친화적 생산으로 전환

하고 지속가능한 축산환경 조성하는 것을 기본 내용으로 하고 있으나 대체식품과 소비자 식단변화를 통한 가축수 감소를 포함하여, 총 1,195천톤CO₂^{-eq}(비에너지 감축목표 축산부문의 약 23%)을 감소 하겠다고 발표함.

- 축산 부문인 장내발효 및 가축분뇨처리 배출량은 전년(2019년) 대비 2020년에 총 0.2 백만톤 CO₂^{-eq}, 2.6% 증가함. 주요 축종인 한·육우의 사육두수는 전년 대비 4.7% 증가하였으며, 젖소는 0.8%, 닭은 0.8% 증가하였음¹⁰⁾.

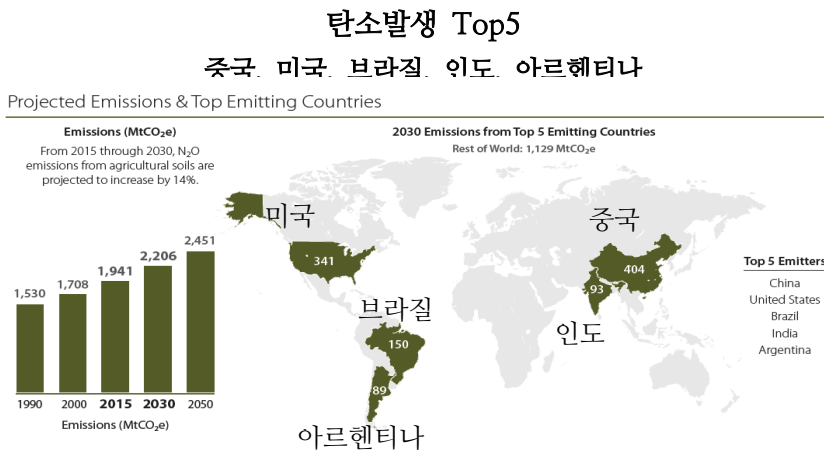


그림 6. 탄소발생 국가 Top 5

○ 주요 축산국의 저탄소 소고기 생산을 위한 기술개발 분석 및 국내 한우산업 적용 효과 예측

- 축산부문의 탄소발생이 제일 많은 세계 5개 국가¹¹⁾는 중국, 미국, 브라질, 인도, 아르헨티나이며 이들 나라의 탄소 저감 방안 및 기술개발 계획 등 자료 조사가 필요함. 또한 소고기 부분 선진국인 호주, 캐나다, 뉴질랜드, 독일, 일본, 영국 등의 탄소 저감 정책과 기술 조사가 필요함.

10) 온실가스종합정보센터. 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서. 2023.04. 환경부

11) Global Non-CO₂ Greenhouse Gas Emission Projections & Mitigation(참고페이지 54). United States Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs (6207A), Washington, DC 20005, EPA-430-R-19-010, October 2019

- 소고기 생산 과정에서의 탄소발생은 이산화탄소(CO₂), 아산화질소(N₂O) 및 메탄(CH₄) 발생으로 구분됨.
- 이산화탄소(CO₂)는 사료(Feed), 대두(soybean) 및 목초(pasture) 재배 시에 사용된 토지(Land use), 직접/간접적으로 사용된 에너지(Direct/indirect energy) 및 농장 이후(Post-farm) 과정에서 발생함.
- 아산화질소(N₂O)는 분뇨를 사용하거나 뿌렸을 때 발생(Applied and deposited manure)하는 경우와 비료 및 볏짚등 농작물 잔류물(Fertilizer and crop residues), 분뇨 관리시에 발생함.
- 메탄(CH₄)은 장내 발효(Enteric fermentation), 분뇨 관리, 사료:곡물(Feed:rice) 등에서 발생함.
- 소고기의 경우는 돼지고기나 닭고기에 비해 장내발효와 토지사용(목초)에 대한 탄소발생량이 많으나 사료부분과 분뇨관리에 대하여는 상당히 낮은 발생량을 낮음¹²⁾(그림7). 이에 소고기 생산과정의 사료, 장내발효 및 분뇨처리 부분에 대한 탄소발생량 계산이 필요함.

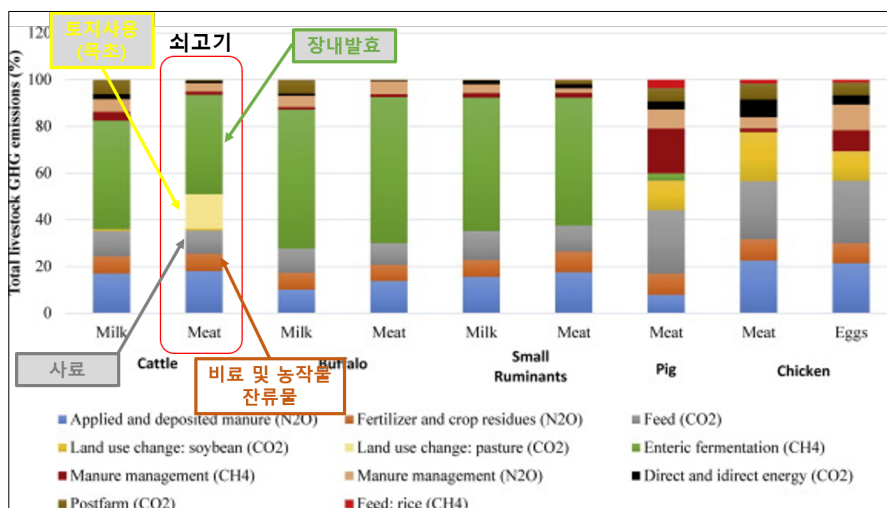


그림 7. 기후변화와 가축

12) Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation, Climate Risk Management, Volume 16, 2017, Pages 145-163

- 장내 배출에 대한 6가지 저감기술에 대한 비용과 저감 효과는, 효율이 좋은 사료 사용에는 \$25-\$295 비용으로 -39.4%에서 +39.6%까지 절감 또는 증가를 가져올 수 있음¹³⁾. 항생제의 사용으로는 \$4-\$9 비용으로 -0.4%에서 -6%까지 절감을 가져올 수 있음. 이렇게 6가지 저감기술에 대한 한우 생산과정에 적용할 경우 탄소저감량 계산이 필요함.
- 분뇨 배출 시에 사용한 소화조, 석호 방법 등에 대한 탄소발생량 저감 방법이 있으며 한우 농가에 이러한 분뇨 처리 방법을 적용할 경우 탄소발생량 계산이 필요함.

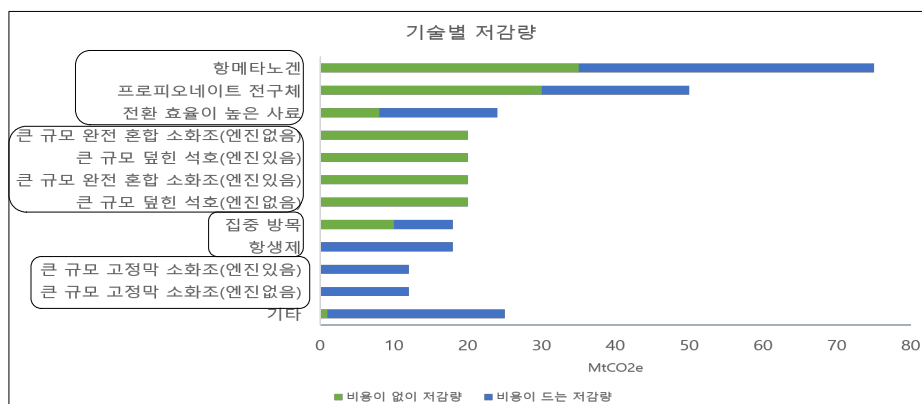


그림 8. 미국 환경부의 글로벌 탄소 발생과 저감 효과

- 해외 축산 선진국들의 저탄소 소고기 생산 정책에 대한 심도 있는 사례연구 및 한우 산업에 적용 가능한 정책 제시필요
- 해외의 주요 국가에서는 쇠고기의 생산 단계별 환경부담에 대한 연구가 상당부분 이루어져 있음. 미국, 호주 등은 소고기 생산에서 net-zero를 목표로 구체적인 방안을 제시 하고 있으며, 한우산업과 비슷한 형태의 일본 또한 축산분야의 지속적 성장을 위한 구체적인 로드맵을 제시하고 있음.

13) Global Non-CO2 Greenhouse Gas Emission Projections & Mitigation(참고페이지 56), United States Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs (6207A), Washington, DC 20005, EPA-430-R-19-010, October 2019

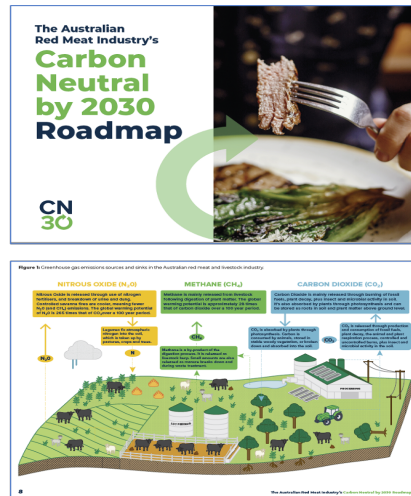
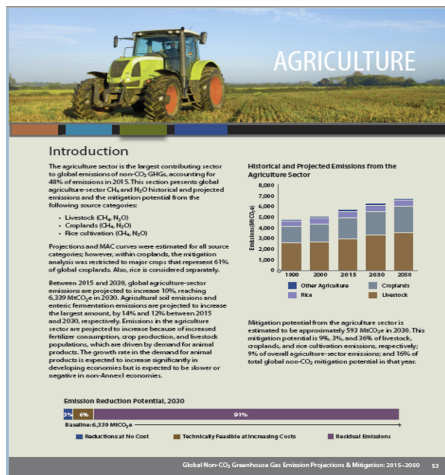


그림 9. 미국(왼)과 호주(오)의 (농)축산분야 탄소중립 방안-로드맵 제시

- 국제적으로 저탄소 소고기가 이슈화 되고 있으며, 실제로 뉴질랜드, 호주 등의 주요 쇠고기 수출국가에서는 탄소중립 쇠고기가 온-오프라인에서 판매가 이루어지고 있음. 뉴질랜드의 Silver Fern Farms의 탄소중립 쇠고기의 경우 미국 농무부의 탄소중립 인증을 받아 미국에서 판매되고 있음.



그림 10. 해외 탄소중립 인증 받은 쇠고기(호주)

- 앞으로 탄소중립인증을 받은 수입소고기가 국내 유통될 가능성을 고려하였을 때 국내 한우고기의 환경지속가능성에 있어서 차별화된 경쟁력이 필요함.

- 농림수산물식품부는 2023년부터 축산농가를 대상으로 저탄소 축산물 인증 시범사업을 시행할 계획이라고 발표하였으며, 현재 농촌진흥청에서는 소비자에 소고기 탄소발생이력정보 전달 관련 과제가 진행중임.
- 소고기는 영양학적 가치와 균형 잡힌 식단을 위한 중요한 위치에 있기 때문에 무조건적인 채식, 탈육식은 바람직하지 않은 해결 방안임. 소비자의 기후위기에 대한 인식이 높아짐과 동시에 소비자의 환경지속가능성에 대한 인식 또한 높아지고 있어 향후 친환경, 저탄소 소고기에 대한 수요도 늘어날 것이라 예상함.
- 앞으로 다가올 탄소중립 사회에서 한우고기의 지속가능한 경쟁력을 갖추기 위하여 저탄소농업 선진국의 저탄소 소고기 생산에 대한 정책 및 동향을 파악하고, 국내외 소고기 생산 관련 탄소 저감 기술에 대한 심층적인 조사를 통해 국내 한우산업의 저탄소 소고기 시대에 대비할 수 있는 보다 세밀한 방안을 마련할 수 있음.

4절. 연구목표

- 수입 소고기와 한우고기 생산시 지구온난화가스 발생 탄소발자국 비교
- 우리 정부와 주요 쇠고기 생산국들의 저탄소 쇠고기 생산, 정부정책 및 수출정책 비교
- 한우산업 현장에 적용 가능한 저탄소 쇠고기 생산국에서 적용하기 있는 탄소 저감기술 적용성 검토

5절. 연구 내용 및 방법

1. 연구내용

- 저탄소 농업 선진국의 쇠고기 생산 정책과 기술개발 분석
 - 주요 쇠고기 생산국의 저탄소 쇠고기 생산 전략
 - 쇠고기 생산 과정에서의 저탄소 추진전략
 - 국내도입 가능 수단 제시 및 선결과제 제안
- 쇠고기 생산 과정에 따른 탄소 발생량 분석 및 저탄소 기술 분석
 - 저탄소 발생 기술개발 동향
 - 과정별 저탄소 발생 가능 기술 제시
 - 적용 기술별 탄소발생량 저감 효과 분석
- 저탄소 수입육에 대한 대응방안
 - 한우 생산 및 유통관련 저탄소 정책 분석
 - 수입육에 대응할수 있는 저탄소 한우고기 정책 제안

2. 연구방법

- 저탄소 농업 선진국의 쇠고기 생산 정책과 기술개발 조사
 - USDA, 호주 등의 저탄소 쇠고기 정책 조사
 - USDA, 호주 등의 저탄소 쇠고기 생산 기술 개발 조사
 - 국내도입 가능 수단 제시 및 선결 과제 제안
- 쇠고기 생산 과정에 따른 탄소 발생량 분석 및 저탄소 기술 조사
 - 사료, 육종, 메탄억제제, 및 분뇨처리 등의 과정에서의 탄소발생량 조사
 - 적용 기술별 탄소발생량 저감 조사 및 효과분석
- 저탄소 수입육에 대한 대응방안
 - 국내 저탄소 한우생산 및 유통관련 정책 분석
 - 저탄소 쇠고기 생산 선진국가의 전략 분석을 통한 수입육에 대응할수 있는 저탄소 한우고기 정책 제안

2장. 연구 내용

1절. 저탄소 농업 선진국의 쇠고기 생산 정책과 기술개발 조사

1. 한국

- 우리나라의 축산부문 탄소중립 정책 수립 및 시행은 농림축산식품부를 중심으로 하여 농촌진흥청, 환경부, 축산환경관리원을 비롯한 다양한 기관들이 협력하고 있음. 축산부문 탄소중립 관련 기관 목록은 표2와 같음.

표 2 한국 축산부문 탄소중립 관련 기관

축산부문 탄소중립 관련 기관	웹페이지 주소
2050 탄소중립녹색성장위원회	www.2050cnc.go.kr
농림축산식품부 농촌탄소중립정책과	www.mafra.go.kr
농촌진흥청	www.rda.go.kr
환경부 기후탄소정책실	me.go.kr
축산환경관리원	www.lemi.or.kr
기상청	www.kma.go.kr
한국환경정보전원	www.gihoo.or.kr
국회기후변화포럼	www.climateforum.or.kr
국가녹색기술연구소	www.gtck.re.kr
글로벌녹색성장연구소	gggi.org

- IPCC는 기후변화에 대한 최신 지식, 광범위한 영향 및 리스크, 기후변화 완화 및 적응을 요약한 ‘제6차 평가보고서(AR6)의 종합보고서(SYR)’를 승인하고 기상청이 한글로 번역 발간함¹⁴⁾
- ‘제6차 평가보고서의 종합보고서’에서는 기후, 생태계, 생물 다양성, 인간 사회의 상호 의존성, 다양한 형태의 지식의 가치, 기후변화 적응,

14) IPCC 기후변화 2023 종합보고서(2023.4), 한글판 기상청 번역(2023.10)

완화, 생태계 건강, 인간 웰빙 및 지속가능발전 사이의 긴밀한 연결을 인식하고 기후 행동에 관련된 다양성 증가를 반영하고 있음.

○ IPCC AR6 종합보고서 승인 기념 포럼에서 IPCC 의장의 기조연설에서 선제적 적응과 감축행동, 오버슈트의 최소화 등을 논의(그림11). 주요 내용은 다음과 같음.

- 농업, 임업 및 기타 토지 이용과 해양 옵션에는 대부분의 지역에서 단기적으로 확대될 수 있는 상당한 완화옵션과 적응 잠재력이 있음 (높은 신뢰도). 산림 및 기타 생태계의 보전, 개선된 관리 및 복원은 경제적 완화 잠재력의 가장 큰 부분을 제공함.
- 생태계 복원, 재조림 및 신규조림은 토지에 대한 경쟁 수요로 인해 상충효과로 이어질 수 있으며, 상충효과를 최소화하기 위해 식량 안보를 비롯한 여러 목표를 달성하기 위한 통합된 접근 방식이 필요함.
- 수요 부분의 조치(지속가능한 건강한 식단으로의 전환 및 식량 손실/폐기물 감소)와 지속가능한 농업 강화는 생태계 전환과 CH₄ 및 N₂O 배출량을 감축하고 재조림 및 생태계 복원을 위한 토지를 확보할 수 있음. 수명이 긴 목재제품을 포함하여 지속 가능하게 조달된 농산물 및 임산물이 배출량이 많은 다른 부문의 제품 대신 사용될 수 있음.
- 효과적인 적응 옵션으로는 품종 개량, 혼농임업, 지역 사회 기반 적응, 농장 및 조경 다양화 및 도시 농업이 있음. 이러한 농업, 임업 및 기타 토지 이용 (AFOLU) 대응 옵션은 생물 물리학적, 사회경제적 및 기타 활성화 조건의 통합을 해야함. 생태계 기반적응 및 대부분의 물 관련 적응 옵션의 효율성은 온난화가 증가함에 따라 감소함.
- 고탄소 생태계의 보전과 같은 일부 옵션은 즉각적인 편익을 제공하는 반면, 고탄소 생태계 복원, 황폐화된 토양의 개간 또는 신규조림과 같은 다른 옵션들은 측정 가능한 결과를 제공하는 데에 수십년 소요됨(높은 신뢰도).

- 정부는 탄소중립 사회로의 이행을 위한 국가비전 및 중장기감축 목표 등의 달성을 위해 ‘국가 탄소중립·녹색성장 기본계획’ 수립함¹⁵⁾. 주요 내용은 다음과 같음.
 - 축산 분야는 저메탄사료 및 저단백사료 개발·보급, 생산성 향상을 통한 온실가스 및 가축분뇨 저감, 가축분뇨 활용 확대로 온실가스 배출 감축을 실현.
 - 선제적 지원으로 정의로운 전환 실현을 위해 저메탄·저단백 사료 보급 등 저탄소 농업활동에 따른 추가 비용 및 소득손실분 지원체계 수립, 가칭 탄소중립 프로그램 도입 등을 통해 농가의 온실가스 감축 활동, 이행에 대한 인센티브 지급, 농업인 대상 저탄소 농업기술 교육 및 보급.
 - 농촌 재생에너지 시설을 둘러싼 갈등 해소 및 이익 공유 방안 마련, 탄소중립·녹색 성장 관련 다양한 주체(청년, 여성, 노동자, 농어업인, 중소 상공인, 시민사회단체 등)의 논의 및 소통을 통해 정의로운 전환 기반을 구축.
- 정부의 국정·농정 기조에 따라 과학기술 기본계획 및 농업·농촌 및 식품산업 발전계획(2018~2027)¹⁶⁾ 및 (2023~2032)¹⁷⁾ 등과 연계하여, 농업 연구개발을 통해 농업·농촌 활력 제고와 미래 이슈에 선제적으로 대응하고자 함.
- 농림축산식품부는 2021년 12월 2050 탄소중립 시나리오 달성을 위한 농업 분야 로드맵을 발표함.¹⁸⁾ 주요 내용으로는, 과학적 가축관리 및 정밀영양조절을 통해 장내발효에 의한 메탄가스 생성을 최소화하고, 가축분뇨 처리방식의 개선을 통한 온실가스 감축 방안을 마련함.
- 2050 탄소중립녹색성장위원회에서는 각 부처, 지역 및 민간기관과의 공동 릴레이 포럼을 개최함¹⁹⁾²⁰⁾. 포럼을 통해 농림축산식품부와

15) 탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획, 관계부처합동(2023.4)

16) 제7차 농업과학기술 중장기 연구개발 계획('18~'27) 2022년도 시행계획(안)(2022.4.29)

17) 제8차 농업과학기술 중장기 연구개발 계획('23~'32) 2023년도 시행계획(안)(2023.4.27)

18) 2050 농식품 탄소중립 추진전략, 농림축산식품부(2021.12.27.)

19) <https://www.youtube.com/@2050cnc/stream>s

공동 기후위기 시대 극복을 위한 농업 전략 모색함. 주요 내용은 다음과 같음.

- 기후변화 영향에는 긍정적·부정적 요인이 혼재되어 있음. 정확한 영향 분석을 위해서는 전망·예측 기법의 신뢰도 제고 이슈에 대해 논의가 필요함.
- 안정적인 농작물·축산물 생산을 위해 △기후변화 실태조사 및 영향·취약성 평가 강화 △기후적응형 농축산 재배 기술개발 △기생재해 피해저감 기술 실용화 등의 필요성과 관련 정책과제에 대해 설명함.
- 유사시 수입곡물 수급 안정과 가격 변동성을 대비하기 위해 장기 전략이 필요며, 미래 식량산업이 추구하는 경제적·환경적·사회적 가치를 강조함.



그림 12. 2050 탄소중립녹색성장위원회-농림축산식품부 공동 포럼

20) 2050 탄소중립녹색성장위원회-농림축산식품부 공동 포럼 2023.11.10.

표 3. 농림축산식품부 탄소중립 관련, 인증, 법령 및 국제화 보도자료 목록('22-'23)

번호	보도일시	보도 제목
1	2022.02.07.	2030년까지 축산분야 온실가스 30% 감축 ²¹⁾
2	2022.08.19.	국민과 함께 만드는 저탄소 축산물 인증, 현장에서 해답 찾아 ²²⁾
3	2023.02.20.	한우 출하기간 단축 등으로 온실가스 저감 나선다 ²³⁾
4	2023.03.15.	탄소중립 시대, 가축분뇨의 다양한 활용을 통해 해결한다 ²⁴⁾
5	2023.07.07.	국내 최초 저탄소 인증 한우농가 27개소 탄생! ²⁵⁾
6	2023.07.31.	농식품부 저탄소 농산물 인증제로 기후위기 적극 대응 ²⁶⁾
7	2023.09.14.	가축 출하도 디지털로... 출하 정보를 한눈에 ²⁷⁾
8	2023.09.29.	농식품부, 탄소감축 농가의 배출권 거래 지원으로 기후위기 적극대응 ²⁸⁾
9	2023.10.05.	농식품부, 메탄 발생 저감사료 보급 확대를 위한 기준 마련 ²⁹⁾
10	2023.10.05.	국가인증 농식품 할인행사 개최 ³⁰⁾
11	2023.10.18.	논에 하계조사료 재배를 늘려 농가 생산비를 줄인다! ³¹⁾
12	2023.11.07.	2023년도 미래축산 선진화 유공 정부포상 추천 후보자 공개검증 ³²⁾
13	2023.11.12.	지능형(스마트)축산단지 사업 개편, 미래형 축산모델 조성 박차 ³³⁾
14	2023.11.13.	우리 한우의 맛, 홍콩에 알리다 ³⁴⁾
15	2023.10.20.	동물복지 인증 축산물 페스타 개최 ³⁵⁾
16	2023.10.19.	이제 무항생제축산물 인증도 축사로에서 똑똑하게 관리하세요! ³⁶⁾
17	2023.10.10.	보고, 듣고, 먹고 즐기는 친환경축산! 2023 에코팜 콘서트 성황리에 개최 ³⁷⁾
18	2023.08.11.	저탄소 인증 농축산물 소비로 탄소중립 실현 함께해요 ³⁸⁾
19	2023.11.01.	네덜란드 농축산 분야 협력 강화를 통한 부산 세계박람회 지지 확보 추진 ³⁹⁾
20	2023.07.06.	말레이시아에 K-스마트축산 돌파구 연다 ⁴⁰⁾
21	2023.11.07.	농산자조금 단체별 중장기('24~'28) 발전계획 마련 품목 대표조직으로 성장·도약한다! ⁴¹⁾

표 4. 탄소중립 관련 연구 개발 및 보고서 목록

번호	보고일시	시행기관	보고 제목
1	2022.07.	한우자조금	전과정 측면에서의 한우의 환경적, 산업적 특징 연구 ⁴²⁾
2	2022.12.	한우자조금	축산환경규제의 한우 생산성 및 연관 파급효과 분석 ⁴³⁾
3	2022.11.	한우협회	한우이슈 제12호 한우탄소중립 정책보고서 ⁴⁴⁾
4	2021.11.	농림축산 식품부	환경부담 저감 사료 개발·보급을 위한 정책 방안 연구 최종보고서 ⁴⁵⁾

표 5. 탄소중립 관련 연구 개발 및 보고서

번호	보고일시	시행기관	보고 제목
1	2021.	농촌경제연구원	축산업의 환경영향 분석과 정책과제 ⁴⁶⁾
2	2021.8	농촌경제연구원	소의 온실가스 배출 저감, 저메탄사료만이 해결책인가? ⁴⁷⁾
3	2021.	농촌경제연구원	저탄소농업 활성화 방안 연구 ⁴⁸⁾

21) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/561890/download.do>

22) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/563240/download.do>

23) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/565870/download.do>

24) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/566510/download.do>

25) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/569259/download.do>

26) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/569717/download.do>

27) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/571845/download.do>

28) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/571171/download.do>

29) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/571447/download.do>

30) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/571469/download.do>

31) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/571689/download.do>

32) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/791/572611/download.do>

33) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/572677/download.do>

34) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/572680/download.do>

35) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/572720/download.do>

36) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/571683/download.do>

37) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/572699/download.do>

38) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/570045/download.do>

39) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/572753/download.do>

40) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/569385/download.do>

41) <https://www.mafra.go.kr/bbs/home/792/572559/download.do>

42) <https://m.hanwooboard.or.kr/download.php?idx=12463>

43) <https://m.hanwooboard.or.kr/download.php?idx=12661>

44) https://www.ihanwoo.org/file_c/file_download?furl=/upload&fname=ax_6322320742.pdf&orifname=한우이슈제12호_221121_한우탄소중립+정책보고서+요약.pdf

45) 농림축산식품부 환경부담 저감 사료 개발·보급을 위한 정책 방안 연구 최종보고서 2021

- 농림축산식품부의 탄소중립 관련 보도자료는 2050 농식품 탄소중립 추진전략에 맞추어 이행한 감축 프로그램을 주기적으로 보도함.
- 농림축산식품부가 추진하는 2050 탄소중립 시나리오 달성을 위하여 시행한 각종 감축에 대한 홍보 보도자료에서 축산 분야에서는 분뇨관리, 메탄저감 분야에서 실행하고 감축한 내용을 포함하고 있음. 보도자료 목록은 표3과 같음.
- 한우자조금관리위원회, 전국한우협회 같은 기관에서 한우의 저탄소 생산 기술 및 친환경 축산환경에 따른 한우의 정책보고서 발간, 농림축산식품부에서는 환경부담 메탄 저감 사료 개발 및 보급에 대한 정책 방안 연구 개발 진행함. 연구개발 보고서 목록은 표4,5와 같음.
- 2022년 국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Report, NIR)에는 1990~2020년의 국가 온실가스 배출량 통계 및 관련 내용을 수록하고 있음⁴⁹⁾. 이 보고서는 축산에서 장내발효와 가축분뇨처리에서 CH₄, N₂O를 온실가스 배출원으로 산정함. 보고서의 주요 내용은 다음과 같음.
 - 축산 부문인 장내발효 및 가축분뇨처리 배출량은 전년(2019년) 대비 2020년에 총 0.2 백만톤 CO₂^{-eq} (2.6%)가 증가함. 주요 축종인 한·육우의 사육두수는 전년 대비 4.7% 증가하였으며, 젖소는 0.8%, 닭은 0.8% 증가함.
 - 2020년 부문별 배출량은 벼재배 부문이 5.7 백만톤 CO₂^{-eq}으로 농업 분야 내에서 가장 큰 비중(27.1%)을 차지하였음. 농경지토양 부문은 5.6 백만톤 CO₂^{-eq}으로 26.6%, 가축분뇨처리 부문은 5.0 백만톤 CO₂^{-eq}으로

46) <https://www.krei.re.kr/krei/researchReportView.do?key=67&pageType=010101&biblioid=529745>

47) <https://www.krei.re.kr/krei/selectBbsNttView.do?bbsNo=75&key=109&nttNo=146535>

48) <https://www.krei.re.kr/krei/researchReportView.do?key=67&pageType=010101&biblioid=532289>

49) 2022년 국가 온실가스 인벤토리 보고서(National Inventory Report, NIR)

23.7%의 비중을 나타냄. 장내발효 부문은 4.7 백만톤 CO₂^{-eq}으로 22.5%, 작물잔사 소각 부문의 배출량은 0.015 백만톤 CO₂^{-eq}으로 가장 작은 비중인 0.1%를 차지함. 2023년 국가 온실가스 인벤토리(1990~2021)는 2023년 12월 31일에 공표할 예정임.

○ 환경부 기후경제과에서는 탄소 배출권 거래제 추진현황 및 개선방안을 제안함⁵⁰⁾. 주요 내용은 다음과 같음.

- 개선방안: 온실가스 감축 인센티브 확대, 거래 활성화 및 가격변동성 완화, 외부사업 인증 절차 기준 개선, 배출량 측정·보고·검증(MRV) 효율화, 신규 중소기업 등 제도 이행지원
- 활성화 방안: 배출권 시장기능 활성화로 기업의 비용효과적 온실가스 감축 유도(참여자 확대, 상품다변화, 시장안정화, 거래기반 강화)
- 향후 개선 방향: 연도별 목표달성을 뒷받침하는 배출권거래제를 통해 탄소중립달성에 기여, 온실가스 감축을 위한 기업의 감축노력에 확실한 인센티브 제공을 통해 기업 자발적 감축 유도, 정부의 자의적 인 개입을 최소화하고 예측 가능한 배출권 시장을 형성하여 배출권 시장 자율성 극대화, 탄소산업 생태계 구축

2. 미국

○ 미국은 대통령 책임하의 ‘기후21프로젝트(Climate21 project)’을 조직하여 150명 이상의 전문가를 활용하여 정부 전체 기후대응에 대한 조언을 제정하고 있음. 이 조직은 정책의제를 제공하지 않으며, 기후위기에 신속하게 대처할 수 있는 행정부의 역할을 구축하는데 도움을 주며, 연방부서와 연방기관에 걸쳐 구성하고 있음. 농업분야는 농무부(USDA; United States Department of Agriculture))가 담당하고 있음⁵¹⁾.

50) <https://www.ctis.re.kr/ko/downloadBbsFile.do?atchmnflNo=10101>

- ‘기후21프로젝트’에서 농무부는 (1)농부, 목장주, 산림 토지 소유자와 협력하여 탄소격리 및 배출감소를 통해 대기 중 온실가스를 줄이고, (2)농촌 에너지 협동조합의 온실가스 배출량을 줄이고, (3) 민간 작업지와 공공 삼림 및 초원의 탄력성을 강화하고, (4) 지속 가능한 바이오 에너지, 목재 제품 및 기타 바이오 기반 재료를 촉진하고, (5) 기후 변화에 대한 과학적 이해에 기여하고, (6) 농촌 지역 사회의 기후 경제 발전에 투자할 수 있도록 지원함⁵²⁾.
- 미국은 환경보호국(이하 EPA; U.S. Environmental Protection Agency)이 탄소중립 관련 정책에 관여하며, 미국 내 전기, 수송, 산업, 상업/주거, 농업, 토지이용/숲 등 경제 부문별 총 온실가스 배출량을 관리하고 있음⁵³⁾. 농업 부문 온난화 배출 가스 CH₄, N₂O에 관한 배출과 감소 정책에 대한 보고 및 관리를 하고 있음⁵⁴⁾.
- 미국의 농업부문 온실가스 배출량은 2021년 기준 전체의 10%에 해당하며, 이 중 반추동물에 의한 장내 메탄배출이 25%, 분뇨관리가 11%를 차지함⁵⁵⁾.
- EPA의 농업부에서는 농업 규정, AgSTAR(혐기성 소화조로 바이오가스 생산 및 에너지 생산), 동물사체 관리, 동물생산, 농업교육 및 뉴스(알림)을 담당하고 있음. 특히 국가농업센터에서는 항상제, 동물 분뇨관리, 농업/EPA 파트너십, 지속가능성, 노동보호기준을 관리하고 있음(그림13)⁵⁶⁾.
- 미국 환경보호국(EPA)과 농무부(USDA)는 ‘가축 바이오가스 회수 시스템’ 사용을 장려하여 가축 폐기물 관리 운영에서 메탄을 줄이기 위해 고안된 아웃리치 프로그램인 ‘AgSTAR’를 운영하고 있음⁵⁷⁾. ‘AgSTAR’는 글로벌메탄 이니셔티브(GMI)와 협력하고 있음.

51) <https://climate21.org/summary/>

52) https://climate21.org/documents/C21_USDA.pdf

53) <https://www.epa.gov/ghgemissions/>

54) <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions#agriculture>

55) Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks. EPA

56) <https://www.epa.gov/agriculture>

57) <https://www.epa.gov/agstar>

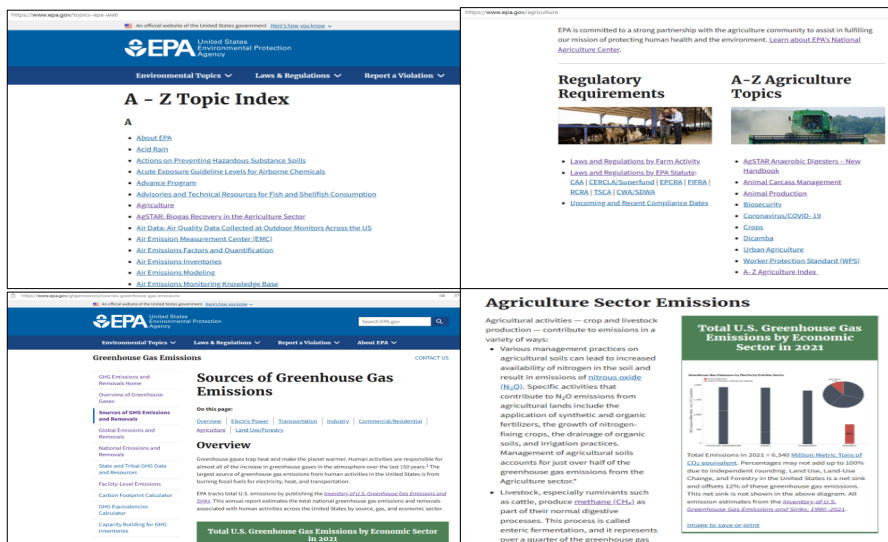


그림 13. 미국 환경보호국 (U.S. Environmental Protection Agency)

- ‘AgSTAR’는 가축 폐기물을 포함한 농업 잔류물에서 메탄배출을 줄이기 위해 농업 및 축산 부문에서 바이오가스 시스템 도입을 장려하고 있으며, 농가 교육, 소화조의 운영, 위험분석, 기술검토 등을 토대로 정보를 제공하고 프로젝트-이벤트를 조직함.
- 2023년 1월 기준, 343개의 프로젝트가 운영중임(낙농 290개, 돼지 46개, 가금류 8개, 쇠고기 9개). AgSTAR를 통해 2022년 10.43MMTCO₂^{-eq}의 직/간접 온실가스 배출을 방지했으며 242백만MWh의 전기를 생성하였다고 보고함⁵⁸⁾.
- 미국 환경부의 글로벌 탄소 발생과 저감 방법을 발표함(그림14)⁵⁹⁾. 주요 탄소저감 방법은 사료 전환 효율을 개선하고 사료 보충제를 통합하며 소규모 혐기성 소화조의 사용을 늘리는 전략이며, 가축의 저감 잠재력은 2030년에 298 MT CO₂^{-eq}, 기준 배출량의 9% 정도라고 발표.

58) <https://www.epa.gov/agstar/agstar-data-and-trends>

59) Global Non-CO₂ Greenhouse Gas Emission Projections & Mitigation(참고페이지 56), United States Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs (6207A), Washington, DC 20005, EPA-430-R-19-010, October 2019

가능함. 비용 효율적인 감소 잠재력을 도입할 경우 2030년에 2%로 유지되고 2050년에는 1%로 감소하게 됨.

- 기술별 감소 가능성: 2030년에는 항메타노젠이 가장 전반적인 잠재적 저감을 제공하고 두번째는 프로피오네이트 전구체임. 항메타노젠, 프로피오네이트 전구체 및 집중 방목으로 인한 비용 효율적인 저감은 70 MtCO₂^{-eq}의 배출량을 줄일 수 있음.

Abatement Option	Total Installed Capital Cost (2010 USD)	Annual O&M Cost (2010 USD)	Capital Lifetime (years)	Reduction Efficiency (change in emissions per head)	Benefits (changes in livestock or energy revenue)	Technical Applicability
Improved feed conversion	0	\$25–\$295 per head	NA	CH ₄ : –39.4% to +39.6%	0–79% increase in animal yield	Beef and dairy cattle in areas with low baseline livestock growth and milk production rates
Antibiotics	0	\$4–\$9 per head	NA	CH ₄ : –0.4% to –6%	5% increase in animal yield	Beef cattle in urban and intensively managed livestock production systems (LPS)
bST	0	\$123–\$300 per head	NA	CH ₄ : –0.2% to +10.3%	12.5% increase in animal yield	Dairy cattle in urban and intensively managed LPS within countries where bST is currently expected to be legal and feasible

(continued)

Abatement Option	Total Installed Capital Cost (2010 USD)	Annual O&M Cost (2010 USD)	Capital Lifetime (years)	Reduction Efficiency (change in emissions per head)	Benefits (changes in livestock or energy revenue)	Technical Applicability
Propionate precursors	0	\$40–\$120 per head	NA	CH ₄ : –10% beef cattle and sheep; –25% dairy animals	5% increase in animal yield	Beef cattle, sheep, and dairy animals in urban and intensively managed LPS
Anti-methanogen	0	\$9–\$33 per head	NA	CH ₄ : –10%	5% increase in animal yield	All ruminants in urban and intensively managed LPS
Intensive grazing	0	–\$180 to +\$1 per head	NA	CH ₄ : –13.3% beef cattle; –15.5% dairy cattle	–11.2% reduction in dairy cattle yield	Beef and dairy cattle in developed regions and Latin America in urban and intensively managed LPS

Note: Annual costs and reduction efficiencies were calculated for each region based on Gerbens (1998), Bates (2001), and professional judgment based on consultations with experts.

그림 15. 미국 환경부의 글로벌 장내 메탄 배출량 계산 및 비용 저감 계산

○ EPA의 ‘Global Non-CO₂ Greenhouse gas emission project’ 보고서⁶⁰⁾는 장내 메탄배출 저감 조치와 조치 적용에 대한 비용 효율을 계산함 (그림15). 주요 내용은 다음과 같음.

1. 향상된 사료 전환율: 메탄향상된 사료 전환율은 최종 제품으로 전환되는 사료 에너지의 비율을 향상시키는 여러 관리 방법을

60) https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-09/documents/nonco2_methodology_report.pdf

- 적용. 방법에는 가축에게 공급되는 곡물의 양을 늘리고 식이 첨가물을 포함. 이 옵션은 기준 사료의 품질이 상대적으로 낮은 지역에서 배출량을 줄이는 데 더 효과적임. 효율이 좋은 사료 사용 에서는 \$25-\$295 비용으로 최고 -39.4%까지 절감 가능.
2. 항생제: 항생제(예: 모넨신)는 체중 증가를 촉진하고 생산된 육류 1톤당 사료 섭취량을 줄이기 위해 소에게 먹일 수 있음. 항생제의 사용으로는 \$4-\$9 비용으로 최고 -0.4% 절감 가능.
 3. Bovine Somatotropin(bST): bST는 우유 생산을 증가시키기 위해 젖소에게 투여, 많은 국가에서 bST와 같은 성장 호르몬의 사용에 대한 반대 때문에 이 옵션은 현재 bST의 사용이 합법적이고 실현 가능할 것으로 예상되는 일부 국가에서만 적용되고 있음. bST 사용으로는 \$123-\$300 비용으로 메탄 최대 -0.2% 절감 가능.
 4. 프로피오네이트 전구체: 프로피오네이트 전구체(말레이트, 푸마르산염)는 동물에게 매일 투여함. 발효를 통해 반추동물에서 생성된 수소는 반응하여 CH_4 또는 프로피오네이트를 생성. 동물 사료에 프로피오 네이트 전구체를 첨가하면 더 많은 수소가 프로피오네이트를 생산하는 데 사용되고 더 적은 CH_4 가 생성. 프로피오네이트 전구체로는 두당 \$140-\$120 비용으로 메탄 최대 -10%(소와 양) 및 -25%(젖소) 감소 가능.
 5. 항메타노젠: 항메타노젠은 반추위에서 CH_4 생성을 억제하기 위해 동물에게 투여할 수 있는 백신임. 백신은 현재 개발 초기 단계에 있으며 배출 감소 효율, 장기적인 완화 효과 및 동물 건강 영향에 대한 정보가 제한적임. 항메타노젠은 두당 \$9-\$33 비용으로 메탄 최대 -10% 감소 가능.
 6. 집중 방목: 집중 방목은 보다 집중적인 목초지 관리와 소 순환을 통해 영양을 개선하여 재성장을 허용하면서 준비된 식량에 대한 의존도를 줄이는 것을 의미함. 집중방목으로 메탄 -13.3%(소) 및 -15.5%(젖소) 저감 가능.

- 이밖에도 분뇨 배출 시에 사용한 소화조 , 석호 방법 등에 대한 탄소발생량 저감 방법이 있으며 한우 농가에 메탄배출저감조치 및 분뇨 처리 방법을 적용할 경우 탄소발생량 계산과 비용효율성에 대한 경제성평가 등 이 필요함.
- 농무부(USDA)는 2021년 농업종사자 및 농촌지역사회의 온실가스 배출감소 및 탄소격리를 주도하고 기후변화영향관리를 지원하는 프로그램인 ‘기후 스마트 농업 및 임업 전략(CSAF; Climate-Smart Agriculture and Forestry Strategy)’을 수립함.
- 이 전략은 천연자원보존서비스(NRCS)를 포함하는 등 보존프로그램의 기회를 확장하고 있고, 최근 장내메탄배출 감소를 위한 솔루션 개발과 기후스트레스에 대한 동물의 회복력 비료로 인한 아산화질소 배출 감소, 탄소저장 및 적응을 위한 토양 및 작물의 개선, 온실가스 배출 감소 및 에너지 생성을 위한 폐기물 관리 개선 등의 솔루션을 포함하고 있음⁶¹⁾.
- USDA의 농업 혁신 의제(AIA)⁶²⁾는 USDA의 자원, 프로그램 및 연구를 조정하여 농부들에게 필요한 도구를 제공하고 미래의 식량, 섬유, 연료, 사료 및 기후 수요를 충족하기 위한 노력의 리더로 미국 농업을 포지셔닝하기 위한 부서 차원의 노력임. 미국 농업이 2050년까지 미국 농업의 환경 발자국을 50%로 줄이면서 미국 농업 생산량을 40% 늘리는 것을 목표로 하고 있음.
- 특히 농업에너지 관련 사업은 USDA의 농촌 개발(RD)과 에너지부(U.S. Department of Energy)와 협력하여 진행하고 있음.
- USDA산하 기관인 농업연구원(ARS)⁶³⁾에서는 ARS 전략 계획(2018-2020)⁶⁴⁾에 의해서 가축유전자원을 보호하는 동시에 동물성 식품 생산

61) <https://www.usda.gov/media/press-releases/2021/05/20/usda-releases-90-day-progress-report-climate-smart-agriculture-and>

62) <https://www.usda.gov/our-agency/initiatives>

63) <https://www.ars.usda.gov/>

효율성, 산업 지속가능성, 동물복지, 제품 품질 및 영양적 가치 향상에 관한 National Program 101 연구에서 가축 성장 효율성, 영양소 활용, 생산성 향상, 동물 복지(스트레스 감소), 유전체학, 등 전반적인 육류 제품의 건강성과 영양가를 향상하는 연구가 진행중임.

- NP #101(National Program 101)인 식용 동물의 생산성(Food Animal Production) 프로젝트로 1. 다양한 식품 동물 생산 시스템 전반에 걸쳐 동물 복지를 향상 시키면서 생산 및 생산 효율성 증가, 2. 동물유전자원의 이해, 개선 및 효과적인 활용, 3. 제품의 품질 향상 측정 및 고품질 축산물에 관한 연구 요소로 구성됨. 프로젝트 목록은 표6과 같음.

표 6. 프로젝트 Food Animal Production(NP #101) 목록 (Livestock)

	Title (번역)	시작일	종료일
1	Livestock Grazing in Rangeland Management Systems	2021.6.1.	2026.6.30.
	(방목지 관리 시스템의 가축 방목)		
2	National Animal Germplasm Program	2022.6.14	2027.6.13.
	(국립 동물 생식 질 프로그램)		
3	Regeneration of Y Chromosome in Holstein Cattle	2019.9.1.	2024.8.31.
	(홀스타인 소의 Y 염색체 재생)		
4	Maintaining and Refining Animal GRIN	2020.8.1.	2025.8.1.
	(동물 GRIN 유지 및 정제)		
5	Identification of Estrogen Responsive Genes in the Endometrium of Cattle That Influence Pregnancy Success	2020.10.1	2024.2.29.
	(임신 성공에 영향을 미치는 소 자궁내막 내 에스트로겐 반응 유전자)		
6	Fertility Enhancement of Spermatozoa in Cattle	2022.5.1.	2025.10.2.
	(소 정자의 번식력 증진)		

	Title (번역)	시작일	종료일
7	Development of Management Strategies for Livestock Grazing, Disturbance and Climate Variation for the Northern Plains	2019.5.8.	2024.5.7.
	(북부 평원의 가축 방목, 교란 및 기후 변화에 대한 관리 전략 개발)		
8	Identifying and Mitigating Factors that Limit Beef Production Efficiency	2022.10.1.	2027.9.30.
	(쇠고기 생산 효율성을 제한하는 요인 식별 및 완화)		
9	Climate-adaptive Strategies for Overcoming Barriers to Establishment of Diverse CRP Plantings in Drylands-Miles City	2022.9.1.	2027.8.31.
	(건조지대에 다양한 CRP 재배지 설립에 대한 장벽을 극복하기 위한 기후 적응 전략)		
10	Cooperative Research between Montana State University and ARS-Plains Area for Joining Research Projects at Research Sites and Facilities in Montana	2023.4.1.	2028.4.1.
	(몬태나 주립대학과 ARS-Plains Area간의 협력연구를 통한 몬태나주 연구현장 및 시설물의 공동연구)		
11	Rangeland Resilience Following Wildfire: Opportunities For Grazing?	2023.2.1	2024.1.31.
	(산불 이후의 방목지 회복력: 방목의 기회?)		
12	Fire Effects in Greasewood-Saline Ecological Sites in Wyoming and Montana	2020.10.1.	2023.12.30
	(와이오밍과 몬태나의 Greasewood-Saline 생태 지역의 화재 영향)		
13	Precision Range and Livestock Management on Western Rangelands	2021.1.15.	2024.1.14.
	(서부 방목지의 정밀 방목 및 가축 관리)		
14	Feed and Crop Management to Support Livestock Research	2022.3.1.	2024.3.31.
	(축산연구지원을 위한 사료 및 작물관리)		

	Title (번역)	시작일	종료일
15	Sustainable Management of Manure Nutrients and Environmental Contaminants from Beef and Swine Production Facilities	2021.1.13.	2026.1.12.
	(쇠고기 및 돼지 생산 시설의 분뇨 영양분 및 환경 오염 물질의 지속 가능한 관리)		
16	Applying Nutritional Strategies to Improve Early Embryonic Development and Progeny Performance in Beef Cows	2022.1.31.	2027.1.30.
	(젖소의 초기배아발달과 생식능력 향상을 위한 영양학적 연구)		
17	Discovery of Novel Traits to Improve Efficiency and Sustainability of Different Sheep Production Systems	2022.8.11.	2027.8.10.
	(다양한 양 생산 시스템의 효율성과 지속 가능성을 향상시키는 새로운 특성 발견)		
18	Improving Lifetime Productivity in Swine using Systems Biology and Precision Management Approaches	2022.1.31.	2027.1.30.
	(시스템생물학 및 정밀관리기법을 이용한 양돈내 평생 생산성 향상방안)		
19	Improving Robustness and Climatic Resilience in U.S. Sheep Populations through Genomics	2022.1.1.	2026.1.1.
	(유전체학을 통해 미국 양 개체군의 견고성과 기후 탄력성 향상)		
20	Influence of Maternal- and Embryonic- Derived Extracellular Vesicles on the Initiation of Porcine Conceptus Elongation.	2021.10.29	2024.5.31.
	(모체 및 배아 유래 세포막 소포체가 돼지 수태체 신장 개시에 미치는 영향)		
21	Enhancing Boar Fertility in the Face of Climate Change through the Mitigation of In utero Heat Stress	2023.3.1.	2026.3.31.
	(자궁 내 열 스트레스 완화를 통해 기후 변화에 직면한 멧돼지의 번식력 향상)		

	Title (번역)	시작일	종료일
22	Improving Livestock Production through the Development of Precision Rangeland Management Technologies	2021.7.1.	2024.6.30.
	(정밀 방목지 관리 기술 개발을 통한 가축 생산 개선)		
23	Quantifying Genetic and Non-Genetic Factors Associated with Lamb Growth and Carcass Characteristics	2022.2.16.	2024.12.30.
	(양의 성장과 사체특성과 관련된 유전적 요인과 비유전적 요인의 정량화)		
24	Management of Stable Flies to Improve Livestock Production	2019.12.1.	2024.11.30.
	(가축생산 개선을 위한 집파리 관리)		
25	Sustaining Southern Plains Landscapes through Improved Plant Genetics and Sound Forage- Livestock Production Systems	2019.5.22.	2024.5.21.
	(식물유전학 및 음식축 생산 시스템의 개선을 통한 남부 평원의 경관유지에 관한 연구)		

- 2008년 농업연구청(ARS)과 국립식량농업연구소(National Institute for Food and Agriculture, NIFA)가 주도하는 컨소시엄은 "2008-2017년 농축동물 유전체학에 대한 USDA 노력에 대한 청사진"을 발표, 이는 동물 유전체학 연구 및 자금 지원을 위한 지침 문서 역할을 하고 있음.
- ARS와 NIFA는 2017년 11월 동물 유전체학 분야의 과학자들과 함께 "계놈에서 페놈으로: 동물 생산 개선을 위한 USDA 청사진"이라는 제목의 워크숍을 개최했으며, 이러한 논의는 향후 10년 동안의 새로운 목표를 개발하는 데 사용되었음. 이 보고서⁶⁵⁾는 향후 10년 동안 동물성 제품에 대한 전 세계 소비자 수요를 충족할 수 있는 미국의 역량을 크게 증가시킬 새로운 USDA 동물 게놈 청사진에 요약된 전략 연구가 수행됨.

65) Blueprint Executive Summary : From Animal Genomes to Phenomes

- ARS 연구 프로젝트에서 키워드 “methane”검색, 현재 진행중인 메탄 발생에 관한 연구는 37개 과제가 있었으며, “additive”검색을 메탄 발생에 대한 연구는 66개 과제가 검색됨. 이 중 반추동물의 장내 메탄 감소와 관련된 유전체, 사료, 첨가제 및 동물 관리 시스템에 관한 연구 목록은 표 7과 같음.

표 7. 미국 ARS의 반추동물 메탄발생 관련 연구 프로젝트 목록

	Title(번역)	시작일	종료일
1	Assessing the environmental protective benefits of tannins and fat supplementation for finishing beef steers (쇠고기 비육을 위한 탄닌 및 지방 보충의 환경보호적 이점 평가)	2022.9.1.	2025.12.31.
2	Improving dairy feed efficiency, sustainability, and profitability by impacting farmer's breeding and culling decisions (농부의 육종 및 도태 결정에 따른 유제품 사료 효율성, 지속 가능성 및 수익성 개선)	2019.2.1.	2024.1.31.
3	Rumen microbial communities in forage-based beef stockering and cow management systems in the southern great plains (남부 대평원의 마초 기반 쇠고기 저장 및 젖소 관리 시스템의 반추위 미생물 군집)	2022.8.1.	2026.1.31.
4	Sustaining southern plains landscapes through improved plant genetics and sound forage-livestock production systems (개선된 식물 유전학과 건전한 마초-가축 생산 시스템을 통해 남부 평원 경관 유지)	2019.5.22	2024.5.21.
5	Improving dairy cow feed efficiency and environmental sustainability using genomics and novel technologies to identify physiological contributions and adaptations (생리적 기여 및 적응을 확인하기 위해 유전체학 및 신기술을 사용하여 젖소 사료 효율성 및 환경 지속 가능성 개선)	2022.7.26.	2027.7.25.
6	Novel commercial farm-field network to quantify emissions and carbon storage from agricultural bio-energy feedstock production (농업용 바이오에너지 공급원료 생산으로 인한 배출 및 탄소 저장을 정량화하기 위한 새로운 상업용 농장-현장 네트워크)	2020.10.1.	2024.2.29.

	Title(번역)	시작일	종료일
7	Using natural sources of tannins to mitigate greenhouse gas emissions by cattle grazing winter annual pasture	2023.5.31.	2028.5.30.
	(탄닌의 천연 공급원을 사용하여 겨울 연간 목초지를 방목하는 소의 온실가스 배출을 완화)		
8	Interseeding cover crops into corn to extend the grazing season and improve soil health	2023.3.1.	2026.11.30 .
	(방목 기간을 연장하고 토양 건강을 개선하기 위한 옥수수 덮개 작물을 심기)		
9	Strategies to Manage Feed Nutrients, Reduce Gas Emissions, and Promote Soil Health for Beef and Dairy Cattle Production Systems of the Southern Great Plains	2021.8.31.	2026.8.30.
	(남부 대평원의 육우·낙농우 생산체제를 위한 사료영양관리, 가스배출 저감 및 토양건강 증진 전략)		
10	The Impact of Insects as Animal Food	2022.9.15.	2026.9.14.
	(곤충이 동물 사료로서 미치는 영향)		
11	Assembly and Annotation of Rumen Protist Genomes to Determine their Metabolic Contribution and Environmental Presence	2021.9.1	2024.8.31.
	(반추동물 유전체의 대사적 기여와 환경적 존재를 규명하기 위한 회의와 주석)		
12	Identification and Culture of Californian Marine Macroalgae Capable of Reducing Greenhouse Gas Production from Ruminant Livestock	2019.1.1.	2023.12.31.
	(반추동물로부터 온실가스 발생을 감소시킬 수 있는 캘리포니아 해양 대형조류의 식별 및 배양)		
13	Improving Forage Genetics and Management in Integrated Dairy Systems for Enhanced Productivity, Efficiency and Resilience, and Decreased Environmental Impact	2019.3.4.	2024.3.3.
	(생산성 향상, 효율성 및 복원력 향상, 환경영향 감소를 위한 통합낙농시스템의 조사료 유전성 및 관리 개선)		
14	Forage and Fiber Utilization in Dairy Cow Diets	2023.9.1.	2028.8. 1.
	(젖소의 사료와 섬유질 이용에 관한 연구)		
15	Evaluating Pasture Systems in the Upper Midwest	2023.3.15.	2027.12.31 .
	(중서부 지역 목초지 시스템 평가)		

	Title(번역)	시작일	종료일
16	Alternatives to antibiotics strategies to control enteric diseases of poultry	2021.10.13.	2026.10.13.
	(가금류의 장질환을 예방하기 위한 항생제의 대안)		
17	Genetic mechanism of reproductive heterosis in dairy cattle	2020.1.1.	2023.5.31.
	(젖소의 생식 잡종 유전 메커니즘)		
18	Usda-nih/ods, fda iodine database and special interest databases on purines, nitrates/nitrites, glucosinolates	2023.6.1.	2027.9.30.
	(Usda-nih/ods, fda 요오드 데이터베이스 및 퓨린, 질산염/ 아질산염, 글루코시놀레이트에 대한 특별 관심 데이터베이스)		
19	Genetics and genomics of introduced species for biological control of invasive species	2020.7.2.	2025.7.1.
	(침입종의 생물학적 방제를 위한 도입종의 유전학과 유전체학)		
20	Investigation of Iodine, Purines, Glucosinolate and Nitrates/Nitrites in Foods	2023.8.30.	2025.8.29.
	(식품 내 요오드, 퓨린, 글루코시놀레이트 및 질산염/ 아질산염 조사)		
21	Longitudinal Quantification of Salmonella from Feedlot Cattle fed a novel Bacillus subtilis Feed Supplement	2021.2.1.	2024.1.31.
	(새로운 Bacillus subtilis 사료 보충제를 먹인 사육장에서 살모넬라균의 종방향 정량화)		
22	Environmental and Management Influences on Animal Productivity and Well-Being Phenotypes	2022.7.26.	2027.7.25.
	(동물 생산성 및 웰빙 표현형에 대한 환경 및 관리 영향)		
23	SBIR Phase 2: Polyvalent Bacteriophages as Livestock Feed Additives & Alternatives to Antibiotics for Pathogen Control & Improved Animal Performance	2022.12.5.	2023.9.30.
	(가축 사료 첨가제로서의 다가 박테리오파지 및 병원균 제어 및 동물 성능 개선을 위한 항생제 대체제)		
24	Peanut Skins as an Antimicrobial Feed Additive to Reduce the Transmission of Salmonella in Turkeys and Turkey Production Environments	2023.9.1.	2026.9.30.
	(칠면조 및 칠면조 생산 환경에서 살모넬라균의 전염을 줄이기 위한 항균 사료 첨가제로서의 땅콩 껍질)		

	Title(번역)	시작일	종료일
25	Systems-based Integrated Program for Enhancing the Sustainability of Antibiotic Restricted Poultry Production	2020.10.1.	2024.9.14.
	(항생제 제한 가금류 생산의 지속가능성 제고를 위한 시스템 기반 통합 프로그램)		
26	Immunological and Practical Approaches to Manipulate the Ecological Niches and Reduce Foodborne Pathogens in Poultry	2021.3.17.	2026.3.16.
	(가금류의 생태적 틈새를 조작하고 식품 매개 병원체를 줄이기 위한 면역학적, 실용적 접근)		
27	Immune and Metabolic Kinome Analysis to Evaluate Salmonella and Campylobacter Colonization in Poultry	2020.9.1.	2023.8.31.
	(살모넬라균과 캄필로박터의 가금류 집락 평가를 위한 면역 및 대사성 키놈 분석)		
28	Improving Utilization of Forages in Integrated Dairy Production Systems to Enhance Sustainable Farming Systems and Food Security	2019.3.25.	2024.3.24.
	(지속가능한 영농체계와 식량안보를 위한 낙농통합생산시스템의 조사료 활용도 제고)		
29	Identification and Culture of Californian Marine Macroalgae Capable of Reducing Greenhouse Gas Production from Ruminant Livestock	2019.1.1.	2023.12.31.
	(반추동물로부터 온실가스 발생을 감소시킬 수 있는 캘리포니아 해양 대형조류의 식별 및 배양)		
30	Forage and Feed Characteristics on Performance, Feed Efficiency, Environmental Impact, and Farm Nutrient Cycling of Dairy Production Systems	2022.8.3.	2027.8.2.
	(유제품 생산 시스템의 성능, 사료 효율성, 환경 영향 및 농장 영양 순환에 대한 사료 및 사료 특성)		
31	Application of Probiotics as an Alternative to Antibiotics for the Reduction of Salmonella in Poultry	2022.7.18.	2027.4.30.
	(가금류의 살모넬라균 저감을 위한 항생제 대체제로서의 프로바이오틱스의 적용)		

- ARS의 미국 국립식량농업연구소(NIFA)⁶⁶⁾와 천연자원보전국(NRCS)⁶⁷⁾에서도 식용 동물에 대한 기후변화 대비 메탄 감소를 위한 연구를 진행중임.
- 미국 쇠고기협회(NCBI)⁶⁸⁾는 2023년 정책 우선순위를 발표하여 미국 축산업의 수익성, 동물 질병 대비 등에 대하여 환경보호론자로서 생산자의 역할을 계속 강화하고 사회적 규제 과잉을 저지하고 있음. 또한 기후와 지속가능성(Climate and Sustainability)에 대한 소농장 및 쇠고기에 위협이라는 정부 정책에 대한 반론을 제기하고 있으며, 배양육의 라벨 규제 등을 국회에 제출하는 등, 쇠고기-환경과 관련된 사회적인 이슈에 대한 대응을 하고 있음.
- Dr. Frank Mitloehner 생물학적 탄소 순환(Biogenic carbon cycle)⁶⁹⁾ 반추 동물과 메탄을 설명함(그림16). 메탄(CH_4)은 탄소 원자가 4개의 수소 원자와 결합 할 때 형성되는 또 다른 일반적인 온실 가스임. 메탄은 이산화탄소에 이어 전 세계적으로 두 번째로 풍부한 인위적 온실가스임. 일단 배출되면 메탄의 반감기는 약 10년이고, 이산화탄소의 반감기는 1,000년임. 많은 사람들이 깨닫지 못하는 것은 가축 관련 온실 가스가 화석 연료 관련 가스와 뚜렷하게 다르다는 것임. 소가 땅을 방목할 때 발생하는 생물학적 탄소 순환을 설명. (1)광합성 과정을 통해 식물은 햇빛과 물을 사용하여 CO_2 를 탄수화물로 전환. (2)소가 풀이나 사료를 섭취하면 일부 탄수화물(셀룰로오스 및 전분)이 소의 반추위에서 메탄으로 전환. (3) 메탄은 소의 입에서 대기로 다시 방출. (4) 약 10년 후, 메탄은 하이드록실(OH) 산화를 통해 다시 CO_2 로 전환. 이러한 생물학적 탄소 순환 때문에 가축 폐가 일정하게 유지되거나 시간이 지남에 따라 소의 수가 감소하면 대기에 더 많은 탄소가 추가되지 않으며. 소가 배출하는 탄소는 재활용 탄소임을 강조함.

