

한돈산업 탄소중립을 위한 배출량 분석 및 대응 방안 연구

2021.12



주관연구기관: [사] 한국축산경제연구원
공동연구기관: 한 경 대 학 교
발 주 처: [사] 대 한 한 돈 협 회

제 출 문

(사)대한한돈협회 귀중

본 보고서를 “한돈산업 탄소중립을 위한 배출량 분석 및 대응 방안 연구”에 대한 최종보고서로 제출합니다.

2021년 12월

(사)한국축산경제연구원 원장 석 희 진

한돈산업 탄소중립을 위한 배출량 분석 및 대응 방안 연구

2021. 12.



연구책임자 :	한국축산경제연구원	부원장	이상철
책임연구원 :	한경대학교	교수	윤영만
연구원 :	한국축산경제연구원	부장	천현식
연구원 :	한국축산경제연구원	연구원	이정우
연구원 :	한경대학교	연구원	김창규
연구원 :	한경대학교	연구원	이준형

요 약 보 고 서

□ 연구배경 및 목적

- 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)는 2018년 “지구온난화 1.5℃ 특별보고서”를 발표하고, 지구의 평균온도가 산업화 이전과 비교하여 2017년 약 1.0℃ 상승하였으며, 2030~2052년에는 1.5℃ 상승할 것으로 예측
- 우리나라는 2020년 12월 정부 합동으로 2050 탄소중립 추진전략을 발표하고, 최근, 2021년 10월에는 부문별 세부전략 마련을 위한 2050 탄소중립 시나리오를 발표
- 2050 탄소중립 시나리오에서 농축수산(경종, 축산, 수산) 부문 온실가스 배출량은 2050년까지 2018년 24.7 백만톤-CO₂eq. 대비 37.7% 감소한 15.4 백만톤-CO₂eq.으로 전망하였으며, 농축수산 부문 온실가스 배출량은 2050 탄소중립 달성을 위하여 2030년까지 2018년 배출량을 기준으로 30% 이상 감축하는 방안이 제시되고 있음
- 2018년 기준 농축산업 분야 온실가스 총배출량은 약 21.2 백만톤 CO₂eq.로 국가 총배출량의 약 2.9%를 차지하였으며, 부문별 배출량 비중은 벼재배 29.7%, 농경지 토양 25.8%, 가축분뇨처리 23.3%, 장내발효 21.1%, 작물잔사소각 0.1%의 순이었음
- 축산분야에서 가축의 장내발효 부문 배출량은 1990년 대비 1.5 백만톤CO₂eq.(51.0%) 증가하였으며, 가축분뇨처리 부문 배출량은 1990년 대비 2.1 백만톤 CO₂eq.(73.5%) 증가하였음
- 따라서, 농축산업 분야에서 온실가스 직접 배출량을 저감하는 것은 식량안보 유지 측면에서 매우 제한적인 상황이며, 향후 농축산업 분야 2050 탄소중립 달성을 위해서는 농축산업 유래 바이오에너지 개발 및 농업·농촌 부문 신재생에너지 보급을 통한 간접배출 부문에서의 저감 노력이 필수적인 상황임, 이와 함께 탄소중립 및 녹색산업 시장 선제대응을 위해 한돈산업에서의 탄소중립을 위한 중장기적인 전략 마련이 필요한 상황임

□ 국내 축산환경 정책 동향

- '20년 대통령 직속 농어업·농어촌 특별위원회에서는 화학비료 및 부산물 비료 사용량 증가로 인한 농경지 양분 과다문제, 높은 수입 화학비료 및 유박비료 의존도 문제, 토양양분 불균형, 경작환경·기후에 따라 토양 보전·유실에 취약문제, 농업용수의 지속적인 오염 문제로 지역자원에 기반 하는 경축순환농업 활성화 정책 추진 결의

- “지역자원기반 경축순환농업” 정책은 “농업-축산-환경이 조화되는 지속가능한 농축산업 도모”를 목표로 지역자원기반 경축순환농업의 도입, 토양 양분관리제의 단계적 도입, 가축분뇨자원의 생산-유통-이용 활성화 정책과제 추진
- 우리나라는 OECD 회원국 중 질소와 인에 대한 국가 양분수지가 높아 농경지 투입양분의 환경영향이 우려되고 있어, 하천 등으로 유출되는 양분의 오염 부하 관리가 요구되고 있으며, OECD 국가 중 질소 수지 1위, 인 수지 2위의 양분 잉여를 나타내고 있음
- 가축분뇨 및 화학비료를 감축시키기 위해 다양한 친환경농업 정책을 추진하고 있음에도 불구하고, 국가차원에서 양분수지를 제대로 관리하기 위한 정책프로그램은 아직 추진되고 있지 않음, 따라서 양분총량제도 도입을 계기로 농업부문도 본격적인 지역단위 환경용량에 부합하는 과학적이고 환경 친화적인 양분관리정책의 마련이 필요
- 환경부와 농식품부는 가축분뇨 자원화 및 적정관리를 통해 지속가능한 축산업의 발전과 환경오염을 방지를 위하여 지역단위 양분관리제도 도입을 추진 중에 있음
- 농축산부문 기후위기 대응 시나리오는 ①식량안보를 향상하고, ②온실가스 감축을 통해 농촌과 농업의 지속가능성을 높이며 ③안전하고 건강한 먹거리를 생산·소비하는 것을 목표로하며, 이를 달성하기 위해 감축 가능한 기술과 정책을 최대한 반영하여 농업 분야 탄소중립을 달성하기 위하여 2050년 온실가스 배출량 15.4백만톤 확정
- 저메탄·저단백 사료 보급 및 확대로 사육과정에서 발생하는 메탄 및 아산화질소의 발생을 감축하고, 가축분뇨에서 배출되는 메탄을 회수하여 에너지원으로 이용하는 가축분뇨 에너지화 시설의 확충으로 가축분뇨에서 발생하는 온실가스 발생량을 35% 이상 저감 추진

□ 국외 축산환경 정책 동향

- 네덜란드는 Climate Agreement(2019년)를 통해 2030년까지 1990년 대비 온실가스 배출량을 49% 감축하고 2050년까지는 95% 감축할 계획임, 이를 위해 농업 분야에서는 온실 원예의 지속 가능한 난방과 가축분뇨 처리 개선을 통한 메탄 배출 저감, 기후 친화적인 토지 이용 시범사업을 통한 토양과 작물의 탄소 저장, 기후 친화적 식품 소비 및 음식물 폐기물 감소에 대한 인센티브 제공을 추진
- 벨기에에는 ‘30년까지 ‘90년 대비 온실가스를 55% 감축하고 ‘50년까지 탄소중립을 목표로 하고 있으며, 왈롱 지역은 ‘30년까지 1990년 대비 온실가스 배출량은 95% 감축하고 ‘50년까지는 55% 감축을 목표로 하고, 플랑드르 지역은 ‘30년까지 ‘05년 대비 온실가스(non ETS) 배출량을 85% 감축하고 ‘50년까지는 85%까지 감축할 계획임. Brussels 지역은 2030년까지 2005년 대비 온실가스(non ETS) 배출량을 40% 감축하고 2050년까지는 탄소중립을 계획

- 독일은 '21년 「기후법(Climate Change Act)」 개정을 통해 '45년 탄소중립을 목표로 '30년까지 1990년 대비 온실가스를 65% 감축할 계획이며, 온실가스 감축을 위해 농업 분야에서는 아산화질소 배출 감소 및 질소 효율 향상을 통한 질소 잉여분의 감축과 가축분뇨 및 농업 부산물 발효 증대, 유기농업 확대, 축산업 온실가스 배출 저감, 에너지 효율 증대를 계획하고 있음

□ 국내 농축산업 현황

- '19년 기준 가축사육 두수는 총 292백만두이며 닭·오리가 전체의 90.2%를 차지하고 있음, 돼지 사육두수는 11,938 천두로서 전체 가축사육 두수의 4.1%를 차지하고 있음
- 양돈 농가수의 경우, 신고미만 7.7%, 신고대상 36.8%, 허가대상 55.5%를 나타내어 허가 및 신고대상 농가가 약 92.3%를 차지하였으며, 규모별 돼지사육 두수는 신고미만 4.2%, 신고대상 14.3%, 허가대상 81.4%를 나타내어 양돈산업의 대규모화 경향이 뚜렷하였음
- '19년 기준 가축분뇨 발생량은 총 153천톤/일이며 한우, 젓소, 돼지, 닭·오리 분뇨가 전체 98.4%를 차지하였으며, 사육 규모별 가축분뇨 발생량은 허가 58.3%, 신고 31.5%, 신고미만 10.2%로 조사되어 허가 및 신고 규모가 약 90%를 차지함
- '19년 기준 가축사육 농가의 95.3%가 가축분뇨 개별처리를 하고 있으며 나머지 4.7%는 위탁처리하고 있으며, 개별처리 농가 중 대부분이 가축분뇨를 퇴비화(98.8%) 처리하고 있으며, 위탁처리 농가 중 60.5%는 재활용 신고자가 처리하고, 공공처리는 35.8%, 공동처리는 2.3%임
- '19년 기준 전체 가축분뇨 처리량의 79.8%는 개별처리, 20.2%는 위탁 처리되고 있으며, 처리형태별로 보면 가축분뇨의 70.4%가 개별 퇴비화 처리되고, 재활용신고자(12.4%), 공공처리(7.1%), 정화처리(6.0%) 순이었으며, 사육 규모별로 살펴보면, 퇴비화 처리가 대부분이나 규모가 클수록(허가 규모) 재활용신고자, 공공처리에 의한 위탁처리 비중이 증가하였음
- 양돈 분뇨의 경우 자체처리 중 퇴비화 50.2%, 액비화 8.8%, 정화처리 4.8% 이었으며, 위탁처리 중 퇴비화 3.3%, 액비화 19.2%, 정화처리 12.2%로 나타나, 다른 축종과 비교하여 액비화 및 정화처리 비중이 높았음

□ 국내 농축산업 전망

- 농촌 고령화, 농지 전용 수요증가 등으로 경지면적 및 재배면적은 지속적으로 감소하는 반면, 농가 호당 경지면적 및 농가 인구당 경지면적은 증가할 것으로 전망

- '20년 경지면적은 전년 대비 0.9% 감소한 1,567천 ha로 추정되며 '30년 1,489천 ha로 연평균 0.5% 감소할 것으로 전망되고 있으며, 재배면적은 '20년 1,624천 ha에서 '30년 1,521천 ha로 연평균 0.6% 감소될 것으로 예상되며, 경지이용률은 106.9%에서 '30년 105.4%로 연평균 0.1%p 하락할 전망, 반면, 농가인구 감소로 인해 '20년 농가호당 경지면적 및 농가인구 당 경지면적은 꾸준히 증가하여 각각 연평균 0.5% 및 1.1% 증가할 전망
- '19년 우리나라 축산업 생산액은 19,771 조원(100.0%)이었으며, 가축 생산액이 15,459 조원(78.2%), 축산물 생산액이 4,311 조원(21.8%)을 차지함, 축종별 비중은 돼지 6,392(32.3%), 한우 5,112(25.9%), 닭 2,103(10.6%), 오리 1,392(7.0%), 육우 0,252(1.3%), 젓소 0,067 조원(0.3%)으로 나타남
- 우리나라 육류자급률은 '00년 85.9%에서 '19년 72.4%로 감소하였으며, '30년 70.3%로 하락할 전망, 축산물 수입량은 '00년 203 천톤에서 '19년 1,170 천톤으로 증가하였으며, '30년 1,278 천톤으로 증가할 전망임
- '18년 가축 사육두수는 한우 3,075 천두, 젓소 445 천두, 돼지 11,493 천두, 닭·오리 238,238 천수로 나타났으며, '30년 가축 사육두수는 3,696 천두, 젓소 445 천두, 돼지 12,509 천두, 닭·오리 275,345 천수로 전망
- '30년 가축 사육두수는 '18년 대비 한우 20.2%, 젓소 0.0%, 돼지 8.8%, 닭·오리 15.6% 증가하여 총 가축 사육두수는 15.3% 증가 전망, 가축분뇨 발생량은 '18년 52,029 천톤/년에서 '30년 58,325 천톤/년으로 증가하여 '18년 대비 12.1% 증가 전망

□ 축산분야 온실가스 배출계수 및 산정 방법론

- 장내발효 부문의 CH₄ 배출량은 1996 IPCC GL의 Tier 1 방법으로 산정하고 있으며, 배출량은 1996 IPCC GL의 Tier 1 기본 배출계수에 활동자료를 곱하여 산정하며, 활동자료는 축종별 사육두수의 통계조사 주기에 따라 분기별 사육두수의 연평균[젓소, 한·육우, 돼지, 닭, 오리(2011년 이후)] 또는 연간 조사된 사육두수의 해당연도 및 직전 2개년까지의 자료를 평균한 3년 평균값[염소(산양), 양(면양), 말, 사슴, 오리(1988-2010년) 등]을 적용함
- 가축분뇨 처리 부문에서 CH₄의 경우, 우리나라는 IPCC의 기후조건 분류에 따르면 한대지역(cool climate region)에 속하며, 가축분뇨처리 부문의 CH₄ 배출계수는 1996 IPCC GL의 각 지역별 Tier 1 배출계수에 대한 설명을 참조하여 국가 현실에 적합한 배출계수를 선택
- 장내발효 부문에서 계산한 식과 동일하게 Tier 1 방법론을 이용하여 가축 사육두수와 배출계수의 곱으로 배출량을 산정하고 있음, 가축분뇨처리 부문의 CH₄ 배출량을 산정하기 위해 필요한 활동자료는 가축 사육두수이며 장내 발효 부문의 CH₄ 배출량 산정을 위한 가축 사육두수와 동일한 자료를 이용하고 있음

- N₂O의 경우, 가축분뇨처리 중 배출되는 N₂O 배출량은 Tier 1 방법을 이용하여 산정하며, 가축분뇨처리 시설의 CH₄ 배출량과는 달리, N₂O 배출량은 축종별 가축 분뇨처리시설 이용비율, 축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량, 가축분뇨처리시설의 N₂O 배출계수를 이용하여 산정하고 있음

□ 축산분야 국가 온실가스 배출계수 검토

- “1996 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인(IPCC, 1996)”에서 규정하는 온실가스 인벤토리 방법론에는 대부분의 국가들이 일반적으로 적용할 수 있는 Tier 1의 방법론을 제공함과 동시에 국가 고유의 농축산업 환경 특성을 반영하여, 보다 정확한 온실가스 배출량을 산정토록 하는 Tier 2의 방법론을 제공하고 있음
- 일반적으로 Tier 1의 방법론은 단순한 산출식으로 이루어져 있어 온실가스 배출량의 산정이 용이한 특성이 있으나, Tier 1 방법론에는 국가별 고유한 농업특성이 반영되지 않기 때문에 국가 고유의 농업 활동 특성에 따라 부문별 온실가스 배출량이 과다 또는 과소하게 산출될 수 있음
- “1996 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인”에서는 축산분야의 가축분뇨 장내발효 부문의 경우 젖소, 소의 축종에 대해서는 Tier 2의 방법론을 추천하고 있으며, 양, 오리, 말, 돼지 등의 축종에 대해서는 Tier 1의 방법론을 추천하고 있음
- “2006 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인”의 경우, 축산분야의 가축분뇨 장내발효 부문의 경우 젖소, 소의 축종에 대해서는 Tier 2 또는 Tier 3의 방법론을 추천하고 있으며, 버팔로, 양은 Tier 2 또는 Tier 2의 방법론을 추천하고, 오리, 말, 돼지 등의 축종에 대해서는 Tier 1의 방법론을 추천하고 있음
- 우리나라 온실가스 인벤토리 작성에 IPCC GL(IPCC, 1996)가 아닌, IPCC GL(IPCC, 2006)을 적용하는 경우, 젖소, 한·육우, 양돈산업 전반에서 온실가스 배출량의 증가가 예상됨, Tier 1의 방법론을 적용하는 우리나라에서는 향후 IPCC GL(IPCC, 2006)의 배출계수의 적용으로 상당한 온실가스 배출량 증가가 예상되며, 우리나라 국가 고유 배출계수에 따르는 Tier 2 또는 Tier 3 방법론의 개발이 시급한 상황임

□ 국내 온실가스 인벤토리 배출계수 연구 사례 검토

- 국내에서는 축산부문 온실가스 인벤토리와 관련하여 “축산부문 온실가스 배출계수 개발 및 배출량 평가(국립축산과학원, 2014) 등 다수의 연구가 진행된 바 있음
- 우리나라 국가 고유 온실가스 배출계수 관련 연구는 주로 가축분뇨 관리 분야를 중심으로 연구가 진행되었으며, 대부분의 연구결과는 단기적인 연구 기간과 현장의 활동 다양성으로 인하여 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론에 의한 배출계수와의 직접적인 비교가 어려운 상황임

- 따라서, 축산분야 온실가스 배출량의 합리적인 산정법 마련 및 국가 고유 배출계수 마련을 통한 Tier 2 또는 Tier 3 방법론의 개발을 위한 체계적인 계획과 접근이 요구되는 상황임
- 또한, 가축분뇨 관리 부문 중심의 연구에서 가축 장내발효 부문, 가축분뇨 직접 및 간접배출 부문의 전반적인 배출계수 마련 및 방법론의 개발이 요구되고 있음

