

주요국 축산부문 온실가스 감축정책과 시사점

정학균 · 정선화 · 박규현



주요국 축산부문 온실가스 감축정책과 시사점

정학균 · 정선화 · 박규현



연구 담당

정학균 | 선임연구위원 | 연구 총괄, 제1, 4, 5장 집필

정선화 | 연구원 | 자료 수집 및 정리

박규현 | 강원대학교 | 제2, 3, 4장 집필

연구자료 D531

주요국 축산부문 온실가스 감축정책과 시사점

등 록 | 제6-0007호(1979. 5. 25.)

발 행 | 2023. 12.

발 행 인 | 한두봉

발 행 처 | 한국농촌경제연구원

우) 58321 전라남도 나주시 빛가람로 601

대표전화 1833-5500

I S B N | 979-11-6149-647-4 95520

※ 이 책에 실린 내용은 한국농촌경제연구원의 공식 견해와 반드시 일치하는 것은 아닙니다.

※ 이 책에 실린 내용은 출처를 명시하면 자유롭게 인용할 수 있습니다.

무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.

국제적으로 온실가스 감축목표와 실행 전략이 요구되는 가운데 온실가스 감축 목표 이행을 위한 농업정책 추진 기반구축이 필요하다. 특히 국가 탄소중립·녹색 성장 기본계획 수립에 따라 저탄소 농업정책 추진을 위한 기반 기술 구축이 필요하며, 전 지구적 이행점검 및 국가 기후변화대응 기본원칙에 따른 새로운 로드맵 대응이 필요하다.

2030년 국가 온실가스 감축 목표(NDC)를 효과적으로 달성하기 위해 경종 부문보다 감축 비중이 큰 축산부문에 초점을 맞추어 주요국의 온실가스 감축 수단을 체계적으로 분석하고, 2030년 감축목표 달성을 위한 축산부문 온실가스 감축 정책을 제시하는 데 이 연구의 목적이 있다.

이 보고서는 농촌진흥청에서 발주한 「기후변화 대응을 위한 농축산부문 2030 온실가스 감축 로드맵 이행 평가」 연구의 일환으로 수행된 ‘주요국 축산부문 온실가스 감축정책과 시사점’을 다룬 연구 부속물이다. 여기서는 축산부문을 중심으로 EU, 미국, 일본의 저탄소 농업 기술을 상세히 살펴보았다. 그리고 축산부문 저탄소 농업기술을 농업인에게 보급하기 위한 정책들을 조사하였다. 마지막으로 우리나라 축산부문 온실가스 저감농업 기술 활성화를 위한 정책적 시사점을 제시하였다. 본 연구가 축산부문 온실가스 저감농업 기술 보급 활성화 방안 도출을 위한 기초자료로 활용되기를 기대한다.

바쁘신 와중에도 주요국 사례 연구를 담당해 주신 강원대학교의 박규현 교수께 깊이 감사드립니다.

2023. 12.

한국농촌경제연구원장 한 두 봉

연구 목적

- 국제적으로 온실가스 감축목표와 실행 전략이 요구되는 가운데 온실가스 감축목표 이행을 위한 농업정책 추진 기반 구축이 필요함. 특히 국가 기후변화대응 기본계획 수립에 따라 농업분야의 감축 이행을 위한 저탄소 농업정책 추진을 위한 기반 기술 구축이 필요하며, 전 지구적 이행점검 및 국가 기후변화대응 기본원칙에 따른 새로운 로드맵 대응이 필요함.
- 이 연구는 2050년 탄소중립목표에 상응하는 2030년 감축목표를 효과적으로 달성하기 위해 경종에 비해 감축 비중이 큰 축산분야에 초점을 맞추어 주요국의 온실가스 감축 수단을 체계적으로 분석하고, 2030년 감축목표 달성을 위한 축산분야 온실가스 감축 정책을 제시하는 데 연구 목적이 있음.

연구 방법

- 이 연구는 유관 기관과 연구기관 등에서 발간한 축산분야의 온실가스 감축 기술 관련 연구와 EU, 미국, 일본 등의 온실가스 감축기술 및 정책 연구를 검토하고 분석함.
- 원활한 연구수행을 위해 국내 전문가(강원대학교 박규현 교수)에게 원고위탁을 추진하였고, 전문가 자문회의를 개최하여 연구 결과를 검토하였음.

연구 결과

- EU의 온실가스 감축수단으로는 생산성 향상, 혼농임업, 사료 첨가제, 가축 분뇨 관리, 가축분뇨의 혐기성 소화, 초지 관리, 육류 대체품 등이 있음. 유럽 그린딜(European Green Deal)은 지식의 연결과 공유, 기후변화에 대한 학습, 해결책 개발/적용/확장을 목적으로 개인, 지역사회, 조직들을 초대하는 EU 차원의 이니셔티브인 유럽 기후 협약(European Climate Pact), 2050까지 기후중립을 달성하기 위한 비용효과적인 야심찬 계획을 목표하는 2030 기후변화 타겟 플랜(Climate Target Plan) 등이 있음. 농장 평가 도구(Farm audit tool)를 자발적으로 적용한 농가들은 측정·보고·검증(measuring, reporting and valuation, MRV)을 실시하여 실제 농장 전체(whole-farm) 온실가스 저감량을 평가받음. 5년 후 저감량에 따라 저감 톤 당 결정된 금액을 받음.
- 미국의 동물 생산 체계에서의 온실가스 감축은 퇴비 관리와 방목지 관리로 구분됨. 퇴비 관리에는 늪 보호를 위해 혐기성 소화조 활용, 혼합 혐기성 소화조 활용, 연못, 저수지, 늪 가리기, 퇴·액비 분리기(고형분리기) 사용, 질화/탈질화작용 등이 있으며, 방목지 관리에는 콩과식물의 간파(interseeding)가 있음. 미국은 「미국 내 농경지 및 가축 생산을 위한 온실가스 완화 옵션 및 비용」이라는 보고서 발간을 통해 농업 생산자가 정상적인 생산과 토지 관리 작업 과정에서 완화 관행이나 기술을 적용하기 위해 필요한 재정적 인센티브를 제공할 수 있는 여러 메커니즘을 제시함. 미국 정부는 보전채무 프로그램을 확대하여 농민이 탄소격리를 포함한 다양한 환경보전

활동에 대해 비용을 지급하고 농민의 소득을 지원하겠다고 밝힘. 또한 기후 스마트 농업(Climate Smart Agriculture)을 늘리기 위한 파트너십에 대한 투자 확대를 발표함.

- 일본은 2021년 5월 농림수산성은 ‘미도리 녹색 식량 시스템 전략’을 수립하였으며 이 전략을 토대로 2021년 10월 ‘농림수산성 지구온난화대책 계획’을 개정 및 공표하였음. 이 계획에서 축산분야의 온실가스 감축 방안으로 ‘가축분뇨 관리 방법 변경’, ‘아미노산 균형 개선 사료’ 등의 방안과 가축개량 및 ICT 활용 등 사양관리를 통한 ‘개체당 온실가스 배출 저감’ 방안들이 제시됨. J-크레딧 제도는 온실가스 배출의 감축량 및 흡수량을 국가에서 ‘크레딧(Credit)’으로 인정하는 제도임. 구체적으로 농축산업자들이 시행하는 온실가스 감축 활동에 대해 국가가 과학적인 방법으로 감축량을 산정하여 크레딧으로 인증하는 제도임. 농축산업자는 부여받은 크레딧을 저탄소 실행계획을 수립하는 기업 등에 판매하여 수익을 창출할 수 있도록 함. 축산분야 관련하여 J-크레딧에서 제시하는 온실가스 감축 방법론은 ‘돼지·닭 저단백 배합사료 급여’와 ‘가축분뇨 관리 방법 변경’ 등이 제시되고 있음. 이를 통해 감축된 온실가스를 측정하여 크레딧이 지급되며, 기업에 판매하여 수익을 창출할 수 있는 선순환 구조를 실현할 수 있음.

시사점

- EU나 미국은 축산분야의 배출량 비중이 매우 높은 가운데 감축기술 개발을 선도하고 있는 것으로 보임. EU, 미국 등 선진국의 온실가스 감축기술들을

세세히 살펴봄으로써 향후 우리나라 축산 여건에서 효율적인 수단들을 발굴하고 개발할 필요가 있음.

○ 농장 평가 도구(Farm audit tool)를 자발적으로 적용한 농가들은 측정·보고·검증(measuring, reporting and valuation, MRV)을 실시하여 실제 농장 전체 온실가스 저감량을 평가받음. 5년 후 저감량에 따라 저감 톤 당 결정된 금액을 받음. 따라서 우리나라도 이러한 농장 평가 도구와 같은 수단을 개발하여 농가들이 자발적으로 적용하도록 하고 감축 실적에 대해서는 보상해주는 방안을 검토할 필요가 있음.

○ 미국 정부는 보전책무 프로그램을 확대하여 농민이 탄소격리를 포함한 다양한 환경보전활동에 대해 비용을 지급하고 농민의 소득을 지원하겠다고 밝힘. 우리도 2024년부터 탄소중립 프로그램 시범사업을 통해 축산부문에 서 농업인이 저메탄사료 급여, 환경개선사료 급여를 실천하는 경우 지원을 받게 됨. 향후 이러한 탄소중립 프로그램은 시범사업을 넘어 본사업으로 추진될 필요가 있음.

○ 미국은 온실가스 감축수단별 비용, 수확량 변화 및 수익 변화 등을 다루는 보고서를 발간함으로써 농업인이 온실가스 감축 기술을 수용하는 데 필요한 재정적 인센티브에 대한 이해를 향상하기 위한 정보를 제공하고 있음. 우리나라도 농업인 수용성이 낮은 온실가스 감축 기술에 대한 수용성 제고와 새로운 온실가스 감축 기술을 발굴해내는 것이 선행되어야 할 것임.

○ 또한 미국은 기후 스마트 농업을 늘리기 위한 파트너십에 대한 투자 확대를 발표하였는데 기후스마트농업은 온실가스 감축과 기후변화 적응, 그리고 생산성 향상이라는 세 가지 목표를 동시에 추구하는 농업으로서 앞으로 크게 부각될 것으로 판단되며 우리나라도 기후스마트농업 기술 개발 및 발굴 그리고 보급을 추진할 필요가 있음.

제1장 서론

- 1. 연구의 필요성 및 목적 1
- 2. 연구 방법 3

제2장 축산의 온실가스 발자국

- 1. 축산의 비에너지 온실가스 배출원(non-CO₂ emissions) 4
- 2. 축산의 에너지 사용에 따른 온실가스 배출원(CO₂ emissions) 6
- 3. 온실가스 배출량 계산 7

제3장 축산의 온실가스 배출량 저감 방법

- 1. 메탄 배출 저감 방법 10
- 2. 가축분뇨처리과정에서의 아산화질소 저감 20
- 3. 이산화탄소 배출 저감 방법 21
- 4. 축산부문과 토양 부문과의 연결을 통한 온실가스 저감 및 탄소상쇄 22
- 5. AFOLU(Agriculture, Forestry and Other Land Use) 외 부문과의
탄소상쇄 26

제4장 주요국 축산분야 온실가스 감축 관련 정책과 사업

- 1. EU 28
- 2. 미국 44
- 3. 일본 64

제5장 요약 및 시사점

1. 요약	77
2. 시사점	84
 참고문헌	 87

제1장

〈표 1-1〉 연구방법 및 내용	3
-------------------------	---

제2장

〈표 2-1〉 2006 방법론과 2019 개선 방법론에서 소의 장내발효 배출계수 변화	8
〈표 2-2〉 2006 방법론과 2019 개선 방법론에서 장내발효 배출계수 변화 (소 제외)	9

제3장

〈표 3-1〉 IPCC와 EMEP/EEA AIR POLLUTANT EMISSION INVENTORY GUIDEBOOK 2016에서 사용하는 분뇨 저장 유형 정의 비교	17
〈표 3-2〉 분뇨 처리 시스템에 대한 MCF 값	18
〈표 3-3〉 분뇨처리과정에서의 직접적인 N ₂ O 배출계수 기본값	22
〈표 3-4〉 축산부문 온실가스 저감방법에 대한 효과 및 그 신뢰도	24

제4장

〈표 4-1〉 French National Low carbon Strategy에서 이해당사자간의 논의된 주요 지렛대(lever)	34
〈표 4-2〉 EU 농업부분의 2050년 온실가스 감축 목표	35
〈표 4-3〉 기후 목표에 대한 농업 부문 및 감축 방안	37
〈표 4-4〉 농업 및 토지 이용에서 잠재적 감축 방안	38

〈표 4-5〉 미국 농업 부문 축산관련 온실가스 배출량	44
〈표 4-6〉 미국 농업 부문 축산관련 온실가스 배출량	46
〈표 4-7〉 미국 가축의 분뇨관리를 통한 온실가스 배출량	47
〈표 4-8〉 미국 가축관련 농경지에서 질소 투입 유형별 N ₂ O 직접 배출량 ..	48
〈표 4-9〉 축종별 장내발효의 온실가스 배출량	66
〈표 4-10〉 축종별 가축분뇨관리의 온실가스 배출량	67
〈표 4-11〉 일본의 젓소(홀스타인 종) 생산성 개량 목표치	74
〈표 4-12〉 일본의 육용우 생산성 개량 목표치	74
〈표 4-13〉 일본의 거세 비육우 생산성 개량 목표치	75
〈표 4-14〉 일본의 종돈 및 비육돈 생산성 개량 목표치	76
〈표 4-15〉 일본 J-크레딧 제도의 축산분야 온실가스 감축 방법론	77

제3장

- 〈그림 3-1〉 Fat-and-Protein Corrected Milk (FPCM)으로 계산한
우유 생산량과 온실가스 배출강도 11
- 〈그림 3-2〉 지구적 토양이용과 바이오매스의 흐름(IPCC, 2014) 25

제4장

- 〈그림 4-1〉 EU의 농업 배출원별 온실가스 배출 비율(2021년) 29
- 〈그림 4-2〉 미국 농업부문 축산관련 온실가스 감축 수단 60
- 〈그림 4-3〉 일본의 부문별 온실가스 배출 및 흡수 추이 66
- 〈그림 4-4〉 일본의 가축분뇨 발생량 추이 68
- 〈그림 4-5〉 일본의 가축분뇨 처리 및 이용 현황 69
- 〈그림 4-6〉 일본의 가축분뇨 관리방법 변경 69
- 〈그림 4-7〉 일본의 가축분뇨 이용 촉진을 위한 기본 방침 71
- 〈그림 4-8〉 일본의 아미노산 균형 개선 사료 71
- 〈그림 4-9〉 일본의 아미노산 균형 개선 사료와 일반 사료의 성분 함량 비교 72
- 〈그림 4-10〉 일본의 아미노산 균형 개선 사료와 일반 사료의 N₂O 발생량
비교 72
- 〈그림 4-11〉 일본의 개체당 온실가스 배출 저감 73

1

서론

1. 연구의 필요성과 목적

1.1. 연구 배경과 필요성

- 2016년 11월 파리 기후변화협정(Climate Change Accord)이 공표됨으로써 전 세계적으로 교토의정서보다 발전된 감축 목표와 실행 전략을 요구하게 됨. 이는 2015년 12월 프랑스 파리에서 개최된 제21차 유엔기후변화협약(UNFCCC) 당사국총회(COP)의 세계 195개국 정상들에 의해 채택되었으며, 파리협정은 신기후체제를 출범시킴. 우리나라의 경우 2015년 6월에 2030년 BAU 대비 37% 감축안을 제출함.
- 정부는 신기후체제에 효과적으로 대응하기 위해 2016년 12월에 「제1차 기후변화대응 기본계획」과 「2030 국가 온실가스 감축 기본로드맵」을 제시하였음. 이때 농축산부문에서 제시한 감축목표는 250만 톤이었으며, 2018년 수정작업을 거쳐 현재는 265만 톤을 감축 목표로 제시됨.

- 국제적으로 감축목표와 실행 전략이 요구되는 가운데 온실가스 감축목표 이행을 위한 농업정책 추진 기반 구축이 필요함. 특히 국가 기후변화대응 기본 계획 수립에 따라 농업분야의 감축 이행을 위한 저탄소 농업정책 추진을 위한 기반 기술 구축이 필요하며, 전 지구적 이행점검 및 국가 기후변화대응 기본 원칙에 따른 새로운 로드맵 대응이 필요함.
- 2020년 7월에 온실가스 탄소중립을 목표로 그린뉴딜 전략이 발표되었고, 10월에 탄소중립 목표를 선언하면서 온실가스 감축 목표와 달성에 대한 사회적 관심이 크게 증가하였음. 지금까지 신기후체제하의 2030 로드맵상의 수단별 온실가스 감축목표를 고려하였다면 이제는 2050년 탄소중립목표에 상응하는 2030년 감축목표(상향 조정될 목표)를 달성하기 위한 전략이 요구됨.
- 농업부문의 국가 2030 온실가스 감축 목표 달성을 위한 감축사업 연계가 필요함. 현재 온실가스 저감 관련기술의 R&D가 활발히 진행되고 있으므로 실제적인 온실가스 감축으로 인정받을 수 있는 감축사업 연계 방안 요구됨.
- 이 연구는 축산분야의 온실가스 감축목표를 효과적으로 달성하기 위해 주요국의 온실가스 감축기술 및 정책을 살펴봄으로써 축산분야의 감축기술 보급 확대를 위한 정책적 시사점을 도출하기 위해 추진되었음.

1.2. 연구 목적

- 이 연구는 2050년 탄소중립목표에 상응하는 2030년 감축목표 달성을 위해 국내외 축산분야 온실가스 감축 수단을 체계적으로 분석하고, 2030년 감축 목표 달성을 위한 축산 분야 온실가스 감축 정책을 제시하는 데 있음. 또한 축산분야 온실가스 감축기술을 적용한 성공사례를 발굴하여 제시하는 데 있음.

- 국내외 축산분야 온실가스 감축기술 및 정책수단을 토대로 우리나라의 축산분야 감축기술 보급 확대를 위한 시사점을 제시하는 데 있음.

2. 연구 방법

- 이 연구는 유관 기관과 연구기관 등에서 발간한 축산분야의 온실가스 감축기술 관련 연구와 EU, 미국, 일본 등의 온실가스 감축기술 및 정책 연구를 검토하고 분석함.
- 원활한 연구수행을 위해 국내 전문가(강원대학교 박규현 교수)에게 원고위탁을 추진하였고, 전문가 자문회의를 개최하여 연구 결과를 검토하였음.

〈표 1-1〉 연구 방법 및 내용

연구방법	내용
1. 문헌 연구	<ul style="list-style-type: none"> • 유관기관과 연구기관에서 이루어진 온실가스 감축 기술 및 정책 관련 연구 • EU, 미국, 일본 등의 온실가스 감축 기술 및 정책 관련 연구
2. 국내 전문가 위탁연구	<ul style="list-style-type: none"> • 원활한 연구수행을 위해 국내 전문가 위탁원고 추진 • 국립강원대학교 동물생명과학대학 동물산업융합학과 박규현 교수: 국내외 축산분야 온실가스 감축수단과 정책 및 시사점

자료: 저자 작성.

2

축산의 온실가스 발자국

1. 축산의 비에너지 온실가스 배출원(non-CO₂ emissions)

1.1. 장내발효: 메탄(CH₄) 배출원

○ 메탄(CH₄)은 초식동물이 탄수화물을 체내로 흡수하기 위해 미생물에 의해 작은 분자로 분해하는 소화 작용인 장내 발효의 부산물로 생성됨. 배출되는 메탄의 양은 동물의 체중, 소화관 형태, 나이 등 뿐만 아니라 섭취 사료의 양이나 질에 의해 달라짐. 반추동물은 섭취한 사료를 장내에서 발효시키는 장의 구조를 가지고 있으며, 메탄발생의 근원임.

○ 소화 시스템의 유형은 메탄 배출율에 상당한 영향을 미치게 됨. 반추동물은 소화관의 앞부분에 미생물로 사료의 발효를 돕는 넓은 공간인 반추위를 가지고 있음. 주요 반추동물은 소, 들소, 염소, 양, 사슴, 낙타가 포함되며, 비반추동물인 말, 노새, 나귀와 단위 동물인 돼지의 소화 시스템에서는 훨씬 적은 발효 과정이 발생되기 때문에 상대적으로 반추동물에 비해 메탄을 더 적게 배출함.

- 메탄은 동물의 소화 시스템 내에서 사료의 발효에 의해 생성됨. 일반적으로 더 많은 사료를 섭취할수록 더 많은 메탄을 배출하게 됨. 하지만, 메탄 생성량은 사료의 성분에 의해서도 영향을 받음. 또한, 사료 섭취량은 동물의 크기(체격), 성장률, 생산성(예를 들어, 우유 생산량, 양모 생성, 임신) 과정에서도 상관관계를 가지고 있음.

1.2. 가축분뇨처리: 메탄과 아산화질소(N_2O) 배출원

1.2.1. 메탄

- 분뇨를 저장하고 처리하는 과정(분뇨처리과정)에서 미생물이 분뇨를 분해하면서 메탄(CH_4)과 아산화질소(N_2O)를 생성하고 그것들은 대기 중으로 배출됨. 분뇨처리과정 중 많은 가축들을 집약적으로 사육하게 되면 많은 양의 가축분뇨가 발생하게 되고 분뇨 내 산소의 접촉이 어렵게 되므로 혐기적 환경이 발생함.
- 혐기성 환경(산소가 없는 환경)에서 분뇨가 분해되면 메탄(CH_4)이 발생함. 즉, 메탄의 생성에 큰 영향을 미치는 것은 발생 분뇨의 양과 혐기적 상태임. 분뇨가 액체 상태로 저장되고 처리되면 산소의 공급이 어렵기 때문에 분뇨는 혐기적으로 분해되기 때문에 상당한 양의 메탄이 발생할 수 있음.
- 저장 또는 처리 과정에서의 온도와 처리 시간 역시 메탄 발생량에 큰 영향을 줌. 분뇨가 퇴비화 등 고체상태로 처리되거나, 목초지나 방목지에 떨어져 분뇨가 쌓이지 않는다면, 가축분뇨는 덜 혐기적인 환경에서 분해되어 메탄도 덜 발생하게 됨.

1.2.2. 아산화질소

- 직접적인 아산화질소 배출은 분뇨 속에 포함된 질소가 질산화와 탈질화 과정을 지나면서 질소 가스(N_2)의 형태로 대기 중으로 배출되는 과정에서 발생함. 분뇨처리과정 중 배출되는 아산화질소의 양은 분뇨의 질소와 탄소량, 저장기간, 처리방법에 따라 달라짐. 질산화과정(암모니아 질소의 질산화 질소화)은 산소 공급이 충분이 될 때 진행되며 아질산염과 질산염을 생성함. 생성된 아질산염과 질산염은 산소가 부족하거나 없을 때 탈질화과정을 거쳐 아산화질소(N_2O)와 질소(N_2)로 배출됨.
- 간접적인 아산화질소 배출은 분뇨가 유출(runoff)되어 표층수 및 토양으로, 휘발(volatilization)로 주변 토양 및 수계로, 침출(leaching)로 지하수 및 토양으로 퍼지게 되고 그에 따라 질소 공급이 이루어지게 되어 발생함. 분뇨처리과정에서 직·간접적 손실이 발생하기 때문에 관리가 필요함.

2. 축산의 에너지 사용에 따른 온실가스 배출원(CO_2 emissions)

- 가축은 호흡을 하면서 이산화탄소를 배출함. 이러한 이산화탄소는 가축에게서 직접적으로 배출되는 것이지만 온실가스 배출량 산정에서는 고려하지 않음. 가축을 사육하기 위해서는 사료를 공급해야 하는데 그 사료원인 곡물과 목초들은 광합성을 하면서 공기 중 이산화탄소를 흡수하게 되고 그 흡수한 이산화탄소는 가축의 호흡에서 나온 이산화탄소로 생각하여, 가축이 배출한 이산화탄소는 가축이 먹는 곡물과 목초들의 광합성으로 흡수된다고 가정하기 때문임.

- 가축을 사육하는 과정에서 사용하는 화석연료, 그리고 화석연료로 생산한 전기 사용에 의해 발생한 이산화탄소는 축산의 간접적 이산화탄소 배출원임. 온실가스 배출량을 계산하는 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 인벤토리 방법론에서는 축산에 해당하는 것은 아니지만, 전과정 평가 방법론에서는 축산물 생산 과정에서 발생한 온실가스로 계산함. 따라서 방법론에 따라 온실가스 배출량 산정이 달라지게 됨.