66) <https://www.nifa.usda.gov/topics/animals>

67) <https://www.nrcs.usda.gov/conservation-basics/natural-resource-concerns/animals#assistance>

68) <https://www.ncba.org/>

69) Carbon Hoofprints: Cows and Climate Change, <https://minnesota.agclassroom.org/matrix/lesson/print/707/>

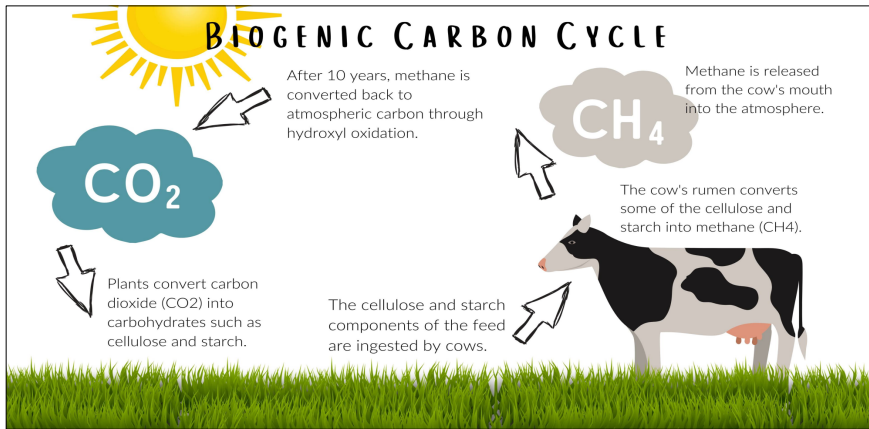


그림 16. Biogenic carbon cycle (그림출처:minnesota.agclassroom.org)

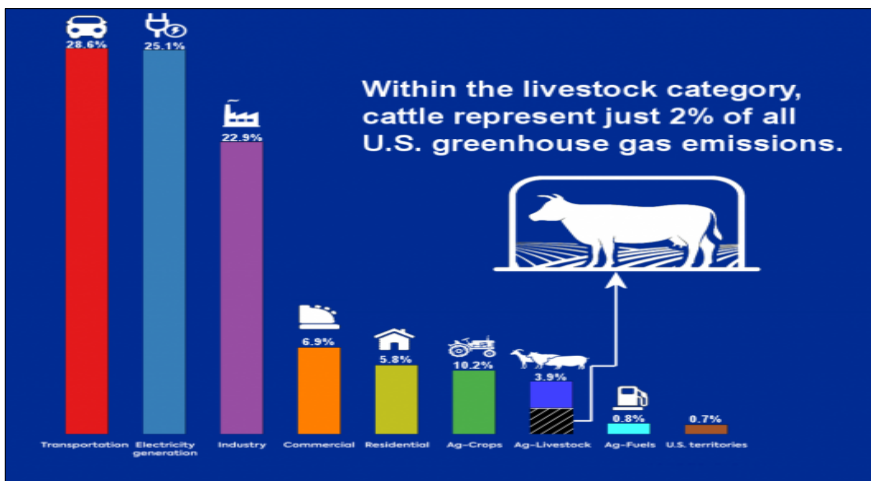


그림 17. 미국 산업별 온실가스 배출량 비교 (출처:climateataglance.com)

○ 미국 육우 목장 경영자 연합(BEEF.org⁷⁰)은 쇠고기 연구, 식품안전, 양질의 쇠고기 감사 등의 쇠고기 전반에 대한 협회 차원의 관리를 하고 있음. 특히 쇠고기 생산에 대한 온실가스의 배출이 타 산업에 비교하여 아주 작다(2%)는 것을 주장함(그림17).

○ 미국 낙농협회(U.S. Dairy)⁷¹는 유제품이 웰빙을 선두하고 낙농가의

70) <https://www.beef.org/>

지속가능성이 있는 방법을 모색하고 실천. 낙농 시설에 태양광 설치 등 온실가스 배출을 줄이는 낙농업체를 매년 선발하여 홍보함.

- 미국의 대형 식품기업인 General Mills⁷²⁾, Walmart Foundation, Cargill 및 McDonald 자금으로 미국 북쪽 평원(U.S. Northern Great Plains)에 2030년까지 100만 에이커(acre)의 땅에 지속 가능한 방목을 추진.

3. 캐나다

- 캐나다 정부는 2030년까지 온실가스 배출량을 2005년 수준보다 45% 줄이고 2050년까지 순 제로 배출량을 달성하겠다는 목표 수립함⁷³⁾.

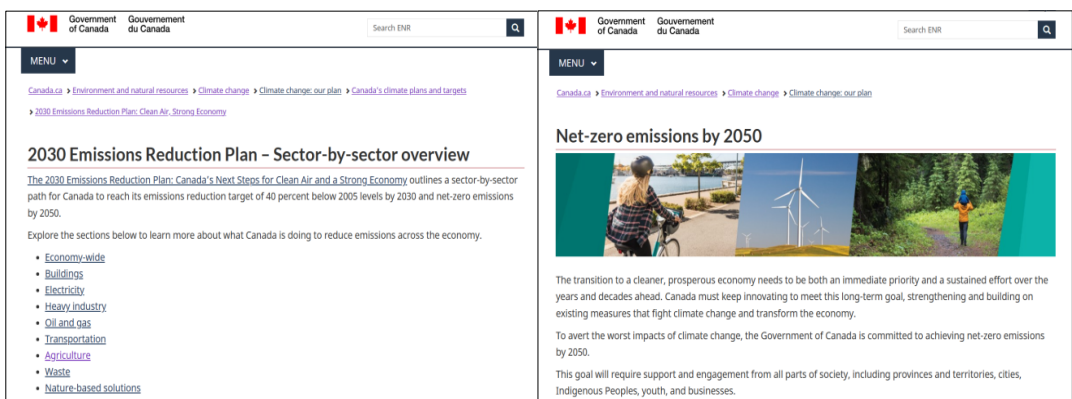


그림 18. 캐나다 2030 온실가스 배출 축소 계획(좌), 넷제로 2050(Net Zero)(우)

- 캐나다의 강화된 기후계획(2020년⁷⁴⁾)과 범 캐나다 프레임워크(2016년⁷⁵⁾)의 조치를 바탕으로 2030년 배출감축계획을 발표하였음. 이 중 농업부문 온실가스 배출 축소 계획은 다음과 같음⁷⁶⁾.

71) <https://www.usdairy.com/>

72) <https://www.prnewswire.com/news-releases/general-mills-to-advance-regenerative-agriculture-practices-on-one-million-acres-of-farmland-by-2030-300805224.html>

73) Canada, 2030 Emissions Reduction Plan, <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/climate-plan-overview.html>

74) <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/climate-plan/climate-plan-overview/healthy-environment-healthy-economy.html>

75) <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/pan-canadian-framework.html>

76) Canada, Net-zero emissions by 2050. <https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/pan-canadian-framework.html>

1. 농장 내 기후 행동 기금: 2억 달러 규모의 기금을 투입하여 덮개 작물 재배, 질소 관리, 순환 방목 관행 등 세 가지 목표 영역에서 탄소를 저장하고 온실가스 배출을 줄이는 유익한 관리 관행을 채택하도록 농민들에게 직접적인 지원을 제공.
 2. 농업 기후 솔루션 제공: 1억 8,500만 달러 규모의 10년 프로그램으로, 기후 변화에 대처하기 위한 농업 관행을 개발하고 구현하는 것을 목표로, 방풍림이나 피복작물과 같은 농업 관행을 통해 농지는 탄소를 가두어 저장하고 온실가스를 줄임.
 3. 적응형 다중 목장(AMP) 방목: 가축 방목에 대한 이 혁신적인 접근 방식은 대기에서 메탄 가스를 추출하여 미생물 활동을 통해 토양 내부에 격리.
 4. 재생 농업: 이 농업 관행은 온실 가스 배출을 줄이는 역할을 할 수 있으며 캐나다 정부가 발표한 야심 찬 목표를 달성하는 데 도움이 될 수 있음.
- 이러한 조치는 산업, 에너지, 건물, 운송, LULUCF(토지 이용, 토지 이용 변화 및 임업)를 포함한 다양한 부문에서 온실가스 배출을 줄이기 위한 광범위한 조치의 일부임.
- 캐나다 농업 및 농식품부(Agriculture and Agri-Food Canada, AAFC)⁷⁷⁾는 깨끗하고 풍요로운 미래를 건설하기 위해 농부들과 협력하고 있음. 캐나다의 2030년 배출 감소 계획은 농부들이 에너지 효율적인 장비를 이용할 수 있도록 지원하고, 지속 가능한 농업을 지원하기 위한 자금, 청정기술로 농업 경쟁력 강화, 그리고 농업 과학 및 혁신에 투자하는 것임. 캐나다 농업 및 농식품부의 주요 탄소저감 정책은 다음과 같음.

[change/climate-plan/net-zero-emissions-2050.html](https://climate-change/climate-plan/net-zero-emissions-2050.html)

⁷⁷⁾ <https://agriculture.canada.ca/en>

- 지금까지는 농장 내 환경 관리 프로그램을 지원⁷⁸⁾하는 비용을 5년간 30억 달러 규모의 캐나다 농업 파트너십을 시작, 청정 기술의 개발 및 채택을 지원하기 위해 1억 6,570만 달러 규모의 농업 청정 기술 프로그램을 시작, 기후 변화에 대처하는 농업 관행을 지원하기 위해 3억 8,500만 달러 규모의 농업 기후 솔루션 기금을 설립, 2030년까지 국가 비료 배출 감소 목표를 2020년 수준보다 30% 낮게 설정.
- 캐나다 정부는 2022년 농장기후행동기금에 따라 12개 프로젝트를 발표하였으며, 농장 질소관리, 작물커버, 회전방목 관행과 같은 분야에서 탄소를 저장하고 온실가스를 줄이는 관리관행 채택에 대해 총 1억8천만달러 규모의 지원금 지원하였음. 기금의 수혜기관과 채택관행은 표8과 같음.
- 2030년 배출 감소에 대한 새로운 조치 계획은 농업 기후 솔루션으로 농장 내 기후 행동 기금에 4억 7천만 달러를 제공. 이 자금을 통해 프로그램은 현재 성공적인 신청자 중 일부를 위한 자금을 보충하고, 수익성 경영 실행(Beneficial Management Practices (BMPs))을 확대, 질소관리, 덮개작물, 순환방목 실행 등 비료 배출에 기여하는 관행 채택을 지원함. 현재 종료일인 2023/24년을 지나 프로그램을 연장하였음.
- 적응형 다중 목장 방목(Adaptive multi-paddock (AMP) grazing)을 적용하여 대기에서 메탄 가스를 추출하여 미생물 활동을 통해 토양 내부에 가두어 두게 됨.

78) <https://agriculture.canada.ca/en/programs/agricultural-climate-solutions-farm-climate-action-fund>

표 8. 캐나다 농장기후행동기금 채택 12개 프로젝트와 지원 규모('22)

수혜기관	프로젝트 제목	금액 (천불)
ALUS Canada	우드랜드 크리 퍼스트 네이션과 앨버타 북부 선라이즈 카운티의 ALUS 프로그램과 함께 지속 가능한 들소 방목	\$700
B.C. Investment Agriculture Foundation	브리티시 컬럼비아의 농부들이 탄소를 저장하고 온실가스 배출량을 줄이는 피복 작물, 질소 관리 및 순환 방목 하에 적절한 BMP의 채택을 촉진	\$8,000
Canadian Forage and Grassland Association	브리티시 컬럼비아, 앨버타, 서스캐처원 및 퀘벡 전역의 농부들이 순환 방목 관행을 계획하고 시행	\$10,000
Canola Council of Canada	앨버타, 서스캐처원, 매니토바 전역의 농부들과 협력, 아산화질소 배출량을 줄이면서 카놀라 수확	\$22,000
ECOCERT Canada	캐나다 전역의 인증된 유기농 농부들이 피복 작물 및 질소 관리를 통해 GHG 배출량을 줄이는 즉시 배포 가능한 BMP를 채택	\$4,500
Manitoba Association of Watersheds	매니토바와 서스캐처원 전역에서 순환 방목, 질소 관리 및 피복 작물 분야에서 실제적이고 측정 가능하며 실용적인 기후 솔루션을 채택-배포할 수 있도록 돕는 것을 목표로 하는 지식, 도구, 기술 및 재정적 인센티브	\$40,000
Manitoba Métis Federation	Red River Métis 농부들이 질소 관리, 피복 작물 및 순환 방목 분야에서 BMP를 구현	\$7,200
New Brunswick Soil and Crop Improvement Association	뉴브런즈윅의 농부들이 온실가스 배출을 줄이기 위해 농장 순환 방목, 질소 관리 및 피복 작물 BMP를 채택	\$6,000
Ontario Soil and Crop Improvement Association	온타리오의 농부들이 피복 작물, 질소 관리 및 순환 방목을 포함한 최상의 기후 관행에 대해 배우고, 구현하고, 유지할 수 있도록 지원	\$25,000
Perennia Food and Agriculture Inc.	노바스코샤와 뉴펀들랜드의 농부들이 농장에서 위장 작물, 질소 관리 및 순환 방목에 따라 적격 BMP를 채택	\$8,500
Prince Edward Island Federation of Agriculture	프린스 에드워드 아일랜드의 농부들이 질소 관리를 개선, 피복 작물을 확대, 순환 방목을 지원함으로써 역량을 구축하고 기후 행동 장려	\$6,000
Results Driven Agriculture Research	앨버타의 농부들이 질소 관리, 피복 작물 및 순환 방목 BMP를 채택	\$33,000
L'Union des producteurs agricoles	퀘벡의 농부들이 온실가스 순 배출량을 줄이기 위해 대규모 농업 생산자 네트워크 내에서 덮개 작물 및 질소 관리 BMP를 채택	\$19,000

- 캐나다 축산분뇨 관리⁷⁹⁾는 농업 부문에서 온실가스 배출을 줄이는 방법 중 하나로 채택되어 있음. 캐나다 정부는 현재 저메탄 가축 사육에 대해 인센티브를 제공하지 않고 있으나, 현재 오타와주에서는 더 나은 분뇨 관리를 통해 메탄을 줄이기 위한 상쇄 배출권을 도입 추진중임.
- 분뇨 수집 단계에서 건식 수집 기술의 사용을 적극 권장하고 있으며, 산성화, 압축, 멀칭, 바이오 숯과 같은 조절제 추가 및 저장 탱크는 저장 3단계에서 온실가스 배출을 줄이는 데 도움이 됨. 이산화탄소 배출 감소라고도 알려진 탈탄소화는 메탄과 이산화탄소 가스의 혼합물인 유기 폐기물 유래 바이오가스를 식이성 단백질과 암모니아 비료로 전환하는 시스템을 통해 이루어질 수 있으며, 바이오가스는 분뇨에서 생산될 수 있음.
- 캐나다의 가축의 장내 메탄배출을 줄이기 위한 주요 솔루션은 다음과 같음.
 - 메탄 배출을 최대 30%까지 줄일 수 있는 사료 첨가제와 메탄 억제제 사용
 - 가스 감소 생리활성물질을 함유한 소를 위한 서방형 생체고분자 기술 개발
 - 가축의 공간적, 시간적 존재의 균형을 맞춰 방목 압력을 조정
 - 비료와 영양분 관리, 종 도입, 식물 접종 등 방목초지관리
- 캐나다 농업 및 농식품부가 메탄 배출을 줄이려면 농업 부문을 포함한 새롭고 혁신적인 아이디어의 도입을 위해 ‘농업 메탄 감축 챌린지 (Agricultural Methane Reduction Challenge)’ 프로그램을 진행하고 있음. 해당 프로그램은 농가 및 관련자들이 메탄감축의 위한 아이디어를 공모하여 각 분야별 수상자에게 총 상금을 수여하는 프로그램으로 총 1,200만달러의 상금이 책정되어 있음(그림19)⁸⁰⁾. (현재 공모중. 마감 2024년 2월 7일)

79) <https://agriculture.canada.ca/en/environment/greenhouse-gases>

80) <https://www.canada.ca/en/agriculture-agri-food/news/2023/11/agriculture-and-agri-food-canada-launches-new-agricultural-methane-reduction-challenge.html> ; <https://impact.canada.ca/en/challenges/methanechallenge>

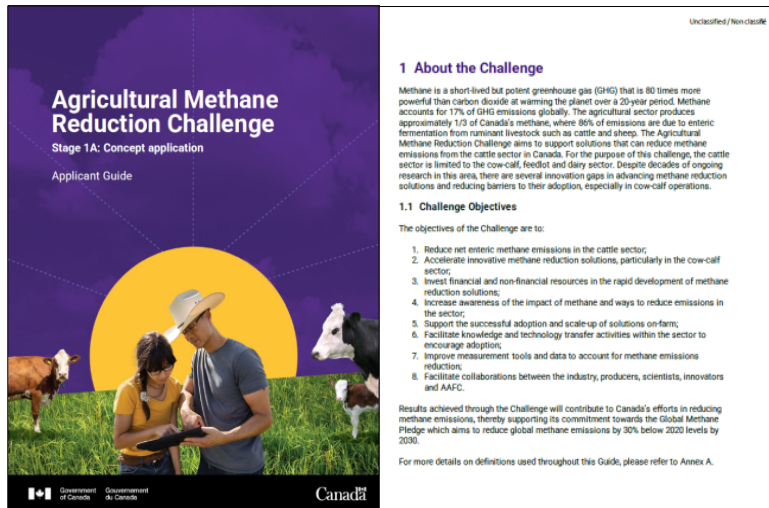


그림 19. 캐나다 농업 메탄 감축 챌린지(Agricultural Methane Reduction Challenge) 소개

- 캐나다 쇠고기 자문가(Canadian Beef Advisors)는 1차 쇠고기 생산으로 인한 배출 강도를 2030년까지 33% 줄이겠다는 목표를 가지고 있으며, Dairy Farmers of Canada는 2050년까지 순 제로에 도달한다는 목표를 세움 (그림20).



그림 20. 캐나다 쇠고기 자문가(Canadian Beef Advisors)의 2030년 산업 목표

- 캐나다 쇠고기 자문가는 2020년 9월, 2030년 산업 목표로 1)온실가스 및 탄소 격리, 2)동물 건강 및 복지, 3)토지 이용 및 생물 다양성 등을 발표함. 2021년 4월, 다음의 4가지 목표가 추가됨. 5)물, 6)국민 건강 및 안전, 7)소고기 품질 및 식품 안전, 8)기술개발⁸¹⁾.
- 캐나다비육농장협회 환경위원회 (Canadian Cattlemen Associations Environment Committee)⁸²⁾는 캐나다 정부의 환경정책 솔루션에 대해 협력하고 환경 문제와 관련된 부정적인 대중의 오해에 대응, 환경에 중점을 둔 여러 가지 문제에 대해 연방 정부와 협력하고 있음.
- 육우연구회 Beef Cattle Research Council (BCRC)⁸³⁾는 방목우는 초원 생태계의 필수적인 부분이며 영양분 재활용에 중요한 역할을 한다고 강조함. 또한, 목초지는 중요한 탄소 저장고이며 위험에 처한 많은 종에게 서식지를 제공할 뿐만 아니라 경작의 대상이 될 수 있는 습지를 보존하기 때문에 매우 중요하다고 주장함. 사육장에서 소를 생산하면 쇠고기의 탄소 배출량이 낮아지고 쇠고기 생산 효율성이 높아지는 장점이 있어 육우 사육 시스템의 각 장점에 대해 초점을 맞출 필요가 있음을 이야기 함.
- 지속가능한 쇠고기를 위한 캐나다 라운드테이블(Canadian Roundtable for Sustainable Beef (CRSB)⁸⁴⁾과 전국소사육협회(CCA and National Cattle Feeders Association (NCFA)⁸⁵⁾가 소가 재생가능한 농업이고 환경을 보호하고 기후변화를 완화시킨다고 주장함.

81) <https://beefstrategy.com/2030-goals.php>

82) <https://ar.cattle.ca/>

83) <https://beefstrategy.com/2030-goals.php>

84) <https://www.smallfarmcanada.ca/news/kiss-the-ground/>

85) <https://nationalcattlefeeders.ca/>



그림 21. 캐나다 육우연구회 Beef Cattle Research Council (BCRC)

○ 기후변화와 환경에 대하여 소가 갖는 오해(메탄 배출의 주범)를 막고자 올바른 정보와 교육을 통해 그 오해를 벗기는 활동가들이 신성한 소(Sacred Cow)⁸⁶⁾라는 연합체를 만들어 활동하고 있음. 대표적인 활동으로 ‘농장 동물 중 가장 크고 가장 비방받는 동물인 소’에 관한 영화를 제작하였으며 내용은 다음과 같음.

－ 영화내용: 식료품점과 식탁에서는 가장 사려 깊은 소비자조차도 무엇을 먹을지 선택할 때, 특히 육류와 관련하여 고려해야 할 사항의 수에 압도되고 있음. 최소한의 해로움이라는 고귀한 원칙에 따라 많은 책임감 있는 시민들은 육류를 완전히 끊음으로써 윤리적, 환경적, 영양학적 난제를 해결한다고 생각함. 하지만, 건강하고 지속 가능하며 양심적인 식품 시스템이 동물 없이 존재할 수 없음. 우리가 동물을 기르고 먹을 때 직면하는 근본적인 도덕적, 환경적, 영양학적 문제를 탐구함.

86) <https://beefstrategy.com/2030-goals.php> <https://www.sacredcow.info/>

4. 호주

- 호주의 산업별 온실가스 배출 비율은 전기 33%, 고정에너지 20%, 수송 18% 반면 적색육 산업⁸⁷⁾은 11.8%임.
- 호주축산공사⁸⁸⁾(이하 MLA; Meat & Livestock Australia)는 2030년 까지 붉은육류산업의 탄소중립을 선언하였으며, 이에 따라 탄소중립을 실현하기 위한 ‘Carbon Neutral by 2030(이하CN30)’⁸⁹⁾이라는 로드맵을 발표함. CN30은 생산자, 소비자, 정부 및 연구기관이 연합하여 탄소중립과 업계의 이익을 동시에 추구하는 win-win 전략을 세웠으며, 그림22와 같이 업계의 리더쉽과 온실가스 배출 감소, 탄소저장, 통합관리시스템 구축 등 4단계 작업 영역을 통해 ‘환경관리-생산성 향상-수익향상’ 등 다양한 이익을 창출하고자 함⁹⁰⁾.

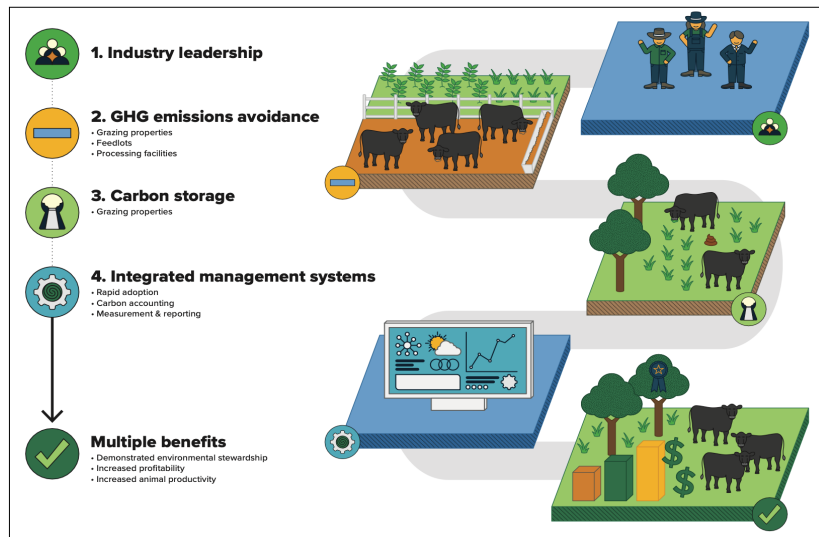


그림 22. CN30 로드맵의 4단계 작업 영역 및 이점
(출처:Carbon neutral by 2030 roadmap, MLA)

87) National Greenhouse Gas Inventory Quarterly Update, 2020

88) <https://www.mla.com.au/>

89) <https://www.mla.com.au/research-and-development/Environment-sustainability/carbon-neutral-2030-rd/>

90) https://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/research-and-development/program-areas/environment-and-sustainability/2689-mla-cn30-roadmap_d3.pdf

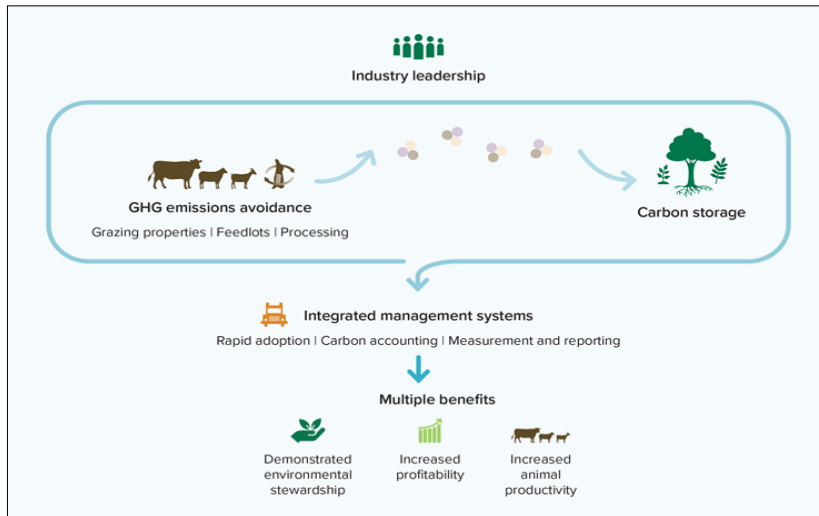


그림 23. CN30에서 MLA의 역할

(출처: Carbon neutral by 2030 roadmap, MLA)

- CN30 연구, 개발(R&D) 및 채택에 대한 MLA의 투자는 적색육 산업이 목표를 달성하고 생산성 향상을 유지하면서 운영 배출량을 줄일 수 있도록 지원하고 역량을 강화하는 큰 그림을 그리고 있음(그림23).
- 호주 붉은육류산업은 2023년 현재까지 연간 온실가스 배출량을 57% 줄였으며, 이는 133.36-54.61 Mt의 온실 가스가 대기로 유입되는 것을 막는 것과 같음. CN30을 달성하려면 연간 54.61백만 톤의 온실가스의 추가 전용 필요함.
- MLA는 다음 4가지 주요 작업 영역에 걸쳐 R&D 및 채택에 1억 2천만 달러를 투자함.
 1. 배출 회피: 온실가스 배출을 줄이는 혁신
 2. 탄소 저장: 관리 중인 토양과 나무에 유익한 탄소 저장을 늘리는 혁신과 토양과 나무 탄소를 정확하고 비용 효율적으로 측정하는 도구
 3. 통합 관리 시스템: 적색육 산업 이해관계자가 순 배출량 감소로 이익을 얻을 기회 제공
 4. 리더십 및 역량 구축: 업계, 고문 및 생산자를 위한 교육 및 참여.

- MLA는 CN30을 달성하기 위하여 ‘탄소중립을 향한 10가지 방법’에 대한 교육을 시행함⁹¹⁾. 해당 교육은 생산성과 탄소중립 향상, 탄소중립 제품 카탈로그, CN30 질문/답변 등으로 구성되어 있으며, 그 내용은 아래와 같음. (*교육 내용의 번역, 요약)

◆ **교육시행(2일) 교육내용**

1. 업계, 고문 및 생산자를 위한 교육 및 참여. 은 붉은 육류 산업 내의 온실가스 (GHG)와 관련된 주요 용어 및 개념
2. 가축 방목 사업에서 GHG를 줄이고 격리하기 위한 관행에 대한 심층 정보
3. 탄소 배출권 생성과 관련된 기회와 위험
4. 그리고 축산업에 도움이 되는 데 사용할 수 있는 방법을 평가
5. 탄소 중립과 그것이 비즈니스 목표에 어떻게 부합하는지 이해
6. 목표를 달성하기 위해 실용적이고 달성 가능한 전략을 통합하는 탄소 실행 계획을 개발

◆ **탄소중립을 향한 10가지 방법**

지금 할 수 있는 일

1. 올바른 지식으로 무장하십시오. 배출원을 식별하고, 어떤 탄소 저장 옵션을 사용할 수 있는지 파악하고, 이를 탄소 계정에 문서화하십시오.
2. 가축 사료, 번식 효율성 또는 생산 된 생체중 kg 당 메탄 배출량을 줄이기 위한 구조를 개선하기 위한 무리 또는 무리 관리 관행을 고려하십시오. 육우 가축 관리 자료표를 다운로드하거나 전체 연구 보고서를 읽으십시오.
3. 이산화탄소 배출을 초래하는 화석 연료 사용을 줄이기 위해 에너지 효율성 또는 재생 에너지 기술을 고려하십시오. 비즈니스에 가장 에너지 효율적인 옵션을 평가하는 방법에 대해 자세히 알아보십시오.
4. 귀하의 재산에 대한 그늘 및 대피소 옵션을 확인하십시오. 나무와 관목을 방목 시스템에 통합하여 탄소 저장과 동물 건강 및 생물 다양성 혜택을 개선합니다. 지역 Landcare 그룹은 해당 지역에 적합한 나무와 초목 종을 선택하는 데 도움을 줄 수 있습니다.
5. 배출을 방지하고 탄소 저장을 개선하기 위한 사바나 화재 관리 방법의 가능성을 고려하십시오.
6. 무리나 무리에서 활동적인 쇠똥구리의 개체군을 모니터링 및 기록하고 새로운 종이 방출될 때 주시하십시오.

91) <https://www.mla.com.au/research-and-development/Environment-sustainability/carbon-neutral-2030-road/get-your-business-cn30-ready/>

3년 이내

7. 가축의 메탄 배출을 줄이고 동물 성장률을 향상시키는 새로운 사료 및 보충제의 전달 및 유통을 계획합니다. 이를 통해 메탄 배출량과 동일하거나 감소된 더 많은 붉은 고기를 생산할 수 있습니다.
8. 뿌리가 깊고 맛있는 목초지와 콩류를 조성하여 토양 탄소 수준을 개선하고 동물의 생산성을 높입니다.

장기적으로 하는 일

9. 미래의 날씨 및 기후 시나리오에서 가축 생산성을 유지하는 데 적합한 목초지, 콩과 식물 및 나무의 혼합을 고려하십시오.
10. 재무, 환경 및 시장 위험과 비즈니스 투입 및 산출에 미치는 영향을 완화하기 위한 협업 공급망 배치를 살펴보십시오.

○ Emissions Reduction Fund (ERF) Factsheets는 아직까지 구축중이며 이미 구축 되었거나 현재 구축중인 Factsheets의 목록은 표9와 같음.

표 9. Emissions Reduction Fund (ERF) Factsheets 구축 항목 및 구축 정도

항 목	구축 여부
Carbon farming	○(pdf)
Carbon accounting technical manual	○
CSIRO landscape options and opportunities for carbon abatement calculator ⁹²⁾	○
Participating in the ERF	○(pdf)
Feeding nitrates to beef cattle	○(pdf)
Savanna fire management	○(pdf)
Sequestering carbon in soil in grazing systems	○(pdf)
Beef cattle herd management	○(pdf)
ATO Fire preparedness fact sheet	X
ATO Shelterbelt fact sheet	X
ATO Landcare Rebate Fact Sheet	X
ATO Tree Farming and Forestry Fact Sheet	X
Australian Carbon Industry Code of Conduct and Carbon Project Developers ⁹³⁾	○
The Beef Farmer Carbon Tracker Tool on Zero ³⁰⁹⁴⁾	○

- 호주 MLA에서 주관하는 정부기관에 및 협회(Red meat industry councils and service providers) 등이 고기 산업의 이익과 권익보호를 이끌고 있음. 그 예로, MLA에서 만든 온라인 플랫폼인 만든 ‘굿 미트(Good Meat)’⁹⁵⁾는 육류 및 축산업을 대변하고 있음. ‘The Australian Beef Sustainability Framework’⁹⁶⁾는 붉은고기자문위원회(Red Meat Advisory Council; RMAC)의 이니셔티브로 축산업의 지속적인 개선과 보호에 대한 업계의 약속을 지원하는데 도움을 주는 역할을 하고 있음. ‘Australian Beef’⁹⁷⁾는 MLA에서 제공하는 호주 쇠고기 양고기 요리 레시피를 제공하고 홍보하는 온라인 플랫폼임.
- 호주 붉은 고기 자문 위원회 체계도(그림24)와 관련 기관 홈페이지 주소(표10).

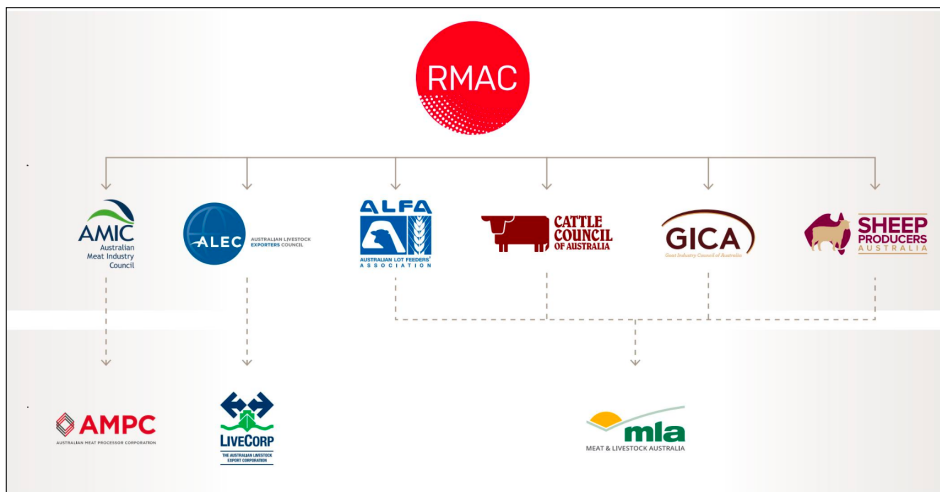


그림 24. 호주 붉은 고기 자문 위원회(Red Meat Advisory Council) 체계도

92) <https://looc-c.farm/>

93) <https://carbonmarketinstitute.org/code/>

94) <https://zero30.org.au/zero30-beef-farmer-carbon-tracker-tool-example/>

95) <https://www.goodmeat.com.au/>

96) <https://www.sustainableaustralianbeef.com.au/>

97) <https://www.australianbeef.com.au/>

- 호주 무결점시스템에서는 가축생산보증 Livestock Production Assurance (LPA), 가축 식별시스템 National Livestock Identification System (NLIS), 재산식별코드 Property Identification Code (PIC), 생산자선언 National Vendor Declaration (NVD) 등을 운영하고 있음.

표 10. 호주 붉은 고기 자문 위원회(RMAC) 홈페이지 주소 목록

기관	홈페이지
호주식육공사 (MLA; Meat & Livestock Australia)	www.mla.com.au
붉은고기자문위원회 (RMAC; Red Meat Advisory Council)	www.rmac.com.au
호주육류산업위원회 (AMIC; Australian Meat Industry Council)	amic.org.au
호주육류가공협회 (AMPC; Australian Meat Processor Corporation)	www.ampc.com.au
호주가축수출위원회 (ALEC; Australian Livestock Exporters' Council)	auslivestockexport.com
호주가축수출협회 (ALVECORP; Australian Livestock Export Corporation)	livecorp.com.au
호주사육장협회 (ALFA; Australian Lot Feeders Association)	www.feedlots.com.au
호주소고기생산자협회 (CA; Cattle Australia)	cattleaustralia.com.au
호주염소고기산업위원회 (GICA; Goat Industry Council of Australia)	www.goatindustrycouncil.com.au
호주양생산자협회 (Sheep Producers Australia)	www.sheepproducers.com.au
무결점시스템 (Integrity System)	www.integritysystems.com.au

- 호주 기후변화, 에너지, 환경 및 수자원부 (Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water; DCCEEW)에서 탄소저감 기금(Emissions Reduction Fund;ERF) 운영, 방목우와 관련된 방법론이 2가지(질산염급이, 소떼관리) 등록되어 있음.

- 호주 MLA에서 동물 생산 연구 및 개발(R&D)⁹⁸⁾에 대한 투자로 영양 및 보충, 생식 효율성, 번식력 및 송아지/양/새끼 생존 개선을 통해 농장 생산성과 수익성을 높이는 것을 목표로 두고 있음.
- MLA는 가축 생산을 더욱 늘릴 수 있는 기회는 추운 날씨, 홍수 및 가뭄으로 이어지는 기상 현상을 포함하여 극한 기후의 영향을 더 잘 이해하고 완화하기 위한 R&D 투자하고 있음.
- 핵심활동으로 자연 및 인공 육종 연구를 통한 번식력 향상, 송아지 손실의 원인 이해 및 완화, 영양 보충을 위한 새로운 도구 개발, 동물 성장률을 개선하고 Leucaena 및 기타 다년생 콩과 식물의 채택을 통한 온실 가스 배출 강도 감소, 장 건강 조작을 통한 반추 동물 생산 효율성 향상, 동물 모니터링 및 제어 기술을 활용하여 위치, 체중, 분만 및 행동 분석, 가상 울타리 및 목축 기술을 개발하여 무리 관리를 개선하고 있음.
- MLA의 ‘Research & Development Report⁹⁹⁾’의 키워드 검색을 통해 육우 메탄감소 관련 연구목록을 살펴본 결과는 표11과 같음.

표 11. 호주 MAL 연구개발보고서 가축 메탄감소 관련 보고서 목록

번호	Title(번역)	보고일
‘Beef cattle’+‘methane’		
1	Methane emissions of Australian feedlot cattle as influenced by 3-Nitrooxypropanol and diet composition	2021.5.5.
	3-니트로옥시프로판올과 사료 구성의 영향을 받은 호주 사육장 소의 메탄 배출	
2	Effect of Asparagopsis extract in a canola oil carrier for long-fed Wagyu cattle Asparagopsis oil can decrease methane emissions of feedlot cattle.	2023.7.10.
	장기간 사육된 와규 소용 카놀라유 운반체에서 아스파라거프시스 추출물의 효과	

98) <https://www.mla.com.au/research-and-development/>

99) <https://www.mla.com.au/research-and-development/>

번호	Title(번역)	보고일
3	Value proposition for the development of an emissions reduction fund method for use of novel feed supplements in the feedlot sector	2022.7.1.
	비육장 부문에서 새로운 사료 보충제 사용을 위한 배출 감소 기금 방법 개발을 위한 가치 제안	
4	Assessment of climate accounting metrics for the Australian red meat industry	2021.8.16.
	곡물을 먹인 소목초를 먹인 소양 염소 환경 지속 가능성 호주 붉은 고기 산업에 대한 기후 회계 지표 평가	
5	Harvest Road Group Carbon Neutral supply chains 2025	2022.3.24.
	Harvest Road Group 탄소 중립 공급망 2025	
6	Moving towards carbon neutrality - Feedlot Technical Manual	2021.2.4.
	탄소 중립을 향해 나아가기 - 사육장 기술 매뉴얼	
7	Trends Analysis of the Australian Beef Industry 2020	2023.5.30.
	2020년 호주 쇠고기 산업 동향 분석	
8	Pathways to climate neutrality for the Australian red meat industry	2023.3.31
	호주 적색육 산업을 위한 기후 중립 경로	
9	Greenhouse gas footprint of the Australian red meat production and processing sectors 2017 & 2018 updates	2020.3.31.
	호주 붉은 고기 생산 및 가공 부문의 온실가스 배출량 2017년 및 2018년 업데이트	
10	Revision of key National Greenhouse Gas Inventory methods for Australian feedlots	2020.10.14.
	호주 사육장에 대한 주요 국가 온실가스 인벤토리 방법 개정	
11	Greenhouse Gas Footprint of the Australian Red Meat Production and Processing Sectors 2020	2022.9.6.
	호주 붉은 고기 생산 및 가공 부문의 온실가스 배출량 2020	
12	Improving beef production through management of plant toxins	2022.12.1.
	식물독소 관리를 통한 쇠고기 생산향상	
‘Beef cattle’+‘genomics’		
1	Accelerating genetic gain for productivity and profitability in Northern beef cattle with genomic technologies Final Report	2022.1.27.
	게놈 기술로 북부 육우의 생산성과 수익성을 위한 유전적 획득 가속화 최종 보고서	

번호	Title(번역)	보고일
2	Angus Australia Progeny Test and Information Nucleus Final Report	2020.12.8.
	Angus Australia 자손 테스트 및 정보 Nucleus 최종 보고서	
3	Improving productivity of commercial cattle through utilising sires within and across breeds Online Summary	2022.2.7.
	품종 내 및 품종 간 sires 활용을 통한 상업용 소의 생산성 향상 온라인 요약	
4	Molecular assessment and characterisation of Australian Shiga toxin-producing E. coli (STEC)	2023.4.28.
	호주 시가 독소 생성 대장균(STEC)의 분자적 평가 및 특성 규명	
5	Northern Beef Information Nucleus - Brian Pastures Phase 3 Final Report	2022.9.30.
	북부 쇠고기 정보 Nucleus - Brian Pastures 3단계 최종 보고서	
6	Northern Beef Information Nucleus -Spyglass Phase 3 Final Report	2022.10.5.
	북부 쇠고기 정보 Nucleus - Spyglass 3단계 최종 보고서	
7	The association between the use of antimicrobials and resistance in Escherichia coli and Enterococcus species isolated from beef cattle	2022.8.30.
	육우에서 분리한 Escherichia coli와 Enterococcus 종의 항균제 사용과 내성 사이의 연관성	
8	Desktop analysis of opportunities for oil-enhanced forages	2023.6.14.
	석유 강화 마초에 대한 기회에 대한 데스크탑 분석	
‘Beef cattle’+‘greenhouse gas’		
1	Revision of key National Greenhouse Gas Inventory methods for Australian feedlots	2020.10.14.
	호주 사육장에 대한 주요 국가 온실가스 인벤토리 방법 개정	
2	Tullimba: Centre of Excellence for Feedlot	2022.7.7.
	툴림바: 사육장 우수 센터	
3	Beef Industry 35 year trends analysis	2019.5.10.
	쇠고기 산업 35년 동향 분석	

5. 뉴질랜드

- 뉴질랜드의 총 온실가스 배출량중 가장 많은 부분을 농업(49%)이 차지하고 있으며, 총 온실가스 배출량 중 소고기가 9.2%를 차지함 (2021년 기준)¹⁰⁰⁾.
- 뉴질랜드 환경부는 2050년까지 탄소 순배출 제로를 달성하고, 입법화 하였으며, 2030년까지 순 배출량을 2005년 총 수준보다 50%까지 줄이는 것을 목표로 하고 있음¹⁰¹⁾.
- 뉴질랜드는 Northland, Auckland, Waikato, Bay of Plenty Gisborne and Hawke's Bay, Taranaki, Manawatu-Whanganui, Wellington and Wairarapa, Nelson- Tasman, Marlborough, West Coast Canterbury, Otago Southland, Chatham Islands 지역별로 온실가스 배출에 대한 저감 자료를 업데이트하여 관리하고 있음.
- 뉴질랜드 온실가스 배출량의 거의 절반이 농업에서 발생하고 있고, 농업 배출의 주요 원인은 가축 소화 기관에서 나오는 메탄이며, 이는 농업 배출량의 거의 4분의 3을 차지하고 있음. 그 다음으로 큰 배출원은 토양에 첨가된 질소에서 나오는 아산화질소이며, 분뇨 관리가 그 뒤를 이어 많은 양을 차지함. 소, 양, 사슴과 같은 가축은 그림 25 같이 메탄을 생성, 소, 양, 사슴은 탄소가 포함된 목초를 먹고 소화시키면서 메탄을 방출하고 방출된 메탄은 일정시간 후에 결국 이산화탄소로 되어 목초지 성장에 활용됨을 강조함¹⁰²⁾.
- 농업 토양의 아산화질소 배출의 주요 원인은 방목하는 가축의 소변과 배설물, 그리고 질소 비료이며, 대부분의 배출물은 질소가 첨가된 후

100) <https://environment.govt.nz/publications/new-zealands-greenhouse-gas-inventory-19902021-snapshot/>

101) <https://environment.govt.nz/facts-and-science/climate-change/new-zealands-projected-greenhouse-gas-emissions-to-2050/>

102) Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050. 2021. 6. 18. 정부 부서 합동 발표

토양에서 직접 발생하거나, 간접적으로 휘발 또는 침출, 유출에 의해 배출됨. 휘발된 질소의 일부는 강우 시 땅으로 되돌아가 아산화질소로 다시 방출됨.

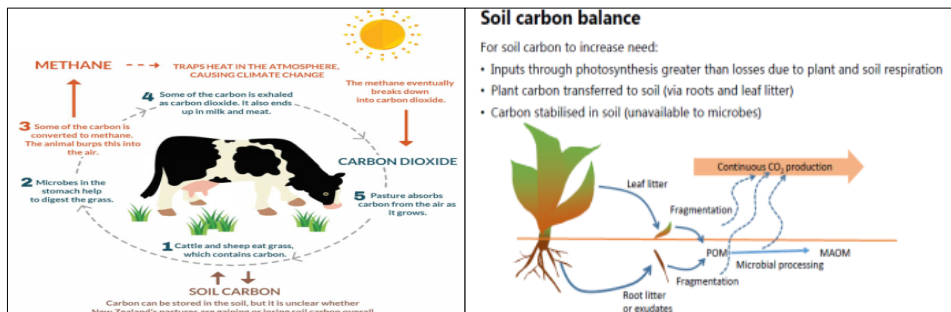


그림 25. 뉴질랜드 농업 부분 온실가스 배출 정보 (소와 토양 탄소)

- 뉴질랜드 농업 온실가스 연구 센터(NZAGRC; New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre)¹⁰³⁾는 뉴질랜드 농민과 재배자가 농업 온실가스 배출을 줄이기 위해 실용적이고 비용 효과적인 기술과 관행을 발견, 개발, 제공하고 있음. ZAGRC는 뉴질랜드 농부들이 배출량을 줄일 수 있는 실용적인 솔루션을 모색하고 이를 통해 국제 기후 변화 대응하는 역할을 함.
- 뉴질랜드 농업 배출 기후 행동 센터(Center for Climate action on Agriculture Emission)는 배출저감기술의 연구개발과 기술의 상업화를 지원하는 기관으로 뉴질랜드 농업에서의 온실가스 배출량을 줄이기 위한 중요한 역할을 하고 있음. 이 기관은 기후행동공동벤처센터(AgriZeroNZ)¹⁰⁴⁾와 뉴질랜드 농업 온실가스 연구 센터(NZAGRC)가 핵심 기관임.
- 농업온실가스연구센터는 농업온실가스 배출을 줄이기 위한 실용적이고 비용 효율적인 기술과 관행을 개발, 제공하는 역할을 함. ‘기후행동공동

103) <https://www.nzagrc.org.nz>

104) <https://www.agrizero.nz>

벤처센터’는 목초지기반 농업이 생산성과 수익성을 유지하며 온실가스 배출을 줄일 수 있는 도구에 공평하게 접근할 수 있도록 도움을 주는 역할을 하고 있음.

○ NZAGRC와 ‘목축 온실 가스 연구 컨소시엄(PGgRC, Pastoral Greenhouse Gas Research Consortium)’의 주요 연구목표는 1)낮은 메탄 방출 반추 동물을 번식, 2)온실가스 저농도 사료 식별, 3)반추 동물 메탄 배출을 줄이기 위한 백신 개발, 4)반추 동물 메탄 배출을 줄이는 억제제 식별 등이며, 현재 진행중인 연구 분야는 다음과 같음.

1. 저메탄 육종개발: 메탄 배출량이 적은 양과 젖소의 육종 개발 및 보급. 저 메탄배출 소와 숫소 육종 개발을 위해 장내 미생물, 우유 및 혈장의 마커를 비교, 저메탄 게놈선택 연구 및 보급.
2. 저배출 사료: 가축이 생산하는 메탄의 양을 줄일 수 있는 저배출 사료 개발 연구를 진행중임. 라이그래스/흰 클로버 사료와 지속적으로 평균 30%까지 메탄 배출을 줄일 수 있고, 사료용 비트는 메탄 배출을 약 20%까지 줄일 수 있지만 사료에 높은 수준(70% 이상)을 포함하는 경우에만 가능함. 여러 비목초 사료(흰 클로버, 치커리, 다양한 사일리지, PKE, 질경이 및 옥수수 곡물 포함) 중에서 일부는 초기 가능성을 보였지만 목초지와 비교할 때 메탄 배출의 지속적으로 감소하지는 않았음을 보고함.
3. 메탄 억제제: 가축이 생산하는 메탄의 양을 줄일 수 있는 메탄 억제제의 사용을 연구하고 있음. 다양한 메탄 의 물질의 메탄억제효과 검증, 뉴질랜드 의 농업방식에서 유효한 효과를 유도하는데 어려움(방목우에 적용)이 따른다고 보고함.
4. 메탄백신(methanogen): 양이나 소의 메탄 배출을 줄이기 위해 효능을 보이는 프로토타입 백신으로, 생산 영향을 주지 않고 양과 소의 메탄 배출을 최소 20% 감소시키는 것을 목표로 하는 백신의 추가 개발하여 뉴질랜드 시장에 효과적인 백신 공급에 대한 연구가

- 진행중임. NZAGRC는 프로토타입 백신 개발 작업을 지원하고 있음.¹⁰⁵⁾
5. 분뇨관리: 덮개를 사용한 분뇨 저장 및 배출되는 가스 포집으로 에너지 사용에 대한 연구 진행함.
 6. 토양관리: 질소비료에 의해 생성되는 아산화질소 및 질산염 침출감소를 위한 질화 억제제 사용에 관한 연구가 진행중임.
 7. 통합 농장 관리 관행: NZAGRC는 가축과 토양에서 발생하는 온실가스 배출을 줄일 수 있는 농장 관리 관행 개발을 연구함.
- PGgRC 농업의 온실가스 배출에 대한 팩트 시트를 발간. 저메탄 사료, 메탄억제제, 어떻게 실행하고 도달하는지, 온실가스 측정, 토양 유기 카본 저장, 통합 농장 시스템, Gibberellins(목초지에서 허브 성장, 지베렐린을 사용할 수 있는지 여부), 토양탄소, 온실가스 자금 등의 팩트 시트 발간 (그림26)¹⁰⁶⁾.



그림 26. 뉴질랜드 목축 온실 가스 연구 컨소시엄의 10가지 팩트 시트

105) <https://www.nzagrc.org.nz/domestic/methane-research-programme/>

106) <https://www.pggrc.co.nz/#fact-sheets>

- 뉴질랜드 육류 산업 협회(Meat Industry Association of New Zealand, MIA)는 뉴질랜드의 적색육 가공업체, 마케팅 업체 및 수출업체를 대표하는 협회로, 영국 국립 과학 챌린지(High Value Nutrition National Science Challenge)와 협력하여 200만 달러 규모의 ‘목초지에서 자란 붉은 고기를 균형 잡힌 식단의 일부로 섭취할 때 건강과 웰빙에 미치는 영향’에 대한 연구 개발 프로그램을 진행 하였음(그림27). 주요 내용은 다음과 같음.

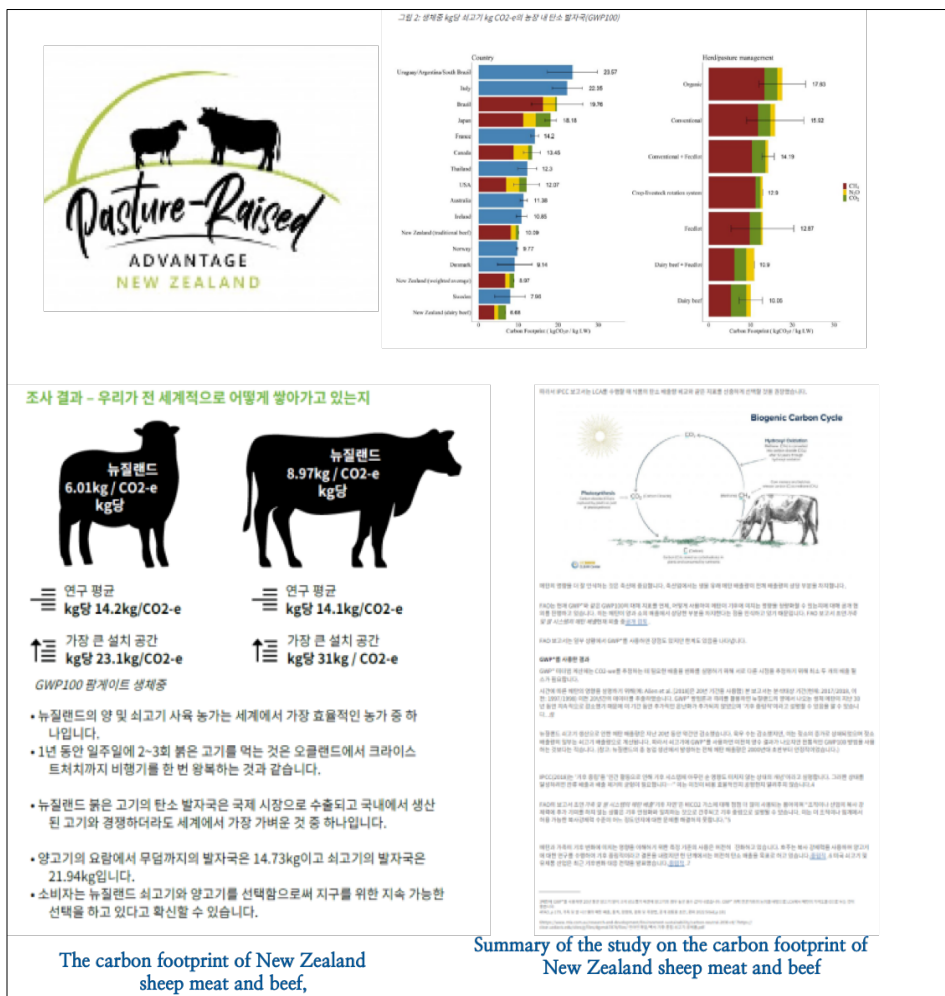


그림 27. 뉴질랜드 목초지에서 사육하는 양과 쇠고기 이점

- 목초지에서 자란 붉은 고기를 균형 잡힌 식단의 일부로 섭취할 때 건강과 웰빙에 미치는 영향을 조사. 뉴질랜드는 항생제와 호르몬을 사용하지 않고 목초를 먹여 키운 독특한 축산업을 전문으로 하고 있음. 붉은 고기는 단백질과 미네랄이 풍부한 영양가가 높은 천연 식품이며 균형 잡힌 식단에 포함되면 영양소 요구 사항을 충족할 수 있는 좋은 방법임. 이 획기적인 연구 프로그램은 목초지에서 자란 소고기와 양고기, 곡물을 먹인 소고기와 대체 단백질의 차이점을 연구함.
- 연구에 따르면 적색육은 대체육보다 영양학적 이점을 강조할 수 있음. 즉 목초지 사육의 어드밴티지(Pasture Raised Advantage) 연구 프로그램의 인체 임상 시험 결과에 따르면 육류는 식물성 대체품에 비해 필수 단백질 구성 요소를 더 많이 제공하는 것으로 나타남. 연구진은 붉은 고기나 식물성 대체 단백질을 한 끼 먹은 참가자 30명의 혈액 내 영양소를 측정한 결과, 다양한 유형의 단백질을 소화할 때 발생 하는 아미노산의 종류와 양에 상당한 차이가 있음을 확인, 붉은 고기의 아미노산은 생물학적 가치가 더 높고 신체에 더 잘 흡수되며, 이는 붉은 고기가 육류 대체품 으로 홍보되는 고도로 가공된 식물성 제품보다 신체에 더 나은 단백질 공급원임을 나타낸다고 보고함.
- 뉴질랜드 ‘가축개량공사LIC(Livestock Improvement Corporation)’는 다국적 농부 소유 협동조합으로 가축 개량 및 농업 기술을 제공함. 이 협동조합에서는 환경지수(Environmental indexes)는 환경 효율성에 따라 인공 번식 수소의 순위를 매기는 HoofPrint 및 BeefPrint® 지수를 표기하고 있음(그림28)¹⁰⁷⁾.
- 장내 메탄 배출과 분뇨배출은 뉴질랜드 농업이 환경에 미치는 영향의 주요 원인 중 두 가지이며, 목초지 기반 시스템에서 소의 실제 배출량과

107) <https://www.lic.co.nz/>

배설물을 측정하는 것은 매우 어려움. 인공 번식 황소의 예상 배출량과 배설량을 정량화하기 위해 HoofPrint 및 BeefPrint® 지수를 사용, 10점 순위 시스템을 통해 농부들은 환경에 미치는 영향이 적은 자손을 낳을 수 있는 예상 능력에 따라 황소를 선택할 수 있음(점수가 높을수록 환경 효율성이 더 높음).