□ 한돈산업 온실가스 배출 저감 방안

- 2050 탄소중립 시나리오 세부 산출근거(환경부, 2021)에서는 2050 농축산업 분야 탄소 중립을 위하여 주요한 감축 수단으로 농축산에너지 전환, 영농법 개선, 가축 관리, 식생활 개선, 생산성 향상, 대체가공식품 증가의 수단을 강구하고 있음
- 농식품부는 2050 농식품 탄소중립 추진 전략(안)(농식품부, 2021)을 준비하고 있으며, 농축산업의 온실가스 배출 전망 및 여건과 관련하여 현재 추세로 농업생산이 지속되는 경우, 경지면적은 줄어들고 가축사육은 증가할 것으로 전망하였으나, 기후민감 산업인 농축산업의 특성상 식량안보 및 기후변화 정도에 따라 온실가스 배출량의 변화가 불가피한 것으로 전망
- 농업부문 온실가스 배출량 감축은 기후민감 산업인 농축산업의 특성을 고려할 때, 기후변화로 인한 농업생산성 피해 최소화와 온실가스 배출량 저감을 동시에 달성할 필요가 있음
- 따라서, 양돈산업의 2050 탄소중립 대응 감축 수단은 가축의 생산성 향상과 온실가스 감축 효과를 동시에 고려할 때, 가장 우선시 되는 감축 수단은 생산성 향상과 고효율 에너지설비 분야로 판단됨
- 다음으로는 축산분야 온실가스 감축 효과 측면에서 가축분뇨 처리방법개선, 질소 질 비료 절감, 바이오차 분야가 중요 수단으로 추진될 필요가 있으며, 추가적인 수단으로 저탄소 가축관리시스템 구축, 농기계 전기·수소 전환이 있음

〈표 1〉 양돈산업 2050 탄소중립을 위한 감축수단 중요도 검토

우선순위	구분	양돈산업 영향 ¹⁾		수단 검토
	감축수단	탄소중립	생산성	
1	생산성 향상	○	◎	- MSY 향상(스마트축사 보급 및 정밀사육 추진)
	고효율 에너지설비	△	△	- 돈사 냉·난방에너지 전환(신재생에너지, 히트펌프·폐열 이용 등)
2	가축분뇨 처리방법 개선	◎	▽	- 비농업계(에너지화, 정화처리 등) 이용 및 전환
	질소질 비료 사용 절감	○	×	- 양돈 분뇨 퇴·액비 자원 적정 순환(양분 관리 기반 경축순환농업 추진)
	바이오차	△	×	- 양돈분뇨 이용 바이오차 제조 및 농지 환원
3	저탄소 가축관리시스템 구축	▽	▽	- 저단백 사료 공급
	농기계 전기·수소 전환	▽	×	- 운송차량 등 에너지 전환

주1) 영향 및 효과 정도 : ◎ 매우 큼, ○ 큼, △ 보통, ▽ 작음, × 없음.

(자료) 2050 탄소중립 시나리오 세부 산출근거(환경부, 2021)에서 재정리.

□ 온실가스 배출 저감 효과 분석

- '19년도 양분수지 현황을 기준으로 지역단위 적정양분관리를 위한 가축분뇨 저감 목표를 설정하고, 이에 해당하는 가축분뇨 양분 저감시설로 가축분뇨 정화처리시설과 고체연료화 시설의 설치 수요를 분석함
- 양분관리를 위한 양분저감 시설로 가축분뇨 공공처리 분야 정화처리(바이오가스) (개소당 200톤/일 시설용량 기준), 고체연료화 시설은 약 139 개소(개소당 100톤/일 시설용량 기준)가 요구되는 것으로 분석됨
- 경축순환농업을 위한 가축분뇨 자원화 시설은 기 수립된 바 있는 농식품부 “중장기 가축분뇨 자원화 대책(농식품부, 2013)”에 근거하여 가축분뇨 공동자원화 시설 설치는 액비화(바이오가스), 퇴비화 시설 300개소로 설정함
- 지역단위 양분관리를 통한 양분 투입 저감에 따른 온실가스 발생 저감은 화학비료 생산 저감 분야에서 231,738 톤-CO₂eq./년, 경축순환농업에 따른 농경지 비료 사용 저감에 따른 직접 배출량 저감에서 331,936 톤-CO₂eq./년의 온실가스 저감 효과가 예상됨

〈표 2〉 축산분야 탄소중립을 위한 온실가스 감축 대응 효과

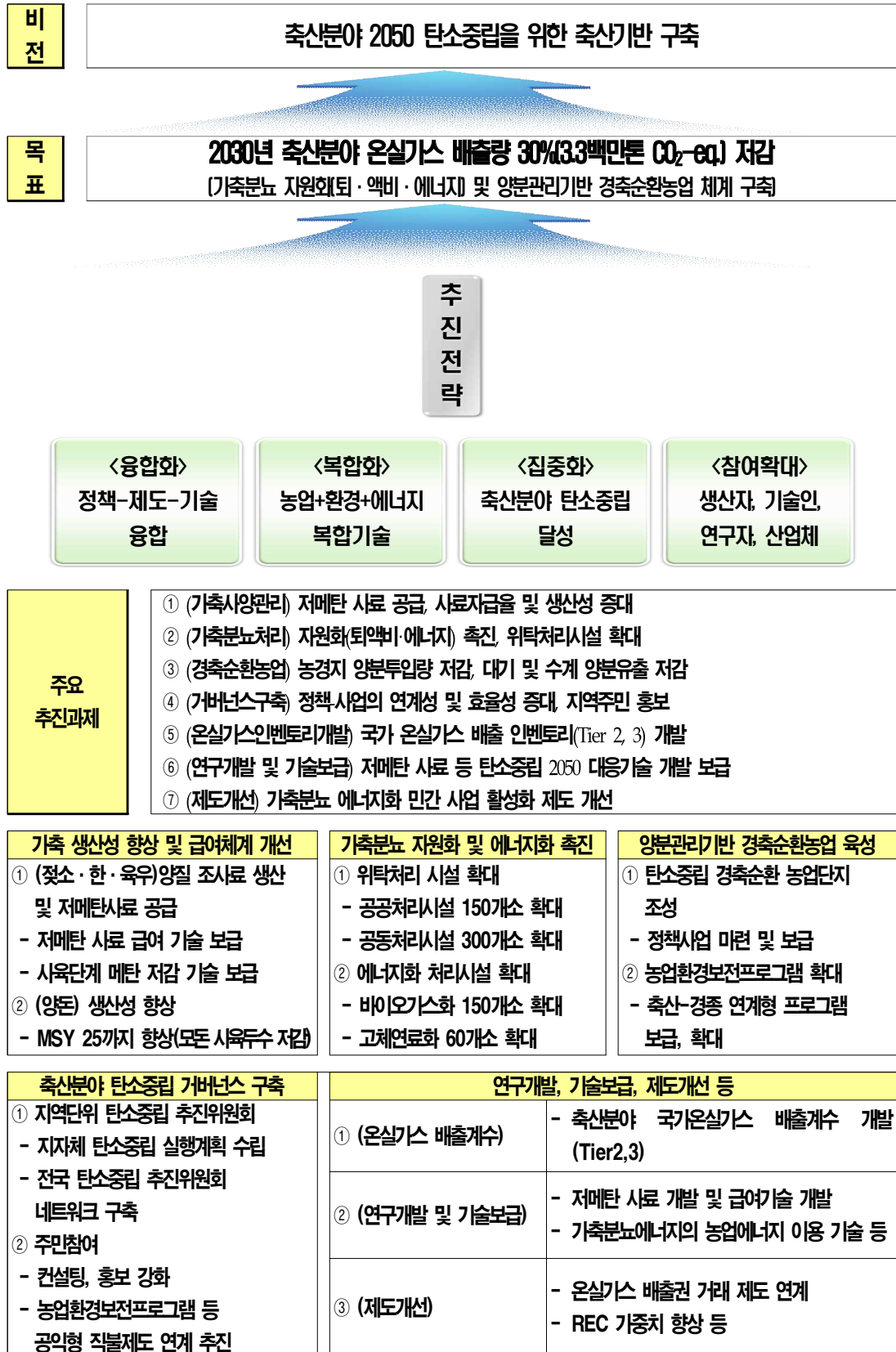
번호	감축수단		온실가스 감축량		한돈분야 기여율(%)
			축산분야	한돈분야	
			(톤-CO ₂ eq./년)		
1	생산성 향상		578,980	578,980	100.0
2	고효율에너지 설비		7,000	2,800	40.0
3	가축분뇨 처리시설	양분저감시설	839,222	339,885	40.5
		경축순환시설	637,200	254,880	40.0
		소계	1,476,422	594,998	40.3
4	질소질비료 사용 저감	경축순환농업 (화학비료 대체)	1,143,887	571,944	50.0
		화학비료 생산 저감	231,738	168,010	72.5
5	바이오차	탄소격리 (토양개량제)	58,000	5,800	10.0
6	저탄소 가축관리 시스템 구축	저단백 사료 공급	630,000	504,000	80.0
		저메탄 사료 공급	121,000	0	0.0
7	농기계 전기·수소 전환	청정에너지 전환	17,500	5,250	30.0
계			4,264,527	2,431,548	57.0

- 또한, 경축순환농업을 통한 비료사용량 저감으로 인해 대기로 휘산되는 암모니아 등의 발생 저감을 통한 간접배출량 저감효과가 811,924 톤-CO₂eq./년으로 추산되었으며, 따라서 양분관리 기반 경축순환농업 부문에서 총 1,375,625 톤-CO₂eq./년의 온실가스 감축효과가 기대됨
- 가축분뇨 양분저감 시설 839,222 톤-CO₂eq./년, 경축순환농업시설 637,200 톤-CO₂eq./년의 온실가스 저감효과가 예상되며, 가축분뇨 처리 및 이용 시설 분야는 총 1,476,422 톤-CO₂eq./년의 온실가스 저감 효과가 기대됨
- 축산분야 탄소중립 방안으로 4,265 천톤-CO₂eq./년의 온실가스 저감효과가 기대됨, 축산분야 온실가스 감축 효과에 대한 한돈산업 분야의 기여율은 양돈슬러리를 가축분뇨 공공처리시설, 가축분뇨 액비화 시설 등에 유입 처리하는 것으로 가정하여 산출하였을 때, 가축분뇨 처리시설 분야 약 40.3%, 화학비료 생산저감 분야 72.5%, 화학비료 대체효과 50.0%로 추정되었으며, 축산분야 탄소중립을 위한 온실가스 감축량에 대해서는 약 57.0%의 기여율을 나타내었음

□ 한돈산업 탄소중립 이행 전략

- 축산분야 탄소중립을 위한 온실가스 감축 방안 분석에서 한돈산업이 축산 분야 탄소중립에서 차지하는 비중은 약 43.7%로 산출되어, 탄소 중립에서 한돈산업이 차지하는 역할은 매우 큰 것으로 예상됨
- 이러한 결과는 축산분야 탄소중립을 위한 온실가스 감축 방안이 가축분뇨 처리 부문을 중심으로 하는 데서 기인하고 있음, 특히, 향후 축산분야 탄소중립에서 가축분뇨 고체연료, 정화처리, 바이오가스화 시설의 역할이 강조되는 상황에서 양돈산업이 온실가스 감축 분야에 미치는 영향은 더욱 증가할 것으로 예상됨
- 따라서, 한돈산업은 수세적인 대응보다는 공세적인 대응을 통해, 2050 탄소중립에서 새로운 도약 및 발전의 기회를 마련하는 방향으로 이행전략을 수립할 필요가 있음
- 또한, 한돈산업의 탄소중립 이행은 한돈산업에만 한정하는 것이 아니라 축산분야 전반의 탄소중립 이행전략 안에서 종합적으로 계획되어야 하며, 한돈산업의 탄소중립 역할론을 정립하여 한돈산업 발전을 위한 과감한 투자와 이를 통한 신산업 창출의 기회를 마련할 필요가 있음
- 본 연구에서는 “2030년 축산분야 온실가스 배출량 30%(3.0백만톤 CO₂-eq.) 저감”을 목표로 하였으며, 이의 이행을 위한 추진 전략은 ① 정책+제도+기술의 융합화, ② 농업+환경+에너지 기술 복합화, ③ 축산분야 탄소중립에 집중화, ④ 생산자, 기술인, 연구자, 산업체의 참여확대를 4대 전략으로 함
- 이를 위한 주요 추진과제는 ①(가축사양관리) 저메탄 사료 공급, 사료자급율 및 생산성 증대, ②(가축분뇨처리) 자원화(퇴액비·에너지) 촉진, 위탁처리시설 확대, ③(경축순환농업) 농경지 양분투입량 저감, 대기 및 수계 양분유출 저감, ④(거버넌스구축) 정책-사업의 연계성 및 효율성 증대, 지역주민 홍보, ⑤(온실가스인벤토리개발) 국가 온실가스 배출 인벤토리(Tier 2, 3) 개발, ⑥ (연구개발 및 기술보급) 저메탄 사료 등 탄소중립 2050 대응기술 개발 보급, ⑦(제도개선) 가축분뇨 에너지화 민간사업 활성화 제도개선의 과제를 도출함

〈표 3〉 축산분야 2050 탄소중립을 위한 축산기반 구축 목표 및 과제



□ 한돈산업 탄소중립 이행 전략 및 제언

○ 식량안보 및 식량자급률 강화

- 기후위기는 기후변화와 기후 양극화로 인하여 농업 기상의 변화, 가축 스트레스 증가 등으로 경종과 축산에서의 농업 생산성 저하 영향을 동반하고 있음, 따라서 장기적으로 국가의 안정적인 식량 생산 기반을 구축하고, 식량자급률의 유지 및 증대를 위한 지속적인 노력이 필요함
- 따라서 농축산업 부문의 2050 탄소중립에 있어 안정적인 식량안보 달성을 위한 노력이 함께 수반되어야 하며, 이를 위해서는 식량 부문별(경종, 축산) 식량자급률의 유지 및 달성 목표의 수립이 필요함

○ 양분관리 기반 경축순환농업 체계 구축

- 농축산업 부문의 2050 탄소중립은 단편적으로 영농기술 및 처리시설 보급을 통한 온실가스 배출량 저감 노력과 함께, 국내 농업환경에서의 양분 순환 체계를 안정화시키고, 지속 가능한 축산업 발전을 위한 방편으로 가축분뇨 퇴·액비의 활용을 촉진할 필요가 있음
- 즉, 지역의 양분수지 분석결과에 기초하여 축산과 경종의 합리적인 양분 순환 체계를 계획하고 축산에서 기인하는 퇴·액비의 적정 순환을 유도함과 동시에 화학비료의 사용량을 획기적으로 저감하여 가축분뇨 퇴·액비의 활용 촉진을 유도할 필요가 있음

○ 가축분뇨 에너지화 민간 산업 활성화

- 가축분뇨 에너지화 시설 등의 보급으로 가축분뇨 처리 부문에서 저감되는 온실가스는 대부분 농축산업 부문의 직접 배출량을 저감하는 것이 아니라, 화석연료 대체 등 간접 배출량을 저감하는 특성이 있음, 따라서 가축분뇨 에너지화 시설 등에서 기인하는 온실가스 간접 배출량의 산정 및 집계를 위해서는 신재생에너지공급인증서 제도, 온실가스 배출권거래제 등과 연계가 요구되고 있으며, 이를 통한 에너지 부문의 간접 배출량 저감량 통계체계의 구축이 필요함

○ 국가 고유 온실가스 배출량 산정 방법론 선진화

- 향후 축산분야 2050 탄소중립을 위한 핵심적인 대응 방안으로 가축분뇨 처리시설 확충 및 에너지화 시설 확대가 예상되는 상황에서 가축분뇨 처리분야 온실가스 저감 노력의 과학적인 평가 및 온실가스 저감 효과 반영을 위해 국가 고유 배출계수를 활용하는 Tier 2 또는 Tier 3 방법론의 마련이 요구됨

목 차

제 1 장 연구배경 및 목적	3
1. 연구배경	3
2. 연구 목표 및 내용	5
가. 연구목표	5
나. 연구내용	5
제 2 장 국내외 정책 현황	9
1. 국내 축산환경 정책 동향	9
가. 경축순환농업	9
나. 양분관리제도	10
다. 온실가스 감축	11
라. 2050 탄소중립 시나리오 확정	13
2. 국외 축산환경 정책 동향	16
가. 양분관리	16
나. 온실가스 감축	20
제 3 장 국내 농축산업 현황	26
1. 가축사육 현황	26
가. 가축사육 현황	26
나. 가축사육 두수 현황	26
2. 가축분뇨 관리 현황	28
가. 가축분뇨 발생 현황	28
나. 가축분뇨 관리 및 처리 현황	29
3. 농축산업 현황 및 전망	31
가. 농업 현황	31
나. 축산업 현황	32
4. 양분수지 현황	36
가. 지역단위(시/도) 양분수지 현황	36
나. 지역단위(시/도) 양분수지 관리 목표	42