3. 온실가스 배출량 계산

- 국가보고서에 사용하는 온실가스 배출량은 IPCC의 인벤토리 방법론(guidelines)을 사용함. 이 방법론은 Revised 1996 IPCC Guidelines (1996 방법론), 2006 IPCC Guidelines (2006 방법론)을 거쳐 현재 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines (2019 개선 방법론)으로 갱신되었음. 점점 더 많은 자료들이 모여면서 온실가스 배출계수(emission factors)의 정확도는 높아지고 있으나, 갱신될 때 온실가스 배출계수도 갱신되는 경우가 있으므로 재산정이 필요함.
- 표 1은 소의 장내발효 배출계수와 관련하여 2006 방법론과 2019 개선 방법론의 변화를 보여줌. 각 지역별, 소 범주 별 차이가 발생하게 되는데 비교에서 그 내용을 볼 수 있음. 젖소의 경우 우리나라 두 당 연간 우유 생산량을 기준으로 하여 그 값과 가장 가까운 내용을 찾아 그 배출계수를 사용하도록 함. 즉, 방법론의 변화에 따라 기존의 온실가스 배출량의 변화가 발생할 수 있으므로 온실가스 배출량 보고 시 사용한 방법론에 대한 명확한 기술이 필수적임. 2006 방법론과 2019 개선 방법론에서 다른 가축들의 장내발효 배출계수의 변화는 표 2에서 볼 수 있음.

〈표 2-1〉 2006 방법론과 2019 개선 방법론에서 소의 장내발효 배출계수 변화

2006 IPCC guidelines ¹⁾ 소에 대한 Tier 1의 장내 발효 배출계수 (kg CH ₄ head ⁻¹ yr ⁻¹)				2019 refinement IPCC guidelines ²⁾ 소에 대한 Tier 1의 장내 발효 배출계수 (kg CH ₄ head ⁻¹ yr ⁻¹)		
지역 특성	소 범주	배출계수	비고	소 범주	배출계수	비고
북아메리카	젖소	121	1년에 1마리당 8,400 kg의 평균 우유 생산량	젖소	138	1년에 1마리당 10,250 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	53	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)	다른 소	64	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)
서유럽	젖소	109	1년에 1마리당 6,000 kg의 평균 우유 생산량	젖소	126	1년에 1마리당 7,410 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	57	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)	다른 소	57	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)
동유럽	젖소	89	1년에 1마리당 2,550 kg의 평균 우유 생산량	젖소	93	1년에 1마리당 4,000 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	58	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)	다른 소	58	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)
오세아니아	젖소	81	1년에 1마리당 2,200 kg의 평균 우유 생산량	젖소	93	1년에 1마리당 4,400 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	60	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)	다른 소	63	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)
라틴아메리카	젖소	63	1년에 1마리당 800 kg의 평균 우유 식육용 암소, 수소, 새끼 포함 생산량	젖소	87	1년에 1마리당 2,050 kg의 평균 우유 식육용 암소, 수소, 새끼 포함 생산량
	다른 소	56	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)	다른 소	56	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)
아시아	젖소	61	1년에 1마리당 1,650 kg의 평균 우유 생산량	젖소	78	1년에 1마리당 3,200 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	47	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)	다른 소	54	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)
아프리카와 중동	젖소	40	1년에 1마리당 475 kg의 평균 우유 생산량	젖소	76	1년에 1마리당 1,300 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	31	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)	다른 소	52(아프리카) 60(중동)	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)
인디아 대륙	젖소	51	1년에 1마리당 900 kg의 평균 우유 생산량	젖소	79	1년에 1마리당 1,900 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	27	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)	다른 소	46	육우(수소, 다목적 암소, 송아지, 육성우)

1) IPCC (2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

〈표 2-2〉 2006 방법론과 2019 개선 방법론에서 장내발효 배출계수 변화(소 제외)

2006 IPCC guidelines Tier 1의 장내 발효 배출계수 (kg CH ₄ head ⁻¹ yr ⁻¹)				2019 refinement IPCC guidelines Tier 1의 장내 발효 배출계수 (kg CH ₄ head ⁻¹ yr ⁻¹)			
가축	선진국	개발도상국	생체중	가축	고생산성	저생산성	생체중
양	8	5	65 kg-선진국 45 kg-개도국	양	9	5	40 kg-고생산성 31 kg-저생산성
염소	5	5	40 kg	염소	9	5	50 kg-고생산성 28 kg-저생산성
돼지	1.5	1.0		돼지	1.5	1.0	72 kg-고생산성 52 kg-저생산성
낙타	46	46	570 kg	낙타	46	46	570 kg
말	18	18	550 kg	말	18	18	550 kg
노새와 당나귀	10	10	245 kg	노새와 당나귀	10	10	245 kg
사슴	20	20	120 kg	사슴	20	20	120 kg
알파카	8	8	65 kg	라마/ 알파카	8	8	65 kg
타조				타조	5	5	120 kg
가금류	계산하기에 불충분한 자료	계산하기에 불충분한 자료		가금류	계산하기에 불충분한 자료	계산하기에 불충분한 자료	
기타 (예. 라마)	결정될 것임	결정될 것임		기타 (예. bison)	결정될 것임	결정될 것임	
모든 산정은 ± 30 – 50 %의 불확실성을 가짐				모든 산정은 ± 30 – 50 %의 불확실성을 가짐			

²⁾ IPCC (2019), 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

3

축산의 온실가스 배출량 저감 방법

1. 메탄 배출 저감 방법

○ 축산의 메탄 배출원은 가축의 장내발효와 가축분뇨처리과정임. 따라서 장내 발효 관리 및 가축분뇨처리과정의 관리를 통해 메탄을 저감할 수 있음.

1.1. 장내발효 과정에서의 메탄 저감

○ 반추동물의 장내발효과정에서 배출되는 메탄은 비반추동물 배출량 보다 높음. 따라서 많은 연구들이 반추동물의 장내발효에서 발생하는 메탄을 저감하는 것에 초점을 맞추고 있음.

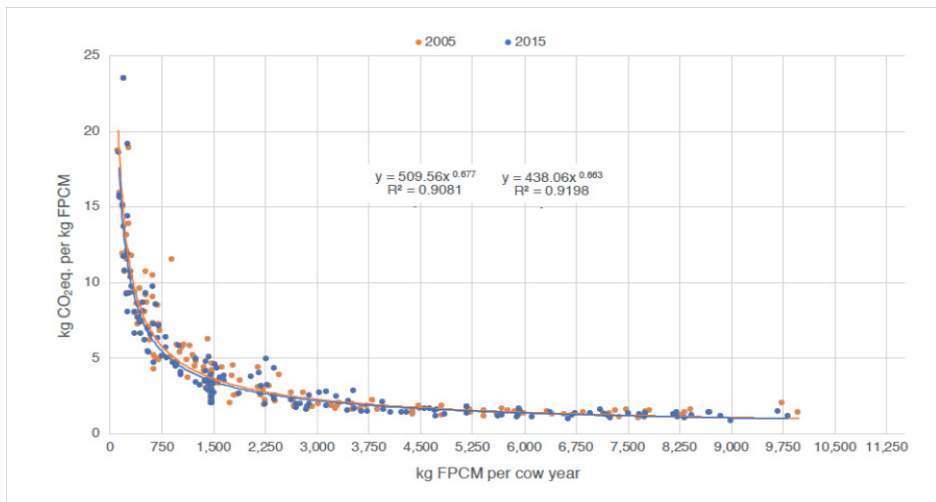
① 가축 생산성 향상

○ 또한 장내발효 과정에서 배출되는 메탄은 공급된 사료(에너지원)가 동물에게 흡수되지 않고 외부로 배출되는 것이기 때문에 사료효율을 낮추게 되므로, 투입되는 자원 대비 생산량이 떨어지게 됨.

○ 또한 고능력우의 경우 사료 섭취량이 저능력우보다 약간 높지만 고능력우의 생산성 증가는 그 사료섭취량의 증가보다 높기 때문에 단위 생산물 당 발생하는 온실가스의 양(온실가스 배출강도; greenhouse gas emission intensity)는 고능력우가 저능력우보다 낮음.

- 같은 양의 우유를 생산할 때 발생하는 온실가스 배출량을 비교할 때 고능력우의 배출강도가 저능력우의 배출강도보다 낮음<그림 1>. 그림 1에서 보듯 더 낮은 저능력우를 더 높은 고능력우로 바꿀 때 온실가스 저감량은 극대화할 수 있음.

〈그림 3-1〉 Fat-and-Protein Corrected Milk (FPCM)으로 계산한 우유생산량과 온실가스 배출강도



② 탄수화물 조정

- 전분 성분이 많은 사료를 공급할 경우, 위 내에서 소화되면서 소비되는 시간이 짧고 소화율이 높게 됨. 소의 경우 propionate의 생산이 증가되고 메탄 생산이 감소함. 곡물에 따라서도 메탄 배출량은 달라짐. 보리 전분은 옥수수 전분보다 더 빨리 더 많이 발효되므로 더 많은 메탄이 배출될 수 있음. 이와는 반대로, 조사료 등 섬유질의 성분이 많은 사료를 공급할 경우 메탄 배출량은 증가함.

③ 섭취량

- Dry matter intake가 증가할 때 gross energy intake 또는 digestible energy intake 기준으로 계산한다면 메탄 배출량은 감소함.

④ 조사료 종류 및 성숙도

- 성숙도가 높은 조사료를 공급할수록 메탄 배출량은 증가함. 풀 조사료를 공급할 때보다 콩과 식물의 조사료를 공급할 때 더 낮은 메탄이 생성됨.

⑤ 사료공급 빈도

- 소의 경우 사료공급 빈도가 낮으면 propionate가 증가하고 acetate가 감소하면서 메탄 생성이 줄어들게 됨. 하지만 사료공급 빈도가 낮으면 생산성에 영향을 주게 되므로 추천되지는 않음.

⑥ 조사료 가공

- 조사료를 갈거나 펠릿화하면 반추동물이 쉽게 이용할 수 있으므로 20~40% 까지 섭취량 당 메탄 생성량을 줄일 수 있음.

⑦ 목초지 관리

- 목초지의 품질을 높이면 가축 생산성이 높아지고 생산물 당 온실가스 배출량(온실가스 배출강도)이 낮아짐.

⑧ 지방공급

- 젖소의 경우 지방 공급은 사료의 에너지 밀도를 높이면서 우유 생산량을 높이고 우유의 지방산 성분에 영향을 주는 동시에 메탄 생성이 감소함.

⑨ Ionophores

- 반추동물에 공급하면 사료 효율이 높아지고 메탄 생성이 감소함.

⑩ Defaunation

- 반추위 내의 protozoa를 없애는 기술로, 메탄을 20~50%까지 감소할 수 있으나 소화능력에 영향을 줄 수 있으므로 완전 제거는 바람직하지 않음.

⑪ probiotics

- *Aspergillus oryzae*와 같은 미생물 사료 첨가제를 사용할 경우 실험실 내에서 protozoa의 감소와 함께 약 50% 메탄 생성이 감소되었고, *Saccharomyces cerevisiae*를 사용할 경우 약 10%의 메탄 생성이 감소됨. 하지만 지속적으로 유지되지는 않았음.

⑫ Bacteriocins

- 박테리아가 생산하는 박테리아를 죽이는 bacteriocins을 통해 메탄생성균을 직접적으로 억제하여 메탄 생성을 줄일 수 있는 가능성이 있음.

⑬ Archaeal viruses

- 메탄생성균을 감염시킬 수 있는 obligate pathogens으로 메탄 생성을 줄일 수 있는 가능성이 있음.

⑭ Immunization

- 호주에서 양에게 메탄생성균에 대한 백신을 적용하여 가축이 메탄생성균에 대한 항체를 생성하도록 하여 메탄 생성을 줄임.

⑮ Reductive aetogenesis

- Inorganic sulfate와 nitrate는 메탄생성균과 H₂에 대해 경합을 하므로 메탄 생성을 줄일 수 있음.

⑯ Propionate enhancers

- 사료에 Fumaric acid와 malic acid와 같은 dicarboxylic acids를 적용하면 propionate 경로가 활성화되어 메탄 생성을 줄일 수 있음.

⑰ Essential oils

- Essential oils이 가진 항박테리아 능력이 메탄 생성을 줄일 수 있음.

⑱ Genetic selection

- Holstein 젖소를 이용해서 네덜란드와 미국에서 관찰한 바에 따르면 뉴질랜드의 Friesian 젖소보다 8-11% 낮은 메탄을 생성함. 높은 net feed efficiency를 가진 소를 선발하여 메탄 생성을 줄일 수 있으며 분뇨 내 N, P, K의 양도 줄일 수 있음.

1.2. 가축분뇨처리과정에서의 메탄 저감

○ 장내발효 과정에서 메탄이 생성되는 것과 같이 가축분뇨처리과정에서도 혐기적 조건이 조성될 경우 메탄이 생성될 수 있음. 가축분뇨처리과정에서 배출되는 메탄은 IPCC³⁾의 (식 1)로 계산할 수 있음.

- (식 1)에서 변수는 가축 범주에 포함하는 사육두수, 생산성시스템, 가축분뇨처리과정, 그리고 배출계수임. 그리고 배출계수는 가축분뇨처리시스템과 그 가축분뇨처리시스템의 메탄변환율이 필요함(식 2).
 - 따라서 위 식들에 들어간 변수들로 인해 메탄 배출량이 달라지게 되므로 온실가스 저감 역시 가축분뇨처리과정과 관련된 위 변수들 중 온실가스 배출량이 적게 계산되는 변수를 가지고 있는 가축분뇨처리과정을 사용하면 됨.
- 〈표 3〉은 가축분뇨처리과정에 대한 설명임.

$$CH_{4(mm)} = \left[\sum_{T,S,P} (N_{(T,P)} \cdot VS_{(T,P)} \cdot AWMS_{(T,S,P)} \cdot EF_{T,S,P}) / 1000 \right]$$

(식 1). 가축분뇨 처리과정에서의 메탄 배출량 계산 공식

$CH_{4(mm)}$: 가축분뇨처리시설에서의 메탄 배출량 ($kg\ CH_4\ yr^{-1}$)

$N_{(T,P)}$: 생산성시스템(P) 내 가축 범주(T)의 사육두수(마리)

$VS_{(T,P)}$: 생산성시스템(P) 내 가축 범주(T)의 가축 마리 당 배출되는 연평균 VS 배출량

$AWMS_{(T,S,P)}$: 생산성시스템(P) 내 가축 범주(T) 중 가축분뇨처리과정(S)을 사용하는 비중

$EF_{(T,S,P)}$: 생산성시스템(P) 내 가축 범주(T) 중 가축분뇨처리과정(S)의 배출계수

³⁾ IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

$$EF_{(T)} = (VS_T \cdot 365) \left[B_{0(T)} \cdot 0.67 \cdot \sum_{S,k} \frac{MCF_{S,k}}{100} \cdot AWMS_{(T,S,k)} \right]$$

(식 2). 가축 범주(T)의 한 마리 당 메탄 배출계수 (kg CH₄ animal⁻¹ yr⁻¹) 계산법

EF_(T): 가축 범주(T)의 한 마리 당 메탄 배출계수 (kg CH₄ animal⁻¹ yr⁻¹)

VS_(T): 가축 범주(T)의 한 마리 당 하루 VS 배설량(kg dry matter animal⁻¹ yr⁻¹)

365: 365일

B_{0(T)}: 가축 범주(T)가 배설한 분뇨의 최대 메탄 생성능력(m³ CH₄ kg⁻¹ VS배설)

0.67: m³ 메탄을 kg 메탄으로 변환하기 위한 값

MCF_(S,k): 가축분뇨처리과정(S)이 해당하는 기후대(k)의 메탄변환율

AWMS_(T,S,k): 가축 범주(T)가 가축분뇨처리과정(S)이 해당하는 기후대(k)의 가축분뇨처리과정 비율

○ 가축분뇨처리과정에서도 미생물들이 메탄을 생성하기 때문에 온도에 따른 차이가 발생하게 됨. 우리나라의 경우 평균기온이 13℃ 정도이고 월 별 잠재 증발산량과 강수량이 차이가 있어 <표 4>의 기후대는 온난습윤 또는 온난건 조에 해당할 수 있음.

- 그 기후대에 해당하는 가축분뇨처리과정의 기술에 따라 가축이 배설한 분뇨의 휘발성고형물(volatile solids; VS)이 메탄으로 변화는 메탄변환율(methane conversion factors)는 0 %(호기적처리)~76 %(혐기성 laoon)과 같이 폭넓게 나타남.
- 퇴비화 과정 등 호기적 성처리 방법이 혐기적 처리방법에 비해 메탄변환율이 현저하게 낮음. 즉, 가축분뇨처리과정에 공기를 넣는 기술을 사용하는 것이 메탄 배출을 줄일 수 있음.

〈표 3-1〉 IPCC와 EMEP/EEA AIR POLLUTANT EMISSION INVENTORY GUIDEBO

OK 2016에서 사용하는 분뇨 저장 유형 정의 비교

IPCC		EMEP/EEA	정의
목초지/방목지/ 방목장		방목지	목초지와 방목동물의 분뇨는 퇴적된 상태로 방치될 수 있으며 관리되지 않는다.
매일 살포		정의 없음	거름은 일상적으로 격리 시설에서 제거되며 배설 후 24시간 내 농경지나 목초지에 적용된다.
고형물 저장		더미	일반적으로 몇 달 동안 정돈되지않은 더미나 더미에 거름을 저장한다. 분뇨는 충분한 양의 깔짚 재료가 있거나 증발에 의한 수분 손실이 있는 경우 쌓일 수 있다.
건조장		정의 없음	아주 큰 식물성 덮개가 없는 포장 및 비포장 개방형 격리 구역. 건조장은 습기를 조절하기 위한 깔짚을 추가 할 필요가 없다. 분뇨는 주기적으로 제거되며 들판에 살포할 수 있다.
액체/슬러리		탱크	분뇨는 배설물로 저장되거나 가축 건물 외부의 탱크나 흙 용덩이에 최소한으로 추가하여 저장되며, 보통 1년 미만 동안이다. 표면적 대 깊이 비율이 낮은 보관, 일반적으로 강철 또는 콘크리트 실린더
액체/슬러리, 자연적인 딱딱한 덮개		딱딱한 층	대기로의 가스 확산을 감소시키는 슬러리 표면의 천연 또는 인공 층
액체/슬러리, 덮개		덮개	분뇨를 덮고 물과 가스가 투과되지 않는 단단하거나 유연한 구조
노출된 혐기성 늪		늪	표면적 대 깊이 비율이 큰 저장; 일반적으로 토양에서의 얇은 굴착
가둬진 동물 아래의 피트 저장소		가내 슬러리 피트	배설물과 세척수의 혼합물. 축사 내부에 저장되며 보통 사육 동물 아래에 있다.
혐기성 소화조		바이오가스 처리	슬러리 및/또는 고체의 혐기성 발효
연료로써의 소각		정의 없음	배설물과 소변은 초원으로 배설된다. 햇볕에 말린 둥그런 모양 분뇨는 연료로 태워진다.
깊은 깔짚		가내 깊은 깔짚	축사 바닥에 쌓인 배설물과 깔짚의 혼합물
퇴비화	반응기 이용	강제 폭기 퇴비화	강제 환기를 통한 분뇨의 호기성 분해
	고정된 더미	퇴비화, 집약적 건조	강제 환기를 하지 않은 분뇨의 호기성 분해
	집약적 건조	동등한 EMEP 없음	
	수동적 건조	동등한 EMEP 없음	
깔짚 있는 가금류 분뇨(비료)		산란계- 고품 육계- 깔짚 기타 가금류 - 깔짚	일반적으로 건조장이나 목초지를 이용하지 않는 것을 제외하고 소 및 돼지의 깊숙한 깔짚과 유사. 전형적으로 가금 종계, 산란계, 육계 (브로일러) 그리고, 기타 가금류에 사용된다. 톱밥과 분뇨는 가금 생산 사이클에 맞추어서 추가되고 청소되어지고 한다. 전형적으로 생산시스템은 5-9주정도이고 생산성이 낮은 시스템에선 X 일만큼 더 걸린다.

(계속)

IPCC	EMEP/EEA	정의
깔짚 없는 가금류 분뇨(비용)	산란계-슬러리	밀폐된 동물 보호 시설의 개방된 피트와 유사하거나, 분뇨가 축적될 때 건조하도록 설계 및 운영될 수 있다. 후자는 고층 분뇨 관리 시스템으로 알려져 있으며, 적절히 설계되고 운영될 경우 수동적 건조 퇴비화의 한 형태이다. 일부 집중 양계장은 가내에서 분뇨를 말리는 계분 벨트를 철장 밑에 설치하기도 했다.
호기성 처리	동등한 EMEP 없음	강제 폭기 또는 자연 폭기를 통해 액체로 수집된 분뇨의 생물학적 산화. 자연 폭기는 호기성 및 혐기성 연못 및 습지 시스템으로 제한되며 주로 광합성으로 인한 것이다. 따라서 이러한 시스템은 일반적으로 햇빛이 없는 기간 동안 무산소 상태가 된다.
정의 없음	슬러리 분리	슬러리 고체 및 액체 구성 요소 분리
정의 없음	산성화	분뇨의 pH를 낮추기 위해 강산성을 추가함.

〈표 3-2〉 분뇨 처리 시스템에 대한 MCF 값

시스템		기후대에 따른 MCFs (%)									
		냉대				온대		열대			
		한랭 습윤	한랭 건조	아한대 습윤 기후	아한대 건조 기후	온난 습윤	온난 건조	열대 산지	열대 강우	열대 습윤	열대 건조
덮개 없는 혐기성 lagoon		60	67	50	49	73	76	76	80	80	80
액체/슬러리 그리고 축사아래의 구덩이 저장 1	1달	6	8	8	4	13	15	25	38	36	42
	3달	12	16	8	8	24	28	43	61	57	62
	4달	15	19	9	9	29	32	50	67	64	68
	6달	21	26	14	14	37	41	59	76	73	74
	12달	31	42	21	20	55	64	73	80	80	80
소 및 돼지 두꺼운 축사 바닥 깔개 (cont.)5	1달 이상	21	26	14	14	37	41	59	76	73	74
소 및 돼지 두꺼운 축사 바닥 깔개	1달 미만	2.75				6.50		18			
고형물 저장		2.00				4.00		5.00			
고형물 저장 (covered/compacted)		2.00				4.00		5.00			
고형물 저장 - bulking agent 첨가		0.50				1.00		1.50			

(계속)

시스템	기후대에 따른 MCFs (%)									
	냉대				온대		열대			
	한랭 습윤	한랭 건조	아한대 습윤 기후	아한대 건조 기후	온난 습윤	온난 건조	열대 산지	열대 강우	열대 습윤	열대 건조
고형물 저장 - 첨가제	1.00				2.00		2.50			
건조 부지	1.00				2.00		2.50			
매일 살포	0.10				0.50		1.00			
용기 내 퇴비화					0.50					
정차식퇴비화(강제 폭기)	1.00				2.00		2.50			
집중 야적식 퇴비화	0.50				1.00		1.5			
수동식 야적식 퇴비화 (가끔 교반)	1.00				2.00		2.50			
목초지/방목지/방목장					0.47					
짚 있는 혹은 없는 가금류 분뇨					1.50					
호기성 처리					0.00					
연료로 연소					10.00					
혐기성 소화조, 저누수, 고품질 가스 누출 방지 저장고, 최고 완전 산업 기술					1.00					
혐기성 소화조, 저누수, 고품질 산업 기술, 저 품질 가스 누출 방지 저장 기술					1.41					
혐기적 소화조, 저누수, 고품질 산업 기술, 고 품질 산업 기술, 개방형 저장고	3.55				4.38		4.59			
혐기적 소화조, 고누수, 저품질 기술, 고품질 가스 누출 방지 기술					9.59					
혐기적 소화조, 고누수, 저품질 기술, 저품질 가스 누출 방지 기술					10.85					
혐기적 소화조, 고누수, 저품질 기술, 개방형 저장고	12.14				12.97		13.17			

2. 가축분뇨처리과정에서의 아산화질소 저감

2.1. 직접적 아산화질소 배출량 저감

○ 가축분뇨처리과정 중 공기(산소)가 공급될 경우(호기적 처리의 경우) 메탄 생성은 억제되지만 아산화질소 생성은 촉진될 수 있음. 하지만 이산화탄소 환산량(CO₂ equivalence)로 온실가스 배출량을 계산할 때 호기적 처리의 메탄 발생 저감에 의한 이산화탄소 환산량의 저감량이 아산화질소 생성에 따른 이산화탄소 환산량의 증가량보다 높기 때문에 전체적으로 온실가스 배출량이 저감됨.

- 가축분뇨처리과정의 직접적 아산화질소 배출량 계산방법은 IPCC⁴⁾의 식 3에서 볼 수 있으며 아산화질소의 배출계수는 표 5에서 볼 수 있음. 가축분뇨처리방법에 따라 배출계수는 0~0.1 kg N₂O-N kg⁻¹ 질소배설로 나타나므로 아산화질소 배출계수가 적은 가축분뇨처리방법을 사용할 경우 아산화질소 배출량을 저감할 수 있음.