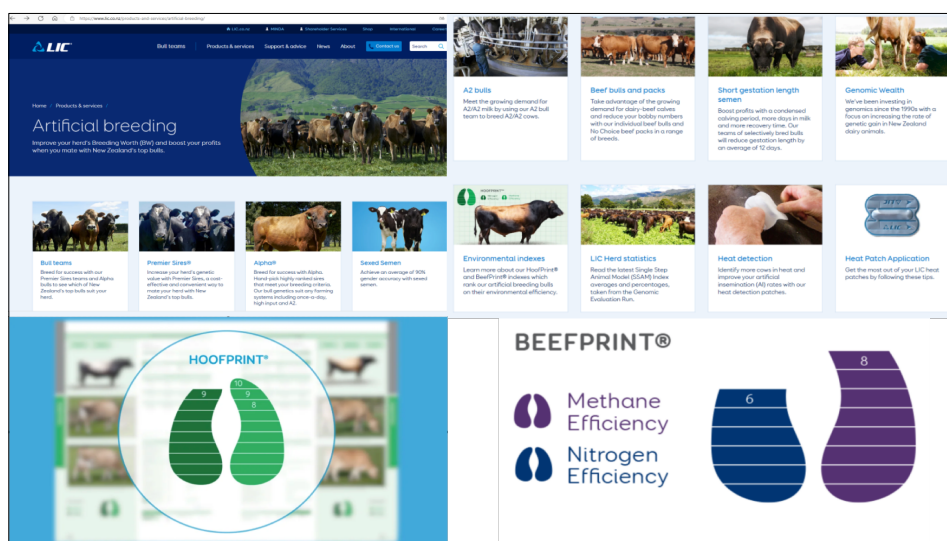


그림 28. 인공 번식(Artificial breeding)과(위) Hoop Print, Beef Pring 표시(아래)

- 배출권 거래제(NZ ETS)¹⁰⁸⁾ 또는 탄소거래제 전 세계적으로(2022년 4월 기준) 25개의 배출권 거래제가 시행 중이며, 14개는 고려 중이고 9개는 개발 중임. 다른 국가에서는 이러한 제도가 국가간, 국가, 주 및 지방, 도시 수준을 포함한 다양한 수준에서 운영. 뉴질랜드 제도는 전국 규모로 운영되고 있음. 농업을 제외한 뉴질랜드 경제의 모든 부문은 이 제도를 통해 배출량에 대한 비용을 지불하고 있음. 2021년 뉴질랜드의 LULUC(Land use, land-use charge and forestry)는 -27% 였음¹⁰⁹⁾.

108) <https://environment.govt.nz/what-government-is-doing/areas-of-work/climate-change/ets/>

109) <https://environment.govt.nz/publications/new-zealands-greenhouse-gas-inventory-19902021-snapshot/>

6. 일본

- 일본은 2021년 10월 기후변화에 관한 유엔 기본협약 사무국에 NDC를 제출했으며 2030년까지 2013년 배출량 기준 46%를 줄이는 것을 목표로 설정, 2050년 순제로 달성이라는 목표를 세움¹¹⁰⁾.



그림 29. 일본 탄소중립 이슈 관련 정부 웹페이지

- 일본 농림수산업 부문 전체 온실가스 배출량은 약 4% 수준이며 배출되는 온실가스 배출량은 약 5,000만 톤이며, 그 중 34%가 CO₂임. 연료 연소로 인해 발생하고 46%는 논에서 발생하는 메탄으로, 온실가스(CH₄, N₂O) 저감을 위한 기반기술 개발 등) 농축 산업의 배출이 진행되고 있으며, 특히 아시아 몬순 지역을 중심으로 실용화 단계의 기술 조기 보급 및 세계 전개를 촉진하려 함.
- 지속가능한 축산업을 위해서는 (1) 사료 자급자족 확대를 통해 수입사료 의존 구조에서 전환하고, (2) 축산물 개량을 통해 환경부하를

110) https://www.japan.go.jp/global_issues/carbon_neutrality/index.html

경감하기 위한 노력하고, 높은 사료 활용도, 온실가스 저감 사료 개발, 노동력 절감 및 정밀 가축사료 관리, (3) 경작농가와 연계한 축산폐수 유래 퇴비의 광역유통을 통한 자원순환, (4) 생산현장의 노력에 대한 소비자의 이해를 도모하는 정책 방향을 수립함. 이에 따라, 생산현장의 지식과 경험을 활용한 문제해결, 시스템의 확산과 확립, 또한, 농축산업에서 미생물 활동의 제어를 통한 온실가스를 저감할 수 있는 혁신기술 개발을 추진하고, 스마트 기술의 개발, 실증, 보급을 촉진하고 있음.

- 일본 정부는 탄소 중립을 위해 3가지 녹색 혁신(Green Innovation), 지역적인 접근, 양자간 또는 다자간 보조 방식으로 접근하고 있음.
- 녹색 혁신은 경제 성장이 환경적 위협이 되지 않도록 정부가 선순환의 환경적 경제정책으로 산업을 발전시키고자 6차 에너지 계획, 2050년 탄소중립 달성을 위한 녹색성장전략, 녹색혁신기금을 통한 신기술 지원으로 계획하고 실행함¹¹¹⁾.
 - 6차 에너지 계획¹¹²⁾은 3+3E로 안전+에너지 안보, 경제효율성, 환경지속성을 업데이트한 계획으로 재생에너지, 핵, 열, 수소/암모니아, 자원/연료 분야에서 총 14%에서 26% 온실가스 배출 감소 계획임.
 - 녹색 혁신은 산업과 광범위한 경제를 변화시키기 위해 14개 부문의 녹색 성장을 촉진하며, 14개 부문에는 풍력과 같은 재생 가능 에너지원, 수소 및 암모니아와 같은 대체 연료, 탄소 재활용과 같은 혁신적인 기술 포함함.
 - 14개 부문: 해양 풍력/태양/지열 전력, 수소/연료 암모니아, 차세대 열에너지 (2050년 까지 기존 인프라에 합성 메탄을 90% 주입), 핵산업 (고온 가스 쿨링 반응기, 핵융합 반응기), 자동차/배터리, 반도체, 정보,

111) Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050. 2021. 6. 18. 정부 부서 합동 발표
 112) Outline of Strategic Energy Plan, October, 2021, Agency for Natural Resources and Energy, METI(Ministry of Economy, Trade and Industry).

통신, 해양 수송, 물류, 이동, 토목인프라, 식품, 농업, 임업 및 수산업¹¹³⁾, 항공, 탄소 재활용/재료집/ 건물/차세대 전력 관리, 자원 재순환, 실생활 관련 산업.

○ 식품, 농업, 임업 및 수산업 부문은 “지속가능한 식품 시스템 전략, MeaDRI (2021.5)¹¹⁴⁾”을 발표함. 지속가능한 식품 시스템 전략은 혁신적인 기술 개발을 통해 탈탄소화 및 회복력을 달성하는 전략으로, 자세한 전략은 다음과 같음.

- 고속가열 히트펌프 개발을 통해 2050년까지 화석연료를 사용 하지 않는 원예시설로 전면 전환
- 2040년까지 차세대 유기농업 기술 확립
- 2050년까지 유기농업 농지를 25%(100만 헥타르) 확대
- 2040년까지 농림기계, 어선의 전동화 및 수소화 기술 확립
- 식목림의 “수확, 이용, 식재”의 순환적 이용 확립
- F1 plus 나무를 활용한 재조림과 목재 이용 확대

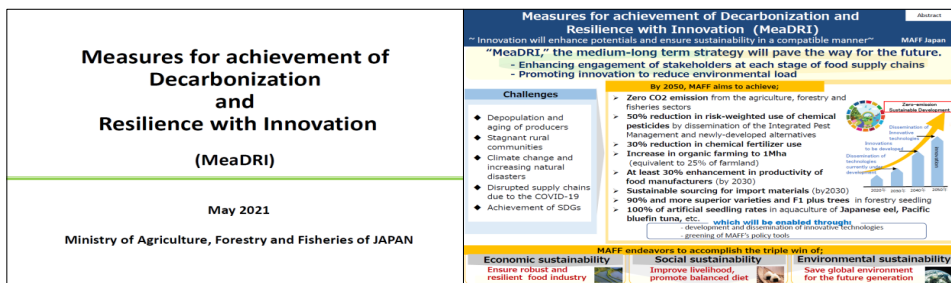


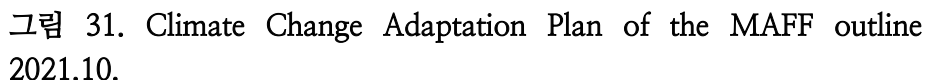
그림 30. “지속가능한 식품 시스템 전략, MeaDRI (혁신을 통한 탈탄소화 및 회복력 달성을 위한 측정)

○ MeaDRI 발표 이후 ‘기후변화 적응계획(Climate Change Adaptation Plan of the MAFF)¹¹⁵⁾’이라는 구체적인 실천 계획을 발표함. 이 개정된

113) https://www.meti.go.jp/english/policy/energy_environment/global_warming/ggs2050/

114) Measures for achievement of Decarbonization and Resilience with Innovation (MeaDRI) May 2021 Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of JAPAN 2021.5.

- 고온에 대한 대책은 여름철에는 젖소의 우유생산, 우유성분, 번식능력이 저하되고, 육우, 돼지, 가금류의 체질량지수가 저하되기에 축사 내부 살수 및 연무, 환기, 석회 살포, 지붕 물 살수 등 열방위 확산 대책을 통해 적절한 축사 환경 확보, 찬물, 고품질 사료급이 등 적절한 사료관리 기술 지도 및 철저한 시행 및 하절기 신체 성장률 저하 및 번식력 저하 방지를 위한 생산성 향상 기술 등의 개발 및 보급.
- 모기, 무는 갯지렁이 등 절지동물 서식지 확대되기에 절지동물 매개 감염병 위해성 관리대책 검토를 통한 가축 전염병 관리.
- 저항성 품종 및 육종재료 개발 및 보급으로 적절한 영양관리 등 생산성 향상 기술 개발.
- 내열성, 넓은 숙성기간 등을 갖춘 품종 및 육종재료 개발 및 보급으로 사료작물 재배시스템 구축, 재배관리 기술 개발 및 보급.



- 녹색혁신기금(Green Innovation Fund)을 통한 신기술 지원을 위해 2조엔에 달하는 이 녹색혁신기금 마련. 향후 10년간 온실가스 배출 감소 목표 달성을 위해 도전하는 기업에 R&D, 및 사회적 실천에도 지원함.
- 녹색혁신기금은 각각의 지역 사회가 지속 가능하고 분산된 솔루션을 개발하도록 장려하는 다양한 프로그램을 지원함. 지역 활성화를 위한 구체적인 조치와 전략으로, 시와 도/부/현 정부가 지역 문제를 해결하고 지역 삶의 질을 향상할 수 있도록 지원하고 있음. 2030년까지 최소 100개의 탈탄소화 선도 지역을 조성 예정임. 지역 탈탄소화, 태양광 자급자족 및 에너지 절약 주택의 우선 순위, 지역 계획을 이웃 지역 사회 및 전국으로 확산. 성공적인 계획은 인근 지역에서 채택되어 전국적인 탈탄소화 도미노 효과를 창출을 기대함.
- 일본의 2050 탄소 제로 도시 목표로 지역의 사정과 요구에 대한 면밀한 이해와 직접적인 변화를 제정할 수 있는 능력을 갖추고, 탄소 중립 추구에 있어서는 마을·시·도 등 일본 인구의 대다수를 대표하는 400개 이상의 지방 정부가 2050년까지 순 탄소 배출량 제로에 대해 약속함.
- 양자 및 다자 지원으로 2021년부터 2025년까지 5년 동안 총 6조 5천억 엔(약 600억 달러)에 달하는 공공 및 민간 기후 금융-녹색기후기금(GCF), 조인트 크레디팅 메커니즘(JCM), 아시아 에너지 전환 이니셔티브(AETI), 아시아 CCUS(이산화탄소 포집, 활용 및 저장) 네트워크(ACN))등을 제공하고 있음.
- 일본국제농업과학연구센터(JIRCAS)¹¹⁶⁾는 1993년 10월 전신인 열대농업 연구센터 (TARC)의 개편을 통해 설립. 2001년 4월 통합 행정 기관으로, 2015년 4월 농림 수산부 (MAFF) 산하 국가 연구 개발청 (NRDA)으로 다시 개편. 기후변화, 자원재활용, 환경보전을

116) <https://www.jircas.go.jp/en>

위한 농업기술 개발, 생산성, 지속 가능성 및 탄력성이 향상된 새로운 식품 시스템 구축을 위한 기술 개발, 농업, 임업 및 어업에 전략적 정보를 제공하고 새로운 연구 파트너십을 동원하기 위한 국제 허브로서의 기능을 하고 있음.

- 일본국제농업과학연구센터(JIRCAS)는 베트남, 태국 등의 국가의 육우생산 및 분뇨처리에서 발생하는 온실가스 배출량 평가 연구를 수행하였음¹¹⁷⁾.

- 베트남: Greenhouse gas emission factor value from Vietnamese beef cattle manure sun-drying process

-태국: A comprehensive assessment of greenhouse gas emissions from Thai beef cattle production

- 국가 탄소배출권 제도인 'J-Credit¹¹⁸⁾'에서는 정부는 에너지 절약 장치 도입 및 산림 관리 노력을 통해 흡수원에 의해 감소 또는 제거된 온실가스 배출량(CO₂ 등)에 대한 "크레딧" 제공.

The screenshot shows the J-Credit Scheme website. The left panel displays the homepage with a green header and a central illustration of a sustainable farm. The right panel shows a table of methodologies for agriculture.

HOME	Documents	Methodologies	Accounts/Offsets	G7 20
IN-002	production process			2.0
IN-004	Introduction of GHG-free insulated switchgears			1.0
IN-005	Reduction of HFC gas in spray duster cans used for equipment maintenance			1.1

Agriculture

Number	Methodologies	Outline	Ver.
AG-001	Abatement of N2O emissions from pig and broiler excreta disposal by utilizing low-protein feed		2.2
AG-002	Conversion of disposal management system for livestock excreta		1.0
AG-003	Mitigation of N2O emissions from tea land soil by applying chemical fertilizers containing nitrification inhibitor		2.0
AG-004	Biochar addition to mineral soil in cropland/grassland		1.0

그림 32. J-Credit 홈페이지(좌)와 농업부문 적용 방법론(우)

- 2023년 10월 19일 기준 J-Credit 프로젝트는 1,022건이며 9,050천톤 CO₂ 를 저감하였음. 2020년 3월 기준 J-Credit 프로젝트는 317개

117) Annual report 2022 Japan International Research Center for Agricultural Science

118) <https://japancredit.go.jp/english/>

프로젝트(이전 시스템에서 이전된 프로젝트 제외)를 등록했으며, 이 중 81개 프로젝트가 농림 어업 분야였음. J-Credit 홈페이지와 농업부문 적용 방법론은 그림32와 같음.

- 농업 부문의 J-Credit 인정 방법론은 아래 5가지임.
 - 저단백 사료를 활용하여 돼지 및 육계 배설물의 N₂O 배출 저감
 - 가축분뇨 처리시스템 변화
 - 질산화 억제제가 함유된 화학비료를 사용하여 토양의 N₂O 배출 저감
 - 경작지/초지의 무기질 토양에 Biochar 첨가
 - 벼 재배의 중간 건조 기간 연장
- 일본은 현재 직면하고 있는 해결하기 어려운 문제의 해결을 위해 일본의 과학기술 혁신 위원회 (CSTI)가 결정한 혁신적인 개념의 과학기술개발목표 9개를 설정함(그림33)¹¹⁹⁾.
- 각 9개의 문샷프로그램의 R&D 목록은 다루기 어렵지만 해결되기만 하면 중대한 영향을 미칠 사회문제에 대한 목표와 개념을 설정하고 포트폴리오를 구성하고 있음(9개 실현목표와 89개 하부 프로젝트로 구성). 9개 프로그램은 다음과 같음.
 1. 2050년까지 인간이 몸, 뇌, 공간, 시간의 한계로부터 자유로울 수 있는 사회의 실현 (7개 프로젝트)
 2. 2050년까지 초초기 질병 예측과 개입의 실현 (5개 프로젝트)
 3. 2050년까지 자율적으로 배우고, 환경에 적응하고, 지능에서 진화하고, 인간과 함께 행동하는 AI 로봇의 실현 (11개 프로젝트)
 4. 2050년까지 지구환경을 회복하기 위한 지속 가능한 자원 순환 실현 (18개 프로젝트)
 5. 2050년까지 사용되지 않는 생물자원을 활용하여 지속가능한 글로벌

119) <https://www8.cao.go.jp/cstp/english/moonshot/top.html>

식량공급을 가능하게 하는 산업의 창조 (7개프로젝트)

6. 2050년까지 경제, 산업 및 보안에 혁명을 일으킬 내결함성 반응 양자 컴퓨터 실현 (12개 프로젝트)
7. 100세까지 건강 문제에서 벗어나 삶을 즐기기 위해 2040년까지 주요 질병을 극복하기 위한 지속가능한 치료 시스템의 실현 (9개 프로젝트)
8. 2050년까지 날씨를 통제하고 수정함으로써 극심한 바람과 비의 위협으로부터 안전한 사회를 실현 (8개 프로젝트)
9. 2050년까지 마음의 평화와 활력을 증가시킴으로써 정신적으로 건강하고 역동적인 사회의 실현 (12개 프로젝트)



그림 33. 일본 Moonshot R&D program 의 9개 목표

- 문샷 목표 5번(2050년까지 사용되지 않는 생물자원을 활용하여 지속가능한 글로벌 식량공급을 가능하게 하는 산업의 창조)의 5번째 프로젝트인 ‘소 반추 미생물 군집의 완전한 통제를 통한 메탄을 80% 줄이기 위한 세로운 가축 생산 시스템의 실현’으로 반추동물 생산에서 장내메탄배출의 완화에 가까운 컨트롤을 목적으로 하는 프로젝트임.
- 식량공급을 늘리면서 지구환경에 우호적인 식량생산 시스템을 구축하는 것을 목적으로 하는 문샷목표5는 총 8개의 R&D 프로젝트로 문제를 해결하는 것을 목표로 함¹²⁰⁾

7. 영국

- 영국(United Kingdom)은 유럽 본토 해안에서 북서쪽으로 떨어진 곳에 위치한 섬나라로 잉글랜드(England), 스코틀랜드(Scotland), 웨일스(Wales), 북아일랜드(Northern Ireland)로 구성되어 있음. 영국은 2020년 정책문서로 ‘녹색 산업혁명을 위한 10 point 계획(The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution)¹²¹⁾’을 발표하였고, 2021년 ‘넷제로 전략(Net Zero Strategy)¹²²⁾’을 발표하였으나, 이들 전략발표 내용에 농업분야 가축분야에 대한 감축 전략은 별도 제시되어 있지 않음.
- 영국의 기후변화위원회(TheCCC)에서는 2020년 12월 탄소중립 실현을 위해 ‘제6차 탄소예산(the sixth carbon buget)’을 수립. 이 탄소예산은 다음과 같은 네 가지 주요 단계로 구성되어 있으며, 1990년

¹²⁰⁾ https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/english/moon_shot/index.html

¹²¹⁾ The ten point plan for a green in UK (<https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution/title>)

¹²²⁾ Net Zero Strategy: Build Back Greener in UK(<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6194dfa4d3bf7f0555071b1b/net-zero-strategy-beis.pdf>)

대비 2035년 까지 영국의 탄소배출량의 78%를 줄이는 것을 목표로 하고 있음¹²³⁾.

- 저탄소 솔루션의 채택과 적용: 화석연료 대체 에너지로 전환, 탄소 포획
- 저탄소 에너지 공급의 확장: 신재생에너지 도입, 확대
- 탄소 집약적인 활동의 수요 감소: 자원낭비와 고탄소 상품에 대한 의존도 줄임. 2030년까지 육류 및 유제품 소비 20% 감소, 대중교통 확대
- 토지 및 온실가스 제거: 농지의 에너지작물 생산으로 전환, 혼합 산림지 확대

○ 환경식품농촌부(Defra; Department for Environment Food & Rural Affairs) 공식통계를 포함한 농업기후보고서(Agri-climate report 2022)¹²⁴⁾를 발표함 (그림34).

- 보고서에서는 영국 농업의 온실가스 배출량은 영국 총 이산화탄소 배출량의 1.7%를 차지했으며, 주 배출원은 가축, 농지, 고정적인 연료 연소 및 농기계임. 1990년 대비 2020년 농업으로 인한 온실가스 배출량은 16% 감소했으며, 이는 동물수 감소와 화학비료 사용 감소에서 비롯하였다고 보고하였음.
- 온실가스에 대한 농민의 태도와 견해, 다양한 완화 조치에 대한 주요 요약 통계를 제공하며, GHG 배출 감소를 위한 조치에 대한 농부의 이해 및 인식에 관한 데이터를 포함하고 있음.
- 영국 농부의 인식과 농장 내 온실가스 배출 완화조치의 상관관계 조사에서는 정보의 장벽의 중요성이 나타났는데, 너무 많은 상충되는 견해의 정보에 의해 무엇을 해야할지 모르는 경우가 가장 많았고(44%), 반대로 30%가 정보 부족으로 조치를 취하지 않는다고 하였음. 이외에도

123) <https://www.theccc.org.uk/publication/sixth-carbon-budget/>

124) <https://www.gov.uk/government/statistics/agri-climate-report-2022/agri-climate-report-2022>

비재정적이거나 재정적인 장벽이 존재하였다고 보고함.

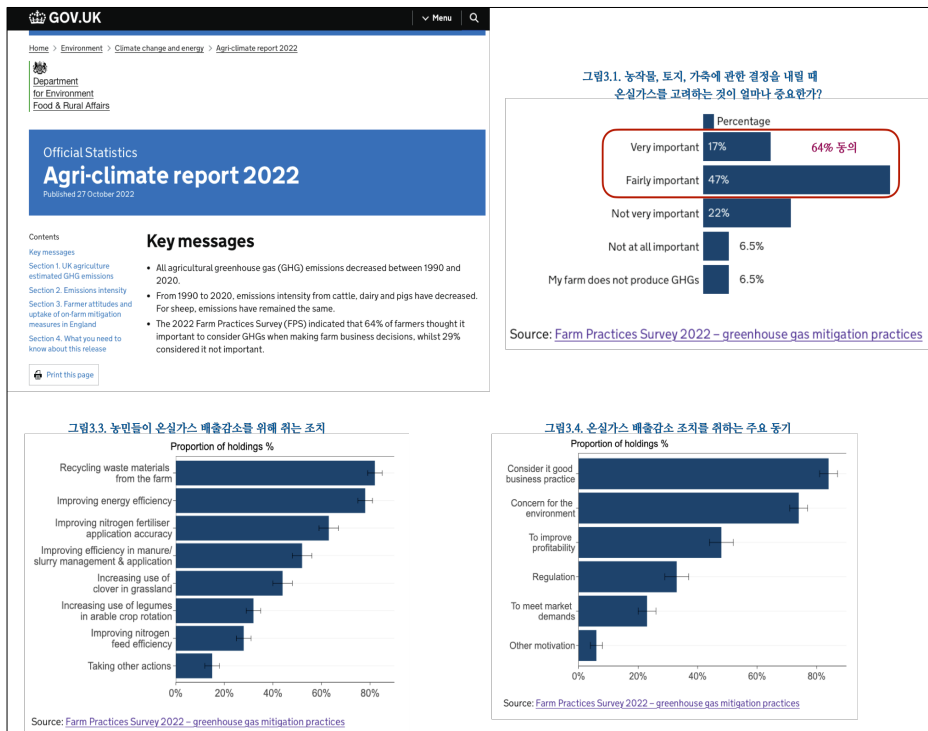


그림 34. 영국 공식 통계 농업기후보고서(Defra)

– 이미 온실가스 배출을 줄이기 위한 조치를 취하고 있는 농민의 경우: 재정적 장벽은 더 큰 문제였으며 32%는 비용이 너무 비싸다고 답했으며, 온실가스 감축을 위한 조치를 이미 취했음에도 불구하고, 정보 부족(30%)과 무엇을 해야 할지에 대한 명확성 부족(36%)으로 인해 일부 조치를 방해하는 등 정보 장벽이 여전히 중요하다고 하였음.

○ 영국의 정부는(Government) 기후 변화 위험 평가 2022(UK Climate Change Risk Assessment 2022)를 수행. 다양한 기후 위험으로 인한 농작물, 가축 및 상업용 나무에 대한 위험(우선 위험 영역 4)이라고 평가함¹²⁵⁾.

- Defra는 2020년 농업전환계획(Agricultural Transition Plan 2021 to 2024)을 발표. 해당계획에서는 2021년부터 농업/농장 직불금을 단계적으로 축소하여 2028년부터 보조금 없이도 수익성이 있고 경제적으로 지속 가능한 농업/농장 사업을 운영이 가능하도록 하는 것을 목표로 하며, 수익성있는 식량생산과 자연회복을 제공하는 방식으로 사업을 관리하고 있음¹²⁶⁾.
- Defra는 영국 주요 작물의 생산성, 지속 가능성 및 탄력성을 향상시키는 것을 중심으로 하여, 경작 가능한 작물과 신선 농산물의 유전적 개선을 위한 유전자 개선 네트워크 (Genetic Improvement Networks, GIN)로 알려진 주요 장기 연구 플랫폼을 지원하고 있음¹²⁷⁾. 여기에는 기후 변화 및 관련 해충 및 질병 위험에 대한 주요 영국 작물의 회복력을 높이기 위한 작업이 포함됨.
- 또한 Defra는 UK Research and Innovation (UKRI)와 Transforming Food Production(TFP) Initiative를 보조하고, 4년에 걸쳐 9천만 파운드의 공동 투자를 통해 첨단 정밀 농업 솔루션¹²⁸⁾ 연구를 수행하도록 하였고, 이 중 가축과 관련된 연구목록은 표 12와 같음¹²⁹⁾.
- 영국의 잉글랜드 및 웨일즈 전국 농민 연합(The National Farmers' Union, NFU)은 잉글랜드와 웨일스의 농민을 위한 회원 조직/산업 협회이며, 300개 이상의 지부를 두고 있는 국가 최대 규모의 농민 조직으로, NFU는 농민과 재배자의 이익을 대표하는 조직임.

125) <https://www.gov.uk/government/statistics/agri-climate-report-2022/agri-climate-report-2022>

126) <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/60085334e90e073ec94cc80b/agricultural-transition-plan.pdf>

127) <https://defracropgenetics.org/>

128) Transforming Food Production winners list Farming Innovation Pathways (FIP) -industrial research and feasibility studies

129) <https://www.gov.uk/government/statistics/agri-climate-report-2022/agri-climate-report-2022>

표 12. UKR와 TFP로부터 보조받은 가축 관련 연구 목록

Developing a Circular Economy for UK Pig Production through Green Ammonia Harvesting	녹색 암모니아 수확을 통해 영국 돼지 생산을 위한 순환 경제 개발
A new plant-derived flukicide: increased farm profitability and reduced carbon footprint by overcoming losses caused by existing flukicide resistance	새로운 식물 유래 Flukicide: 기존 Flukicide 저항성으로 인한 손실을 극복하여 농장 수익성을 높이고 탄소 배출량을 낮춤
Moo-thane: A feasibility study into a net-zero enabling intelligent-housing technology to remove dilute methane emissions from livestock.	Moo-thane: 가축에서 배출되는 희석된 메탄을 제거하기 위한 지능형 주택 기술을 가능하게 하는 넷 제로에 대한 타당성 조사
D-FLOWS: Data For Livestock Optimisations for Wiser Supply chains	D-FLOWS: 현명한 공급망을 위한 가축 최적화 데이터

○ NFU는 정부의 ‘녹색산업혁명’계획을 지지하고 있으며, 정부계획과는 별개로 2040년까지 영국 농업에서 탄소배출 Net Zero 목표를 가지고 있음¹³⁰⁾. NFU는 다음 세가지 주요 활동을 중심으로 기후중립 목표 달성에 접근하고 있음¹³¹⁾.

- 1) 생산성 향상과 배출 감소: 농업 효율성 개선
- 2) 농지 탄소 저장: 토양과 식물의 농지 탄소 저장
- 3) 재생가능 에너지 및 바이오 에너지, 탄소포집, 활용 및 저장:
 재생가능 에너지와 바이오 경제를 강화하여 화석연료를 대체하고
 광합성과 탄소 포집을 통해 온실가스를 제거

130) <https://www.nfuonline.com/updates-and-information/nfu-responds-to-government-s-ten-point-plan-for-green-r-recovery/>

131) <https://www.nfuonline.com/archive?treeid=145375>

8. 독일

- 독일은 2045년까지 온실가스 중립을 달성하겠다는 목표를 세웠고, 1990년 수준에 비해 온실가스 배출량을 2030년까지 최소 65%, 2040년까지 88% 줄이는 것을 목표로 함. 기후변화법 2021 최근 개정안은 이산화탄소 (CO₂) 배출 감소 목표를 높이는 내용으로 10년 안에 독일이 온실가스 배출량을 1990년 수준의 65%까지 줄이겠다고 하였음. 해당 법안은 자연 생태계가 기후에 미치는 영향을 강조하며, 숲과 황무지는 탄소 흡수원 역할(자연 싱크)을 강조 이에 따른 흡수원의 영향을 개선하기 위해 구체적인 목표 설정함.
- 독일은 인구가 증가와 함께 축산물의 소비가 증가되어 축산업에서의 온실가스 배출강도가 높아진다는 의견을 가지고 있으며, 이에 따라 우유 및 육류 소비 감소를 위해 식습관의 변화와 엄격한 환경규제 통해 농업에서의 배출량을 감소시킨다는 계획을 가지고 있음. 이에, 앞으로의 농업, 우유, 육류 수요를 가정하여 각 분야에 따른 대처 방안으로 지역별 온실가스 배출량 핫스팟을 조사하고 각 부문별(질소배출, 가축 수, 이탄습지 등) 온실가스 배출량 감소에 집중하는 것을 기본으로 함. 또한 축산업에서 발생하는 피할 수 없는 배출량은 산업공정에서 상쇄하겠다고 발표함.

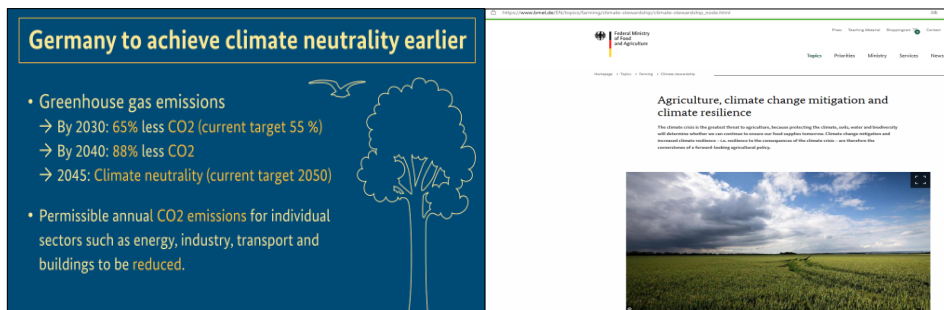


그림 35. 독일의 농업 부문의 기후 변화 완화 및 기후 회복력 정책 소개

○ 연방 식품 농업부(Federal Ministry of Food and Agriculture, BMEL)는 농업 부문의 기후 변화 완화 및 기후 회복력을 다루기 위한 포괄적인 정책을 개발함(그림35). 이 정책의 목표는 온실가스 배출을 줄이고 기후 위기의 결과에 대한 부문의 회복력을 높이는 방법을 택하고 있으며¹³²⁾¹³³⁾. 동물 복지, 환경 영향, 산업 보건 및 안전, 경쟁력에 관한 개선을 가져오기 위해 축산 방법을 개발하는 데 있어 과학 및 산업을 지원하기 위해 다양한 재정 지원 옵션을 제공하고 있음. BMEL의 주요 정책은 다음과 같음.

- 농업과 임업은 기후 변화 완화 수단이지만 기후 변화의 영향도 받으며, 이 정책은 다음 원칙을 기반으로 하고 있음. 농업과 임업은 기후 변화의 영향을 받지만 동시에 해결책의 중요한 부분임. 식량과 재생 가능한 자원의 완전한 배출 없는 생산은 불가능하지만, 목표는 가능한 한 배출량을 줄이는 것임.

1. 탄소 흡수원: 숲- 산림은 탄소를 저장하기에 산림이 없으면 기후 변화 완화 불가능. 목재를 수입하지 않도록 해야 하고, 산림을 조성하기 위한 1.5억유로를 투입함.
2. 탄소 흡수원: 토양- 토양은 바다 다음으로 두 번째로 큰 탄소 흡수원임. 독일의 농업 토양에는 2021억 톤 이상의 탄소가 저장되어 있으나 토양은 예를 들어 초원이 경작지로 전환되거나 배수된 이탄 토양이 농업 목적으로 사용되어 이탄 분해가 발생하는 경우와 같이 배출원이 될 수도 있음. BMEL은 모델 및 실증 (model and demonstration) project (MaD) 프로젝트를 2021년 출범, 현재의 지식 수준을 넘어 농업(경작 가능한 농업에 중점을 두고)에 사용되는 토양의 부식질 형성 옵션을 탐색, 온실가스 배출을 줄이고 기후 위기에 대한 해당 부문의 회복력을 높이기 위한 혁신적인 솔루션을

132) Federal Climate Change Act 연방 기후 변화 행동 <https://www.bmel.de/EN/>

133) <https://www.bmel.de/EN/topics/farming/climate-stewardship/agriculture-climate-change-mitigation.html>

개발하는 것을 목표로 함.

3. 지속 가능한 식품 소비: 우리의 소비자 습관은 또한 농식품 산업의 온실 가스 배출 수준을 결정하며, 식료품 생산은 토양, 물, 에너지, 연료 및 인력과 같은 귀중한 자원을 사용하고 온실 가스 배출을 포함함.
 4. 농업 배출 감소 정책: BMEL의 식품, 농업 및 산림 정책에 관한 과학 자문위원회의 전문 지식에 따르면, 음식물 쓰레기를 식물 쓰레기의 양을 50% 줄이면 독일의 온실가스 배출에서 600만 톤의 CO₂ 배출 저감하였음. "쓰레기통에 넣기에는 너무 좋아요(Too good for the bin)" 이니셔티브를 통해 불필요한 음식물 쓰레기에 대한 관심을 끌고 음식물 쓰레기를 방지하는 방법에 대한 조언을 제공하고 있음.
- 이러한 목표를 달성하기 위해 BMEL은 농업 및 임업 부문에 대한 법적 요구 사항이 충족되도록 고안된 10가지 조치 시행. 이러한 조치는 연방 내각이 2019년에 채택한 2030 기후 행동 프로그램의 일부가 되었으며, 2022년 즉각적인 기후 행동 프로그램은 기후 변화법 개정에 따라 채택되어, 보다 야심찬 목표를 고려하여 설정된 목표 달성과 이러한 조치의 이행을 위한 추가 지원을 제공함.
1. 암모니아 배출 감소를 포함한 질소 잉여 및 배출 감소, 아산화질소 배출 목표 감소, 질소 사용 효율 향상
 2. 농장 분뇨 및 농업 잔류물의 발효 증가
 3. 유기농업의 확대
 4. 축산업의 온실가스 배출 저감
 5. 농업의 에너지 효율 향상
 6. 경작지에서의 부식질의 보존 및 형성
 7. 영구적인 초원의 보존
 8. 재배 배지에서 이탄 사용 감소를 포함한 황무지 보호

9. 산림과 목재 사용의 보전과 지속 가능한 관리

10. 음식물 쓰레기 방지를 포함한 지속 가능한 식품 소비와 대량
케이터링의 지속 가능성 강화에 대한 연방 행정 당국의 프로그램

○ BMEL의 기후 행동 조치의 개발-구현 원칙.

1. 독일의 농업 및 임업 부문에 대한 생산 제한이나 경쟁 불이익이 없어야 함
2. 기후 변화 완화, 기후 변화 적응 및 자원 효율성 간의 시너지 효과를 활용
3. 이미 채택된 프로세스와 새로운 프로세스의 시작을 기반으로 함
4. 디지털 기술과 정밀 농업은 배출량을 줄이는 데 도움을 줄 수 있음

○ 농장 동물(Farm Animal): 축산과 축산업은 독일 농업 부문의 중요한 중추임. 농장 축산의 목적은 무엇보다도 우유와 고기와 같은 식품을 생산하고 양모, 가죽 또는 가죽과 같은 동물성 제품을 얻는 것으로, 대상 동물 육종은 장기적으로 동물의 성능과 건강을 유지하는 데 도움이 될 수 있으며, 이는 생산성 향상을 가져올 수 있음.

○ 독일은 동물 분뇨저장 및 처리에 의한 온실가스 배출량 감소를 위해 가축수 감소와 함께 축산분뇨를 바이오메스로 활용하여 바이오에너지화시킬 수 있는 방법을 고안중임.

○ 독일 가축 협회(German Livestock Association, BRS)¹³⁴⁾는 독일의 소와 돼지 생산을 위한 상위 조직임. 이 협회의 목표는 특히 소와 돼지의 동물 종에 대한 독일 동물 사육 및 축산을 장려하는 것이며, 축산업을 보존하고, 회원 조직의 경쟁력을 강화하며, 고품질 제품의 지속 가능한 생산을 지원하는 것을 목표로 함. BRS는 국내 및 국제 수준에서 회원과 제3자(사회, 정치, 과학 및 기타 전문 협회)의 이익을 중재하는 역할을 하며, 가축에 관한 지식창고 운영하고 있음¹³⁵⁾¹³⁶⁾(그림36).

134) <https://www.bovine-eu.net/about/germany/>

135) <https://www.bovine-eu.net/about/project-partners/brs/>

- BRS는 다음 2가지를 포함하여 독일에서 조직화된 가축 사육의 이익을 대표함. 첫째는 국내 및 국제 수준에서 해당 부문의 이익을 대표하고 육종, 수정, 성능시험, 육종가치 평가 분야 조정, 둘째는 정치·행정 기관과의 교류, 농업 산업 및 상류 및 하류 부문의 다른 조직과의 교류임.

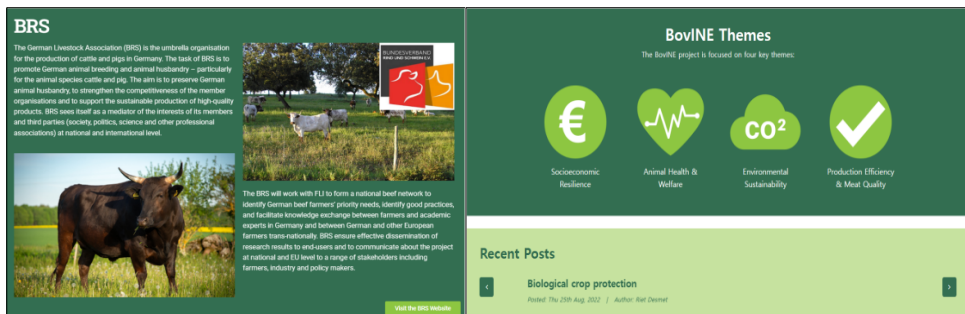


그림 36. 독일 가축 협회와 협회가 운영하는 가축에 관한 지식 창고

- BRS는 FLI와 협력하여 독일 소고기 농가의 우선 요구 사항을 파악하고, 모범 사례를 식별하며, 독일의 농가와 학계 전문가 간, 그리고 독일과 다른 유럽 농가 간의 초국가적 지식 교환을 촉진하기 위해 전국 소고기 네트워크를 형성하고 있음. BRS는 연구 결과를 최종 사용자에게 효과적으로 전파하고 농부, 산업 및 정책 입안자를 포함한 다양한 이해관계자에게 국가 및 EU 수준에서 프로젝트에서 소통의 중심이 되고 있음.

9. 기타(중국, 브라질, 인도, 아르헨티나)

가. 중국

- 국가별 이산화탄소 배출 순위는 중국임¹³⁷⁾(그림37). 중국 생태환경부¹³⁸⁾에서 “중국의 기후변화 대응 정책 및 조치”로 탄소 저감

136) <https://hub.bovine-eu.net/>

137) Global Carbon Project. (2020). Supplemental data of Global Carbon Budget 2020 (Version 1.0) [Data set]. Global Carbon Project. (doi.org/10.18160/gcp-2020). www.icos-cp.eu/science-and-impact/global-carbon-budget/2020

정책을 발표, 예를 들어 이동 (교통) 수단 부서에서 발표, 다른 국가와의 차이점은 2050년이 아니고 10년 추가한 2060년까지 저감 계획 발표, 또한 정책을 한정하지 않고 N개 정책 즉 연속적 정책 추가 계획을 발표함¹³⁹⁾.

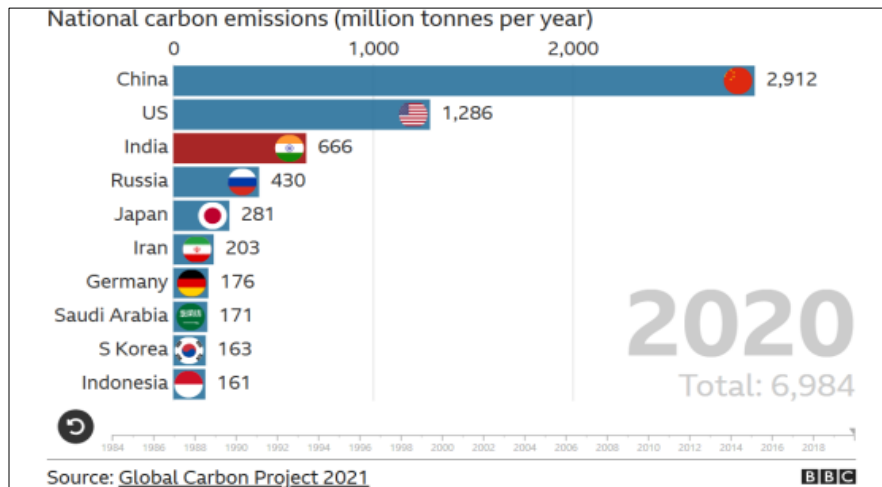


그림 37. 국가별 이산화탄소 배출 순위-중국 1위

- 짚 퇴비화, 높은 수확량 및 적은 메탄 배출이라는 혁신적인 쌀 재배 기술을 개발하여 쌀 수확량을 4.1~8.8% 증가. 질소 이용 효율을 30.2~36.0% 증가. 생산 비용을 8.3~9.7% 줄이고 메탄 배출량을 31.5~71.7% 줄이고 절수형, 가뭄에 강한 쌀 품종을 재배·보급화해 논 1무(1무는 약 666.67m²)당 메탄 배출량을 90~95% 줄이고 경작면적을 100% 이상으로 늘렸다고 보고함
- 농축산의 축산 분야에서는 2021년에 비이산화탄소(즉 CH₄, N₂O 등의 Non-CO₂) 온실가스 배출을 줄이기 위해 96개 지역에 가축 및 가금류 폐기물(분뇨)의 재활용을 장려함.
- 가금류 중국 정부는 제13차 5개년 계획 중 국가통합 농촌 환경관리 계획¹⁴⁰⁾¹⁴¹⁾ 에서 축산농가 및 가금류 사육장에서 발생하는 폐기물의

138) China's Policies and Actions for Addressing Climate Change 2022

139) <https://english.mee.gov.cn/Resources/Reports/reports/202211/P020221110605466439270.pdf>

자원화 및 오염방지 정책을 발표함. 주요 내용은 다음과 같음.

- 가금류 사육장에서 발생하는 폐기물을 광역 또는 군 전역에서 자원화하고, 가축, 가금류 사육장이 많은 지역에서 환경문제가 심각한 지역의 오염을 관리. 이를 위해 바이오가스와 바이오 천연가스를 주요 처리 대상으로 하고 폐기물을 농촌 에너지 및 농업으로 현장 및 근접 지역에서 활용하는 정부지원, 산업주도, 상업적으로 운영되는 시스템 도입을 목표로 함.
- 폐기물을 퇴비, 바이오가스, 바이오 천연가스, 유기비료 등 자원으로 활용하는 시설을 건설. 마을 내 가축 및 가금류 사육장에서 발생하는 폐기물을 고효율로 처리할 예정이며, 특히 분뇨의 종합 이용률은 70% 이상으로 계획 하고 있음.
- 국가발전개혁위원회(NDRC)에서는“2030년 이전 이산화탄소 저감 목표를 위한 실천 계획”을 발표하여 농업 및 농촌 지역의 탄소 배출 감소 및 탄소 격리 촉진 녹색농업, 저탄소농업, 순환농업 발전을 강화하고 농업용 태양광 발전, 태양광발전과 보호농업의 융합, 해상풍력 발전단지와 해양목장의 결합 등 저탄소 방식을 지원.
- 탄소격리를 높일 수 있는 농업응용기술을 연구. 농경지의 질을 향상 시키고 중국의 토양을 보호하여 토양의 유기탄소 함량을 높임. 화학비료, 농약, 농업용 플라스틱 시트의 사용을 적절하게 통제하고 기존의 비료와 농약을 유기질로 대체하는 계획을 실시하며 농작물짚과 가축폐기물을 재활용하고 종합적으로 활용하는 사업을 강화.
- 글로벌 탈탄소 추진연구소(Institute for Global Decarbonization Progress)¹⁴²⁾에서는 의사 결정자, 투자자 및 지역 사회에 미래 지향적인

140) The 13th Five-Year Plan for National Integrated Rural Environment Management

141) https://english.mee.gov.cn/Resources/Plans/Special_Fiveyear_Plan/201902/t20190222_693384.shtml

142) <http://www.igdp.cn/>

솔루션을 제공, 학제간, 체계적, 실증적 정책 연구를 통해 실행 가능성과 투자 타당성이 높은 강력한 에너지 및 기후 솔루션을 촉진.

- 청정 에너지, 녹색 금융, 탄소 가격 책정, 도시 및 지역 저탄소 개발, 농업 식품 시스템 지속 가능성 및 메탄 감소가 포함됨. 연구 결과는 지방 및 도시 이중 탄소 로드맵, 정의로운 전환, 배출가스 제로 도시 및 지역 사회 계획, 금융 기관 기후 위험 스트레스 테스트, 폐기물 제로 도시, 저탄소 도시 등 다양한 현장 조치에 적용되며, 지역사회 차원의 탄소 활동 지원함.
- 2014년 베이징에서 설립된 iGDP(세계 탈탄소화 발전 연구소)는 중국과 유럽에 지사를 두고 있는 녹색 및 저탄소 개발에 초점을 맞춘 전략적 컨설팅 플랫폼으로, 농업분야에서 탄소 저감으로 장내발효(식이요법, 사료첨가제), 분뇨관리, 재배, 토양(질소 관리, 농약 및 질소비료 저감) 및 에너지 사용으로 탄소 저감 계획 제시함(그림38)¹⁴³⁾.

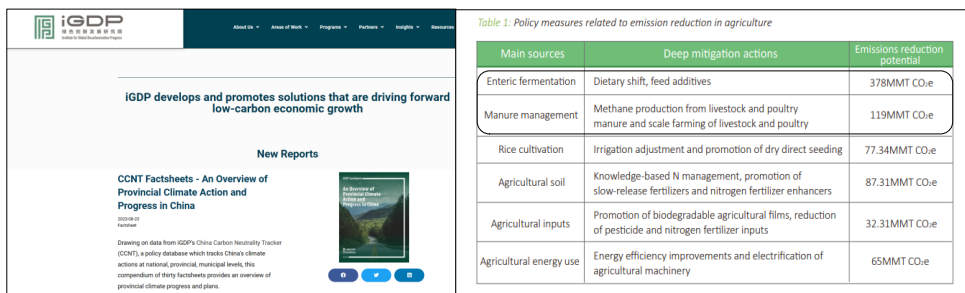


그림 38. 글로벌 탈탄소 추진연구소와 6가지 정책 제안

- ‘중국 탄소중립 추적(China Carbon Neutrality Tracker)¹⁴⁴⁾’는 온실가스 배출 감축과 관련하여 공개적으로 사용 가능한 정책 문서를 수집, 보관 및 분류하고 있음. 다양한 부문에서 중국의 기후 조치에 대한 구조화된 개요를 제공하고 각 지역 및 정부 기관이 개발한 특정 정책

143) Progress and Prospects for Agricultural Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions Reduction in China

144) <https://ccnt.igdp.cn/en/>

및 조치에 대한 포괄적인 개요 역할을 하고 있음(그림39).

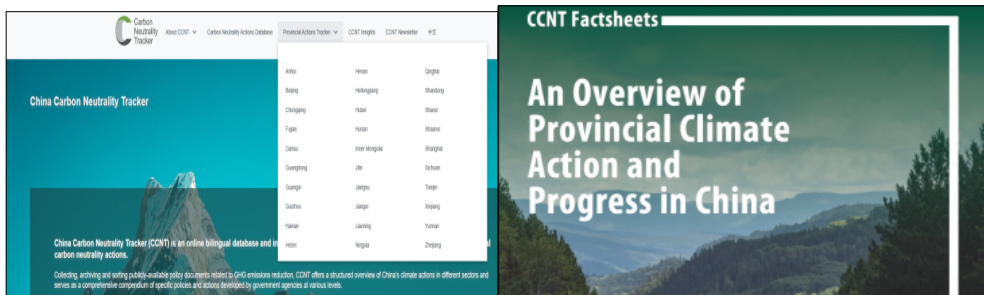


그림 39. 중국 탄소 중립 추적

- 중국의 지방 기후 조치 및 진행 상황 전망 (Overview of Provincial Climate Actions and Progress in China)에서 각 지방 정부 탄소 저감 정책 설명 지원함.
- ‘중국 탄소중립 추적’의 데이터베이스에 ‘가축’분야에서의 탄소저감 관련 지방 정부 정책으로는 (1)가축 및 가금류 사육 폐기물의 자원 활용 가속화에 관한 국무원 총무실의 의견(2017), (2)가축 분뇨 처리 및 자원 활용 대한 지린(Jilin)성의 정책(2022) 두건의 정책이 등록되어 있음. 각 정책의 주요 내용은 다음과 같음
 - (1) 가축 및 가금류 사육 폐기물의 자원 활용 가속화에 관한 국무원 총무실의 의견에서 2020 년까지 가축 및 가금류 사육 폐기물의 자원 이용을 위한 과학적이고 표준화 된 시스템을 수립하고 명확한 권리와 책임과 강력한 제약을 가지고 육종주기 개발을 위한 메커니즘을 구축하여 전국의 가축 및 가금류 분뇨의 종합 이용률이 75 % 이상에 도달할 것이며, 대규모 농장의 분뇨 처리 시설 및 장비의 매칭 률은 95 % 이상에 도달 할 것임. 대규모 농장의 분뇨 처리 시설 및 장비의 매칭 률은 예정보다 1 년 앞서 100 %에 도달, 대규모 축산 카운티, 국가 현대 농업 시범 구역, 지속 가능한 농업 개발을위한 실험 시범 지역 및 현대 농업 산업 단지가 위의 목표를 달성하는 데 앞장설 것임. 농업부와 환경

보호부가 주도하고 AQSIQ가 참여하여 가축 및 가금류 사육 폐기물 자원 활용, 오염 감독, 대규모 농장에서의 분뇨 처리, 현장에서의 유기질 비료 이용, 바이오 가스 및 바이오 천연 가스의 사용과 같은 지표에 초점을 맞추어 가축 및 가금류 사육 폐기물의 자원 이용을 위한 성능 평가 및 평가 시스템을 수립할 것임. 중국의 탄소중립 관점에서 본 가금분뇨 관리에 대한 설명은 그림40과 같음.

- (2) 가축 분뇨 처리 및 자원 활용에 대한 지린(Jilin)성의 정책(2022)에서는 1대+3보조 정책으로 가축 및 가금류 분뇨의 축적 및 발효, 심기 및 육종의 조합을 통해 현장에서 비료 활용, 에너지, 사료 및 기본 재료로 보충할 것임. 농가가 직접 쌓아 발효시킨 가축과 가금류의 분뇨는 발작물에 널리 활용하도록 하고, 바이오 매스 천연 가스, 연료봉 (블록) 및 기타 재생 가능 에너지의 전문 생산하며, 가축 및 가금류 분뇨를 사용하여 지렁이, 파리 구더기, 흑병용 파리와 같은 하등 동물을 사육하는데 활용함. 가축 및 가금류 분뇨, 곰팡이 잔류 물 및 작물 짚을 원료로 사용하거나 발효퇴비를 만들고, 과일 및 채소 재배를 위한 기질 트레이 및 기질 토양을 생산할 수 있도록 할 것임(소규모의 생태 농업 기업과 소규모 농촌 가족 생태 농장 모두에 적합).
- 중국의 정책은 홈페이지를 통해 자세히 검색하는게 한계가 있음. 하지만 연구 결과를 논문으로 발표한 결과는 많았으며, 논문 검색 플랫폼인 Scopus¹⁴⁵⁾ 에서 제목과 초록에 키워드: China, Livestock, CH₄, enteric를 사용하고, 논문 발표 기간: 2018~2023, 결과 34개 논문을 검색한 결과, 중국의 축산업에서의 사료보충제, 장내 메탄저감제 등 연구 진행 방향을 알 수 있었음. 잉 중 환경 및 농업분야 논문이 45%를 차지하고 있었으며, 주요 연구기관은 과학기술연구소, 농림부 였고, 국가자원과학기금, 국가 주요 연구개발 기금 등의 재정지원에 의한 연구가 대부분이었음.

145) <https://www.scopus.com/>

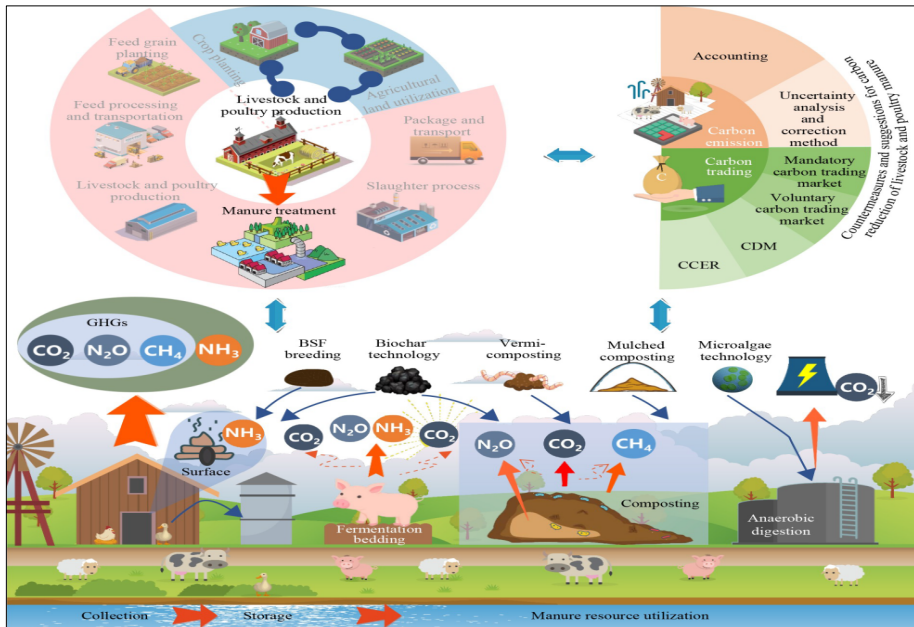


그림 40. 중국의 탄소중립의 관점에서 본 가축 및 가금류 분뇨 관리

나. 브라질

- 브라질 정부는 2020년부터 2030년까지 농업과 축산업에서 탄소 배출을 줄이기 위한 Plano ABC+라는 새로운 국가적 계획을 발표. ABC+ 2020-2030 계획은 지속 가능한 식량 생산을 위한 기술 혁신을 기반하고 있음¹⁴⁶⁾.
- ABC+ 전략 목표 7가지 (그림41)
 1. 보전주의적이고 지속가능한 농업 시스템 채택을 위한 동기유지, 생산성과 수입증가, 탄소배출량의 저감 및 통제를 통한 회복력 강화
 2. 기술 이전 및 보급 강화, 교육 및 기술 지원
 3. 탄력성, 생산성, 수익 증대 및 온실가스 배출 제어에 초점을 맞춘 지속 가능한 생산 시스템, 관행, 제품 및 프로세스의 개발-개선을

146) ABC Plus - Brazil's New Climate Change Adaptation and Low Carbon Emission in Agriculture Plan

위한 응용 연구 지원.