제 4 장 국내 축산업 온실가스 배출량	47
1. 축산분야 온실가스 배출 현황	47
2. 축산분야 온실가스 배출계수 및 산정 방법론	49
가. 장내발효	49
나. 가축분뇨 처리	50
3. 축산분야 국가 온실가스 배출계수 검토	55
가. 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인	55
나. 국내 온실가스 인벤토리 배출계수 연구 사례 검토	77
 제 5 장 한돈산업 온실가스 배출 저감 방안	 82
1. 탄소중립 관련 대책	82
가. 2050 탄소중립 시나리오	82
나. 2050 농식품 탄소중립 추진전략(안) 검토	83
2. 양돈산업 탄소중립 대응수단	85
가. 기존 대책의 대응수단 검토	85
나. 양돈산업 탄소중립 대응수단 세부검토	88
 제 6 장 한돈산업 온실가스 배출 저감효과 분석	 106
1. 분석방법 및 기준	106
가. 분석방법	106
나. 산정 기준	107
다. 축산분야 온실가스 감축 효과	109
 제 7 장 한돈산업 탄소중립 이행 전략 및 제언	 116
1. 이행전략	116
2. 제언	118
 참고 문헌	 123

표 목 차

<표 I-1> 연구내용	5
<표 II-1> 지역자원기반 경축순환농업 활성화 정책 주요과제	9
<표 II-2> 지역단위 양분관리제도 도입 경과	10
<표 II-3> 신기후체제 이후 축산분야 감축방안과 정량평가 지표(~2030년)	12
<표 II-4> 농축수산 2050 비전 및 전략	13
<표 II-5> 농축수산 부문 2050 탄소중립 달성 목표	14
<표 II-6> 네덜란드 농업부문 온실가스 배출량(2019)	20
<표 II-7> 벨기에 농업부문 온실가스 배출량(2019)	21
<표 II-8> 독일 농업부문 온실가스 배출량(2019)	22
<표 III-1> 가축사육 농가수 현황(2019년)	26
<표 III-2> 가축사육 두수 현황(2019년)	26
<표 III-3> 규모별 농가수 및 가축사육 두수 현황(2019년)	27
<표 III-4> 축종별 가축분뇨 발생 현황(2019년)	28
<표 III-5> 규모별 가축분뇨 발생 현황(2019년)	29
<표 III-6> 가축분뇨 처리형태별 농가수 현황(2019년)	30
<표 III-7> 가축분뇨 관리 및 처리 현황(2019년)	30
<표 III-8> 축종별 가축분뇨 관리 및 처리 현황(2019년)	31
<표 III-9> 농경지 면적 및 경지이용률 현황 및 전망	32
<표 III-10> 축산업 생산액	33
<표 III-11> 축산업 동향 및 전망	34
<표 III-12> 가축사육 두수 및 가축분뇨 발생 전망	35
<표 III-13> 지역단위 양분유입 현황(질소)	38
<표 III-14> 지역단위 양분유출 현황(질소)	39
<표 III-15> 지역단위 양분유입 현황(인)	40
<표 III-16> 지역단위 양분유출 현황(인)	41
<표 III-17> 지역단위 양분수지 개선 목표 및 효과	43
<표 IV-1> 축산분야 온실가스 배출 현황	48
<표 IV-2> 장내발효 부문 축종별 CH ₄ 배출계수	50
<표 IV-3> 가축분뇨처리 부문 축종별 CH ₄ 배출계수	52
<표 IV-4> 축종별 분뇨 내 연평균 질소량	53

<표 IV-5> 가축분뇨처리시설별 N ₂ O 배출계수	53
<표 IV-6> 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율	54
<표 IV-7> 축산분야 온실가스 인벤토리 방법론 추천 기준(1996 IPCC GL)	56
<표 IV-8> 축산분야 온실가스 배출 인벤토리 방법론 추천 기준(2006 IPCC GL)	57
<표 IV-9> 기후 지역별 축산업 특성	62
<표 IV-10> 장내발효 부문 온실가스 배출계수(Tier 1, 1996 IPCC GL)	63
<표 IV-11> 소의 장내발효 부문 온실가스 배출계수(Tier 1, 1996 IPCC GL)	63
<표 IV-12> 장내발효 부문 온실가스 배출계수(Tier 1, 2006 IPCC GL)	64
<표 IV-13> 소의 장내발효 부문 온실가스 배출계수(Tier 1, 2006 IPCC GL)	64
<표 IV-14> 기후 지역별 가축분뇨 관리 특성	66
<표 IV-15> 가축분뇨 관리 부문 온실가스 배출계수(Tier 1, 1996 IPCC GL)	67
<표 IV-16> 가축분뇨 관리 부문 온실가스 배출계수(Tier 1, 2006 IPCC GL)	68
<표 IV-17> 기후지역별 축종별 질소(N) 배출 계수(1996 IPCC GL)	72
<표 IV-18> 가축분뇨처리시설별 N ₂ O 배출계수	72
<표 IV-19> 기후지역별 축종별 질소(N) 배출 계수(2006 IPCC GL)	73
<표 IV-20> 가축분뇨처리시설별 N ₂ O 배출계수	74
<표 IV-21> 가축분뇨 관리 시스템의 정의	75
<표 V-1> 2050 탄소중립 시나리오에서 농축산 부문 감축수단 세부사항	82
<표 V-2> 2050 농식품 탄소중립 추진전략(안) 로드맵	84
<표 V-3> 2050 탄소중립 시나리오 양돈산업 영향분야 검토	86
<표 V-4> 2050 농식품 탄소중립 추진전략(안) 로드맵 양돈산업 영향분야 검토	87
<표 V-5> 양돈산업 2050 탄소중립을 위한 감축수단 중요도 검토	88
<표 V-6> 국가별 양돈 생산실적 비교	90
<표 V-7> 양돈 관련 스마트팜 기술개발 사례	91
<표 V-8> 양돈 사육시설 고효율 에너지 시스템	92
<표 V-9> 양돈분뇨 처리 방법 개요	93
<표 V-10> 환경부 가축분뇨공공처리시설 처리방식별·규모별 표준단가	94
<표 V-11> 농식품부 가축분뇨 공동자원화시설 사업비1) 기준	94
<표 V-12> 바이오차 관련 기술개발 사례	95
<표 V-13> 바이오차 농경지 이용 관련 기술개발 사례	97
<표 V-14> 양돈 사료 중 조단백질 함량 기준 현황	98
<표 V-15> 농식품부 농업환경보전프로그램 사업의 세부활동 내용	102
<표 VI-1> 축산분야 탄소중립 대응 온실가스 수단	107

<표 VI-2> 축산분야 온실가스 감축 효과 산출기준	108
<표 VI-3> 양분관리 기반 가축분뇨 처리 및 이용 시설 계획	109
<표 VI-4> 양분관리 기반 경축순환농업의 온실가스 감축효과	110
<표 VI-5> 양분관리기반 가축분뇨 처리시설 계획의 온실가스 감축효과	111
<표 VI-6> 축산분야 탄소중립을 위한 온실가스 감축 대응 효과	112
<표 VII-1> 축산분야 2050 탄소중립을 위한 축산기반 구축 목표 및 과제	117

그 림 목 차

<그림 II-1> 2018년 대비 2050 온실가스 배출량	14
<그림 IV-1> 장내발효 부문 온실가스 배출량 방법론 결정 체계	58
<그림 IV-2> 가축분뇨 처리 부문 CH ₄ 배출량 방법론 결정 체계	59
<그림 IV-3> 가축분뇨 처리 부문 N ₂ O 배출량 방법론 결정 체계	60
<그림 V-1> 양돈 스마트팜 개념도	89
<그림 V-2> 경축순환농업 개념 변화	96
<그림 V-3> 분산형 에너지 자립형 마을 개념도	99
<그림 V-4> 이중 산업간의 그랜드 컨소시엄의 개념	100
<그림 V-5> 철강산업 그랜드 컨소시엄 모델	101
<그림 V-6> 전국 농업환경보전프로그램 사업대상지 현황(25개소)	102
<그림 VI-1> 한돈산업 분야 온실가스 배출 저감 방안 도출 방법	106

제1장

연구배경 및 연구내용

제1장 연구배경 및 목적

1. 연구배경

- 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)는 2018년 “지구온난화 1.5℃ 특별 보고서”를 발표하고, 지구의 평균온도가 산업화 이전과 비교하여 2017년 약 1.0℃ 상승하였으며, 2030~2052년에는 1.5℃ 상승할 것으로 예측
- 그러나, 최근 2021년 “제6차 평가보고서”에서는 1.5℃ 상승 시점을 10년가량 앞당긴 2021~2040년으로 예측하고, 국제사회의 선제적인 대응을 요구, 이제 기후변화의 위기는 적응(Adaptation)과 완화(Mitigation)의 기술적, 제도적 대응을 넘어 시민사회뿐만 아니라 경제, 산업, 금융 전반으로 확대되고 있으며, 전세계적으로 ESG(환경(Environment), 사회(Social), 지배구조(Governance))는 기업의 새로운 경영가치로 확장되고 있음
- 국제사회는 기후변화 문제를 해결하기 위해 1992년 유엔기후변화협약(UNFCCC)을 채택하였고, 기후변화협약의 구체적인 이행을 위해 1997년 12월 교토의정서(Kyoto protocol)를 채택, 우리나라는 1998년 9월 교토의정서의 온실가스 의무감축국으로 가입하였음
- 이후 국제사회는 과학적인 기후변화 예측결과와 이에 근거한 지속적인 논의의 통째 2050년까지 전지구적인 탄소중립의 필요성을 인식하면서 세계 최초로 스웨덴이 2017년에 2045 탄소중립을 선언하였으며, 세계 주요 선진국들도 공식적으로 2050 탄소중립을 선언하고 있음
- 우리나라는 2020년 12월 정부 합동으로 2050 탄소중립 추진전략을 발표하고, 최근, 2021년 10월에는 부문별 세부전략 마련을 위한 2050 탄소중립 시나리오를 발표
- 2050 탄소중립 시나리오에서 농축수산(경종, 축산, 수산) 부문 온실가스 배출량은 2050년까지 2018년 24.7 백만톤-CO₂eq. 대비 37.7% 감소한 15.4 백만톤-CO₂eq.으로 전망하였으며, 농축수산 부문 온실가스 배출량은 2050 탄소중립의 달성을 위하여 2030년까지 2018년 배출량을 기준으로 30% 이상 감축하는 방안이 제시되고 있음
- 2018년 기준 농축산업 분야 온실가스 총배출량은 약 21.2 백만톤 CO₂eq.으로 국가 총배출량의 약 2.9%를 차지하였으며, 부문별 배출량 비중은 벼재배 29.7%, 농경지토양 25.8%, 가축분뇨처리 23.3%, 장내발효 21.1%, 작물잔사소각 0.1%의 순이었음

- 축산분야에서 가축의 장내발효 부문 배출량은 1990년 대비 1.5 백만톤 CO₂eq.(51.0%) 증가하였으며, 가축분뇨처리 부문 배출량은 1990년 대비 2.1 백만톤 CO₂eq.(73.5%) 증가하였음
- 한편, 경종분야에서 벼재배 부문 배출량은 1990년 대비 4.2 백만톤 CO₂eq.(40.2%) 감소하였으며, 작물잔사소각 배출량은 1990년 대비 0.01 백만톤 CO₂eq.(45.5%) 감소하였음
- 전문가들은 축산분야에서 1990년 대비 온실가스 배출량이 증가한 원인은 육류 소비 증가에 따른 사육두수의 증가에서 기인하였으며, 경종분야는 벼재배 면적 감소의 영향으로 배출량이 감소한 것으로 보고 있으나, 실질적인 경종분야 온실가스 배출량 감소는 벼농사에서의 물관리 개선을 통한 메탄(CH₄) 발생 저감, 밭농사에서 주요 작물(감자, 고추, 콩, 봄배추, 가을배추 등)의 아산화질소(N₂O) 발생 저감과 관련한 국가고유배출계수(Tier2) 마련을 통한 성과로 파악됨
- 이와 같이, 2018년 국가 온실가스 배출현황을 보면, 주요한 온실가스 배출 부분이 국가 식량생산 기반에 해당하는 벼재배, 농경지토양, 가축분뇨처리, 장내발효 등으로 이루어져 있음
- 따라서, 농축산업 분야에서 온실가스 직접 배출량을 저감하는 것은 식량안보 유지 측면에서 매우 제한적인 상황이며, 향후 농축산업 분야 2050 탄소중립 달성을 위해서는 농축산업 유래 바이오에너지 개발 및 농업·농촌 부문 신재생에너지 보급을 통한 간접배출 부문에서의 저감 노력이 필수적인 상황임, 이와 함께 탄소중립 및 녹색산업 시장 선제대응을 위해 한돈산업에서의 탄소중립을 위한 중장기적인 전략 마련이 필요한 상황임

2. 연구 목표 및 내용

가. 연구목표

- 탄소중립 및 녹색산업 시장 선제적 대응을 위한 한돈산업에서의 탄소중립을 위한 중장기적인 전략 마련

나. 연구내용

- 본 연구의 내용은 <표 I-1>과 같음

<표 I-1> 연구내용

과업내용	연구방법
국내 축산업 탄소(온실가스) 배출량 조사·분석	- 국가 온실가스 인벤토리 보고서*를 검토·분석하여 실질 축산업 탄소(온실가스) 배출량 산출
가축분뇨 처리시설 및 공정에 따른 탄소(온실가스) 배출량 조사·분석	- 가축분뇨처리시설의 종류별 국내 온실가스 배출계수가 없어 IPCC* Guideline(1996) 배출계수를 활용하여 산출, 국내 현황 파악 하기 어려워 가축분뇨 처리시설 및 공정에 따른 탄소(온실가스) 배출량 국내·외 연구 조사·분석하여 국내 배출량 재산출 *IPCC(Intergovernmental Panel of Climate Change) : 기후변화에 관한 정부간 협의체
한돈산업 탄소(온실가스) 배출 저감 방안 제시	- 생산단계 농장 실천 저감 방안 등 단계·분야별 적용에 따른 저감 시나리오 제시(탄소 저감 예측치 포함)
가축 분뇨 활용시 탄소(온실가스) 흡수량 조사·분석	- 가축 분뇨 바이오가스화 등 연료화 시 탄소(온실가스) 저감 효과 분석(탄소 저감 예측치 포함) · 가축 분뇨 바이오가스, 고체연료 사용시 화석연료 대체 탄소 저감량 분석 · 바이오가스 플랜트 농업 부산물 등 활용시 농업잔사소각 대체 등 탄소 저감량 분석
한돈산업 탄소중립 이행 전략 수립 및 정책제언 등	- 한돈산업 탄소중립 중장기 전략 수립 및 방향 제시 · 한돈산업 탄소중립 중장기 전략 수립 및 사업 방향 제시 · 환경·경제적 측면의 기대효과 분석(탄소 저감 예측치 포함) - 한돈산업 탄소중립 이행을 위한 정책제언 · 한돈산업 탄소중립 중장기 전략 수립을 위한 법·제도 혁신, 기반 조성 등 관련 산업 혁신생태계 구축방안을 위한 정책제언

제2장

국내외 정책 현황

제2장 국내외 정책 현황

1. 국내 축산환경 정책 동향

가. 경축순환농업

- '20년 대통령 직속 농어업·농어촌 특별위원회에서는 화학비료 및 부산물 비료 사용량 증가로 인한 농경지 양분과다 문제, 높은 수입 화학비료 및 유박비료 의존도 문제, 토양양분 불균형, 경작환경·기후에 따라 토양 보전·유실에 취약 문제, 농업용수의 지속적인 오염 문제로 지역자원에 기반하는 경축순환농업 활성화 정책 추진 결의
- “지역자원기반 경축순환농업” 정책은 “농업-축산-환경이 조화되는 지속가능한 농축산업 도모”를 목표로 지역자원기반 경축순환농업의 도입, 토양 양분 관리제의 단계적 도입, 가축분뇨자원의 생산-유통-이용 활성화 정책과제 추진

〈표 II-1〉 지역자원기반 경축순환농업 활성화 정책 주요과제

정책방향	추진과제
지역자원기반 경축순환농업의 도입	<ul style="list-style-type: none"> - 모델 개발 및 시범단지 운영 - 공익적 기여 행위에 대한 직불제 시행 - 추진 주체별 역할혁신(농가, 중간조직, 정부) - 교육·홍보
토양 양분관리제의 단계적 도입	<ul style="list-style-type: none"> - 토양양분에 대한 과학적 기준 설정 - 토양양분관리 시스템 구축 - 토양양분관리위원회 및 전담기관 구성 - 화학비료 감축중심, 환경 허용범위 내 적정사육두수(가축분뇨발생량) 관리
가축분뇨자원의 생산-유통-이용 활성화	<ul style="list-style-type: none"> - 퇴·액비 품질 제고 및 표시제 강화 - 사용자 편의성 강화 등 이용확대 - 축산냄새 저감방안 마련 - 바이오(가축분뇨)에너지사업 활성화

자료) 지역자원기반 경축순환농업 활성화 방안(대통령 직속 농어업·농어촌 특별위원회, 2019)

나. 양분관리제도

- 우리나라는 OECD 회원국 중 질소와 인에 대한 국가 양분수지가 높아 농경지 투입양분의 환경영향이 우려되고 있어, 하천 등으로 유출되는 양분의 오염부하 관리가 요구되고 있으며, OECD 국가 중 질소 수지 1위, 인 수지 2위의 양분 잉여를 나타내고 있음