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_s \left[\sum_{T,P} \left((N_{(T,P)} \cdot Nex_{(T,P)}) \cdot AWMS_{(T,S,P)} \right) + N_{cdg(s)} \right] \cdot EF_{3(s)} \right] \cdot \frac{44}{28}$$

(식 3). 가축분뇨 처리과정에서의 아산화질소 배출량 계산 공식

$N_2O_{D(mm)}$: 가축분뇨처리시설에서의 아산화질소 배출량 (kg CH₄ yr⁻¹)

$N_{(T,P)}$: 생산성시스템(P) 내 가축 범주(T)의 사육두수(마리)

$Nex_{(T,P)}$: 생산성시스템(P) 내 가축 범주(T)의 가축 마리 당 배출되는 연평균 N 배출량

$AWMS_{(T,S,P)}$: 생산성시스템(P) 내 가축 범주(T) 중 가축분뇨처리과정(S)을 사용하는 비중

$N_{cdg(s)}$: 절대 혐기적으로 소화되는 가축분뇨처리과정(s)의 소화액의 질소량

$EF_{(T,S,P)}$: 생산성시스템(P) 내 가축 범주(T) 중 가축분뇨처리과정(S)의 배출계수

44/28 : N₂O-N을 N₂O로 변환하기 위한 값

⁴⁾ IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

2.2. 간접적 아산화질소 배출량 저감

- 가축분뇨처리과정에서 유출(run-off), 휘발(volatilization), 침출(leaching)된 N는 토양 또는 수계(지하수, 표층수)에 들어가게 되고 그곳에서 질산화 및 탈질화 과정을 거쳐 아산화질소가 배출되게 됨. 따라서 가축분뇨처리과정에서 빠져나가는 N의 저감이 간접적 아산화질소 배출량 저감을 이루게 됨.

3. 이산화탄소 배출 저감 방법

- 축산에서 발생하는 이산화탄소는 에너지 사용에 의한 것이므로 시설 효율화를 통해 더 적은 에너지를 사용하고 재생에너지의 사용을 증가하여 달성할 수 있음.

〈표 3-3〉 분뇨처리과정에서의 직접적인 N₂O 배출계수 기본값

구분	정의	EF3 [kg N ₂ O-N kg-1 질소배설]
목초지/방목지/ 작은 목장	목장이나 동물을 방목하는 구역에서 분뇨는 관리되어 놓여져 있거나 그렇지 않도록 허락됨.	경종에서 계산함
매일 살포	분뇨는 일상적으로 사육시설에서 제거되고 목초지나 농정에 24시간 안에 뿌려진다. 토양 살포에 의한 아산화질소 배출은 농업 토양 카테고리에서 커버됨.	0
고형물 저장	전형적으로 몇 개월동안 무제한적으로 쌓여진 분뇨 저장법임. 분뇨는 충분한 양의 바닥에 끼는 물질로 인해 쌓일 수 있고 증발로 인해 습기를 잃음.	0.010
고형물 저장 - 덮인/압축된	고체 저장과 유사하나 그러나 분뇨더미는 a) 플라스틱판으로 덮여있어서 공기와 노출되는 면적을 줄이거나 b) 압축을 통해 밀도를 증가, 공기가 들어 있는 공간을 감소시킴.	0.01
고형물 저장 - bulking agent 첨가	특정물질(bulking agent)는 분뇨와 섞이는 동안 구조적 지지를 제공함. 이것을 통하여 분뇨더미를 호기 상태를 만들고 분해속도를 증가시킴.	0.005

(계속)

구분	정의		EF3 [kg N ₂ O-N kg-1 질소배설]
고형물 저장 - 첨가제	분뇨 더미에 특정 보충제를 첨가시키는 것은 기체의 배출을 감소시키기 위함. N2O 배출량을 확실히 감소시키는 화학물은attapulgit, dicyandiamide, 성숙한 퇴비와 같은 것이 있으며, CH4 배출량을 감소 시키는 첨가제는 phosphogypsum가 있음.		0.005
건조 부지	상당한 식물성 커버가 없는 포장되거나 포장되지 않은 열린 사육장에 분 뇨를 쌓고 일정기간마다 제거함. 건조 부지는 대부분 건조기후대에서 발 견되지만, 습윤 지대에서도 사용함.		0.02
액체/슬러리	분뇨는 배설된 채로 쌓이거나 최소한 의 물과 함께 탱크에 저장되거나 연못 에 묻음.	자연적 덮개 있음9	0.005
		자연적 덮개 없음10	0
		덮개 있음11	0.005
덮개 없는 혐기 성 저수지	혐기성 높은 폐기물을 안정적으로 저장하기 위해 조합된 목적으로 설계 됨. 저수지는 보통 관련된 제한시설에서 저수지로 분뇨를 제거하기 위해 서 사용됨. 혐기성 저수지는 기후에 따라 휘발성 고체 부하율과 다른 운영 적인 계수 다양한 길이로 설계됨 (1년 이상). 저수지에 있는 물은 화장실 용, 관개, 비료용으로 재활용됨.		0

4. 축산부문과 토양 부문과의 연결을 통한 온실가스 저감 및 탄소상쇄

○ 농업은 자연환경을 이용하고 그 자연환경에 영향받는 순환적 생태계에서 중요
한 역할을 하고 있음. 온실가스 저감 기술의 적용은 식량안보에 영향을 미치지
않아야 함. 그리고 공기 중의 탄소를 광합성을 통해 식물의 체내로 저장하고
가축은 그것을 소비하고 이용하지 못한 부분은 배설하여 토양에 탄소를 주게
되며 적절한 관리를 통해 토양탄소의 양을 증가시킬 수 있어 탄소상쇄(car-
bon offsets)을 가능하게 함.

- 우리나라에서도 화학비료의 사용 이후 가축분뇨를 비료로 사용하는 비율은 줄어들게 되었지만, 가축분뇨로 만든 퇴·액비가 농촌 환경을 보존하고 토양의 유기물 및 미량영양소 보급에 긍정적 영향이 있고 축산과 경종 농가의 연계를 가능하게 하고 상호 경제적 이익을 얻는 경축순환농업을 확대하기 위해 노력하고 있음⁵⁾.

4.1. IPCC

- IPCC(2007)⁶⁾에서는 농업분야에서 온실가스를 저감할 수 있는 방법들을 제시하였음. 이러한 방법들은 ‘배출감소(reducing emissions)’, ‘제거촉진(Enhancing removals)’, ‘배출방지/전환(Avoiding/displacing emissions)’의 세 개의 기술 범주(category)로 나뉨.
- 배출감소 기술 범주는 탄소와 질소의 효율적 이용, 제거촉진 기술 범주는 토양탄소의 증가(탄소격리 등), 배출방지/전환 기술 범주는 산림 등의 농지 전환 방지 등(배출방지)과 화석연료 대신 바이오연료(배출전환)이 있음.
 - 보고서에서 축산과 관련된 내용은 <표 6>에 요약하였음. 이러한 방법들은 IPCC(2014)⁷⁾에서도 유지되고 있음.

⁵⁾ 정학균, 임여아, 강경수. (2020). 경축순환농업 실태 분석과 활성화 방안. 한국농촌경제연구원, p.21.

⁶⁾ IPCC, 2007: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 499~532 pp.

⁷⁾ IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen,

〈표 3-4〉 축산부문 온실가스 저감방법에 대한 효과 및 그 신뢰도

구분	방법	저감효과			순저감 신뢰도 (Net mitigation)	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	동의	증거
가축관리	사양방법 개선 ^a		○	○	상	많음
	첨가제류 공급 ^b		○		중	많음
	장기적 구조적 변화 및 육종 ^c		○	○	중	적음
분뇨처리	처리법 개선 ^d		○	○/×	상	보통
	혐기소화 ^e		○	○/×	상	적음
	더 효율적으로 분뇨 영양분 사용 ^f	○		○	상	보통

a 농후사료비율 증가(생산성 증가로 사육두수 감소, 빠른 도축시기와 같이 진행되어야 함), 단백질(질소) 이용 최적화 등

b Ionophore, halogenated compounds, tannin/saponin/essential oil 포함 식물, probiotics, propionate precursor, vaccines 등

c 육종을 통한 생산성 향상, 개선된 관리방법, 저메탄 가축 선발 등

d 가축분뇨 저장 중 냉각(cooling), solid cover 사용, 고액분리, 퇴비화, 폭기(aeration)

e 메탄포집

f 토양에 투입 시 작물이 효율적으로 사용할 수 있으며 외부에 유출되지 않는 방법 사용

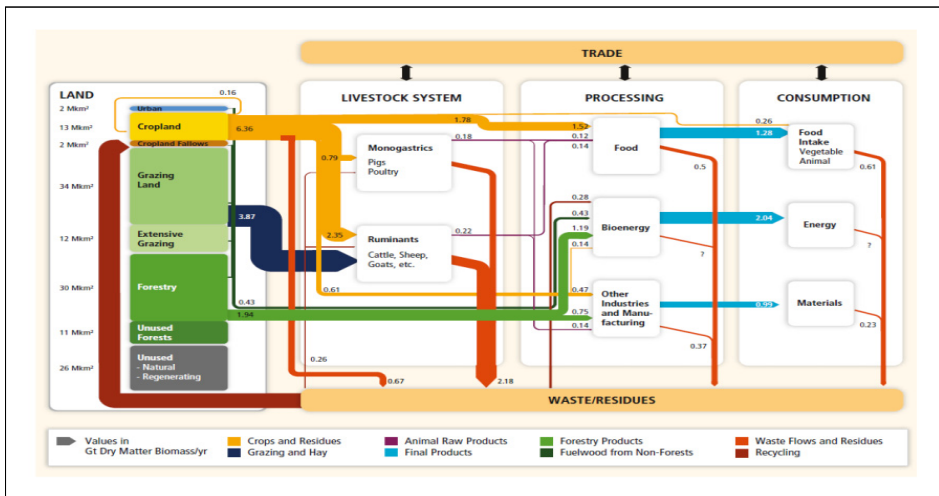
○ IPCC(2014)⁸⁾에 따르면 상기 명시된 방법들은 공급자 측면(supply-side)에서의 저감 방법들임. 이외는 달리 사회공공시설과 시스템적 관점(Infrastructure and systemic perspectives)이 있는데 농업부문의 경우 사회공공시설과의 관계는 적기 때문에 시스템적 측면으로 접근할 수 있음. 바이오매스의 이용을 전과정평가방법으로 보았을 때 토양, 경종, 축산, 산림은 모두 연결이 되어 있고 그 바이오매스들도 서로 연관이 되며 그 생산물과 부산물도 소비까지 연결되어 있음〈그림 2〉.

S. Schlomer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 816~886 pp.

⁸⁾ IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlomer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 816~886 pp.

- 바이오매스 흐름 최적화, 생산성 향상, 토양의 이용은 공급자 측면 뿐만 아니라 시스템적 측면에도 연결이 되어 있음. 따라서 에너지/농업/토양이용을 통합하는 접근 방법이 감축 시너지를 최적화하고 감축 과정의 부정적 영향을 감소할 수 있도록 함.

〈그림 3-2〉 지구적 토양이용과 바이오매스의 흐름(IPCC, 2014)



○ 소비자 측면(demand-side)에서 보면 식품과 섬유소의 요구 변화 역시 생산 체인(production chain)에서 배출되는 온실가스를 높은 온실가스 배출 식품에서 낮은 온실가스 배출 식품으로 소비 변화, 이용 가능한 토양을 조림 (afforestation) 또는 바이오에너지를 위한 작물 생산에 이용하는 것과 같은 방법으로 감축할 수 있음.

○ 식품 요구의 변화는 기근(hunger)이나 영양실조, 식량안보의 위협과 연관되어 있기 때문에 민감한 문제임. 이러한 식품 요구의 변화는 음식물 손실과 쓰레기 감소, 동물성 단백질을 많이 소비하는 지역에서는 단백질의 질과 양을 유

지하면서 일부 동물성 단백질을 소비를 식물성 단백질 소비로 변경, 음식물을 과 소비하는 지역에서 과소비 감소와 같은 방법으로 식량 문제를 일으키지 않고 온실가스를 줄일 수 있음.

- 풀사료를 소화할 수 있는 가축은 사람이 소화할 수 없는 풀, 그리고 사람이 먹을 수 있는 작물을 경작할 수 없는 땅에서 자라는 풀을 이용할 수 있기 때문에 식량안보에 기여하고 있음.

5. AFOLU(Agriculture, Forestry and Other Land Use) 외 부문과의 탄소상쇄

- 식물은 태양으로부터 에너지를 받고 이산화탄소를 흡수하며 토양과 물의 미량 영양분 등을 이용하여 광합성을 통해 성장하며 가축은 그 식물을 먹고 성장하게 됨. 그리고 식물과 가축의 부산물들과 그 본체는 다시 자연으로 돌아가고 다시 그것을 식물과 가축이 이용하는 순환이 일어남.
 - 따라서 식물과 가축은 탄소원(바이오매스)이며 에너지로 이용할 수 있으므로 화석연료를 대체할 수 있음. 바이오매스를 에너지로 사용하기 때문에 감소한 화석연료의 양과 그에 따른 온실가스 감소는 탄소상쇄라고 할 수 있음.
- 가축분뇨를 혐기적으로 분해할 때 발생하는 메탄은 에너지원이므로 혐기 분해를 최적화/최대화 하는 바이오가스 생산시설을 통해 메탄을 생산하고 가스 형태의 에너지원으로 사용함. 가축 분을 고체 연료로 이용하는 것은 오래된 기술이지만 현대적 공정을 통해 효율적으로 이용하기 위한 노력이 진행되고 있음. 우리나라에서는 2015년 7월 17일에 ‘가축분뇨 고체연료시설의 설치 등에 관한

고시(환경부고시 제2015-110)'를 시행, 일부 개정(환경부고시 제2018-114호, 2018.7.12.)하여 가축분뇨를 고형 에너지원으로 사용할 수 있음.

- 유기물에 열을 가해 화학적 분해를 일으키고 열분해 속도와 온도를 조절하여 고체(charcoal 등)·액체(bio-oil 등)·기체(syngas 등) 연료를 생산하는 열분해(pyrolysis) 방법이 있는데 가축분뇨 역시 그 원료로 사용할 수 있기 때문에 화석에너지 사용을 줄일 수 있음.

4

주요국 축산분야 온실가스 감축 관련 정책과 사업

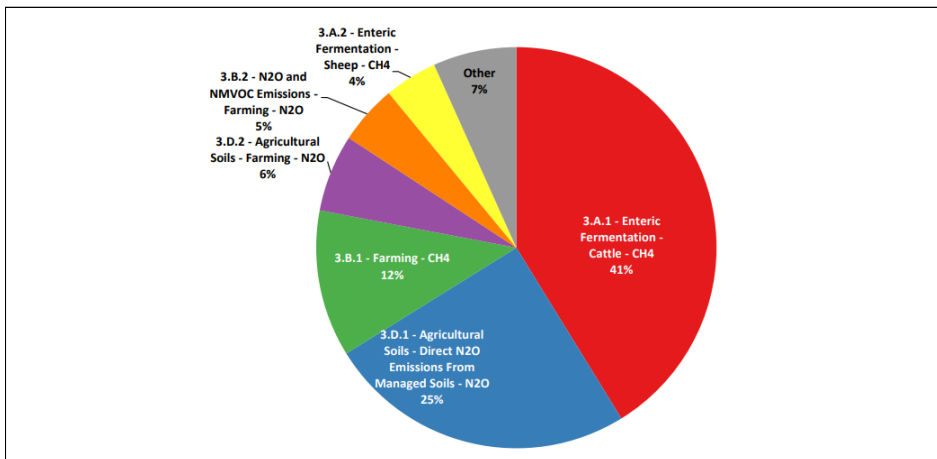
1. EU

1.1. EU 축산부문 온실가스 배출 현황

- 2021년 EU의 농업부문 총 배출량은 약 378 MtCO₂-eq.으로 1990년 485 MtCO₂-eq.에 비해 약 21.9% 감소하였으며, 이러한 감소의 51%는 장내발효 부문의 배출량 감소에 기인함. 다음으로는 농업용 토양에서의 배출량 감소가 21% 수준 차지함. 따라서 전반적인 농업부문에서의 온실가스 배출량 감소는 소 개체수 감소(1990~2021년 사이 29.6% 감소)와 합성 비료 및 유기비료 사용량 감소(각각 25.2%, 14.3% 감소) 때문으로 나타남.
- 2021년 EU의 장내발효의 CH₄ 배출량은 182,545.5 kt CO₂으로, 농업 부문 총배출량의 48.2%, 농업 부문 CH₄ 총배출량의 79%에 해당하는 수치로 농업 부문의 가장 큰 온실가스 배출원으로 나타남. 또한, 분뇨관리로 인한 2021년

CH₄ 배출량은 44,772 ktCO₂, N₂O는 18,130.6 ktCO₂ 나타남.

〈그림 4-1〉 EU의 농업 배출원별 온실가스 배출 비율(2021년)



자료: EEA(2023: 502p.). Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2021 and inventory report 2023. figure5.3 인용.

1.2. EU 온실가스 감축 정책과 사업

1.2.1. 유럽 그린 딜(European Green Deal)⁹⁾

가) 유럽 기후 협약(European Climate Pact)¹⁰⁾ (2020.12.16. 시행)

○ 지식의 연결과 공유, 기후변화에 대한 학습, 해결책 개발/적용/확장을 목적으로 개인, 지역사회, 조직들을 초대하는 EU-wide initiative임.

⁹⁾ European Commission (https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal_en, 검색일: 2023.11.21.)

¹⁰⁾ European Commission (https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-pact_en, 검색일: 2023.11.21.)

- 주요 사업으로는 Green area, Green transport, Green buildings, Green skills에 중점을 두고 있으며 점차 확대를 계획하고 있음.

나) 2030 Climate Target Plan¹¹⁾ (2021.7.14. 채택)

- 2050까지 기후중립을 달성하기 위한 비용효과적인 야심찬 계획을 목표로함. 구체적으로는 green jobs 창출을 촉진하고, 경제 성장과 동시에 온실가스 저감을 달성하고자 함. 평균온도 상승을 1.5℃ 아래로 유지하기 위한 국제적 의욕 고취하며, 1990년 기준 온실가스 배출량의 55% 이상 저감을 목표로 함(지난 목표보다 40% 이상 목표 증가).

다) 규정(Regulation) (EU) 2021/1119: European Climate Law¹²⁾ (2021년 7월 29일 발효)

- 2030년까지 1990년 온실가스 배출량의 55% 이상 감소, 2050년까지 기후중립(climate-neutral) 달성을 목표로 함. 이는 배출량 감소, 그린테크놀로지에 투자, 자연환경 보호를 통해 달성할 것임.
- 정치, 사회, 비용효율적 방법으로 2050년 기후중립을 위한 장기 방향 설정함. 진행사항을 모니터링하고 필요할 경우 조치를 취할 수 있는 시스템을 구축함. 투자자들과 다른 경제 참여자들에게 예측성(predictability)을 제공하며, 기후 중립으로의 이행은 불가역적임을 확인함.
- 필수요소로 5년마다 진행사항을 점검함. 토양이용, 토양이용변화, 그리고 산림(LULUCF)을 통한 carbon sink를 촉진할 필요성에 대해 인지함. 독립적

¹¹⁾ European Commission (https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en, 검색일: 2023.11.21.)

¹²⁾ European Commission (https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en, 검색일: 2023.11.21.)

으로 과학적 조연을 해줄 ‘European Scientific Advisory Board on Climate change’을 설립하여 기후변화 적응에 대한 더 강한 준비를 마련함.

라) 유럽 그린딜 이행(Delivering the European Green Deal)¹³⁾

- 2030년까지 이산화탄소 환산량인 약 310백만톤의 탄소 감축을 달성하고 2031년까지 EU에서 토지, 산림, 농업을 합쳐 기후중립 달성을 목표함.

1.2.2. EU의 탄소농업(Carbon farming)과 축산농장 탄소 평가(Livestock farm carbon audit)

가) 탄소 농업(Carbon farming)¹⁴⁾

- 토양 부문은 탄소저장을 할 수 있기 때문에 기후중립경제를 달성하는데 중요함. 토양 내 유기 탄소 증가를 통해 생산성과 농업활동의 회복력 향상을 기대할 수 있으며, 산림을 관리하고 조림(afforestation)하고 훼손된 산림을 복구(reforestation)하며 탄소를 저장할 수 있음. 또한 탄소가 풍부한 토양 보호와 적절한 관리 방법을 활용하여 지속가능한 탄소 사이클을 회복할 수 있음.

나) 축산농장 탄소 평가(Livestock farm carbon audit)¹⁵⁾

- 현재 EU에서 축산은 전과정평가를 할 경우 농업부문 온실가스 배출량의 약

¹³⁾ EU LULUCF Regulation (https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en, 검색일: 2023.11.21.)

¹⁴⁾ European Commission (https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/carbon-farming_en, 검색일: 2023.11.21.)

¹⁵⁾ COWI, Ecologic Institute and IEEP (2021) Technical Guidance Handbook – setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU Report to the European Commission, DG Climate Action, under Contract No. CLIMA/C.3/ETU/2018/007. COWI, Kongens Lyngby. 141~144 pp.

81%에 책임이 있으며 에너지, 산업, 토양이용변화, 사료 수입 등을 고려할 때 유럽 전체 온실가스 배출량의 약 20%를 차지함.

- 가축 군 관리 및 사양관리, 분뇨관리, 곡물 관리, 비료/에너지 소비 등 농장 기후 행동(On-farm climate action)을 통해 비용-효과적으로 2030년까지 12~30%의 온실가스를 저감할 수 있음.
- 결과를 토대로 한 탄소 농업(carbon farming) 메카니즘은 농가들에게 인센티브를 줄 수 있으며 효과적이며 효율적인 기후 행동(climate action)을 농가들이 적용할 수 있도록 함.

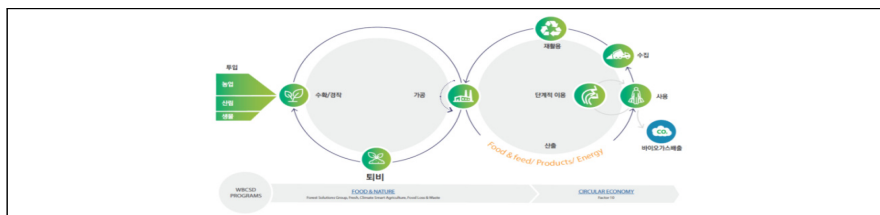
○ 농장 평가 도구(Farm audit tool)를 자발적으로 적용한 농가들은 측정·보고·검증(measuring, reporting and valuation, MRV)을 실시하여 실제 농장 전체(whole-farm) 온실가스 저감량을 평가받음. 5년 후 저감량에 따라 저감 톤 당 결정된 금액을 받음.

〈글상자 1〉 탄소중립을 위한 EU 농업의 접근법

- 피할 수 없는 배출의 경우 최소한으로 배출함. 더 적은 자원을 소비하는 방법으로 생산물을 생산하고, 생산물 단위 당 온실가스 배출량(온실가스 배출강도)을 줄이고 음식 손실(food loss)을 줄임.
- 가능한한 온실가스 배출을 하지 않음. 생산물 종류를 바꾸고, 탄소 사용을 많이 하는 방법을 사용하는 농업 생산물(시설원예, 축산 등) 소비를 줄임. 음식물 쓰레기(food waste)를 없앴.
- 배출한 온실가스는 탄소격리 잠재력 제고 방법과 표준영농법의 농지관리법으로 가능한 한 회수함. 소비 이후(post-consumption), 영양분, 에너지, 원자재를 포괄하는 순환생물경제(circular bioeconomy)* 개념을 개발함.

* 기후변화, 생물다양성 손실, 자원부족, 음식물 손실 및 낭비, 토지이용변화 등의 5가지 환경문제를 해결할 수 있는 방법임. 자원은 최대한 사용하고, 온실가스 등 배출을 줄이는 생산방식을 사용함. 과학적 접근과 기술적 혁신으로 생태계, 농업·공업 등 생산 부문을 정교하게 그리고 순환적으로 연결하여 더 지속가능하고 재생산(regeneration)할 수 있는 산물을 만들 수 있음.

〈글상자 그림 1〉 순환생물경제에 대한 이해



○ 유럽 환경정책 연구소(The Institute for European Environmental Policy, IEEP)는 독립적이며 이윤추구를 하지 않는 그린 싱크탱크(green think tank)이며 유럽 환경정책 개발과 분석을 함. 이곳에서 2019년 발간한 Net-zero agriculture in 2050: How to get there¹⁶⁾ 보고서에서는 탄소 중립을 위한 농업의 갈 길에 대해 설명하고 있음.

- 이 보고서에서는 농축산 부문의 Non-CO2 온실가스(CH₄과 N₂O)를 줄이는 것으로는 한계가 있기 때문에 농축산업에서 토양격리, 토양저장을 적극적으로 활용해야만 2050년 net-zero 목표에 가까워질 수 있다고 하였음(2010년 대비 약 81% 감소).
- 이 보고서에서 보는 농업의 특징을 요약하면, 농업은 자체적으로 온실가스 배출을 줄일 수 있으며(reduction), 대기 중 탄소 제거를 증가(carbon sequestration/storage)할 수 있기 때문에 탄소 집약형 원료와 에너지를 사용하는 타 분야의 온실가스 배출 감소에 기여(바이오연료 등 화석연료 대체재 생산 등)할 수 있음.