4. 농업인들이 지속가능한 시스템, 실천방법, 제품 및 생산공정을 채택한 것에 대한 인정-보상 매커니즘의 확대
5. 지속가능한 시스템, 실천방법, 제품 및 생산공정을 지원하기 위한 다양한 재정 및 세제 관련 도구 육성
6. 효과적인 측정, 보고 및 확인(MRV; Measurement, Reporting and Verification) 메커니즘 구축을 위한 ABC+ 정보관리 시스템 개선
7. 환경규제 준수와 지속가능한 생산을 촉진하기 위한 통합된 접근(Integrated Landscape Approach)



그림 41. 브라질의 농업 분야 기후변화 적응 및 저탄소 배출을 위한 ABC+전략

- 삼림 벌채로 황폐화된 토지를 목초지 조성하고 쇠고기 생산 증가에 대한 탄소 배출 감소량을 감소시킬 수 있다는 브라질의 온실가스 배출에 대한 “Nature”지 논문 결과가¹⁴⁷⁾ ABC+s 계획에 포함됨.

147) de Oliveira Silva, R., Barioni, L., Hall, J. et al. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. Nature Clim Change 6, 493-497 (2016). <https://doi.org/10.1038/nclimate2916>

- 해당 논문에서는 브라질은 산림 별목으로 황폐된 목초지 개간하여 탄소배출을 감소시키고 있으며, 실제 가축을 기르기 위해 숲이 별목되지 않도록 하고 있음. 실제 2005년부터 살림 별채를 감소하고 소고기 생산 증가, 90% 이상 목초지에서 가축을 생산하고 있다고 보고함.

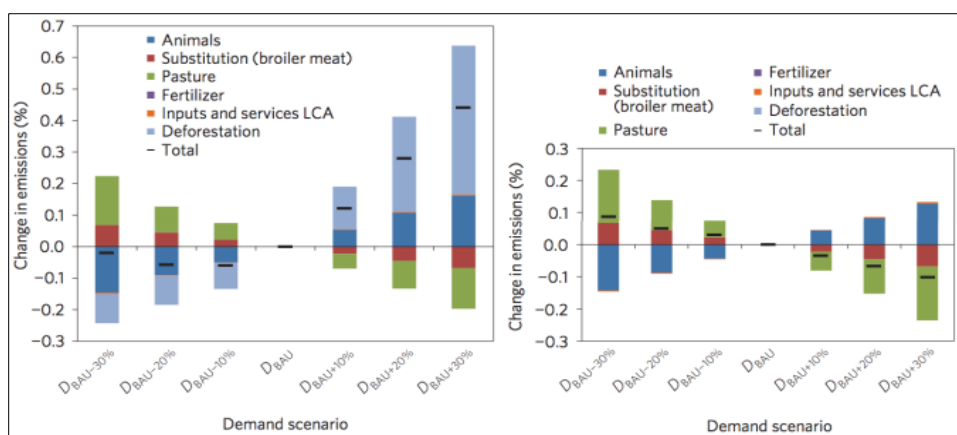


그림 42. 브라질의 소고기 생산을 위한 황폐된 목초지 개간에 따른 탄소 배출 감소 연구

- 미국 콜로라도 주립대학의 연구에 따르면, 아시아, 호주, 브라질, 캐나다, 라틴 아메리카 및 미국 전역의 "개선된" 소고기 생산 시스템 (오른쪽)과 "재래식" 소고기 생산 시스템(왼쪽)을 비교한 292건의 비교를 분석, 브라질산 소고기 생산은 배출량 감축 잠재력이 가장 큰 것으로 나타남.(그림42)¹⁴⁸⁾
- 브라질에서 탄소 격리 및 생산 효율성을 위한 개선된 관리 전략을 통해 온실가스 배출량을 57% 감소시켰다는 사실을 발견, 구체적인 전략에는 사료 품질 개선, 품종 선택 개선 및 비료 관리 강화가 포함.
- 집중적인 순환 방목 계획, 토양 퇴비 추가, 황폐화된 지역의 재조림, 토양의 탄소 격리를 위해 사육된 사료용 식물을 선택적으로 심는 것을

148) Cusack DF, Kazanski CE, Hedgpeth A, Chow K, Cordeiro AL, Karpman J, Ryals R. Reducing climate impacts of beef production: A synthesis of life cycle assessments across management systems and global regions. Global Change Biology. 2021;27(9):1721-36.

포함한 통합 현장 관리(작물-가축-산림)가 가장 크게 탄소 배출을 감소시켰음.

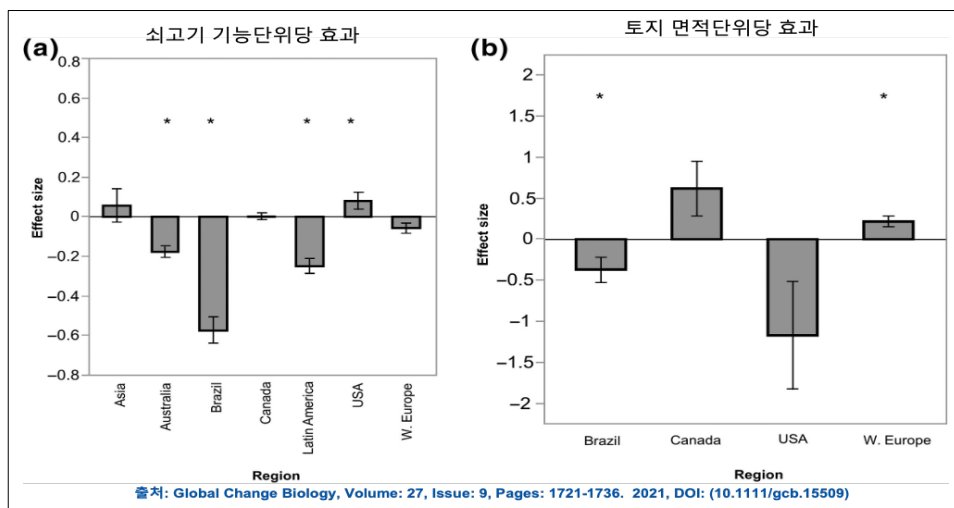


그림 43. 지역별 쇠고기 생산으로 인한 온실가스 배출에 대한 관리 변화의 순효과 차이

- 브라질 농업연구소(Brazilian Agricultural Research Corporation)¹⁴⁹⁾ 국영 농업 연구소인 엠브라파(Embrapa)의 연구원 알렉상드르 베른트(Alexandre Berndt)의 보고에 의하면, 첫 번째 반추 동물의 위장에서 발생하며, 소가 식물 섬유를 소화할 수 있도록 하는 미생물도 메탄을 생성함. 옥수수, 콩, 목화씨와 같은 건강 보조 식품은 발효를 줄여 가스 배출량을 낮출 수 있으며 두 번째, 네델란드 DSM이 개발한 사료 첨가제 (해조류)를 하루에 1/4 티스푼씩 투여하여 가스 생성을 유발하는 효소를 억제하며, 동물에 유전적 변형을 가하고, 사료 보충제를 사용하고, 목초지의 품질을 보장하면 더 짧은 시간에 동일한 체질량에 도달(소의 수명을 30개월에서 18개월 단축)하여 생산성을 높일 수 있다고 하였음.

149) <https://www.ft.com/content/ab9ceb79-0777-499e-a04a-beb412039159>

<https://www.embrapa.br/en/international> Brazilian Agricultural Research Corporation)

- ‘브라질 농업 축산연합 (CNA, Brazilian Confederation of Agriculture and Livestock)’은 브라질의 농업과 축산업을 대표하는 단체로, 국내외에서 농업 생산자를 대표하고 조직하며 강화하는 것을 목표로 하고 있는 조직임. CNA는 1951년에 설립되어 현재 브라질의 농업 정책 논의를 위한 주요 포럼을 개최함. CNA는 전국 27개 주 연맹과 2,000개의 농촌 조합으로 구성되어 있으며, 국내 농업 생산자를 지원하고, 농촌 학습 서비스(SENAR)를 포함하고 있으며, 이는 농촌 지역에 대한 교육, 사회적 이니셔티브 및 기술 지원을 제공하고 있음.
- "한국의 주요 닭고기 공급국이지만, 돼지고기는 브라질의 시장 점유율이 2%에 불과. 또한 한국은 아직 브라질산 쇠고기에 대한 문호를 개방하지 않았으며, 이는 브라질 정부의 임무 요구 사항 중 하나"라고 설명하여 브라질산 쇠고기의 국내 유입 가능성을 배제할 수 없음.
- 브라질 동물성 단백질 협회(ABPA)와 브라질 육류 수출 산업협회(ABIEC)가 추진하는 "동물성 단백질 산업을 위한 기회와 파트너십" 세미나에 참석함. 이 행사는 브라질 동물성 단백질 부문(소, 돼지 및 가금류)에서 브라질과 한국 간의 무역 확대 가능성을 보여줌(그림25).¹⁵⁰⁾



그림 44. 브라질 농업축산부문 대표단 한국(농림축산부) 방문

- 세계에서 가장 큰 열대 습지대 지역 중 하나인 브라질의 마토그로소

150) <https://brazilianfarmers.com/news/cna-joins-business-mission-in-south-korea/>

주와 마토그로소도 슬 주, 볼리비아, 파라과이 일부 지역에 걸쳐 있음. 이 지역은 세계에서 가장 큰 침수 초원 지역 중 하나이며, 지역 면적은 약 14만~19만5천km로, 판타날 지역은 수많은 서브 지역 생태계가 존재하며, 각각 독특한 수문학적, 지질학적 및 생태학적 특성을 가지고 있음. 이 지역은 비옥한 수초와 풍부한 동물 종류를 품고 있으며, 비가 오는 계절에는 대부분의 지역이 침수되어 생물 다양성을 유지하고 있음.

- 브라질은 세계에서 두 번째로 큰 소 무리를 보유하고 있으며, 연간 19억 톤의 소 분뇨가 발생하고 있음. 브라질의 Sergipe 연방대학교의 Alberto Wisniewski는 친환경 제품을 생산하기 위해 회전식 가마 반응기에서 열변환 공정에 의한 가축 분뇨 평가 수행하는 연구결과를 발표함¹⁵¹⁾. 이 연구는 2세대 바이오 연료를 생산하기 위해 이 폐기물을 처리하는 대체 수단으로 회전식 가마 반응기에서 400, 500 및 600° C에서 열분해하여 가축 분뇨를 처리하는 방법을 처음으로 설명하고 있음(그림45).

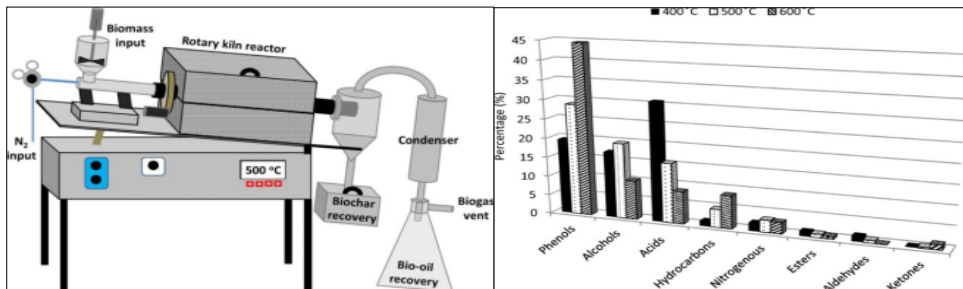


그림 45. 회전식 가마 반응기(좌)와 열변환 공정에 의한 가축 분뇨 평가(우)

- 바이오매스는 주로 헤미셀룰로오스(18.24%), 셀룰로오스(14.24%), 리그닌 (6.09%) 으로 구성되었으며 회분 함량(18.86%)이 높았음. 500°C에서 가축 분뇨를 열분해한 결과 최고의 바이오 오일 수율 (유기상 5.8%, 수성 상 34.4%)을 보임. 바이오 오일은 주로 페놀 및 3-비닐-페놀과 같은

151) Santana, K.V.R., Apolônio, F.C.S.O. & Wisniewski, A. Valorization of cattle manure by thermoconversion process in a rotary kiln reactor to produce environmentally friendly products. Bioenerg. Res. 13, 605-617 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10047-0>

페놀 화합물로 구성되어 있음. 바이오 숯에 대한 결과는 토양 산도를 교정하기 위한 농업 응용 분야에서 사용되며, 높은 온도에서 생산된 바이오 숯은 높은 방향성을 나타내며 탄소 격리에 안정적인 물질이 형성되었음을 나타내어 소 분뇨의 환경친화적인 처리 가능성을 보여주고 있음.

다. 인도

- 인도는 기후 변화에 관한 국가 행동 계획(NAPCC) 및 토양 건강 카드 제도를 포함하여 지속 가능한 농업 관행을 촉진하기 위한 여러 계획 시작. NAPCC는 기후 변화에 대처하면서 지속 가능한 발전을 촉진하는 것을 목표로 하며 태양 에너지, 물, 지속 가능한 농업과 같은 분야에 초점을 맞춘 8개의 국가 전략 포함. 토양 건강 카드 제도는 농부들에게 토양 건강과 영양분 관리 관행에 대한 정보를 제공하여 토양 비옥도와 작물 생산성을 향상시키는 것을 목표로 하고 있음¹⁵²).
- 인도 기후변화 국가 행동 계획 8개의 미션
 1. 국립 태양광 미션
 2. 에너지 효율성 향상을 위한 국가 미션
 3. 지속 가능한 서식지에 관한 국가 미션
 4. 국립 수자원 미션
 5. 히말라야 생태계 유지를 위한 국가 미션
 6. 녹색 인도를 위한 국가 미션
 7. 지속 가능한 농업을 위한 국가 미션
 8. 기후 변화에 대한 전략적 지식에 관한 국가 미션
- 기후변화에 대한 취약성 평가 및 적응 연구는 유엔에 대한 인도의 초기

152) National Action Plan on Climate Change (NAPCC) in India 2021

국가 커뮤니케이션의 일환으로 수자원, 농업, 산림, 자연 생태계, 해안 지역, 건강 에너지 및 인프라 등 다양한 분야에서 이루어져 있음. 한국, EU, US는 2050년까지 탄소 감축 계획, 중국은 2060년, 반면, 인도는 2070년까지 배출량을 순제로(net zero)로 줄이겠다고 약속함. 인도는 2030년까지 재생 가능 에너지 용량을 500기가와트까지 확장하고, 지금부터 2030년까지 총 예상 탄소 배출량을 10억 톤 줄이고, 경제의 탄소 집약도를 45% 미만으로 저감하는 목표를 설정함.

- NDC(Nationally Determined Contributions)로 알려진 서약에서 인도는 2030년 까지 국내총생산(GDP)의 배출 집약도를 45% 줄이겠다고 발표, 경제 활동 단위당 배출되는 온실가스의 양을 측정한 것으로, 인도는 COP26 이전에 설정한 33-35% 감축보다 더 야심찬 목표를 가지고 있음. 그러나 UN의 배출 격차 보고서(EGR)에 따르면 인도는 2020년에 부피 기준으로 세 번째로 큰 이산화탄소 배출국이 었지만 1인당 배출량은 세계 평균보다 낮은 수치라고 보고하여 두 보고서의 불일치를 보임.
- 탄소 순 배출 제로에 도달하기 위한 목표 날짜는 2070년으로 유지되고 있는데, 이는 다른 많은 국가들이 설정한 날짜보다 훨씬 늦고, 지구 온도 상승을 1.5° C로 유지하기 위한 넷 제로를 위한 목표 날짜로 2050년을 제안한 파리 협정과도 일치하지 않음.
- 인도의 인구 14억이며 3억 마리의 소, 우유생산 버팔로와 8,500만 명의 소규모 낙농가가 있음. 유엔 식량농업기구(FAO)에 따르면 2020년 인도는 1억 9,500만 미터톤의 우유를 생산했으며, 이는 전 세계 생산량의 22%에 해당하는 양임. 미국의 코넬은 환경 방어 기금(Environmental Defense Fund)과 세계 최대 낙농 생산국인 인도 국립 낙농 개발 위원회(National Dairy Development Board of

India)를 지원하여 소규모 농가가 메탄 배출량을 줄이고 우유를 효율적으로 생산할 수 있도록 지원하고 있음.

라. 아르헨티나

- 아르헨티나는 2022년 11월, 국가적인 장기 전략인 Long-Term Strategy (LTS)를 발표하면서 2050년까지 탄소 중립을 달성 계획 발표. LTS는 국가적인 기후 대응 계획인 아르헨티나의 탄소 배출을 줄이기 위한 다양한 조치와 섹터별 목표를 제시.
- 아르헨티나는 이미 2015년에 Paris Agreement에 가입하여 2030년까지 온실가스 배출량을 2010년 대비 15% 감축하는 것을 목표로 하고 있음. 이를 위해 아르헨티나는 다양한 정책과 프로그램을 추진하고 있음.
- 이에 미주개발은행(IDB)은 아르헨티나의 지속 가능하고 탄력적인 성장을 촉진하기 위해 3억 5천만 달러의 대출을 승인, 아르헨티나의 기후 행동 계획을 지원. 이 프로그램에는 농업과 산림 보호의 균형을 맞추기 위한 통합 가축을 통한 국가 산림 관리 계획과 같은 생물 다양성 보호를 위한 조치도 포함하고 있음.
- 아르헨티나도 브라질과 마찬가지로 산림 벌목을 더 이상 하지 않는 것과 소의 마리수를 늘리지 않는 것으로 탄소 중립 실현하겠다고 했으나, 아직까지 가축(소)는 늘어나고 벌목은 계속되고 있으며, 기후 변화 완화 및 적응을 위한 국가 계획을 포함한 아르헨티나의 온실가스 배출 목표에 대한 기후 행동 추적기(Climate Action Tracker)¹⁵³⁾는 아르헨티나의 기후 목표와 정책을 "매우 불충분"하다고 평가함.

153) <https://climateactiontracker.org/countries/argentina/>

10. 주요 국가별 정책 비교

- 우리나라와 미국, 호주를 비롯한 주요 축산업 국가들은 2045-2050년까지 탄소중립을 수립하겠다는 선언을 하였음(일부 국가는 입법화 되어 있음). 각 나라들의 정부 탄소중립 선언과는 별개로 호주는 MLA주체로 2030년까지 붉은육류산업에서 탄소중립을, 영국은 NFU주체로 2040년까지 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 발표하고 속도있는 추진 전략을 발표/실행하고 있음. 각 국가들의 탄소중립 정책과 추진전략, 주요 감축수단은 표13과 같음.
- 우리나라를 비롯하여 대부분의 쇠고기 생산국들은 국가산업 전체에서 탄소중립을 달성하겠다는 계획을 가지고 있음. 이와는 다르게 호주와 영국의 경우 축산업에서 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 가지고 있으며, 호주는 축산업 전체 구성원의 이익을 동시에 추구하는 구체적인 방향성을 가지고 있었음. 영국 또한 축산업에서 탄소중립을 추구함과 동시에 수익성을 보장받을 수 있도록 시스템을 개편하는 계획을 단계적으로 시행중임.
- 축산분야에서의 주요 감축 수단은 크게 가축관리와 분뇨처리, 탄소저장으로 나누어짐. 주요 감축수단은 각 국가의 기술력과 가축 사육 관행에 따라 적용 계획과 중요도가 각각 달랐지만, 대부분의 방법이 탄소저감전략에 포함되어 있었음.
 - 가축관리: 생산성향상(무리관리, 생산성 향상 육종), 장내메탄배출 감소(저메탄사료첨가제, 저배출사료, 저메탄개체 선발 육종)
 - 분뇨관리: 가축분뇨처리 개선, 바이오에너지
 - 탄소저장: 토양 및 초지관리 개선, 바이오차, 탄소저장
- 이외에도 우리나라와 독일의 경우 식생활 개선, 즉 육류소비 감소를 통해 목표감축량의 일부를 감축하고자 하는 계획을 가지고 있었음.

독일은 육류소비와 함께 음식물쓰레기 저감을 통해 지속가능한 식품 소비를 하나의 전략으로 채택함.

○ 주요 국가들의 지속가능한 축산업을 위한 연구개발은 장내메탄 감소와 분뇨 처리 기술에 집중되어 있으며, 이와 함께 축산업 지속성, 생산 효율성, 동물복지 및 자국민에게 동물 식품의 안정적인 수급을 위한 연구 및 기술 개발도 함께 추진하고 있었음.

○ 주목할 저탄소 생산 정책을 요약하면,

1. 작물-가축-산림을 통합한 생산 시스템: 쇠고기 생산 정책으로 브라질, 뉴질랜드, 호주 등의 나라에서는 작물-가축-산림을 통합한 생산 시스템 또는 목초지 기반 쇠고기 생산으로 영양이 좋은 식품을 제공할 뿐만아니라 지구를 보호하는 재생농업을 추진.
2. 분뇨를 이용한 재생에너지 이용: 대부분의 나라에서 분뇨를 이용한 재생에너지 사용에 집중하고 있으며 대표적으로 환경부와 농업부의 혼합으로 추진하는 미국의 AgSTAR 프로그램이 있음.
3. 분뇨를 이용한 바이오차 제조 및 토양 개선 및 탄소 격리에 사용: 일본, 호주와 뉴질랜드에서는 바이오차 사용을 적극적으로 추진하고 있으며, 이를 토양 개질에 사용하여 매년 토양의 오염을 줄이는 노력을 하고 있음.
4. 기후변화 자금을 조성하고 이 자금을 온실가스 저감 노력에 투자하고 특히 축산업이 국가 경제에 상당부분 차지하는 국가는 쇠고기 생산, 기술 개발 및 재생에너지 사용에 투자 상당 부분 투자함.

표 13. 우리나라와 주요 축산국의 탄소중립 정책 비교

국가	탄소중립 달성시기	추진주체 (축산부문)	추진전략	주요감축수단
한국	2050	정부 (농림수산 식품부)	2050탄소중립시 나리오	가축관리, 정밀사양, 저메탄첨가제, 가축분뇨처리개선
미국	2050년	정부 (농무부)	기후21 프로젝트	토양보전과 탄소격리 바이오에너지
캐나다	2050년	정부 (농업 및 농식품부)	강화된 기후계획	저메탄 사료첨가제, 토양탄소격리, 토양,초지개선 분뇨바이오에너지
호주	2050 (전체산업), 2030년 (붉은육류 산업에서)	단체 (MLA)	탄소중립2030 (MLA전략)	가축관리관행개선, 저메탄첨가제, 토양,초지개선
뉴질랜드	2050년	정부 (환경부, 농업배출기후 센터)	장기 저배출 개발 전략	생산성 향상, 토양탄소격리, 토양,초지개선 바이오에너지
일본	2050년	정부 (농림수산성)	지속가능한 식품 시스템, 기후변화 적응 계획	토양 탄소 고정, 저메탄, 저질소사료 분뇨처리개선
영국	2050년(정부) 2040년 (NFU ³ 자체 축산업에서)	정부 (환경식품 농촌부) 단체(농민연합)	녹색산업혁명 제6차탄소예산	가축관리관행개선 토양, 초지관리 개선 재생/바이오에너지, 탄소저장
독일	2045년	정부 (연방식품농 업부)	기후보호프로 그램 2030	지속가능한 식품 소비(육류소비감소, 음식물쓰레기 저감), 초지관리 개선, 탄소저장, 바이어에너지,

2절. 쇠고기 생산 과정에 따른 탄소 발생량 조사

- 축산물의 온실가스 배출 집약도는 지역 및 생산 시스템에 따라 크기 다름. 반추동물의 경우 국가별 지역별, 생산방식별 등 수많은 가변성을 가지고 있으며, 이러한 변동성은 환경영향을 완화하고 식품생산시스템의 생산성을 향상시킬 수 있는 잠재성을 의미함¹⁵⁴⁾.
- 소고기를 생산하는 과정에서 발생하는 총 온실가스 양을 평가하는 방법은 개별 전과정평가 모델의 방법론(물리적 시스템경계 등)에 따라 결과가 달라질 수 있음¹⁵⁵⁾. 본 장에서는 유사한 방법론을 사용한 연구에 대한 비교를 하였지만, 평가에 접근하는 방식에는 차이가 존재할 수 있으므로 단위생산물 대비 온실가스 배출량을 직접 비교하는 것은 의미가 없으며, 하나의 예시로 볼 수 있음. 그림46는 주요 국가의 쇠고기 농장단계 온실가스 배출원의 부문별 비율을 나타냄(그림46의 상세 데이터는 표17과 같음).

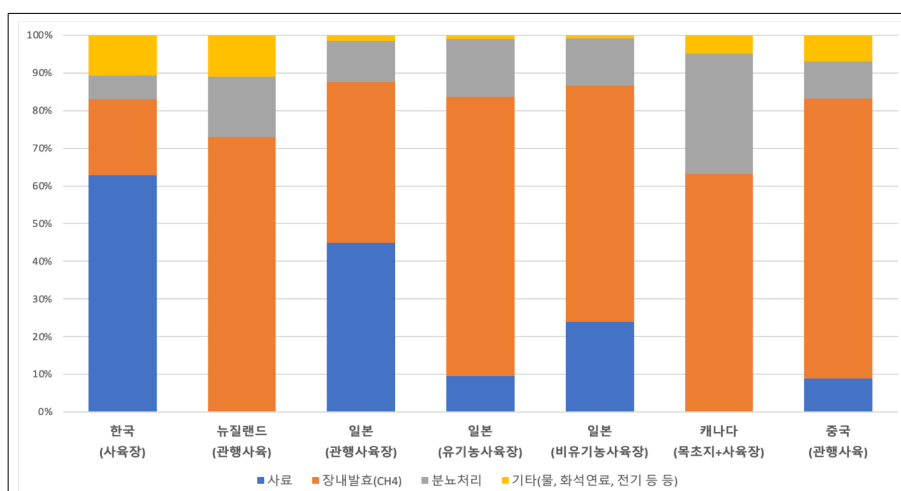


그림 46. 쇠고기생산 농장단계의 온실가스 배출 부문별 비율

154) J. Poore and T. Nemecek, Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science 360, 987-992 (2018). DOI:10.1126/science.aag0216

155) Lynch, J. (2019). "Availability of disaggregated greenhouse gas emissions from beef cattle production: A systematic review." Environmental Impact Assessment Review 76: 69-78.

- 우리나라 한우 거세우 한 마리에서 배출되는 온실가스의 양은 16,000kg CO₂^{-eq}였음. 온실가스 배출량에 가장 큰 비중을 차지하는 부분은 사료부분(62.84%)이었으며, 장내발효가 20.19%, 에너지 10.71%, 분뇨처리가 6.25%였음¹⁵⁶⁾.
- 한우 거세우 평균 생체중(756kg^{*})을 이용하여 계산하면, 한우 거세우 생체중 1kg에서 21.15kg CO₂^{-eq}의 온실가스가 배출됨을 알 수 있음. 또 다른 한우 거세우 탄소발자국을 평가한 연구에서는 한우 거세우 생체중 1kg에서 16.55kg CO₂^{-eq}의 온실가스가 발생하였음¹⁵⁷⁾.
- 농장 생산단계에서 한국과 일본(관행사육)의 사료부분의 비율이 높았으며 이는 한국과 일본의 관행사육방식이 고급육 생산을 목적으로 하는 고곡물 사양체계를 유지하고 있기 때문일 수 있음. 거의 모든 국가에서 사료와 장내배출에 의한 온실가스 배출량이 가장 큰 비중을 차지하고 있음.
- 그림47는 나라별 농장단계에서 발생하는 탄소발자국을 비교한 것임. 외국의 쇠고기 생산 농장단계에서 배출되는 온실가스 범위는 생체중 1kg 대비 8-23kg CO₂^{-eq}였음. 낙농우고기생산 또는 낙농-육우사육이 결합된 경우 다른 사육형태보다 낮은 온실가스 배출량을 보임.
- 뉴질랜드의 낙농육우형태의 쇠고기 생산하는 방법(유제품과 쇠고기 생산을 통합)으로 사육하면 생산물 할당의 영향을 받아 일반적인 육우생산방식에 비해 도체중량 kg당 온실가스 배출강도가 29% 낮음 (그림48)¹⁵⁸⁾. 낙농과 육우의 결합된 형태의 쇠고기 생산의 온실가스 발생 저감 효과는 프랑스, 이탈리아, 스웨덴 등의 유럽 국가에서도 증명되고 있음.

156) 박규현 등(2022) 전과정 측면에서 한우의 환경적 산업적 특징 연구. 한우자조금 조사연구사업 보고서

157) Jeong D, Kim YS, Cho S, Hwang I. A case study of CO₂ emissions from beef and pork production in South Korea. J Anim Sci Technol. 2023 Mar;65(2):427-440. doi: 10.5187/jast.2022.e109. Epub 2023 Mar 31. PMID: 37093919; PMCID: PMC10119444.

158) van Selm, B., et al. (2021). "Reducing greenhouse gas emissions of New Zealand beef through better integration of dairy and beef production." Agricultural Systems 186: 102936.

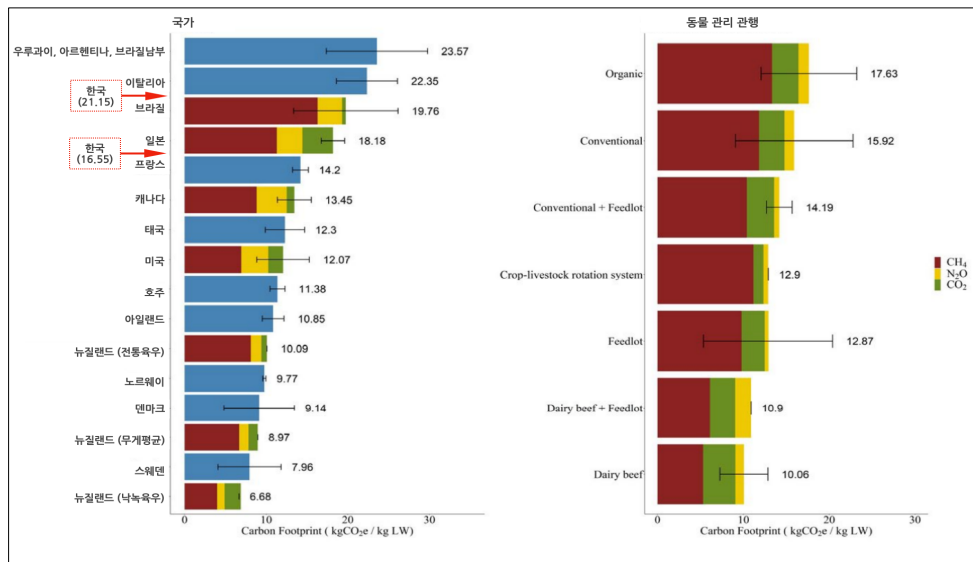


그림 47 나라별 농장단계 발생 탄소발자국 비교 (kg CO₂-eq/kg 소 생체중)
(출처: beeflambnz.com)

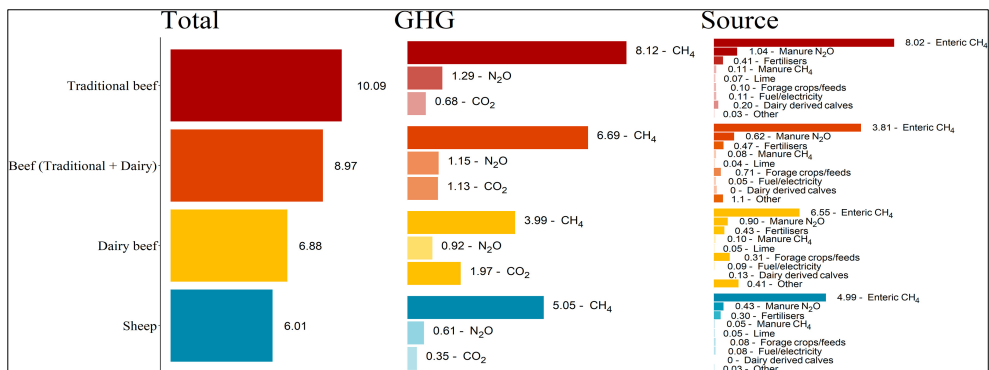


그림 48. 뉴질랜드의 관행 비육우농장과 낙농-비육우, 낙농유 농장에서 생산된 쇠고기의 요람에서 농장까지의 GHG 배출량

- 프랑스 젓소-송아지 방목농장과 이탈리아 곡물사육-사육장 농장의 비교에서 젓소-송아지 농장의 온난화지수가 15% 낮았으며, 부영양화 지수는 45% 낮았음¹⁵⁹⁾. 스웨덴의 낙농-쇠고기 농장은 비육우농장보다 온난화지수가 낮으며 투입비용이 효율적이었음¹⁶⁰⁾.

¹⁵⁹⁾ Berton, M., Agabriel, J., Gallo, L., Lherm, M., Ramanzin, M., & Sturaro, E. (2017). Agricultural Systems, 155, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.04.005>

- 주요 쇠고기 수출국들의 쇠고기의 유통과정을 포함한 전과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 비교한 결과는 표16과 같음. 쇠고기의 생산부터 소비 또는 그 이후단계까지에서 1kg 소고기에에서 배출된 온실가스는 20.06kg~48.53kg CO₂^{-eq}로 나라별로 차이가 많이 있었으나, 대부분의 온실가스는 농장단계에서 발생하였음(85~96%범위).

표 14. 주요 국가들의 쇠고기 온실가스 배출량

국가	시스템경계 (end point)	사육방법	농장	가공	가공후	총배출량
			(kg CO ₂ ^{-eq} /1kg retail meat)			
뉴질랜드	Grave	뉴질랜드 관행	20.90	0.52	0.51	21.93
미국	Grave	목초지+사육장	42.32	1.28	4.93	48.53
미국	소비	-	27.00	0.39	3.43	30.82
호주	미국물류창고	방목	25.49	0.98	0.76	27.23
호주	미국물류창고	방목+사육장	21.62	0.98	0.76	23.36
호주	미국물류창고	장기간 사육장	23.82	0.98	0.76	25.56
멕시코	소매점	광범위한 사육	20.37	1.13	0.24	21.74
멕시코	소매점	집약사육	19.87	0.25	0.48	20.60
이탈리아	소비	유기농	20.98	1.27	2.22	24.47

- 뉴질랜드 쇠고기의 농장에서 요람까지 전과정에서 배출되는 온실가스 배출량은 20.9kg CO₂^{-eq}/1kg of retail beef였음. 이 중 95%가 농장단계에서 배출되었으며 가공에서 2.4% , 가공 후 과정에서 2.3%의 온실가스가 배출됨¹⁶¹⁾.

160) Hessel A., Kumm K.-I., Bertilsson J., Stenberg B., Sonesson U. (2017) Combining environmentally and economically sustainable dairy and beef production in Sweden. Agricultural Systems. Volume 156, 105-114.DOI: 10.1016/j.agsy.2017.06.004

161) Mazzetto AM, Falconer S, Ledgard S. Carbon footprint of New Zealand beef and sheep meat exported to different markets. Environmental Impact Assessment Review. 2023;98:106946.

- 뉴질랜드 쇠고기가 미국 또는 일본으로 수출되는 동안 운송 및 보관을 위해 추가적으로 발생하는 온실가스는 $0.36\text{kg CO}_2^{-\text{eq}}/\text{kg retail meat}$ 이며, 이는 전과정에서 배출되는 온실가스($21.79\text{kg CO}_2^{-\text{eq}}$) 대비 1.65%임¹⁶²⁾.
- 호주 쇠고기가 가공 이후 미국의 물류창고에 도착하기 까지 $0.756\text{kg CO}_2^{-\text{eq}}/\text{kg retail meat}$ 의 온실가스를 배출했으며, 전 과정에서 배출되는 온실가스($25.485\text{kg CO}_2^{-\text{eq}}$) 대비 2.96%였음. ¹⁶³⁾
- 주요 쇠고기 수출국인 호주, 뉴질랜드는 자국 축산물의 해외 흐름에 대한 전과정평가를 하여 쇠고기의 국가-국가간의 이동이 지구온난화에 큰 영향을 미치지 않는다는 자료를 확보한 것임.
- 향후 우리나라에 탄소중립 쇠고기가 수입될 경우, 소비자에게 로컬푸드를 선택하는 것이 필요없는 탄소배출을 줄이는 것이라는 이론을 내세우기 어려움을 시사함.

162) Mazzetto AM, Falconer S, Ledgard S. Carbon footprint of New Zealand beef and sheep meat exported to different markets. Environmental Impact Assessment Review. 2023;98:106946.

163) Wiedemann S, McGahan E, Murphy C, Yan M-J, Henry B, Thoma G, Ledgard S. Environmental impacts and resource use of Australian beef and lamb exported to the USA determined using life cycle assessment. Journal of Cleaner Production. 2015;94:67-75.

표 15. 국가별 쇠고기 생산 농장단계 온실가스 배출량 및 주요 배출 부문별 비율

국가	시스템 경계 (end-point)	사육방법	기능단위	자료	장래발효	분노차
				kg CO ₂ -eq per functional		
한국	농장게이트	사육장	1kg 생체중	13.30	4.27	0.09
				(62.87)	(20.19)	(6.26)
한국	농장게이트	사육장(비육전문)	1kg 생체중	-	-	-
미국	요람	목초지+사육장	1kg 냉도채중	4.6	21.64	
				(17.53)	(82.47)	
뉴질랜드	요람	관행사육	1kg 생체중	.	6.55	1.43
				.	(74.02)	(15.94)
		사육장(관행)	1kg 냉도채중	13.0	12.3	3.2
				(44.98)	(42.56)	(11.07)
일본	농장게이트	사육장(유기농)	1kg 냉도채중	2.8	21.7	4.5
				(9.56)	(74.06)	(15.36)
				8.4	22.1	4.4
				(23.86)	(62.78)	(12.50)
캐나다	농장게이트	목초지+사육장 (저배출농장)	1kg 생체중	.	14.79	7.51
				.	(63.20)	(32.11)
중국	농장게이트	관행사육	1kg 쇠고기	1.76	14.67	1.96
				9%	75%	10%

(1) 박 등 (2022) 전과정 측면에서 한우의 환경적 산업적 특징 연구; (2) Jeong 등 (2023) I. A case study of CO₂ emission in South Korea; (3) Asemlilable 등 (2019) A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in Summerof; the study on the carbon footprint of New Zealand sheepmeat and beef; (5) Tsutsumi 등 (2018) Life-cycle non-organic grass-fed beef production in Japan.; (6) Alemu 등 (2017) Greenhouse gas emission of Canadian cattle assessment of 295 farms. Agricultural Systems.; (7) Chen 등 (2020) Assessment of regional greenhouse gas emission from study of Saskatchewan in Canada; (8) Wei 등 (2023) Greenhouse gas emissions of meat products in China: A provincial study of Sastchewan in Canada; (9) Wei 등 (2023) Greenhouse gas emissions of meat products in China: A provincial study of Sastchewan in Canada; (10) Wei 등 (2023) Greenhouse gas emissions of meat products in China: A provincial study of Sastchewan in Canada.

* 해당 문헌을 생체중 1kg 당 배출량으로 환산하였음

3절. 쇠고기 생산 과정에 따른 저탄소 기술 조사

1. 장내 발효 메탄 배출

- 반추동물의 소화과정에서 배출되는 장내배출물은 농업분야에서 가장 큰 단일배출원이며, 쇠고기 생산과정에서 발생하는 온실가스 중 40% 이상이 장내 메탄생성에 의해 배출됨.
- 소고기 생산시스템 전반에 걸쳐 장내생성 메탄배출을 줄이는 것은 쇠고기 생산이 환경에 미치는 영향을 완화하기 위한 중요한 단계이며, 보다 지속가능한 소고기 생산을 위해서는 메탄배출저감 매커니즘별 전략적인 접근이 필요함.
- 장내 발효 메탄배출 저감 기술은 다음과 같은 네가지 메탄생성억제기작으로 구분할 수 있음. 메탄 생성에 관여하는 효소 촉매 반응 차단, 반추위에서 생성되는 수소에 대하여 탄소와 경쟁하는 대체 전자 수용체 제공, 미생물 군집 생태와 그에 따른 발효산물을 목표로 하는 전략, 가축의 시스템 기반의 변경.

가. 반추위 내 메탄생성 억제 기작별 메탄배출 저감 기술

1) 메탄생성에 관여하는 효소 촉매 반응 차단

○ 아스파라곰시스 (Asparagopsis)

- 갈조류에 속하는 아스파라곰시스를 동결건조한 분말 형태로 급이하며, 아스파라곰시스에 풍부한 할로메탄인 브로모포름은 반추위 내 메탄생성균에 의한 메탄생성 마지막 단계에서 메틸조효소M환원효소에 작용하여 메탄생성을 억제하는 역할을 함^{164)165).}

164) Liu, H., et al. (2011). "Chemical inhibitors of methanogenesis and putative applications." Applied Microbiology and Biotechnology 89(5): 1333-1340.

- 메탄발생 억제효과는 In vitro 실험에서 99% 가까이 나타나며, 반추위 내 메탄발생 억제 효과는 아스파라곰시스의 유효성분인 브로모포름 (CHBr₃)의 농도에 따라 다르며, 급이 사료의 종류, 사료의 NDF수준, 동물의 생리활성 등 여러 요인에 따른 가변성이 큼¹⁶⁶⁾¹⁶⁷⁾.
- 첨가제 급이수준의 일관성이 필요하며, 매일 급여해에 하는 보충제 형태이기 때문에 사육장 사육에 적합하며¹⁶⁸⁾, 방목지 육우에 적용하기 위해서는 급이를 위한 기술적 보완이 필요함.
- 아스파라곰시스의 포식자로부터 방어기작으로 생성되는 브로모포름은 항균작용을 가지고 있으며 특유의 쓴맛을 내기 때문에, 아스파라곰시스 동결건조분말을 고농도 급여시에 사료섭취량이 감소할 수 있음. 또한 고농도 급여시 브로모포름이 체내에 축적되어 식품으로 전달될 위험이 있으며, 동물에 독성 위험이 될 수 있기 때문에 아스파라곰시스를 반추동물 사료로 사용시 독성학적 위험평가가 필요하다는 의견이 있음¹⁶⁹⁾¹⁷⁰⁾.
- 갈조류 이용 메탄저감제 생산 기술은 상당부분 국산화 되어 있음 (구멍갈파래, 팽생이모자반 등). 메탄저감효과의 정량화뿐만 아니라 식품 안전성 평가 필요함.
- 메탄발생억제 효과 : 평균 49% (9-98%)¹⁷¹⁾.
- 국내 도입 잠재적 허들 : 비용, 규제승인, 동물의 안전, 소비자 수용.

165) Glasson, C. R. K., et al. (2022). "Benefits and risks of including the bromoform containing seaweed *Asparagopsis* in feed for the reduction of methane production from ruminants." *Algal Research* 64: 102673.

166) Roque BM, Venegas M, Kinley RD, de Nys R, Duarte TL, Yang X, et al. Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *Plos one*. 2021;16(3):e0247820.

167) Ridoutt B, Lehnert SA, Denman S, Charmley E, Kinley R, Dominik S. Potential GHG emission benefits of *Asparagopsis taxiformis* feed supplement in Australian beef cattle feedlots. *Journal of Cleaner Production*. 2022;337:130499.

168) Ridoutt B, Lehnert SA, Denman S, Charmley E, Kinley R, Dominik S. Potential GHG emission benefits of *Asparagopsis taxiformis* feed supplement in Australian beef cattle feedlots. *Journal of Cleaner Production*. 2022;337:130499.

169) Roque BM, Venegas M, Kinley RD, de Nys R, Duarte TL, Yang X, et al. Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *Plos one*. 2021;16(3):e0247820.

170) Glasson, C. R. K., et al. (2022). "Benefits and risks of including the bromoform containing seaweed *Asparagopsis* in feed for the reduction of methane production from ruminants." *Algal Research* 64: 102673.

171) Karen A. Beauchemin, et al., Invited review: Current enteric methane mitigation options, *Journal of Dairy Science*, Volume 105, Issue 12, 2022, Pages 9297-9326, <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22091>.

○ 3-nitrooxypropanol(3-NOP)

- 네덜란드 DSM사에서 개발한 합성물질로 메틸코엔자임 M 환원효소 (methyl- coenzyme M reductase, MCR)를 표적으로 하여 선택적으로 결합하고 반추위 발효 동안 메탄형성의 촉매작용을 일시적으로 억제/비활성화 함¹⁷²⁾.
- 반추동물의 장내 메탄생성 억제 효과는 30~90% 이상 감소되는 것으로 보고되고 있으며, 3-NOP 급이 농도, 급이 사료의 종류, 조사료/농후사료 비율, 사료의 NDF 수준, 함께 급이되는 첨가물 등 억제효과에의 가변요인이 있음¹⁷³⁾.
- 3-NOP 급이시 메탄 억제 효과가 빠르게 나타나는 반면 급이 중지 시 6시간 이내 효과가 사라지기 때문에¹⁷⁴⁾, 현재 기술 수준에서는 방목장 또는 착유우에 적용이 용이하며, 방목장 기술 적용에 대한 연구 필요성이 제시됨.
- 출생 직후 이유기동안 급여하여 반추위 내 미생물 조성 변화 및 변화된 미생물 조성의 고정 가능성이 제시됨¹⁷⁵⁾.
- 3-NOP는 합성물질이기 때문에 동물사료로 사용 시 각 국가별 등록 및 사용승인이 요구되며, 식품 내 잔류물에 대한 안전성 검증과 합성화합물 사용에 대한 소비자의 이해가 필요함.
- 메탄발생억제효과 : 30-90% 이상.
- 국내 도입 잠재적 허들 : 비용, 규제승인, 소비자수용.

172) Duin, E. C., Wagner T., Shima S., Prakash D., Cronin B., Yáñez-Ruiz D. R., Duval S., Rumbeli R., Stemmler R. T., Thauer R. K., . et al. 2016. Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113:6172-6177.

173) Alemu AW, Shreck AL, Booker CW, McGinn SM, Pekrul LKD, Kindermann M, et al. Use of 3-nitrooxypropanol in a commercial feedlot to decrease enteric methane emissions from cattle fed a corn-based finishing diet. *J Anim Sci.* 2021;99(1)

174) Hristov AN, Melgar A. Short communication: Relationship of dry matter intake with enteric methane emission measured with the GreenFeed system in dairy cows receiving a diet without or with 3-nitrooxypropanol. *Animal.* 2020;14:s484-s90.

175) Meale SJ, Popova M, Saro C, Martin C, Bernard A, Lagree M, et al. Early life dietary intervention in dairy calves results in a long-term reduction in methane emissions. *Scientific Reports.* 2021;11(1):3003.

2) 반추위에서 생성되는 수소에 대하여 탄소와 경쟁하는 전자수용체 제공

○ 식이지질(Lipid)

- 반추동물에 지질보충은 반추위내에서 사료발효를 억제하고 원생동물과 메탄발생균의 개체수를 감소시키며, 반추위에서 발생하는 수소(H₂)를 불포화 지방산의 상체수소화 방향으로 전환하여 메탄발생을 억제함¹⁷⁶⁾¹⁷⁷⁾¹⁷⁸⁾.
- 식물성 오일(올리브유, 해바라기씨유, 아마씨유)을 6% DM 급이하였을 때 일일 장내메탄배출량이 각 24.5%, 23.6%, 21.7% 감소¹⁷⁹⁾, 방목우에 카놀라오일을 1.2g/BW 급여하였을 때 일일 사료섭취량 대비 메탄배출량이 17.5% 감소하였음¹⁸⁰⁾. 식이지방 급이량 1% 증가시마다 메탄배출 4-5%감소¹⁸¹⁾.
- 다양한 식이지질에 대한 메탄억제 효과가 확인되었으나 지질별로 차이가 크고(7.5~34%), 지질의 종류 또는 급이 하는 양에 따라 사료섭취량이 감소할 수 있음¹⁸²⁾. 총 건물섭취량의 6-7%를 초과하지 않도록 급이해야 함¹⁸³⁾.
- 메탄생성 억제 효과 : 체중증가 대비 평균 22.5% 감소¹⁸⁴⁾.
- 국내 적용 잠재적 허들 : 비용, 기술적 지원.

-
- 176) Beauchemin, K. A., Ungerfeld E. M., Eckard R. J., and Wang M. 2020. Review: Fifty years of research on rumen methanogenesis: lessons learned and future challenges for mitigation. *Animal* 14 (S1) :s2-s16. doi: 10.1017/S1751731119003100
- 177) Johnson, K. A., and Johnson D. E. . 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 73:2483-2492. doi: 10.2527/1995.7382483x
- 178) Bunglavan, S. J. 2014. Methanogenesis and recent techniques for mitigation of methanogenesis in ruminants. *J. Livest. Sci.* 5:35-48.
- 179) Vargas JE, Andrés S, López-Ferreras L, Snelling TJ, Yáñez-Ruiz DR, García-Estrada C, et al. Dietary supplemental plant oils reduce methanogenesis from anaerobic microbial fermentation in the rumen. *Scientific Reports*. 2020;10(1):1613.
- 180) Avilés-Nieto JN, Márquez-Mota CC, Hernández-Medrano JH, Ramírez-Bribiesca JE, Castillo-Gallegos E, Plascencia A, et al. Effect of canola oil supplementation level on total tract digestion, ruminal fermentation, and methane emissions of cows grazing *Urochloa* sp. supplemented with a fixed amount of concentrate. *Trop Anim Health Prod.* 2023;55(2):77.
- 181) Beauchemin, K., Kreuzer, M., O'Mara, F., and McAllister, T. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture-AUST J EXP AGR*, 48. <http://doi.org/10.1071/EA07199>.
- 182) Fiorentini G, Carvalho IPC, Messana JD, Castagnino PS, Berndt A, Canesin RC, et al. Effect of lipid sources with different fatty acid profiles on the intake, performance, and methane emissions of feedlot Nellore steers¹. *Journal of Animal Science*. 2014;92(4):1613-20.
- 183) Honan, M., Feng, X., Tricarico, J. M., and Kebreab, E. (2021). *Animal Production Science*. <https://doi.org/10.1071/AN20295>.
- 184) Arndt C, Hristov AN, Price WJ, McClelland SC, Pelaez AM, Cueva SF, et al. Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5°C target by 2030 but not 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022;119(20):e2111294119.

○ 모넨신(Monensine)

- 모넨신은 대표적인 이오노포어(ionophores; 이온운반체)로서 포름산염을 생성하는 미생물의 활동을 억제하여 반추위내 메탄 생성을 억제함¹⁸⁵⁾.
- 닭 콕시듐병 치료를 위해 개발된 항생물질로 항원충작용을 하며¹⁸⁶⁾, 반추동물에 급여시 Na, K대사에 관여, 반추위 미생물 조성에 관여, 아미노산의 탈아미노화 감소를 통해 우유 및 고기 생산의 효율성이 개선되어¹⁸⁷⁾, 최종적으로 사료전환효율을 향상시켜 동물 생산성을 향상 시킴. 결과적으로 생산성 증가로 최종 단위생산물에 대한 메탄배출을 감소시키는 효과 가져옴.
- 모넨신의 급여량, 사료의 NDF함량에 따라 메탄생성억제 효과가 다르며, 낙농우보다 비육우에서 더 강한 항메탄효과를 나타냄. 최근 연구결과에 의하면 3-NOP 또는 Asparagopsis 건조물과 혼합급여하여 상호간섭 없이 메탄저감 효과가 나타나는 것이 입증됨¹⁸⁸⁾¹⁸⁹⁾.
- 많은 국가에서 비육우와 낙농우의 생산성 향상을 위해 모넨신을 사용하고 있지만, 국내에서는 방어적 항생제 사용이 금지되어 있어 메탄저감 기술로 도입 장벽이 있음. 또한 전 세계적으로 항생제내성균에 대한 우려로 사용이 더욱 제한될 수 있음. 항생제 사용이 엄격한 EU에서 항생제 대용으로 에센셜오일 또는 프로바이오틱스를 채택하고 있음¹⁹⁰⁾.
- 메탄생성억제 효과 : 일일 메탄 발생량의 5% 감소¹⁹¹⁾.
- 국내 적용 잠재적 허들 : 규제 승인, 소비자 수용.

185) Kobayashi, Y., 2010. Abatement of methane production from ruminants: trends in the manipulation of rumen fermentation. Asian Australas. J. Anim. Sci. 23, 410-416.

186) Russell JB, Strobel H. Effect of ionophores on ruminal fermentation. Applied and environmental microbiology. 1989 Jan;55(1):1-6.

187) McGuffey RK, Richardson LF, Wilkinson JL. Ionophores for dairy cattle: current status and future outlook. Journal of Dairy Science. 2001 Jun 1;84:E194-203.

188) Kinley RD, Martinez-Fernandez G, Matthews MK, de Nys R, Magnusson M, Tomkins NW. Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. Journal of Cleaner Production. 2020;259:120836.

189) Alemu AW, Shreck AL, Booker CW, McGinn SM, Pekrul LKD, Kindermann M, et al. Use of 3-nitrooxypropanol in a commercial feedlot to decrease enteric methane emissions from cattle fed a corn-based finishing diet. J Anim Sci. 2021;99(1)

190) An evaluation of evidence forefficacy and applicability ofmethane inhibiting feedadditives for livestock

191) Appuhamy JA, Strathe AB, Jayasundara S, Wagner-Riddle C, Dijkstra J, France J, et al. Anti-methanogenic effects of monensin in dairy and beef cattle: a meta-analysis. J Dairy Sci. 2013;96(8):5161-73.

○ 질산염(Nitrate)

- 질산염은 대표적인 대체전자수용체로, 질소(N)는 반추위 내에서 메탄 생성에 사용되는 수소이온(H⁺)을 이용하여 암모늄으로 환원되어 미생물단백질에 통합되어 단백질원으로 쓰이거나 반추위 벽으로 흡수되어 요소로 전환됨¹⁹²⁾.
- 질산염은 화학적 구조가 간단하고 쉽게 이용이 가능한 안정적인 합성물질로 메탄을 줄이는 메커니즘이 간단하여 혼합사료에 적용하기 적합함. 질산염의 메탄저감효과는 질산염 급여량 대비 저감효과가 높아지며, 평균용량 1g/kg을 증가시키면 질산염에 대한 항메탄효과가 향상되었고, 메탄저감 효과는 육우보다 젖소에서 큼¹⁹³⁾. 질산염 공급원으로 질산칼슘1% 급여시 메탄발생을 10% 감소하였음.
- 질산염 급여량이 많아지면 메탄저감효과는 증가하지만 동물에 질산염중독 등의 독성을 유발할 수 있고, 유유나 고기와 같은 생산물에 아질산염 잔류 위험이 존재함¹⁹⁴⁾. 때문에 질산염 농도는 하루 급여량의 2%를 넘지 않는 것을 권장. 보다 광범위한 적용을 위해 서방정 제제 개발의 필요성이 제기되고 있음.
- 반추위 분해성 질소가 부족한 조사료를 공급하는 경우 질소 보충제로 사용하는 요소에 대한 대안책으로 질산염을 사용할 수 있으나, 사료첨가제 등급의 질산염의 가격이 허들이 될수 있음.
- 메탄발생억제 효과 : 메탄생성 평균 약 14% 감소¹⁹⁵⁾
- 국내 도입 잠재적 허들 : 비용, 규제승인, 동물의 안전, 소비자 수용.

192) C. Yang, J.A. Rooke, I. Cabeza, R.J. Wallace, Nitrate and inhibition of ruminal methanogenesis: Microbial ecology, obstacles, and opportunities for lowering methane emissions from ruminant livestock. *Front. Microbiol.*, 7 (2016), p. 132 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00132>

193) Feng X, Dijkstra J, Bannink A, Van Gastelen S, France J, Kebreab E. Antimethanogenic effects of nitrate supplementation in cattle: A meta-analysis. *Journal of dairy science*. 2020;103(12):11375-85.

194) Lee, C. and K. A. Beauchemin (2014). "A review of feeding supplementary nitrate to ruminant animals: nitrate toxicity, methane emissions, and production performance.

195) Feng X, Dijkstra J, Bannink A, Van Gastelen S, France J, Kebreab E. Antimethanogenic effects of nitrate supplementation in cattle: A meta-analysis. *Journal of dairy science*. 2020;103(12):11375-85.