〈표 II-2〉 지역단위 양분관리제도 도입 경과

시기	근거	경과	수행기관
‘04.11	가축분뇨 관리·이용 대책	- 가축분뇨 양분부하 경감을 위하여 농경지의 비옥도를 고려한 양분총량관리정책의 도입을 시사	환경부·농식품부
‘05.12	지역단위 양분총량제도 도입 세부시행방안 연구	- 농경지 과잉양분을 효과적으로 관리하기 위한 양분총량관리제도 도입방안을 검토 - 양분부하 관리에 의한 양분특별관리 지역(I, II) 구분 및 관리 방안 제시	농촌경제연구원
‘13.05	중장기 가축분뇨 자원화 대책	- 가축분뇨 양분부하 경감을 위하여 ‘20년까지 단계적 양분총량관리제도 도입 계획 수립	농식품부
‘15.03	양분총량제 도입방안 연구	- ‘20년까지 단계적 양분총량관리제도 도입을 위한 방안 검토 - 양분부하 관리를 위해 양분초과율 개념을 설정하여 양분특별관리지역(I, II) 구분 및 관리 방안 제시	농촌경제연구원
‘16.01	제2차물환경관리 기본계획	- ‘16~‘25년까지 가축분뇨 및 농경지 비점오염원 관리를 위하여 양분총량관리제도 도입 계획 수립	환경부
‘16.08	양분총량제 도입을 위한 기반조성 연구	- 과학적인 양분총량제 도입을 위한 기술적 사항을 검토 - 토양경계 양분수지 분석모델을 통한 지역단위 양분수지 분석 방안 제시	환경대학교
‘17.12	지역의 양분관리를 위한 양분수지산정 삭감평가 등에 관한 시행계획 수립 및 현장적용	- 지역단위 양분총량제도 도입을 위한 시범사업 추진 중	전북대학교
‘20.12	지역단위 양분관리 시범사업(I)	- 기존 환경 거버넌스 구축 중심의 시범사업 및 양분부하 지표 관리에 의한 양분관리제도 도입 추진	국립환경과학원
‘21. 현재	지역단위 양분관리 시범사업(II)	- 진행중	국립환경과학원

- 가축분뇨 및 화학비료를 감축시키기 위해 다양한 친환경농업 정책을 추진하고 있음에도 불구하고, 국가차원에서 양분수지를 제대로 관리하기 위한 정책프로그램은 아직 추진되고 있지 않음, 따라서 양분총량제도 도입을 계기로 농업부문도 본격적인 지역단위 환경용량에 부합하는 과학적이고 환경친화적인 양분관리정책의 마련이 필요
- 환경부와 농식품부는 가축분뇨 자원화 및 적정관리를 통해 지속가능한 축산업의 발전과 환경오염을 방지를 위하여 지역단위 양분관리제도 도입을 추진 중에 있음

다. 온실가스 감축

- '18년 정부는 "2030 국가 온실가스 감축 로드맵"에서 '30년까지의 축산 관련 온실가스 목표 감축량은 약 57만톤으로 전체 목표 감축량 중에서 가축분뇨 처리시설 확충을 통한 감축량이 약 42만톤으로 74%를 차지하고 있으며 장내발효 개선을 통한 감축량은 약 15만톤임
- '20년 정부는 "대한민국 2050 탄소중립전략"을 발표하고, 2050 탄소중립 5대 기본방향을 마련하였으며, 국가 전반의 녹색 전환을 위한 정책·사회·기술 혁신 방향을 제시
- 2050 탄소중립 5대 기본방향은 ❶ 깨끗하게 생산된 전기·수소의 활용 확대, ❷ 에너지 효율의 혁신적인 향상, ❸ 탄소 제거 등 미래기술의 상용화, ❹ 순환경제 확대로 산업의 지속가능성 제고, ❺ 탄소 흡수 수단 강화로 구성
- "대한민국 2050 탄소중립전략"에서 국가 총배출량의 약 3.4%를 차지(2017년 기준, 에너지 포함)하는 농축수산 부문은 대부분의 온실가스 배출이 식량 생산과정의 생물학적 요인에 기인하는 만큼 근본적으로 온실가스 배출을 완전히 제거하는 것은 불가능하나 배출량을 저감시킬 수단과 기술이 다양하게 존재한다고 인식
- 주요한 감축 수단으로는 정보통신기술을 접목한 스마트 농업(농업·축산·수산)으로 불필요한 투입재(에너지, 비료, 물 등) 사용을 최소화하고 자동화를 통해 농업, 축산, 수산의 생산성을 높이는 방향으로 농축수산 부문에 스마트기술 적용을 확대 추진

- 농작물 재배와 가축 사육 과정에서 배출되는 온실가스를 줄이기 위해 저탄소 농업기술의 보급과 교육 등에 대한 지원을 확대하고, 농축수산 시설에서 사용되는 화석연료를 재생에너지원으로 전환 추진
- 정부는 '20년 7월부터 추진하고 있는 '한국판 그린뉴딜'을 탄소중립 사회로의 전환을 위한 지렛대로 활용할 예정이며, 이를 통해 '25년까지 에너지 전환, 기후변화에 대한 탄력성 회복, 녹색경제·사회로의 전환이라는 세 가지 방향을 중심으로 총 73조 4,000억원을 투자할 계획임 (2030 국가 온실가스 감축목표(NDC)(대한민국정부, 2020.12))
- 또한, '21년부터 진행될 2050년 탄소중립 시나리오 분석과 2030년 감축 잠재량 평가 결과에 따라 추가적인 2030년 목표 상향도 검토할 계획임

〈표 II-3〉 신기후체제 이후 축산분야 감축방안과 정량평가 지표(~2030년)

감축방안	지표	감축량 (백만톤 CO ₂ eq.)
2030 국내 감축목표	BAU 850.8 대비 감축률 25.7%	276.5
농축산(비에너지)	부문 BAU 20.7 대비 감축률 5.2%	0.9
가축분뇨 처리시설 확충	가축분뇨 에너지화 시설	0.016
	가축분뇨 공동자원화 시설	0.406
장내발효 개선	양질조사료 공급량	0.109
	저메탄사료 공급에 의한 감축률	0.038
신재생에너지 도입	시설원에 신재생에너지시설(지열, 목재펠릿) 지원면적, 가축분뇨 에너지화 ¹⁾	0.519

주1) 기존 비에너지 감축 수단이었던 '가축분뇨 에너지화' 시설의 경우 시설에서 발전하는 전기에 대한 감축량은 에너지 부문에 포함.

자료) 신기후체제에 따른 농축산식품부분 영향과 대응전략(2/2차년도)(농촌경제연구원, 2018).

〈표 II-4〉 농축수산 2050 비전 및 전략

전략	추진내용
스마트 농업(농업·축산·수산) 으로의 전환	- '22년까지 스마트팜 7,000ha, 스마트축사 5,000호를 보급 - '23년까지 동·서·남해 주요 거점에 스마트양식 클러스터 3개소 구축
저탄소 농업기술 개발 및 보급 확대	- 논에서 메탄가스 배출을 저감하는 논물 관리기술 적용 - 가축의 장내 발효를 개선하는 저메탄사료 보급 - 저투입 농업, 토양탄소저장 방법론 개발과 관리 - 지속적인 저탄소 농업을 연구·개발 - 개발 기술의 현장적용, 교육과 홍보, 기술지원 확대
정책 수요자 참여 정책 활성화	- 경제적 인센티브를 바탕으로 농업인들의 온실가스 감축을 유도 - '저탄소 농축산물' 인증제 확대 - 농축수산물의 소비자(국민) 음식물 쓰레기 감소, 식생활 개선
친환경 에너지 확대	- 가축분뇨 에너지화, 태양광 보급, 지열 활용 등은 화석연료의 사용 저감 - LED 조명, 보온커튼 등 에너지 이용 효율화 시설 확대

주1) 기존 비에너지 감축 수단이었던 '가축분뇨 에너지화' 시설의 경우 시설에서 발전하는 전기에 대한 감축량은 에너지 부문에 포함.

자료) 신기후체제에 따른 농축산식품부분 영향과 대응전략(2/2차년도)(농촌경제연구원, 2018).

라. 2050 탄소중립 시나리오 확정

(1) 2050 탄소중립 달성 목표

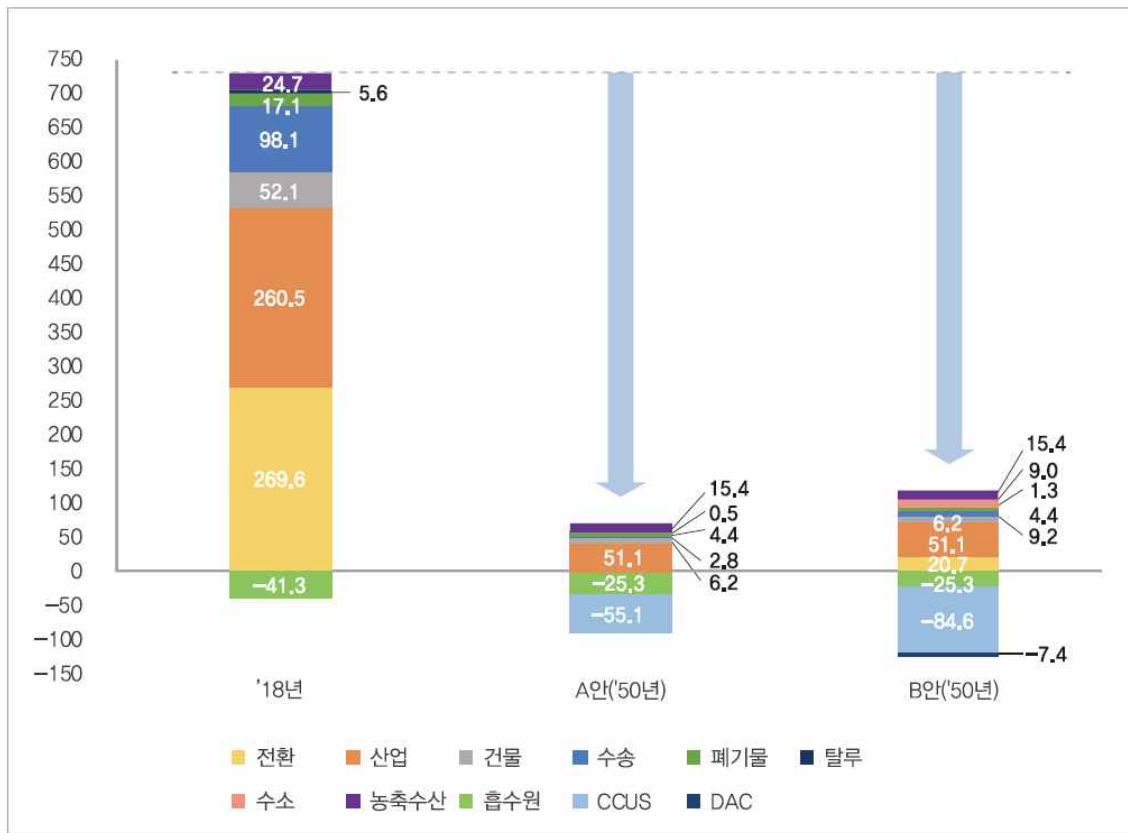
- 농축산부문 기후위기 대응 시나리오는 ①식량안보를 향상하고, ②온실가스 감축을 통해 농촌과 농업의 지속가능성을 높이며 ③안전하고 건강한 먹거리를 생산·소비하는 것을 목표로하며, 이를 달성하기 위해 감축 가능한 기술과 정책을 최대한 반영하여 농업 분야 탄소중립을 달성하기 위하여 2050년 온실가스 배출량 15.4백만톤 확정
- 시나리오 A는 온실가스 총배출량을 80.4 백만톤-CO₂eq.으로 최소화한 것으로 화석연료 발전을 전면 중단하여 전환부문의 온실가스 배출이 없으며, 그 외의 수송, 수소 부문에서도 온실가스 배출을 최소화하는 방안을 상정함, 이에 2050년에도 일부 남아 있는 배출량에 대해서는 산림 등 흡수원과 CCUS 등 제거기술을 통해 온실가스를 흡수·제거하여 최종 순배출량이 0이 되는 것으로 가정함
- 시나리오 B는 온실가스 배출량이 117.3 백만톤-CO₂eq.으로 A안보다 온실가스 배출량이 많은 2050년을 상정하였으며, A안과 마찬가지로 석탄발전은 중단되었으나, 유연성 전원 용도로 LNG 발전은 일부 유지되는 것으로 가정함

〈표 II-5〉 농축수산 부문 2050 탄소중립 달성 목표

(단위: 백만톤 CO₂eq.)

구분	2018년	2050년
합계	24.7	15.4
에너지 부문	3.5	0.2
비에너지 부문	21.2	15.2

(자료) 2050 탄소중립 시나리오 세부산출근거(환경부, 2021.10)



〈그림 II-1〉 2018년 대비 2050 온실가스 배출량

(자료) 2050 탄소중립 시나리오(2050탄소중립위원회, 2021)

(2) 농축수산 부문 2050 탄소중립 전망 및 감축수단

- 농축수산 부문 탄소중립을 달성하기 위하여 2050년 농축수산 부문의 에너지요는 2018년 소비량 1.7 백만TOE 대비 16.9% 가량 감소한 2.3 백만 TOE로 전망하였으며, 전체 에너지 사용량 중 화석연료(석탄, 석유, 도시가스) 사용량은 2018년 45.7%에서 2050년 3.9%로 감소하고, 전력이 95.7% 이상 차지하는 것으로 시나리오를 상정함
- 이와 같은 전제를 통해, 2050년 농축수산 부문 온실가스 배출량은 2018년 24.7 백만톤-CO₂eq. 대비 37.7% 감소한 15.4 백만톤-CO₂eq.이 될 것으로 전망하고 있음
- 주요한 감축수단으로는 농축수산 시설에 사용되는 화석연료를 저탄소 에너지원으로 전환하는 것을 가장 잠재력 있는 수단으로 평가하고 있음, 또한 시설원에 등 고정형 시설에 공기열 히트펌프 보급 등 고효율 에너지 시설을 보급하고, 농기계의 전기·수소 전환을 통해 화석연료의 수요를 전면 대체할 것으로 기대, 또한, 바이오매스 에너지화 등 신재생에너지의 적극적인 확대로 농축수산 부문의 온실가스 감축을 추진 예정
- 영농법 개선을 통한 화학비료 사용 저감, 친환경 농업 시행 확대 등을 통해 농경지의 메탄과 아산화질소의 발생을 억제하고, 논물관리 및 토양검정 시비를 통해 벼재배 부문의 아산화질소 배출을 저감, 또한, 바이오차(Bio-char) 토양개량제 보급으로 토양 내 탄소저장을 늘리고, 토양 개선과 환경오염 저감효과를 기대
- 저메탄·저단백 사료 보급 및 확대로 사육과정에서 발생하는 메탄 및 아산화질소의 발생을 감축하고, 가축분뇨에서 배출되는 메탄을 회수하여 에너지원으로 이용하는 가축분뇨 에너지화 시설의 확충으로 가축분뇨에서 발생하는 온실가스 발생량은 35% 이상 저감 추진

2. 국외 축산환경 정책 동향

가. 양분관리

(1) 미국

- 1999년 미국 농무부(USDA)와 환경청(EPA)은 가축사육시설(Animal Feeding Operation; AFO)이 수질과 공중보건에 미치는 문제를 해결하기 위해 “Unified National Strategy for Animal Feeding Operations” 전략을 발표하였으며, 해당 전략에 따라 가축사육시설(AFO)은 수질 및 공중보건에 미치는 영향을 최소화 하기 위해 종합양분관리계획(Comprehensive Nutrient Management Plan,CNMP)를 시행하도록 하였음
- 가축분뇨 배출시설은 EPA가 시행하는 NPDES(National Pollutant Discharge Elimination System)에 의한 허가제도와 USDA가 시행하는 CNMP에 의해 관리되고 있으며, 환경청(EPA)은 집약가축사육시설(CAFO)의 가축분뇨 저장 시설과 축사를 점오염원으로 간주하여 허가받도록 규제하고 있음
- CNMP는 사육농가의 환경을 개선하고 외부에 미치는 영향을 줄이기 위해 양분관리를 하도록 하고 있으며, 양분관리는 작물 수확량을 기반으로 가축 분뇨 및 사료 등의 농장에서 사용되는 모든 영양분을 토대로 작물 생산에 필요한 양분 투입량 산출함, 또한 가축분뇨는 발생량을 계산하여 양분 함량을 분석하고 양분 정도를 측정하기 위해 토양 검사를 시행하고 유출 및 침출 가능성 평가를 통해 양분 이용비율 및 시기, 방법을 계획
- 농지에 가축분뇨 살포량과 시기에 대한 정보 제공을 위한 가축분뇨 시비 일정표(manure spreading schedule) 작성하고, 농지에 1차적으로 사용되는 비료는 가축분뇨이며 상업 비료는 필요에 따라 보충적으로 사용함
- 또한, 가축분뇨 발생량, 가축분뇨 사용 방법 및 장소, 현재 토양 및 가축분뇨 분석 결과, 양분 공급원 반출입 내역, 식재 날짜 및 기록, 농작물 수확량, 운영 및 유지 방안에 관한 내용 기록하고, 토양 유형 및 지형, 경사, 침식 가능성, 유출 증거 등의 농지 특성 조사하여 토양을 관리하고 있음

(2) EU 농장에서 식탁까지(From Farm to Fork)