○ 유럽 농업 분야 온실가스 배출량의 약 59%가 축산분야(장내발효와 가축분뇨 처리)와 비료 사용에 의한 것이기 때문에 가축의 수와 비료사용량 변동에 따라 온실가스 배출량도 변동함.

- 1990년부터 2005년까지 농업 분야의 non-CO2 배출량은 가축 사육두수감소, 비료 사용량 감소, 그리고 효율적 농장 관리법 등에 의해 급격히 감소함.
- 현재도 농업 분야는 1990년 배출량보다 적게 배출하고 있지만 2012년 이후부터는 다시 증가하고 있음. 따라서 탄소중립을 위해서는 관행적인 농업 방법이 아닌 탄소중립에 적합한 방법을 적용해야 함.

¹⁶⁾ Lóránt A & Allen B (2019) Net-zero agriculture in 2050: how to get there? Report by the Institute for European Environmental Policy.

○ 탄소중립을 위한 EU 농업의 변화에 대해 프랑스에서 논의되었음(French National Low Carbon Strategy; FNLCS). FNLCS는 세 개의 시나리오가 있는데 각각 농생태계(agroecology), 정밀농업(precision agriculture), 수요중시(demand side)에 중심을 두고 있음.

- 이해당사자들은 기술적 발전에 의한 새로운 기술들(저단백사료 공급, 논밭을 가는 기경(起耕) 감소)을 적용하는 것에는 별 이견이 없었으나, 가축 사육두수 감소와 같은 부문에 있어서는 이견이 있었음. 이러한 상황은 거래(trade off)와 이익(beneficial) 관점에서 정보를 교환하고 자세히 논의하고 신중하게 고려해야 함<표 8>.

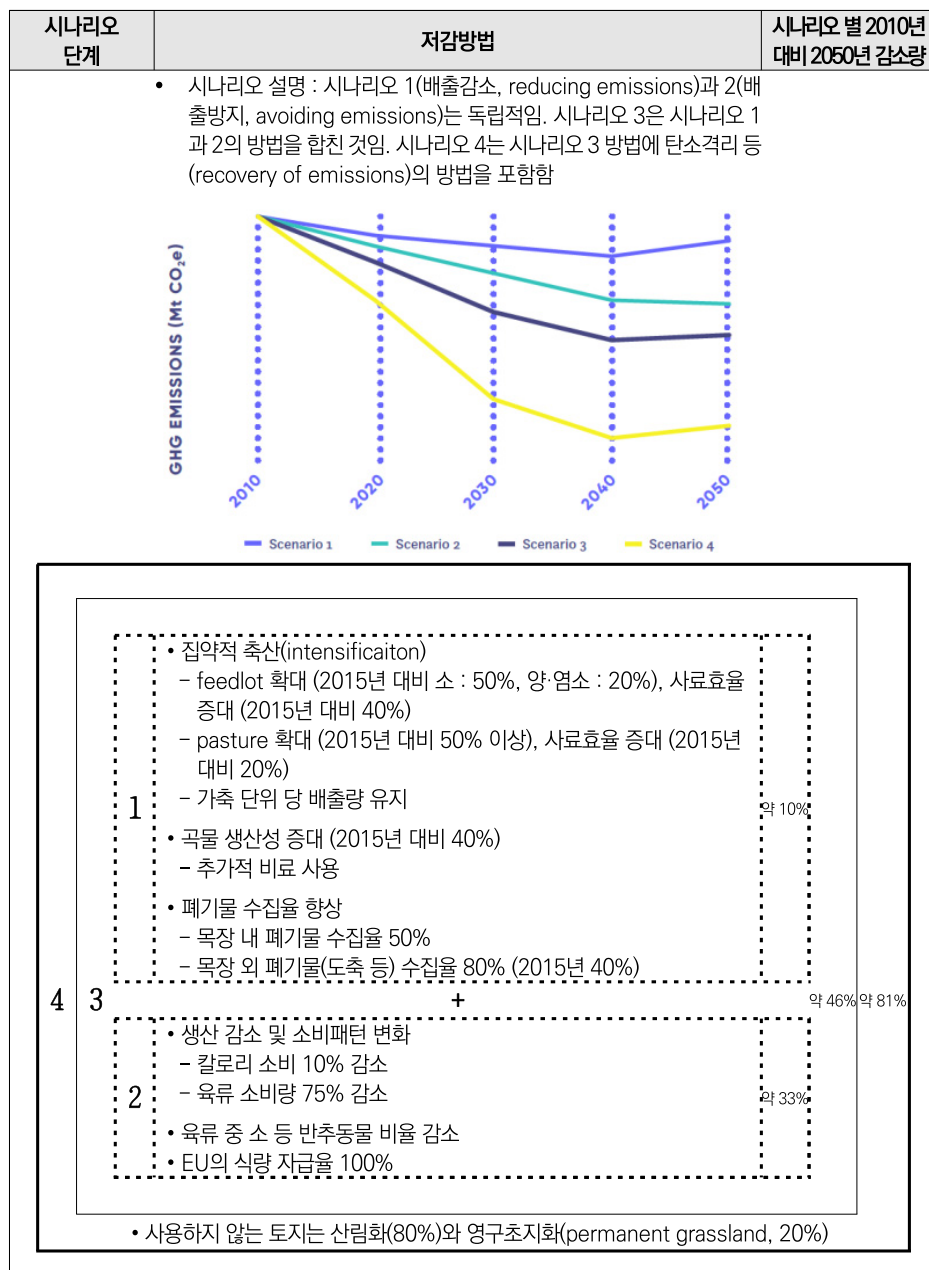
〈표 4-1〉 프랑스 국가 저탄소전략(French National Low carbon Strategy)에서 이해당사자들간의 논의된 주요 지렛대(lever)

Production side	Demand side
<ul style="list-style-type: none"> • 곡물산업에서 유기농업을 44%까지 확대 • 주로 사료로 사용될 단백질 곡물 생산 확대 • agroforestry와 생물타리(hedge)의 확대 • 바이오가스 생산시설 확대 • 소 사육두수를 1/3으로 감소 	<ul style="list-style-type: none"> • 건강한 식생활로 이동 • 바이오연료 생산을 위해 사용되는 농지면적에 큰 변화 없음 • 2015년 수입한 동물사료의 5% 내로 수입 감소 • 농산물의 수출 패턴은 불변

○ 〈표 9〉는 Net-zero agriculture in 2050: How to get there 보고서에서 농업부문 온실가스 저감과 관련된 내용을 표로 정리한 것임.

- 효율성을 높이는 것만으로는 축산부문의 온실가스 저감에 한계(약 10% 저감)이 있으며, 효율성 증대 없이 소비 단계의 변화를 통한 온실가스 저감 역시 약 33% 저감에 그침. 하지만 효율성 및 소비 단계의 변화를 동시에 진행할 경우 약간의 시너지 효과로 약 46%를 저감할 수 있음.
- 여기에 탄소격리 등의 토양 이용 방법을 적용할 경우 그 저감 효과는 약 81%까지 증가할 수 있으므로 축산의 노력과 함께 토양에서의 탄소격리 등을 동시에 추구해야 net-zero를 달성할 수 있을 것임.

〈표 4-2〉 EU 농업부분의 2050년 온실가스 감축 목표



자료: Lóránt A & Allen B (2019) Net-zero agriculture in 2050: how to get there? Report by the Institute for European Environmental Policy.

1.3. UNFCCC 인벤토리 분류에 따른 축산 온실가스 감축 기술

1.3.1. 생산성 향상

- 축산부문의 온실가스 배출량을 줄이기 위해 사료, 유전, 기술, 건강 관리 및 개선 등을 통한 기술적 옵션을 중점으로 생산 효율성을 개선하여 더 적은 가축과 투입량으로 식량 수요를 충족할 수 있음. 여기서는 배출량의 절대적인 감축보다 생산의 배출 집약도 개선에 중점을 둠. 예를 들어, 육우 및 유제품 생산성을 개선하면 동물을 건강하게 관리하기 위해 필요한 에너지(사료)의 양이 절감되어 배출 효율이 개선될 수 있음.
- 단, 온실가스 배출량을 감축하기 위해 생산성을 향상하는 경우 생산량이 증가하는 반동 효과가 발생할 수 있음. 생산성 개선으로 인해 더 낮은 가격으로 소비자의 수요를 자극하면 궁극적으로 생산량이 늘어나며 폐쇄 경제에 반동효과가 발생할 수 있음. 따라서 배출 집약도는 개선될 수 있지만, 총 배출량은 감소하지 않을 가능성이 있음.

1.3.2. 기술적 옵션

- 농업은 다양한 방법을 통해 배출 완화에 기여할 수 있음. 첫째, 농장 운영에서 발생하는 메탄(CH_4)이나 아산화질소(N_2O) 및 농장에서의 에너지 사용으로 인한 이산화탄소(CO_2)의 직접 배출을 줄일 수 있음. 다음으로, 탄소 흡수원을 보호 및 확장하여 농경지 토양의 탄소 균형을 개선하거나, 바이오에너지 산업 분야에 원료를 공급하여, 다른 부문에서 화석연료 사용으로 인한 이산화탄소 배출을 감축하는데 도움을 줄 수 있음.
- 한편, 첫 번째 방법으로 달성된 감축만 UNFCCC 인벤토리의 농업 부분에서 적용되고 있음. 농업에서 비- CO_2 배출량은 소, 양, 영소와 같은 반추 동물의

수와 질소 비료 사용 자료와 관련 배출 요인에 의해 결정됨. 따라서 이러한 배출을 줄이기 위해 활동 수준이나 배출 요인을 줄여야 함.

〈표 4-3〉 기후 목표에 대한 농업 부문 및 감축 방안

부문	감축 방안
비료 사용의 배출량 감축	정밀 농업이나 최적화된 영양 관리 계획을 적용하는 지역 및 유기농 재배 지역
가축의 배출량 감축	소 질병 관리; 최적 사료 관리를 통한 축우; 최적 분뇨 관리 지역, 일정 규모의 농장에 사용되는 혐기성 소화조, 건강 및 생산성 향상을 위한 육종 프로그램 도입
탄소 흡수원 유지 및 강화	보존 농업 지역(최소한의 토양 교란, 영구적인 토양 피복 및 윤작); 혼농임업 지역; 휴경 유기 토양 지역; 조림지; 초지로 전환된 경작지; 화재 예방 활동이 적용되는 삼림, 최소한의 토양 교란하는 다년생 및 단기 윤작 관목숲 개발 지역
원료 대체	산림과 농경지의 바이오매스 활용, 에너지, 플라스틱 등 화석기반 물질 대체
에너지 사용 절감	탄소 감사 도구가 사용되는 농장이나 지역의 수; 에너지 효율 개선으로 인한 에너지 사용 절감

자료: European Commission (https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-competences-field-climate-action_en, 검색일: 2023.11.21.)

○ 농업부문의 배출량을 줄이기 위한 노력으로 사료 개선, 기술, 유전, 건강 관리 등 기술적 옵션에 중점을 두어 생산 효율성을 개선하면서 더 적은 투입이나 더 낮은 비용으로 식량 수요를 충족시킬 수 있음. 여기서는 절대적인 배출량을 감축하기보다 생산 배출 집약도 개선에 초점을 둠. 예를 들어, 육우 및 유제품의 생산성을 개선하면 경영비(생산에 사용되는 사료 등이 아니라 동물의 건강 관리에 필요한 사료 에너지의 양) 절감을 통해 배출 효율이 향상됨. 다른 국가에서 널리 사용되는 일부 성능 향상 기술은 동물의 건강과 복지에서 비용이 더 많이 들 수 있다는 우려로 인해 제한적으로 활용됨. 육우의 성장 호르몬이나 젖소의 소마토트로핀과 같은 성능 향상 기술은 EU에서 허용되지 않으며, 일부 생산성 향상 기술은 동물 건강 및 복지 측면의 우려로 인해 활용이 제한적임. 이러한 동물 복지 차원에서 육우 사육장과 실내 젖소 사육장 시스템은 비판을 받고 있음.

〈표 4-4〉 농업 및 토지 이용에서 잠재적 감축 방안

부문	감축 방안
토지 이용	토양의 탄소 저장을 위해 경작지를 초지로 전환
	혼농임업
	습지 및 이탄습지의 보전 및 복원
가축 생산	반추동물의 메탄 배출 감소
	(반추동물용) 사료 첨가제
	최적 가축 사료 공급, 저 질소 사료
	반추위의 메탄 생성 미생물에 대한 예방 접종
	혐기성 소화(분뇨 처리에서 온실가스 배출 감소)

자료: : Martineau et al.(2016) 및 Pérez Domínguez et al.(2020)의 해석 및 인용

가) 혼농임업

○ 혼농임업은 나무 및 관목을 식용작물이나 가축 생산과 통합하는 방식으로 기후변화에도 나무 또는 작물의 생산성을 유지하거나 개선할 수 있으며 생태계에 긍정적인 영향을 미칠수 있음. 또한, 화석 연료 원료를 대체하는 바이오에너지 또는 나무 바이오매스 생산을 통해 온실가스 완화에 기여할 수 있음.

○ 혼농임업은 작물과 나무, 작물 윤작 등 다양한 형태로 이루어 질 수 있으므로 탄소 저장량은 가변적임(Martineau et al. 2016). 토양 탄소 저장만 고려하면 연간 ha당 토양 저장량은 0.15~0.88tCO₂eq. 정도로 추산됨.

나) 사료 첨가제

○ 사료 첨가제는 주로 가축 생산성을 높이기 위해 사용되지만, 최근에는 가축의 반추위에서 메탄 생성에 대한 이해가 높아지면서 메탄 배출을 완화하기 위한 개발이 이루어짐. 사료에는 작용 방식이 다른 여러 가지 첨가제 추가할 수 있음. 동물 사료에 프로피오네이트 전구체(Propionate Precursor)를 첨가하면 반추위에서 생성된 수소가 발효과정에서 프로피오네이트를 생성하기 위해 사용되어 메탄이 더 적게 발생함. 사료의 지방 함량을 증가할수록 장내의

메탄 배출량이 비례적으로 감소함(Martineau et al. 2016). 유럽에서 상업적으로 개발된 첨가제로는 네덜란드 회사 DSM이 개발한 3-니트로옥시프로판올(3-NOP) 화합물 Bovaer®이 있으며, DSM은 2019년 7월 EU에 첨가제 승인을 신청하였음.

○ 해조류(대조류라고도 함)도 효과적인 메탄 생성 억제제로 알려져 있음. 해조류는 메탄 생성을 억제할 수 있는 고농도의 할로젠 화합물을 함유하고 있음. 붉은 해조류(*Asparagopsis Taxiformis*)를 첨가하면 소의 장내에서 메탄이 80% 이상 감소할 수 있으며, 생산 효율성도 높일 수 있음. 하지만, 지속적으로 붉은 해조류를 공급할 경우 해조류 수확으로 인한 가용 자원이 고갈되어 생태학적 문제가 야기될 수 있음. 그럼에도 불구하고, 작동 메커니즘을 이해하면 지속 가능한 다른 접근 방안을 모색할 수 있음.

○ 농장에서 식탁까지(Farm to Fork) 전략에서 위원회는 동물 생산으로 인한 환경과 기후 영향을 줄이고, 수입을 통해 탄소 누출을 방지하며, 보다 지속 가능한 축산으로 전환을 지원하기 위해 지속 가능하고 혁신적인 사료 첨가제 출시를 촉진하기로 합의함.

다) 분뇨 관리

○ 메탄은 유기물과 같은 액체 폐기물(슬러리) 저장 중에 혐기성 분해에 의해 분뇨에서 배출되는 반면에, 아산화질소는 고형의 분뇨 저장 과정에서 암모늄의 질화와 질산염의 탈질화를 통해 생성 및 배출됨. 단, 명반, 염화 제2철, 황산 등과 같은 화합물을 사용한 분뇨나 슬러리의 산성화에 의해 저장과정에서 메탄과 암모니아 배출이 감소하는 것으로 나타남. 암모니아가 감소하면 배출된 암모니아가 토양에 고착될 때 발생하는 간접적인 아산화질소 배출이 감소하여 추가로 아산화질소 배출을 유발함. 슬러리 처리 과정에서 발생하는 메탄

및 암모니아 배출량은 80% 이상 감소하는 것으로 나타남.

- 가축 분뇨의 혐기성 소화(AD) 과정에서 직접적으로 또는 에너지 부문의 화석 연료 배출을 대체하면서 간접적 배출을 줄일 수 있음. 가축분뇨의 처리 방식은 농장 구덩이, 덮개 저장소, 중앙 집중식 반응기 등 다양하며, 가스를 늘리기 위해 유기 소화물을 첨가하는 경우도 있음. Martineau et al.(2016)은 저장된 소화물의 온실가스 배출량이 소화되지 않은 분뇨 저장 중에 발생하는 배출량보다 적다는 근거를 발견하지 못한 연구를 기반으로, 혐기성 소화의 직접적인 온실가스 배출 감축은 불확실하다고 간주하였음. 이 연구는 에너지 부문에서 화석연료로 인한 배출을 대체할 수 있는 경우에만 AD 완화가 가능한 것으로 결론을 내렸으나, 이러한 결론은 AD가 저장된 분뇨에서 상당 부분의 메탄과 아산화질소의 배출을 줄일 수 있음을 보여주는 여러 연구를 인용한 Pérez Domínguez et al.(2020)에 논쟁의 여지를 남김. 분뇨의 메탄 생성 가능성으로 인해 에너지원으로서 AD의 수익성은 낮지만 환경적 이점도 고려해야 함. 고체 잔류물(소화물)은 온실가스 배출을 줄일 뿐만 아니라 에너지 생산과 영양소를 가지고 있기 때문에 분뇨와 마찬가지로 비료로 사용될 수 있음.

라) 탄소격리를 위한 초지 관리 개선

- 기존의 초지를 관리하여 토양의 탄소 저장을 높일 수 있음. 이를 위해 초목에 작물 생산량을 증가해야하며, 질소 비료 또는 가축 분뇨를 추가적으로 투입해야함. 다만, 농작물 잔류, 뿌리 삼출물, 방목 가축의 분뇨 등으로 인한 질소 투입량 증가로 N_2O 배출량이 증가할 수 있음. 또한, 이러한 N_2O 배출 증가량과 탄소 저장 간의 균형은 불확실함(Martineau et al. 2016).
- 또한, 초지에 콩과 식물을 식재하면 뿌리의 탄소를 고정할 수 있으며, 질소비료 시비를 줄일 수 있음(Pérez Domínguez et al. 2020). 또한 콩과 식물을

전체 토지 면적의 최대 20%정도로 크게 증가하면 연간 ha 당 300~500kg의 탄소를 추가로 격리할 수 있는 것으로 나타남.

마) 수요 측면

○ 반추동물 육류 소비에서 과일과 채소를 더 많이 섭취하는 식물성 식단으로 전환하면 특정 비전염성 질병의 발병률을 줄여 공중 보건을 개선하는데 도움이 될 뿐만 아니라 배출량 감소를 포함하여 EU 식품 시스템의 환경 영향을 줄일 수 있다는 점이 많은 학술지를 통해 확인되었음(Westhoek et al. 2014; Springmann et al. 2016). 위원회는 2030년까지 소비자의 건강한 식단 선택으로 인한 배출량 감소는 농업 부문의 배출량을 줄이는데 적용할 수 있는 기술적 옵션과 같은 규모가 될 것으로 추정함.

○ 그러나 최근에 EU의 1인당 육류 소비는 증가하고 있음(가금류 육류 증가를 상쇄하는 수준 이상으로 1인당 쇠고기와 양고기 소비량이 감소하고 있지만 소매 중량(제품 중량) 증가 기준으로 2005년 66.9kg에서 2020년 68.0kg으로 증가함(European Commission, 2020). 요구르트와 치즈 소비 증가로 인해 유제품 부문의 1인당 우유 소비도 증가하고 있음. 소수이기는 하지만 점점 더 많은 인구 비율이 채식주의를 선언하고 더 많은 비율이 플렉시테리언(의도적으로 육류를 덜 먹기로 결정한 사람들)이라고 주장하는데도 불구하고 육류 소비가 증가하고 있음.

○ 그러나 지속 가능성 라벨,식이 지침 및 기타 정보 이니셔티브를 통해, 대중 음식의 메뉴 계획을 통해, 또는 배출량이 많은 식품 소비에 불이익을 주는 환경세를 부과하여 소비자 선호도를 바꿈으로써 식단을 변경하는 방법에 대한 효과는 제한적임. 경험적 증거에 따르면 식이요법이 건강과 환경에 미치는 영향을 소비자에게 알리는 것은 일반적으로 행동 변화를 거의 유발하지 않음.

시뮬레이션 결과는 육류에 대한 환경세가 농업 GHG 배출에 제한적인 영향을 미친다는 것을 시사함(Bonnet et al. 2018; Jansson and Säll 2018). 기후 친화적 식단을 실천하기 위해서는 식품 소비 패턴이 크게 변해야 함. 식품 소비 패턴의 획기적인 변화는 인구 집단 내에서 조정에 문제를 야기함. EU의 반추동물 육류 제품 가격은 엄격한 수입 보호 조치로 인해 이미 높은 수준임. 쇠고기와 양고기에 대한 평균 관세는 약 45%임. 이러한 높은 관세는 EU 생산(및 그에 따른 배출)을 촉진하지만 소비를 억제함. 식품 소비 양식을 변화시키기 위해서는 적용 가능한 정책에 대한 더 명확한 증거가 필요함.

○ EU의 농장에서 식탁까지(Farm to Fork) 전략은 유럽에서 공정하고, 건강하고, 환경 친화적인 식품 시스템을 개발하기 시작함. 이 전략은 소비자가 보다 지속 가능한 식단을 쉽게 선택할 수 있도록 하고, 식품 가공업자가 농장, 가공업자 및 소비자 관점에서 음식물 쓰레기 감축을 포함하여 보다 지속 가능한 식품을 공급하도록 장려함. 식품 산업과 소매 부문은 책임 있는 비즈니스 및 마케팅 관행에 대한 자발적인 EU 행동 강령을 준수하여 기후에 미치는 영향을 줄여야 함. 식품의 영양, 기후, 환경 및 사회적 측면을 포괄하는 지속 가능성 표시 프레임워크는 소비자에게 제공되는 정보를 개선하게 될 것임.

○ 이 전략에서 연구의 핵심 분야는 육류 대체품임. 식물성 고기와 우유 대체품이 이미 출시되었으며 세포질 육류 연구에 상당한 자원이 할당되고 있음. 연구의 주요 목표는 기존의 육류 및 유제품과 맛이 비슷하고 비싸지 않은 제품을 공급하여 소비자가 보다 환경적으로 지속 가능한 제품을 쉽게 선택할 수 있도록 하는 것임. 유럽에서 대체 단백질 시장의 성장 속도는 다양하게 예측되고 있음. 하지만, 현재 시장 점유율은 미미한 수준임. 한 예측에 따르면 대체품은 육류 시장의 0.7%, 유제품 시장의 2.5%에 불과하지만(ING Research 2020) 소비 성장률이 빠르게 증가하고 있음.

○ 변화 속도는 유럽의 규제 환경에 따라 크게 달라질 것임. EU 규정과 정책은 대체적으로 대체 단백질에 대한 투자를 지지함(Froggatt 및 Wellesley 2019). 이러한 규정과 정책이 소비자 수요의 중요한 결정 요인이 되므로 제품 표시 및 마케팅과 관련된 문제가 발함. 소비자를 위한 식품 정보 규정에 따라 명확하고 정확하게 표시되어야 하며 오해 소지가 없어야 함. 2017년에 유럽 사법 재판소는 "두유" 및 "비건 치즈"와 같은 용어를 금지하고, 우유, 버터, 치즈 및 요구르트와 같은 단어를 유제품 이외의 제품에 사용할 수 없다고 판결 하였음. 2022년 이후 CAP에 대한 법안의 일부로 유럽 의회의 농업 관계자는 '버거', '소시지' 및 '스테이크'와 같은 용어 사용을 육류 제품에 국한하도록 제안함. 또한 '요구르트 형식', '버터 대체품' 또는 '치즈 대체품'과 같이 식물성 제품을 유제품에 비유하는 용어 사용을 금지하고자 함. 이러한 제안은 결과적으로 최종 입법에 반영되지 않았으며 반대론자들은 소비자가 이러한 용어를 혼동하지 않으며 저탄소 대체품 성장을 촉진하는 것이 중요하다고 주장 함.

2. 미국

2.1. 미국 축산부문 온실가스 배출 현황

2.1.1. 미국 농업 부문 축산관련 온실가스 배출량

○ 2021년 농업부문은 미국 전체 온실가스 배출량의 9.4%에 해당하는 598.1MMtCO₂eq.를 배출한 것으로 보고됨. 농업부문 배출량 중 49.2%는 비료 사용 및 기타 농업 관행 활동으로 인한 토양 질소 증가에 의한 N₂O 증가에 기인한 것으로 나타남. 장내발효와 분뇨관리로 인한 메탄 배출량은 농업부문 배출량 중 32.6%와 11.0%를 나타냄.