3) 미생물 군집 생태와 그에 따른 발효산물 조절

○ 탄닌과 사포닌(Tannin and Saponin)

- 탄닌은 단백질 및 기타 화합물에 결합하는 성질을 가지고 있는 식물의 폴리페놀로, 직접적으로 메탄생성물질의 억제하거나 간접적으로 원생동물에 페놀-식이단백질 복합체를 형성하여 소화 가능한 바이페스 단백질 흐름을 개선함¹⁹⁶⁾. 사포닌은 원생동물의 세포막을 용해시키고 메타노겐을 억제하여 프로피온산 생성이 촉진됨¹⁹⁷⁾.
- 탄닌추출물은 소화율에 부정적인 영향을 미칠 수 있음. 가수분해성 탄닌은 소화율에 부정적인 영향을 미치지 않는 반면 메탄 생성을 효과적으로 줄일 수 있으나 고농도(DM30g/kg) 이상 급이시 반추위에서 동물에 독성영향을 가질 수 있는 대사산물이 만들어질 수 있음¹⁹⁸⁾.
- 사포닌을 추출하는 원료식물에 따라 메탄배출저감 효과가 달라질 수 있으며, 사포닌의 동물실험 결과는 한정적임¹⁹⁹⁾. 또한 식물사포닌의 소비는 인간과 경쟁관계에 있어 상용화에 어려움이 예상됨.
- 탄닌과 사포닌은 특유의 떼은맛과 쓴맛 때문에 적정량 이상 급이시 사료 섭취율이 감소할 수 있음²⁰⁰⁾²⁰¹⁾.
- 메탄생성억제 효과 : 탄닌 5.9%²⁰²⁾, 사포닌 8.6%²⁰³⁾.
- 국내 적용 잠재적 허들 : 비용, 규제 승인, 동물의 안전, 기술적 지원.

196) Aboagye IA, Beauchemin KA. Potential of molecular weight and structure of tannins to reduce methane emissions from ruminants: A review. *Animals*. 2019;9(11):856.

197) Adegbeye MJ, Elghandour MM, Monroy JC, Abegunde TO, Salem AZ, Barbabosa-Pliego A, et al. Potential influence of Yucca extract as feed additive on greenhouse gases emission for a cleaner livestock and aquaculture farming-A review. *Journal of Cleaner Production*. 2019;239:118074.

198) Aboagye IA, Beauchemin KA. Potential of molecular weight and structure of tannins to reduce methane emissions from ruminants: A review. *Animals*. 2019;9(11):856.

199) Jayanegara, A., et al. (2014). "Meta-analysis on methane mitigating properties of saponin-rich sources in the rumen: influence of addition levels and plant sources." *Asian-Australasian journal of animal sciences* 27(10): 1426.

200) Jayanegara, A., et al. (2012). "Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments." *Journal of animal physiology and animal nutrition* 96(3): 365-375.

201) Jayanegara, A., et al. (2014). "Meta-analysis on methane mitigating properties of saponin-rich sources in the rumen: influence of addition levels and plant sources." *Asian-Australasian journal of animal sciences* 27(10): 1426.

202) Orzuna-Orzuna JF, Dorantes-Iturbide G, Lara-Bueno A, Mendoza-Martínez GD, Miranda-Romero LA, Hernández-García PA. Effects of dietary tannins' supplementation on growth performance, rumen fermentation, and enteric methane emissions in beef cattle: a meta-analysis. *Sustainability*. 2021;13(13):7410.

203) Ridla M, Laconi E, Jayanegara A, editors. Effects of saponin on enteric methane emission and nutrient digestibility of ruminants: An in vivo meta-analysis. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 2021: IOP Publishing.

○ 식물유래 에센셜 오일(Plant-derived essential Oil)

- 에센셜 오일은 허브 또는 향신료와 같은 식물에서 독특한 향미와 풍미를 담당하는 대사산물(휘발성 방향족 화합물)을 추출한 물질로 향균활성을 가짐²⁰⁴).
- 계피(신남알데하이드), 마늘(알리신), 오레가노(카르바크롤) 등 다양한 에센셜 오일에서 메탄저감효과(배출강도 4-15% 감소) 검증됨²⁰⁵. 알리신 등 일부 에센셜 오일성분은 현재 메탄저감제로 상용화 되어 있음(Mootral, Agolin 등, 국외 기술현황 참고).
- 대부분의 에센셜오일의 메탄저감 효과 검증은 In vitro 실험으로 직접적인 동물실험 결과는 많지 않음. 동물실험에서 메탄저감효과는 식이 및 사료의 화학적 조성, 에센셜오일의 농도/양이 가변요인으로 작용함²⁰⁶).
- 생산물에 잔류가능성 있음, 에센셜 오일의 취급 및 급이시 유효성분의 안정성 및 휘발성에 대한 우려가 있으며, 급이 방법 등의 이유로 사육장 반추동물에 적합함.
- 메탄발생억제 효과: 일일 메탄발생량 평균 7.3% 감소²⁰⁷).
- 국내 도입 잠재적 hurdle : 비용, 기술적 지원.

204) Benchaar C, Greathead H. Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 2011;166:338-55.

205) Arndt C, Hristov AN, Price WJ, McClelland SC, Pelaez AM, Cueva SF, et al. Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5°C target by 2030 but not 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022;119(20):e2111294119.

206) Bodas R, Prieto N, García-González R, Andrés S, Giráldez FJ, López S. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Animal Feed Science and Technology*. 2012;176(1):78-93.

207) Arndt C, Hristov AN, Price WJ, McClelland SC, Pelaez AM, Cueva SF, et al. Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5°C target by 2030 but not 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022;119(20):e2111294119.

○ 저배출 사료(Low emission feed)

- 메탄배출 또는 질소배출이 적은 사료작물을 동물에 제공하여 환경부담을 줄이는 방법으로, 주로 초지작물의 종류 및 적정 높이 설정 등 방목지 적용을 목적으로 연구되어 있음.
- 성숙도가 낮은 다년생 콩과작물은 목초보다 NDF가 낮으며 탄닌과 사포닌 성분이 있어 장내 메탄생성을 감소시킴. 질경이는 질소감소 사료로 알려져 있는데²⁰⁸⁾, 목초보다 NDF가 낮아 메탄생성을 감소시키는 효과가 증명됨.²⁰⁹⁾
- 탄수화물 농도가 높을수록, NDF수준이 낮을수록 메탄생성이 적으며, 항질소 또는 요소분해 억제 물질을 포함하고 있어 질소배출이 적음(GM라이스라스, 사탕무, 다년생콩과작물, 질경이 등)²¹⁰⁾
- 국내 다수 메탄 저감 사료 연구 진행중²¹¹⁾²¹²⁾ (조사료의 종류, 급이 형태, 조사료와 농후사료 비율, 급이 순서 등 다방면으로 연구가 진행). 사료작물에 따라 또는 급이 방법에 따라 메탄발생억제 효과가 상대적으로 다를 수 있어, 국내 사육조건에 맞는 저배출사료에 대한 메탄배출 감소 효과에 대한 정량적인 검증이 필요함.
- 메탄발생억제 효과 : 8-9%(²¹³⁾).
- 국내 도입 잠재적 허들 : 비용, 기술적 지원.

208) Waghorn G, Griffin A, Bryant M, Dalley D. Digestion and nitrogen excretion by Holstein-Friesian cows fed grasses with lucerne or lucerne and plantain. *Animal Production Science*. 2018 Aug 1;59(6):1070-80.

209) DDella Rosa MM, Sandoval E, Luo D, Pacheco D, Jonker A. Effect of feeding fresh forage plantain (*Plantago lanceolata*) or ryegrass-based pasture on methane emissions, total-tract digestibility, and rumen fermentation of nonlactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2022;105(8):6628-38. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21757>

210) Beauchemin KA, Ungerfeld EM, Abdalla AL, Alvarez C, Arndt C, Becquet P, et al. Invited review: Current enteric methane mitigation options. *Journal of Dairy Science*. 2022;105(12):9297-326.

211) Lee Y, Lee S, Seong P, Lee S, Baek Y, et al. The Effects of Feeding Order of Roughages and Concentrates on *in vitro* Rumen Fermentation, Total Gas and Methane Production in Hanwoo [Intern et]. Vol. 41, *Journal of The Korean Society of Grassland and Forage Science*. The Korean Society of Grassland and Forage Science; 2021. p. 119-27. Available from: <http://dx.doi.org/10.5333/kgfs.2021.41.2.119>

212) 오영균, 김도형, 문상호, 박재현, 남인식, 김경훈. 다양한 조사료 급여조건에서 한우 암소 경산우의 에너지분배 및 메탄배출량. *한국초지조사료학회지*. 2014;34(4):283-7.

213) Arndt C, Hristov AN, Price WJ, McClelland SC, Pelaez AM, Cueva SF, et al. Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5°C target by 2030 but not 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022;119(20):e2111294119.

○ 항메탄백신(Methane vaccine)

- 메탄백신은 반추위의 메탄생성균의 성장을 억제하는 항체의 생성을 유도하는 역할을 하는 백신으로, 반추위의 메탄생성균을 직접 억제함.
- 현재 호주와 뉴질랜드에서 메탄백신에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며²¹⁴⁾, 백신에 의해 메탄생성을 억제하는 물질이 타액을 통해 반추위 내로 전달하는 것을 목적으로 하고 있음²¹⁵⁾.
- 양의 반추위에서 대표적인 3종의 메탄생성균에 대한 백신을 접종했을 때 사료섭취량 대비 메탄생성량이 7.7% 감소하였음²¹⁶⁾. 품종과 사육조건에 대한 메탄생성균의 스펙트럼이 넓어 개발이 쉽지 않고, In vitro수준의 연구가 대부분임. 젖소 또는 비육우의 생체내에서 메탄생성에 대해 발표된 연구 결과는 찾을 수 없었으며, 메탄백신을 소고기 지속가능성을 목적으로 현장에 적용하기까지는 더 많은 연구가 필요함²¹⁷⁾.
- 메탄생성억제 효과 : 30% 정도로 예상(학술적 근거는 부족함).
- 국내 적용 잠재적 허들 : 비용, 기술적 지원, 규제 승인, 소비자 수용.

○ 프로바이오틱스(Probiotics)

- 프로바이오틱스는 프로피오네이트 형성 세균과 젖산생성균 등 유용미생물을 반추위에 직접 공급하여 반추위 환경을 개선하는 방법으로, 오래전부터 반추동물의 성장과 사료효율성을 개선을 목적으로 연구개발이 이루어지고 있음.

214) <https://www.ccaae.govt.nz/projects/methane-vaccine-research/>

215) Subharat S, Shu D, Zheng T, Buddle BM, Janssen PH, Luo D, Wedlock DN. Vaccination of cattle with a methanogen protein produces specific antibodies in the saliva which are stable in the rumen. Veterinary immunology and immunopathology. 2015 Apr 15;164(3-4):201-7.

216) Wright AD, Kennedy P, O'Neill CJ, Toovey AF, Popovski S, Rea SM, Pimm CL, Klein L. Reducing methane emissions in sheep by immunization against rumen methanogens. Vaccine. 2004 Sep 28;22(29-30):3976-85.

217) Baca-González V, Asensio-Calavia P, González-Acosta S, Pérez de la Lastra JM, Morales de la Nuez A. Are Vaccines the Solution for Methane Emissions from Ruminants? A Systematic Review. Vaccines. 2020;8(3):460.

- In vitro 실험에서 호모아세트젠, 푸마르산 환원 박테리아, 질산염/아질산염 환원 박테리아의 반추미생물의 메탄배출을 낮추는 능력이 평가되어 있으며, 일부 연구에서 소의 반추위에서 논프로피오니박테리아에 의해 프로피오네이트가 증가한 것으로 나타남²¹⁸⁾²¹⁹⁾.
- 다양한 프로바이오틱스 제품이 가축사료용으로 승인되어 있어 상업적으로 사용이 가능하지만, 상용화되어있는 제품들에 대한 메탄배출저감효과에 대한 정량적인 평가는 제시되어 있지 않음.
- 메탄생성억제 효과 : 1-9% 일일 메탄배출량 감소²²⁰⁾.
- 국내 적용 잠재적 허들 : 비용, 규제승인.

4) 동물 시스템 기반의 변경

○ 생산능력 향상

- 유전적 생산능력 향상을 통해 최종 생산물의 온실가스 배출강도는 감소함²²¹⁾. 우리나라는 거대한우선발-육종에 대한 연구가 진행되고 있음. 생산성 향상을 통한 반추동물의 온실가스 배출 강도를 낮추는 것은 농민의 수익을 높이고 동시에 메탄발생을 감소하게 하는 전략으로 접근²²²⁾.
- 메탄생성억제 효과 : 생산성 향상으로 평균 약 6% 일일 메탄배출량을 감소시켰다는 분석 결과가 있지만, 자료의 신뢰도가 높지 않음²²³⁾.
- 국내 적용 잠재적 허들 : 비용, 기술적 지원.

218) Doyle, N., et al. (2019). "Use of lactic acid bacteria to reduce methane production in ruminants, a critical review." *Frontiers in Microbiology* 10: 2207.

219) Lehloeny, K., et al. (2008). "Effects of propionibacteria and yeast culture fed to steers on nutrient intake and site and extent of digestion." *Journal of dairy science* 91(2): 653-662.

220) Arndt C, Hristov AN, Price WJ, McClelland SC, Pelaez AM, Cueva SF, et al. Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5°C target by 2030 but not 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022;119(20):e2111294119.

221) Worden D, Hailu G. Do genomic innovations enable an economic and environmental win-win in dairy production? *Agricultural Systems*. 2020;181:102807.

222) 제8차 농업과학기술 중장기 연구개발계획('23'32) 2023년도 시행계획(안)(2023.4.27.)

223) Arndt C, Hristov AN, Price WJ, McClelland SC, Pelaez AM, Cueva SF, et al. Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5°C target by 2030 but not 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022;119(20):e2111294119.

○ 저메탄 개체 선발

- 동물 자체에서 반추위 미생물군을 어느 정도 통제할 수 있는지에 대한 연구가 진행중이며 몇몇 연구에서 동물의 methagenomics 의 유효함에 대한 가능성을 제시됨²²⁴⁾²²⁵⁾.
- 일본의 경우 정부가 주도하는 ‘Moonshot program’에서 소 반추미생물 군집의 완전한 통제를 통한 가축 생산시스템을 실현시키는 프로젝트가 구성되어 있으며²²⁶⁾, 뉴질랜드의 NZAGRC는 국가메탄변식프로그램이라는 메탄을 적게 배출하는 소에 대한 연구 지원을 하고 있음²²⁷⁾.
- 젖소(홀스타인) 수소 저메탄개체를 선발, 육종하여 메탄효율변식을 목적으로 한 저메탄 홀스타인 정액 출시(캐나다 Semex사, 2023년 4월 proof), 유전적으로 반추위 내 메탄발생이 적은 개체의 정액을 판매하고 있음²²⁸⁾, 메탄배출을 20%정도 감소시킨다고 예상하고 있으나, 아직까지 메탄배출 감소와 관련된 학술적 근거는 찾을 수 없음.
- 메탄생성억제 효과 : 평균 약 17% 일일 메탄배출량을 감소시켰다는 분석 결과가 있지만, 자료의 신뢰도가 높지 않음²²⁹⁾.
- 국내 적용 잠재적 허들 : 비용, 기술적 지원.

5) 토지 사용량

- 쇠고기 생산에서 탄소배출을 상쇄하기 위한 탄소격리기술은 동물의 효율성을 증가시키는 방법과 함께 적용할 수 있는 전략중 하나이며, 일반적으로 새로운 목초지 또는 방목지를 조성하는 것을 의미함.

224) Li F, Hitch TCA, Chen Y, Creevey CJ, Guan LL. Comparative metagenomic and metatranscriptomic analyses reveal the breed effect on the rumen microbiome and its associations with feed efficiency in beef cattle. Microbiome. 2019;7(1):6.

225) Ramayo-Caldas Y, Zingaretti L, Popova M, Estellé J, Bernard A, Pons N, et al. Identification of rumen microbial biomarkers linked to methane emission in Holstein dairy cows. Journal of Animal Breeding and Genetics. 2020;137(1):49-59.

226) <https://www8.cao.go.jp/cstp/english/moonshot/top.html>

227) <https://www.nzagrc.org.nz/domestic/methane-research-programme/breeding-low-emitting-dairy-cattle/>

228) <http://semex.com.au/downloads/sitefiles/en/MethaneLaunchAd-0323.pdf>

229) Arndt C, Hristov AN, Price WJ, McClelland SC, Pelaez AM, Cueva SF, et al. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2022;119(20):e2111294119.

- 토지를 기반으로 하는 전략은 나무심기 또는 탄소가 풍부한 유기퇴비 살포, 목초지 조성, 토양의 탄소격리 또는 토양으로의 질소배출 조절 등 방목지와 산림의 관리 개선을 통해 토양과 식물에 탄소를 고정할 수 있음²³⁰⁾.
- 지역적, 기후적 특성에 따라 방목지 관리 개선만으로 쇠고기 생산에서 탄소발생 순제로 달성이 가능할 것이라는 연구 결과가 있으나 ²³¹⁾²³²⁾, 국내 한우사육환경(사육장)과 같이 사육 효율성이 이미 극대화된 지역에서는 추가적인 탄소배출 감소 잠재력은 크지 않음²³³⁾.

나. 국외 장내메탄저감 기술개발 현황

- 그림49는 반추위 메탄생성 억제 사료첨가제 분야 특허혁신에 대한 주요 양적평가를 나타낸 그림으로, 가로축은 특허군의 평균 등록 후 기간 (average age)을 나타내고 세로축은 2차 특허에서 인용된 횟수로 발명 자체의 가치를 의미함.
- 프로바이오틱스 관련 특허(미국 LOCUS 주도)가 가장 많았음. 최근 4년간 메탄저감 사료첨가제 분야에 진입한 기술들 중 1-2년 사이 대형조류기반첨가제 (호주 CSIRO주도), 캡슐화된 질산염(브라질 GRASP), 3-NOP(네덜란드DSM), 식물추출물 등의 신흥기술들이 개발 잠재력이 높은 것으로 나타남²³⁴⁾.
- 주요 장내메탄생성저감 사료첨가제 중 상용화 되었거나 상용화를

230) Gravuer, K., et al. (2019). "Organic amendment additions to rangelands: A meta-analysis of multiple ecosystem outcomes." *Global Change Biology* 25(3): 1152-1170.

231) Mendes, L. B., et al. (2016). "Simulation of enteric methane emissions from individual beef cattle in tropical pastures of improving quality: a case study with the model RUMINANT." *Advances in Animal Biosciences* 7(3): 233-234.

232) Stanley, P. L., et al. (2018). "Impacts of soil carbon sequestration on life cycle greenhouse gas emissions in Midwestern USA beef finishing systems." *Agricultural Systems* 162: 249-258.

233) Cheung, R., McMahon, P., Norell, E., Kissel, R., & Benz, D. (2017). Back to grass: The market potential for US grassfed beef. https://www.stonebarnscenter.org/wp-content/uploads/2017/10/Grassfed_Full_v2.pdf

234) Caprarulo, V.; Ventura, V.; Amatucci, A.; Ferronato, G.; Gilioli, G. Innovations for Reducing Methane Emissions in Livestock toward a Sustainable System: Analysis of Feed Additive Patents in Ruminant s. *Animals* 2022, 12, 2760. <https://doi.org/10.3390/ani12202760>

앞두고 있는 기술들에 대한 개발현황에 대해 자세히 살펴보면 다음과 같음.

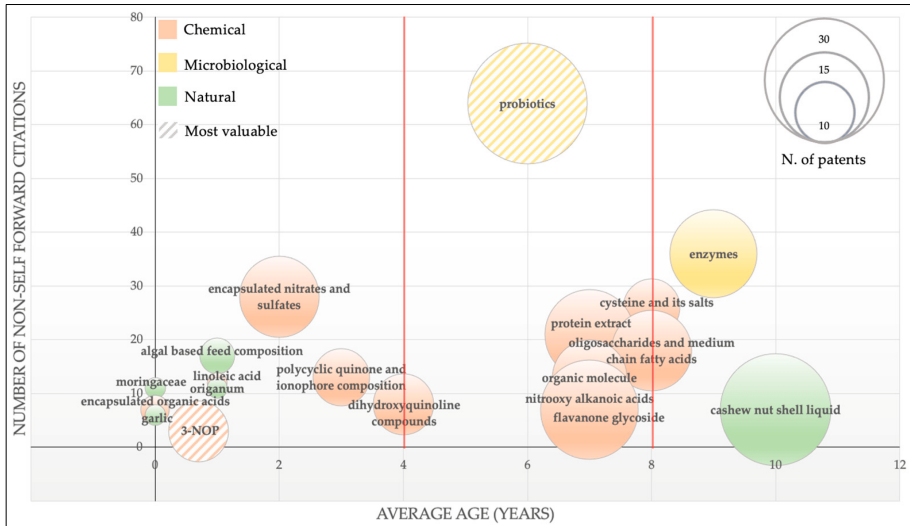


그림 49. 반추위 메탄생성 억제 사료첨가제분야 특허혁신에 대한 양적 평가 (출처:(Caprarulo 등, 2022))

1) 아스파라곰시스(Asparagopsis)

- 호주 식육공사(Meat & Livestock Australia; MLA)의 지원을 받는 연방과학산업연구기구(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization; CSRIO)와 James Cook University의 연구팀이 최초로 *Asparagopsis taxiformis* 건조분말을 이용한 in vitro 실험에서 반추위 메탄 배출이 획기적으로 줄어드는 것을 확인²³⁵⁾.
- 이후 여러 나라에서 In vivo 실험을 통해 반추위 내 메탄발생의 80%이상 감축 가능성 확인함. CSRIO는 특허관리와 기술 라이선스를 담당하는 'Future Feed'사를 설립함. 'Future Feed'사는 호주, 미국, 유럽 등에 9개사와 라이선스 계약을 맺고 있으며(그림48), 일본기업과도 라이선스 계약을 위한 협의중²³⁶⁾.

235) <https://www.future-feed.com/about>



그림 50. 호주 “Future Feed”사의 아스파라곰시스 생산/가공 업체 라이선스 계약 현황 (2023.09.검색; <https://www.future-feed.com>)

- CH4 Global 사에서 2023년 출시한 ‘Methane TamerTM’은 Feedlot(사육장) 시스템에서 사용을 목적으로 하고 있음. 호주와 뉴질랜드 자회사에서 아스파라곰시스의 해양양식 및 육상양식을 으로 생산하고 있음²³⁷⁾.
 - *CH4 Global 사는 미국 네바다주 헨더슨에 본사를 두고 있으며, 호주(CH4 Australia)와 뉴질랜드(CH4 Aotearoa)에 자회사를 두고 있으며, 글로벌 공급을 목적으로 하고 있음.
- 호주의 Sea Forest 사는 세계최초 상업규모 아스파라곰시스 재배 시설을 보유하고 있으며, 카놀랄오일을 이용하여 메탄저감 유효성분인 브로모포름(CHBr₃) 추출기술 개발하여 유효성분의 휘발성과 특유의 쓴맛을 해결함²³⁸⁾
 - * 항메탄 유효성분인 브로모프름(CHBr₃)은 휘발성이 높음.
- 미국의 블루오션반스(Blue Ocean Barns) 기업의 아스파라곰시스

236) 한국농촌경제연구원, 해외곡물산업 포커스, 해외곡물시장 동향.2023 제12권 3호, 188-197
 237) <https://www.ch4global.com/about/> (2023.09.접속)
 238) <https://www.seaforest.com.au>

건조분말 사료첨가제 ‘Brominata™’는 캘리포니아 식품농업부 (California Department of Food and Agriculture)에서 GRAS (일반적으로 안전하다고 인정되는 물질)로 검토와 승인을 받음²³⁹⁾. ‘Brominata™’는 아스파라곰시스를 육상 수조에서 양식하고 있으며, 물리적, 영양적, 중금속, 미네랄 및 미생물학적 사양을 일정하게 유지하며 상업적 생산을 하고 있음. 장내 메탄배출 감소 방법론에 따라 탄소배출량의 감소를 검증하는 프로젝트를 개발하고 있고, 탄소배출권 인증을 위한 프로세스를 진행중임²⁴⁰⁾.

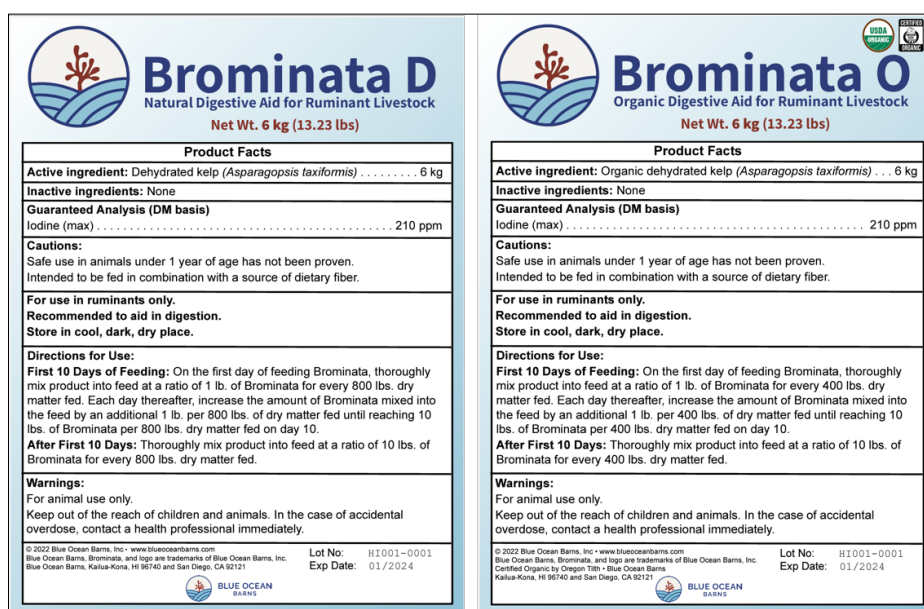


그림 51. 미국 Blue Ocean Barns사의 Brominate D(좌), Brominate O (USDA 유기농 승인)(우)

- 일본국제농업과학연구센터(JIRCAS)은 가축의 메탄배출을 줄이기 위해 동남아시아에서 해조류 재배 및 이용에 대한 연구에 참여하고 있음²⁴¹⁾.

239) <https://blueoceanbarns.com/> (2023.09 검색)

240) <https://blueoceanbarns.com/s/Brominata-Enteric-Methane-Demonstration-Project.pdf> (2023.09.접속)

241) <https://www.jircas.go.jp/en/program/proc/blog/20230612> (2023.09.접속)

- 유럽 Volta Greentech 사는 100% 재생에너지 사용한 육상양식시스템에서 ‘LomeTM’ 생산하고 있음. 2022년 6월 ‘LomeTM’을 급이한 육우의 쇠고기 ‘Lome’ 쇠고기를 한정수량 판매함²⁴²⁾.
 - * (2023년 11월 시점에서는 판매하고 있지 않음).
 - * 스웨덴 스톡홀름에 본사와 연구소를 두고 있으며, 서해안의 Lysekil에 육상양식재배 시범공장 건설. 동결건조하여 시범농장의 육우에 급이함²⁴³⁾.
- 서호주 Perth에 위치한 ‘Runim8’사는 아스파라곰시스 유래 항메탄 유효성분 (브로모프롬) 화합물을 안정화(유효성분의 취급-공급 중 휘발되지 않도록 안정화 하는 기술 보유)하고 복제하는 특허기술을 가지고 있음. 호주 반추동물 상당부분이 목초지 기반 생산시스템에서 사육되기 때문에, 이러한 시스템에서 유효물질의 다양한 전달 메커니즘 (서방형 캡슐, 블록 핥기, 음수형 급이 등)을 연구 개발 중임²⁴⁴⁾.

2) 3-니트로옥시프로파놀(3-Nitrooxypropanol; 3-NOP)

- 현재 3-NOP를 공급할 수 있는 곳은 DSM 이 유일하며 ‘Bovaer[®]’ 상표로 등록되어 있음.
- 아르헨티나, 브라질, 칠레, 우루과이에서 육우, 낙농우에 대한 사용승인을 받았으며 상용화를 위한 공급망을 구축중임²⁴⁵⁾. EU에서 젖소에 사용승인됨²⁴⁶⁾.

242) <https://www.esmmagazine.com/retail/coop-sweden-to-launch-methane-reduced-beef-177522>

243) <https://docsend.com/view/s/m75c3wsrretjiv3b> (2023.09.접속)

244) [https://rumin8.com/rumin8-projects-successful-in-federal-government-low-emissions-feed-supplements-grants-program/\(2023.09.검색\)](https://rumin8.com/rumin8-projects-successful-in-federal-government-low-emissions-feed-supplements-grants-program/(2023.09.검색))

245) https://www.dsm.com/content/dam/dsm/corporate/en_US/documents/media-backgrounder_introduction_bovaer_update_september_2022.pdf

246) https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/mex_22_1304

- 호주 대형 유통체인인 Coles는 Mort&Co fedlor과 함께 Bovear[®] 급이 파일럿 프로그램 시작하였고, 유럽의 몇몇 국가(네덜란드, 덴마크, 스웨덴, 프랑스, 슬로바키아 등)에서는 Bovear[®]를 이용하여 젓소의 메탄배출을 줄이기 위한 파일럿 또는 농장 시범운영 프로그램을 운영하고 있음²⁴⁷⁾.
- 미국에서는 DSM사의 Bovear가 첨가물이 아닌 동물약품으로 분류되었으며, 이에 따라 FDA 동물 약품에 대한 승인 검토를 받고 있어(2019년 승인 신청)²⁴⁸⁾ 실제 사용까지는 상당 시간이 소요 될 것으로 예상하고 있음.
- 우리나라의 경우, 최근까지 화합물에 대한 사료첨가제로 분류가 불가능하여 3-NOP의 국내 사용승인신청이 불가능 하였으나, 2023년 10월 ‘사료 등의 기준 및 규격’에 메탄저감 사료첨가제에 대한 항목이 만들어져 메탄저감제의 승인신청이 가능하게 되었음. 이에 따라 승인신청이 이루어질 것으로 예상됨.
- 전 세계적으로 3-NOP의 수요가 많아질 것으로 예상되며, 이에 대비하여 스코틀랜드에 ‘Bovaer[®]’ 제조공장 건설중(2023.10)²⁴⁹⁾.

3) 질산염

- 사료급 질산염 공급을 위해 질산칼륨이 선호되고 있으며, Cargill사에서 질산칼륨 저메탄 사료첨가제인 ‘SilvAir[®]’를 판매, EU와 영국, 브라질에서 사용 가능²⁵⁰⁾. Cargill사 협력, 골드스탠다드에서 육우의 사료보충제를 이용한 메탄배출저감 방법론²⁵¹⁾ 개발.

247) https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/mex_22_1304

248) <https://www.eenews.net/articles/new-powder-could-cut-cow-burp-emissions-will-fda-say-ok/>

249) <https://www.dsm.com/anh/news/press-releases/2022/2022-11-30-dsm-starts-construction-of-large-scale-production-facility-for-bovaer-in-dalry-scotland.html>

250) <https://www.cargill.com/feedingintelligence/methanereduction>

251) https://globalgoals.goldstandard.org/standards/438_V1.0_LUF_AGR_Methodology-for-reducing-methane-emissions-in-beef-cattle-through-feed-supplements%E2%80%AF.pdf



SilvAir®

Together we can build a better future

Cargill

Reduce methane with SilvAir®

SilvAir® is Cargill's nutritional solution to lower enteric methane production by up to 10%, while maintaining milk production and performance

What is SilvAir®?

The solution contains a patented technology* which is backed by more than 10 years of research and knowledge. It stimulates a natural process in the rumen, creating ammonia from hydrogen, that would otherwise become methane. This ammonia can subsequently be used to produce milk protein. With a positive impact on climate change by reducing greenhouse gas emissions, our aim is to help farmers improve sustainable farming.

*EU registered patent EP2456323

그림 52. Cargill사의 메탄저감 사료첨가제 Silvair® (출처:www.provimi.eu/silvair)

- 호주에서는 방목우에 대하여 요소급이 대체호 질산염블록(활기블록) 급이를 적용할 수 있으며, 방목우의 질산염블록 급이는 호주 연방정부의 온실가스 감축펀드(Emission Reduction Fund; ERF) 지원을 받을 수 있음²⁵²⁾²⁵³⁾.

4) 에센셜 오일 블랜드 배합사료

- 영국에 생산 기반을 둔 Mootral사의 'EnterixTM'은²⁵⁴⁾ 마늘추출물과 감귤껍질 추출물 혼합제를 포함한 펠렛형태의 첨가제. Enterix의 상업적인 젖소농장에서 12주간 급이한 결과 메탄배출 최대 35% 감소하였고²⁵⁵⁾, 사육장 육우에 급이한 결과 23-25%의 메탄배출을

252) <https://www.cleanenergyregulator.gov.au/ERF/Choosing-a-project-type/Opportunities-for-the-land-selector/Agricultural-methods/Reducing-greenhouse-gas-emissions-by-Feeding-Nitrates-to-Beef-Cattle>

253) <https://www.legislation.gov.au/Details/F2015C00580/Html/Text>

254) <https://mootral.com/solutions/enterix>

255) Vranken, H., et al. (2019). "Reduction of enteric methane emission in a commercial dairy farm by a novel feed supplement." Open Journal of Animal Sciences 9: 286-296. DOI: doi: 10.4236/ojas.2019.93024

줄이는 효과가 있다고 발표함²⁵⁶⁾²⁵⁷⁾. Verra사의 탄소배출권프로그램 (VCS program, Cow creditTM) 보유(그림51)²⁵⁸⁾.

- 스위스의 Agolin사의 에센셜 오일 ‘Ruminant’²⁵⁹⁾ 고수씨 오일을 포함한 에센셜 오일 블랜드 첨가제인 ‘Agolin Ruminant’는 마이크로비드-분말형태 (Agolin Ruminant)과 액상형태(Agolin Ruminant L) 제품으로 출시, 판매되고 있음. ‘Agolin Ruminant’ 제품으로 Carbon Trust사의 메탄 저감 인증을 받음(그림52)²⁶⁰⁾. 자체데이터로 10% 이상의 메탄발생을 줄일 수 있다고 보고함²⁶¹⁾.



그림 53. 영국 Mootral사
(Cow Credit 관련)

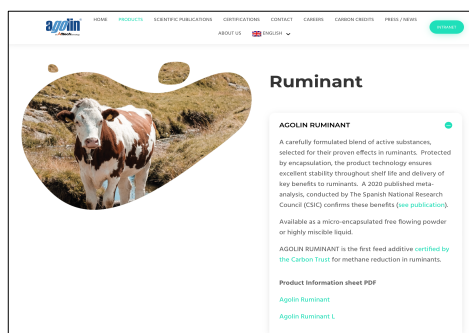


그림 54. Agolin사의 ‘Ruminant’
(Carbon Trust 인증 관련)

- 일본 S.D.S. Biotech 사의 ‘ルミナップ(루미냅)’ 시리즈. 루미냅은 캐슈넛껍질추출액 (Cashew nut shell liquid)을 포함하고 있으며, S.D.S. Biotech사의제품 웹페이지에서는 반추위미생물개선편제로 판매되고 있음²⁶²⁾. 반추위 생성 메탄저감효과 검증됨²⁶³⁾. 캐슈넛 껍질을

256) Roque, B. M., et al. (2019). "Effect of Mootral—a garlic-and citrus-extract-based feed additive—on enteric methane emissions in feedlot cattle." *Translational Animal Science* 3(4): 1383-1388. doi.org/10.1093/tas/txz133

257) Bitsie, B., et al. (2022). "Enteric methane emissions, growth, and carcass characteristics of feedlot steers fed a garlic- and citrus-based feed additive in diets with three different forage concentrations." *Journal of Animal Science* 100(5). https://doi.org/10.1093/jas/skac139

258) <https://verra.org/methodologies/revision-to-vm0041-methodology-for-the-reduction-of-enteric-methane-emissions-from-ruminants-through-the-use-of-100-natural-feed-supplement-v1/>

259) <https://agolin.com/products/>

260) https://agolin.com/wp-content/uploads/2023/01/Carbon-Trust-Opinion-Letter-Agolin-2022_9.12.pdf

261) https://agolin.com/wp-content/uploads/2023/06/2023_Miller-et-al_-beef_animals.pdf

262) https://www.sdsbio.co.jp/products/anim/rumi_gl.html

기계적으로 압착한 캐슈넛 껍질액과 프로피온산칼슘 등을 혼합한 배합사료, 펠릿형태 또는, 농축액 형태의 제품으로 출시되어 있음.

製品一覧：畜産製品（カシューナッツ殻液配合製品）				
 ルミナップM	カシューナッツ殻液を配合した米ぬかをベースにした製品で、TMR等での混合性とコストパフォーマンスに優れています。	対象育種 牛	【問い合わせ先】 エス・ディー・エス バイオテック アニマルニュートリション部 TEL：03-6867-8322 FAX：03-6867-8328	製品詳細
 ルミナップP	カシューナッツ殻液を配合したペレットタイプでアルファルファミール、糖蜜を配合しており嗜好性がよい製品です。	対象育種 牛	【問い合わせ先】 エス・ディー・エス バイオテック アニマルニュートリション部 TEL：03-6867-8322 FAX：03-6867-8328	製品詳細
 ルミナップGL	カシューナッツ殻液を高濃度に給与でき、様々な飼養形態や給与ステージで利用可能です。	対象育種 牛	【問い合わせ先】 エス・ディー・エス バイオテック アニマルニュートリション部 TEL：03-6867-8322 FAX：03-6867-8328	製品詳細

그림 55. S.D.S. Biotech K K. 사의 반추동물용 캐슈넛껍질추출액 제품
(출처: www.sdsbio.co.jp/products/anim/)

다. 국내 기술개발 현황

1) 국내 메탄저감 관련 연구 현황 분석

- 국내 메탄저감관련 연구 현황 분석은 데이터 추출 및 처리를 기반으로 분석하였음. 데이터 추출은 국가연구개발사업 관련 과제를 통합적으로 관리하는 ‘국가과학기술지식정보서비스(NTIS)²⁶⁴’를 이용하여 검색하였으며, 2010–2023년 8월(현재)까지로 기간을 한정하여 ‘메탄저감’, ‘저탄소×반추’, ‘장내메탄’, ‘저메탄 사료’ 등의 키워드 검색으로 하였음.

263) Shinkai, T., et al. (2012). "Mitigation of methane production from cattle by feeding cashew nut shell liquid." Journal of dairy science 95(9): 5308–5316.

264) 국가과학기술지식정보서비스 (<https://m.ntis.go.kr/ThMain.do>) (2023.09.검색)

검색 결과를 공동연구과제 기준, 시작년도 기준으로 정리하여 총 158개의 장내발효 메탄배출 관련 연구과제 목록이 작성되었고, 이 중 중복되는 자료를 정리하여 총 92개 과제목록을 추출함. (연구과제 목록은 부록 1을 참고)

- 검색결과에의 분석은 각 연구과제별 NTIS에 등록되어 있는 연구내용을 바탕으로 메탄배출저감 관련 분야별(메탄저감보통제, 반추위시스템조성, 전주기평가, 저메탄사료, 동물성능향상, 기타)로 연도별 과제수와 분야별 비율, 연구비수주금액을 분석하였음(표16,17).

표 16. NTIS 등록 장내발효 메탄배출저감 관련 분야별 연구과제수 및 연구비 규모 (2010-2023년 NTIS등록과제 기준)

구 분	과제수(개)	총 과제수 대비 비율(%)	연구비(백만원)
메탄저감보통제	32	35	8,762
반추위시스템조성	22	24	5,525
전주기평가	20	22	4,184
저메탄사료	9	10	1,775
동물성능향상	3	3	260
기타	6	6	1,742
합계	92	100	22,249

표 17. 연도별 국가연구과제 수 (2010-2023년 NTIS등록과제 기준)

연도	과제수	연구비(백만원)
10-'15	20	5,800
16-'20	18	4,097
21-'23	54	12,351
합계	92	22,249

- 분석 결과 검색기간(2010-2013.8)동안 장내발효 메탄배출저감 연구에 92개의 국가연구과제가 진행완료 또는 진행되고 있고, 이에 약222억원의 연구비가 투입됨.
- 국가 연구과제수의 절반 이상이 메탄저감보충제와 반추위시스템조성에 관한 연구였으며, 지난 십여년간 메탄배출저감기술 관련 연구과제의 대부분은 2021년 이후에 시작되었음.
- 2020년 전후, 전 세계적으로 축산업의 탄소배출 감소 전략이 발표되었음. 2021년 국가 탄소중립시나리오가 수정/발표되면서 축산분야 온실가스 감축 목표량이 상향조정되면서 관련 연구가 활발하게 진행된 것으로 보임.
- 국내 NTIS등록 연구과제 중 메탄배출저감보충제 관련 연구는 주로 국내 자생 식물자원을 이용한 천연물질의 발굴 및 메탄저감 효과 검증을 중심으로 연구되었으나, 2020년 이후 국내 자생해조류를 이용한 메탄저감 사료첨가제 개발 및 효과 검증, 3-NOP를 대체할 합성물질의 개발 등 해외에서 개발되어 상용화중인 기술의 국내화 연구가 주를 이루고 있음.

2) 국내 특허 등록 현황 분석

- 국내 특허정보검색서비스 키프리스(KiPRIS)²⁶⁵⁾를 이용하여 “반추, 메탄, 사료 키워드로 국내/국제 등록특허로 한정하여 검색, 총 290개의 등록특허가 검색됨 (2023.9.6.기준). 검색결과의 특허공개전문을 검토하여 ‘반추위내 메탄생성 억제’와 직접 관련된 특허만 스크리닝 한 결과 총 39개 특허가 검색됨. (부록2)

²⁶⁵⁾ <http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp>

- 반추위 메탄생성 억제 유효물질의 종류는 천연물질이 15건이 등록되어 있었으며, 미생물제제(프리바이오틱스)는 11건, 화합물 10건, 기타 방법론이 3건 등록되어 있었음(표18).
- 스크리닝된 특허 중 캐슈넛추출물(일본), 아스파라곰시스(호주), 3-NOP (네덜란드) 등 최근 메탄저감사료첨가제로 상용화가 준비중인 제품의 국제특허가 포함되어 있었음.
- 유칼립투스오일+질산염(CJ제일제당), 갈파래((주)이안스), 팽생이모자반 (국립 수산과학원) 등 주요 장내메탄저감 유효성분에 대한 국내특허가 등록되어 있었으며, 주요 메탄저감사료첨가제 기술의 국내화가 진행중임을 알 수 있음.

표 18. 국내 반추위내 메탄생성억제 관련 등록특허의 유효물질별 분류

특허 분류	특허 갯수	유효물질
천연물	15	캐슈넛추출물, 유칼립투스오일+질산염, 오이풀, 마늘, 겨자(시니크린), 카카오박, 굴폐각, 아스파라곰시스, 지용성비타민, 대나무추출물, 올리브잎, 갈파래, 팽생이모자반 등
미생물	11	환원성초산균, 푸마르산 환원균, 바실러스균주, 프리바이오틱스 등
화합물	10	3-NOP, 올리고사카라이드, 할로겐화합물
기타	3	사료조성조절 방법론, 동물성능향상 등의 방법론 등
합계	39	

3) 국내 메탄저감사료 관련 산업 동향

○ 해조류 이용 메탄저감사료

- CJ 피드엔케어 또한 해조류 이용 ‘메탄솔루션’과 ‘비프메탄솔루션’ 제품을 출시 하였고, 제주시한우협회-제주대학교와 MOU체결하여 저메탄사료 공급 예정²⁶⁶⁾.
- 농협사료와 우성사료 또한 해조류 이용 메탄저감사료 보충제가 개발중이며, 2024년 상반기 출시 예정이라고 알려져 있음 (2023.8. 축산박람회 수집 자료).

○ 질산염 이용 메탄저감사료

- 현재 국내 대형 사료업체중 하나인 카길은 해외에서 Reserch4ReductionTM program을 도입과 SilvAir(질산칼륨)를 판매중이나 국내 도입에 대한 구체적인 내용은 아직까지 알려진 바 없음.
- 국내 카길 애그리 퓨리나는 ‘한우사랑 그린’ 관련 정보를 찾을 수 있었으나, 판매 여부는 아직 알수 없었음. 하지만 NTIS 연구과제 목록 중 ‘카길애그리퓨리나’가 연구책임자로 연구가 진행중인 ‘한우에서 장내발효 메탄저감 효과가 있는 제품의 국내 효과 실증’ 과제에서 캐슈넛추출물(루민업)과 질산염(SilvAir)에 대한 한우 메탄저감효과 실증과 배출계수에 대한 연구가 진행중임.

○ 기타 메탄저감사료

- 해피드(구, 고려산업)은 일본 S.D.S Biotech사의 ‘루민업’을 배합한 저메탄사료 ‘메탄프로’ 출시 예정임 (2023.8. 축산박람회 수집 자료).
- 현재 서울대학교에서 한우에 3-NOP 급이에 따른 메탄저감효과 연구를 진행중임. (부록1 참고)

266) <https://cjnews.cj.net/cj피드엔케어의-메탄-줄이는-친환경-사료-제주-한/>

- 최근 국내 메탄저감사료 보급을 위한 기준이 마련됨.
 - 농림축산식품부고시 ‘사료 등의 기준 및 규격’이 개정되어 ‘메탄저감제’와 ‘저메탄사료’에 대한 정의가 추가되고, ‘메탄저감제’의 기준이 고시됨 (23년10월).²⁶⁷⁾
 - 개정된 ‘사료 등의 기준 및 규격’에 따르면 관행사료 대비 10% 이상 유의적인 메탄저감 효과 있어야 하고, 가축의 건강 및 생산성에 유의적인 저하가 없어야하며 최종 생산물의 안전성에 영향을 미쳐서는 안 됨. 또한 제품에 대한 메탄저감 효과는 ‘호흡대사챔버’ 또는 ‘그린피드’ 장비를 갖춘 국내대학 및 연구시설을 통해 검정해야 하고, 국립축산과학원에 제출 심의를 거친 후 메탄저감제로 인증을 받아야 함.
 - 하지만 상용화가 준비되어있는 메탄저감제의 종류와 수에 비하여 국내 ‘호흡대사챔버’ 또는 ‘그린피드’ 장비를 갖춘 연구시설의 수가 한정되어 있어(인증기관으로 순천대가 유일함, 2023.12 기준) 메탄저감제로 인증을 받기까지 어려움이 예상됨. 이에 따라 메탄저감제 인증의 유연성이 필요할 것임.
- 국내 메탄저감제와 저메탄사료에 대한 기준이 마련됨에 따라 국내외 메탄 저감효과가 검증되어있는 사료첨가제들의 국내 판매 승인이 이루어질 것으로 예상되며, 국내 사료업계에서도 출시 준비중인 메탄저감사료의 시장 공급이 본격화 될 것으로 예상됨. 이에 따른 저메탄 쇠고기의 시장 공급 확대가 이루어질 것임.

라. 국내 장내발효 메탄배출 저감 기술 적용 제언

- 주요 장내발효 메탄배출저감 전략별 기술에 대한 감축정도와 국내 적용의 잠재적 허들은 표19에서 보는 것과 같음.

²⁶⁷⁾ <https://www.law.go.kr/admRulSc.do?menuId=5&subMenuId=41&tabMenuId=183&query=사료공정서#liBgcolor0>

표 19. 주요 장내발효 메탄배출 저감 전략별 감축정도 및 도입의 잠재적 허들

메탄저감전략	감축정도*	잠재적 허들				
		비용	규제 승인	기술적 지원	동물 안전	소비자 수용
메탄생성에 관여하는 효소 촉매반응 차단						
아스파라곰시스	높음	○	○		○	○
3-NOP	높음	○	○			○
반추위에서 생성되는 수소 결합 전자수용체						
식이지질	중간	○		○		
모넨신	낮음		○			○
질산염	중간	○	○		○	
미생물 군집 생태와 그에 따른 발효산물 조절						
탄닌과 사포닌	낮음	○	○		○	○
에센셜 오일	낮음	○		○		
저배출 사료	낮음	○		○		
항메탄백신	-	○	○	○		○
프로바이오틱스	낮음	○	○			
가축 시스템 기반 변경						
생산능력 향상	-	○		○		
저메탄 개체 선발	-	○		○		

* 감축 정도 : 낮음(1-10%), 중간(11-25%), 높음(25%이상)

- 메탄저감사료첨가제의 개발의 진행 정도는 장내메탄저감 효율성(감축 정도가 높은)과 사회적 허용 정도(동물안전과 소비자 수용 가능한)에 따라 상용화가 진행되고 있음.
- 메탄저감효율이 높은 아스파라곰시스와 3-NOP는 이미 상용화 되었거나

상용화를 위한 규제승인을 앞두고 있음. 국내에도 고효율 기술에 대한 국산화가 진행중이며, 국내자생 해조류를 활용하여 메탄저감사료첨가제 생산기술은 상용화 단계에 있음.

- 메탄저감효율은 낮지만 사회적으로 허용도가 높은 에센셜오일이나 저배출 사료는 일부 제품/ 작물이 육우산업 현장에서 사용중인 재품이 있으나, 국내시장에서는 아직 도입이 준비중이며, 규제승인의 허들이 없너어 최근 메탄저감사료 관련 고시가 개정됨에 따라 국내 동향의 변화가 있을 것으로 예상됨.
- 메탄저감사료첨가제를 급이하게 되면 장내 메탄배출에 의한 에너지 손실이 줄어들기 때문에 생산성이 향상되게 됨. 메탄저감사료첨가제 급이에 의한 생산비용 증가와 생산성 향상에 의한 생산비용 감소에 대한 경제성 분석이 필요함.
- 주요 12개 기술 중 비용허들이 없는 모넨신의 경우 해외의 일부 국가 (캐나다와 브라질, 뉴질랜드 등)에서는 허용되고 있으나, 우리나라의 경우 항생제 사용이 제한되어 있기 때문에 국내 도입 가능성은 거의 없음.
- 4개 메탄저감전력의 주요 12개 기술 대부분이 잠재적 허들로 ‘비용’이 있음. 때문에 농가에서 자발적인 사료첨가제의 도입이 이루어지기 어려울 것으로 예상되며, 추가비용 투입을 상쇄할 수 있는 국가 및 산업체의 제도적-경제적인 지원이 필요함.
- 저탄소한우고기 인증사업과 국가온실가스저감사업 등의 국가산업과의 연계를 통해 저메탄사료 지원금 또는 탄소배출권 지급 등 메탄저감사료 도입이 실질적인 농가수익과 연결될 수 있도록 정책적인 지원이 필요한 시점임.

2. 분뇨 처리 배출

가. 분뇨 처리별(각종 소화조 포함)

○ 분뇨 처리 방법:

1. 혐기성 소화(anaerobic digester): 산소가 없는 상태에서 분뇨를 처리하는 시스템. 고동도의 유기물질 처리에 용이하고, 이 공정을 통해 포집하여 에너지로 사용할 수 있는 바이오가스(메탄)를 생산할 수 있음.
2. 호기성 처리(Aerobic digester): 산소가 있는 상태에서 분뇨처리. 호기성 처리 방법은 유지관리가 간편하고, 상등수의 수질이 양호하고, 최초 시공비가 저렴. 하지만 반응시간이 길고, 악취발생, pH에 민감함.
3. 분뇨 분리: 분뇨를 고체와 액체로 분리하는 과정으로 분뇨 분리를 통해 고체분뇨는 퇴비화, 액체분뇨는 액비화 또는 정화처리. 퇴비화는 고체분뇨를 산소가 없는 상태에서 발효시켜서 비료로 사용할 수 있으며, 액비화는 액체분뇨를 산소가 있는 상태에서 발효시켜서 액비로 만드는 과정임. 액비는 농작물에 직접 분무할 수 있음. 정화처리는 액체분뇨를 화학적, 물리적, 생물학적 방법으로 오염물질을 제거, 정화처리 후 재이용함.

○ 분뇨 처리 방법에 사용되는 소화조 종류별 외관과 모식도는 그림 56에서 보는 것과 같음²⁶⁸⁾.

○ 완전 혼합 소화조(Complete-Mix Digester): 대형 탱크를 사용하여 분뇨를 혼합 및 처리하는 일종의 혐기성 소화조임. 탱크에는 분뇨를 현탁 상태로 유지하고 쓰레기 및 침전물 층의 형성을 방지하는 기계식

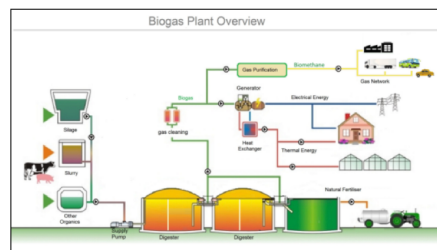
268) <https://farm-energy.extension.org/types-of-anaerobic-digesters/>

또는 공압식 혼합기가 장착되어 있음(그림57). 또한 탱크는 혐기성 미생물에 대한 최적의 온도를 유지하기 위해 가열 및 단열 처리됨. Complete-Mix Digester는 전기, 열 또는 연료로 사용할 수 있는 바이오가스를 생산할 수 있음. 유제품 또는 육우 분뇨와 같이 고형분 함량이 중간에서 높은 분뇨에 적합.

- 장점: 높은 바이오가스 수율, 높은 유기 부하율 및 낮은 악취 배출.
- 단점: 높은 자본 및 운영 비용, 혼합 및 가열을 위한 높은 에너지 소비, 높은 유지 관리 요구 사항.



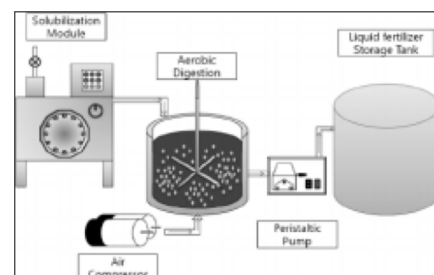
혐기성 소화



혐기성 소화조 모식도



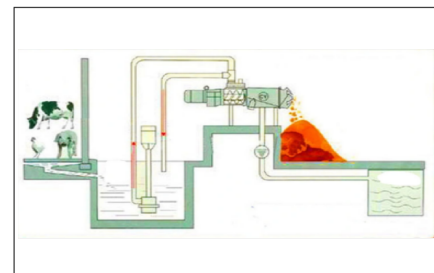
호기성 소화



호기성 소화조 모식도



분뇨분리



분뇨 분리기 모식도

그림 56. 가축 분뇨 처리 방법에 사용되는 소화조 종류별 외관
과 모식도



그림 57. 분뇨처리기술 - 완전 혼합 소화조의 외관과 모식도

- 플러그 흐름 소화조(Plug Flow Digester): 길고 좁은 탱크를 사용하여 분뇨를 처리하는 일종의 혐기성 소화조이며, 탱크는 일반적으로 분뇨의 단열 및 구조를 제공하기 위해 두꺼운 직충이나 기타 깔개 재료로 채워져 있음. 분뇨는 탱크의 한쪽 끝으로 공급되고 들어오는 분뇨에 의해 밀려나며, 분뇨는 약 20~30일 동안 탱크에 머무르고, 이 기간 동안 혐기성 미생물이 유기물을 분해하고 바이오가스를 생성함. 바이오가스는 전기, 열 또는 연료를 생성하는 데 사용될 수 있음. 유제품 또는 육우 분뇨와 같이 고형분 함량이 높은 분뇨에 적합(그림58).
- 장점: 높은 바이오가스 품질, 낮은 악취 배출 및 간단한 작동.
- 단점: 높은 자본 및 운영 비용, 높은 고형분 함량 요건, 온도 및 pH 변화에 대한 민감성.

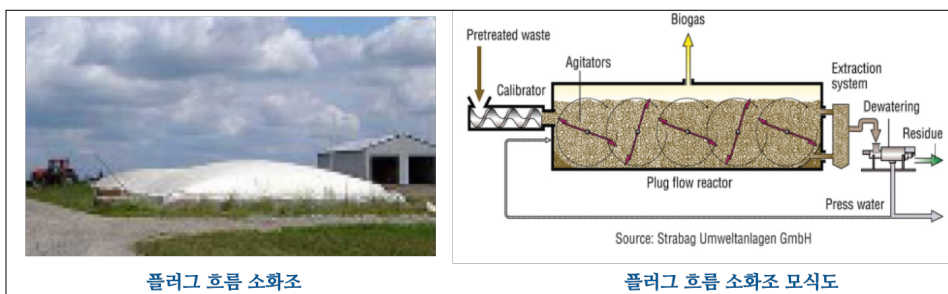


그림 58. 분뇨처리기술 - 플러그 흐름 소화조 외관과 모식도

- 덮힌 석호(Covered Lagoon): 지하의 큰 연못이나 탱크를 사용하여 분뇨를 저장하고 처리하는 일종의 혐기성 소화조. 석호는 유기물의 분해로 생성된 바이오가스를 가두는 유연한 재료로 덮여 있음(그림59). 바이오가스는 전기, 열 또는 연료를 생성하는 데 사용될 수 있음. 돼지나 젓소 거름과 같이 고형분 함량이 낮은 액체 거름에 적합함.
- 장점: 저렴한 비용, 간단한 조작 및 대용량 처리.
 - 단점: 악취 배출, 낮은 바이오가스 품질, 높은 토지 요구량.

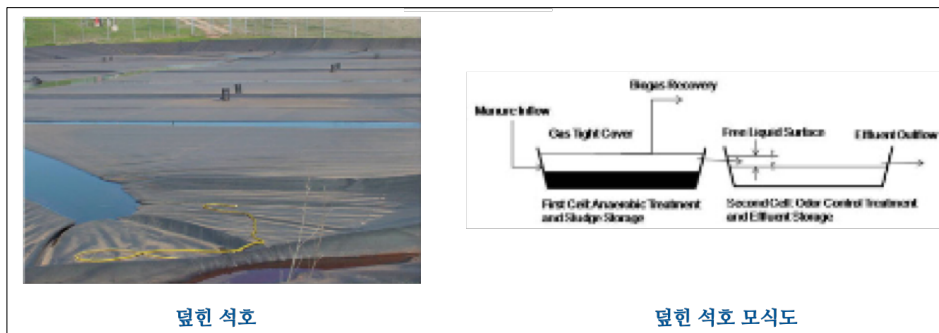


그림 59. 분뇨처리기술 - 덮힌 석호 외관과 모식도

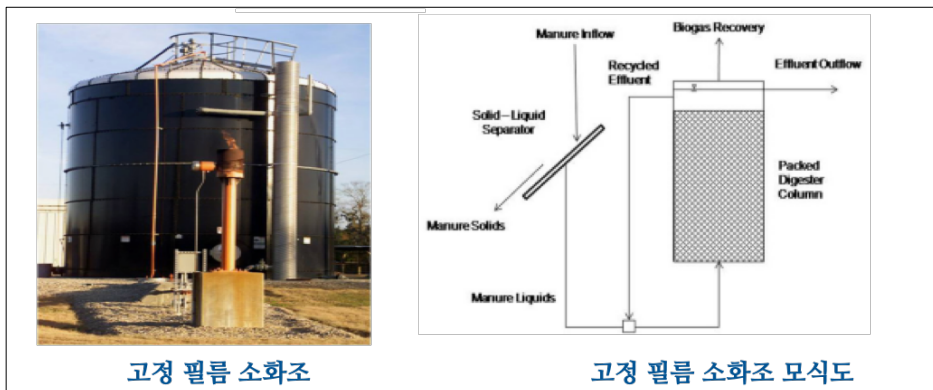


그림 60. 분뇨처리기술 - 고정 필름 소화조 외관과 모식도

- 고정 필름 소화조(Fixed-Film Digester): 다공성 매질을 사용하여 표면의 미생물 성장을 지원하는 일종의 혐기성 소화조임. 매체는

플라스틱, 세라믹, 목재 또는 기타 재료로 만들 수 있음(그림60). 분뇨는 배지를 통해 펌핑되어 미생물이 유기물을 분해하고 바이오가스를 생성함. 돼지 또는 가금류 분뇨와 같이 고형분 함량이 낮거나 중간 정도인 분뇨에 적합.