- EU는 2050년까지 기후중립(climate-neutral)을 목표로 2019년 유럽 그린딜(European Green Deal)을 발표하였으며, 이를 위해 EU는 순환경제(circular

economy)를 통한 자원의 효율적 사용 촉진과 생물다양성 회복 및 오염 저감과 관련된 로드맵을 제시하고 생물다양성과 청정에너지, 지속가능한 산업 및 농업, From Farm to Fork, 교통, 환경보호 관련 정책을 수립해가고 있음

- 그 중에서 From Farm to Fork와 생물다양성은 EU의 경쟁력과 회복탄력성(resilience)을 증진할 수 있는 유럽 그린딜(European Green Deal)의 중요한 정책이며, From Farm to Forks는 지속가능한 식량 시스템을 구축하고 이를 통해 환경과 건강, 사회적 및 경제적 이익을 얻는 것으로 목표로 하고 있음
- 환경에서의 영양 과다(특히 질소와 인)가 대기 및 토양, 수질 오염과 생물다양성 감소를 야기함에 따라 2030년까지 비료사용 20% 감소를 목표로 지속가능한 영양 관리와 균형시비(balanced fertilisation)를 적용하며, 질소와 인 관리를 강화할 예정임
- EU 집행위원회는 축산업의 지속가능성을 높이고 영양 과다로 인한 오염 문제의 근본적인 해결을 위해 통합영양소관리행동계획(integrated nutrient management action plan)을 개발할 예정이며, 또한, 축산농가 집중 지역과 유기성 폐기물을 재생 가능한 비료로 재활용하는 지역에서는 정밀한 비료 기법과 지속 가능한 농업기법의 사용을 확대할 예정임
- 또한, EU는 새로운 공동농업정책(CAP for 2021-27)의 일환으로 농장에서의 영양분 사용을 관리할 수 있는 FaST(the Farm Sustainability Tool for nutrient management)를 개발하고 있으며, FaST는 농업분야의 디지털화를 활성화하고 지속가능한 비료사용 촉진을 목표로 하고 있음
- FaST는 농작물과 농장에서 사육하는 가축 수와 분뇨 발생량 등의 정보와 양분 관리를 위한 토양 관련 정보 및 영양분 사용에 대한 법적인 한계 등에 대한 정보를 농업인들에게 무료로 지원함으로써 농장 여건에 맞는 양분 관리 계획 세울 수 있도록 함
- EU는 FaST를 통해 양분 유출 감소를 통한 환경오염 및 온실가스 발생을 줄이고 농업인들은 필요한 만큼의 비료사용을 통해 생산비용 감축과 생산량 증대를 이룰 수 있을 것으로 예상되며, EU 회원국은 농업인이 FaST를 사용할 수 있는 시스템을 구축하고, EU 집행위원회는 회원국의 FaST 설계와 데이터 저장 및 처리 서비스를 지원함

(3) 덴마크

- 덴마크는 Harmony Rule과 「Consolidated Act on Livestock Farming Environmental Approvals」, Nitrates Action Program 등을 수립하여 사육규모에 따른 최소한의 면적 확보, 허가/승인, 양분규제 등의 정책 추진하고 있음
- Harmony Rules(1998년)은 EU의 「질산염지침(Nitrates Directive)」의 일환으로 축산농가의 가축사육 규모에 따라 최소한의 면적을 확보하도록 하는 것으로 2017년 헥타르당 LU(Livestock Unit) 제한에서 인과 질소로 규정된 헥타르당 분뇨 적용 비율로 변경됨
- 「Consolidated Act on Livestock Farming Environmental Approvals」(2008)에서는 가축사육 규모에 따른 사육 허가 및 승인을 규정하고 있으며, Nitrates Action Program(2009년)에서는 가축분뇨를 퇴비로 활용하는 경우 1ha당 질소량을 170kg으로 제한하고 있음, 또한, 가축분뇨 비료를 활용하는 경우, 질소와 인 관리를 위해 덴마크 비료 계정(Danish Register of Fertilizer Accounts)에 등록하도록 하고 있음

(4) 네덜란드

- 네덜란드는 양분관리를 위해 인 배출량 상한제도(Levy-Based Cap on Farm-Level Phosphate Production)와 사육권 거래제도(Tradable Manure Production rights), 양분회계시스템(MINAS)을 추진하였음
- 양분회계시스템의 인 배출량 상한제도(1987-1998)는 1ha당 125kg P_2O_5 인 배출 상한기준을 설정하고 이를 초과할 시에는 부담금을 부과하였으며, 인 배출 상한제도는 가축분뇨 배출량을 할당하고, 시장에서의 사육권 거래를 통해 사육두수를 조정할 수 있도록 하였는데 폐업 농가의 할당량 구매 등에 의한 농가 확장이 가능하였음
- MINAS(1998-2005)는 양분 과잉공급을 방지하기 위해 농가에서 발생하는 모든 질소와 인에 대한 유입, 유출을 등록하는 양분회계시스템으로 이를 토대로 초과 양분에 대한 부과금을 산정하였으며, 2016년에는 축산농가의 사육두수 조정을 위해 토지면적당 최대 사육두수를 제한함
- 네덜란드는 가축분뇨를 각 지역에서 효율적으로 관리하고 이용할 수 있도록 하기 위해 1987년 분뇨은행 제도를 도입하였으며, 가축분뇨 초과발생에

대한 축산농가의 부담률은 매해 농업위원회에서 지역의 가축분뇨 초과 발생량과 축종, 농장 단위의 초과 발생량을 고려하여 산정하였음, 분뇨은행의 돼지분뇨를 비료로 활용하는 농가들에게는 보조금이 지급되었으나 운반비용이 많이 발생함에 따라 이용률 저조하여 폐지된 바 있음

(5) 벨기에

- 벨기에는 주정부별로 환경 관련 정책을 시행하고 있는데 가축사육이 많이 이루어지고 있는 플랑드르 지역에서는 Manure Decree, Manure Action Plan 등을 통해 질산염 및 가축분뇨를 관리함
- Manure Decree는 가축분뇨의 지역 간 이동을 허용하고 축산농가와 가축분뇨 사용자, 수입업자에게 가축분뇨 처리의무를 부과하고 있으며, 플랑드르 지역 분뇨은행에서는 가축분뇨 내 질소 처리량에 따른 가축분뇨 처리 인증서(MVC's: manure processing certificates) 발급과 축산농가의 양분배출권(NER-D: Nutrient Emission Rights)을 허가해주고 있음
- 연간 300kg-P₂O₅ 이상의 가축분뇨나 다른 비료 처리시설을 운영하는 경우, 분뇨은행에 신고하고 가축분뇨 및 비료의 반출입 내역을 분뇨은행에 등록하도록 함
- 가축분뇨 규정에 따른 질소 처리의무를 준수한 경우 가축분뇨 처리 인증서(MVC's)가 발급되며, 준수하지 못한 경우에는 벌금이 부과되며 인증서는 이전 및 거래가 가능함
- 양분배출권은 소와 돼지, 가금류, 기타 동물로 구분되고 전년도 사육두수를 토대로 1년 단위로 산정되며, 양분배출권에 따라 축산농가의 사육두수가 결정되며, 양분배출권 거래내역은 분뇨은행에서 관리하며 2013년 기준, 소의 양분배출권 가격은 4유로로 젓소 한 마리 사육을 위해서는 127개의 양분배출권이 필요함

나. 온실가스 감축

(1) 네덜란드

- '19년 기준 네덜란드 농업 부문 온실가스 배출량은 17.7백만톤 CO₂eq.으로 전체 온실가스 배출량의 9.7%를 차지하고 있으며, 가축분뇨로 인한 온실가스 배출량은 4.6백만톤 CO₂eq.으로 농업 부문의 26.1%를 차지함

〈표 II-6〉 네덜란드 농업부문 온실가스 배출량(2019)

구분	배출량(백만톤 CO ₂ eq)	비중(%)
3. 농업	17.65	100.0
3.A 장내발효	8.14	46.1
3.B 가축분뇨 관리	4.61	26.1
3.C 벼재배	NO	-
3.D 농경지 토양	4.82	27.3
3.E 화전(소각)	NO ¹⁾	-
3.F 농산부산물 소각	NO	-
3.G 석회 사용	0.03	0.2
3.H 요소 사용	0.05	0.3
3.I 기타 유기탄소 함유 비료	NO	-
3.J 기타	NO, NA ²⁾	-

주1) Not occurring, 주2) Not analyzed.

자료) https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party

- 네덜란드는 Climate Agreement(2019년)를 통해 2030년까지 1990년 대비 온실가스 배출량을 49% 감축하고 2050년까지는 95% 감축할 계획임, 이를 위해 농업 분야에서는 온실 원예의 지속 가능한 난방과 가축분뇨 처리 개선을 통한 메탄 배출 저감, 기후 친화적인 토지 이용 시범사업을 통한 토양과 작물의 탄소 저장, 기후 친화적 식품 소비 및 음식물 폐기물 감소에 대한 인센티브 제공을 추진
- 축산 분야에서는 온실가스 및 악취 저감 축사 개발과 메탄 배출량을 줄일 수 있는 사료 개발, 질산화 억제제 연구, 돼지 사육규모 축소, 가축분뇨를 활용한 비료(Green fertilizer)의 화학비료 대체를 계획함
- 돼지 사육과 관련해 사육권의 매입 및 취소를 통한 사육규모 축소와 양돈업계 구조조정을 통한 환경개선, 지역 순환 클러스터 내에서 가축분뇨가 화학비료를 대체할 수 있도록 할 예정임

(2) 벨기에

- '19년 벨기에 농업 부문 온실가스 배출량은 9.4백만톤 CO₂eq.으로 전체 온실가스 배출량의 8%를 차지하였으며, 가축분뇨(manure management)로 인한 온실가스 배출량은 1.9백만톤 CO₂eq.으로 농업 부문의 19.6%를 차지함

<표 II-7> 벨기에 농업부문 온실가스 배출량(2019)

구분	배출량(백만톤 CO ₂ eq)	비중(%)
3. 농업	9.37	100.0
3.A 장내발효	4.09	43.6
3.B 가축분뇨 관리	1.84	19.6
3.C 벼재배	NO ¹⁾	-
3.D 농경지 토양	3.27	34.9
3.E 화전(소각)	NO	-
3.F 농산부산물 소각	NO	-
3.G 석회 사용	0.13	1.4
3.H 요소 사용	0.05	0.5
3.I 기타 유기탄소 함유 비료	NO	-
3.J 기타	NO	-

주1) Not occurring.

자료): https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party

- 벨기에는 '30년까지 '90년 대비 온실가스를 55% 감축하고 '50년까지 탄소중립을 목표로 하고 있으며, 왈롱 지역은 '30년까지 1990년 대비 온실가스 배출량을 95% 감축하고 '50년까지는 55% 감축을 목표로 하고, 플랑드르 지역은 '30년까지 '05년 대비 온실가스(non ETS) 배출량을 85% 감축하고 '50년까지는 85%까지 감축할 계획임. Brussels 지역은 2030년까지 2005년 대비 온실가스(non ETS) 배출량을 40% 감축하고 2050년까지는 탄소중립을 계획
- 농업 비중이 높은 왈롱 지역과 플랑드르 지역에서는 농업분야 온실가스 감축을 위해 스마트 농업과 정밀 농업(원재료 및 에너지 투입은 최소화하고 수확량은 극대화), 농업용지의 탄소격리, 음식물 및 2차 부산물을 최대한 활용할 예정이며, 축산 부분에서는 가축분뇨 관리 개선을 통한 질소 효율 증대, 장내 발효 저감 기술을 적용할 계획임

3) 독일

- 독일은 '21년 「기후법(Climate Change Act)」 개정을 통해 '45년 탄소중립을 목표로 '30년까지 1990년 대비 온실가스를 65% 감축할 계획이며, 온실가스 감축을 위해 농업 분야에서는 아산화질소 배출 감소 및 질소 효율 향상을 통한 질소 잉여분의 감축과 가축분뇨 및 농업 부산물 발효 증대, 유기농업 확대, 축산업 온실가스 배출 저감, 에너지 효율 증대를 계획하고 있음

〈표 II-8〉 독일 농업부문 온실가스 배출량(2019)

구분	배출량(백만톤 CO ₂ eq)	비중(%)
3. 농업	61.84	100.0
3.A 장내발효	23.71	38.3
3.B 가축분뇨 관리	8.77	14.2
3.C 벼재배	NO ¹⁾	-
3.D 농경지 토양	24.96	40.4
3.E 화전(소각)	NO	-
3.F 농산부산물 소각	NO	-
3.G 석회 사용	2.10	3.4
3.H 요소 사용	0.52	0.8
3.I 기타 유기탄소 함유 비료	0.20	0.3
3.J 기타	1.57	2.5

주1) Not occurring.

자료) https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party

- 가축분뇨 및 농업 부산물 발효 증대를 위해 바이오가스 플랜트 가축분뇨 발효와 가스타이트(gastight) 발효 장치 설치를 지원할 예정이며, 1헥타르당 가축사육 규모가 2LU 이상을 넘지 않는 축산농가에 대한 지원 강화와 대규모 사육시설의 가축분뇨 가스타이트(gas-tight) 저장 시설 설치 규제 도입을 통해 축산업의 온실가스 배출을 감축할 계획임

제3장

국내 농축산업 현황

제3장 국내 농축산업 현황

1. 가축사육 현황

가. 가축사육 현황

- '19년 기준 가축사육 농가수는 총 198,229호이며, 한우농가가 103,446호로 전체의 52.2%를 차지하고 있으며, 양돈(돼지)농가는 8,497호로 4.3%를 차지하고 있음

〈표 III-1〉 가축사육 농가수 현황(2019년)

(단위: 농가수(호))

구분	한우	젖소	말	돼지	양·사슴	닭·오리	개	타조	가금기타	소계
전국	103,446	7,756	841	8,497	10,850	31,552	34,259	16	1,012	198,229
(%)	52.2	3.9	0.4	4.3	5.5	15.9	17.3	0.0	0.5	100.0

자료) 가축분뇨처리통계(환경부, 2020).

나. 가축사육 두수 현황

- '19년 기준 가축사육 두수는 총 292백만두이며 닭·오리가 전체의 90.2%를 차지하고 있음, 돼지 사육두수는 11,938 천두로서 전체 가축사육 두수의 4.1%를 차지하고 있음

〈표 III-2〉 가축사육 두수 현황(2019년)

(단위: 마리수(천두))

구분	한우	젖소	말	돼지	양·사슴	닭·오리	개	타조	가금기타	소계
전국	3,305	460	27	11,938	492	263,290	697	0	11,786	291,996
(%)	1.1	0.2	0.0	4.1	0.2	90.2	0.2	0.0	4.0	100.0

자료) 가축분뇨처리통계(환경부, 2020).

〈표 III-3〉 규모별 농가수 및 가축사육 두수 현황(2019년)

구분		한우	젖소	말	돼지		양·사슴	닭·오리	개	타조	가금기타	소계	규모별 비율
					현황	규모별비율							
허가	농가수	19,070	3,683	134	4,718	55.5%	99	1,407	58	1	9	29,179	14.7%
	(%)	65.4	12.6	0.5	16.2		0.3	4.8	0.2	0.0	0.0	100.0	
	사육두수	1,520,453	308,482	16,076	9,723,102	81.4%	11,508	68,140,351	3,707	10	287,385	80,011,074	27.4%
	(%)	1.9	0.4	0.0	12.2		0.0	85.2	0.0	0.0	0.4	100.0	
신고	농가수	41,583	2,517	427	3,124	36.8%	1,833	6,487	3,402	2	122	59,497	30.0%
	(%)	69.9	4.2	0.7	5.3		3.1	10.9	5.7	0.0	0.2	100.0	
	사육두수	1,260,107	104,819	9,646	1,707,693	14.3%	218,308	161,769,944	524,721	16	9,123,253	174,718,507	59.8%
	(%)	0.7	0.1	0.0	1.0		0.1	92.6	0.3	0.0	5.2	100.0	
신고미만	농가수	42,793	1,556	280	655	7.7%	8,918	23,658	30,799	13	881	109,553	55.3%
	(%)	39.1	1.4	0.3	0.6		8.1	21.6	28.1	0.0	0.8	100.0	
	사육두수	524,850	46,213	1,429	507,023	4.2%	262,605	33,380,016	169,026	61	2,375,596	37,266,819	12.8%
	(%)	1.4	0.1	0.0	1.4		0.7	89.6	0.5	0.0	6.4	100.0	

자료) 가축분뇨처리통계(환경부, 2020)에서 재산정.