○ 미국의 농업 부문에서 축산과 관련된 온실가스 배출량은 2021년 기준 572.3 MMtCO₂eq.으로 1990년 522.5 MMtCO₂eq.에 비해 다소 증가하였음. 배출량은 1990년부터 2018년까지 증가하는 추세를 보이다가 최근 다시 감소하고 있음.

〈표 4-5〉 미국 농업 부문 축산관련 온실가스 배출량

단위: MMT CO₂Eq.

배출원	1990	2005	2017	2018	2019	2020	2021
메탄(CH ₄)	222.1	243.1	260.3	263.3	263	262.9	260.9
가축 장내 발효	183.1	188.2	195.9	196.8	197.3	196.2	194.9
분뇨관리	39.0	54.9	64.4	66.5	65.7	66.7	66.0
아산화질소(N ₂ O)	300.4	306	327.5	341	326.7	408	311.4
농업 토양 관리	288.0	291.5	310.6	323.8	309.3	290.5	294.0
분뇨 관리	12.4	14.5	16.9	17.2	17.4	117.5	17.4
합계	522.5	549.1	587.8	604.3	589.7	670.9	572.3

주: 위 자료는 축산과 관련된 온실가스 배출량만을 발취하여 합산하였기 때문에, 농업부문 메탄과 아산화질소 배출량과는 일치하지 않음.

자료: EPA (2023). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2021. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 430-R-23-002.

2.1.2. 장내발효

- 장내발효로 인한 CH₄ 배출량은 2021년 기준 총 194.9MMtCO₂eq.로 1990년 183.1MMtCO₂eq. 대비 약 6.5% 증가한 것으로 나타남. 2020년에 비해 2021년 배출량은 0.6% 감소했는데, 이는 주로 육우 개체수 감소에 기인함.
- 2021년 기준 장내발효로 인한 배출량 중 육우가 71%로 가장 많은 비중을 차지하였으며, 다음으로 젖소 배출량이 25% 정도로 나타남. 그 외 나머지 배출량은 돼지, 말, 양, 염소, 아메리카 들소, 노새 및 당나귀에서 배출되었음.
- 배출량은 일반적으로 육우 개체수의 추세를 따르고 있음. 1990~1995년까지 육우의 배출량은 증가하다가 1996~2004년에 감소하였음. 이는 육우 개체수 변동 및 사료 소화율 증가에 기인함. 2004~2007년에 육우 개체수와 배출량은 증가한 한편, 2007~2014년에 다시 개체수와 배출량이 감소하였으며, 이후 다시 증가하다가 2019~2021년 개체수와 배출량이 다소 감소하였음.

〈표 4-6〉 미국 가축의 장내발효를 통한 CH₄ 배출량

단위: MMT CO₂Eq.

배출원	1990	2005	2017	2018	2019	2020	2021
육우(Beef Cattle)	132.8	139.6	140.9	141.2	141.7	140.4	139.1
젖소(Dairy Cattle)	43.3	41.3	48.0	48.6	48.5	48.8	49.1
돼지(Swine)	2.3	2.6	3.0	3.1	3.2	3.2	3.1
말(Horses)	1.1	2.0	1.4	1.4	1.3	1.2	1.1
양(Sheep)	2.9	1.5	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
염소(Goats)	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
아메리카 들소 (American Bison)	0.1	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
노새 및 당나귀 (Mules and Asses)	+	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
합계	183.1	188.2	195.9	195.9	197.3	196.2	194.9

주: + 는 0.05MMT CO₂Eq. 이하의 수치임.

자료: EPA (2023). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2021. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 430-R-23-002.

2.1.3. 분뇨관리

○ 2021년 분뇨관리에 따른 CH₄ 배출량은 66.0MMtCO₂eq.로 1990년 39.0MMtCO₂eq. 대비 69% 증가하였음. 이는 대부분 돼지와 젖소의 분뇨로 인한 배출량이 각각 38%와 124% 증가했기 때문임. 2020 대비 2021년에는 분뇨관리로 인한 총 CH₄ 배출량이 1% 가량 감소했는데, 이는 주로 돼지 및 가금류의 개체수 감소에 기인함.

○ 2021년 분뇨관리로 인한 총 직·간접 N₂O 배출량은 17.4MMtCO₂eq.로 1990년 배출량인 12.4MMtCO₂eq. 약 40% 증가함. 1990년 이후로 N₂O 배출량은 일부 동물의 분뇨 질소 증가, 목초지 등 건조 시스템 대비 사육 개체수 증가 등의 이유로 지속하였음. 하지만, 최근 돼지 및 송아지 등 일부 가축 개체수가 감소하면서 2020년대비 2021년에 0.5% 정도 감소함.

〈표 4-7〉 미국 가축의 분뇨관리를 통한 온실가스 배출량

단위: MMT CO₂Eq.

배출원	1990	2005	2017	2018	2019	2020	2021
메탄(CH ₄)	39.0	54.9	64.4	66.5	65.7	66.7	66.0
젖소(Dairy Cattle)	16.0	26.4	35.0	35.8	34.6	35.5	35.9
돼지(Swine)	17.4	23.5	23.5	24.7	25.0	25.1	24.0
가금류(Poultry)	3.7	3.6	3.8	3.9	4.0	4.0	3.9
육우(Beef Cattle)	1.8	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
말(Horses)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
양(Sheep)	0.1	0.1	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
염소(Goats)	+	+	+	+	+	+	+
아메리카 들소 (American Bison)	+	+	+	+	+	+	+
노새 및 당나귀 (Mules and Asses)	+	+	+	+	+	+	+
아산화질소(N ₂ O)	12.4	14.5	16.9	17.2	17.4	17.5	17.4
육우(Beef Cattle)	5.2	6.4	7.9	8.1	8.2	8.3	8.3
젖소(Dairy Cattle)	4.6	4.8	5.4	5.4	5.4	5.5	5.5

(계속)

배출원	1990	2005	2017	2018	2019	2020	2021
돼지(Swine)	1.1	1.4	1.7	1.8	1.9	1.9	1.8
가금류(Poultry)	1.2	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
양(Sheep)	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
말(Horses)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
염소(Goats)	+	+	+	+	+	+	+
노새 및 당나귀 (Mules and Asses)	+	+	+	+	+	+	+
합계	183.1	188.2	195.9	195.9	197.3	196.2	194.9

주 1: + 는 0.05MMT CO₂Eq. 이하의 수치임.

2: NA(Not Available)

자료: EPA (2023). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2021. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 430-R-23-002.

○ 미국에서 관리되는 많은 양의 분뇨가 고체로 처리되어 CH₄는 거의 생선되지 않고 있음. 특히 규모화 되고 있는 젖소와 돼지의 분뇨 관리는 액비처리가 늘고 있고 있는 추세임. 또한, 토지에 분뇨 퇴비 사용을 통제하는 새로운 규정이 생기면서 소규모 낙농가는 스스로 분뇨를 저장하고 관리해야 함.

○ 1990년 이후 전국 낙농 가축의 개체수가 감소한 반면, 일부 주에서 낙농산업이 집중되어 개체수가 증가하였음. 캘리포니아, 뉴멕시코, 아이다호와 같은 밀집 지역은 액비 처리를 통한 분뇨처리가 증가하며, 퇴비처리보다 잠재적인 CH₄ 배출량이 증가하게 됨.

2.1.4. 농업 토양 관리

○ 일부 농업활동은 토양내 질소 함유를 증가시켜 직접적인 N₂O 생성 및 배출에 영향을 미침. 이러한 활동 중 가축과 관련된 활동으로 농경지 가축분뇨 활용, 바이오고형물, 목초지·방목장·목장(PRP) 등에서 가축 분뇨 침전 등이 포함됨.

- 2021년 미국 농경지에서 가축관련 N₂O 직접 배출량은 2021년 기준 약 14.6MMtCO₂eq.임. 이는 농업토양관리 총 배출량인 264.7MMtCO₂eq.의 약 18%를 차지함.

〈표 4-8〉 미국 가축관련 농경지에서 질소 투입 유형별 N₂O 직접 배출량

단위: MMT CO₂Eq.

배출원	1990	2005	2017	2018	2019	2020	2021
초지(Grassland)	16	15	14.5	15.1	14.4	14.1	14.6
목초지, 방목장, 목장분뇨	15.8	14.6	13.9	14.5	13.8	13.5	14.0
관리된 분뇨	+	+	+	+	+	+	+
바이오 고형물	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
농업토양관리 총 배출량	259.5	263.8	279.2	290.5	276.6	261.9	264.7

주 1: 관리된 분뇨에는 관료되는 분뇨, 일일 살포 유기개량제 등이 포함됨.

2: + 는 0.05MMT CO₂Eq. 이하의 수치임.

3: 수치를 반올림하여 일치하지 않을 수 있음.

자료: EPA (2023). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2021. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 430-R-23-002.

2.2. 미국의 온실가스 감축 정책과 사업

2.2.1. 바이든 행정부의 기후위기 대응정책 동향

- 2020년 11월 미국 대통령선거에서 파리기후협정(Paris Agreement) 재가입을 대통령 선거 공약으로 내세웠던 바이든 후보가 트럼프 대통령을 누르고 당선됨에 따라 향후 미국의 바이든 신행정부 하에서 기후변화 대응과 관련한 대내외 정책에 큰 변화가 예상됨.

- 미국의 제46대 대통령으로 2021년 1월 20일 취임하는 바이든 대통령 당선인은 파리기후협정 재가입과 함께 2조 달러를 투자하여 2050년까지 탄소중

립(Net Zero)을 달성한다는 선거 공약을 발표했으며, 석유, 가스 등 화석연료 시설에 대한 강력한 규제와 청정에너지 확대 계획 등도 제안함.

- 이에 따라 바이든 실행정부는 화석에너지를 강하게 지원하던 트럼프 행보와 달리 기후위기 대응 차원에서 친환경 에너지 정책을 적극적으로 전개해 나갈 것으로 판단됨.
- 이렇게 바이든 대통령하에서 미국 정부는 저탄소 또는 넷 제로(Net zero) 목표 달성을 위해 기후 및 환경친화적 산업부문에 대한 지원을 확대해 나갈 것으로 예상함에 따라 친환경 재생에너지, 전기차, 바이오 연료 등 녹색산업 부문의 큰 성장이 예상됨.

○ 특히 바이든 행정부는 기후변화를 국가 안보 문제로 규정하고, 이미 기후변화 특사(special presidential envoy)로 존 케리 전 국무장관을 지명했으며, 연방 정부의 부처별 기후변화정책 조율을 위해 신설되는 이른바 '기후 차르(climate czar)' 직에 지나 매카시 전 환경보호청장을 내정함으로써 취임과 동시에 기후변화 대응 주도국으로의 위상을 되찾겠다는 의지를 보임.

○ 바이든 대통령은 취임 직후 백악관 홈페이지에 게시한 바이든-해리스 행정부의 7대 우선순위 국정과제 중 하나로 기후위기 대응을 제시하고 있으며¹⁷⁾, 특히 기후변화 대응을 COVID-19 사태의 빠른 종식에 이어 두 번째 우선순위 국정과제로 제시함.

- 바이든-해리스 행정부는 최우선 해결해야 할 국정과제로 (1) 코로나19의 조속한 해결, (2) 기후변화 대응, (3) 인종평등(통합), (4) 경제 회복/일자리 창출, (5) 건강보험 개혁, (6) 이민제도 개혁, (7) 미국의 글로벌 위상 회복(Restoring America's Global Standing)을 제시함.

¹⁷⁾ Whitehouse 홈페이지.(<https://www.whitehouse.gov/priorities/>, 검색일: 2021.09.01.)

○ 미국 바이든 행정부는 세계적 기후위기 극복 차원에서 국제사회의 핵심의제로 등장한 '2050 탄소 중립' 경제사회로의 전환에 부응하고, 2020년 코로나 19 팬더믹으로 인한 경제침체에서 벗어나 새로운 성장동력을 찾으려는 방편으로 '바이든의 그린 혁명(Biden 's Green Revolution)'을 국정정의 핵심 정책과제로 설정할 것으로 예상됨.

○ 바이든 대통령은 선거기간에 기후위기 대응 '바이든의 청정에너지 혁명과 환경 정의'라는 공약을 제시한 바 있으며, 이것을 단순히 선거에 승리하기 위한 구호가 아니라 대통령 취임 첫날부터 '파리기후협정'에 재가입하고 자신의 계획을 실행해 나갈 확고한 결의를 표명함.

- 예컨대 저탄소·친환경적 경제사회로의 체질 개선을 위한 바이든 대통령의 적극적 자세는 우선 다른 각료 인사에 앞서 상원의원 시절부터의 오랜 동지인 존 케리 전 국무장관을 "기후위기 대응 대통령 특사"에 임명하고, 향후 백악관 국가안보회의(NSC)에서도 중심적 역할을 수행하도록 하겠다고 공언한 것에도 알 수 있음.

○ 바이든 행정부의 핵심 정책과제로 부상한 기후변화 대응 '그린혁명'이 애초 계획대로 추진될 경우 단순히 기후변화 대응 및 환경문제 해결 대책을 넘어 미국뿐 아니라 세계 각국의 주요 산업, 교통, 에너지, 무역통상 등 광범위한 범위에 걸쳐 상당한 파급력을 가질 것으로 예상됨.

○ 바이든 행정부는 향후 탄소배출과 환경을 무역과 연계시켜나갈 가능성이 크며, 이 경우 향후 미국이 추진하는 무역협정에는 기존의 환경조항보다 강화된 규범과 의무이행의 내용이 포함될 가능성이 큼.

- 바이든 대통령은 대선후보 시절 공약으로 세계적 기후변화에 효과적으로 대응하기 위해서는 '탄소 국경세'와 같은 실질적 온실가스 배출 감축을 유

도하기 위한 장치가 강화돼야 한다”라고 표명함.

가) 그린혁명(Green Revolution)

○ 바이든 대통령이 대선 후보 당시 발표한 기후변화 대응 그린 혁명 공약의 주요 골자는 다음과 같음.

○ 첫째, 2050년까지 100% 청정 에너지화와 온실가스 순 배출제로(net zero emissions) 목표를 달성함.

- 이 목표 달성을 위해 연간 5천억 불의 연방 정부 예산을 지출하고, 배출량이 가장 빨리 증가하는 수송부문의 배출량 감축을 위해 소형 및 중형 차량을 100% 전기화함.

- 또한, 항공, 해운의 탈 탄소화를 위해 바이오 연료를 발전시키고, 이를 위한 바이오 연료생산을 위한 농업을 활성화하며, 건물과 가전제품의 효율성을 향상하게 시켜 배출량을 감축하고 소비자의 부담을 줄여 나갈 것임.

○ 둘째, 회복 탄력성(resilience)있는 강한 국가를 건설함.

- 자연재해를 견딜 수 있는 기후변화 적응 의제를 설정하고, 도로, 교량, 건물, 전력망, 수자원 등에서 회복 탄력성 있는 새로운 사회간접자본을 대대적으로 확충하여 적정 임금의 일자리를 대량 창출함.

- 또한, 여객과 화물 양쪽에서 새로운 철도혁명을 촉발함.

○ 셋째, 글로벌 기후위기 해결을 위해 세계를 결집하고, 협력해 나감.

- 탄소배출 완화를 위한 미-중 양국 간 쌍무협정을 추진하여 중국의 석탄 및 탄소 대량배출 기술에 대한 보조금 철폐를 유도하고, 중국의 일대일로(一

帶一路; Belt and Road Initiative) 정책과 연결된 탄소발자국을 검증하고, 일대일로 가입국에 대하여 새로운 대체 개발 금융을 제공한다.

- G20 국가들과 협력하여 탄소를 많이 배출하는 프로젝트에 대한 무역금융을 철폐하고, G7 및 다국적 무역금융기관과 최빈국을 제외한 국가들에 대해 탄소배출 산업에 대한 금융지원을 중지함.
- IMF와 국제금융기관을 개혁하여 탄소 다 배출 프로젝트, 특히 중국 주도 프로젝트에 대한 대출 및 지급유예 등 금융 우선권을 조정함.
- 미국과 가까운 우방 국가들과 토지사용, 숲, 농업의 온실가스 배출 제한을 위한 협의 틀을 구축하고, 제조, 광업, 여행 등의 녹색화 표준을 설정함.
- 허리케인, 해수면 상승, 가뭄에 시달리는 카리브해와 중미 북부 삼각지대의 기후변화 적응과 회복 탄력성을 위해 협력함.

○ 바이든의 그린혁명 공약은 특히 2035년까지 발전(전력)부문에서의 재생에너지에 의한 탈 탄소화, 2050년까지 전 산업을 통한 탄소 중립화를 목표로 하고 있으며, 이러한 중장기적 목표 달성을 위한 구체적 조치로 다음과 같은 10가지 사항을 적극적으로 추진할 것을 천명함.

〈글상자 2〉 바이든 그린혁명 공약

- ① (청정에너지 산업육성과 일자리 창출) 청정에너지 산업에 대한 혁신과 투자확대 등을 통해 현재 300만 명에서 1000만 명 이상의 노동자가 종사하는 산업으로 육성함.
- ② (유망산업 육성) 농업, 에너지, 첨단제조 산업 등에 대한 재정지원, 투자확대, 세제 우대 조치로 미국이 미래 산업의 리더가 되도록 함.
- ③ (청정에너지 기반 인프라 정비 및 투자확대) 인프라 정비 및 투자 확대는 경제 성장의 요체이며, 향후 청정에너지 및 친환경화를 반영한 분야에 우선적으로 공공 투자를 과감하게 확대해 나감.
- ④ (제2 철도혁명, 고속철도 확충) 미국 산업 발전을 주도한 2세기 전의 '제1차 철도혁명'에 이어 '제2차 철도혁명'을 시작하고, 특히 이동시간을 50% 이상 단축하는 워싱턴(DC)-뉴욕 간 고속철도, 캘리포니아 고속철도 프로젝트의 완성, 미국 북동부, 중서부, 남서부 내륙과 해안지역 등에 고속철도를 건설함.
- ⑤ (전력 인프라 확충) 새로운 전력 인프라에 대한 공공 투자를 통해 국가적 전력망의 효율성을 향상시킴.

- ⑥ (전기차 보급 확대) 자동차 분야에서 전기자동차(EV) 보급을 확대하기 위해 2030년까지 전기차(EV)용 충전소를 50만 곳 이상 신설하고, 모든 버스 생산을 무 탄소 전기버스로 전환함.
- ⑦ (항공기 연료 개발) 항공기 연료에 의한 온실가스 배출 증가를 막기 위해 현재의 화석연료를 대체할 새로운 에너지 개발 및 연료 효율을 높이기 위한 항공기 기술 혁신을 도모함.
- ⑧ (탄소포집기술 개발 및 상용화) 최근 각광을 받기 시작한 대기 중 이산화탄소 '포집·사용·저장(약칭 CCUS)' 기술의 개발 및 출시를 가속화 함.
- ⑨ (소형 모듈형 원전개발) 기존 원전과 비교하면 건설비용이 절반 이하인 소형 모듈형 원자로를 개발함.
- ⑩ (탄소 절감 가정용 가전제품 개발) 온실가스가 나오지 않는 가정용 냉장고, 에어컨 등을 개발하고 널리 보급함.

○ 세계 초강대국인 미국의 바이든 행정부가 기후위기 대응 정책과 '2050 탄소 중립' 경제사회 전환을 위한 정책을 계획대로 충실히 추진해 나갈 경우, 이는 미국 내 산업구조의 개편뿐만 아니라 그것이 국경을 넘어 글로벌 차원의 '그린산업 혁명'의 촉매제로 작용할 수 있는 잠재력을 가지고 있음.

○ (미래지향적 산업육성 목표로 막대한 재정 투자계획) 바이든 행정부의 '그린 혁명'을 위한 목표와 계획들은 단순히 환경 및 에너지 관련 정책을 뛰어넘는 미래지향적 산업 기술 혁신을 목표로 막대한 재정투자를 예정하고 있어 미국 내 산업뿐 아니라 세계 주요국의 산업에도 큰 영향을 미칠 것으로 판단됨.

○ (세계 각국의 저탄소·친환경 경제사회 구조로의 전환 노력 가속화) 우리나라를 포함한 세계 각국은 세계 최대 경제 대국이자 소비시장인 미국에서 세계적인 기후위기 대응을 위한 글로벌 협력을 강조하며, 저탄소·친환경 경제사회로의 전환을 목표로 당선된 바이든 행정부 출범으로 향후 어떤 형태로든 미국과 보조를 맞추어 저탄소·친환경 경제사회 구조로의 전환을 위한 노력을 가속화 해 나갈 수밖에 없을 것임.

나) 기후 21 프로젝트(Climate 21 Project)¹⁸⁾

○ 기후 21 프로젝트는 기후변화에 대한 미국의 리더십을 되찾고, 차기 행정부 출범 1일 차부터 효과적인 기후위기 대응 범부처적 정책 준비와 추진에 도움을 주기 위해 오바마(Obama) 행정부 시절 기후변화 이슈에 깊이 관여해온 고위급 인사와 전문가 150여 명이 참여하여 추진됨.

○ 기후 21 프로젝트는 오바마 행정부 시절 백악관 환경질 위원회(Council on Environmental Quality Managing) 총괄국장을 역임한 Christy Goldfuss와 튜크대 환경정책연구소장 Tim Profeta가 공동 책임자로 수행되었으며 백악관과 농무부(USDA)를 포함하는 주요 연방 부서(혹은 기관)가 앞으로 100일 안에 준비하고 착수해야 할 기후변화 대응 주요 사항을 정책 메모(policy memo) 형식으로 자문하는 형태임.

○ 기후 21 프로젝트를 통해 작성된 보고서는 21세기 기후변화 위기에 대응하기 위해 차기 행정부 출범과 함께 신속히 실행해야 할 미국의 주요 부문별 실천방안을 제시한 것으로 최근 바이든 대통령 정권 인수팀(Biden's transition team)에 전달되었으며, 앞으로 바이든 행정부의 각 부문별 기후변화 대응정책 수립의 기초자료로 사용될 것임.

○ 기후 21 프로젝트 보고서는 백악관의 대통령비서실과 환경위원회, 내무부, 농무부(USDA), 에너지부, 교통부, 국무부, 재무부, 법무부 등 연방 부서와 환경보호청(EPA), 국립해양대기청(NOAA) 등 총 11개 연방기관에 대한 기후변화 대응 권고 사항이 포함되어 있음.

¹⁸⁾ 기후21 프로젝트는 전직 장관급 9명을 포함하여 정부 관료 및 전문가 150여 명의 전문성을 활용하여 범정부적 차원의 기후변화 대응을 위한 실천 가능한 자문을 차기 대통령에게 전달하기 위해 수행되었음. (<https://climate21.org>)

- 이 보고서의 특징은 새로운 정책의제를 제안하기보다는 현행 부서와 기관별 정책 수단으로 대통령이 직접 기후위기 문제를 신속히 해결할 수 있는 역량 구축과 집권 초기 우선으로 수행해야 할 사항 및 뒷받침할 수 있는 권고 사항을 담고 있음.
- 향후 기후 21 프로젝트에서 검토되지 않은 연방 부서와 기관에 대해서도 추가적인 작업을 할 것이라 표명함.
- 참고로 이 보고서를 작성한 집필자들은 대부분 해당 부처나 기관의 전직 관료나 기후변화 관련 정책에 가장 전문지식을 갖춘 사람들로서 내용상 바로 정책으로 실현될 가능성이 높음.

다) 미 농무부(USDA)에 대한 주요 권고 사항¹⁹⁾

- 바이든 정부 출범과 동시에 미 농무부(USDA)가 기후위기 대응 차원에서 우선으로 해야 할 임무와 실천 방향에 대해 자문 보고서는 기후변화와 연관된 직무를 수행했던 농무부 고위관료와 전문가가 3명이 참여하여 작성됨.
- 미 농무부(USDA)에 대한 권고 사항을 작성한 집필자들은 이 보고서의 목적이 바이든 행정부에서 임명될 차기 농무부 장관, 부서 내 핵심 참모 및 주요 리더들의 기후위기에 대한 이해 증진과 적극적 대응의 필요성, 그리고 범정부 차원의 기후변화 완화 및 적응을 위한 농무부(USDA)의 역할과 기여를 극대화하기 위함임을 명시함.
- 기후21 프로젝트의 미 농무부(USDA)에 대한 권고 사항을 작성한 저자는 Robert Bonnie(former Undersecretary, USDA), Leslie Jones(former

¹⁹⁾ Climate 21 Project(2020) Transit Memo: Department of Agriculture. USDA.

Deputy Undersecretary, USDA), Meryl Harrell(former Senior Advisor to the Undersecretary for Natural Resources and the Environment, USDA) 등임.