- 장점: 높은 로딩 속도, 안정적인 작동 및 낮은 슬러지 발생.
- 단점: 높은 자본 및 운영 비용, 배지 막힘, 독성 물질에 대한 민감성.

○ 고형물 재사용 소화조(Solids Recycling Digesters): 고액 분리기를 사용하여 소화된 분뇨의 고형분을 다시 소화조로 재활용하는 일종의 혐기성 소화조임. 고체 부분은 미생물의 운반체 역할을 하며 소화 과정을 향상시키고, 액체 부분은 별도로 처리되거나 배출(그림61). 돼지나 낙농 분뇨와 같이 고형분 함량이 낮거나 중간 정도인 분뇨에 적합.

- 장점: 높은 바이오가스 생산량, 낮은 슬러지 발생 및 낮은 토지 요구 사항.
- 단점: 높은 자본 및 운영 비용, 펌핑 및 혼합에 높은 에너지 소비, 분리기 막힘 가능성.

○ 정지 매개 소화조(Suspended Media Digesters)에는 상향식 혐기성 슬러지 층 소화조(Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Digesters)와 유도층 반응기 소화조(Induced Bed Reactor (IBR) Digester)가 있음.

○ 상향식 혐기성 슬러지 층 소화조(Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Digesters)는 분뇨 처리를 위한 혐기성 소화조의 한 종류임. 이 방법은 반응조 안에 과립슬러지라고 하는 미생물의 덩어리를 부유시키고, 분뇨를 아래에서 위로 흘려보내면서 유기물질을 분해하고, 바이오가스를 생성하는 원리이며(그림61), 고농도의 액체분뇨에 적합.

- 장점: 높은 유기물 제거율, 높은 바이오가스 수율, 낮은 슬러지 생성량, 간단한 운전 및 유지보수.

- 단점: 온도와 pH에 민감하고, 독성물질에 취약하고, 고체물질의 분리가 어렵고, 악취가 발생할 수 있음.

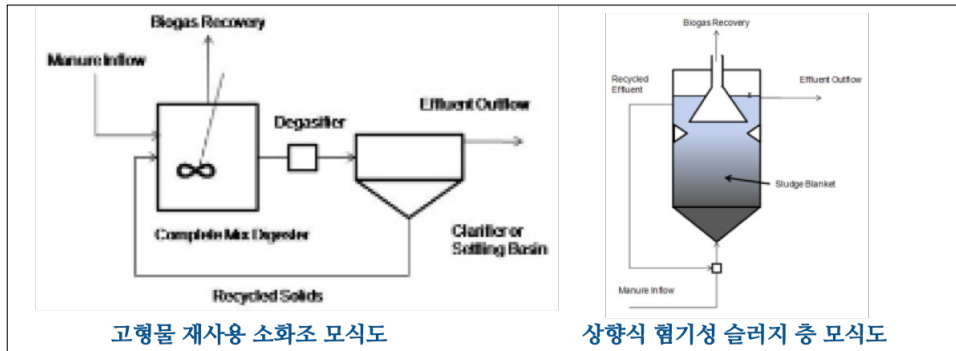


그림 61. 분뇨처리기술 - 고형물 재사용 소화조와 상향식 혐기성 슬러지층 소화조 모식도

- 유도층 반응기 소화조(Induced Bed Reactor (IBR) Digester): 유도층 반응기 소화조는 다공성 매질을 사용하여 표면의 미생물 성장을 지원하는 일종의 혐기성 소화조임. 매체는 플라스틱, 세라믹, 목재 또는 기타 재료로 만들 수 있음. 분뇨는 배지를 통해 펌핑되어 미생물이 유기물을 분해하고 바이오 가스를 생성. 바이오가스는 전기, 열 또는 연료를 생성하는 데 사용될 수 있음(그림62). 돼지나 가금류 분뇨와 같이 고형분 함량이 낮거나 중간 정도인 분뇨에 적합.
 - 장점: 높은 적재율, 안정적인 운전, 낮은 슬러지 발생.
 - 단점: 높은 자본 및 운영 비용, 배지 막힘, 독성 물질에 대한 민감성.
- 유도층 반응기 소화기는 고형분 함량이 높은 기질에 고속 혐기성 소화 기술을 적용하기 위해 유타 주립 대학에서 개발되었으며, 이 기술은 폐기물 처리 및 에너지 생산 기술로 미국과 캐나다의 본격적인 다중 설치에 성공적으로 구현.
- 유도층 반응기 소화조는 반응기 내 활성 미생물의 농도를 높게

유지함으로써 높은 바이오가스 생산량과 유기물 감소를 달성할 수 있음.
미생물은 다공성 매질에 과립 또는 생물막을 형성하여 넓은 표면적을 제공하고 세척 및 억제로부터 보호.

- 유도층 반응기 소화조는 반응기에 들어가기 전에 분뇨에서 고형물을 제거하기 위해 고액 분리가 필요하며, 고체는 반응기로 다시 재활용되거나 별도로 처리되고 액체 부분은 배출 기준을 충족하기 위해 호기성 또는 혐기성 공정으로 추가 처리됨.

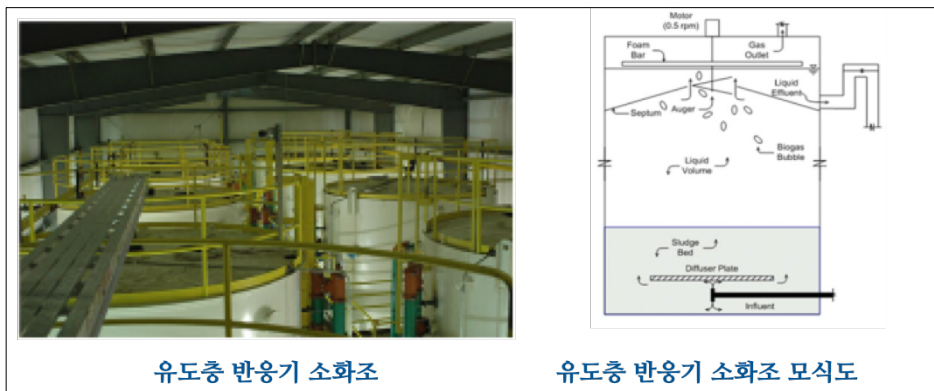


그림 62. 분뇨처리기술 - 유도층 반응기 소화조 외관과 모식도

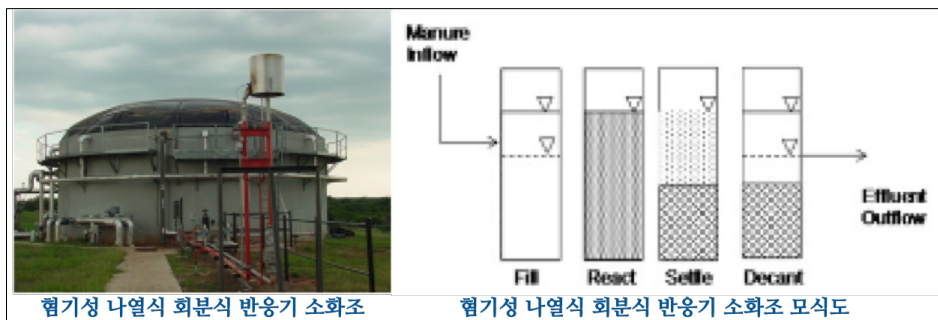


그림 63. 분뇨처리기술 - 혐기성 나열식 회분식 반응기 소화조 외관과 모식도

- 혐기성 나열식 회분식 반응기 소화조(Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR) Digester)는 분뇨를 일괄 처리하는 일종의 혐기성

소화조로 충전, 반응, 침전, 경사 및 공회전 주기로 작동함. 충전 단계에서는 분뇨가 반응기로 공급됨. 반응 단계에서 혐기성 미생물은 유기물을 분해하고 바이오가스를 생성함. 침전 단계에서 고체와 액체는 중력이나 부양에 의해 분리되며, 디캔팅 단계 동안 상층액은 반응기에서 배출됨(그림63). 돼지, 유제품 또는 가금류 분뇨와 같이 고형분 함량이 낮거나 높은 분뇨에 적합.

- 장점: 높은 적재율, 높은 바이오가스 수율, 낮은 슬러지 생성, 유연한 운영.
- 단점: 높은 운영 비용, 복잡한 제어 시스템, 충격 부하에 민감.

○ 폴리에틸렌 백 소화조(Polyethylene(PE) bag digester): PE나 PVC (Polyvinyl chloride, PVC)를 코팅한 대형 비닐봉지를 사용하여 분뇨를 저장하고 처리하는 일종의 혐기성 소화조임. 봉지에 거름과 물을 채우고 공기가 들어가지 않도록 밀봉하여 분뇨 속의 혐기성 미생물은 유기물을 분해하여 바이오가스를 생성함. 바이오가스는 백 끝에 있는 밸브에서 수집되어 요리, 조명 또는 난방에 사용됨(그림64). 토지와 자원이 제한된 소규모 농민에게 적합함.

- 장점: 저렴한 비용, 쉬운 설치 및 휴대성.
- 단점: 바이오가스 생산량이 적음, 누출 위험이 높음, 짧은 수명.



그림 64. 분뇨처리기술 - 폴리에틸렌 백 소화조 외관과 모식도

○ 돔소화조(Dome digester): 돔소화조는 돔형의 탱크를 이용하여 분뇨를 저장 및 처리하는 혐기성 소화조의 일종으로 돔은 분뇨의 혐기성 미생물에 의해 생성된 바이오가스를 수집하는 가스 홀더 역할을 함(그림63). 바이오가스는 전기, 열 또는 연료를 생성하는 데 사용될 수 있으며, 돼지나 젖소 분뇨와 같이 고형분 함량이 낮거나 중간 정도인 분뇨에 적합.

- 장점: 저렴한 비용, 간단한 조작 및 높은 바이오가스 생산량.
- 단점: 높은 토지 요구량, 낮은 유기물 감소 및 악취 배출.

○ 중앙집중식 소화조(Centralized Digesters)는 중앙 위치에서 여러 농장의 분뇨를 처리하는 일종의 혐기성 소화조입니다. 중앙 집중식 소화조는 분뇨의 운송 및 저장 비용을 줄이고 바이오가스 생산 및 활용도를 높일 수 있음(그림65). 중앙 집중식 소화조는 돼지, 유제품 또는 가금류 분뇨와 같이 고형분 함량이 낮거나 높은 분뇨에 적합.

- 장점: 악취 제어, 영양분 관리, 온실가스 감소, 소득 창출 가능.
- 단점: 농가, 투자자, 운영자 및 규제 기관 간의 협력과 조정이 필요.

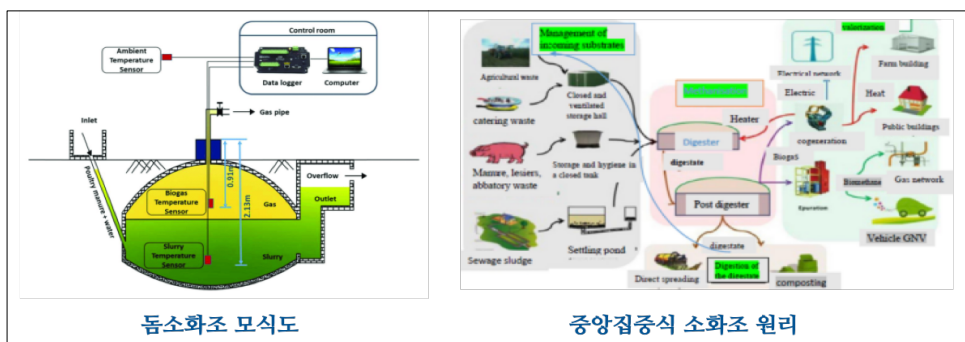


그림 65. 분뇨처리기술 - 돔소화조 모식도와 중앙집중식 소화조 원리

○ 분뇨관리 방법에 따른 IPCC GL에 기본 배출 계수는 N_2O 의 직/간접적인 (direct/indirect)방출과 여러 가지(multiple) 방출 방법에 따라 정해졌음. 분뇨관리방법에 따른 배출계수는 표20과 같음.

표 20. 분뇨관리 방법에 따른 N₂O 배출 계수 (IPCC GL)

시스템	정의	계수
방목장 (Pasture/Range/Paddock)	방목장에서 방목하는 동물의 분뇨를 그대로 두는 것이 허용되며 관리되지 않음	추가적인 방법으로 계산
매일 뿌리기 (Daily spread)	분뇨는 정기적으로 축사 시설에서 제거되며 배설 후 24시간 이내에 농경지나 목초지에 적용됨. 보관 및 처리 중 N ₂ O 배출은 0으로 가정되며, 토지 적용 으로 인한 N ₂ O 배출은 농업 토양 범주에 포함됨	0
고체 저장 (Solid storage)	일반적으로 수개월 동안 제한되지 않은 더미나 더미에 분뇨를 저장하는 것임. 분뇨는 충분한 양의 깔개재가 있거나 증발에 의한 수분 손실로 인해 썩을 수 있음.	0.010
고체 저장/완전 덮개사용 (Solid storage/ Covered/compacted)	고체 저장과 비슷하지만 분뇨 더미는 a) 공기에 노출되는 분뇨 표면을 줄이기 위해 플라스틱 시트로 덮거나 b) 밀도를 높이고 재료 내의 자유 공기 공간을 줄이기 위해 압축됨	0.01
고체저장/깔짚첨가 (Solid storage/Bulking agent addition)	구조적 지지를 제공하기 위해 특정 물질(증량제)을 분뇨와 혼합함. 이는 파일의 자연적인 통기를 허용하여 분해를 향상시킴.(예: 톱밥, 짚, 커피 껍질, 옥수수 스토버).	0.005
고체저장/첨가제 (Solid storage Additives)	가스 배출을 줄이기 위해 파일에 특정 물질을 추가함. 애타풀자이트(attapulgit), 디시안디아미드 (디시안디아미드) 또는 성숙한 퇴비와 같은 특정 화합물을 첨가하면 N ₂ O 배출을 줄이는 것으로 나타나며, 인산석고는 CH ₄ 배출을 감소시킴.	0.005

건조장 (Dry lot)	축적된 분뇨가 주기적으로 제거될 수 있는 상당한 식물 덮개가 없는 포장 되거나 포장되지 않은 개방형 사육장. 건조 로트는 건조한 기후에서 가장 일반적으로 발견되지만 습한 기후에서도 사용됨.	0.02
액체 (Liquid/Slurry)	분뇨는 배설된 상태로 저장되거나 취급을 용이하게 하기 위해 물을 최소한으로 추가하여 탱크나 흙으로 만든 연못에 저장됨.	0~0.005
뚜껑 없는 혐기성 석호 (Uncovered anaerobic lagoon)	혐기성 라군은 폐기물 안정화와 저장을 결합하도록 설계 및 운영되며, 라군 상청액은 일반적으로 관련 가두기 시설에서 라군으로 분뇨를 제거하는데 사용됨. 혐기성 석호는 기후 지역, 휘발성 고형물 적재율 및 기타 운영 요인에 따라 다양한 저장 기간(최대 1년 이상)으로 설계, 석호의 물은 세척수로 재활용 되거나 받을 관개하고 비료로 사용하는 데 사용됨	0
축사아래 구덩이 저장 (Pit storage below animal confinements)	일반적으로 물을 거의 또는 전혀 첨가하지 않고 밀폐된 동물 사육 시설의 슬레이트 바닥 아래에 분뇨를 수집하고 저장함.	0.002
혐기성 소화조 (Anaerobic digester)	복합 유기 화합물을 미생물에 의해 CH ₄ 및 CO ₂ 로 환원시켜 폐기물을 안정화 하도록 설계 및 운영되며, 이를 포집하여 연소시키거나 연료로 사용함.	0.0006

○ 우리나라 2022년 국가온실가스 인벤토리 보고서에서 가축분뇨 처리시설별 N₂O 배출계수는 표21과 같음.

표 21. 가축분뇨 처리 시설별 N₂O 배출계수

가축분뇨처리시설	배출계수
액비화 시설(Liquid system)	0.001
퇴비화시설(solid storage and drylot)	0.02
기타시설(other system)	0.005

나. 배출 가스 및 분뇨의 에너지화 및 탄소 저장 기술

- 바이오가스(CH₄) 시스템 - CH₄를 허용하는 대신 대기로 운반하기 위한 가장 효과적인 완화 전략 중 하나는 저산소 조건에서 생성된 배출물을 포집하는 것임. 가장 간단한 시스템은 석호를 덮어 가스를 포집하고 플레어로 연소시켜 지구 온난화 지수가 낮은 온실가스인 이산화탄소로 CH₄를 산화시킴.
- 분뇨의 대체에너지화
 - 분뇨 종별 처리 기술 개발
 - 분뇨를 이용한 바이오가스 생산 미생물 연구
- 환경보호국과 농업부가 공동 후원하는 협력 프로그램으로, 가축 배설물에서 발생하는 메탄 배출을 줄이기 위해 바이오 가스 회수 시스템의 사용을 촉진하는 AgSTAR(혐기성 소화조로 바이오가스 생산 및 에너지 생산) 프로그램²⁶⁹⁾에 의해서 구축된 에너지 단지(Projects)는 2023년 1월 기준, 343 개소 운영중(젖소 290 개소, 말 46개소, 가금류 8개소, 육우 9 개소).
- 해당 에너지 시스템을 통해 2002년 10.43 MMTCO₂^{-eq}의 직/간접 CO₂ 감소하였으며, 2.42 million MWh의 에너지가 발생됨.
- ‘미국 농장 및 목장의 온실가스 완화를 위한 한계 저감 비용 곡선²⁷⁰⁾’ 보고서의 2023년 업데이트된 자료에 의하면, 온실가스 저감 기술로 바이오차, 덮개 작물, 분뇨소화조와 고형물 분리, 사료관리, 방목 , 벼재배, 경작, 가변성 기술 및 효율이 향상된 비료 등을 선정함.
- 바이오차(Biochar) 이용: 바이오 숯(바이오매스에서 생산된 숯과 같은 물질)을 거름에 포함하거나 밭에 적용하면 탄소를 포집 및 저장하고 온실가스 배출을 줄이는 데 도움이 될 수 있음.

269) <https://www.epa.gov/agstar>

270) Jones, J., and J.K. O'Hara (Eds), 2023. Marginal Abatement Cost Curves for Greenhouse Gas Mitigation on U.S. Farms and Ranches. Office of the Chief Economist, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.

- 바이오차의 탄소감축 원리: 바이오차가 바이오매스를 에너지로 사용하는 경우보다 탄소 저감율이 높으며, 지구의 탄소함량을 12% 저감, 지구상의 “slash-and-burn”(나무를 태워서 토양에 영양분을 공급하고 지력이 약해지면 경작을 쉬어야 하는 화전농업 방식) 관습에서 “slash and char”로 변경하면 0.2Gt, 농업 및 산림 폐기물로부터 0.16Gt의 탄소를 저장.
- Biochar는 나무, 견과류 껍질, 껍질 또는 거름과 같은 바이오매스의 저산소, 고온 연소에서 생성되는 숯과 유사한 물질임 Biochar는 주로 공급원료의 연소, 냉각 및/또는 저장 방법에 따라 다양한 흑탄 화학 형태의 탄소로 구성됨. 바이오 숯의 사용은 수천년 전으로 거슬러 올라가는데, 아마존 분지의 원주민들이 바이오 숯을 생산하고 이를 토양에 혼합하여 토양 비옥도와 작물 수확량을 향상시킴.
- 오늘날 바이오 숯은 탄소를 격리하고 토양 건강과 수분을 개선하고, 토양 pH를 높이고, 오염된 토양을 개선하기 위한 토양 개량제로 사용되고 있으며, 2018년 미국 바이오 숯 산업은 미국에서 매년 약 45,000톤의 바이오 숯이 생산되는 것으로 추정하고 있음.
- 농경지에 바이오 숯을 적용하는 현재 상태를 이해하기 위해 심층 연구를 위해 다음 요소가 확인되었습니다.
 - 기술 상태(예: 연구, 개발, 배포 및 공급)
 - 토양 적용 영향(예: 바이오 숯 기술, 비용 및 토양 생화학에 대한 영향)
- 토양에 바이오차를 적용하면 토양과 지역 생태계에 여러 가지 유익한 영향을 미친다는 점 이외에도, 생산자가 바이오 숯을 적용하기로 결정할 때 환경 건강과 같은 요소를 공동 이익으로 고려할 수 있음.
- 바이오매스 폐기물의 경우 대부분 매립에 의존하고, 혐기성 환경에서

주로 메탄(CH_4) 생성을 야기하는 한편, 질소 성분이 많은 축산 폐기물의 경우 분해되어 메탄이나 아산화질소(N_2O)를 생성할 수 있다. 이러한 CH_4 와 N_2O 는 지구온난화지수(Global Warming Potential)가 CO_2 에 비해 각각 25배와 298배에 이르러 지구온난화에 미치는 영향이 훨씬 큼. N_2O 는 지구적 CO_2 환산가로 계산한 배출량의 8%, CH_4 는 14% 달함.. Yanai 등은 바이오차를 처리한 경우 N_2O 발생량이 최대치 기준으로 15% 수준으로 감소하였으며, 토양에서 N_2O 가 발생이 저감 여러 미생물 단계 중에서 N_2O 환원 미생물의 증가를 야기시키는 denitrification 저해에 의한 것으로 추정함.

- 분뇨 바이오차의 현황: 2019년 9월 EPA에 발표된 “Global Non- CO_2 Greenhouse Gas Emission Projections & Mitigation Potential: 2015-2050” 보고서 에 따르면 2015년 온실가스 배출량 중 농업 부문이 48%를 차지하고 있으며, 그중 가축 관련 온실가스 배출량은 52.5%를 차지하고 있었음. 가축과 관련하여 온실가스가 배출되는 부문은 크게 장내발효과정과 분뇨처리과정으로 나뉘지며 온실가스 배출량 감소를 위해 분뇨처리 과정에서 배출량을 감소시키는 방법에 대한 연구가 이루어지고 있음.
- 분뇨 바이오차의 특성 - 생산과정에서 온도나 공급원료, 가열속도 등의 차이에 따라 생산된 바이오차의 특성이 달라짐. 먼저 온도가 높아질수록 바이오차에 포함된 회분의 함량은 증가하는데, 분뇨로 바이오차를 만들면 밀짚으로 만든 바이오차보다 회분함량이 더 증가함. 이런 질소, 인과 칼륨을 포함한 약간의 재는 비약한 토양에 영향을 줄 수 있음.
- 바이오차를 FTIR 스펙트럼을 통해 보면 공급 원료와 비교하여 바이오차가 열분해이후 작용기가 파괴되고 헤테로 원자가 제거되어

방향족 구조가 형성됨을 볼 수 있는데, 이는 열분해 온도가 올라갈수록 점차 안정화됨. 또 이때 스펙트럼을 통해 작용기의 대부분이 O를 포함한 것을 관찰할 수 있고 이는 흡착 능력 및 양이온 교환능력이 높다는 것을 알 수 있음. 전자현미경을 통해 목재와 분뇨 기반 바이오차의 표면 형태를 관찰 및 비교할 수 있는데, 이때 두 종류의 바이오차 표면에 있는 기공의 크기를 비교해 보면 분뇨 기반 바이오차의 기공이 더 크다는 것을 관찰할 수 있음(그림64). 바이오차의 이러한 다공성 구조는 양분을 저장할 수 있어 토양의 환경 개선에 중요한 역할을 하게 되며, 이런 방면에서 목재기반 바이오차 보다 분뇨 기반 바이오차가 더 큰 영향력을 줄 수 있다는 것을 알 수 있음.

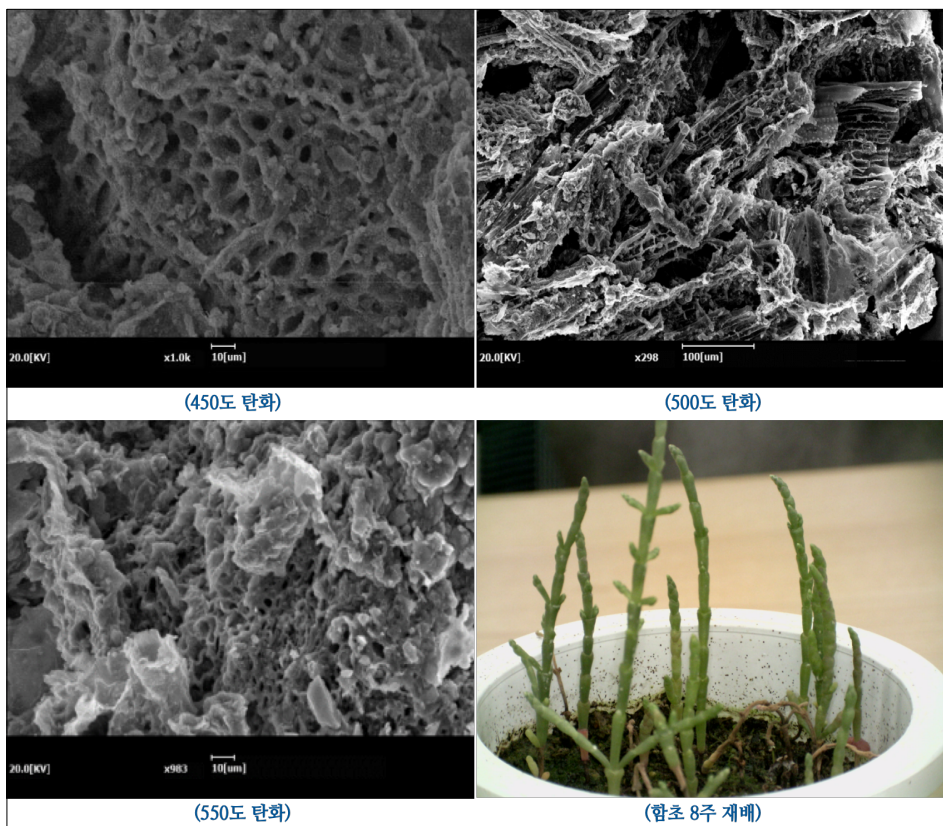


그림 66. 우분 바이오차 현미경 사진 및 토양개질을 통한 함초 재배

○ 분뇨를 이용한 바이오차의 응용: 토양에 저장, 중금속 회수 친환경 재료로 사용²⁷¹⁾

1. 아민(-NH), 알코올(-OH), 카보닐 기능기로 알데하이드(-CHO), 케톤(-CO), 에스테르(-COO), 카르복실(-COOH) 기능기 등을 포함하는 바이오차
2. 물리적 특성: 높은 표면적, 높은 다공성, 표면 전하, 높은 수분 함유율
3. 환경 개선에 활용: 중금속 흡수, 유기 폐기물 흡수
4. 토양 개선: 높은 pH, 탄소 격리, 영양소 교환, 영양소 저장 및 방출, 미생물 풍부, 산소 및 물 함유율 높음, 토양 개선

○ 바이오차 이용에 대한 전과정 평가를 통한 배출계수 산정

○ 분뇨를 이용한 바이오차의 탄화의 정도를 등급으로 표기 등 분뇨 바이오차 규격, 측정법, 사용에 대한 법률 규정.

다. 에너지 사용량

○ 분뇨처리 적용기술별 수익은 농장의 열이나 전기를 위해 포집된 CH₄를 사용하여 생성되었습니다. 이러한 수익은 전기 가격 지수를 기반으로 다른 지역으로 확장되었습니다. 소화조 시스템의 자본 비용 및 연간 관리비용을 기반으로 사용.

○ 완전 혼합 소화기: 완전 혼합 소화기는 헛간이나 축사에서 분뇨를 물로 씻어내고 고형물의 농도를 일반적으로 3%에서 10% 사이의 수준으로 낮추는 따뜻한 기후에서 더 일반적입니다. 분뇨는 소화조에 들어가기 전에 혼합 탱크에 축적되고 소화기는 중력과 펌프를 사용하여 시스템을 통해

271) Yin et al., Research progress and prospects for using biochar to mitigate greenhouse gas emissions during composting: A review, Science of The Total Environment, Volume 798, 1 December 2021, 149294 • <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149294>

분뇨를 이동시킴. 소화조는 일반적으로 일정한 온도와 가스 흐름을 유지하기 위해 가열됨.

- 플러그 흐름 소화기: 플러그 흐름 소화기는 길고 상대적으로 좁은 가열 탱크로 구성되며, 종종 지면 아래에 건설되며 기밀 덮개가 있음 플러그 흐름 소화기는 약 11%에서 13%의 더 높은 분뇨 고형분 함량을 필요로 하기 때문에 낙농 분뇨에만 사용됨.
- 고정 필름 소화기: 고정 필름 소화기는 분뇨가 물로 매우 희석되는 돼지 분뇨 관리 상황과 같이 고형물의 농도가 매우 낮을 때 적합할 수 있고, 고정 필름 소화기는 박테리아가 생물막으로 자라는 불활성 매체로 채워진 탱크로 구성됨.
- 덮힌 석호: 분뇨 저장 석호 또는 구덩이를 덮으면 대기로 직접 방출되는 것을 방지하여 메탄 배출을 크게 줄일 수 있음. 덮힌 흙으로 된 석호는 분뇨처리 시스템 중 가장 단순하고 일반적으로 가장 저렴하지만 구축된 시스템에는 약간의 차이가 있음. 이 시스템은 분뇨 고형물 농도(3% 미만)가 낮은 상태로 사용되며 돼지 또는 젖소에 사용할 수 있음. CH₄는 분뇨가 저장되는 석호를 떠다니는 덮개로 덮고 가스를 플레어로 배출하거나 농장에서 사용함으로써 포집됨. 소화조는 일반적으로 가열되지 않기 때문에 사용 가능한 가스 흐름은 일년 내내 크게 변할 수 있음.
- 돔 소화조: 중국과 인도를 포함한 일부 개발도상국에서 사용되는 소형의 비가열 소화조이며, 전형적인 돔 소화조는 탱크 바닥에 연결된 입구 및 출구 포트가 있는 실린더를 둘로 나누는 벽이 있는 땅에 가라앉은 벽돌로 늘어선 실린더임. 생성된 바이오 가스는 일반적으로 가정에서 요리 및 기타 가정 에너지 요구에 사용됨.
- 중앙 집중식 소화조: 중앙 집중식 소화조는 개별 농부가 대규모 소화 및 자본 비용 분산을 위해 폐기물을 운반하는 대형 소화조임.

- 분뇨처리 대한 저감 기술에 대한 비용과 저감 효과를 계산한 표22²⁷²⁾에 의하면 완전 혼합소화조의 경우 젖소를 제외한 소의 경우 엔진을 갖는 경우 86%의 저감 효과를 갖으며 에너지 수익을 농가에게 줌. 하지만 엔진이 없는 완전 소화조의 경우는 에너지 수익이 없음. 즉 분뇨처리 과정에서 대체 에너지를 만들어 사용하는지의 여부에 따라 농가 수익이 결정됨.
- 분뇨처리 기술별 배출량 감소를 정리해보면 표22와 같이 메탄 가스 이용으로 메탄배출을 최대 85% 감축할 수 있음.

표 22. 분뇨처리 기술별 설치비용, 관리비용, 저감효율 및 농가 수익 비교

저감방법	총 설치 자본비용 (2010 USD)	연간 관리 비용 (2010 USD)	자본 수명 (년)	저감효율 (배출량 변화)	이익(가축 또는 에너지 수익 변화)
완전혼합조(돼지) -엔진 있음	100 per head (US)	0.11 per head (US)	20	CH ₄ : -85%	두당 \$8 에너지 수익/절감 (US)
완전혼합조(돼지) -엔진 없음	61 per head (US)	0.07 per head (US)	20	CH ₄ : -85%	None
완전혼합조(젖소) -엔진 있음	958 per head (US)	3.35 per head (US)	20	CH ₄ : -85%	두당 \$65 에너지 수익/절감 (US)
완전혼합조(젖소) -엔진 없음	588 per head (US)	2.06 per head (US)	20	CH ₄ : -85%	None
플러그 흐름 소화조(젖소) -엔진 있음	1288 per head (US)	2.3 per head (US)	20	CH ₄ : -85%	두당 \$65 에너지 수익/절감 (US)
플러그 흐름 소화조(젖소) -엔진 없음	790 per head (US)	8.9 per head (US)	20	CH ₄ : -85%	None
고정 필름 소화조(돼지) -엔진 있음	128 per head (US)	0.15 per head (US)	20	CH ₄ : -85%	두당 \$8 에너지 수익/절감 (US)

272) https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-09/documents/nonco2_methodology_report.pdf

저감방법	총 설치 자본비용 (2010 USD)	연간 관리 비용 (2010 USD)	자본 수명 (년)	저감효율 (배출량 변화)	이익(가축 또는 에너지 수익 변화)
고정 필름 소화조(돼지) -엔진 없음	102 per head (US)	0.12 per head (US)	20	CH ₄ : -85%	None
큰 규모 덮인 석호 (돼지) -엔진 있음	43 per head (US)	0.13 per head (US)	20	CH ₄ : -85%	두당 \$8 에너지 수익/절감 (US)
큰 규모 덮인 석호 (돼지) -엔진 없음	25 per head (US)	0.06 per head (US)	20	CH ₄ : -85%	None
큰 규모 덮인 석호 (젓소) -엔진 있음	1182 per head (US)	3.43 per head (US)	20	CH ₄ : -85%	두당 \$65 에너지 수익/절감 (US)
큰 규모 덮인 석호 (젓소) -엔진 없음	773 per head (US)	2.01 per head (US)	20	CH ₄ : -85%	None
작은 규모 소화조 -돔소화조,조리 용 연료 및 빛	50 per 1,000 lbs live weight	1.25 per live weight	10	CH ₄ : -50%	두당 \$7 에너지 수익/절감 (베트남) 두당 \$48 에너지 수익/절감 (탄자니아)
작은 규모 소화조 -폴리에틸렌용기 , 조리용 연료 및 빛	20 per 1,000 lbs live weight	0.5 per live weight	10	CH ₄ : -50%	두당 \$7 에너지 수익/절감 (베트남) 두당 \$48 에너지 수익/절감 (탄자니아)
중앙집중식 소화조	EU 전역 돼지 두당 평균 163, EU 전역 젓소두당 평균1,007	돼지 두당 0.07, 젓소 두당 2.06	20	CH ₄ : -85%	돼지두당 \$8 에너지 수익/절감 (US) 젓소 두당 \$65 에너지 수익/절감 (US)

표 23. 분뇨처리 기술별 배출량 감소 정도

온실가스 저감기술 분류	세부기술	감축량	적용축종
분뇨 대체 에너지화	완전혼합소화조 형태	CH ₄ 85%저감	소, 돼지*
	고정필름소화조 형태	CH ₄ 85%저감	
	큰규모 덮힌석호 형태	CH ₄ 85%저감	
	소규모 돔 형태	CH ₄ 50%저감	
기타	분뇨처리개선 (분뇨덮개설치)	N ₂ O 배출량 100%감소 CH ₄ 변환계수 47%저감	전축종

*닭분뇨 적용가능, 감축량 정보부족

라. 적용 기술별 탄소발생량 저감 조사 및 효과분석

- 대규모 완전 혼합 소화조, 엔진이 있거나 없는 덮개가 있는 석호, 엔진이 있는 고정막 소화조는 모두 각각 19 MtCO₂^{-eq} 세 번째로 높은 저감 잠재력을 제공.

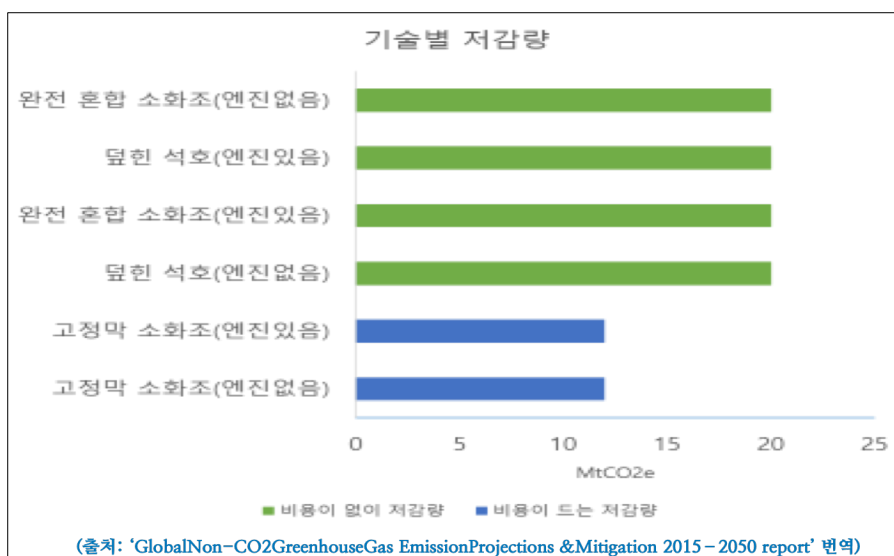


그림 67. 분뇨처리 기술별 탄소 저감량 비교

- 완전 혼합, 플러그 흐름, 고정막 소화조 및 덮인 석호. 소규모 동물 소화조도 포함되어 저렴한 비용 절감 조치를 제공하고 개발도상국에서 사용되는 조치, 이 소화기는 분뇨의 배출을 완화할 뿐만 아니라 수익을 창출함(표22,23 그림67). 포집된 CH₄ 가스에서 열과 전기를 생산하여 농장. 예를 들어, 젖소 농장에 엔진이 있는 완전 혼합 소화조를 구현하면 1인당 \$65의 에너지 수익을 창출함.
- 가축분뇨 처리별 완화 전략 및 옵션(Mitigation strategies and options)
 - 가축 생산이 환경에 미치는 영향을 완화하려면 분뇨 배출을 줄이는 것이 중요한데, 분뇨로 인한 배출을 최소화하는 데 도움이 되는 몇 가지 전략은 다음과 같음.
- 영양 관리 기술:
 1. 정밀 사료 공급- 동물 사료의 영양소 함량을 최적화하기 위해 정밀 사료 공급 관행을 구현. 이는 분뇨의 과도한 영양분을 줄이고 결과적으로 저장 및 적용 중에 배출을 줄일 수 있는데, 생산된 제품 단위당 N 배설물을 줄이기 위해 동물 식단의 N 함량을 최적화하고, 가축 사료의 조단백질 함량을 줄이고 모든 생산 단계에서 가축의 영양 요구량을 일치시켜 영양분 공급의 정확도를 높이고 폐기물과 배출량을 줄일 수 있음.
 2. 균형 잡힌 영양분 살포: 영양 요구 사항에 맞게 밭에 분뇨를 살포하는 시기와 목표를 적절하게 설정하고 과도한 살포로 인해 질소 손실이 발생하는 것을 방지.
- 혁신적인 기술:
 1. 분뇨 첨가제: 저장 중 배출을 줄이거나 유익한 미생물 활동을 촉진할 수 있는 분뇨 첨가제의 사용을 탐구.
 2. 암모니아 회수 시스템: 분뇨에서 암모니아를 포착 및 회수하여

암모니아 배출을 줄이는 시스템을 설치.

- 토양 개질에 이용-주입 또는 혼입: 표면 살포 대신, 살포 직후 토양에 분뇨를 주입하거나 혼입시키는 것을 고려하고, 이를 통해 암모니아와 아산화질소의 배출을 줄일 수 있음.
- 교육과 훈련: 모범 관리 관행(BMP)- 배출을 줄이기 위한 분뇨 처리 및 저장에 대한 모범 관리 관행에 대해 가축 생산자 교육 및 훈련
- 연구 및 혁신: 지속적인 연구 - 분뇨 배출을 더욱 줄이는 새로운 기술과 관행을 개발하고 채택하기 위한 연구 지원, 투자
- 이러한 전략의 효과는 기후, 농장 규모, 현지 규정 등의 요인에 따라 달라질 수 있음.
- 전체 분뇨 관리 시스템을 고려하고 여러 전략을 통합하는 전체적인 접근 방식이 가장 효과적인 경우가 많음. 메탄 배출을 줄일 수 있는 몇 가지 일반적인 분뇨 관리 관행²⁷³⁾이 있으며, 다음과 같음.
 1. 혐기성 소화조(Anaerobic Digestion): 열과 전기의 열병합 발전을 위해 발전기에서 바이오가스를 연소시킨 다음 고체 및 액체 부산물(예: 퇴비, 비료, 침구, 세척수 등)을 가축이나 작물 시스템에 다시 적용할 수 있음. 화석 연료에서 생산된 열, 전기 또는 비료를 대체하기 위해 이러한 부산물을 사용하면 완화 효과가 추가됨.
 2. 매일 뿌려주기(Daily Spread):
 3. 목초지 기반 관리(Pasture-Based Management): 방목 관행을 채택하면 분뇨를 목초지 기반 시스템에 고르게 분배할 수 있음.
 4. 퇴비화(Composting): 비축된 분뇨에 우레아제 억제제를 추가하면 N을 줄일 수 있으며, 요소(가축 배설물에서 발견됨)가 N으로 전환되는

273) <https://www.epa.gov/agstar/practices-reduce-methane-emissions-livestock-manure-management>

속도를 줄여 배출함

5. 고체 저장(Solid Storage): 고체 저장은 일반적으로 몇 달 동안 비료를 보관하는 것으로, 제한되지 않은 더미 또는 스택이있는 개방 된 공간 또는 분뇨가 시설 벽 안에 갇혀있는 전용 저장 시설에 보관.
 6. 분뇨 건조 관행(Manure Drying Practices): 분뇨 건조에는 분뇨의 액체 함량을 줄여 13% 이상의 고형분 함량을 달성하는 다양한 방법이 포함됩니다. 분뇨 건조는 분뇨를 보다 쉽게 저장하거나 운반할 수 있도록 일반적으로 사용됨.
 7. 반투과성 커버, 자연 또는 유도된 껍질(Semi-Permeable Covers, Natural or Induced Crusts): 반투과성 덮개가 메탄이나 암모니아 및 냄새를 줄여줌.
 8. 분뇨 저장시간 감소 (Decreased Manure Storage Time); 날씨와 토양 조건이 좋은 곳에서 혐기성 소화조에서 머무는 시간이 줄어듦.
 9. 퇴비층 보관 창고(Compost Bedded Pack Barns) : 하우징 시스템으로 가축이 층 사이의 통로를 통해 움직이며 하루 두 번 운반.
 10. 습한/혐기성 환경에 들어가기 전 분뇨 고형물의 고체 분리(Solid Separation of Manure Solids Prior to Entry into a Wet/Anaerobic Environment)
- 분뇨를 처리하는 것은 특히 인프라나 기계에 접근할 수 없는 저소득 농부에게 어렵고 불쾌한 작업이 될 수 있으며, 분뇨 특성과 기후의 가변성으로 인해 분뇨 관리로 인한 온실가스 배출을 최소화하기 위한 만능 솔루션을 제안하기가 어려움.. 완화 방법은 시스템의 요구 사항에 맞게 조정되어야 하며, 환경친화적인 관행 채택을 위한 정책 인센티브와 지원은 지속 가능한 분뇨 관리를 촉진하는 데 중요한 역할을 할 수 있음.

- 설치 비용, 투자 수익률, 목표, 규제, 안전, 독특한 운영 특성을 고려하여 설치 하여야 함.



그림 68. 메탄 배출을 줄일 수 있는 몇 가지 일반적인 분뇨 관리(혐기성 소화조 대비 비교값)

- 그림 68은 메탄 배출을 줄일 수 있는 몇 가지 일반적인 분뇨관리 방법으로, 각 방법의 괄호 안 숫자는 혐기성 소화조를 기준 100으로 놓았을 때 비교값을 나타냄. 이 값은 미국온실가스 배출 흡수원 인벤토리 기반 2019년 IPCC GL를 따른 비교 값임.

4절. 저탄소 수입육에 대한 정책 및 기술적 대응방안

1. 한우 생산 및 유통 관련 저탄소 정책 분석

- 농림축산식품부는 2012년부터 농림축산부문 온실가스 감축사업으로 ‘저탄소 농축산물 인증제’도와 ‘농업·농촌 온실가스 감축사업’을 시작함 (농업과학기술원 운영). 가장 최근 2023년 3월 ‘저탄소 축산물 인증제’의 시범사업을 시작함 (축산물품질평가원 운영).
- 저탄소 농축산물 인증제
 - 친환경(유기농, 무농약) 또는 GAP인증 농산물을 대상으로, 저탄소 농업기술을 적용 하여 생산한 농축산물에 인증마크를 부여하는 국가 인증제도로, 22년 12월 기준 8,098호 농가가 인증을 받음.
 - 품목별 인증기준이 개발된 61개 품목에(22.3월 기준) 대하여 그림 69에 있는 19가지 저탄소 농업 기술중 1가지 이상의 기술이 적용되어야 함.

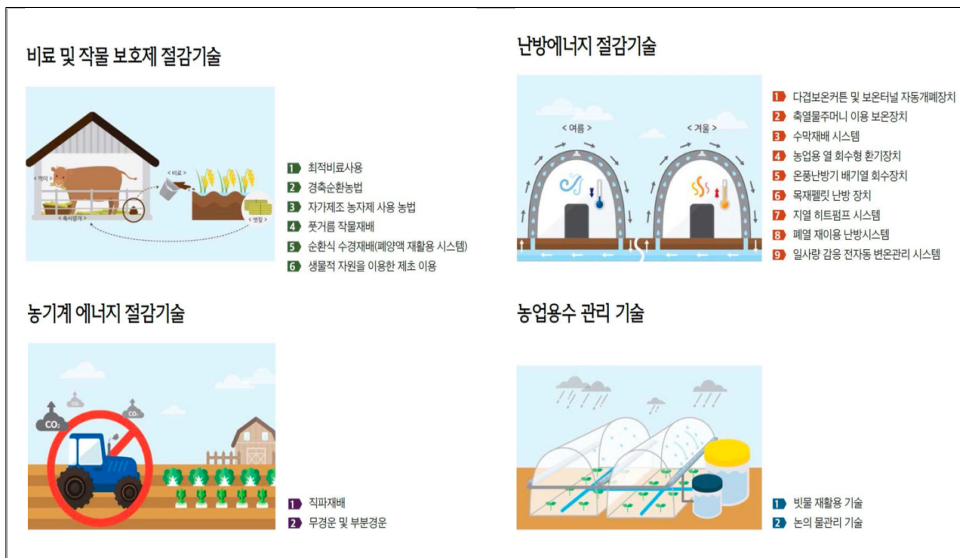


그림 69. 농축산물 인증제도 저탄소 농업기술 (4개분류/19개 감축기술)

- 농산물의 생산 과정에 투입되는 농자자와 에너지에 대한 CO₂ 배출량을 평가하고 감축한 농산물에 부여하며, 최소한의 투입과 고효율 농업 시스템을 구축하여 탄소발생량을 낮추고 농가 경영비 절감 효과를 유도.

*저탄소 농축산물 인증제 개요 및 참여방법‘ 재구성함²⁷⁴⁾

○ 농업·농촌 온실가스 감축사업

- 농업부문의 에너지 이용효율 향상기술, 친환경 농업기술, 신재생에너지 사업 등 온실가스를 감축할 수 있는 기술을 적용하여 온실가스를 감축하고, 감축한 온실가스의 배출권에 대하여 농림축산식품부에서 인센티브를 지급받거나 ‘배출권 거래제 외부사업’을 통해 배출권 거래시장에서 거래할 수 있음.
- 저탄소 농업기술에는 15개의 감축기술 방법론이 등록되어 있으며, 계속해서 온실가스 감축기술을 지속적으로 발굴하고 방법론을 개발하고 있음.

○ 저탄소 축산물 인증제도

- 우리나라의 탄소중립(Net-Zero)을 위한 온실가스 감축목표를 구체화함에 따라 2023년 3월 한우분야 저탄소 축산물 인증제도 시범사업을 시작함. ('24년에는 양돈, 낙농까지 확대할 계획으로 알려져 있음). 저탄소인증 한우고기 외부포장 부착 표지와 축산물이력제 이력정보에 표시되는 저탄소인증표지는 그림70과 같음.
- 저탄소 축산물 인증농가 신청 선결조건으로 유기축산, 무항생제, HACCP, 방목생태, 동물복지, 깨끗한농장, 환경친화 축산농장 등 기존 축산업 인증제도를 지정받은 농가로 제한하고 있음. 또한, 인증 신청 농가 중 기준년도 한우 거세우 출하실적이 20두 이상이거나 신청일 기준 사육두수가 100두 이상이어야 하며, 가산정탄소배출량과 비계량기술

274) 저탄소 농축산물 인증제 개요 및 참여 방법. 스마트 그린 푸드, 한국농업기술진흥원

적용 여부 등 인증조건에 따른 정량평가를 통해 60점 이상을 획득한 경우 인증대상농가로 선정됨²⁷⁵⁾. 자세한 저탄소 축산물 인증제 인증기준은 [부록-3]과 같음.

- '23년 2월 한우분야 저탄소 축산물 인증제도 시범사업으로 농가들의 지원 신청을 받음. 그 결과, 27개의 한우농가가 당해 7월에 저탄소 한우 사육 농가 인증을 받았으며, 10월 기준 약300두의 저탄소인증 한우가 출하됨. '23년 9월 하반기 저탄소 인증제 한우 시범사업 신규 희망농가 모집 결과 68호의 심사대상농가가 선정됨. 현재 심사대상농가에대한 컨설팅 및 심사가 진행중이며 12월 인증서 발급 예정.






저탄소인증표지

English
통합정보

소 개체정보	
이력번호	002 1672 9630 9
출생년월일	2021-07-25 (25개월령)
소의 종류	한우
성별	거세
소 출생 등 신고정보	
농장경영자(농장식별번호)	신고구분 년월일 사육지
김문석 (505208)	전산등록 2021-07-25 전라북도 고창군 신탐면
김문석 (505208)	도축출하 2023-07-27 전라북도 고창군 신탐면
도축 및 포장처리정보	
도축장	(주)박달재엘피씨(LPC) (충청북도 제천시 봉양읍 의암로)
도축일자	2023-07-27
도축검사결과	합격 도체중 423kg 육질등급 1+등급
포장처리업소	동양플러스(주)제천지점(충청북도 제천시 봉양읍 의암로)
구제역 백신접종 및 가축질병 검사 정보	
구제역 예방접종최종일자	23.05.20 (5차) 접종 후 68일 경과
브루셀라 검사최종일자	2023-06-08 검사일로부터 49일
브루셀라 검사결과	음성
결핵 검사최종일자	2023-06-08 검사일로부터 49일
결핵 검사결과	음성

▶ 결핵병 및 브루셀라병 검사중영서 유효기간은 검사일로부터 2개월(60일), 단 도축장 출하 시 브루셀라병은 검사일로부터 3개월(90일), 결핵병은 검사중영서 제외

▶ 6개월 이상 12개월 미만의 소는 결핵병 검사중영서 휴대명령 의무 대상이 아님

▶ 브루셀라 및 결핵 검사정보는 농림축산식품부 Agrix에서 제공된 정보임.(http://www.agrix.go.kr)

▶ 브루셀라 및 결핵 검사결과 정보가 사실과 다를 경우 동물위생시험소에서 발급한 증명서를 반드시 확인하시기 바랍니다.

그림 70. 저탄소 축산물 표지(좌)와 축산물 이력정보 저탄소 인증 마크 표기(우) (출처:축산물품질평가원)

275) 저탄소 축산물 인증기준. 축산물품질평가원 (<https://www.ekape.or.kr/board/view.do#attachdown>) 2023.11.9. 확인

- ‘23년 9월 롯데백화점과 올가홀푸드(폴무원)에서 저탄소 인증 한우고기 판매되고 있는 것을 확인하였으나(그림71,72), 11월 시점에는 온라인 쇼핑몰에서 판매되고 있지 않았음.

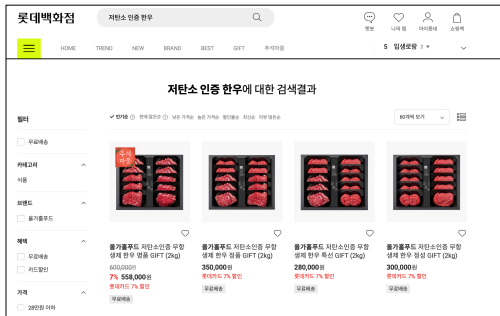


그림 71. 롯데백화점 온라인 쇼핑몰 저탄소인증 한우고기 판매 (2023.9)

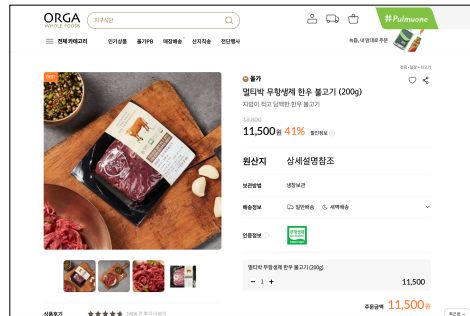


그림 72. 폴무원 ORGA 온라인 쇼핑몰 저탄소인증 한우고기 판매 (2023.9)

- 현 정부는 24년 농업직불금 예산을 18조 3,330억원 규모로 편성했으며, 신규 도입된 탄소중립프로그램에 90억원이 배정되어 있음. 탄소중립 프로그램은 저메탄 사료활용, 논물관리 등 탄소감축활동에 지급되는 직불금이며, 이 중 축산분야에 '저탄소직불금'으로 46억 예산이 배정되어 저탄소사료 급이 기간에 따라 1마리당 25,000원/개월의 직불금을 지급할 예정임.
- 현재 우리나라에서는 저탄소 농축산물 인증은 농림축산식품부 총괄, 농업과학기술원 (저탄소 농산물 부문)과 축산물품질평가원(저탄소 축산물 부문)에서 담당하고 있음.
- 두 인증제도 모두 동일한 인증마크를 사용하고 있으나, 농업과학기술원에서 운영하고있는 사업명은 '저탄소 농축산물 인증제도' 이지만 축산물품질평가원에서 운영하고 있는 사업명은 '저탄소 축산물 인증제 시범사업'임. '저탄소 축산물 인증제 시범사업'이 정식 사업으로 채택되게 되면, 각 사업의 범위에 대한 조정이 있을 것으로 예상됨.

○ 농업과학기술원에서 운영중인 ‘농업·농촌 자발적 온실가스 감축사업’과 ‘배출권 거래제 외부사업’ 부분은 축산분야에서도 필요한 부분임. 축산농가의 자발적인 감축사업 참여를 유도하기 위해서는 농가에 실질적인 소득을 가져올 수 있는 제도적인 장치가 필요함.

- 호주의 경우 농업관련 ERF 중 육우 관련 방법론으로는 소에게 질산염을 먹이는 방법, 소똥관리(생산성 향상) 등 2가지 방법이 제시되어 있음 (2023년 11월 확인)²⁷⁶⁾²⁷⁷⁾.

- 일본은 J-credit에서 제시한 방법론 중 농업부분 방법론으로는 아미노산밸런스 사료 급여, 분뇨처리방법개선 등 5가지가 등록되어 있음 (2023년 11월 확인)²⁷⁸⁾

- 캐나다는 캐나다 온실가스 생쇄 신용 시스템(Canada's Greenhouse Gas Offset Credit System)의 연방 오프셋 프로토콜중 ‘가축사료관리, 가축분뇨 메탄배출 방지’와 같은 축산업 관련 항목이 개발중임²⁷⁹⁾.

○ 한우농가의 탄소배출량 관리

- 축산물 생산은 농산물 생산과는 다르게 투입물과 생산물의 범위가 다양하고 최종생산물이 나오기까지의 시간이 오래 걸리기 때문에 생산물의 탄소 배출량의 모니터링에 어려움이 있음.

- 영국, 미국, 호주 등의 나라에서는 기후변화 솔루션에 자발적으로 참여하기를 원하는 농가를 위하여 농장에서 발생하는 온실가스를 농가에서 직접 계산해볼 수 있는 도구(Tool)가 개발되어 있음.

영국: “Cool Farm Tool”²⁸⁰⁾. 에덴버른대학 개발, 현재 단독 기구로 운영.