- '19년 기준 규모별 가축사육현황은 농가수 기준 신고미만 55.3%> 신고 30.0%> 허가 14.7% 순이며, 사육두수 기준 신고 59.8%> 허가 27.4%> 신고미만 12.8% 순으로 조사됨
- 양돈 농가수의 경우, 신고미만 7.7%, 신고대상 36.8%, 허가대상 55.5%를 나타내어 허가 및 신고대상 농가가 약 92.7%를 차지하였으며, 규모별 돼지사육 두수는 신고미만 4.2%, 신고대상 14.3%, 허가대상 81.4%를 나타내어 양돈산업의 대규모화 경향이 뚜렷하였음

2. 가축분뇨 관리 현황

가. 가축분뇨 발생 현황

- '19년 기준 가축분뇨 발생량은 총 153천톤/일이며 한우, 젓소, 돼지, 닭·오리 분뇨가 전체 98.4%를 차지하였으며, 사육 규모별 가축분뇨 발생량은 허가 58.3%, 신고 31.5%, 신고미만 10.2%로 조사되어 허가 및 신고규모가 약 90%를 차지함
- 허가규모에서는 돼지> 한우> 젓소> 닭·오리 순으로 가축분뇨 발생량이 많으며 신고규모와 신고미만규모에서는 한우> 닭·오리> 돼지> 젓소 순으로 나타남
- 양돈분뇨 발생량은 전체 가축분뇨 발생량의 39.7%를 차지하였으며, 사육규모별로는 신고미만에서 4.2%, 신고대상에서 14.3%, 허가대상에서 81.4%가 발생하고 있음

〈표 III-4〉 축종별 가축분뇨 발생 현황(2019년)

(단위: 톤/일)

구분	한우	젓소	말	돼지	양·사슴	닭·오리	개	타조	가금 기타	소계
전국	45,284	17,324	372	60,883	345	27,303	767	0	943	153,220
(%)	29.6	11.3	0.2	39.7	0.2	17.8	0.5	0.0	0.6	100.0

자료) 가축분뇨처리통계(환경부, 2020).

〈표 III-5〉 규모별 가축분뇨 발생 현황(2019년)

(단위: 톤/일)

구분		한우	젖소	말	돼지	양·사슴	닭·오리	개	타조	가금기타	소계	규모별 비율
허가	분뇨량	20,830	11,630	220	49,588	8	7,059	4	0	23	89,362	58.3%
	(%)	23.3	13.0	0.2	55.5	0.0	7.9	0.0	0.0	0.0	100.0	
신고	분뇨량	17,263	3,952	132	8,709	153	16,780	577	0	730	48,296	31.5%
	(%)	35.7	8.2	0.3	18.0	0.3	34.7	1.2	0.0	1.5	100.0	
신고미만	분뇨량	7,190	1,742	20	2,586	184	3,464	186	0	190	15,562	10.2%
	(%)	46.2	11.2	0.1	16.6	1.2	22.3	1.2	0.0	1.2	100.0	

자료) 가축분뇨처리통계(환경부, 2020).

나. 가축분뇨 관리 및 처리 현황

- '19년 기준 가축사육 농가의 95.3%가 가축분뇨 개별처리를 하고 있으며 나머지 4.7%는 위탁처리하고 있으며, 개별처리 농가 중 대부분이 가축분뇨를 퇴비화(98.8%) 처리하고 있으며, 위탁처리 농가 중 60.5%는 재활용 신고자가 처리하고, 공공처리는 35.8%, 공동처리는 2.3%임
- '19년 기준 전체 가축분뇨 처리량의 79.8%는 개별처리, 20.2%는 위탁처리되고 있으며, 처리형태별로 보면 가축분뇨의 70.4%가 개별 퇴비화 처리되고, 재활용신고자(12.4%), 공공처리(7.1%), 정화처리(6.0%) 순이었으며, 사육규모별로 살펴보면, 퇴비화 처리가 대부분이나 규모가 클수록(허가규모) 재활용신고자, 공공처리에 의한 위탁처리 비중이 증가하였음
- '19년 기준 축종별 가축분뇨 처리현황을 살펴보면, 소·말의 경우 자체처리 91.9%, 위탁처리 6.6%, 돼지의 경우 자체처리 63.7%, 위탁처리 34.8%, 닭·오리의 경우, 자체처리 99.7%, 위탁처리 0.3%로 양돈분뇨의 위탁처리 비중이 높은 것으로 나타남
- 양돈분뇨의 경우 자체처리 중 퇴비화 50.2%, 액비화 8.8%, 정화처리 4.8%이었으며, 위탁처리 중 퇴비화 3.3%, 액비화 19.2%, 정화처리 12.2%로 나타나, 다른 축종과 비교하여 액비화 및 정화처리 비중이 높았음

〈표 III-6〉 가축분뇨 처리형태별 농가수 현황(2019년)

(단위: 농가수(호))

구분	정화처리	퇴비화	액비화	바이오 에너지	고체연료	소계	개별/위탁 비율
개별처리	1,497	188,970	1,458	-	-	191,925	95.3%
(%)	0.8	98.5	0.8	0.0	0.0	100.0	
구분	공공처리	공동처리	재활용 신고자	분뇨처리업자		소계	개별/위탁 비율
위탁처리	3,368	213	5,689	135			4.7%
(%)	35.8	2.3	60.5	1.4			

자료) 가축분뇨처리통계(환경부, 2020)에서 재산정.

주: 농가별 가축분뇨 처리방법이 다수인 경우 중복반영.

〈표 III-7〉 가축분뇨 관리 및 처리 현황(2019년)

(단위: 톤/일)

구분	개별처리					위탁처리				총계
	정화처리	퇴비화	액비화	바이오 에너지	고체 연료	공공처리	공동처리	재활용 신고자	분뇨 처리업자	
처리량	9,129	107,768	5,287	-	-	10,918	691	18,885	408	153,086
(%)	6.0	70.4	3.5	0.0	0.0	7.1	0.5	12.3	0.3	100.0

자료) 가축분뇨처리통계(환경부, 2020).

〈표 Ⅲ-8〉 축종별 가축분뇨 관리 및 처리 현황(2019년)

(단위: 천톤/년, %)

구분		발생량 계	자체처리				공공(위탁)처리				기타
			소계	퇴비	액비	정화	소계	퇴비	액비	정화	
소·말	처리량	21,687	19,940	19,594	174	173	1,421	1,320	0	101	325
	비율	(100.0)	(91.9)	(90.3)	(0.8)	(0.8)	(6.6)	(6.1)	(0.0)	(0.5)	(1.5)
돼지	처리량	20,724	13,211	10,394	1,822	995	7,202	693	3,979	2,530	311
	비율	(100.0)	(63.7)	(50.2)	(8.8)	(4.8)	(34.8)	(3.3)	(19.2)	(12.2)	(1.5)
닭·오리	처리량	8,316	7,342	7,342	0	0	974	974	0	0	0
	비율	(100.0)	(88.3)	(88.3)	(0.0)	(0.0)	(11.7)	(11.7)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
기타 가축	처리량	1,112	1,109	1,109	0	0	3	3	0	0	0
	비율	(100.0)	(99.7)	(99.7)	(0.0)	(0.0)	(0.3)	(0.3)	(0.0)	(0.0)	(0.0)
총계	처리량	51,838	41,602	38,438	1,996	1,167	9,600	2,990	3,979	2,631	636
	비율	(100.0)	(80.3)	(74.2)	(3.9)	(2.3)	(18.5)	(5.8)	(7.7)	(5.1)	(1.2)

자료) 축산환경관리원 내부자료(2021년).

3. 농축산업 현황 및 전망

가. 농업 현황

- 농촌고령화, 농지 전용 수요증가 등으로 경지면적 및 재배면적은 지속적으로 감소하는 반면, 농가호당 경지면적 및 농가인구당 경지면적은 증가할 것으로 전망
- '20년 경지면적은 전년 대비 0.9% 감소한 1,567천 ha로 추정되며 '30년 1,489천 ha로 연평균 0.5% 감소할 것으로 전망되고 있으며, 재배면적은 '20년 1,624천 ha에서 '30년 1,521천 ha로 연평균 0.6% 감소될 것으로 예상되며, 경지이용률은 106.9%에서 '30년 105.4%로 연평균 0.1%p 하락할 전망, 반면, 농가인구 감소로 인해 '20년 농가호당 경지면적 및 농가인구당 경지면적은 꾸준히 증가하여 각각 연평균 0.5% 및 1.1% 증가할 전망

〈표 Ⅲ-9〉 농경지 면적 및 경지이용률 현황 및 전망

구분	2000	2019	2020 (추정)	전망			연평균 변화율(%)			
				2021	2025	2030	19/00	20/19	21/20	30/20
경지 ¹⁾ 면적 (천ha)	1,889	1,581	1,567	1,555	1,517	1,489	-0.9	-0.9	-0.8	-0.5
농가호당 경지면적(ha)	1.36	1.57	1.57	1.58	1.62	1.65	0.7	0.3	0.2	0.5
농가인구당 경지면적(a)	46.9	70.4	71.2	71.9	75.6	79.5	2.2	1.1	1.0	1.1
경작가능면적 ²⁾ (천 ha)	1,899	1,533	1,519	1,507	1,471	1,443	-1.1	-0.9	-0.8	-0.5
재배면적 (천 ha)	2,098	1,643	1,624	1,618	1,573	1,521	-1.3	-1.2	-0.4	-0.6
경지이용률 ³⁾ (%)	110.5	107.2	106.9	107.3	107.0	105.4	-0.2%p	-0.4%p	-0.5%p	-0.1%p

주1) 실제 토지상태가 농작물의 경작과 다년생 작물재배로 이용되는 토지 및 부대시설.

주2) 논과 밭의 대장면적에서 논두렁, 밭두렁 면적을 제외한 실제로 작물을 재배할 수 있는 면적.

주3) 경지이용률 = (재배면적/경작가능면적)× 100.

자료) 통계청, 「농업면적조사」, 한국농촌경제연구원 KASMO(Korea Agricultural Simulation Model), 농업전망 농업전망 2021(2021).

나. 축산업 현황

- '19년 우리나라 축산업 생산액은 19.771 조원(100.0%)이었으며, 가축 생산액이 15.459 조원(78.2%), 축산물 생산액이 4.311 조원(21.8%)을 차지함
 - 축종별 비중은 돼지 6.392(32.3%), 한우 5.112(25.9%), 닭 2.103(10.6%), 오리 1.392(7.0%), 육우 0.252(1.3%), 젖소 0.067 조원(0.3%)으로 나타남
- 우리나라 축산업 생산액은 '10년 17.471 조원에서 '19년 19.771 조원으로 '10년 대비 13.2% 증가함
 - 가축 생산액은 '10년 13.752 조원에서 '19년 15.459 조원으로 12.4% 증가하였으며, 축산물 생산액은 '10년 3.719 조원에서 '19년 4.311 조원으로 13.9% 증가함
- 우리나라 육류자급률은 '00년 85.9%에서 '19년 72.4%로 감소하였으며, '30년 70.3%로 하락할 전망, 축산물 수입량은 '00년 203 천톤에서 '19년 1,170 천톤으로 증가하였으며, '30년 1,278 천톤으로 증가할 전망이다

〈표 Ⅲ-10〉 축산업 생산액

(단위 : 10억원)

품목	'10년	'15년	'16년	'17년	'18년	'19년			
						'19년 생산액	비중 (%)	'10년 대비 증감율 (%)	'18년 대비 증감율 (%)
축산업	17,471.4	19,125.7	19,229.7	20,122.7	19,730.7	19,770.6	100.0	13.2	0.2
1. 가축	13,752.2	14,533.1	14,869.3	15,394.4	15,944.5	15,459.4	78.2	12.4	-3.0
한우	4,852.0	4,440.9	4,811.0	4,438.8	4,826.1	5,111.6	25.9	5.4	5.9
육우	281.3	266.8	246.0	224.9	265.8	252.3	1.3	-10.3	-5.1
젖소	24.1	30.6	48.3	34.5	61.9	67.4	0.3	179.7	8.9
돼지	5,322.7	6,967.1	6,756.5	7,338.0	7,118.5	6,392.4	32.3	20.1	-10.2
염소	50.2	75.8	67.2	79.7	59.5	124.4	0.6	147.8	109.1
사슴	23.1	18.7	22.5	22.0	21.9	11.8	0.1	-48.9	-46.1
토끼	14.8	9.6	7.1	5.1	5.0	4.8	0.0	-67.6	-4.0
닭	2,146.0	1,909.5	1,998.6	2,376.7	2,259.0	2,102.6	10.6	-2.0	-6.9
오리	1,305.9	814.1	912.1	874.7	1,326.9	1,392.0	7.0	6.6	4.9
2. 축산물	3,719.1	4,592.6	4,360.4	4,728.3	3,786.1	4,311.2	21.8	15.9	13.9
계란	1,340.9	1,836.9	1,707.2	2,100.4	1,277.5	1,410.5	7.1	5.2	10.4
오리알	120.6	11.7	11.1	11.0	12.1	10.7	0.1	-91.1	-11.6
메추리알	58.1	56.5	67.3	76.0	70.5	73.5	0.4	26.5	4.3
우유	1,693.4	2,285.1	2,175.1	2,128.0	2,131.4	2,215.4	11.2	30.8	3.9
벌꿀	433.2	356.7	352.7	371.1	259.7	562.0	2.8	29.7	116.4
녹용	73.0	45.8	47.0	41.8	34.9	39.2	0.2	-46.3	12.3

자료) 농림축산식품 주요통계(농림축산식품부, 2020)

〈표 III-11〉 축산업 동향 및 전망

구분	2000	2019	2020 (추정)	전망			연평균 변화율(%)			
				2021	2025	2030	19/00	20/19	21/20	30/20
육류자급률(%) ¹⁾	85.9	72.4	70.9	71.3	71.3	70.3	-0.7	-1.5	0.4	-0.1
소·돼지·닭 1인당 소비량 (kg)	32.0	54.9	54.3	54.6	56.3	60.0	2.9	-1.2	0.7	1.0
축산물 수입량(천톤) ²⁾	203	1,170	1,068	1,129	1,163	1,278	9.7	-8.7	5.7	1.8
한·육우 생산액 (10억원)	1,879	5,364	5,519	5,319	5,369	7,611	5.7	2.9	-3.6	3.3
돼지 생산액 (10억원)	2,372	6,392	7,139	7,085	7,708	8,194	5.4	11.7	-0.8	1.4
육계 생산액 (10억원)	821	2,103	1,859	2,090	2,413	2,780	5.1	-11.6	12.4	4.1

주1) 자급률 = 국내 생산량/소비량×100(곡물류와 농산물 자급률은 사료용 제외).

주2) 소, 돼지, 닭, 계란, 낙농품.

자료) 농림축산식품부(「농림축산식품 주요통계」 각 년도), 한국농촌경제연구원 KASMO(Korea Agricultural Simulation Model), GTIS, 한국농수산물유통공사: 한국농촌경제연구원(2021), 농업 전망 2021 인용.

- '18년 가축 사육두수는 한우 3,075 천두, 젓소 445 천두, 돼지 11,493 천두, 닭·오리 238,238 천수로 나타났으며, '30년 가축 사육두수는 3,696 천두, 젓소 445 천두, 돼지 12,509 천두, 닭·오리 275,345 천수로 전망
- '30년 가축 사육두수는 '18년 대비 한우 20.2%, 젓소 0.0%, 돼지 8.8%, 닭·오리 15.6% 증가하여 총 가축 사육두수는 15.3% 증가 전망, 가축분뇨 발생량은 '18년 52,029 천톤/년에서 '30년 58,325 천톤/년으로 증가하여 '18년 대비 12.1% 증가 전망

〈표 III-12〉 가축사육 두수 및 가축분뇨 발생 전망

구분		축산전망 ¹⁾										
		2018 ²⁾	2019 ²⁾	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	‘18년 대비 증감율(%)	‘19년 대비 증감율(%)
가축 사육두수 (천두, 천수)	한우	3,075	3,305	3,433	3,517	3,583	3,617	3,642	3,655	3,696	20.2	11.8
	젖소	445	460	458	456	455	454	452	451	445	0.0	-3.3
	돼지	11,493	11,938	11,754	11,710	11,784	11,895	12,009	12,101	12,509	8.8	4.8
	닭·오리	238,238	263,290	262,738	257,796	257,387	258,767	260,469	262,519	275,345	15.6	4.6
	합계	253,251	278,993	278,384	273,479	273,209	274,733	276,573	278,726	291,995	15.3	4.7
가축분뇨 발생량 (천톤/년)	한우	15,374	16,529	17,169	17,589	17,917	18,088	18,212	18,276	18,480	20.2	11.8
	젖소	6,122	6,323	6,303	6,281	6,262	6,242	6,223	6,208	6,128	0.0	-3.1
	돼지	21,394	22,222	21,881	21,798	21,935	22,142	22,355	22,527	23,285	8.8	4.8
	닭·오리	9,139	9,966	9,948	9,764	9,748	9,801	9,865	9,944	10,432	15.6	4.7
	합계	52,029	55,040	55,301	55,431	55,863	56,273	56,656	56,954	58,325	12.1	6.0

주1) 농업전망21(농촌경제연구원, 2021)의 축산업 전망에 근거하여 재산출.

주2) 가축분뇨 처리통계(환경부, 2020) 기준자료 사용.