○ 기후21 프로젝트의 농무부(USDA)에 대한 정책권고 보고서 집필 책임자인 로버트 보니(Robert Bonnie)는 오바마 대통령의 두 번째 임기 중 미 농무부 장관을 역임한 톰 빌색(Tom Vilsack) 장관하에서 천연자원 및 환경담당 차관보였으며, 공동 저자인 메릴 해럴(Meryl Harrell)과 함께 바이든 대통령인수위원회의 USDA 전환팀의 일원임.

- 한편 바이든 대통령은 신임 농무부 장관으로 다시 오바마 대통령 시절 톰 빌색(Tom Vilsack)을 임명함으로써 로버트 보니(Robert Bonnie) 주도로 작성된 기후21 프로젝트의 농무부(USDA)에 대한 정책권고가 실천될 가능성이 높다고 판단됨.

○ 농무부(USDA)에 대한 권고 사항은 기후21 프로젝트의 다른 분야와 마찬가지로 농무부의 기존 예산 및 행정조직, 법 제도하에서 실시할 수 있는 조치에 초점을 맞추고, 신정부 출범 초기 100일 동안 우선으로 추진해야 할 사항을 제안하고 있음.

○ 미국에서 농업과 산림 분야는 기후 완화와 적응의 중심으로 농업부문은 현재 미국 전체 탄소배출의 약 10%가량을 차지하고 있으며, 산림 분야는 이산화탄소 배출의 약 15%가량을 흡수함.

○ 사실 농무부(USDA)는 지금까지 연방 기후위기 대응정책에 대한 주요 부서가 아니었지만 충분한 재정적 자원과 전문성을 가지고 있으며, 이러한 자원과 전문성을 활용해 USDA는 다음과 같은 6가지 기본방향을 바탕으로 역할을 수

행해 나간다면 바이든 행정부의 기후위기 대응 목표에 기여해 나갈 수 있을 것임.

〈글상자 3〉 USDA의 6가지 기본 방향

첫째, 농민, 목장주 및 산림 소유자와 협력하여 탄소격리 및 탄소배출 감소를 통해 대기 온실가스(GHG) 감축에 기여

둘째, 농촌 지역 에너지 협동조합(rural energy cooperatives)의 온실가스(GHG) 배출 감소 유도

셋째, 개인 농경지 및 공공 숲과 초원의 환경 복원력(resilience)을 강화하여 기후변화 영향을 축소

넷째, 지속 가능한 바이오 에너지, 목재 제품이나 기타 바이오 기반 재료의 생산 및 소비 촉진을 통해 기후변화 영향 축소

다섯째, 기후변화에 대한 공공의 과학적 이해에 기여

여섯째, 농촌 지역의 기후 스마트(climate-smart) 경제개발과 투자 촉진

○ 또한, 무엇보다 중요한 점은 현재의 미국 경제 상황을 고려할 때, USDA의 기후변화에 대한 정책적 관심 증대와 재정지출 확대는 농업, 산림, 환경보존(Conservation) 및 관련 비즈니스에서 농촌 지역 일자리 창출과 함께 궁극적으로 농촌 지역의 경제 회복에 기여할 수 있다는 것임.

- 실제로 MIT 대학 연구결과에 따르면 농업, 산림 및 환경보존에 대한 투자는 100만 달러당 20~40개의 일자리를 창출하는 것으로 추정함.

○ 미국 농업생산자와 농촌 지역의 이해당사자들이 기후위기 대응 목표를 달성을 위한 USDA의 파트너로 인식하게 하는 것이 중요함.

○ 이러한 측면에서 USDA의 기후위기 대응 활동은 미국 농촌 지역의 일자리와 경제적 기회를 창출하면서 농민, 산림 소유자, 농촌주민들의 협업과 인센티브, 농업과 산림 분야의 환경복원력 강화와 혁신에 초점을 두고, 특히 농촌 지

역이 기후변화를 해결하는 데 도움을 줄 수 있는 중요한 역할을 할 수 있음을 강조할 것을 권고함.

○ 아울러 기후변화 대응 USDA의 활동과정에서 다양한 이해관계자들의 의견을 수렴하고, 다양성, 포용 및 환경 정의(environmental justice)를 고려하는 것이 중요함.

○ 실행정부 출범과 함께 농무부(USDA)가 우선적으로 추진해야 할 사항으로 아래 5가지 핵심 사항을 제시함.

〈글상자 4〉 USDA의 5가지 핵심 사항

- ① (기후변화 대응을 최우선 정책과제로 설정하는 장관령 발동) 기후변화 대응과 농촌일자리 창출을 미 농무부(USDA)의 최우선 정책과제임을 천명하는 기후변화 및 농촌투자에 관한 장관령(Secretarial Order on Climate Change and Rural Investment)을 발동함.
 - 농업, 산림, 기술, 혁신 및 농촌경제에 대한 투자와 USDA의 정책적 관심을 형성하고 기후위기 대응 정책과 실천적 행동에 필요한 의제를 설정한다. (1일차)
 - 이때 다음과 같은 내용을 장관령에 포함해야 함.
 - (i) 현재 USDA 최고 이코노미스트실(Office of the Chief Economist)에 속해 있는 기후변화정책사무소(Climate Change Program Office)를 장관직속실(Secretary's office)로 변경 배치함.
 - (ii) USDA 장관에게 기후정책에 관한 자문을 수행하는 기후정책 및 농촌투자자문위원회(USDA Climate Policy and Rural Investment Advisory Board)를 설립함.
 - (iii) 모든 USDA 기관이 60일 이내에 농부, 목장, 임야 소유주 및 농촌 공동체가 기후 변화를 해결하는 데 사용할 수 있는 기존 정책과 프로그램에 대해 장관에게 보고하도록 지시함.
 - (iv) 기후대응팀(Climate Strike Team)을 한시적으로 구성하여 장관령의 이행상황을 관리함.
- ② (상품신용공사(CCC)의 재원 활용 탄소은행 설립) 상품신용공사(CCC) 펀드로 탄소은행(carbon bank)을 설립하여 "기후스마트 토지관리 시행을 위한 대규모 투자 자금을 조달"하고, 특히 농업법의 환경보존프로그램(conservation programs)²⁰⁾을 적극 활용함.
 - 기후스마트 토지관리 관행에 대한 대규모 투자 재원을 조달하기 위해 상품신용공사(CCC)를 활용한 탄소은행을 설립하여 기후위기 해결에 투자함.
 - 미 농업법 환경보존 프로그램 시행에서 무엇보다 기후스마트 실천을 우선 순위로 지정하고, 이와 관련된 인프라에 투자할 기회를 식별함(100일 차).
 - 참고로 대통령선거 당시 바이든 선거 캠페인은 환경보존프로그램 중 보전책무 제도(Conservation

Stewardship Program: CSP)를 활용할 것을 강조한 바 있음²¹⁾.

- 2008년 농업법에서 도입된 보전책무 제도(CSP)는 농업생산자가 경작지에 대한 자연자원 및 환경 보전계획을 마련하고, 특정적 환경보전행위를 추가로 시행할 경우 정부가 인센티브를 지원하는 정책임.
- 보전책무 제도(CSP)는 이미 상당한 수준의 환경적 책무를 먼저 수행할 것을 전제로 하고, 농가의 자발적이고 추가적인 자원 및 환경보전 노력에 대하여 책무이행지불금(stewardship payments)을 지원하는 것임.
- 현재 USDA 보전책무 제도(CSP)에 참여하는 농가들이 이행하는 친환경적 영농 및 자원 관리 조치 중에서 주요한 것은 다음과 같음: 토양 양분관리, 병해충종합관리, 수자원 보전 및 수질 관리, 초지 관리, 토양자원 관리, 야생생물 서식지 보전 및 복원관리, 대기 관리, 에너지 보전, 생물자원보전 및 복원, 완충지 조성, 피복 식물재배, 자원보존형 윤작, 자연 초지 보호 및 보전 등

③ (기존 정책 활용 기후 스마트농업 및 농촌투자 유인) 작물보험, 농촌개발을 위한 투자자 및 USDA의 다양한 조달정책을 활용하여 기후 스마트농업 및 농촌투자를 촉진하고, 민간부문 투자를 유인해 나감.

- 농작물보험, 농촌개발 보조 및 융자, USDA의 다양한 조달정책 등을 활용한 재정 및 금융정책 수단을 통해 기후 스마트 농업 및 농촌투자를 장려함(100일 차).

④ (농촌지역 재생에너지 공급 확대 및 효율화) 농촌에너지를 탈 탄소화하고, 재생에너지, 녹색에너지와 스마트 그리드를 촉진함.

- 농촌주택/설비/에너지 관련 농촌개발 지원프로그램의 활용, 그리고 가축으로부터 발생하는 메탄 감축을 위한 소화기(methane digesters), 바이오 연료 및 목재 에너지 이용을 획기적으로 증가시켜 농촌지역 에너지를 탈탄소화하고, 녹색 에너지 및 스마트 그리드를 촉진함(100일차).
- 바이오 연료와 목재에너지(biofuels and wood energy) 확대, 가축이 발생시키는 메탄 절감기(methane digesters for livestock) 사용증대, 농촌시설/주택/설비/에너지 관련 농촌개발 지원프로그램 등을 적극 활용해 나갈 것을 강조함.

⑤ (산불(wildfire) 관련 공동위원회 설립) 빈번하게 발생하는 산불 문제 해결을 위한 여야 공동위원회를 설립하고, 산불 예방을 위한 투자 우선순위를 정립함.

- 농무부와 내무부 장관, 그리고 민주당과 공화당 출신 주지사를 공동위원장으로 하는 산불위원회(Wildfire Commission)를 설립하여 산불 해결을 위한 연방 투자 우선순위를 설정하고, 연방, 주, 부족 및 민간 산림지의 생태적 산림복구의 속도와 규모를 증가시키며, 소방 대응체제 현대화 등을 추진해 나감(100일 차).

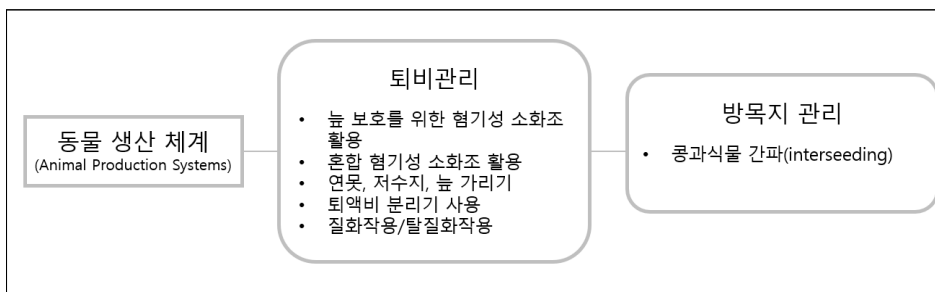
20) 미 농무부(USDA)의 환경보전정책은 크게 농가지원정책의 수혜를 받기 위한 기본적 환경보전 의무 준수 차원의 규제정책과 농가와 지역의 특수성을 반영하면서 환경보전을 독려하기 위한 다양한 형태의 메뉴형 인센티브 지원정책으로 구분되어 시행 중이고, 환경보전프로그램은 전체 농무부(USDA) 재정지출액의 6.8%(연평균 59억불)를 차지하면서 국민영양지원(SNAP 76.1%), 작물보험(8.9%), 품목별농가지원(7.3%)에 이어 4번째로 큰 정책적 위상을 가지고 있음.

21) U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Conservatio

2.2.2. 미국 농업부문 온실가스 감축 수단 및 정책

○ 2013년 ICF International의 보고서에서 미국의 감축 수단을 크게 작물 생산 체계(Crop production systems), 동물 생산 체계(Animal production systems), 농지 휴경 체계(Land retirement systems)로 나누어 제시하고 있음. 여기서 축산관련 온실가스 감축 수단인 동물 생산 체계관련 감축 기술을 살펴봄.

〈그림 4-2〉 미국 농업부문 축산관련 온실가스 감축 수단



자료: ICF International(2013). Greenhouse Gas Mitigation Options and Costs for Agricultural Land and Animal Production within the United States. 번역 및 인용.

○ 가축 사육 과정에서 발생하는 온실가스 배출원은 장내 발효로 인한 메탄과 분뇨 관리로 인한 배출임. 일반적으로 장내 발효로 인한 메탄 배출량이 분뇨 관리로 인해 발생하는 메탄 배출량을 초과하지만, 장내 발효로 인한 배출량 감축 방법은 매우 제한적인 것으로 알려져 있음.

○ 따라서 미국의 동물 생산 체계에서 주로 제시한 완화 옵션은 대부분 분뇨 관리에 중점을 두고 있음. 동물 생산 체계에서 퇴비 관리와 방목지 관리로 구분됨. 먼저, 퇴비 관리에는 1) 늪 보호를 위해 혐기성 소화조 활용 2) 혼합 혐기

n Stewardship Program Fact Sheet(https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSCconsumption/download?cid=nrcseprd1491814&ext=pdf. 검색일: 2023.09.01.)

성 소화조 활용 3) 연못, 저수지, 늪 가리기 4) 퇴·액비 분리기(고형분리기) 사용 5) 질화/탈질화작용이 포함되며, 방목지 관리에는 콩과식물의 간파(interseeding)가 해당됨.

○ 미 농무부와 ICF International는 협업을 통해 앞서 제시된 감축 수단과 관련하여 「미국 내 농경지 및 가축 생산을 위한 온실 가스 완화 옵션 및 비용 (Greenhouse Gas Mitigation Options and Costs for Agricultural Land and Animal Production within the United States)」이라는 보고서를 발간하였음.

- 보고서의 주요 목적은 농업 생산자가 정상적인 생산과 토지 관리 작업 과정에서 완화 관행이나 기술을 적용하기 위해 필요한 재정적 인센티브를 제공함.
- 이 보고서에서 온실가스 완화 기술 및 관행에 대한 인센티브는 일반적인 농장이 특정 관행이나 기술을 도입할 경우의 손익분기점으로 간주하는 탄소 가격 (2010년 이산화탄소(CO₂) 환산 톤당 달러로 표시) 수준으로 볼 수 있음.

○ 본 보고서에서는 주, 지역, 국가 탄소배출권 거래 프로그램과 같은 공식적인 탄소 시장 설립, 농업 생산자가 미 농무부의 보전유보 프로그램 활동을 수행할 경우 받는 지불금과 유사한 정부의 직접 지불 프로그램, 둘 이상의 민간 당사자 간의 자발적 완화 관련 계약 등 농업 생산자들이 온실가스 배출을 완화할 수 있도록 재정적 인센티브 제공할 수 있는 여러 메커니즘이 있음을 언급함.

- 그러나 이 보고서의 목적은 농가 수익 창출이므로 생산자가 온실가스 배출량 감소 또는 탄소 격리 증가로 인한 온실가스 완화 단위를 소득으로 전환할 수 있는 메커니즘이 존재하다는 것이 중요함.
- 따라서 이 보고서는 온실가스 감축 인센티브(탄소 가격)를 제공하는 포괄적인 프레임워크를 지정하지 않으며, 단순히 온실가스 인센티브(탄소 가

격)만 주어진 것으로 간주함.

- 미국의 온실가스 완화 관련 정책은 미 연방정부의 온실가스 상한 및 거래제 (Cap and Trade), 보전유보 프로그램(Conservation Reserve Program, CRP), 습지관리 프로그램(Wetlands Reserve Program, WRP), 초지유보 프로그램(Grassland Reserve Program, GRP), 경작농지 보전 프로그램(Working Lands Program) 등이 있었으나, 2014년 농업법에서는 습지유보 프로그램(WRP), 농경지보호 프로그램(Farmland Protection Program, FPP), 초지유보 프로그램(GRP)을 폐지하였음(임영아 외 2018).
- 지난 2021년 4월 21일 미 농무부는 더 높은 지급률과 새로운 인센티브, 기후 변화 완화를 위한 프로그램의 역할에 중점을 둔 보전유보 프로그램(CRP)을 시행할 것이라고 발표하였음. 이와 더불어 85개의 지역보전 파트너십 프로그램(Regional Conservation Partnership Program, RCPP)에 3억 3천만 달러와 농장 보존 혁신 실험에 2천5백만 달러를 투자하여, 기후 스마트 농업(Climate Smart Agriculture)의 확대를 위한 파트너십 투자를 발표함.
 - 보전유보 프로그램(CRP)의 장기적인 목표는 토양 및 탄소 격리 개선, 수질 개선, 토양 침식 방지, 야생 동물 서식지 손실을 줄이기 위해 토지를 보존하는 것임. 현재 미 농무부 농촌진흥청(Farm Service Agency, FSA)에서는 보전유보 프로그램 운영을 담당하고 있으며, 일반적인 참여와 장기적인 활동 참여를 확대하기 위해 토양 개선 및 깨끗한 물을 중점으로 CRP 초지 및 시범 프로그램(Pilot program) 등 다양한 프로그램을 제공하고 있음.
- 미 농무부는 자연자원보전청(Natural Resources Conservation Service, NRCS)를 통해 생산자가 스스로 수행하기 적합한 보전활동을 계획하고 실행하도록 기술을 지원하고 있음. 최근 프로그램에 참여하는 생산자가 늘고 있음.

어 생산자 지원을 보장하기 위해, 미 농무부는 보전유보 프로그램에 대한 미 자연자원보전청의 기술 지원 예산을 1억 4천만 달러까지 증액하기 위한 노력을 기울이고 있음.

- 또한, 미 농무부는 기후변화 완화 관련 활동이 포함된 보전유보 프로그램의 목표를 달성하기 위해 보전유보 프로그램의 모니터링, 평가 및 심사(Assessment and Evaluation, MAE) 프로그램에 1천만 달러를 투자하고자 함. 이는 신규 생산자가 보전유보 프로그램을 수행하는 동안 토양 탄소 및 기후 회복력에 대한 영향을 측정하고 모니터링을 하는 등의 활동을 포함하고 있음.
- 미국 정부는 보전책무 프로그램(Conservation Stewardship Program, CSP)을 확대하여 농민이 탄소격리를 포함한 다양한 환경보전활동에 대해 비용을 지급하고 농민의 소득을 지원하겠다고 밝힘. 이 프로그램은 토양, 물, 공기 등의 보전 및 향상을 목적으로 해서 재정 및 기술을 지원함. 지불금은 기존에 이미 시행 중인 활동에 대한 개선/유지 관리와 추가적으로 시행되는 보전 활동의 설치 및 도입에 대해 지급함.
- 보전유보 프로그램 개정, 보전책무 프로그램 확대 외에도 민관 파트너십 및 프로그램 등 기후 스마트 정책에 상당한 투자를 발표함.
 - 미 자연자원보전청(NRCS)은 기후변화와 기타 자연자원에 대한 문제를 해결하기 위해 지역 보전 파트너십 프로그램을 통해 85개의 지역 주도 민관 파트너십에 약 3억3천만 달러를 투자하고 있음.
 - 보전 혁신 보조금 프로그램(Conservation Innovation Grants Program)의 일부인 On-Farm Trials를 위한 제안에 2,500만 달러를 투자하고자 함. 또한 프로젝트의 우선순위에는 기후 스마트 농업 솔루션과 토양 개선 활동이 포함됨.

3. 일본

3.1. 일본의 온실가스 감축 정책 및 현황

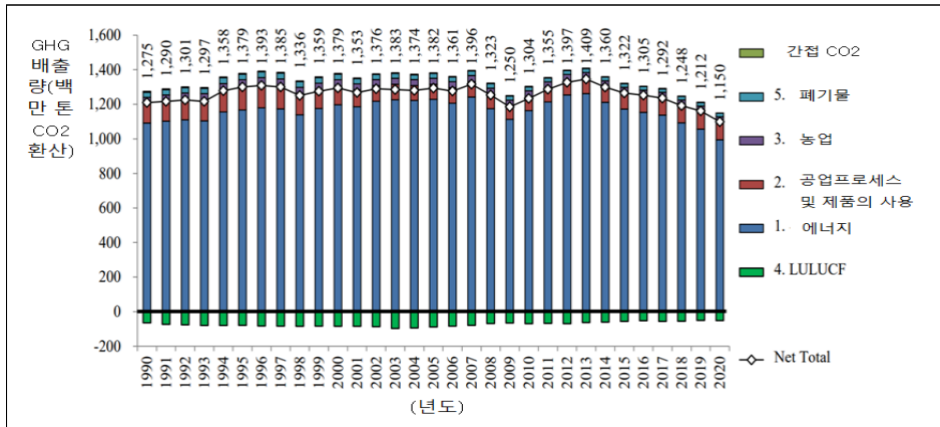
3.1.1. 일본의 온실가스 감축 정책

- 일본은 2016년 12월 파리협정 체결 후, 2017년 3월에 세계 공통의 목표를 토대로 일본의 중장기적 온실가스 배출량 감축 목표를 설정함. 이후 농림수산 부문의 감축 목표 달성을 위해 ‘농림수산성 지구온난화 대책계획’을 수립함.
- 2020년 10월 일본은 ‘2050년 탄소중립’을 선언하며, 2021년에 온실가스 감축목표를 상향 조정하여 2013년 대비 국가 총 배출량의 46.0% 감축을 목표로 ‘2030년도 온실가스 감축목표’를 제시함.
- 2021년 5월 농림수산성은 ‘미도리 녹색 식량 시스템 전략’을 수립하였음. 이 전략을 토대로 2021년 10월 ‘농림수산성 지구온난화대책 계획’을 개정 및 공표하였음. 이 계획에서 축산분야의 온실가스 감축 방안으로 ‘가축분뇨 관리 방법 변경’, ‘아미노산 균형 개선 사료’ 등의 방안과 가축개량 및 ICT 활용 등 사양관리를 통한 ‘개체당 온실가스 배출 저감’ 방안들이 제시됨.

3.1.2. 일본 축산부문 온실가스 배출 현황

- 2020년도 기준 일본의 온실가스 총 배출량은 LULUCF를 제외하고 약 11억 5천만 톤(CO₂ 환산)으로 나타났으며, 이중 온실가스 총배출량에 대한 농업 부문의 비율이 2.8% 수준임.

〈그림 4-3〉 일본의 부문별 온실가스 배출 및 흡수 추이



자료: 국립연구개발법인 국립환경연구소 지구환경연구센터(2022), 《일본국온실횡과가스인벤토리보고서》.

○ 한편, 축산분야에서는 가축의 장내발효와 가축분뇨 관리에 따라 온실가스가 배출됨. 가축의 소화관 내 발효로 인해 CH₄가 배출되며, 가축분뇨 처리 과정에서 CH₄와 N₂O가 배출되는 것으로 보고됨. 2020년 일본의 장내발효 온실가스 배출량은 7,633 kt-CO₂ 환산량으로 보고되었으며, 일본 온실가스 총 배출량(LULUCF 제외)의 0.7% 수준으로 나타남.

〈표 4-9〉 축종별 장내발효의 온실가스 배출량

가스	축종	단위	1990	2018	2019	2020
CH ₄	젖소	kt-CH ₄	192.1	133.4	134.9	135.5
	육용우		166.5	150.7	153.0	155.2
	면양		0.167	0.162	0.170	0.160
	돼지		15.9	12.8	12.9	13.0
	물소		0.011	0.006	0.006	0.006
	산양		0.1	0.1	0.1	0.1
	말		2.1	1.4	1.4	1.3
	합계	kt-CH ₄	376.9	298.6	302.5	305.3
		kt-CO ₂ 환산	9,423	7,465	7,563	7,633

자료: 국립연구개발법인 국립환경연구소 지구환경연구센터(2022), 《일본국온실횡과가스인벤토리보고서》.

○ 또한, 가축분뇨의 관리과정에서 분뇨에 포함된 유기물이 발효되어 분해되어 CH₄가 생성되며, 미생물의 작용에 의한 질화 및 탈질화 과정에서 N₂O가 배출됨. 2020년 가축분뇨 관리분야의 온실가스 배출량은 CH₄가 약 2,387kt-CO₂ 환산량이었으며, N₂O는 약 3,843kt-CO₂으로 나타남.

○ 1990년 이후 장내발효와 가축분뇨 관리 과정에서 배출량이 감소하는 추세를 보이고 있는데, 이에 대한 주요 요인은 소 사육 마릿수 감소에 기인함.