276) ERF 농업 관련 방법론 <https://www.cleanenergyregulator.gov.au/ERF/Choosing-a-project-type/Opportunities-for-the-land-sector/Agricultural-methods>

277) 호주 연방법원 관련 법령. <https://www.legislation.gov.au/Search/carbon%20farming%20initiative%20beef%20cattle>

278) <https://japancredit.go.jp/about/methodology/>

279) 캐나다 온실가스 오프셋 프로토콜(2023.11 접속). <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/climate-change/pricing-pollution-how-it-will-work/output-based-pricing-system/federal-greenhouse-gas-offset-system/protocols.html>

호주: “Carbon Calculator”²⁸¹⁾. MLA 개발

미국: “COMET-FARMTM”²⁸²⁾. USDA(미농부무), USDA-NRCS
(미국자연보호청), 콜로라도주립대학에서 협력하여 개발

- ‘Cool Farm Tool’의 경우 가축의 나이와 숫자, 연간 사용한 연료의 종류와 양, 농기계 등 유틸리티의 유형 및 수량, 보유하고 있는 건물, 기자재, 비료량, 토지면적, 토지유형, 농약, 수입가축사료, 폐기물과 처리 방법, 유통 및 냉장, 토양유기물, 바이오메스 특징 등의 데이터를 입력, 농장의 온실가스 배출량이 계산되어 보여짐.
- 저탄소 축산물 인증제도가 실효성을 거두기 위해서는 생산농가의 자발적인 참여와 소비자의 관심이 필요함.
- 생산자 기반의 참여를 촉진하려면 한우고기의 생산-유통-소비 각 영역에서 단계적인 변화가 필요함.
- 저탄소 소고기를 생산하기 위하여 저메탄 사료를 이용하거나, 사육기간을 줄이고, 분뇨처리방법을 변경하고 농장시설을 교체하는 등의 행위와 관련 규정을 준수 하는 데는 발생하는 비용의 오프셋(저탄소직불금의 확대, 탄소배출권 거래제도 도입 등).
- 유통과 소비 전반에 관련된 단체와 정부의 적극적인 개입으로(판매처 확보, 지속적인 홍보, 소비자 인센티브 지급 등) 저탄소 소고기에 대한 수요 창출.
- 소비자의 참여와 정부의 지원을 통해 통합되는 전체 공급시스템을 구성하고 탄소 또는 탄소중립 쇠고기에 자금을 지원하기 위한 지속가능한 모델을 구축하는 것이 필요함.

280) 영국 cool farm tool <https://coolfarm.org>

281) <https://carbon-calculator.mla.com.au/dashboard/calculations>

282) COMET-FARM. <https://comet-farm.com>

- 저탄소 쇠고기 인증은 소비자에게 효율적이고 지속가능한 방법으로 생산된 쇠고기를 구매할 수 있는 능력을 제공하는 동시에, 쇠고기 생산자를 위한 시장기반 프리미엄을 지원함.
- 저탄소 인증제도는 쇠고기를 소비하는 주체인 소비자가 보다 지속가능한 선택을 하고 있다는 확신을 갖게 함. 이는 소비자와 생산자의 자발적인 탄소절감 실천의 동기부여가 될 수 있음.

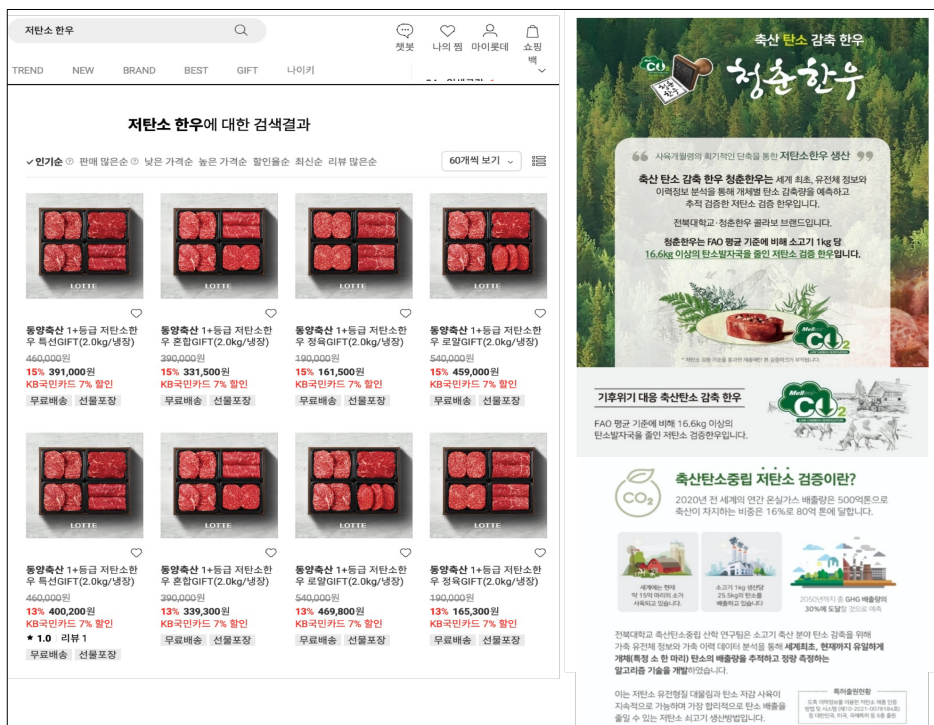


그림 73. 롯데백화점 저탄소 한우 검색 결과(2023.11)(좌), 롯데백화점 저탄소 한우 제품설명 페이지 일부(우)

- 국가에서 인증한 저탄소 한우고기에 대한 소비자의 정보가 부족하고 ‘저탄소 소고기’ 표기에 대한 규정이 없어 소비자 혼란스러워 함.
- 온라인상에서 ‘저탄소 쇠고기’로 검색-판매되는 쇠고기에 대한 규정이 명확하지 않음.

- 23년 현재 롯데백화점 온라인 식품관에는 ‘저탄소’문구를 사용하는 한우고기는 저탄소 축산물 인증제도에서 인증한 ‘저탄소 축산물 라벨’을 부착한 한우고기와, 브랜드 자체적으로 ‘저탄소 한우고기*’라고 홍보하고 있는 한우고기가 판매중(그림73).

* 로카카우* -청춘한우로 저탄소 인증이라는 문구로 판매중. 평균 사육기간을 줄이고 정육량이 많은 한우 육종 방법을 저탄소소고기 육종이라고 광고, 일반화 오류를 범하고 있음. 배출량국가인증을 포함하여 공인된 민간 인증기관으로 부터 저탄소 인증을 받지 않았음에도 저탄소 소고기라는 문구를 이용하여 판매 중임.

- 한우농가의 저탄소 인증제도에 자발적인 참여를 유도하고, 저탄소 인증 한우고기에 대한 유통 활성화와 소비확대를 위해서는 ‘온라인상거래’상의 ‘저탄소 한우’ 라는 문구 사용에 대한 규제가 필요함.

- 소비자에 ‘저탄소 인증 한우고기’에 대한 정확한 정보전달 모델의 설정이 필요함.

- ▷ 안전한 우리축산물 (무결성)
- ▷ 지구에 친절한 한우고기(저탄소)
- ▷ 우리몸에 필요한 한우고기 (영양소)

- 현재 농촌진흥청 축산과학원에서는 한우고기 이력제에 대한 신뢰성과 편의성을 높이고 소비자가 구매하는 시점에서 한우고기의 정확한 정보를 전달할 수 있는 시스템을 개발중임.

- ‘저탄소 소고기’는 소고기를 생산하는 과정에서 탄소를 배출한다는 의미를 부각 시킬 수 있음. ‘탄소저감 소고기’ 또는 ‘지속가능한 소고기’ 등의 탄소 배출의 의미를 줄이고, 보다 지속가능성에 무게를 둔 명칭으로 변경을 검토해볼 필요가 있음.

- 또한 앞으로 탄소중립 소고기의 수입 가능성을 고려해보았을 때, 우리나라 한우산업 에서도 이에 대응할 수 있는 장치의 마련이 필요할 것임.

2. 저탄소 쇠고기 선진국들의 우수사례

가. 미국

○ 미국은 2050년까지 산업 전반에서 탄소 Zero를 달성하겠다는 목표를 가지고 있으나 아직까지는 축산부문에서 탄소중립을 인증해주는 제도가 승인된 경우는 없으며, 2021년 농무부(USDA)에서 프로세스 인증 프로그램(PVP, Process verified Program) 서비스 제공업체로 인증한 민간 인증제도를 운영하고 있음.

- 미국 오кла호마주를 거점으로 하고 있는 ‘Low Carbon Beef’사가 USDA 프로세스 인증 프로그램(PVP, Process Verified Program)으로 인증을 받음.

- LCB USDA 프로세스 검증 프로그램(LCB PVP, Low Carbon Beef USDA Process Verified Program)²⁸³⁾; 그림74는 LCB사의

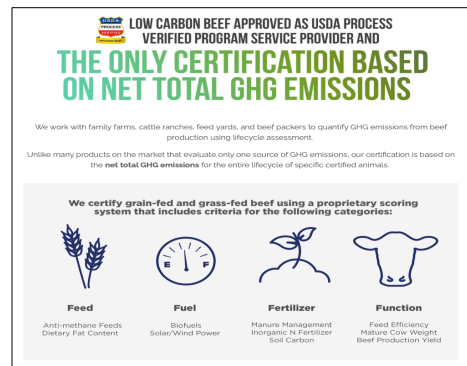


그림 74. 미국 저탄소 소고기 민간 위탁 인증 기관 웹페이지

웹페이지 한 부분으로, 쇠고기 생산 과정 에서 완전히 통합된 수명주기를 평가하여 온실가스 배출을 줄이는 방법으로 접근하고 있음을 보여주고 있음.

- 순 총 온실가스 배출량을 기반으로 하여, 사료, 연료, 비료 및 소의 성능과 관련된 20가지 기준을 이용하여 인증하고 있으며, 육우 평균 GHG 배출량리 10%이상 감축시 인증을 받을 수 있음. LCB USDA PVP를 관리를 위해 매년 USDA에서 감사를 실시하여 관리됨.

283) <https://www.lowcarbonranch.com/pvp>

- 2023년 11월 시점에서 LCB는 인증 저탄소 소고기의 시장 출시는 확인되지 않음.

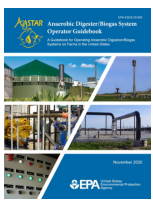
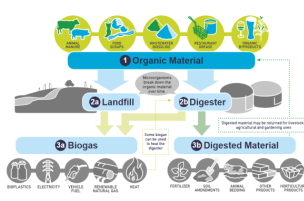
○ 미국의 AgSTAR 프로그램: 미국은 환경보호국과 농업부가 공동 후원하는 협력 프로그램²⁸⁴⁾으로 가축 배설물에서 발생하는 메탄 배출을 줄이기 위해 바이오 가스 회수 시스템의 사용을 촉진하는 AgSTAR(혐기성 소화조로 바이오가스 생산 및 에너지 생산) 프로그램 진행, 가축분뇨로 인한 환경 오염을 줄이고 에너지를 생산함. 환경보호국에서 농업 부분의 온난화 배출 가스 중에 장내 배출²⁸⁵⁾ CH₄를 25%로 산정함.

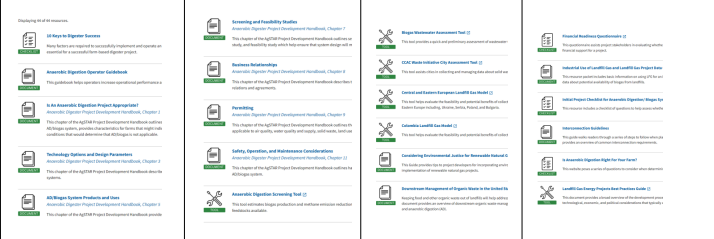
표 24. 미국의 AgSTAR 프로그램 진행 내용과 온실가스 저감 효과

프로그램	진행 및 효과
정보 제공 	- AgSTAR 홈페이지를 통해 아래 정보를 얻을 수 있음 1. AgSTAR란 무엇인가? 2. AgSTAR가 어떻게 도움이 되는가? 3. AgSTAR와 어떻게 연결하는가? 4. AgSTAR에 어떤 정보를 제공하는가? 5. 환경부의 기후변화 대처로 무슨 일은 하는가?
온실가스 감축 	1994년 창립 이래 AgSTAR는 농업 부문에서 온실가스(GHG) 배출을 줄임 - 봉사 활동, 교육, 훈련 및 기타 도구를 통해 AgSTAR는 가축 폐기물의 혐기성 소화를 지속적으로 지원 2022년 343개소 축산농가 혐기성 소화조 운영, 10.4 MMTCO₂ 감소
이벤트 	- AgSTAR는 각 구역별로 관리되고 있으며 아이오와, 미조리, 네브라스카에서 컨퍼런스를 개최. - 혐기성소화조의 전문지식, 전망, 도전 등에 대해 논의

284) <https://www.epa.gov/agstar>

285) <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>

프로그램	진행 및 효과
학습 	- AgSTAR 홈페이지를 혐기성 소화조(anaerobic digestion, AD)에 대해 배울 수 있음 - AD 무엇인가? - AD 시스템 개발 및 설계? - 바이오 가스 회수의 이익? - AD가 자신의 환경에 적합한지? - AD에 대한 지침 및 허용 요건 - AD에 대한 운영자 경험 공유 - 바이오가스 회수 및 혐기성 소화에 대한 국가 데이터 및 추세
구축 	AD의 성공적인 구축을 위한 10가지 요소 및 설치 위험요소 분석 및 기술 검토 체크를 수행함  
바이오가스 회수 시스템 구축 및 운영	- 혐기성 소화조를 계획하고 최적화하는 데 도움을 주기 위해 AgSTAR는 혐기성 소화 지침, 공동 소화 지침, 상호 연결 지침 및 연방, 주 및 지역 수준의 허용 요건에 대한 자세한 정보를 제공 - 프로젝트 개발 핸드북, 혐기성 소화조/바이오가스 시스템 운영자 가이드북(농장 내 혐기성 소화조 및 바이오가스 시스템 운영자가 시스템 성능을 개선하고 지역사회 반대 및 시스템 폐쇄로 이어질 수 있는 일반적인 문제를 피할 수 있도록 돕기 위해 작성, 기술 지침(다양한 리소스와 도구) 소개   

프로그램	진행 및 효과
바이오가스 Toolkit	- 미국 환경 보호국(EPA) 바이오가스 툴킷은 바이오 가스 프로젝트 이해관계자를 위한 중앙 집중식 지식 허브 역할을 함 - 툴킷은 이해관계자가 특정 프로젝트 요구 사항을 충족하는 정보와 리소스를 검색하고 찾아볼 수 있도록 설계 - 이 툴킷에는 AgSTAR, 매립 메탄 지원 프로그램(LMOP) 및 글로벌 메탄 이니셔티브(GMI)를 비롯한 여러 EPA 프로그램에서 수집된 정보와 리소스가 포함(44개 설명서) 
프로젝트 현황과 기회	가축 혐기성 소화조 데이터베이스, 경향, 시장기회, 부문별 AD, 국제프로젝트(GMI, Global Mrthane Initiative), RNG (Renewable Natural Gas) 생산 정보 제공

나. 호주

- 호주의 주요 탄소 저감 정책: 호주는 MLA(Meat & Livestock Australia)에서 주도하여 2030년까지 가축의 개체수를 유지하면서 축산분야의 탄소중립을 달성 하겠다는 목표를 설정하고 CN30(Carbon Natural 2030) 로드맵을 발표하고, 그성과를 더블린에서 2022년 10월 7일에 개최한 지속가능한 가축을 위한 글로벌 의제(Global Agenda for Sustainable Livestock, GASL)²⁸⁶⁾에서 “호주 적색육 산업 탄소 중립 2030”에 발표

286) <https://www.lowcarbonranch.com/pvp>

표 25. 호주의 주요 탄소 저감 정책(CN30) - 600백만 달러 저감 효과

프로그램	진행 및 효과
3-NOP 첨가제 (3-nitrooxypropanol)	소의 장내의 미생물군집 발달을 프로그래밍하여 메탄 완화를 호주 연방과학 및 산업연구기구(CSISO) 자금으로 연구. 이 결과를 DSM이 개발하여 집단으로 길러지는 소에 3-NOP 사용. 추후 NSW주 가축 시스템에 접목/평가할 계획임
조류 첨가제 (Asparagopsis) 	사료 첨가제인 아스파라곰시스(홍해조류)가 반추 동물의 메탄 생산을 줄이고, 생산성을 향상시키는 능력을 테스트. 아스파라곰시스를 먹은 소는 메탄을 최대 98% 적게 생산. 아스파라곰시스에 대한 소의 반응은 사료 유형에 따라 달라질 것으로 예상되므로, 다양한 사료 배합에 대한 권장 보충량을 확인하기 위해서는 추가 조사가 필요합니다. 추가연구 필요-하루 권장량, 적용 방법, 브로모폼 생성 실사
방목 	방목지 관리, 더 좋은 육종 개발을 위한 남부 및 온대 생산 지역의 쇠고기 사육에 대한 지식 공유, 전라 식별을 활용. 생산자가 이익과 생산을 위한 벤치마킹 하고, 비교 분석 데이터를 활용하여 미래 목표와 현재의 강점과 약점을 파악.
유전자 개발 	추정번식가치(Estimated breeding values (EBV), 호주양번식가치 성과를 확립. (Australian Sheep Breeding Values (ASBVs) 번식 성과를 기록하여 예측하고 도입하여 무리번식가치, 육종가치 등을 평가, 환경에 맞춘 유전자 개발.
콩과식물(legumes) 	올바른 환경과 생산 시스템에서 콩과 식물을 독립형 목초지로 또는 혼합 목초지로 통합하면 생산성을 크게 높이고 가뭄 회복력과 환경적 이점을 제공. 또한 콩과 식물 목초지를 평가하고 콩과 식물 감소의 주요 원인을 식별어떤 관리 방법을 사용할 수 있는지를 확인

- 호주의 체계적인 탄소 저감 교육 프로그램 : 호주는 농가를 대상으로 하는 체계적인 교육 및 시행하고 있음. 호주 MLA에서 개발한 Carbon accounting technical manual 보유하고 있으며, 실제 농가들을 상대로 Carbon EDGE²⁸⁷⁾ 워크숍을 진행하여 축산물 생산과정에서 탄소발자국을 줄이고 지속가능성과 생산성을 향상시킬 수 있는 기술에 대한 교육을 진행하고 있음(표26).

표 26. 호주의 체계적인 농가대상 탄소 저감 교육 프로그램 소개

프로그램	진행 및 효과
지속적인 탄소 계정 만들기 추진 	연간 순 온실가스 배출 저감을 기록하여 제출. 전기, 운송, 비료, 보조사료, 가축분뇨, 장내메탄 및 농장의 탄소저장 등을 기록함. 생산자가 탄소중립/저탄소/제로탄소 적색육 생산의 첫단계로 시간 경과에 따른 진행상황을 벤치마킹할 수 있음.
교육: 탄소 101 e-learning 모듈 	농업의 탄소순환과 관련한 온실가스 및 탄소가 무엇인지 알고, 농업 시스템에서 온실가스가 어떻게 생산되고 순환되는지 이해. 탄소 농업, 탄소 중립, 기후 중립의 의미를 이해.
탄소엣지 	각 지역을 순회하면서 2일간의 탄소, 온실가스 저감, 탄소 저장에 대한 교육 시행
생산자 시범사이트 운영 (MLA Producer Demonstration Site (PDS) program) 	새로운 탄소저감 기술이 실제로 어떻게 활용되고 어떤 결과를 나타내는지 MLA 생산자 시범 사이트 프로그램 운영으로 생산자에게 비즈니스 수익성, 생산성 및 지속 가능성을 향상. 이 실습 프로그램은 최고의 저탄소 시행과 신기술로 이점과 동료 그룹에서 시행하는 내용과 비교하여 새로운 기술을 전파. MLA는 광범위한 주제에 걸쳐 75개 이상의 생산자 시범 프로젝트를 진행.

287) <https://www.mla.com.au/extension-training-and-tools/carbon-edge/>
<https://www.livestockdialogue.org/>

다. 브라질

- 브라질의 작물-가축-산림 통합 생산 시스템 : 브라질 정부는 2020년부터 2030년까지 농업과 축산업에서 탄소 배출을 줄이기 위한 지속 가능한 식량 생산을 위한 기술 혁신을 기반으로 국가 전체를 위한 향상시킨 전략 Plano ABC+ (표27)²⁸⁸⁾²⁸⁹⁾.

표 27. 브라질 작물-가축-산림 통합 생산 시스템

프로그램	진행 및 효과
브라질 농업의 ABC+ 계획	실제 2005년부터 살림 벌채를 감소하고 소고기 생산 증가. 90% 이상 목초지에서 가축을 생산. 삼림 벌채로 황폐화된 토지를 목초지 조성 및 쇠고기 생산 증가에 대한 탄소 배출 감소량을 감소시킬 수 있다는 브라질의 온실가스 배출에 대한 "Nature"지 논문(UK와 공동 연구). 아시아, 호주, 브라질, 캐나다, 라틴 아메리카 및 미국 전역의 "개선된" 소고기 생산 시스템과 "재래식" 소고기 생산 시스템을 비교한 292건의 비교를 분석. 분석 결과, 브라질산 소고기 생산은 배출량 감축 잠재력 (콜로라도주립대학과 공동연구)
작물-가축-산림 통합 생산 시스템, 브라질 농업연구협회	Embrapa 남동부 작물-가축-산림 통합(ICLF) ²⁹⁰⁾ , 작물-가축 통합(ICL) 또는 가축-산림 통합(IPF) 등 자연에서 탄소를 배출하는 것보다 더 많이 격리합니다. 브라질은 미래의 지속 가능한 축산 시나리오의 주인공이 될 수 있는 모든 조건을 갖춘.
유전자 개발	품종의 발전, 경제적 영향, 진드기 저항성 소의 개념
목초지 관리	숲에서 목초지로의 토지 이용 변화의 영향과 대서양 숲 생물 군계의 관리되는 목초지에 의한 탄소 격리 가능성을 평가, 사료 품종은 황폐화된 목초지를 복구하기 위한 대안으로 개발.

288) <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/84883877/sistemas-ilpf-mitigam-emissao-de-gases-de-efeito-estufa-no-bioma-amazonia>

289) ABC Plus - Brazil's New Climate Change Adaptation and Low Carbon Emission in Agriculture Plan

290) <https://www.embrapa.br/en/pecuaria-sudeste/ilpf>

라. 뉴질랜드

- 뉴질랜드 LIC(Livestock Improvement Corporation) 육종개발²⁹¹⁾ :
표28에서 설명

표 28. 뉴질랜드의 육종개발과 목초지 적색육의 홍보

프로그램	진행 및 효과
인공 번식 (다양한 소의 품종)	황소 무리의 번식 가치(Breeding Worth, BW)를 향상 시킴. 소의 품종(Bull, Premier Sires, Alpha, Sexed Semen, A2 bulls, Beef bull and packs, short gestation length semen 등의 품종을 개발 
품종에 따른 환경 지수 분석	환경 효율성에 따라 수소에 순위를 매기는 HoofPrint 및 BeefPrint® 인덱스. 
유전적으로 우수한 육종 관리	국가 육종평가 위원회에서 더 나은 유전제 지수 (BW(Breeding Worth Index) 그리고 수익성 소를 선택
숫소의 증명 체계	유망한 어린 황소를 선택하여 품종 보장
근친교배 및 열성 유전자 위험 감소	근친 교배는 열성 유전자 장애의 위험을 증가시킴. 열성 유전자로 복합 척추 기형, 작은 송아지 증후군, 생식력 후퇴로 임신에 영향 또는 사산되는 것을 예방하는 검사

291) <https://www.lic.co.nz/products-and-services/artificial-breeding/>

마. 해외 탄소중립 쇠고기 인증 사례

- 호주는 ‘Climate Active’사의 탄소중립기준을 공인하고 있고, 2023년 11월 기준 ‘Five Founders’와 ‘Coles’두 개 브랜드가 탄소중립 인증을 받음
- 실제로 뉴질랜드, 호주, 미국 등의 주요 쇠고기 수출국가에서는 공인된 민간 업체에 의해 탄소중립 인증을 받은 쇠고기가 온-오프라인에서 판매되고 있음
- 세계 최초 탄소중립 쇠고기 호주 ‘Five Founders’
 - 호주 North Australian Pastoral Company (NAPCo)의 ‘Five Founders’는 2019년 4월 호주 최초로 탄소중립 인증을 받았으며²⁹²⁾, 호주 정부에서 인정한 탄소중립 인증기관인 ‘Climate Active’사의 탄소중립 인증을 받음²⁹³⁾

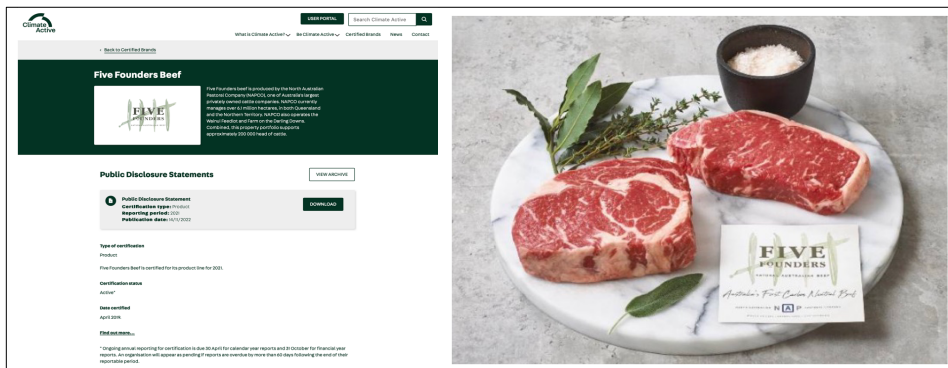


그림 75. 호주 Climate Active의 ‘Five founders’ 탄소중립 인증 웹페이지 (좌)와, 호주 육류 전문 온라인몰에서 판매중인 탄소중립 소고기(우)

- Climate Active의 탄소중립인증보고서에 따르면 ‘Five Founders’ 쇠고기의 탄소중립 범위는 농장에서 유통업체 게이트까지로 설정되어 있음. 토양건강과 목초지 개선, 토양탄소격리 측정 및 개선, 태양광설치, NAPCo 소유 회사인 Coorabulka Station에서 화석연료 사용의

292) Five Founders. <https://napco.com.au/five-founders-beef/>

293) Five founders-carbon neutral certification <https://www.climateactive.org.au/buy-climate-active/certified-members/five-founders-beef>

재생에너지로 전환 등의 방법으로 탄소중립을 구현함.

- 2023년 11월 시점에서 육류 전문 온라인몰에서 Five Founders beef의 탄소중립 쇠고기가 판매중임(그림75).
- 2023년 11월 일본 ‘이토햄요네큐(伊藤ハム米久) 홀딩스(HD)’를 통해 일본에서 시범판매 시작하였고, 점차 수입량을 늘려 일반 판매점의 유통을 목표로 하고 있음. 가격은 시중 소고기 가격보다 12%가량 높게 판매중임²⁹⁴⁾.

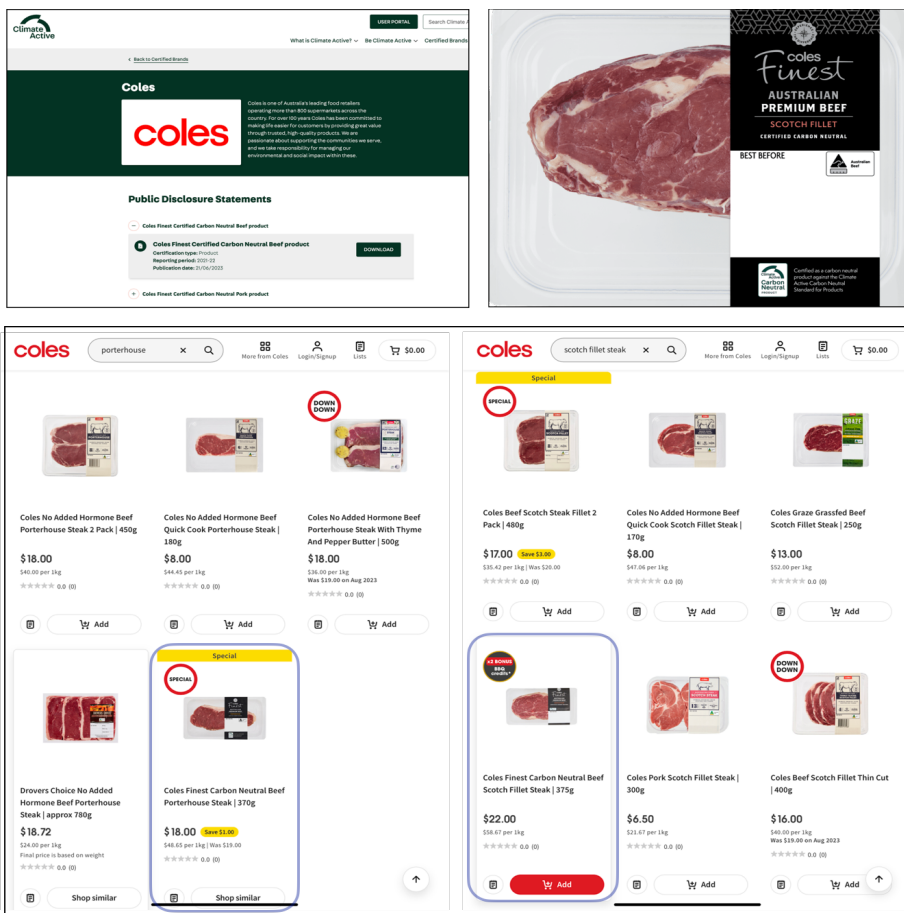


그림 76. 호주 Climate Active의 ‘Coles Fnest’ 탄소중립 인증 웹페이지 (좌)와, 호주 Coles 온라인몰에서 판매중인 ‘Finest’탄소중립 소고기(우, 하)

294) <https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC203QU0Q3A121C2000000/>

○ 호주 대형유통업체인 Coles의 자체 소고기 브랜드 ‘Finest’

- 호주 대형 유통업체인 Coles 는 자체 브랜드인 ‘Coles Finest’에서 쇠고기와 돼지고기에 대하여 호주 정부에서 인정한 탄소중립 인증기관인 ‘Climate Active’사의 탄소중립 인증 받음(2022년 4월 최초인증)²⁹⁵⁾
- 협력 농장 육우의 생산성이 낮은 개체수를 줄여 개체당 생산성 높이고, 사육관행 개선, 농장 내 나무심기 등 토양재생, 탄소크레딧 구입으로 탄소중립 달성. 2023년 11월 시점에서 Coles 온라인몰에서 판매되고 있음(www.coles.com.au)(그림76).

○ 뉴질랜드의 탄소중립 쇠고기 ‘Silver Fern Farms’

- 뉴질랜드의 Silver Fern Farms사는 대형 육류가공회사로, Silver Fern Farms사는 Toitū Envirocare에 의해 농장 생산-소비자 배송에서 발생하는 온실가스에 대해 탄소중립 인증을 받음(그림77)²⁹⁶⁾.
- Silver fern farms사는 쇠고기의 생산-유통-판매에서 발생하는 CO₂ 배출량을 상쇄를 100% 인셋 방식으로 하여 순탄소제로 쇠고기를 달성함.
- 2022년 3월 미국에서 탄소중립 쇠고기 라벨에 대한 판매 승인(그림77)을 받아 미국 판매 시작, 현재 미국 뉴욕 및 로스엔젤레스의 슈퍼마켓에서 판매되고 있으며 가격은 일반적인 쇠고기의 가격보다 높게 판매중임²⁹⁷⁾.
- 해당 탄소중립 소고기는 당사 온라인 홈페이지를 통해서도 미국에서 구입이 가능하며(그림76), 뉴질랜드 에서는 뉴월드(New world), 카운트다운(Countdown), 파크세이브 (Pak’N Save)등 현지 유통 체인의 온오프 라인에서 구입이 가능함 (그림77)²⁹⁸⁾.(2023,11월 확인)

295) Coles Finest-carbon neutral certification. <https://www.climateactive.org.au/buy-climate-active/certified-members/coles>

296) https://www.toitu.co.nz/_data/assets/pdf_file/0008/228266/Disclosure_2022_SFF_Beef_Net-CZ_Prod.pdf

297) https://www.alic.go.jp/chosa-c/joho01_003246.html

298) <https://silverfernfarms.com>

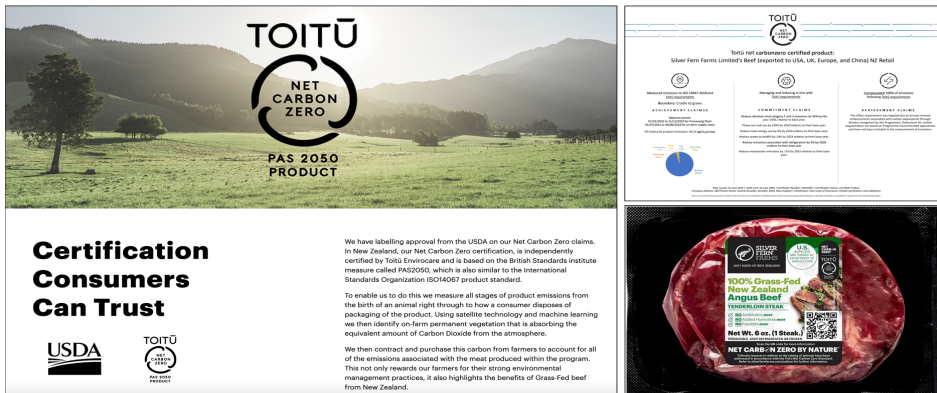


그림 77. Silver fern farm 홈페이지 넷제로 인증과 USDA 라벨 승인 정보(좌), 탄소중립 인증서(우상) 및 탄소중립 소고기 안심 스테이크 (우하)

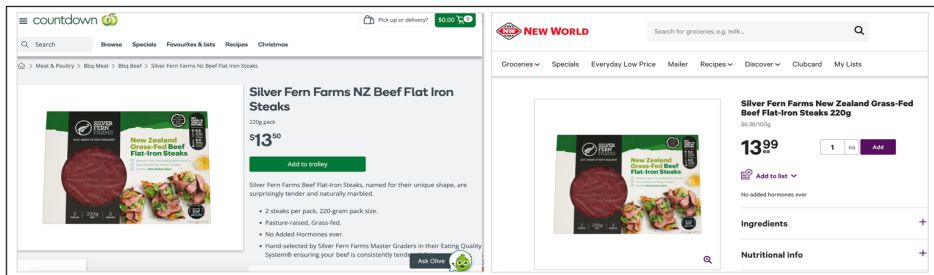


그림 78. 뉴질랜드 silver fern farms사의 ‘넷 카본 제로’ 소고기 판매 웹사이트. (카운트다운 온라인 쇼핑몰-좌, 뉴월드 온라인 쇼핑몰-우)

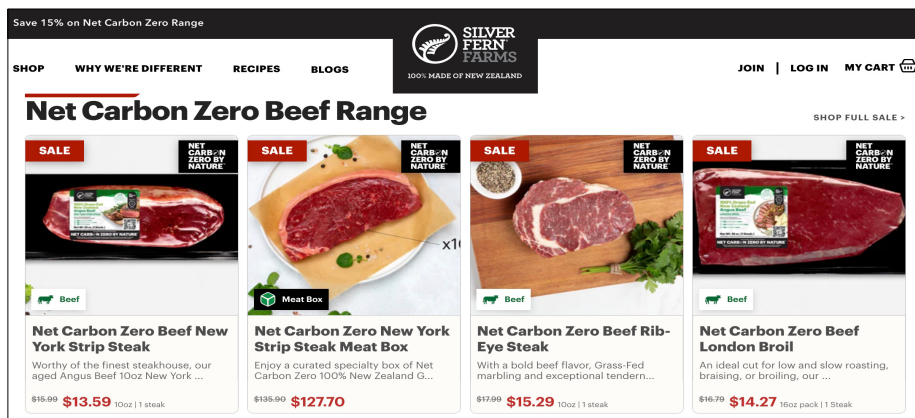


그림 79. Silver fern farms 넷카본제로 소고기 미국 판매 웹사이트

○ 미국 유기농 탄소중립 소고기 ‘TruBeef’

- 북미(샌디에고, 캘리포니아)에 위치한 육류공급회사로, 호주에서 사육된 유기농 grass fed 육우를 북미에서 도축, 가공하여 미국지역에서 유통/배송하며, 쇠고기와 양고기의 생산-배송과정까지 100% 탄소중립 인증을 받았음²⁹⁹⁾.
- 호주 Carbon Reduction Institute의 ‘NoCO2’인증을 받았으며, 재생농업과 탄소상쇄(인도 친환경에너지 기업의 탄소크레딧 구매로 상쇄함)로 탄소중립 구현.
- 2023년 11월 시점에서 자사 온라인몰을 통해 판매하고 있으며³⁰⁰⁾, 판매하고 유기농 쇠고기 및 양고기는 일반적인 쇠고기 부위 뿐만 아니라 식용으로 이용이 가능한 뼈와 내장도 판매하고 있음.

○ 일본 탄소배출을 줄인 ‘지구에 좋은 고기(地球にやさしいお肉)’

- 2022년 4월부터 오프라인 매장에서 판매되고 있음. ‘지구에 좋은 고기’는 육우 (홀스타인 수소)로 국립연구개발법인 농업 식품 산업 기술 종합 연구 기구가 개발한 아미노산 밸런스 개선 사료 급여 실증시험에 의해 GHG 배출 감축을 증명함³⁰¹⁾.

○ 영국 대형유통업체인 Sainsbury’s 의 자체브랜드 ‘Taste the differences’

- 2023년 9월 영국의 대형유통업체인 Sainsbury’s 는 탄소배출을 25% 줄인 ‘Taste the Difference Aberdeen Angus’제품군 출시³⁰²⁾.
- Sainsbury’s사는 2050년까지 탄소중립을 달성하고자 하는 목표를 가지고 있으며, ‘Carbon Trust’사와 협력하고 있음.

299) <https://truorganicbeef.com/pages/trubeef-is-carbon-neutral-regenerative-beef>

300) <https://truorganicbeef.com/collections/all/products/bulk-ribeye-steak-organic-grass-fed#section1>

301) <https://maedafarm.com/>

302) Sainsbury’s. <https://www.about.sainsburys.co.uk/news/latest-news/2023/18-09-2023-sainsburys-raise-s-the-steaks-with-lower-carbon-beef>

- 현재까지 확인된 탄소중립 쇠고기는 모두 호주에서 사육된 경우이고, 호주에 위치한 탄소중립인증기업에 의해 인증받은 경우임. 또한 미국 LCB PVP가 승인됨에 따라의 미국에서도 저탄소 인증을 받은 소고기가 머지 않아 출시 될 것으로 예상됨.
- 현지에서는 유통망을 갖추고 있는 대기업에서 자체 탄소중립 쇠고기 브랜드를 론칭해 소비자에 의해 실제로 구입이 가능하고, 탄소중립 소고기가 온오프라인 식육 전문판매점을 통해서 유통되고 있음.
- 현재 우리나라 소고기의 대부분은 미국과 호주에서 수입되고 있고, 수입량 중 호주산 소고기의 비율이 '23년 10월 기준 59%임³⁰³⁾. 2023년 일본에서 탄소중립 소고기 유통이 시작되었고, 호주 MLA의 붉은고기의 탄소중립 구현 목표 시기가 2030년으로 설정되어있기 때문에, 2030년부터 우리나라에 탄소중립 소고기가 수입될 가능성을 배제할 수 없음.
- 우리나라에서도 저탄소 한우고기 인증사업이 시작되었고, 앞으로 축산업 전반에 대해 저탄소 인증을 확대시킬 계획을 가지고 있음. 축산물의 저탄소 시대로 접어들에 따라 한우산업에서도 앞으로의 가능성에 대한 적극적인 대응 전략의 수립이 필요한 시점임.

303) <http://www.chuksannews.co.kr/news/article.html?no=257412>

3. 수입육에 대응할 수 있는 저탄소 한우고기 정책 제안

한우 농가와 관련 기업의 자발적 참여 유도

1. 지속적인 한우고기 생산의 필요성에 대한 농가교육 지원 방법 개발
2. 자발적 참여를 원하는 농가를 위한 탄소회계도구 개발
3. 농가의 실질적인 소득으로 연결될 수 있는 제도적 지원 방안 개발
4. 저탄소 한우고기 생산 정책을 견인하는 이니셔티브 형성

- 우리나라 축산농가의 축산업 환경문제의 심각성에 대한 인식정도를 조사한 선행 연구결과에 따르면, 일반 국민은 축산환경문제를 심각하게 인식하고 있는 반면 축산농가는 축산업 환경문제를 전체적으로 심각하게 인식하지 않는 것으로 나타남³⁰⁴⁾.
- 국내외 축산업에서의 탄소중립 움직임과 주요 이슈에 대해 쉽게 설명하고, 앞으로 한우산업에 연결된 농가를 비롯한 모든 조직이 유기적으로 협력하여 해결해나가야 하는 문제임을 이해시키는 노력이 필요함.
- 우리나라는 2021년 발표한 ‘2050 탄소중립 시나리오’에서 축산분야 감축수단으로 (1)저탄소 가축관리시스템 구축, (2)가축분뇨 자원수단 확대를 제시하고 있음. 최근에는 ‘저탄소 축산물 인증 시범사업’을 시작하였으며, 2024년 농림축산식품부 농업직불제 예산 중 ‘탄소중립 프로그램’을 신설하여 90억원을 배정하였음. (한우에 지급되는 ‘저탄소 직불금’ 규모는 46억)
- 해외 주요국의 탄소중립 정책을 살펴보면 미국이나 일본의 경우 국가 산업 전반의 탄소저감계획에 축산업 탄소저감계획이 포함되어 있고, 농업관련 정부부처에서 주도하여 계획을 주도함. 호주와 영국의 경우 정부의 탄소중립 정책과는 별개로 비영리단체에서 탄소중립을 선언하였음.

304) 축산업 환경영향 분석과 정책 과제. 한국농촌경제연구원. 2021.10. pp52-63.

이에 따라 구체적인 탄소배출 저감 계획을 발표, 시행하고 있음. 해외 주요국의 탄소중립 정책은 표29에서 보는 것과 같음.

표 29. 해외 주요국의 탄소중립 정책 요약

	미국	호주	영국	일본
탄소중립 달성시기	2050년	2030년 (불은육류 산업에서)	2050년(정부) 2040년(NFU ^a 자체 축산업에서)	2050년
농업부문 탄소중립 추진주체	정부(USDA)	단체(MLA ^b)	정부(Defra ^c) 단체(NFU)	정부 (농림수산성)
추진전략	기후스마트 농업과 임업 전략	CN30	농업전환계획	지속가능한 식품 시스템
주요 감축수단	토양보전과 탄소격리 바이오에너지	가축관리관행개선 저메탄첨가제 토양, 초지관리 개선	가축관리관행개선 토양, 초지관리 개선	토양탄소 고정, 저메탄, 저질소사료
관련 지원금* (지급형태)	CRP ^d , CSP ^e EQIP ^f (인센티브)	ERF ^g (탄소배출권)	SFI ^h (인센티브)	J-credit ⁱ (탄소배출권)
주요 이니셔티브	USRSB*** The PACT	ABSF	Courtauld	

^a NFU³⁰⁵): National Farmers Union, 영국 잉글랜드와 웨일즈 지방의 농업 조합

^b MLA: Meat & Livestock Australia, 호주 식육공사

^c Defra: Department for Environmen Food & Rural Affairs. 영국 환경식품농무부

^d CRP³⁰⁶): Conservation Reserve Program

^e CSP³⁰⁷) : Conservation Stewardship Program

^f EQIP³⁰⁸) : Environmental Quality EIncentive Program

^g ERF³⁰⁹): Emissions Reduction Fund

^h SFI: Sustainable Farm Incentive

ⁱ J-credit³¹⁰): J-Credit scheme

305) <https://www.nfuonline.com/about-us/>

- 미국과 영국은 소 방목지 등의 목초지와 토양을 정해진 기준으로 개선하면 지원금을 주는 인센티브 제도를 운영하고 있으며, 영국의 SFI (Sustainable Farm Incentive)의 경우 동물의 복지에 해당하는 인센티브를 편성하여 가축의 건강과 만성적인 질병검사를 위한 수의사비용을 지원함. 영국의 경우 ‘농업전환계획’에 따라 농장 보조금 없이 수익성이 보장되는 농업/농장 운영을 목표로, 2021년부터 농장 직접지불금을 줄이기 시작하여, 단계적으로 축소, 2027년을 마지막으로 직접지불을 마무리 지을 예정임³¹¹⁾.
- 호주와 일본의 경우 가축에 탄소배출감축 방법론이 있는 저탄소기술을 적용할 경우 탄소배출권을 지급하고, 지급받은 탄소배출권은 해당 국가 탄소배출시장에서 거래가 가능함.
- 각 국가들의 정책 수립과 더불어 비육우 관련 이니셔티브가 형성되어 국가정책 또는 단체의 정책을 견인하고 있음.

○ 미국 인센티브 프로그램 (미국 FSA, NRCS, USDA, EPA 자료 정리)

- 미국의 축산업의 주요 감축수단은 토양보전과 탄소격리, 바이오에너지 활용이며, 작물생산등에 의해 황폐해진 토지를 보존하고 복원하는데 가축 방목을 이용할 수 있도록 하며, 이에 대한 인센티브 프로그램을 단계적으로 적용할 수 있도록 하여 토지 소유주와 농가의 참여를 유도하고 있음.
- 미국의 ‘기후스마트 농업 및 임업(Climate-Smart Agriculture and Forestry) 프로그램³¹²⁾’은 토양건강 구축, 탄소격리, 온실가스배출 감소

306) <https://www.fsa.usda.gov/programs-and-services/conservation-programs/conservation-reserve-program/index>

307) <https://www.nrcs.usda.gov/programs-initiatives/csp-conservation-stewardship-program>

308) <https://www.nrcs.usda.gov/programs-initiatives/eqip-environmental-quality-incentives>

309) <https://www.cleanenergyregulator.gov.au/ERF/Choosing-a-project-type/Opportunities-for-the-land-selector/Agricultural-methods>

310) <https://japancredit.go.jp/about/methodology/>

311) <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/60085334e90e073ec94cc80b/agricultural-transition-plan.pdf>

생산성과 상품 시장성 향상, 기후변화 영향 완화와 동시에 농장 운영을 강화하기 위한 탄력성을 구축하는데 도움을 주는 자발적인 프로그램과 서비스를 제공하는 프로그램임. 기후스마트 농업 및 임업을 지원하는 다양한 프로그램 중 축산업에 적용할 수 있는 주요 인센티브 프로그램은 다음과 같음.

- 보존준비금 프로그램 (Conservation Reserve Program; CRP)
: 농업 생산자들이 토양 침식을 통제하고 수질 개선, 야생동물 서식지 개발, 토지 덮개 재건(탄소격리를 촉진하는 자원보존 식물종 심기)등을 맺가로 연간 임대료를 지불. 2021년 기후스마트 적용 인센티브로 업데이트됨. 농장 서비스 기관 (Farm Service Agency; FAS) 지원.
- 보존관리 프로그램 (Conservation Stewardship Program; CSP)
: 농업 생산자가 기존 보전 시스템(CRP)을 유지, 개선하고 추가 보전활동을 선택하는 것에 대한 인센티브. 토양보존활동의 유지를 위한 인센티브와 추가보존활동에 대한 인센티브 계약을 기반으로 하며, 5년간 계약, 이후 계약 갱신을 위한 임계값을 충족할 경우 5년 추가 계약 갱신. ‘천연자원 보존 서비스 (Natural Resources Conservation Service; NRCS)’는 토양보존활동에 대해 무료로 기술지원을 제공하며 기술서비스 제공자(Technical Service Providers; TSP*) 또는 보존기술지원 (Conservation Technical Assistance; CTA*) 프로그램을 통해 제공됨.

* TSP³¹³⁾: 영양관리계획 개발, 지속가능한 임업 계획 개발, 방목관리 계획 개발, 관개 효율증가, 전통농업에서 유기농으로의 전환 등의 기술 서비스 제공.

* CAT³¹⁴⁾: 토지이용지도, 토양정보, 자원재고, 경제적 비용 및 혜택, 권장

312) <https://www.farmers.gov/conservation/climate-smart>

313) <https://www.nrcs.usda.gov/getting-assistance/technical-assistance/technical-service-providers>

314) <https://www.nrcs.usda.gov/getting-assistance/conservation-technical-assistance>

관행 일정, 유지 보수일정 및 엔지니어링 노트와 같은 맞춤형 서비스 제공. 9단계 보존계획과정을 통해 농업생산자의 보존 목표를 확인하고 단계적 으로 문제를 평가, 해결책을 제시하고 상세한 실무정보를 제공, 계획 평가를 도움. 보존계획에 의한 보존관행 설치에 대한 재정적 지원을 받을 수 있음.

- 환경품질 인센티브 프로그램 (Environmental Quality Incentive Program; EQIP)
: 농부, 목장주, 산림 등 토지 소유자가 소유하고 있는 토지를 보전작업 토지에 통합할 수 있도록 돕는 프로그램. ‘천연자원 보존 서비스(NRCS)’가 농장 소유주에 적합한 약 200여가지의 고유한 관행인 보존관행을 지원함. 또한 보존관행을 구현하는 비용의 일부를 지원.
- 추가적으로, ‘AgSTAR’ 프로그램을 통해 농가에 ‘바이오가스 회수 시스템’ 농가 적용시 보조금, 대출보증, 산업채권 민간자금 및 기타 비용의 공유계약 등을 통해 초기자본투자비용의 조달 계획을 지원하고 있음. 초기자본비용은 시스템 운영에서 발생하는 수익(생성된 전기, 바이오가스, 퇴비, 비료 판매 등)으로 상쇄할 수 있도록 하며, 또한 미국 내 일부 자발적 탄소배출권 거래 시장에서 혐기성소화조 설치를 통해 감소된 메탄 양 또는 생성된 전기에 대하여 크레딧을 얻을 수 있음³¹⁵).

○ 호주 탄소저감기금 크레딧 (DCCEEW자료 정리)

- 기후변화, 에너지, 환경 및 수자원부 (Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water; DCCEEW)에서 탄소저감 기금(Emissions Reduction Fund;ERF) 운영.
- 농업관련 ERF 중 육우 관련 방법론으로는 소에게 질산염을 먹이는 방법, 소폐관리 (생산성 향상) 등 2가지 방법이 제시되어 있음 (2023년 11월 확인)³¹⁶³¹⁷. 두 방법론 모두 사육장소는 적용되지 않음 (방목우만 적용).

315) [AgSTAR Project Development Handbook, 3rd edition. EPA.](#)

316) ERF 농업 관련 방법론.DCCEEW. <https://www.cleanenergyregulator.gov.au/ERF/Choosing-a-project-type>

- (1) 소에게 질산염을 먹이는 방법: 기존 ‘요소 보충제’를 찐 블록 형태의 ‘질산염 보충제’로 대체함으로써 목초지에서 기른 소의 온실가스 배출을 줄임. 해당 방법론 적용에 대한 온실가스 감소량은 DCEEW에서 제공하는 ‘쇠고기 질산염 계산기’를 이용하여 계산할 수 있음
- (2) 소떼 관리: 소의 생산성을 개선하고, 무리의 평균연령을 줄이거나 무리의 비생산적인 동물의 비율을 줄이거나, 무리의 각 가축 클래스의 동물 수를 변경함으로써 배출량을 줄일수 있음. 방법론의 적용에 대한 온실가스 감소량 계산은 DCCEEW에서 제공하는 ‘무리 관리 계산기’를 이용하여 계산할 수 있음

○ 일본 J-Credit 제도

: 중앙정부(경제산업성, 환경성, 농림수산업성)에 의해 운영되고 있는 ‘J-Credit scheme’은 (이하 J-credit) ‘국내신용제도’와 ‘오프셋 크레딧(J-VER)’가 통합된 제도임. J-credit에서 제시한 방법론 중 농업부분 방법론으로는 5가지가 등록되어 있으며 다음과 같음 (2023년 11월 확인)³¹⁸⁾.

- (AG-001) 소·돼지·육계에 대한 아미노산 밸런스 개선 사료 급이
- (AG-002) 가축 배설물 관리 방법 변경
- (AG-003) 토양에 질산화 억제제가 포함된 화학비료 또는 석회질소를 포함한 복합 비료의 시비
- (AG-004) 바이오차 농지 사용
- (AG-005) 벼 재배에서의 중간 물떼기 기간 연장

</Opportunities-for-the-land-sector/Agricultural-methods>

317) 호주 연방법원 관련 법령. <https://www.legislation.gov.au/Search/carbon%20farming%20initiative%20beef%20cattle>

318) <https://japancredit.go.jp/about/methodology/>

- 우리나라에도 ‘농업·농촌 온실가스 감축사업’에 의해 농가에 지급된 배출권에 대해 인센티브 지급 또는 배출권 거래 등의 지원사업이 존재하고 있음. 하지만 등록 되어 있는 온실가스 배출 가축 방법론은 모두 농산물 생산농가에 해당하는 기술 이며, 한우산업을 비롯한 축산업에 적용할 수 있는 방법론 전무함.
- 한우농가의 저탄소 소고기 생산에 자발적인 참여를 이끌어내기 위해서는
 - (1) 해외의 저탄소 또는 탄소중립 소고기 생산 정책 및 노력, 국제적인 탄소중립 흐름에 대한 정보 전달, 저탄소 기술에 대한 교육 등, 한우농가의 자발적 참여를 위한 농가 교육 지원이 필요함.
 - (2) 자발적 참여를 원하는 농가를 위해 탄소배출량, 경제적 효과 등을 계산할 수 있는 탄소회계 도구의 개발이 필요함.
 - (3) 정부의 적절한 보조금 정책이나 온실가스 배출권 거래제에서 인정받는 탄소저감기술 방법론 개발 등 농가가 실질적으로 필요로 하는 경제적인 지원 방안을 확대 편성해야 할 필요가 있음.

4. 소비자 인식개선 및 한우고기 이미지 전환

가. 소비자 인식 개선

1. 소비자에게 사실에 기반한 정확하고 이해하기 쉬운 정보 제공
2. 한우고기의 영양학적 특별함과 동물성 단백질 섭취의 중요성 전달
3. 지속가능한 한우고기 소비촉진을 위한 소비자와의 지속적인 커뮤니케이션

- 기후위기에 대한 소비자의 관심이 높아짐에 따라 가치소비, 플렉시테리언, 클라이메이테리언 등의 환경을 생각하는 식품소비에 대한 새로운 트렌드가 생겨나고 있음. 이는 소비자가 더욱 적극적으로 환경문제에 개입하고 지속가능한 소비를 원하는 것이라 해석할 수 있음.
- 정부의 ‘저탄소 소비문화’ 확대 정책과 더불어 ‘지속가능한 쇠고기’의 소비자 수용은 소비자의 충분한 이해가 있어야 실제 구입으로 연결될 수 있음. 기후위기와 소비의 선택에 있어 소비자에게 사실에 기반한 정확하고 이해하기 쉬운 정보를 제공하여 저탄소 한우고기 소비 기회를 제공해야 함

예) “저탄소 한우고기는 어떻게 생산되는지?”

“얼마나 저탄소인지?”

“왜 저탄소 한우고기를 먹어야 하지?”

- 동시에, 한우고기의 영양학적 특별함과 동물성 단백질 섭취의 중요성을 꾸준히 홍보하는것도 중요함.

예) 국내 소비자에 한우고기의 차별성(올레익산, 향기성분 등)

로컬푸드의 긍정적인 이미지의 제공

고기를 먹어서 우리 몸에 필요한 단백질을 공급해야 하는 이유 등.

○ 미국의 ‘Protein the PACT’는 북미육류연구소(North American Meat Institute) 주체로 2021년 만들어진 이니셔티브임(그림80). 지속가능한 식육 공급을 향해 사람과 동물, 환경에 있어서서의 동물성 단백질의 가치와 의미를 강화 (Protein the PACT, Protein for the People, Animals, and Climate of Tomorrow) 하기 위한 목적 으로 설립됨.

- 탄소저감 목표에 대한 진행상황을 체크하고 투명하게 보고하기 위한 데이터 수집. 건강한 식단과 지속가능한 식품 시스템에서 동물성 단백질의 위치에 대한 포괄적인 커뮤니케이션을 하고 있음.*

* The PACT 홈페이지 내용 요약 (theproteinpact.org)

○ 호주 ‘Australian good beef’는 MLA에서 개발한 온라인 플랫폼으로, MLA가 시행하고 있는 지속가능한 붉은 고기에 대한 사업에 대한 중요한 정보를 제공을 목적으로 만들어짐(그림81).

- 투명한 접근방식을 통해 현장의 모범사례와 지속적인 개선에 대한 노력, 지속가능한 생산 방식을 보여줌. 또한, 호주의 붉은고기의 가치, 균형잡힌 식단의 중요성에 대하여 지속적으로 정보를 제공하고 있음.*

* Australian Good Meat 홈페이지 내용 요약(www.goodmeat.com.au)

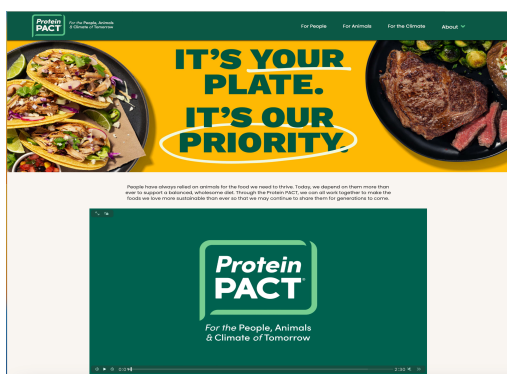


그림 80. 미국 ‘Protein the PACT’
홈페이지

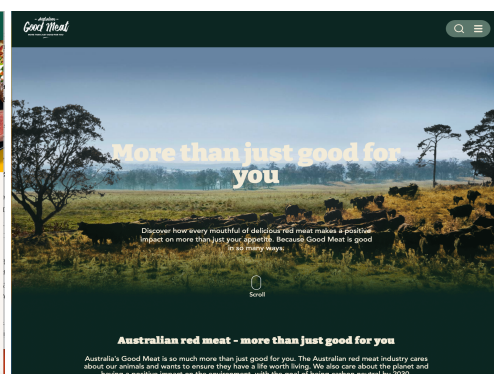


그림 81. 호주 ‘Australian good beef’
홈페이지

- 소비자의 윤리소비와 생산자의 환경친화적 생산의 직접적인 연결 고리를 마련하여 로컬푸드에 대한 긍정적인 이미지 제공할 수 있음.
- 일본의 구마모토현의 ‘미나미소무라 초원 재생, 아카규 부흥 프로젝트’는 산업체, 정부, 학계, 금융기관이 제휴하여 지역사회 활성화와 환경대응, 관광산업을 연결하는 프로젝트임. 지역사회 활성화를 위해 소비자나 개인이 직접 농장을 지원할 수 있도록 크라우드펀딩을 오픈했으며 (금융기관 지원), 환경대응을 위해 대학과 기업의 기술적 지원*, 관광수요 창출 (미나미아소 관광국 지원) 등의 사업을 진행하고 있음 (*SDS Biobitech의 루미넵 급이)
- 우리나라 한우의 경우 한우자조금관리위원회와 한우협회를 중심으로 한우산업 발전 방향 및 한우고기의 우수성 등에 대한 홍보, 교육을 꾸준히 진행하고 있음. 또한 한우고기를 소비하는 소비자에게 다양한 조리법을 소개하는 등의 한우고기와의 긍정적인 접촉을 하고 있는 “한우유명한곳” 홈페이지(그림82)를 운영하고 있음³¹⁹⁾.