4. 양분수지 현황

가. 지역단위(시/도) 양분수지 현황

- 양분관리 기반의 경축순환농업을 통한 농경지 양분투입 저감과 화학비료 사용 저감에 따른 온실가스 감축 효과를 평가하기 위하여 전국 시/도 단위 양분수지 현황을 분석하였음
- '19년 기준 전국 양분수지 분석결과 전국 평균 질소 양분부하는 2.24를 보였으며, 가축분뇨 퇴·액비 유래 질소양분 투입은 94.0 kg-N/ha로 농경지 총양분유입의 31.4%를 차지하였으며, 무기질비료(화학비료) 유래 질소양분 투입은 153.3 kg-N/ha로 농경지 총양분유입의 51.2%를 차지함
- 세종시는 질소 양분부하 3.23에서 가축분뇨 퇴·액비 190.1 kg-N/ha(53.1%), 무기질비료 124.2 kg-N/ha(34.7%)로 가축분뇨 퇴·액비 사용으로 인한 양분유입 비중이 가장 높았으며, 제주도는 질소 양분부하 1.75에서 가축분뇨 퇴·액비 52.0 kg-N/ha(16.5%), 무기질비료 203.4 kg-N/ha(64.7%)로 무기질비료에 의한 양분유입 비중이 가장 높았음
- '19년 기준 전국 양분수지 분석결과 전국 질소 양분유출은 작물생산 및 작물부산물에 의한 양분유출이 85.9 kg-N/ha(28.6%), 대기유출 51.0 kg-N/ha(13.7%), 수계유출 172.9 kg-N/ha(57.7%)로 나타남
- 세종시는 작물생산 및 작물부산물에 의한 양분유출이 85.5 kg-N/ha(23.9%), 대기유출 54.6 kg-N/ha(15.2%), 수계유출 218.1 kg-N/ha(60.9%)였으며, 제주도는 작물생산 및 작물부산물에 의한 양분유출이 54.5 kg-N/ha(17.5%), 대기유출 40.0 kg-N/ha(12.7%), 수계유출 219.6 kg-N/ha(69.8%)로 나타남
- 제주도의 경우, 수계유출 잠재량이 219.6 kg-N/ha(69.8%)로 전국 시도 중에서 가장 높았으며, 질소양분 투입현황을 고려할 때, 수계유출 잠재량의 대부분은 무기질비료의 과다사용에서 기인하는 것으로 판단됨
- '19년 기준 전국 양분수지 분석결과 전국 평균인 양분부하는 2.22를 보였으며, 가축분뇨 퇴·액비 유래 인양분 투입은 26.0 kg-P/ha로 농경지 총양분유입의 44.2%를 차지하였으며, 무기질비료 유래 인양분 투입은 26.8 kg-P/ha로 농경지 총양분유입의 45.5%를 차지하여 질소 양분과 비교하여 인양분의 경우 가축분뇨 퇴·액비 유래 질소양분의 유입 비중이 높은 것으로 평가됨

- 세종시는 인 양분부하 3.20에서 가축분뇨 퇴·액비 47.1 kg-P/ha(67.0%), 무기질비료 19.0 kg-P/ha(27.1%)로 가축분뇨 퇴·액비 사용으로 인한 양분유입 비중이 가장 높았으며, 제주도¹⁾는 인 양분부하 1.09에서 가축분뇨 퇴·액비 13.4 kg-P/ha(18.1%), 무기질비료 52.2 kg-P/ha(70.8%)로 무기질비료에 의한 양분유입 비중이 가장 높았음
- '19년 기준 전국 양분수지 분석결과 전국 인 양분유출은 작물생산 및 작물부산물에 의한 양분유출이 21.2 kg-P/ha(36.1%), 수계유출²⁾ 37.6 kg-P/ha(63.9%)로 나타남
- 세종시는 작물생산 및 작물부산물에 의한 양분유출이 20.5 kg-P/ha(29.3%), 수계유출 49.7 kg-P/ha(70.7%)였으며, 제주도는 작물생산 및 작물부산물에 의한 양분유출이 15.5 kg-P/ha(19.7%), 수계유출 58.1 kg-P/ha(78.9%)로 나타남

1) 제주도 토양은 주로 현무암질 토양으로 구성되어 있어 화강암질 토양으로 구성되는 육지토양과 달리 양이온치환용량과 인산성분의 흡착·고정 능력이 커서 비료성분의 작물 유효도가 낮은 특성이 있음, 따라서 육지 토양과 비교하여 작물의 비료 시비량이 많은 것을 특징으로 하고 있음.

2) 인 비료 성분은 토양에 쉽게 흡착·고정되기 때문에 수계유출 항목은 작물이 이용하고 남은 인 비료 성분을 모두 포함한 것으로서 토양 중 흡착·고정되는 인 성분을 포함하고 있음, 일반적으로 인 성분의 수계유출은 수용성 인이 직접 유출되기보다는 토양의 침식 또는 유실과 함께 수계로 유출되는 특성이 있음.

〈표 Ⅲ-13〉 지역단위 양분유입 현황(질소)

지역	양분 부하 (질소)	가축분뇨	무기질 비료	유기질 비료	생물학적 질소고정	종자 및 종묘	대기 강하물	관개수	계
		kg-N/ha, (%)							
전국	2.24	94.0	153.3	23.3	1.3	1.7	23.2	2.9	299.8
		(31.4)	(51.2)	(7.8)	(0.4)	(0.6)	(7.7)	(1.0)	(100.0)
세종	3.23	190.1	124.2	15.4	0.9	1.8	23.2	2.6	358.2
		(53.1)	(34.7)	(4.3)	(0.3)	(0.5)	(6.5)	(0.7)	(100.0)
강원	2.06	70.4	199.3	31.2	1.8	1.6	23.2	0.9	328.4
		(21.4)	(60.7)	(9.5)	(0.6)	(0.5)	(7.1)	(0.3)	(100.0)
경기	2.70	187.9	128.5	17.1	1.2	1.9	23.2	3.0	362.6
		(51.8)	(35.4)	(4.7)	(0.3)	(0.5)	(6.4)	(0.8)	(100.0)
충북	2.13	100.2	128.5	31.5	2.6	1.3	23.2	1.6	288.9
		(34.7)	(44.5)	(10.9)	(0.9)	(0.5)	(8.0)	(0.5)	(100.0)
충남	2.69	127.3	161.6	14.6	1.1	2.1	23.2	4.1	334.0
		(38.1)	(48.4)	(4.4)	(0.3)	(0.6)	(6.9)	(1.2)	(100.0)
전북	2.65	100.1	166.0	12.3	1.8	1.9	23.2	5.6	311.0
		(32.2)	(53.4)	(4.0)	(0.6)	(0.6)	(7.5)	(1.8)	(100.0)
전남	2.04	58.2	159.3	17.2	0.9	1.8	23.2	2.4	263.2
		(22.1)	(60.6)	(6.5)	(0.3)	(0.7)	(8.8)	(0.9)	(100.0)
경북	2.14	82.7	126.0	38.2	1.4	1.4	23.2	3.6	276.5
		(29.9)	(45.6)	(13.8)	(0.5)	(0.5)	(8.4)	(1.3)	(100.0)
경남	1.78	72.9	146.0	20.1	0.7	1.6	23.2	1.7	266.2
		(27.4)	(54.8)	(7.6)	(0.3)	(0.6)	(8.7)	(0.6)	(100.0)
제주	1.75	52.0	203.4	34.3	1.0	0.6	23.2	0.0	314.5
		(16.5)	(64.7)	(10.9)	(0.3)	(0.2)	(7.4)	(0.0)	(100.0)

〈표 III-14〉 지역단위 양분유출 현황(질소)

지역	질소 부하 (질소)	작물유출		대기유출	수계유출	계
		작물생산	작물부산물			
		kg-N/ha, (%)				
전국	2.24	49.0	36.9	41.0	172.9	299.8
		(16.3)	(12.3)	(13.7)	(57.7)	(100.0)
세종	3.23	49.1	36.4	54.6	218.1	358.2
		(13.7)	(10.2)	(15.2)	(60.9)	(100.0)
강원	2.06	39.5	35.6	42.8	210.5	328.4
		(12.0)	(10.8)	(13.0)	(64.1)	(100.0)
경기	2.70	48.1	32.4	56.5	225.6	362.6
		(13.3)	(8.9)	(15.6)	(62.2)	(100.0)
충북	2.13	40.6	33.7	41.3	173.3	288.9
		(14.0)	(11.7)	(14.3)	(60.0)	(100.0)
충남	2.69	57.0	39.9	47.0	190.0	334.0
		(17.1)	(12.0)	(14.1)	(56.9)	(100.0)
전북	2.65	53.2	37.8	41.4	178.6	311.0
		(17.1)	(12.2)	(13.3)	(57.4)	(100.0)
전남	2.04	49.6	28.1	33.0	152.5	263.2
		(18.8)	(10.7)	(12.5)	(57.9)	(100.0)
경북	2.14	45.7	45.7	38.8	146.3	276.5
		(16.5)	(16.5)	(14.0)	(52.9)	(100.0)
경남	1.78	49.1	55.4	35.2	126.6	266.2
		(18.4)	(20.8)	(13.2)	(47.5)	(100.0)
제주	1.75	47.4	7.5	40.0	219.6	314.5
		(15.1)	(2.4)	(12.7)	(69.8)	(100.0)

〈표 Ⅲ-15〉 지역단위 양분유입 현황(인)

지역	양분 부하 (인)	가축분뇨	무기질 비료	유기질 비료	생물학적 질소고정	종자 및 종묘	대기 강하물	관개수	계
		kg-P/ha, (%)							
전국	2.22	26.0	26.8	5.5	-	0.3	-	0.2	58.9
		(44.2)	(45.5)	(9.3)	-	(0.6)	-	(0.4)	(100.0)
세종	3.20	47.1	19.0	3.6	-	0.3	-	0.2	70.3
		(67.0)	(27.1)	(5.2)	-	(0.5)	-	(0.3)	(100.0)
강원	2.31	22.4	30.6	7.3	-	0.3	-	0.1	60.7
		(36.9)	(50.4)	(12.1)	-	(0.5)	-	(0.1)	(100.0)
경기	2.93	49.8	19.6	4.0	-	0.4	-	0.2	74.1
		(67.3)	(26.5)	(5.4)	-	(0.5)	-	(0.3)	(100.0)
충북	2.11	25.3	19.7	7.4	-	0.3	-	0.1	52.7
		(47.9)	(37.3)	(14.1)	-	(0.5)	-	(0.2)	(100.0)
충남	2.45	34.3	19.1	3.4	-	0.4	-	0.3	57.6
		(59.6)	(33.2)	(5.9)	-	(0.7)	-	(0.6)	(100.0)
전북	2.01	25.0	18.0	2.9	-	0.4	-	0.5	46.8
		(53.4)	(38.5)	(6.2)	-	(0.8)	-	(1.1)	(100.0)
전남	1.53	16.7	17.5	4.0	-	0.4	-	0.2	38.7
		(43.1)	(45.1)	(10.4)	-	(0.9)	-	(0.5)	(100.0)
경북	2.24	25.8	19.6	9.0	-	0.3	-	0.3	55.0
		(47.0)	(35.6)	(16.3)	-	(0.5)	-	(0.6)	(100.0)
경남	1.85	21.6	23.5	4.7	-	0.3	-	0.1	50.3
		(43.0)	(46.8)	(9.4)	-	(0.6)	-	(0.2)	(100.0)
제주	1.09	13.4	52.2	8.1	-	0.1	-	0.0	73.7
		(18.1)	(70.8)	(10.9)	-	(0.2)	-	(0.0)	(100.0)

〈표 Ⅲ-16〉 지역단위 양분유출 현황(인)

지역	양분 부하 (인)	작물유출		대기유출	수계유출	계
		작물생산	작물부산물			
		kg-P/ha, (%)				
전국	2.22	13.7	7.5	-	37.6	58.9
		(23.3)	(12.8)	-	(63.9)	(100.0)
세종	3.20	12.1	8.4	-	49.7	70.3
		(17.3)	(12.0)	-	(70.7)	(100.0)
강원	2.31	28.3	6.3	-	26.2	60.7
		(46.6)	(10.3)	-	(43.1)	(100.0)
경기	2.93	12.2	7.3	-	54.5	74.1
		(16.5)	(9.9)	-	(73.6)	(100.0)
충북	2.11	12.0	7.1	-	33.7	52.7
		(22.7)	(13.4)	-	(64.0)	(100.0)
충남	2.45	13.9	9.3	-	34.4	57.6
		(24.1)	(16.2)	-	(59.7)	(100.0)
전북	2.01	12.7	8.3	-	25.8	46.8
		(27.2)	(17.7)	-	(55.2)	(100.0)
전남	1.53	11.9	6.1	-	20.7	38.7
		(30.6)	(15.8)	-	(53.5)	(100.0)
경북	2.24	12.7	9.0	-	33.4	55.0
		(23.1)	(16.3)	-	(60.6)	(100.0)
경남	1.85	13.2	8.7	-	28.3	50.3
		(26.3)	(17.4)	-	(56.3)	(100.0)
제주	1.09	14.5	1.0	-	58.1	73.7
		(19.7)	(1.4)	-	(78.9)	(100.0)

나. 지역단위(시/도) 양분수지 관리 목표

- 지역별(시·도) 양분수지 저감 목표에서 전국 양분부하는 질소 2.24에서 1.58, 인 2.22에서 1.56으로 나타났으며, 수계유출 잠재량은 질소 173.0 kg-N/ha에서 101.9 kg-N/ha, 인 37.6 kg-P/ha에서 19.7 kg-P/ha으로 도출됨
- 지역단위 양분관리를 통해 수계유출 잠재량 개선 효과는 질소 71.06 kg-N/ha, 인 17.9 kg-P/ha의 저감효과가 예상되었으며, 작물생산성은 질소 1.6 kg-N/ha, 인 0.3 kg-P/ha의 증가효과가 예상됨
- 세종시 양분부하는 질소 3.23에서 1.51, 인 3.20에서 1.50으로 나타났으며, 수계유출 잠재량은 218.1 kg-N/ha에서 49.5 kg-N/ha, 인 49.7 kg-P/ha에서 8.0 kg-P/ha으로 도출됨
- 지역단위 양분관리를 통해 세종시 수계유출 잠재량 개선 효과는 질소 168.6 kg-N/ha, 인 41.7 kg-P/ha의 저감효과가 예상되었으며, 작물생산성은 질소 13.6 kg-N/ha, 인 2.4 kg-P/ha의 증가 효과가 예상됨
- 제주도 양분부하는 질소 1.75에서 1.92, 인 1.09에서 1.19까지 양분의 추가투입이 가능한 것으로 나타났으며, 이러한 경우, 수계유출 잠재량은 질소 219.6 kg-N/ha에서 244.1 kg-N/ha, 인 58.1 kg-P/ha에서 65.3 kg-P/ha까지 증가하는 것으로 예측됨
- 제주도는 지역단위 경축순환농업 활성화를 통해 수계유출 잠재량은 질소 24.5 kg-N/ha, 인 7.2 kg-P/ha가 증가하는 것으로 예측되었으며, 작물생산성 증가는 나타나지 않는 것으로 예상됨, 따라서 제주도의 경우, 추가적인 양분 투입을 하기보다는 기존의 무기질비료 투입량을 줄이고, 가축분뇨 퇴·액비의 농지환원을 활성화하는 경축순환농업 체계를 구축하는 것이 바람직한 것으로 판단됨

〈표 III-17〉 지역단위 양분수지 개선 목표 및 효과

지역	양분이용현황('19년, A)						양분관리목표('30년, B)						양분관리효과(B-A)					
	양분부하지표 ¹⁾		순양분수지표 ²⁾		작물생산 ³⁾		양분부하지표		순양분수지표		작물생산		양분부하지표 개선		순양분수지표 개선		작물생산성 향상	
	질소 (-)	인 (-)	질소 (kg/ha)	인 (kg/ha)	질소 (kg/ha)	인 (kg/ha)	질소 (-)	인 (-)	질소 (kg/ha)	인 (kg/ha)	질소 (kg/ha)	인 (kg/ha)	질소 (-)	인 (-)	질소 (kg/ha)	인 (kg/ha)	질소 (kg/ha)	인 (kg/ha)
전국	2.24	2.22	173.0	37.6	49.0	13.7	1.58	1.56	101.9	19.7	50.6	14.0	-0.66	-0.66	-71.1	-17.9	1.6	0.3
세종	3.23	3.20	218.1	49.7	49.1	12.1	1.51	1.50	49.5	8.0	62.7	14.5	-1.72	-1.7	-168.6	-41.7	13.6	2.4
강원	2.60	2.31	210.5	26.2	39.5	28.3	1.71	1.91	165.8	15.8	40.0	28.3	-0.89	-0.4	-44.7	-10.4	0.5	0.0
경기	2.70	2.93	225.6	54.5	48.1	12.2	1.58	1.72	103.4	22.6	52.9	13.1	-1.12	-1.21	-122.2	-31.9	4.8	0.9
충북	2.13	2.11	173.3	33.7	40.6	12.0	1.69	1.67	126.4	22.5	41.3	12.1	-0.44	-0.44	-46.9	-11.2	0.7	0.1
충남	2.69	2.45	190.0	34.4	57.0	13.9	1.51	1.38	65.8	7.1	63.8	15.1	-1.18	-1.07	-124.2	-27.3	6.8	1.2
전북	2.65	2.01	178.6	25.8	53.2	12.7	1.49	1.14	64.3	3.5	60.2	14.1	-1.16	-0.87	-114.3	-22.3	7.0	1.4
전남	2.04	1.55	152.5	20.7	49.6	11.9	1.55	1.16	102.4	11.1	50.9	12.1	-0.49	-0.39	-50.1	-9.6	1.3	0.2
경북	2.14	2.24	146.3	33.4	45.7	12.7	1.60	1.67	91.5	19.1	46.9	12.9	-0.54	-0.57	-54.8	-14.3	1.2	0.2
경남	1.78	1.85	126.6	28.3	49.1	13.2	1.59	1.65	104.3	22.9	49.3	13.3	-0.19	-0.2	-22.3	-5.4	0.2	0.1
제주	1.75	1.09	219.6	58.1	47.4	14.5	1.92	1.19	244.1	65.3	47.4	14.5	0.17	0.1	24.5	7.2	0.0	0.0

주1) 양분부하지표는 농경지 양분요구량 대비 농경비 양분투입량의 비율을 의미함.