〈표 4-10〉 축종별 가축분뇨관리의 온실가스 배출량

가스	축종	단위	1990	2018	2019	2020
CH ₄	젖소	kt-CH ₄	107.0	79.4	80.7	81.1
	육용우		3.7	6.3	6.3	6.3
	면양		0.006	0.006	0.006	0.006
	돼지		20.5	6.4	5.8	5.8
	물소		0.0004	0.0002	0.0002	0.0002
	산양		0.005	0.004	0.004	0.004
	말		0.3	0.2	0.2	0.2
	가금류		1.6	2.0	2.0	2.0
	토끼		0.001	0.001	0.001	0.001
	밍크		0.1053	0.0005	0.0005	0.0005
	합계	kt-CH ₄	133.2	94.2	95.0	95.5
		kt-CO ₂ 환산	3,329	2,356	2,375	2,387
N ₂ O	젖소	kt-N ₂ O	2.1	2.1	2.1	2.1
	육용우		2.3	2.2	2.2	2.2
	면양		IE	IE	IE	IE
	돼지		3.5	4.1	4.1	4.1
	물소		0.00012	0.00006	0.00006	0.00007
	산양		IE	IE	IE	IE
	말		IE	IE	IE	IE
	가금류		1.0	0.8	0.7	0.7
	토끼		0.004	0.005	0.005	0.005
	밍크		0.0223	0.0001	0.0001	0.0001
	간접배출		5.2	3.7	3.7	3.7
	합계	kt-N ₂ O	14.1	12.8	12.8	12.8
		kt-CO ₂ 환산	4,214	3,807	3,820	3,843
전체 합계		kt-CO ₂ 환산	7,544	6,163	6,195	6,230

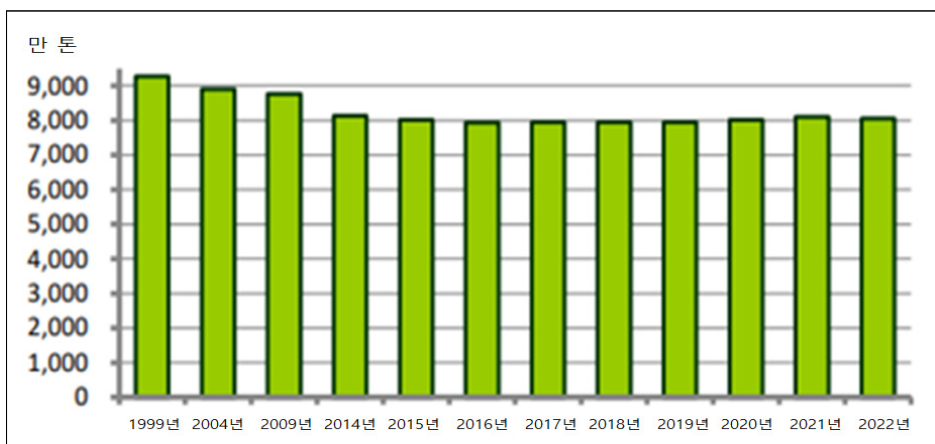
자료: 국립연구개발법인 국립환경연구소 지구환경연구센터(2022), 《일본국온실효과가스인벤토리보고서》.

3.2. 축산부문 온실가스 감축 기술

3.2.1. 가축분뇨 관리방법 변경

○ 가축분뇨는 축종, 체중, 사료의 종류 및 섭취량, 음수량, 사육형태 및 계절에 따라 배출량이 다름. 2022년 기준 일본의 총 가축분뇨 발생량은 약 8,057만 톤 정도로 나타남. 축종별 발생량을 살펴보면, 육용우가 2,415만 톤으로 가장 많았으며, 다음으로 젖소 2,230만 톤, 돼지 2,059만 톤, 산란계 774만 톤, 육계 580만 톤으로 조사되었음.

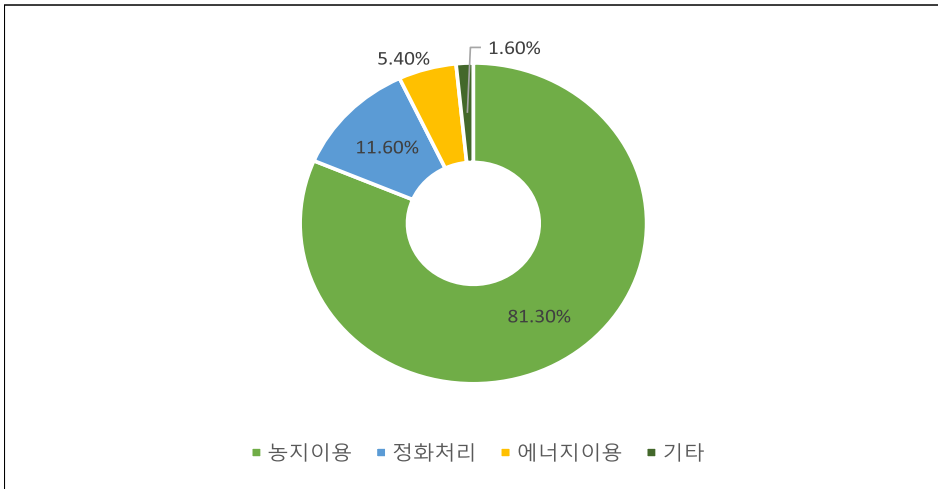
〈그림 4-4〉 일본의 가축분뇨 발생량 추이



자료: 농림수산성, 「축산통계」 추계 자료. 농림수산성, 「축산환경을 둘러싼 정세」 2023년 3월 재인용.

○ 연간 발생하는 가축분뇨의 약 80%가 퇴비화, 저류, 건조, 방목 등으로 농지에 환원되고 있음. 이 외에 정화처리로 11.6%가 처리되며, 에너지 이용(소각, 메탄 발효)에 5.4%, 산업폐기물 처리 및 공공하수도 방류 등 기타로 1.6%가 처리됨.

〈그림 4-5〉 일본의 가축분뇨 처리 및 이용 현황

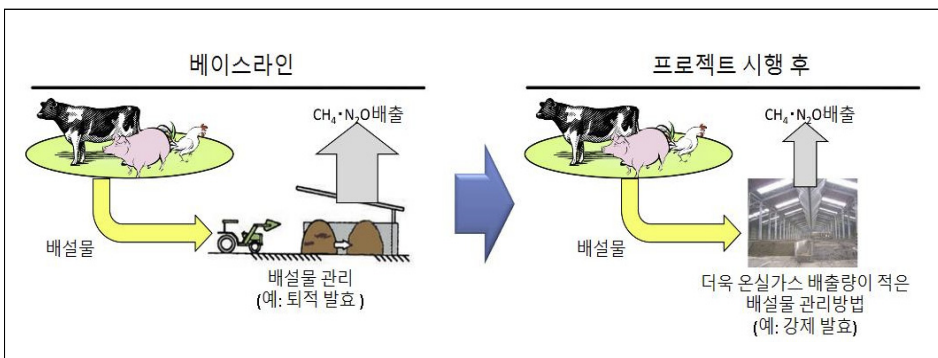


주: 반올림으로 인해 부분별 수치와 합계는 일치하지 않음.

자료: 농림수산성, 「축산통계」 2022년 자료. 가축배설물 처리상황 등 조사(2019년) 등에 기초하여 축산진흥과 추계.

- 일본에서 가장 많이 활용하는 가축분뇨 관리 방법은 퇴적발효임. 이를 강제발효로 변경하여 처리할 경우, 퇴비화 과정에서 CH_4 의 배출량을 대폭 감축할 수 있다고 보고됨.

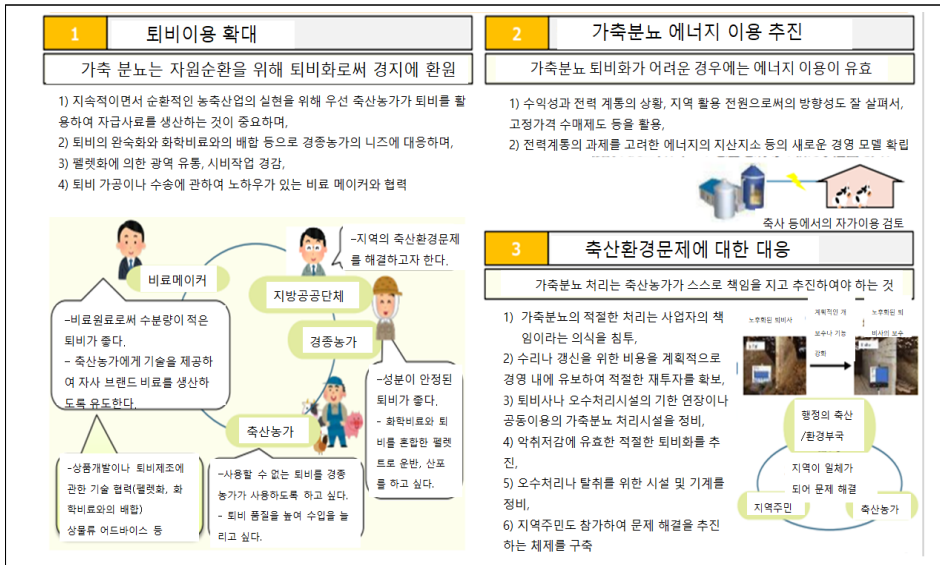
〈그림 4-6〉 일본의 가축분뇨 관리방법 변경



자료: J크레딧 홈페이지(<https://japancredit.go.jp/about/methodology/>). 검색일: 2023.12.14.) 번역 및 인용

- 2020년 일본은 종합적이고 계획적인 가축분뇨 이용 촉진을 위해 농림수산성 장관은 「가축분뇨 이용 촉진을 위한 기본방침(이하 ‘기본방침’)」을 수립함. 기본방침에 따르면 2030년을 목표로 경종농가 수요 대응에 따른 ‘퇴비 이용 확대’, 퇴비 이용이 곤란한 경우 ‘에너지 이용 추진’, 환경규제 및 규모화를 고려한 ‘축산 환경문제에 적절한 대응’ 등을 중점으로 수립되었음.
- 퇴비 이용 확대를 위해 ‘자원순환을 위해 가축분뇨를 퇴비화하여 경지에 환원’을 목표로 함. 세부적으로 지속가능하며 순환적인 농축산업을 위해 우선 축산농가가 퇴비를 활용하여 자급 사료를 생산할 것으로 권장함. 또한 퇴비의 부숙 및 화학비료와 혼합 등 경종농가의 수요에 대응해야 하며, 펠렛화를 통해 광역 유통 및 시비작업 경감, 퇴비 가공 및 수송에 비료업체와 협력 등을 추진함.
- 가축분뇨의 에너지화 이용 촉진을 위해서는 ‘가축분뇨 퇴비화가 어려운 경우 에너지 이용 유효’를 목표로 함. 세부적으로 수익성과 전력 체계의 상황, 지역 활용 등을 고려한 고정가격 구매제도, 전력체계를 고려한 에너지의 지산지소(地産地消) 등의 경영 모델 수립을 추진하고 있음.
- 축산환경문제에 대응을 위해 ‘가축분뇨 처리는 축산농가 스스로 책임지고 추진할 것’을 목표로 함. 이를 위해, 적절한 가축분뇨 처리를 위한 사업자의 책임 의식, 경영 내에서 유지보수비용을 계획 및 확보하여 적절한 재투자, 퇴비 사나 오수처리시설의 기한 연장이나 가축분뇨 공동이용 처리시설 정비, 악취 저감을 위한 적절한 퇴비화, 오수처리나 악취저감을 위한 시설 및 기계 정비, 문제 해결에 지역 주민 참여 체제 구축 등이 강조되었음.

〈그림 4-7〉 일본의 가축분뇨 이용 촉진을 위한 기본 방침

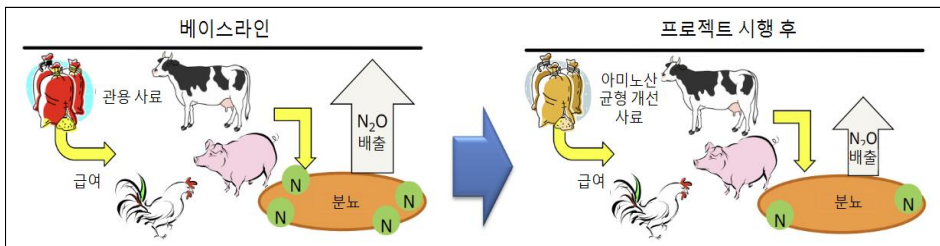


자료: 농림수산성(2023.03.) “축산환경을 둘러싼 정세”

3.2.2. 아미노산 균형 개선 사료

○ 아미노산 균형 개선 사료로 가축분뇨에서 생성되는 온실가스를 감축할 수 있음. 예를 들어, 육용우(홀스타인종 거세)에 개발한 아미노산 균형 개선 사료를 급여하여 분뇨에 함유된 질소를 저장하여 퇴비화 처리 과정에서 발생하는 N_2O 를 감축할 수 있음.

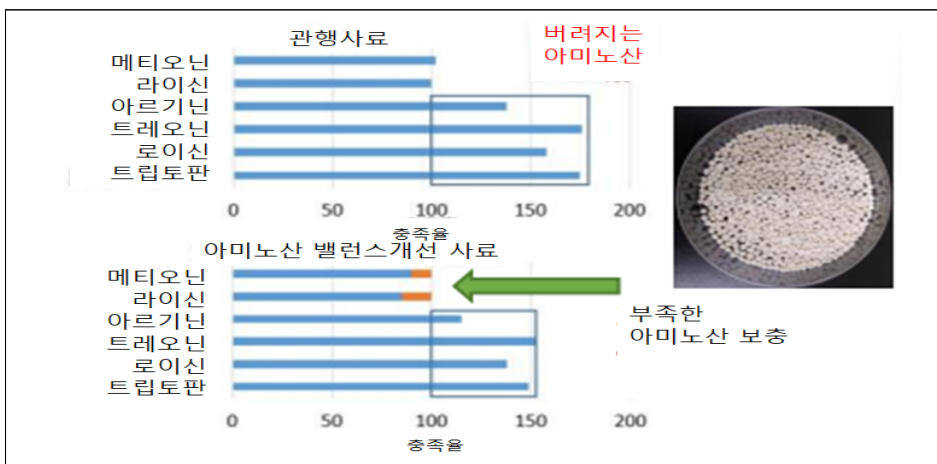
〈그림 4-8〉 일본의 아미노산 균형 개선 사료



자료: J크레딧 홈페이지(<https://japancredit.go.jp/about/methodology/>). 검색일: 2023.12.14.) 번역 및 인용

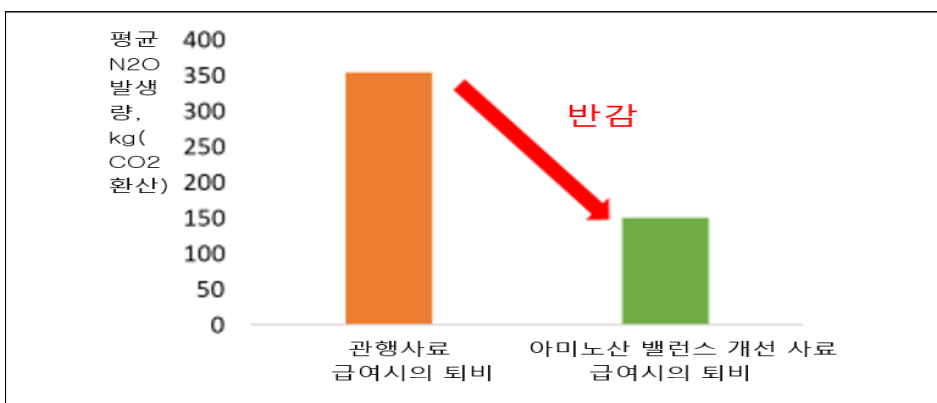
○ 아미노산 균형 개선 사료는 일반사료에서 과잉 섭취되기 쉬운 단백질 성분의 함유율을 줄이고 라이신(lysine) 및 메티오닌(methionine) 등을 보충하여 아미노산으로 부족한 성분을 개선한 사료를 말함. 또한, 아미노산 균형 개선 사료는 소의 기호성과 육질 및 증체량에 영향을 미치지 않으며, 가격은 일반 사료와 비슷하다는 장점이 있음.

〈그림 4-9〉 일본의 아미노산 균형 개선 사료와 일반 사료의 성분 함량 비교



자료: 일본 농연기구(2021.12.23.). “2021년 농업기술 10대 뉴스”.

〈그림 4-10〉 일본의 아미노산 균형 개선 사료와 일반 사료의 N₂O 발생량 비교



자료: 일본 농연기구(2021.12.23.). “2021년 농업기술 10대 뉴스”.

3.2.3. 개체당 온실가스 배출 저감(사양관리)

○ 비육우 개량 및 ICT 활동 등을 통한 사양관리로 생산성을 향상시켜 개체당 온실가스 배출량을 감축할 수 있음. 일본은 소의 개량과 사육관리 개선을 통해 생산성을 향상하였음. 하지만, 최근 폭염과 같은 환경적 영향으로 유량 증가와 수태율 저하, 공용기간 단축 등의 경향이 나타나고 있음. 또한, 고령화와 후계자 부족 등의 문제로 사육 호수가 감소하고 있음.

- 위와 같은 이유로 ICT 등을 활용하여 유전자 검사 및 사육관리 효율화와 우량 후계우를 통한 고성능우 생산 등의 기술을 토대로 유전적 능력을 개선한 생산성 향상을 도모할 수 있음.

〈그림 4-11〉 일본의 개체당 온실가스 배출 저감



자료: 일본 농연기구(2021.12.23.). “2021년 농업기술 10대 뉴스”.

○ 젖소의 개량 목표치는 정소 생산성에 대한 목표수치로 제시함. 현재 홀스타인 종의 전국 평균 유량은 8,639kg이며, 유지방 3.9%, 무지고형분 8.76%, 유단백질 3.28%로 나타남. 2030년도 목표로 현재의 유성분을 계속 유지하며, 유량을 9,000~9,500kg 수준으로 늘릴 것을 제시하였음.

〈표 4-11〉 일본의 젓소(홀스타인 종) 생산성 개량 목표치

구분	유량	유성분		
		유지방	무지고형분	유단백질
현재 유량	8,639kg (9,776kg)	3.90%	8.76%	3.28%
개량 목표(2030년)	9,000~9,500 (10,000~10,500)	현재의 유성분 계속 유지		
연간 증감 추세(전국평균)	+56.4/년	+3.3kg/년	+5.7kg/년	+2.5kg/년
개량 목표(2030년)	현재의 개량량 계속 유지			

주 1: '유량'은 전국 경산우 1두당 연간 평균 유량임.

2: '유량'의 () 수치는 우군 검정 참여 농가의 평균치임.(착유우 1마리당 305일, 2회 착유의 경우)

3: '유성분'은 연간 평균치임.

자료: 농림수산성(2020). 「家畜改良増殖目標(가축개량 증식 목표)」.

○ 육용우의 경우 품종에 따라 현재 생산성이 다르기 때문에 개량 목표치도 다르게 제시하였음. 흑모화종은 현재보다 47kg, 갈모화종은 63kg, 일본단각종은 34kg 증량할 것으로 목표로 제시하였음. 단, 지방교잡과 수율 기준치는 현재의 수준을 유지해야 함. 육용우 번식의 경우 초산월령은 23.5개월과 분만간격 12.5개월로, 현행 수준보다 각각 초산월령 1개월과 분만간격 20일을 단축할 것을 목표로 제시하였음.

〈표 4-12〉 일본의 육용우 생산성 개량 목표치

구분	품종	일령지육중량(g)	지방교잡 (B.M.S. No.)	수율기준치
현재 산육능력 (씨숫소)	흑모화종	0 (560)	0 (7.2)	74.5
	갈모화종	0 (634)	0 (3.9)	73.2
	일본단각종	0 (588)	0 (2.2)	71.6
개량 목표(2030년)	흑모화종	+ 47	현재의 개량량 그대로 유지	74.5
	갈모화종	+ 63		73.2
	일본단각종	+ 34		71.6
구분	초산월령 (개월)		분만간격 (일수)	
현재 번식 생산성	24.5		13.2 (400일)	
개량 목표(2030년)	23.5		12.5 (380일)	

주 1: () 안은 지육정보로 수집한 거세비육우 값의 평균치이다.

2: B. M. S. No (Beef Marbling Standard)는 쇠고기의 지방교잡 정도를 나타냄. 최고 12이며, 숫자가 클수록 마블링(근섬유 사이에 축적된 지방조직)이 미세하고 많음.

자료: 농림수산성(2020). 「家畜改良増殖目標(가축개량 증식 목표)」.

○ 거세 비육우의 생산성 개량 목표치는 비육개시체중은 흑모화종 -16kg, 갈모화종 -2kg, 일본단각종 +20kg, 유용우 -3kg, 교잡종 -3kg를 목표로 제시하였음. 한편, 비육종료체중은 흑모화종 +8kg, 갈모화종 -19kg, 일본단각종 유지, 유용우 +4kg, 교잡종 +3kg가 목표로 제시됨. 육질등급은 흑모화종, 갈모화종은 하향 조정하였으며, 유용우는 현행 수준 유지, 일본단각종과 교잡종은 상향 조정을 목표로 제시하였음.

〈표 4-13〉 일본의 거세 비육우 생산성 개량 목표치

	품종	비육개시체중 (kg)	비육종료체중 (kg)	지육종량 (kg)	1일 평균 증체량 (kg)	육질 등급
현재	흑모화종	296	782	502	0.79	4.2
	갈모화종	302	769	506	0.90	2.9
	일본단각종	300	780	456	0.98	2.1
	유용우	293	776	440	1.19	2.0
	교잡종	293	827	528	0.94	2.8
개량목표 (2030년)	흑모화종	280	790	530 (545)	0.88	4
	갈모화종	300	750	490 (556)	0.99	3
	일본단각종	320	780	450 (481)	1.01	2
	유용우	290	780	450 (483)	1.34	2
	교잡종	290	830	540 (570)	0.99	3

주 1: 비육기간 단축 등을 목표로 한 수치임. 이 경우의 비육 종료 월령([] 안은 비육 개시 월령)은 다음과 같음.
 흑모화종: 29.5개월[9.2개월], 갈모화종: 26.1개월[9.1개월], 일본단각종: 24.6개월 [8.5개월], 유용우: 20.4개월[7.1개월], 교잡종 : 26.4개월[7.8개월]

2: ‘육질등급’은 육질의 유지나 개선을 목표로 효율적인 비육을 도모하기 위한 기준임. ① 지방교잡, ② 고기의 색, ③ 고기의 씹는 결 및 맛, ④ 지방의 색과 질의 4개 항목마다 5등급(예를 들어, 지방교잡이면부터 1(거의 없음)부터 5(상당히 많음)까지의 5단계)를 판정하고 항목 중 가장 낮은 등급을 매김.

3: 교잡종은 타품종간 교배로 생산되나, 대부분 홀스타인 종의 암소에 흑모화종의 정액을 인공수정하여 생산됨.

4: 현재 수치는 ‘축산물 생산비(2017년도)’, ‘우지육 등급 정보(2017년도, 2018년도)’

자료: 농림수산성(2020). 「家畜改良増殖目標(가축개량 증식 목표)」.

○ 일본은 다른 양돈 선진국에 비해 양돈의 개량 수준이 낮지만, 일본 수요에 따라 독자적인 종돈 개량을 실시하고 있음. 하지만, 유전율이 낮고 번식능력에 대한 개량이 미흡하였음. 따라서, 비육돈 생산성 향상을 위해 개량기술의 재검토, 사육위생관리 개선 등 개량성 증진을 추진함과 동시에 생산비용 절감을 위해 증체성 개량을 함께 추진함.

○ 순수 종돈 생산성 개량의 2030년 목표치는 품종별로 번식능력 및 산육능력 개선을 제시하였음. 번식능력 지표인 1복당 육성두수는 버크셔 0.5두 증가, 1복당 자돈총체중 2kg 증가를 목표로 함. 랜드레이스와 대요크셔는 1복당 육성두수 가 각각 1두 증가하였으며, 1복당 자돈총체중 64kg을 목표로 함. 듀록의 경우 1복당 육성두수 0.5두 증가, 자돈총체중 2kg 증가를 목표로 제시하였음. 품종별 산육능력 지표인 등심단면적, 배지방층두께는 증체량 개선과 함께 일부 상향 조정되었으나, 사료요구율의 경우 약 0.1의 개선을 목표로 하고 있음.

〈표 4-14〉 일본의 종돈 및 비육돈 생산성 개량 목표치

구분	품종	번식능력		산육능력				
		1복당육성 두수(두)	1복당자돈 총체중(kg)	1일평균 증체량 (g)		등심단 면적(cm ²)	배지방층 두께 (cm)	사료 요구율
				0~105kg	30~105kg			
종돈 번식 능력 (현재)	버크셔	8.0	45	531	700	28	1.7	3.2
	랜드레이스	10.2	59	637	831	35	2.0	3.1
	대요크셔	9.8	58	646	864	35	1.6	3.0
	듀록	7.6	43	702	981	34	2.2	3.0
개량 목표 (2030년)	버크셔	8.5	47	560	745	30	1.7	3.1
	랜드레이스	11.2	64	690	910	35	1.8	3.0
	대요크셔	10.8	64	700	950	35	1.6	3.0
	듀록	8.1	45	760	1,070	35	2.0	2.9
구분		출하일령 (일)		출하체중 (kg)		사료요구율		
현재 비육돈 생산성 (2020년)		188		115		2.9		
개량목표(2030년)		180		120		2.8		

주 1: 번식능력은 분만 후 3주령 모돈 1마리당의 수치임.

2: 번식능력 및 산육능력(사료요구율 제외)은 '일본양돈협회'의 유전적 능력평가사업으로 진행된 암수 개체 자료임.