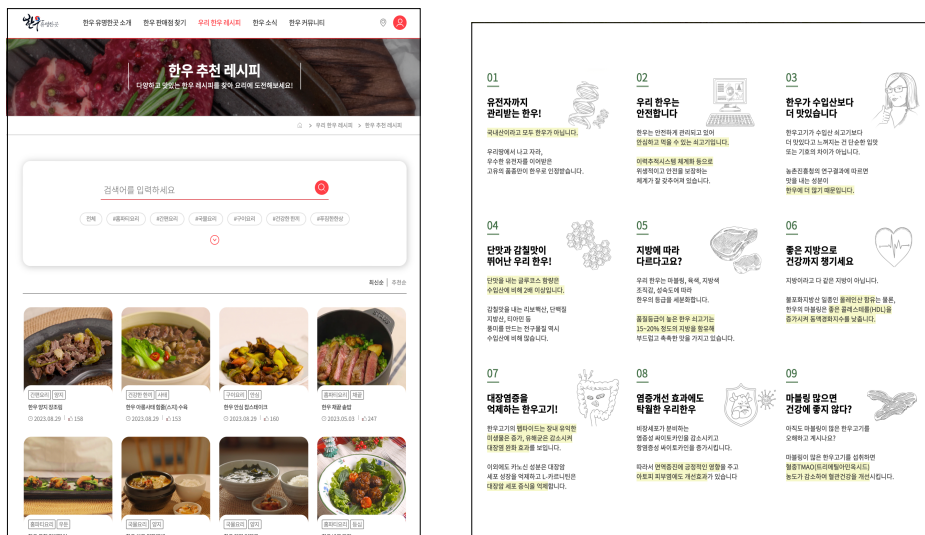


그림 82. ‘한우 유명한곳’ 홈페이지의 한우요리 레시피(좌)와 우수성 홍보 (우)

319) www.한우유명한곳.com/

- 호주의 ‘Good Meat’ 또는 미국의 ‘The FACT’ 와 같이, 소비자에게 과학적 근거 기반의 팩트를 지속적으로 전달해주는 플랫폼이 필요하며, 이러한 역할을 한우 관련 단체가 중심이 되어 수행해야 함. 정보전달 플랫폼을 통해 아래의 내용과 같은 소고기의 영양, 사회적 역할과 지속가능한 한우고기 생산과 관련된 노력과 결과에 대한 팩트를 명확하고 쉽게 전달할 수 있어야 함.
- 한우고기의 가치와 균형잡힌 식단의 중요성: 쇠고기가 가지고 있는 직접적인 영양소 공급. 특히 철분, 필수아미노산, 비타민B군 등이 풍부. 신체적 성장과 발달, 면역기능 인지기능, 성능 및 회복 최적화 등 인간의 건강에 중요한 역할을 함.
- 한우고기가 포함된 식단의 의미와 가치: 한우고기를 단순한 단백질 보충식으로만 보지 않아야 하는 이유. 식단에 한우고기가 포함됨으로써 신체적 포만감과 동시에 정서적인 만족감 제공.
- 한우고기의 환경지속가능성을 위한 노력과 결과: 저탄소 인증 한우 농장 탄소저감 결과, 저메탄사료와 저메탄 사료첨가제 연구 및 현장적용 결과 등 한우산업을 비롯한 육우산업이 추구하는 지속가능성의 방향 홍보.
- 한우산업의 지역사회에서의 역할: 지역사회의 일자리 창출, 지역 인구 기반의 마련, 경제적 발전 도움, 지역농업의 다양성 확보, 로컬브랜드 형성으로 지역 이미지 개선 등 한우산업의 사회적 가치 개발. 한우는 로컬푸드로써 식량안보에 기여.
- 한우고기는 업사이클링 결과물: 소가 먹는 것은 대부분이 인간에 의해 소화될 수 없는 작물 또는 농업부산물임. 소가 인간이 먹을 수 없는 것을 소화하여 고품질의 영양이 풍부한 단백질로 변형시킬 수 있음. 또한 한우의 전주기평가에서 소의 부산물(가죽, 지방, 내장, 힘줄 등)은 화장품 및 펫푸드 등의 원료로 쓰임.

나. 한우고기의 “지속가능성”의 올바른 이해

1. 쇠고기의 지속가능성의 세가지 다리의 균형:

환경적-사회적-경제적으로 지속 가능한 한우고기 산업 추구

- 일반적으로 우리가 지속가능한 쇠고기에 대해 이야기 하는 것은 쇠고기 생산이 환경에 미치는 영향에만 국한되어 있음. 하지만 축산업의 사회적 요인과 경제적 요인이 상호 연결되어야 진정한 지속 가능성이라고 할 수 있음.
- 축산업의 지속가능성을 이야기 하기 위해서는 축산업의 근본적인 지속 가능한 원칙으로 환경지속성 뿐만 아니라 경제적, 사회적 지속가능성에 대한 원칙이 균형을 이루어야 함.
- 사회적 지속가능성: 한우산업 종사자의 안전, 복지, 한우산업의 문화와 전통을 포함한 형평성있는 사회적 자본투자와 복지제공. 사회적 지속가능성은 농장주 뿐만 아니라 모든 한우산업관련 종사자들, 그리고 한우산업이 포함되어 있는 사회와 조직의 노력이 필요함.
- 경제적 지속가능성: 지역사회의 사회적, 환경적 측면에 부정적인 영향을 미치지 않으면서 경제적 이익을 가져오는 것은 말함. 농촌 지역경제와 농가 고용인 생계 개선, 소비자에 대한 쇠고기의 경제성 (가격), 쇠고기 생산자의 수익성, 생태계 서비스의 가치가 포함됨.
- 지속가능한 식단에서 진정한 한우고기의 의미를 구축하기 위해서는 한우산업의 환경적, 사회적, 경제적 지속가능성에 대한 균형있는 발전이 필요함.

다. 한우고기 이미지 전환

1. 저탄소 인증 한우고기에 대한 정확한 정보전달 모델 설정
2. 협회/단체의 전략적인 한우고기의 긍정적인 이미지 메이킹

○ 많은 사람들이 무작정 축산업이 기후변화에 나쁜 영향을 주고 있다는 인식을 변화시키려는 노력이 필요함.

- 2006년 FAO에서 발간한 ‘축산업의 긴 그림자(Livestock’s long shadow)’에서는 축산업의 온실가스 배출량이 교통부분보다 18% 많다고 보고하였고, 많은 사람들에게 의해 인용되면서 축산업이 기후변화의 주범이라는 인식이 고정되었음.

- 해당 보고서에서 축산업과 교통부분의 온실가스 배출량에 대한 평가가 공정하지 않았다는* 후속 보고서가 발표되었지만³²⁰⁾, 아직까지 ‘기후변화주범’이라는 이미지를 벗어나지 못하고 있음.

* 축산업 온실가스 배출량에는 생산에서 유통까지 산업 전반에서 발생하는 온실가스의 양을 합산한 반면, 운송분야의 온실가스 배출량은 자동차, 기차, 비행기, 선박 등 운송수단의 주행에 의해 발생하는 온실가스만을 합산하였음.

- 특히 반추동물을 사육하는 과정에서 배출되는 메탄의 경우 이산화탄소의 34배 또는 그 이상 강한 온실가스이고, 소가 많은 양의 메탄을 트림으로 배출하는 온실가스 대부분이 메탄이라는 단편적인 정보에 의해 ‘소고기를 먹는 행동 = 지구에 좋지 않은 행동’이라는 불편한 이미지가 만들어짐.

○ 그동안의 소고기에 대한 오해를 해소하기 위한 노력 필요함.

1. 그동안의 오해에 대한 팩트 체크와
2. 한우고기의 가치에 대한 홍보를 기반으로 하여 부정적인 소고기에 대한 인식을 긍정적인 방향으로 유도할 수 있는 정보의 제공이 필요함.

320)FAO. Tacking climate change through livestock(2013)C <https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>

한우산업과 관련된 조직들이 유기적으로 연결되어 정보의 흐름을 유도할 수 있도록 적극적인 개입이 필요함.

- 23년초 정부의 저탄소축산물인증 시범사업이 시작되었고 8월 저탄소 인증 한우고기가 시장에 선보였음. ‘저탄소 한우고기 소비 = 가치있는 소비’로 인식될 수 있도록 전략적인 이미지 메이킹이 필요함
- 이를 위해서는 한우농가의 자발적 참여를 유도할 수 있는 정책적 지원과 소비자의 자발적 소비를 유도할 수 있는 정책 (인센티브, 탄소이력제 등)과 저탄소 한우고기의 가치, 영양학적 가치에 대한 홍보가 이루어져야 함.

○ 소고기가 지구온난화에 주범이라고요?

- 온실가스는 사람들에게 좋지 않은 것으로 알려져 있지만, 지구의 온도를 너무 춥지 않게 유지시켜주는 역할을 하는 자연현상임³²¹⁾. 지구를 뜨겁게 하는 원인은 지구를 둘러싸고 있는 온실가스가 너무 과하게 있다는 것임.
- 지구에서 고기를 생산하기 위해 만들어내는 온실가스가 18% 넘는다는 이야기는 2006년 FAO에 의해 발표된 보고서의 내용이지만, 이미 잘못된 내용이라는 사실이 FAO의 후속 보고서에 의해 발표되었음. 뿐만 아니라, 우리나라의 경우 총 온실가스 배출량 중 축산업이 차지하는 비율은 매우 적음.
- 2020 국가온실가스 인벤토리 보고서에 따르면, 2020년 우리나라의 총 온실가스 배출량 중 3.2%만이 농업분야에서 배출되었으며 이 중 1.5%가 축산분야에서 배출되었음³²²⁾. 전체 메탄 발생량(27.1백만톤 CO₂^{-eq})이었으며, 이 중 가축의 장내발효와 분뇨처리에 의한 배출은 22.6%(6.1백만톤 CO₂^{-eq})였음.

321) https://ko.wikipedia.org/wiki/온실_기체

322) 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서. 환경부:온실가스종합정보센터 <http://www.me.go.kr/>

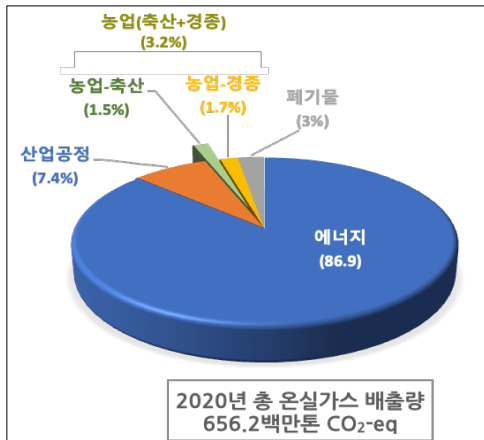


그림 83. 우리나라 2020년 부문별 온실가스 배출구성

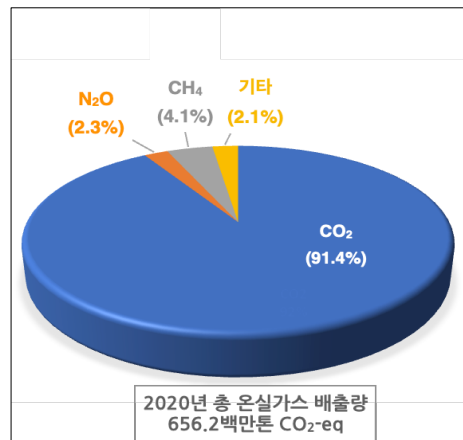


그림 84. 우리나라 2020년 온실가스별 배출구성

- 이산화탄소: 2020년을 기준으로 보았을 때, 이산화탄소는 총 온실가스의 배출량의 91.4%를 차지함. 일반적으로 인간과 동물 식물 사이에서는 사람과 동물이 내뿜는 이산화탄소를 식물이 흡수하는 자연적인 순환경로를 가지고 있음. 하지만 화석연료에서 배출되는 이산화탄소는 자연순환경로의 외부에서 추가적으로 전달하는 많은 이산화탄소임. 이러한 잉여 부분의 이산화탄소는 수천년동안 대기중에 남아 있게됨. (소비자에게: 화석에너지를 덜쓰세요)
- 아산화질소: 2020년 기준 총 온실가스의 2.3%를 차지함하며, 이산화탄소보다 273배 강력한 온실가스 효과를 가져옴(AR6기준)³²³⁾. 아산화질소는 주로 농업에 의해 배출됨. (소비자에게: 덜배출하세요)
- 메탄: 2020년 기준 총 온실가스의 4.1%를 차지하며, 이산화탄소보다 약 29배 (비화석연료메탄 27.2, 화석연료메탄 29.8) 강력한 온실가스 효과를 가져옴 (AR6기준). 주로 축산, 쌀재배, 폐기물 매립, 천연가스 추출 등에서 배출됨. 대기중 에서 분해되는데 다른 온실가스보다 빠르게 분해됨. (소비자에게: 너무 걱정마세요)

323)IPCC 제6차 평가보고서(AR6)

○ 소가 배출하는 메탄은 생물학적인 탄소순환의 일부

- 메탄은 지구온난화에 미치는 영향은 강하지만 공기중에서 분해되기까지 12년이라는 시간이 소요되는 수명이 길지 않은 물질임.
- 2020년 미국 University of California의 한 연구센터에서는(Clarify and Leadership for Environmental Awareness and Research) 소가 배출하는 메탄가스가 지구의 탄소 사이클에 포함되어 있기 때문에, 개체수가 유지된다면 동물이 배출하는 메탄이 지구 온난화에 영향을 미치지 않는다고 보고하였음.
- 소는 인간이 섭취할 수 없는 건초와 작물부산물, 식품제조부산물 등을 섭취하고 소화시켜 인간이 이용할 수 있는 단백질로 변환시켜주는 역할을 함. 소가 건초나 작물의 부산물을 섭취하고 분해하는 동안 소의 반추위에서는 메탄이 발생함. 이 메탄은 생물학적으로 발생된 메탄 (Biogenic methane)으로 자연에서 '생물학적 탄소순환'의 일부임³²⁴⁾.

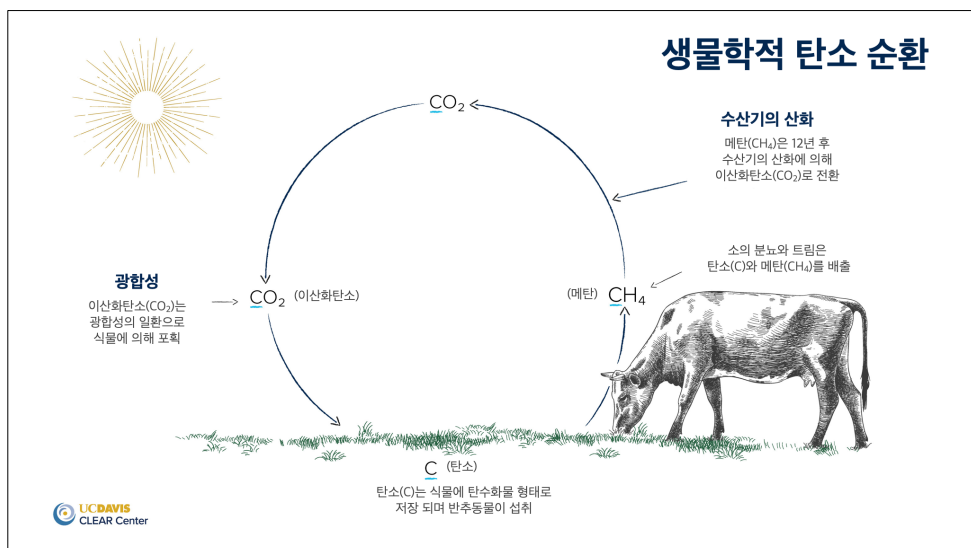


그림 85. 생물학적 탄소 순환 (출처: <https://clear.ucdavis.edu/>)

324) <https://clear.ucdavis.edu/explainers/why-methane-cattle-warms-climate-differently-co2-fossil-fuels>

- 소가 풀을 먹고 메탄을 배출하면 12년이 지나 메탄이 이산화탄소와 물로 분해됨. 식물은 광합성을 통해 이산화탄소를 흡수해서 탄수화물로 바꾸고, 소는 풀을 먹고 메탄을 배출하는 '생물발생 탄소순환' 주기가 다시 시작됨. 때문에 소의 수가 일정하게 유지된다면 12년의 생물발생 탄소순환에 의해 소가 생산하는 메탄이 기후변화에 추가적인 기여를 하지 않음.
- 소가 배출하는 온실가스를 줄이기 위하여 메탄을 줄이는 사료첨가제를 개발 하고 있고, 질소를 소가 필요한 만큼만 정밀하게 먹이는 방법에 대해 연구하고 있음. 또한 소가 배출하는 분뇨를 환경친화적으로 처리하고, 재활용할 수 있는 방법을 연구하고 있음. 이러한 노력은 한우산업이 기후변화의 해결책이 될 수 있음을 보여줌.
- 해외에서는 소가 배출하는 메탄과 생물학적 탄소순환의 이해를 돕는 영상자료를 제작, 배포하여 소고기의 소비가 환경에 부담을 주지 않는다는 사실을 알리고 있음. 뿐만 아니라 축산업에서의 메탄 감소는 지구 온난화를 빠르게 완화시킬 수 있는 솔루션이 된다는 이야기를 전달하고 있음.
- 호주 "Good Beef" 홈페이지의 "어떻게 가축이 기후변화 솔루션의 일부가 될 수 있나요? 자연탄소순환에 대한 설명" (원제: "How can livestock be a part of the climate solution? The natural carbon cycle explained"(그림86).
- 주요 내용: 소가 기후변화에 큰 부분을 차지한다는 것은 사실이 아님. 화석연료를 태워 발생하는 이산화탄소는 잠재적으 100년동안 대기중에 머무르지만 소가 배출하느는 메탄은 대기에서 12년이면 분해되고 식물을 통해 탄수화물로 바뀌어 소가 먹는 탄소순환 사이클 주기를 이룸. 소의 수가 유지된다면 소가 생산한 메탄은 기후변화에 추가적인 영향을 주지 않음. 새로운 기술을 이용하여 소에서 배출되는 메탄을 줄일 수 있다는 사실은 붉은고기와 축산업이 기후변화 해결책의 일부가 될 수 있음.

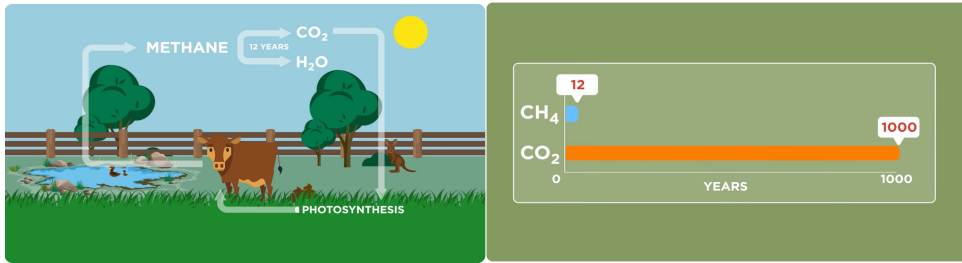


그림 86. ‘Good Beef’의 호주 생물학적 탄소순환 관련 영상자료 주요 장면 (출처: <https://youtu.be/VLmpC-VZoD8>)

○ 캐나다 “Raising Canadian Beef” 홈페이지의 “메탄사이클” (원제: “The methane cycle”)(그림87)

- 주요내용: 전 세계적으로 배출되는 이산화탄소의 대부분은 화석연료의 사용에 의해 배출되는 이산화탄소이며, 소가 배출하는 메탄은 “생물발생 탄소순환”이라는 자연 순환의 일부임. 다시 말해서 ‘소’가 내뿜는 메탄의 양은 생물학적 탄소순환 안에서 돌고 돌아 대기중에서 일정하게 유지된다는 것을 의미함. 화석연료를 태울 때 발생하는 이산화탄소는 대기중으로 유입되고 수천년 동안 그곳에 머물기 때문에, 기후에 지속적인 영향을 주는 일방통행 도로와 같음.

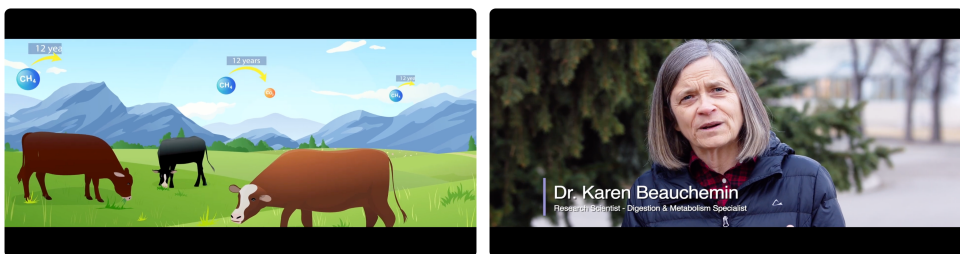


그림 87. 캐나다 ‘Raising Canadian Beef’의 생물학적 탄소순환 관련 영상자료 주요 장면 (출처: <https://youtu.be/LH38aNjk46A>)

○ 네덜란드 “Wageningen Livestock Research”의 “메탄이 뭐예요? 축산이 (원제: “What is methane? and what part does livestock farming play?”)(그림86)

- 주요내용: ‘온실가스’는 좋지 않은 것으로 인식되어 있지만 사실은 지구의 따뜻함을 유지해주는 역할을 하는 자연현상이며, 지금 문제가 되는 것은 ‘온실가스’가 너무 과하다는 것임. 온실가스라 부르는 이산화탄소, 아산화질소, 메탄 중 이산화탄소는 온실효과의 70%를 차지. 이산화탄소는 인간, 동물, 식물 사이에서 자연적인 순환사이클을 가지고 있으나, 화석연료에서 내뿜는 이산화탄소는 자연순환에 잉여 이산화탄소를 생성하여 수천년동안 후손에게 물려주게됨. 화석에너지 사용을 줄여야 함. 아산화질소의 대부분은 농업에서 질소비료를 사용하는 것으로 아산화질소가 분해되는데는 잠재적으로 수백년 소요. 질소비료 사용을 줄여야 함. 메탄은 축산, 쌀재배, 폐기물매립, 천연가스추출에서 발생하며 온실가스효과의 20%를 차지. 허자면 메탄은 대기중에서 빠르게 분해되기 때문에 발생하는 메탄의 양을 줄일 수 있다면 지금의 두꺼운 온실가스를 잠재적으로 얇아지게 할 수 있음. 결론적으로 메탄에 큰 기회가 있음을 강조.

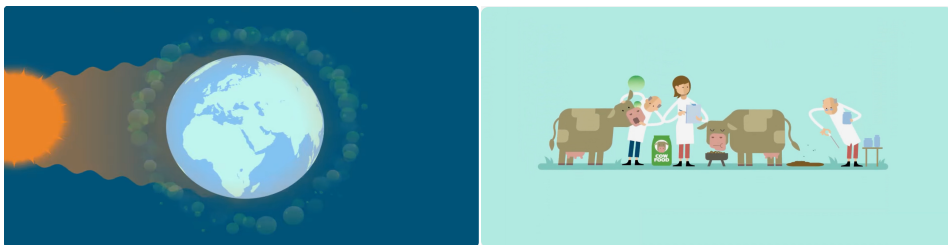


그림 88. 독일 ‘Wageningen Livestock Research’의 물학적 탄소순환 관련 영상자료 주요 장면 (출처: <https://youtu.be/UyPW9vaG34o>)

○ ‘한우고기는 당당하게 지속가능한 상차림의 일부가 될 수 있음’

- 한우고기의 환경지속가능성: 정책적 지원, 저메탄사료, 유전적 개량, 분뇨의 에너지화 연구 등 다양한 방면에서 한우고기를 생산하는데 배출되는 온실가스를 줄이려는 노력으로 환경 지속 가능한 한우고기를 생산하고 있음.
- 한우고기의 영양학적 관점에서 필요성: 육식을 포함한 균형*있고 지속가능한** 상차림으로 몸에 양질의 단백질을 공급하고 대중교통을 이용하거나 가까운 거리를 걸으면서 화석연료 사용을 간접적으로 줄인다면 우리의 몸도 지구도 건강해질 수 있음.

*균형: 동물성 단백질을 포함하는 영양소의 균형을 의미

**지속가능한: 저탄소 소고기, 저탄소 식자재 활용, 음식물 쓰레기 줄이고 일회용 포장재 사용을 지양하는 것을 의미함. 환경 지속가능성을 포함한 한우농가를 포함하는 농업인의 사회적 지속가능성을 포함.

3장. 요약 및 결론

1절. 저탄소 농업 선진국의 쇠고기 생산 정책과 기술개발 조사

- 저탄소 쇠고기 생산을 위한 쇠고기 선진국은 온실가스 저감과 밀접하게 연계하여 정책을 펴고 있음. 선진국은 온실가스 배출의 주범으로 오해받아 쇠고기 산업이 위축되는 것을 막는 연구, 교육 및 홍보를 시행하고 있음.
- 쇠고기 생산 기술은 크게 장내메탄 감소와 분뇨 처리 기술에 집중되어 있으며 산업 지속성, 생산 효율성, 동물복지 및 자국민에게 동물 식품의 안정적인 수급을 위한 연구 및 기술 개발도 추진하고 있음.
- 해외 주목할 저탄소 생산 정책을 요약하면,
 - 5. 작물-가축-산림을 통합한 생산 시스템: 쇠고기 생산 정책으로 브라질, 뉴질랜드, 호주 등의 나라에서는 작물-가축-산림을 통합한 생산 시스템 또는 목초지 기반 쇠고기 생산으로 영양이 좋은 식품을 제공할 뿐만아니라 지구를 보호하는 재생농업을 추진.
 - 6. 분뇨를 이용한 재생에너지 이용: 대부분의 나라에서 분뇨를 이용한 재생에너지 사용에 집중하고 있으며 대표적으로 환경부와 농업부의 혼합으로 추진하는 미국의 AgSTAR 프로그램이 있음.
 - 7. 분뇨를 이용한 바이오차 제조 및 토양 개선 및 탄소 격리에 사용: 일본, 호주와 뉴질랜드에서는 바이오차 사용을 적극적으로 추진하고 있으며, 이를 토양 개질에 사용하여 매년 토양의 오염을 줄이는 노력을 하고 있음.
 - 8. 기후변화 자금을 조성하고 이 자금을 온실가스 저감 노력에 투자하고 특히 축산업이 국가 경제에 상당부분 차지하는 국가는 쇠고기 생산, 기술 개발 및 재생에너지 사용에 투자 상당 부분 투자함.

- 주목할 저탄소 쇠고기 기술 개발은 장내메탄 감소 기술과 분뇨처리 기술이며 이를 요약하면,
 1. 장내메탄 감소 기술: 저메탄사료 첨가제, 저메탄 사료, 저메탄 개체 육종, 정밀사양
 2. 분뇨처리: 바이오에너지, 바이오차 등
 3. 생산성 증가: 생산성 우수한 개체 육종, 방목우 무리관리 등
 4. 동물 복지: 방목우 관리, 디지털 축사

2절. 쇠고기 생산 과정에 따른 탄소 발생량 ($\text{CO}_2/1\text{kg}$ 쇠고기) 조사

- 국내외 쇠고기 생산의 온실가스 배출량을 조사한 결과, 생체중 1kg에서 8-23kg CO_2 ⁻⁹였으며, 우리나라 한우 거세우의 경우 21.5kg CO_2 ⁻⁹의 온실가스가 배출되는 것으로 조사됨.
- 농장 생산단계에서는 한국과 일본의 경우 사료에서 배출되는 온실가스 강도가 높았으며, 모든 국가에서 사료와 장내배출에 의한 온실가스 배출량이 가장 큰 비율을 차지하고 있음.
- 주요국의 쇠고기 생산 및 유통과정을 포함한 전과정평가 문헌조사 결과 20.06kg~ 48.53kg CO_2 ⁻⁹로 국가별로 큰 차이를 보였으나, 대부분의 온실가스는 농장단계 에서 발생하였음(85~96%).
- 주요 쇠고기 수출국인 호주, 뉴질랜드는 자국 축산물의 해외 흐름에 대한 전과정평가를 하여 쇠고기의 국가-국가간의 이동이 지구온난화에 큰 영향을 미치지 않는다는 자료를 확보하여, 향후 탄소중립 소고기의 국제적 흐름에 대비하고 있음.

3절. 쇠고기 생산 과정에 따른 저탄소 기술 조사

- 쇠고기 생산과정에서는 장내배출메탄과 분뇨처리에 의한 온실가스 배출이 가장 큰 부분을 차지함. 때문에 최근 10년동안 가축의 장내메탄생성/배출을 줄이는 기술과 분뇨처리 기술 및 활용에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며, 일부 획기적인 메탄저감효과를 가지는 기술들에 대해서는 이미 상용화가 이루어졌거나 상용화를 앞두고 있음.
- 주요 장내메탄저감 기술은 다음과 같음
 1. 메탄생성에 관여하는 효소 촉매 반응 차단: 아스파라곰시스, 3-NOP
 2. 반추위에서 생성되는 수소에 탄소와 경쟁하는 전자 수용체 제공: 식이 지질, 모넨신, 질산염
 3. 미생물 군집 생태와 그에 따른 발효산물 조절: 탄닌과 사포닌, 식물유래 에센셜 오일, 저배출 사료, 항메탄백신, 프로바이오틱스
 4. 동물 시스템 기반 변경: 유전적 생산능력 향상, 저메탄 개체 선발 육종
- 주요 장내메탄저감 기술 중 아스파라곰시스는 호주를 중심으로 상용화되고 있고, 국내에서 기술의 국산화가 진행중임. 3-NOP는 유럽과 남미에서 일부 사용승인이 이루어져 있으며, 국내에서도 승인 신청을 준비중인 것으로 알려져 있음. 이외에도 질산염, 에센셜 오일 등이 상용화 되어 있으며, 국가별 사료첨가제 허용 범위에 따라 도입 정도는 다름.
- 주요 분뇨처리 기술은 혐기성 소화방법과 호기성 처리방법, 분뇨의 고/액 분리하여 처리하는 방법 등이 있으며, 분뇨처리방법에 사용되는 소화조의 종류에 따라 적합한 축종과 농장 규모가 다를 수 있음.

4절. 저탄소 수입육에 대한 정책 및 기술적 대응방안

- 2012년부터 국내 저탄소 농축산물 인증제가 시행되었지만, 농산물에서만 인증 사업이 진행되었으며, 축산물에서는 2023년 한우 저탄소 인증제도 시범사업이 처음으로 시작됨.
- 하지만 현행 제도에서는 저탄소 인증에 대한 프리미엄이 농가의 소득과 연결되지 않고 있어 한우사육농가의 적극적인 참여가 이루어지기 어려운 구조임.
- 해외에서는 이미 저탄소 또는 탄소중립 쇠고기 생산을 위한 준비를 하고 있음. 호주와 뉴질랜드의 경우 공인받은 탄소중립 쇠고기가 생산, 판매되고 있으며, 일부 탄소중립 쇠고기 브랜드는 미국과 일본 등에서도 구입이 가능함. 호주의 탄소중립 목표를 고려해 볼 때 우리나라에도 탄소중립 소고기가 수입될 가능성을 배제할 수 없음. 우리 한우산업에서도 이에 대응할 수 있는 장치 마련이 필요함.
- 농가의 저탄소 인증 한우고기에 대한 이해 및 활동 유도 정책 방향
 - 체계적인 농가 탄소교육 프로그램 마련
 - 탄소 회계도구의 개발 및 저탄소 한우농가를 위한 탄소계정 및 생산자 시범사이트 운영
 - 저탄소 한우고기 프리미엄을 농가에 소득으로 연결할 수 있는 정책 마련과 지원금 확대 (인센티브 확대, 탄소배출권 방법론 개발 등)
 - 협회 및 단체의 저탄소 한우고기 생산 이니셔티브 형성
- 저탄소 쇠고기에 대한 기술적 대응 방향
 - 농가 단위별 또는 지역별 혐기성 소화조 설치 및 운영에 대한 체계적인 제도 마련
 - 국제적인 효력을 가질 수 있는 저탄소 한우고기 인증 방법 개발을

통해 저탄소 한우고기 공신력 확보

- 브라질의 통합 생산 시스템과 같은 한우농가에 적합한 시스템 제안 및 시행 (예: 산림조합-한우농가-에너지 통합 시스템 구축)

○ 소비자 대응 방향

- 소비자 인식 개선을 위해, 사실에 기반한 정확하고 이해하기 쉬운 정보의 제공과 동물성 단백질 섭취 중요성을 전달할 수 있는 지속적인 커뮤니케이션 방안 마련
- 협회/단체의 “지속가능한 한우고기”에 대한 전략적인 이미지 메이킹

○ ‘저탄소 소고기’는 소고기를 생산하는 과정에서 탄소배출에 대한 의미가 강조될 수 있으므로, ‘탄소저감 소고기’ 또는 ‘지속가능한 소고기’ 등, 탄소배출 의미를 줄이고 보다 지속가능성에 무게를 둔 명칭으로 변경을 검토해볼 필요가 있음.

부록 (1) - NTIS 검색 메탄 배출 저감보충제 관련 과제 목록 ('10-'23

적용분류	기준 년도*	연구과제명	
메탄저감보 충제	2023	국내 대량생산 해조류 활용 메탄저감 사료화 기술개발	
	2023	화합물 소재의 반추가축 장내 발효 메탄저감 효능 및 안전성 평가	
	2023	반추가축 메탄 저감을 위한 사료 후보 소재의 기능성 물질 탐색 연구	
	2023	가축의 메탄저감을 위한 유효물질 탐색 및 메커니즘 연구	
	2023	반추동물 장내발효 메탄발생 저감을 위한 저분자 합성사료첨가제 국 산화 기술개발	
	2023	한우에서 장내발효 메탄저감 효과가 있는 제품의 국내 효과 실증	
	2023	반추동물 장내발효 메탄발생 저감을 위한 저분자 합성사료첨가제 국 산화 기술개발	
	2023	반추동물 장내발효 메탄발생 저감을 위한 저분자 합성사료첨가제 국 산화 기술개발	
	2022	미생물을 활용한 메탄저감 사료소재 발균(1주관)	
	2022	미생물을 활용한 메탄저감 사료소재 발균(2공동)	

적용분류	기준* 년도	연구과제명
	2022	반추가축 메탄 저감을 위한 기능성 물질 함유 천연식물 사료 소재 탐색(1주관)
	2022	In silico 기반 화학정보 DB 활용 메탄저감 후보물질(화합물) 발굴
	2022	가축의 메탄저감을 위한 유효물질 탐색 및 메커니즘 연구(1주관)
	2022	브로모포름 함유 해조류의 탐색과 대량생산 및 메탄가스 발생 저감화를 위한 해조류 사료개발과 산업화
	2022	브로모포름 함유 해조류의 탐색과 대량생산 및 메탄가스 발생 저감화를 위한 해조류 사료개발과 산업화
	2022	반추가축 메탄 배출 저감을 위한 장내발효 조절 기술 개발(2공동)
	2022	반추가축 메탄 배출 저감을 위한 장내발효 조절 기술 개발(3공동)
	2022	착한 축산물의 생산과 소비를 위한 통합 사료 솔루션 개발 및 산업화
	2022	브로모포름 함유 해조류의 탐색과 대량생산 및 메탄가스 발생 저감화를 위한 해조류 사료개발과 산업화
	2022	수생태계 환경위협 모자반 활용 메탄 저감용 친환경 기능성 사료 개발
	2022	수생태계 환경위협 모자반 활용 메탄 저감용 친환경 기능성 사료 개발

적용분류	기준* 년도	연구과제명
		발
	2016	반추위 혼합균주 연속배양기술을 이용한 메탄저감 및 시너지 효과 검증 연구
	2015	반추동물의 탄소배출 저감형 사료첨가제 개발
	2015	모델링 기법을 이용한 반추위 내 메탄저감용 합성 및 천연화합물 제제 개발 및 산업화
	2015	식물체를 이용한 메탄저감용 사료첨가제 개발
	2015	한우에서 후보 사료첨가제의 메탄저감효과 검증 및 사양체계 수립
	2013	커피부산물 유래 생리활성물질을 이용한 반추동물의 반추위 발효 조절에 관한 연구
	2013	국내 자생 식물자원을 이용한 반추위내 메탄가스 저감 복합사료의 개발
	2012	쪽의 essential oil을 이용한 기능성 동물사료 첨가제 개발
	2012	반추가축 장내발효 메탄 저감제 개발 연구
	2012	국외 천연생리활성 물질 이용한 반추가축 장내발효 메탄저감 메커니즘 규명

적용분류	기준* 년도	연구과제명
	2021	기능성 유육 생산을 위한 대량발생 해조류 활용 고부가 친환경 바이오 사료 개발
	2023	미생물을 활용한 메탄저감 사료소재 발굴
	2023	멀티오믹스를 이용한 포도토조아 연관 반추위 마이크로바이옴 연구: 반추동물의 장내 메탄 발생 저감 및 질소 이용 효율 향상을 위한 응용
	2023	한우의 생산성 지표 및 육종가와 연관된 반추위 마이크로바이옴 탐색을 통한 상호작용 메커니즘 규명
	2023	가축 온실가스 발생 저감 기술 개발
반추위시스템조성	2023	탄소 저감형 젖소의 단미사료별 질소 이용 효율 예측 모델 이용기술 개발
	2022	반추가축 메탄 배출 저감을 위한 장내발효 조절 기술 개발(1주관)
	2022	핵자기 공명분광 장치 기반 반추위 메탄발생 관련 대사체 탐색 연구
	2022	컴퓨터 시뮬레이션과 분자동역학을 활용한 반추위 마이크로바이옴 메탄 생성 및 탈아미노화 억제 천연 화합물 발굴 및 조절 메커니즘 규명
	2020	한우 장내발효 메탄배출량에 영향을 미치는 메탄생성균 다양성 조사

적용분류	기준* 년도	연구과제명
	2020	장내발효 메탄생성균 특성 구명을 위한 분석기술 비교확립 연구
	2020	염소 장내발효 메탄배출량에 영향을 미치는 메탄생성균 다양성 조사
	2019	한우의 메탄 생성량 저감을 위한 대사체 라이브러리 구축
	2019	Heat stress 및 온실가스 저감을 위한 저지종과 홀스타인의 장내 미생물의 다중오믹스를 통한 분석 연구
	2019	저지종 장내미생물군총특성 및 온실가스 저감효과구명
	2019	저지종의 고온기 적응성 및 장내 미생물 군총 특이성 구명
	2015	메탄저감을 위한 미생물첨가제 개발 및 반추위 프로토조아 조절방안 개발
	2015	반추동물 유래 메탄가스의 측정기술 개발 및 탄소저감 사료 첨가제의 착유우 검증
	2013	반추동물 축분 유래 메탄생성균이 토양에서 메탄배출량 증가에 대한 반응기작 구명
	2013	천연생리활성물질을 이용한 반추기축 장내발효 메탄저감제 개발

적용분류	기준* 년도	연구과제명
	2012	환원적 초산생성균을 이용한 메탄저감용 사료첨가제 개발연구
	2011	환원적 초산 생성유도를 통한 메탄저감 및 사료효율 개선 연구 (국책 기술개발)
	2023	반추가축 메탄 배출 저감을 위한 장내발효 조절 기술 개발
	2023	한우와 젓소 농장의 온실가스 자발적 감축사업 방법론 개발을 위한 전주기 모니터링 연구
	2023	조사료 종류 및 가공·이용 형태별 한우의 온실가스 배출량 비교
전주기평가	2023	저지중 젓소 장내발효 메탄 배출계수 산정 연구
	2023	농산부산물 LCA 평가를 통한 반추가축용 탄소저감 자가배합사료 제조 기술 개발
	2023	한우에서 장내발효 메탄저감 효과가 있는 제품의 국내 효과 실증
	2023	한우와 젓소 농장의 온실가스 자발적 감축사업 방법론 개발을 위한 전주기 모니터링 연구

적용분류	기준* 년도	연구과제명
	2023	가축의 장내발효 온실가스 배출계수 개발 및 산정 고도화 연구
	2022	가축의 장내발효 온실가스 배출계수 개발 및 산정 고도화 연구(1주관)
	2022	가축의 장내발효 온실가스 배출계수 개발 및 산정 고도화 연구(3공동)
	2022	가축의 장내발효 온실가스 배출계수 개발 및 산정 고도화 연구(2공동)
	2022	한우와 젖소 농장의 온실가스 자발적 감축사업 방법론 개발을 위한 전주기 모니터링 연구(1주관)
	2022	한우와 젖소 농장의 온실가스 자발적 감축사업 방법론 개발을 위한 전주기 모니터링 연구(2공동)
	2021	한우 사양표준 4차 개정을 위한 송아지, 임신우 영양소 요구량 조정 연구(1주관)
	2021	한국의 기후스마트축산 : 감축과 적응 전략
	2019	양질조사로 급여에 따른 염소 장내발효 온실가스 배출량 조사
	2019	IPCC 2006 가이드라인 분류에 따른 한우 분뇨처리과정의 온실가스 배출량 산정
	2019	환경성 정보 구축요건에 따른 한우와 젖소 LCI DB 구축

적용분류	기준* 년도	연구과제명
저메탄사로	2018	한우의 장내발효 온실가스 배출량 등 필수 활동자료 DB 구축
	2015	농업부문 온실가스 감축효과와 산정을 위한 경종 및 축산부문 배출계수와 검증 가이드라인 개발
	2013	대 반추동물 장내발효의 메탄 배출계수 산출
	2023	미생물 활용 반추가축 발효사로 제조 기술 개발 및 급여효과 구명 연구
	2022	미량광물질과 IRG 건조를 혼합한 축종별 미네랄펠릿 급여효과 구명
	2020	사료용벼 생태형별 사일리지 발효 조절과 한우 에너지 분배 특성 구명 연구
	2019	한우의 메탄 생성량 저감을 위한 사료 급여 체계 설정 연구
	2019	양질조사료 급여에 따른 한우 장내발효 온실가스 배출량 조사
	2016	사료급여 방식 차이에 의한 반추가축 분야 온실가스 발생량 변화 조사
	2013	가축의장내발효메탄저감사료개발
	2011	지구 온난화 대비 한우 사양관리 개선 연구(국책기술개발)

적용분류	기준* 년도	연구과제명
	2010	지구 온난화 대비 한우 사양관리 개선연구(농업환경실용화기술개발)
	2022	OPU 수정란 유래 초우량 대형한우 후보축의 성장·사양 특성 조사
동물성농 산물	2022	고 능력 한우 유래 OPU수정란 이식 및 번식관련 실태조사
	2021	초우량 대형 한우 어미 암소 OPU 유래 송아지 생산 및 형태 자손의 성장 특성 조사
	2023	가축분뇨 정화처리에 따른 온실가스 배출계수 개발
기타	2021	환경 유해가스 배출 저감을 위한 가축분뇨 산성화 기술 개발
	2019	영남지역 발토양에서 가축분 종류별 아산화질소 배출계수 개발
	2020	한우 생산성 극대화를 위한 스마트팜과 반추위 기능 조절 융합 연구
	2023	가축분뇨 바이오가스 이용 수소생산 그린화 기술 연구
	2022	소 호흡시 발생하는 메탄 흡착을 위한 기초 연구

* 시작년도 기준, ** '20년 이전 과제는 수행기관명 기재

부록 (2) -‘반추위내 메탄생성 억제’ 관련 국내 등록 특허 목록

연번	출원번호	발명의명칭	출원인	출원일
1	1020107000182	루멘 발효 개선제	이데미쓰 고산 가부시 키가이샤, 국립대학법 인 홋카이도 다이가쿠	2008.06.
2	1020137015688	반추동물의 메탄 방출을 감소시키고/감소 시키거나 반추동물의 발육을 개선시키는 위한 사료에서의 나트륨옥시 유기 분자 의 용도	디에스엠 아이피 어셋 츠 비.브이.	2011.12.
3	1020110142063	반추 동물의 반추위 내 메탄 생성 억제 능을 갖는 미생물 및 이의 이용	동원팜스 주식회사	2011.12.
4	1020120100527	영양소급여량 조절을 통한 메탄생성 저 감방법 및 고급육 생산방법	(주)이푸른	2012.09.
5	1020130152189	반추위 내 메탄 저감 및 발효 개선을 위 한 미생물 및 이의 이용	순천대학교 산학협력단	2013.12.
6	1020140067168	반추동물의 메탄 생성 저감용 사료 첨가 제 조성물	씨제이제일제당 (주)	2014.06.
7	1020140122967	오이풀 추출물을 이용한 반추동물 메탄 저감용 사료첨가제	한국방송통신대학교 산 학협력단	2014.09.
8	1020140144155	반추동물의 반추위 내 메탄가스의 생성 을 억제하기 위한 사료 조성물	전북대학교산학협력단	2014.10.
9	1020150132234	반추 동물의 반추위 내 메탄 생성 억제 능을 갖는 미생물 및 이의 이용	순천대학교 산학협력단	2015.09.

연번	출원번호	발명의명칭	출원인	출원일
10	1020150156726	메탄균 생육저해 미생물 및 그 용도	한국생명공학연구원	2015.11.
11	1020160116162	시니그린을 포함하는 반추동물의 메탄 생성 저감용 사료 첨가제 조성물	중앙대학교 산학협력단	2016.09.
12	1020160158343	반추동물의 반추위 내 메탄가스 저감을 위한 질산염 코팅 조성물 및 이의 제조방법	전북대학교산학협력단	2016.11.
13	1020170101990	카카오박 또는 카사바 뿌리를 함유하는 반추동물 메탄 저감용 사료첨가제 조성물	전북대학교산학협력단	2017.08.
14	1020197027364	반추동물에서의 메탄 배출의 감소 및/또는 반추동물 성능의 개선을 위한 사료 조성물의 용도	디에스엠 아이 피 아셋 즈 비.브이.	2018.02.
15	1020197023298	수분산성 제형(WATER DISPERSIBLE FORMULATIONS)	디에스엠 아이 피 아셋 즈 비.브이.	2018.02.
16	1020197026579	저장-안정성 제형	디에스엠 아이 피 아셋 즈 비.브이.	2018.02.
17	1020180061694	매물동을 포함하는 반추동물의 메탄가스 저감용 TMR 사료 조성물 및 반추동물의 메탄가스 저감 방법	경상북도 (관리부서:경상북도축산기술연구소) (장)	2018.05.
18	1020207006732	바람직한 유전성 형질을 위한 반추동물의 선택배법	더 스테이트 오브 이스 라엘, 미니스트리 오브 에그리컬처 & 루럴 디 벨로프먼트 등	2018.08.

연번	출원번호	발명의명칭	출원인	출원일
19	1020217012096	대기 메탄 및 아산화질소 배출을 줄이기 위한 조성물 및 방법	로키스 아이피 컴퍼니 엘엘씨	2019.10.
20	1020217017158	위장 대사물질을 조절하는 방법	디에스엠 아이피 어셋츠 비.브이. 미도리 유에스에이 인코퍼레이티드	2019.11.
21	1020217017150	올리고사카라이드 제제 및 조성물	미도리 유에스에이 인코퍼레이티드, 디에스엠 아이피 어셋츠 비.브이., 칼레이도 바이오 사이언시즈, 인크.	2019.11.
22	1020217017142	위장 항상성 유지를 지원하는 방법	디에스엠 아이피 어셋츠 비.브이. 미도리 유에스에이 인코퍼레이티드	2019.11.
23	1020217017166	위장 미생물 성장을 선택적으로 조절하는 방법	디에스엠 아이피 어셋츠 비.브이. 미도리 유에스에이 인코퍼레이티드	2019.11.
24	1020217017141	올리고사카라이드 제제의 정량분석 방법	미도리 유에스에이 인코퍼레이티드, 디에스엠 아이피 어셋츠 비.브이., 칼레이도 바이오 사이언시즈, 인크.	2019.11.
25	1020217020810	신규 조성물	제임스 쿡 유니버시티, 퍼시픽 바이오테크놀로지스 (오스트레일리아) 퍼티와이 엘티디	2019.12.

연번	출원번호	발명의명칭	출원인	출원일
26	1020190177357	진세노사이드 생물전환능을 갖는 균주 및 이를 포함하는 반추동물용 발효사료	전북대학교 산학협력단 전라북도 진안군	2019.12.
27	1020217036746	향상된 탄소 격리 및 가축 생산 온실 가스 배출 감소를 위한 목초지 처리	몬커스 아이피 컴퍼니 엘엘씨	2020.03.
28	1020227015577	새로운 지용성 비타민 사료 첨가제	디에스엠 아이피 어셋츠 비.브이.	2020.10.
29	1020227031453	가축에서 유해한 장용성 대기 가스를 감소시키기 위한 방법 및 조성물	몬커스 아이피 컴퍼니 엘엘씨	2021.02.
30	1020210027583	대나무 잎을 유효성분으로 포함하는 반추동물 메탄저감용 사료첨가제 조성물	경상국립대학교 산학협력단	2021.03.
31	1020227039562	농업 가축 건강 및 환경 보호에 응용하기 위한 바실러스 균주	몬커스 아이피 컴퍼니 엘엘씨	2021.04.
32	1020227032178	메탄 생성 저해제 조성물 및 메탄 생성 억제 방법	구미아이 가가쿠 고교 가부시카가이사	2021.04.
33	1020237002749	가축 건강 및 메탄 감소를 위한 개선된 사료 발효 보충제	몬커스 솔루션즈 아이피씨오, 엘엘씨	2021.06.
34	1020210116693	반추동물의 메탄 생성 저감용 사료첨가제 조성물	경상국립대학교 산학협력단	2021.09.

연번	출원번호	발명의명칭	출원인	출원일
35	1020237018415	탄소 발자국이 감소된 가죽을 생산하는 방법	로키스 솔루션즈 아이 피씨오, 엘엘씨	2021.10.
36	1020210186991	갈파레를 이용한 사료 첨가제 및 이의 제조방법	이안스(주)	2021.12.
37	1020210189023	굴 폐각과 점토광물을 이용한 메탄가스 저감용 칼슘사료 첨가제 제조방법	매섬석 지.엠. 주식회사	2021.12.
38	1020220043678	팽생이모자반 발효사료 제조 방법	대한민국(관리부서:국립수산과학원)	2022.04.
39	1020220150592	갈파레물(Ulva sp.)를 포함하는 반추동물 메탄 저감용 조성물 및 이의 용도	건국대학교 산학협력단	2022.11.

(<http://www.kipris.or.kr/khome/main.jsp>; 2023.9.6. 검색)

부록 (3) - 저탄소 축산물 인증제 인증기준 (축산물품질평가원)

붙임

저탄소 축산물 인증제 인증기준

1. 인증조건

- ① 친환경 축산물, 깨끗한 축산농장, HACCP 등 사전 지정받은 농가 중,
- ② 기준연도¹⁾ 출하실적(거세우)이 20두 이상이거나, 신청일 기준 사육두수가 100두 이상
- ③ 탄소감축기술을 1개 이상 도입하여 축종별 평균 배출량보다 온실가스를 적게 배출
- ④ 인증조건에 따른 정량평가를 통해 60점 이상 획득한 자

- ☐ (대상축종) 한우(거세우)
- ☐ (선결조건) 저탄소 외 환경친화 또는 위생·안전의 조건을 충족하는 기존 축산업 인증제도*를 지정받은 농가 중 선정
 - * 유기축산, 무항생제, HACCP, 방목생태, 동물복지, 깨끗한 축산농장, 환경 친화 축산농장
- ☐ (평가기준) 가산정 탄소배출량*, 비계량 기술 적용 여부, 기타 평가항목(출하두수, 사육밀도 등)에 따라 60점 이상인 경우 인증대상자 선정
 - * 탄소배출량은 기준연도 출하성적(이력제)과 계량화 기술 감축률에 따라 가산정
 - 가산정 탄소배출량(70점), 비계량 기술 적용 여부(20점), 기타항목(10점)

2. 평가기준

- ☐ (가산정 탄소배출량) 계량화가 가능한 저탄소 농업기술은 탄소배출량 가산정 시 감축량을 반영하여 산정(70점)
 - 계량화 점수는 평균 도체중 1kg당 평균 온실가스(장내발효, 분뇨처리, 에너지) 배출량을 기준으로 산정하며, 전체 평균(13.01kg)의 27.1%* 감축 수준인 기준 배출량(9.48kg)을 만점으로 평가대상 농장의 실적을 평가함
 - * 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC, '21.10.) 농수축산 부문 온실가스 감축 목표치

$$(\text{산식}) = \frac{\text{도체중 1kg당 온실가스 기준배출량}(9.48\text{kg})}{\text{평가대상 농장의 도체중 1kg당 온실가스 배출량}(kg)} \times 70$$

- ① 도체중 1kg당 온실가스 배출량은 (평균사육개월령(월)×198.2)/도체중(kg)로 산정(단위: kg/CO₂eq)
- ② 분뇨처리, 에너지 저감 기술 적용 여부에 따라 각 부분의 감축률 추가 반영

- 획득점수가 70점 이상일 경우 70점*을 부여하며, 출하 실적 20두 미만 농장은 기본값(13.01kg)에 기술도입 감축률을 반영하여 산정
 - * 단, 가산정 탄소배출량이 70점 만점 중 50점 미만인 경우 인증조건 미충족

1) 기준연도 : 상반기(전년도 1. 1.~12. 31.), 하반기(전년도 7. 1.~금년도 6. 30.)

○ 계량화 저탄소 농업기술

분류	번호	저탄소 농업기술명	증빙방식	감축량 산정
장내발효	1	조기출하(출하일령, 도체중)	이력제 확인	출하성적
가축분뇨 관리	2	강제공기공급	서류심사, 현장실사	감축비율 적용
	3	기계교반		
	4	위탁처리업체의 처리방식		
에너지 절감기술	5	저탄소 인증자재 사용	서류심사, 현장실사	설비 전후의 전력/수도 사용량을 사용 기간 동안 평균 사육두수로 나누서 계산하여 감축비율 적용
	6	빗물 재활용 기술		
	7	지열 히트펌프 시스템		
	8	태양광 등 신재생에너지 생산량		

* 서류신청 시 조기출하를 제외한 각 기술에 대한 증빙자료 제출必

□ (비계량 기술 적용 여부) 계량화가 불가능한 저탄소 농업기술은
목록화된 기술의 적용 수준별로 0~2점 부여(20점)

○ 비계량화 저탄소 농업기술의 적용 수준은 적용 비율, 적용 기간 등 고려

○ 비계량화 저탄소 농업기술 평가항목

분류	번호	저탄소 농업기술명	평가점수			비고
			도입 (2점)	일부 (1점)	미도입 (0점)	
사양 관리	1	저메탄 사료 급이				사료명 기입
	2	저단백 사료 급이				사료명 기입
	3	부산물 사료 급이 (조사료를 제외한 건물량 기준 대체율 20% 이상)				총 급이량의 20%이상 2점
	4	생산성 향상 장비 도입 (자동급이기, 사료빈-음수관리기, 안개분무 등)				도입 기술당 1점
	5	자가 조사료 면적 확인				1,000㎡/두 이상 2점
가축 분뇨 관리	6	분뇨의 비농업계 이용 여부				시설 도입 여부 (바이오차, 고체연료 등)
	7	깔짚관리(로터리 교반 등) 여부				주 1회 2점 월 1회 1점
	8	부숙도 검사 후 살포 여부				연 2회 초과 2점, 연 2회 1점
기타	9	폐사축 처리기 활용 여부(위탁포함)				수의사 확인서 증빙
	10	나무식재				사육두수 대비 20% 초과 2점, 10% 이상 1점

* 서류신청 시 증빙자료(사진 포함) 제출必

□ **(기타항목)** 그밖에 기타 농장관리 사항에 대한 점수 부여(10점)

- 출하두수, 사육밀도, 유통업체 출하실적 등 가점사항 반영
- 기타 농장관리 사항 평가항목

평가항목	구간	기준점수	평가점수	비고
사육두수 (성별 무관)	100두 이상	2		인증기준 이상
	100두 미만	0		
출하두수 (거세우)	20두 이상	2		인증기준 이상
	20두 미만	0		
사전 인증제도 취득 개수	2개 이상	2		1개 이상 필수
	1개	0		
사육밀도	두당 면적 15.0m ² 이상	2		저밀도 사양관리 여부
	두당 면적 15.0m ² 미만	0		
유통망 확보 여부	여	2		전년도 출하실적 기준 80% 이상 계약에 의한 고정 판로 확보
	부	0		
기타항목 합계		10		

3. 인증방법

□ 인증기준

- 평가기준에 따라 가산정 탄소배출량 점수 50점(70점 만점 中) 이상,
전체 점수 60점(100점 만점 中) 이상 취득해야 하며, 현장실사와
인증심의위원회 거쳐 인증대상 농장을 최종 선정
- * 평가점수는 현장실사를 통해 확정하며, 인증대상자 최종 심의에 반영됨
- ** 온실가스 배출량 산정을 위한 기술 도입 여부와 증빙자료는 서류심사 시 사육
현황보고서에 기재해야 하며, 허위 작성 시 1년간 재신청을 금지함

□ 인증절차

①신청서 접수(축평원) → ②현장실사 우선순위 평가(축평원) → ③온실가스
배출량 산정 보고서 작성(농장) → ④우선순위에 따른 현장실사(심사원) →
⑤인증대상자 선정(축평원) → ⑥인증심의위원회 개최(축평원) → ⑦인증
농가 최종 확정 및 통보(축평원)