3: 1일 평균 증체량은 실제 개량 현장에서 생시 체중 0kg(생시체중)~105kg 사이의 값과 30kg~105kg 사이의 값(0kg~105kg 사이의 값으로 추정)을 모두 사용하기에 병기함.

4: 사료요구율은 30kg~105kg 사이의 1일 평균 증체량과 사료요구율의 관계로 추정함(버크셔는 실측치).

5: 등심단면적, 배지방층 두께는 체중 105kg 도달 시 체장의 1/2임.

자료: 농림수산성(2020). 「家畜改良増殖目標(가축개량 증식 목표)」.

3.2.4. J-크레딧(J-Credit) 제도

- J-크레딧 제도는 온실가스 배출의 감축량 및 흡수량을 국가에서 ‘크레딧(Credit)’으로 인정하는 제도임. 구체적으로 농축산업자들이 시행하는 온실가스 감축 활동에 대해 국가가 과학적인 방법으로 감축량을 산정하여 크레딧으로 인증하는 제도임. 농축산업자는 부여받은 크레딧을 저탄소 실행계획을 수립하는 기업 등에 판매하여 수익을 창출할 수 있도록 함.
- 축산분야 관련하여 J-크레딧에서 제시하는 온실가스 감축 방법론은 ‘돼지·닭 저단백 배합사료 급여’와 ‘가축분뇨 관리 방법 변경’ 등이 제시되고 있음. 이를 통해 감축된 온실가스를 측정하여 크레딧이 지급되며, 기업에 판매하여 수익을 창출할 수 있는 선순환 구조를 실현할 수 있음.
- J-크레딧에서 제시하는 온실가스 감축 방법론에는 각 영역별 감축 방법 및 적용 조건, 기준(베이스라인) 배출량 기준, 배출량 산정법, 주요 모니터링 항목 등을 제시하고 있음.

〈표 4-15〉 일본 J-크레딧 제도의 축산분야 온실가스 감축 방법론

방법론	방법론의 개요	대상 온실가스
소·돼지·육계의 사육 시 기존 사료를 대체하여 아미노산 균형 사료 급여	소·돼지·육계의 사육 시 기존 사료를 대체하여 아미노산 균형 사료를 급여하여 사육과정에서 발생하는 분뇨의 N ₂ O를 저감	N ₂ O
가축분뇨 관리 방법 변경	가축사육에 있어 배출계수가 낮은 분뇨 관리방법으로 전환하여 분뇨에서 발생하는 CH ₄ 및 N ₂ O 저감	CH ₄ ·N ₂ O

자료: 일본 축산환경정비기구(2017). 《축산분야 지구온난화완화기술 리뷰 보고서》.

5

요약 및 시사점

1. 요약

- 2016년 11월 파리 기후변화협정(Climat Change Accord)이 공표됨으로써 전 세계적으로 교토의정서보다 발전된 감축 목표와 실행 전략을 요구하게 됨. 우리 정부는 「2030 국가온실가스감축 기본로드맵」을 제시하였으며, 농축산부문 감축목표는 당초 250만 톤이었으나 2018년 수정작업을 거쳐 265만 톤임. 2020년 10월에 탄소중립 목표를 선언하면서 2030년 감축목표는 2030 국가온실가스감축 기본로드맵」상의 감축목표(265만 톤)보다 상향 조정됨. 감축목표는 경종보다는 축산관련 감축 목표량이 보다 큼.
- 국제적으로 감축목표와 실행 전략이 요구되는 가운데 온실가스 감축목표 이행을 위한 농업정책 추진 기반 구축이 필요함. 특히 국가 기후변화대응 기본계획 수립에 따라 농업분야의 감축 이행을 위한 저탄소 농업정책 추진을 위한 기반 기술 구축이 필요하며, 전 지구적 이행점검 및 국가 기후변화대응 기본원칙에 따른 새로운 로드맵 대응이 필요함.

- 이 연구는 2050년 탄소중립목표에 상응하는 2030년 감축목표를 효과적으로 달성하기 위해 경종에 비해 감축비중이 큰 축산분야에 초점을 맞추어 주요국의 온실가스 감축 수단을 체계적으로 분석하고, 2030년 감축목표 달성을 위한 축산분야 온실가스 감축 정책을 제시하는 데 있음.
- 이 연구는 선행연구 검토, 위탁원고, 전문가 자문회의 등의 연구방법론을 적용하였으며, EU, 미국, 일본의 감축기술 및 정책을 살펴보았으며 다음과 같은 연구결과를 도출하였음.

□ EU

- 2021년 EU의 농업부문 총 배출량은 약 378 MtCO₂-eq.으로 1990년 485 MtCO₂-eq.에 비해 약 21.9% 감소하였으며, 이러한 감소의 51%는 장내발효 부문의 배출량 감소에 기인함. 2021년 EU의 장내발효의 CH₄ 배출량은 182,545.5 kt CO₂으로, 농업 부문 총배출량의 48.2%, 농업 부문 CH₄ 총배출량의 79%에 해당하는 수치로 농업 부문의 가장 큰 온실가스 배출원으로 나타남. 또한, 분뇨관리로 인한 2021년 CH₄ 배출량은 44,772 ktCO₂, N₂O는 18,130.6 ktCO₂ 나타남.
- UNFCCC 인벤토리 분류에 따른 축산 온실가스 감축 기술을 살펴보면 다음과 같음
 - 생산성 향상은 사료, 유전, 기술, 건강 관리 및 개선 등을 통한 기술적 옵션에 중점을 두어 생산 효율성을 개선함.
 - 혼농임업은 나무 및 관목을 식용작물이나 가축 생산과 통합하는 방식으로 기후변화에도 나무 또는 작물의 생산성을 유지하거나 개선할 수 있으며 생태계에 긍정적인 영향을 미칠수 있음. 또한, 화석 연료 원료를 대체하는 바

이오에너지 또는 나무 바이오매스 생산을 통해 온실가스 완화에 기여할 수 있음.

- 사료 첨가제는 주로 가축 생산성을 높이기 위해 사용되지만, 최근에는 가축의 반추위에서 메탄 생성에 대한 이해가 높아지면서 메탄 배출을 완화하기 위한 개발이 이루어짐. 사료에는 작용 방식이 다른 여러 가지 첨가제 추가할 수 있음. 해조류(대조류라고도 함)도 효과적인 메탄 생성 억제제로 알려져 있음. 해조류는 메탄 생성을 억제할 수 있는 고농도의 할로젠 화합물을 함유하고 있음.
- 명반, 염화 제2철, 황산등과 같은 화합물을 사용한 분뇨나 슬러리의 산성화에 의해 저장과정에서 메탄과 암모니아 배출이 감소하는 것으로 나타남. 슬러리 처리 과정에서 발생하는 메탄 및 암모니아 배출량은 80% 이상 감소하는 것으로 나타남. 가축 분뇨의 혐기성 소화(AD) 과정에서 직접적으로 또는 에너지 부문의 화석 연료 배출을 대체하면서 간접적 배출을 줄일 수 있음.
- 기존의 초지를 관리하여 토양의 탄소 저장을 높일 수 있음. 이를 위해 초목에 작물 생산량을 증가해야하며, 질소 비료 또는 가축 분뇨를 추가적으로 투입해야함.
- 반추동물 육류 소비에서 과일과 채소를 더 많이 섭취하는 식물성 식단으로 전환하면 특정 비전염성 질병의 발병률을 줄여 공중 보건을 개선하는데 도움이 될 뿐만 아니라 배출량 감소를 포함하여 EU 식품 시스템의 환경 영향을 줄일 수 있다는 점이 많은 학술지를 통해 확인되었음(Westhoek et al. 2014; Springmann et al. 2016). EU의 농장에서 식탁까지(Farm to Fork) 전략은 전략에서 연구의 핵심 분야는 육류 대체품임.

○ 유럽 그린딜(European Green Deal)은 지식의 연결과 공유, 기후변화에 대한 학습, 해결책 개발/적용/확장을 목적으로 개인, 지역사회, 조직들을 초대하는 EU 차원의 이니셔티브인 유럽 기후 협약(European Climate Pact), 2050까지 기후중립을 달성하기 위한 비용효과적인 야심찬 계획을 목표하는 2030 기후변화 타겟 플랜(Climate Target Plan), 2030년까지 1990년 온실가스 배출량의 55% 이상 감소, 2050년까지 기후중립(climate-neutral) 달성을 목표로 하는 규정(Regulation) (EU) 2021/1119, 2030년까지 이산화탄소 환산량인 약 310백만톤의 탄소 감축을 달성하고 2031년까지 EU에서 토지, 산림, 농업을 합쳐 기후중립 달성을 목표로 하는 유럽 그린딜 이행(Delivering the European Green Deal) 등이 있음.

○ 농장 평가 도구(Farm audit tool)를 자발적으로 적용한 농가들은 측정·보고·검증(measuring, reporting and valuation, MRV)을 실시하여 실제 농장 전체(whole-farm) 온실가스 저감량을 평가받음. 5년 후 저감량에 따라 저감톤 당 결정된 금액을 받음.

□ 미국

○ 2021년 농업부문은 미국 전체 온실가스 배출량의 9.4%에 해당하는 598.1MMtCO₂eq.를 배출한 것으로 보고됨. 장내발효와 분뇨관리로 인한 메탄 배출량은 농업부문 배출량 중 32.6%와 11.0%를 나타냄. 일부 농업활동은 토양내 질소 함유를 증가시켜 직접적인 N₂O 생성 및 배출에 영향을 미침. 이러한 활동 중 가축과 관련된 활동으로 농경지 가축분뇨 활용, 바이오고형물, 목초지·방목장·목장(PRP) 등에서 가축 분뇨 침전 등이 포함됨. 2021년 미국 농경지에서 가축관련 N₂O 직접 배출량은 2021년 기준 약 14.6MMtCO₂eq.임. 이는 농업토양관리 총 배출량인 264.7MMtCO₂eq.의 약 18%를 차지함.

○ 2013년 ICF International의 보고서에서 미국의 감축 수단을 크게 작물 생산 체계(Crop production systems), 동물 생산 체계(Animal production systems), 농지 휴경 체계(Land retirement systems)로 나누어 제시하고 있음.

- 미국의 동물 생산 체계에서 주로 제시한 완화 옵션은 대부분 분뇨 관리에 중점을 두고 있음.

- 동물 생산 체계에서 퇴비 관리와 방목지 관리로 구분됨. 먼저, 퇴비 관리에는 1) 늪 보호를 위해 혐기성 소화조 활용 2) 혼합 혐기성 소화조 활용 3) 연못, 저수지, 늪 가리기 4) 퇴·액비 분리기(고형분리기) 사용 5) 질화/탈질화 작용이 포함되며, 방목지 관리에는 콩과식물의 간파(interseeding)가 해당됨.

○ 미 농무부와 ICF International는 협업을 통해 앞서 제시된 감축 수단과 관련하여 「미국 내 농경지 및 가축 생산을 위한 온실 가스 완화 옵션 및 비용 (Greenhouse Gas Mitigation Options and Costs for Agricultural Land and Animal Production within the United States)」이라는 보고서를 발간하였음.

- 이를 통해 농업 생산자가 정상적인 생산과 토지 관리 작업 과정에서 완화 관행이나 기술을 적용하기 위해 필요한 재정적 인센티브에 대한 정보를 제공함.

- 본 보고서에서는 주, 지역, 국가 탄소배출권 거래 프로그램과 같은 공식적인 탄소 시장 설립, 농업 생산자가 미 농무부의 보전유보 프로그램 활동을 수행할 경우 받는 지불금과 유사한 정부의 직접 지불 프로그램, 둘 이상의 민간 당사자 간의 자발적 완화 관련 계약 등 농업 생산자들이 온실가스 배출을 완화할 수 있도록 재정적 인센티브 제공할 수 있는 여러 메커니즘이 있음을 언급함.

○ 지난 2021년 4월 21일 미 농무부는 더 높은 지급률과 새로운 인센티브, 기후 변화 완화를 위한 프로그램의 역할에 중점을 둔 보전유보 프로그램(CRP)을 시행할 것이라고 발표하였음. 미국 정부는 보전채무 프로그램을 확대하여 농민이 탄소격리를 포함한 다양한 환경보전활동에 대해 비용을 지급하고 농민의 소득을 지원하겠다고 밝힘. 이 프로그램은 토양, 물, 공기 등의 보전 및 향상을 목적으로 해서 재정 및 기술을 지원함. 또한 85개의 지역보전 파트너십 프로그램(Regional Conservation Partnership Program, RCPP)에 3억 3천만 달러, 농장 보존 혁신 실험에 2천5백만 달러를 투자하여, 기후 스마트 농업(Climate Smart Agriculture)을 늘리기 위한 파트너십에 대한 투자 확대를 발표함.

□ 일본

○ 2020년도 기준 일본의 온실가스 총 배출량은 LULUCF를 제외하고 약 11억 5천만 톤(CO_2 환산)으로 나타났으며, 이중 온실가스 총배출량에 대한 농업 부분의 비율이 2.8% 수준임. 2020년 일본의 장내발효 온실가스 배출량은 7,633 kt- CO_2 환산량으로 보고되었으며, 일본 온실가스 총 배출량(LULUCF 제외)의 0.7% 수준으로 나타남. 2020년 가축분뇨 관리분야의 온실가스 배출량은 CH_4 가 약 2,387kt- CO_2 환산량이었으며, N_2O 는 약 3,843kt- CO_2 으로 나타남. 1990년 이후 장내발효와 가축분뇨 관리 과정에서 배출량이 감소하는 추세를 보이고 있는데, 이에 대한 주요 요인은 소 사육 마릿수 감소에 기인함.

○ 2020년 10월 일본은 ‘2050년 탄소중립’을 선언하며, 2021년에 온실가스 감축목표를 상향 조정하여 2013년 대비 국가 총 배출량의 46.0% 감축을 목표로 ‘2030년도 온실가스 감축목표’를 제시함. 2021년 5월 농림수산성은 ‘미도리 녹색 식량 시스템 전략’을 수립하였음. 이 전략을 토대로 2021년 10월

‘농림수산성 지구온난화대책 계획’을 개정 및 공표하였음. 이 계획에서 축산 분야의 온실가스 감축 방안으로 ‘가축분뇨 관리 방법 변경’, ‘아미노산 균형 개선 사료’ 등의 방안과 가축개량 및 ICT 활용 등 사양관리를 통한 ‘개체당 온실가스 배출 저감’ 방안들이 제시됨.

- 일본에서 가장 많이 활용하는 가축분뇨 관리 방법은 퇴적발효임. 이를 강제발효로 변경하여 처리할 경우, 퇴비화 과정에서 CH₄의 배출량을 대폭 감축할 수 있다고 보고됨. 퇴비 이용 확대를 위해 ‘자원순환을 위해 가축분뇨를 퇴비화하여 경지에 환원’을 목표로 함. 가축분뇨의 에너지화 이용 추진을 위해서는 ‘가축분뇨 퇴비화가 어려운 경우 에너지 이용 유효’를 목표로 함.
- 아미노산 균형 개선 사료는 일반사료에서 과잉 섭취되기 쉬운 단백질 성분의 함유율을 줄이고 라이신(lysine) 및 메티오닌(methionine) 등을 보충하여 아미노산으로 부족한 성분을 개선한 사료를 말함. 또한, 아미노산 균형 개선 사료는 소의 기호성과 육질 및 증체량에 영향을 미치지 않으며, 가격은 일반 사료와 비슷하다는 장점이 있음.
- 비육우 개량 및 ICT 활동 등을 통한 사양관리로 생산성을 향상시켜 개체당 온실가스 배출량을 감축함. 일본은 비육돈 생산성 향상을 위해 개량기술의 재검토, 사육위생관리 개선 등 개량성 증진을 추진함과 동시에 생산비용 절감을 위해 증체성 개량을 함께 추진함.
- J-크레딧 제도는 온실가스 배출의 감축량 및 흡수량을 국가에서 ‘크레딧(Credit)’으로 인정하는 제도임. 구체적으로 농축산업자들이 시행하는 온실가스 감축 활동에 대해 국가가 과학적인 방법으로 감축량을 산정하여 크레딧으로 인증하는 제도임. 농축산업자는 부여받은 크레딧을 저탄소 실행 계획을 수립하는 기업 등에 판매하여 수익을 창출할 수 있도록 함. 축산분야 관련하여 J-크레딧에서 제시하는 온실가스 감축 방법론은 ‘돼지·닭 저단

백 배합사료 급여'와 '가축분뇨 관리 방법 변경' 등이 제시되고 있음. 이를 통해 감축된 온실가스를 측정하여 크레딧이 지급되며, 기업에 판매하여 수익을 창출할 수 있는 선순환 구조를 실현할 수 있음.

2. 시사점

- 우리나라 축산분야는 사육두수 증가로 배출량이 계속 증가하고 있음에도 불구하고 감축기술이 많지 않음. EU나 미국은 축산분야의 배출량 비중이 매우 높은 가운데 감축기술 개발을 선도하고 있는 것으로 보임. 따라서 EU, 미국 등 선진국의 온실가스 감축 기술들을 세세히 살펴봄으로써 향후 우리나라 축산 여건에서 효율적인 수단들을 발굴하고 개발할 필요가 있음.
- 농장 평가 도구(Farm audit tool)를 자발적으로 적용한 농가들은 측정·보고·검증(measuring, reporting and valuation, MRV)을 실시하여 실제 농장 전체(whole-farm) 온실가스 저감량을 평가받음. 5년 후 저감량에 따라 저감 톤 당 결정된 금액을 받음. 따라서 우리나라도 이러한 농장 평가 도구와 같은 수단을 개발하여 농가들이 자발적으로 적용하도록 하고 감축 실적에 대해서는 보상해주는 방안을 검토할 필요가 있음.
- 미국 정부는 보전책무 프로그램을 확대하여 농민이 탄소격리를 포함한 다양한 환경보전활동에 대해 비용을 지급하고 농민의 소득을 지원하겠다고 밝힘. 이 프로그램은 토양, 물, 공기 등의 보전 및 향상을 목적으로 해서 재정 및 기술을 지원함. 우리나라도 2024년부터 탄소중립 프로그램 시범사업을 통해 저탄소농업 기술을 도입한 농업인을 지원하려 하고 있으며, 특히 축산부문에

서는 농업인이 저메탄사료 급여, 환경개선사료 급여를 실천하는 경우 지원을 받게 됨. 향후 농업부문 탄소중립 목표 달성을 위해서는 이러한 탄소중립 프로그램은 시범사업을 넘어 본사업으로 추진될 필요가 있음.

- 미국은 온실가스 감축수단별 비용, 수확량 변화 및 수익 변화 등을 다루는 보고서를 발간함으로써 농업인이 온실가스 감축 기술을 수용하는 데 필요한 재정적 인센티브에 대한 이해를 향상하기 위한 정보를 제공하고 있음. 우리나라도 농업인 수용성이 낮은 온실가스 감축 기술에 대한 수용성 제고와 새로운 온실가스 감축 기술을 발굴해내는 것이 선행되어야 할 것임.
- 또한 미국은 기후 스마트 농업(Climate Smart Agriculture)을 늘리기 위한 파트너십에 대한 투자 확대를 발표하였는데 기후스마트농업은 온실가스 감축과 기후변화 적응, 그리고 생산성 향상이라는 세 가지 목표를 동시에 추구하는 농업으로서 앞으로 크게 부각될 것으로 판단되며 우리나라도 기후스마트농업 기술 개발 및 발굴 그리고 보급을 추진할 필요가 있음.

참고문헌

- 국립연구개발법인 국립환경연구소 지구환경연구센터(2022), 《일본국온실효과가스인벤토리보고서》.
- 농림수산성(2020). 《家畜改良増殖目標(가축개량 증식 목표)》.
- 일본 축산환경정비기구(2017). 《축산분야 지구온난화완화기술 리뷰 보고서》.
- 임영아·정학균·김부영·이현정. 2018. 《지역 단위 농업환경 관리 정책 도입 방안 연구》. C2018-66. 한국농촌경제연구원.
- 정학균, 임영아, 강경수. (2020). 《경축순환농업 실태 분석과 활성화 방안》. 한국농촌경제연구원, p.21.
- 중앙 환경 심의회 지구 환경 부회 기후 변동 영향 평가 등 소위원회(2015), 《일본에 있어 서의 기후 변동에 의한 영향에 관한 평가 보고서》,
- Bonnet, C., Z. Bouamra-Mechemache, & T. Corre. 2018. “An Environmental Tax Towards More Sustainable Food: Empirical Evidence of the Consumption of Animal Products in France.” *Ecological Economics* 147 (May): 48-61
- Climate 21 Project(2020). “Transit Memo: Department of Agriculture. USDA”.
- COWI, Ecologic Institute & IEEP (2021) “Technical Guidance Handbook - setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU Report to the European Commission”, DG Climate Action, under Contract No. CLIMA/C.3/ETU/2018/007. COWI, Kongens Lyngby. 141~144 pp.
- EEA(2023). “Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2021 and inventory report 2023”.
- European Commission(2020). “EU Agricultural Outlook for Markets, Income and Environment 2020-2030. Brussels: European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development”.
- EPA(2023). “Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2021”. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 430-R-23-002.
- Froggatt, Antony & Laura Wellesley(2019). “Meat Analogues: Considerations for the EU. London: Chatham House-The Royal Institute of International Affairs”.

- Jansson, T., & S. Säll(2018). "Environmental Consumption Taxes on Animal Food Products to Mitigate Greenhouse Gas Emissions from the European Union." *Climate Change Economics* 09 (04). <https://www.worldscientific.com/doi/10.1142/S2010007818500094>.
- ICF International(2013). "Greenhouse Gas Mitigation Options and Costs for Agricultural Land and Animal Production within the United States".
- IPCC(2006), "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme", Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- IPCC(2007), "Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)]", Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 499~532 pp.
- IPCC(2014), "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlomer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 816~886 pp.
- IPCC(2019), "2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.
- Lóránt A & Allen B(2019) "Net-zero agriculture in 2050: how to get there? Report by the Institute for European Environmental Policy".
- Martineau, H., J. Wiltshire, J. Webb, K. Hart, C. Keenleyside, D. Baldock, H. Bell, & J. Watterson.(2016). "Effective Performance of Tools for Climate Action Policy - Meta-Review of Common Agricultural Policy (CAP) Mainstreaming". Report for European Commission - DG Climate Action. Brussels: Ricardo-AEA.

- Pérez Domínguez, I., T. Fellmann, P. Witzke, F. Weiss, Jordan Hristov, M. Himics, J. Barreiro-Hurlé, M. Gomez Barbero, & A. Leip.(2020). “Economic Assessment of GHG Mitigation Policy Options for EU Agriculture: A Closer Look at Mitigation Options and Regional Mitigation Costs (EcAMPA 3).” JRC Working Paper JRC120355. Joint Research Centre (Seville site). <https://econpapers.repec.org/paper/iptiptwpa/jrc120355.htm>.
- Springmann, M., C. Godfray, M. Rayner, & P. Scarborough.(2016). “Analysis and Valuation of the Health and Climate Change Cobenefits of Dietary Change.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113 (15): 4146–51.
- Westhoek, H., J.P. Lesschen, T. Rood, S. Wagner, Alessandra De Marco, D. Murphy-Bokern, A. Leip, H. van Grinsven, M. Sutton, & O. Oenema. (2014). “Food Choices, Health and Environment: Effects of Cutting Europe’s Meat and Dairy Intake.” *Global Environmental Change* 26 (May): 196–205.

〈온라인 자료〉

- 국가법령정보센터(<https://www.law.go.kr>), 가축분뇨 고체연료시설의 설치 등에 관한 고시, 검색일: 2023. 12. 11.
- 기후21프로젝트 홈페이지(<https://climate21.org/>), 검색일: 2021.09.01.
- 농림수산성(각연도). 「축산통계」 추계 자료.
- 농림수산성(2019). 가축배설물 처리상황 등 조사.
- Whitehouse 홈페이지(<https://www.whitehouse.gov/priorities/>), 검색일: 2021.09.01.
- European Commission(https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal_en), 검색일: 2023.11.21.
- European Commission(https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-pact_en), 검색일: 2023.11.21.
- European Commission(https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en), 검색일: 2023.11.21.
- European Commission(https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/european-climate-law_en), 검색일: 2023.11.21.
- European Commission(https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-competences-field-climate-action_en), 검색일: 2023.11.21.

EU LULUCF Regulation(https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en), 검색일: 2023.11.21.

European Commission(https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/carbon-farming_en), 검색일: 2023.11.21.

J크레딧 홈페이지(<https://japancredit.go.jp/about/methodology/>), 검색일: 2023.12.14.

U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Conservation Stewardship Program Fact Sheet, (https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSCconsumption/download?cid=nrcseprd1491814&ext=pdf), 검색일: 2021.09.01.

〈보도자료〉

농림수산성(2023). “축산환경을 둘러싼 정세”

일본 농연기구(2021.12.23.). “2021년 농업기술 10대 뉴스”.



주요국 축산부문 온실가스
감축정책과 시사점

한국농촌경제연구원

전라남도 나주시 빛가람로 601 T.1833-5500 F.061) 820-2211