주2) 순양분수지 (Net nutrient balance)는 유입양분 중 수계유출 잠재량을 의미함 (순양분수지 = 유입양분 - 작물생산유출 - 대기유출 = 수계유출잠재량).

주3) 작물생산은 농경지 투입양분 중 작물이 흡수 이용하는 양분의 양을 의미함.

제4장

국내 축산업 온실가스 배출량

제4장 국내 축산업 온실가스 배출량

1. 축산분야 온실가스 배출 현황

- 농업 분야는 축산과 농작물 재배(경종)에 따른 CH_4 과 N_2O 배출원으로 구분하며, 축산과 관련된 배출원으로 장내발효 부문에서는 가축의 소화기관 내 발효에 의한 CH_4 배출량을 산정하고, 가축분뇨 처리 부문은 가축분뇨의 혐기적 분해에 의한 CH_4 과 N_2O 배출량을 산정
- 농작물 재배와 관련된 배출원에는 논에 사용된 유기물의 혐기적 분해에 의한 CH_4 배출량을 산정하는 벼재배 부문과 농경지에 사용되는 화학비료, 가축분뇨, 작물잔사에서 배출되는 N_2O 를 산정하는 농경지토양 부문이 있으며, 농작물 잔사를 소각하는 과정에서 발생하는 CH_4 과 N_2O 배출량을 산정하는 작물잔사소각 부문이 있음
- '18년 농업 분야 온실가스 총배출량은 약 21.2 백만톤 $\text{CO}_2\text{eq.}$ 으로 국가 총배출량의 약 2.9%를 차지, '90년 대비 1.0%, 전년 대비 1.1% 증가
- '90년 대비 '18년 배출 추이는 축산 관련 부문은 육류소비 증가에 따른 사육두수의 증가로 장내발효 및 가축분뇨처리 부문의 온실가스 배출량이 증가하는 경향을 보이는 반면, 경종 관련 부문은 벼재배 면적 감소의 영향으로 배출량이 감소하는 추이를 나타냄
- 축산과 관련된 장내발효 부문 배출량은 '90년 대비 1.5 백만톤 $\text{CO}_2\text{eq.}$, 51.0% 증가하였으며, 가축분뇨처리 부문 배출량은 '90년 대비 2.1 백만톤 $\text{CO}_2\text{eq.}$, 73.5% 증가, 한편, 경종과 관련된 벼재배 부문 배출량은 '90년 대비 4.2 백만톤 $\text{CO}_2\text{eq.}$, 40.2% 감소하였으며, 작물잔사소각 배출량은 '90년 대비 0.01 백만톤 $\text{CO}_2\text{eq.}$, 45.5% 감소, 그러나, 화학비료 및 가축분뇨 퇴·액비 사용량 증가로 인하여 농경지토양 분야 배출량은 '90년 대비 0.87 백만톤 $\text{CO}_2\text{eq.}$, 18.8% 증가
- '90년부터 '18년까지 농업 분야 배출량을 살펴보면, '96년과 '97년 최대치를 기록한 이후 지속적으로 감소하다가 '04년부터 '10년까지 증가하는 추세를 보였으며, 2011년 이후부터는 증감이 반복되는 추세를 보이고 있음

〈표 IV-1〉 축산분야 온실가스 배출 현황

구분		온실가스 배출현황							'90년 대비 증감률	'17년 대비 증감률
		1990	2000	2010	2015	2016	2017	2018		
		천톤-CO ₂ eq./년								
장내 발효	소	2,797	3,049	3,907	3,980	3,946	3,998	4,054	44.9	1.4
	양(산양)	18	52	27	27	31	36	45	150.0	25.0
	말	2	3	11	9	9	9	11	450.0	22.2
	돼지	139	257	309	319	328	354	358	157.6	1.1
	가금류	NE ¹⁾	NE	NE	NE	NE	NE	NE	-	-
	기타 가축(사슴)	5	15	8	4	4	3	3	-40.0	0.0
	소계	2,961	3,376	4,262	4,339	4,318	4,400	4,471	51.0	1.6
가축분뇨 처리	소	1,820	1,985	2,533	2,510	2,404	2,431	2,516	38.2	3.5
	양(면양)	0	0	1	0	0	0	0	-	-
	양(산양)	66	195	99	102	115	134	168	154.5	25.4
	말	2	4	12	10	10	10	11	450.0	10.0
	돼지	590	1,090	1,314	1,166	1,188	1,375	1,400	137.3	1.8
	가금류	349	542	816	790	773	700	829	137.5	18.4
	기타 가축(사슴)	18	56	29	15	14	12	11	-38.9	-8.3
	소계	2,845	3,872	4,804	4,593	4,504	4,662	4,935	73.5	5.9
농경지 토양	직접배출 ²⁾	2,427	2,761	2,820	2,890	2,891	2,940	3,018	24.4	2.7
	간접배출 ³⁾	2,178	2,392	2,331	2,353	2,355	2,392	2,454	12.7	2.6
	소계	4,605	5,153	5,151	5,243	5,246	5,332	5,472	18.8	2.6
총계		10,411	12,401	14,217	14,175	14,068	14,394	14,878	42.9	3.4

주1) NE(Not estimated), 배출·흡수활동 및 공정이 있으나 산정하지 아니하는 경우.

주2) 화학비료, 가축분뇨, 질소고정작물(두과류)과 작물 잔사의 토양환원 등에 의한 N₂O 배출.

주3) 화학비료, 가축분뇨 등 비료 투입에 의한 대기회산과 수계유출에 의한 N₂O 배출.

자료) 2020 국가 온실가스 인벤토리 보고서(환경부 온실가스종합정보센터, 2021)

2. 축산분야 온실가스 배출계수 및 산정 방법론

가. 장내발효

(1) 배출원 개요

- 장내발효 부문에서 산정하는 CH₄ 배출은 가축의 소화과정에서 생기는 일반적 부산물로, 반추(反芻) 가축은 반추위(反芻胃)에 존재하는 미생물들이 탄수화물 형태인 셀룰로스(cellulose)를 소화하는 과정에서 CH₄을 많이 발생시키며 비반추 가축도 소화 과정에서 CH₄을 일부 생성
- 즉, 소화기관의 유형에 따라 CH₄이 배출되는 비율이 다른데, 주요 반추 가축인 소, 염소(산양), 양(면양)은 혹위(전위) 안에서 많은 양의 CH₄를 생성하는 발효작용이 일어나기 때문에 CH₄ 배출량이 많으며, 반면 유사 반추(pseudo-ruminant) 가축인 말, 노새, 당나귀와 단위(單胃, monogastric) 가축인 돼지, 닭 등은 반추 가축에 비해 소화기관에서 더 적은 양의 CH₄을 생성하여 상대적으로 CH₄ 배출량이 적음, 또한 장내발효에 의해 배출되는 CH₄의 양은 가축의 유형뿐 아니라 나이, 무게, 사료의 질과 양, 그리고 에너지 소비량에 따라 차이를 보임

(2) 방법론

- 장내발효 부문의 CH₄ 배출량은 1996 IPCC GL의 Tier 1 방법으로 산정하고 있으며, 배출량은 1996 IPCC GL의 Tier 1 기본 배출계수에 활동자료를 곱하여 산정하며, 활동자료는 축종별 사육두수의 통계조사 주기에 따라 분기별 사육두수의 연평균[젖소, 한·육우, 돼지, 닭, 오리(2011년 이후)] 또는 연간 조사된 사육두수의 해당연도 및 직전 2개년까지의 자료를 평균한 3년 평균값[염소(산양), 양(면양), 말, 사슴, 오리(1988-2010년) 등]을 적용함

<장내발효 부문의 CH₄ 배출량 산정식>

$$E_i = EF_i \times population_i \times (Gg/10^6 kg)$$

E_i : 가축종 i의 CH₄ 배출량(천톤 CH₄/year)

EF_i : 가축종 i의 배출계수(kg CH₄/head/year)

$population_i$: 가축종 i의 사육두수(head)

- 배출계수는 1996 IPCC GL의 각 지역별 Tier 1 배출계수에 대한 설명을 참조하여 국가 현실에 적합한 배출계수를 선택하여 사용함
- 젖소와 한·육우의 경우 북미 배출계수를 이용하고 있으며, 돼지의 경우는 선진국의 배출계수를 이용하며, 기타 그 외의 축종은 개발도상국(developing countries)의 배출계수를 이용함
- 돼지의 경우 1990년부터 2016년까지는 「가축동향조사 (통계청, 1990-2017)」의 분기별 자료를 이용하여 평균값을 계산하고, 2017년부터는 축산물 품질평가원 돼지 이력제에 기반한 「가축동향조사(통계청, 2018-2019)」의 분기 평균을 활동자료로 사용하여 산출함

〈표 IV-2〉 장내발효 부문 축종별 CH₄ 배출계수

축종	배출계수 (kg CH ₄ /head/yr)	배출계수 출처	배출계수 계산법
젖소	118	IPCC 기본값(북미)	IPCC, Tier 1
한·육우	47	IPCC 기본값(북미)	IPCC, Tier 1
돼지	1.5	IPCC 기본값(선진국)	IPCC, Tier 1
염소(산양), 사슴, 양(면양)	5	IPCC 기본값(개발도상국)	IPCC, Tier 1
말	18	IPCC 기본값(개발도상국)	IPCC, Tier 1

(자료) 1996 IPCC GL, Vol.3, Table 4-3, 4-4

나. 가축분뇨 처리

(1) 배출원 개요

- 가축분뇨처리 중 배출되는 온실가스는 CH₄과 N₂O이며, IPCC GL에 따른 배출원 중 국내에 해당되는 축종에는 젖소, 한·육우, 양(면양), 염소(산양), 말, 돼지, 닭, 오리, 사슴이 있음
- 유기물로 구성되어 있는 가축분뇨는 장내발효 조건과 유사하게 혐기성 환경(산소가 없는 경우)에서 미생물에 의해 분해될 때, CH₄이 발생되며, 분뇨 내의 질소 성분이 산소 공급 수준에 따라 질산화와 탈질화 과정을 거치면서 N₂O가 발생

- 가축분뇨의 CH₄ 배출량에 영향을 주는 요인에는 분뇨 발생량, 분뇨 내 유기물 양, 혐기성 분해되는 분뇨의 비율 등이 있으며, 분뇨 발생량과 분뇨 내 유기물의 양은 축종별 단위 배설량과 개체수, 섭취 사료에 따라 차이를 보임
- 혐기성 분해되는 분뇨의 비율은 분뇨관리와 처리법에 따라 다르며, 분뇨가 액체 형태로 저장, 처리될 때 혐기성 분해 비율이 더 높은 경향이 있어 더 많은 양의 CH₄ 이 배출되며, 분뇨가 고체형태(퇴비화 등)로 관리되거나 초원과 목장 등에서 가축이 방목지에서 배설하는 경우에는 호기적으로 분해되는 경향이 있으며, 이때는 혐기성 분해보다 CH₄이 적게 발생됨
- 가축분뇨의 N₂O 배출은 분뇨 내 질소 성분이 산소 공급 수준에 따라 질산화 및 탈질화를 거치면서 분해되어 발생하며, 이러한 과정을 통해 배출되는 N₂O의 양은 가축분뇨 처리방법과 기간의 영향을 받음

(2) 방법론

- CH₄의 경우, 우리나라는 IPCC의 기후조건 분류에 따르면 한대지역(cool climate region)에 속하며, 가축분뇨처리 부분의 CH₄ 배출계수는 1996 IPCC GL의 각 지역별 Tier 1 배출계수에 대한 설명을 참조하여 국가 현실에 적합한 배출계수를 선택
- 장내발효 부문에서 계산한 식과 동일하게 Tier 1 방법론을 이용하여 가축사육두수와 배출계수의 곱으로 배출량을 산정하고 있음, 가축분뇨처리 부분의 CH₄ 배출량을 산정하기 위해 필요한 활동자료는 가축사육두수이며 장내발효 부문의 CH₄ 배출량 산정을 위한 가축사육두수와 동일한 자료를 이용하고 있음

<가축분뇨 처리 부분의 CH₄ 배출량 산정식>

$$E_i = EF_i \times population_i \times (Gg/10^6 kg)$$

E_i : 가축종 i의 CH₄ 배출량(천톤 CH₄/year)

EF_i : 가축종 i의 배출계수(kg CH₄/head/year)

$population_i$: 가축종 i의 사육두수(head)

<표 IV-3> 가축분뇨처리 부문 축종별 CH₄ 배출계수

축종	배출계수 (kg CH ₄ /두수/년)	배출계수 자료	배출계수 계산법
젖소	36	IPCC 기본값(북미, 한대)	IPCC, Tier 1
한·육우	1	IPCC 기본값(북미, 한대)	IPCC, Tier 1
돼지	3	IPCC 기본값(서유럽, 한대)	IPCC, Tier 1
닭·오리	0.078	IPCC 기본값(선진국, 한대)	IPCC, Tier 1
염소(산양)·사슴	0.11	IPCC 기본값(개발도상국, 한대)	IPCC, Tier 1
양(면양)	0.10	IPCC 기본값(개발도상국, 한대)	IPCC, Tier 1
말	1.09	IPCC 기본값(개발도상국, 한대)	IPCC, Tier 1

(자료) 1996 IPCC GL, Vol.3, Table 4-5, 4-6

- N₂O의 경우, 가축분뇨처리 중 배출되는 N₂O 배출량은 Tier 1 방법을 이용하여 산정하며, 가축분뇨처리 시설의 CH₄ 배출량과는 달리, N₂O 배출량은 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율, 축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량, 가축분뇨처리시설의 N₂O 배출계수를 이용하여 산정하고 있음

<가축분뇨 처리 부분의 N₂O 배출량 산정식>

$$N_2O = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_T \times \neq x_{(T)} \times MS_{(T,S)}) \right] \times EF_{3(S)} \right] \times \frac{44}{28}$$

$N_2O(mm)$: 가축분뇨 처리시설의 N₂O 배출량(kg N₂O/year)

$N_{(T)}$: 가축 종류와 분류에 따른 연간 사육두수(head)

$\neq x_{(T)}$: 축종별 분뇨로 배출하는 연평균 질소량(kg N/head/year)

$MS_{(T,S)}$: 가축분뇨 처리시설 S의 이용비율

$EF_{3(S)}$: 가축분뇨처리시설 S의 아산화질소 배출계수(kg N₂O-N/kg N)

S : 가축분뇨처리시설

$\frac{44}{28}$: N을 N₂O로 전환하는 계수

〈표 IV-4〉 축종별 분뇨 내 연평균 질소량($\neq x_{(T)}$)

축종	분뇨 내 질소 배출량 (kg N/두수/년)	배출계수 출처
젖소	100	IPCC 기본값(북미)
한·육우	70	IPCC 기본값(북미)
돼지	20	IPCC 기본값(서유럽)
닭·오리	0.6	IPCC 기본값(서유럽)
염소(산양)·사슴	40	IPCC 기본값(극동아시아)
양(면양)	12	IPCC 기본값(극동아시아)

(자료) 1996 IPCC GL, Vol.3, Table 4-5, 4-6

〈표 IV-5〉 가축분뇨처리시설별 N₂O 배출계수

가축분뇨처리시설의 종류	배출계수 (kg N ₂ O-N/kg N)
액비화시설(liquid system)	0.001
퇴비화시설(solid storage and drylot)	0.02
기타시설(other system)	0.005

자료: 1996 IPCC GL, Vol.3, Table 4-22중 일부

- 가축분뇨처리 부분의 N₂O 배출량을 산정하기 위해 필요한 활동자료는 가축사육두수, 축종별 분뇨로 배출하는 연 평균 질소량, 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율임
- 가축사육두수는 장내 발효 과정의 CH₄ 배출량을 산정하기 위해 사용한 가축사육두수와 동일한 자료를 이용하고 있으며, 축종별 가축분뇨 처리시설 이용비율은 2011년도부터 조사된 「2011-2018년 농림어업조사(통계청, 2012-2019)」 마이크로데이터(MDIS)의 가축분뇨처리 및 분뇨수거 방법별 사육두수 통계를 이용함(<표 IV-6>)

〈표 IV-6〉 축종별 가축분뇨처리시설 이용비율($MS_{(T)}$)

(단위: %)

분뇨처리시설		젖소	한·육우	돼지	닭	오리	기타 가축
퇴비화 시설	2011	86.84	87.04	22.60	43.60	32.90	100.0
	2012	86.96	86.58	14.81	35.97	32.16	100.0
	2013	85.58	90.01	12.43	39.52	40.66	100.0
	2014	81.27	89.11	11.46	31.36	28.45	100.0
	2015	75.63	84.70	9.80	29.21	44.37	100.0
	2016	69.98	80.28	8.14	27.06	60.30	100.0
	2017	75.16	78.86	10.82	23.06	57.76	100.0
	2018	78.35	81.48	10.93	30.43	57.31	100.0
액비화 시설	2011	0.08	0.75	28.16	0.58	0.04	-
	2012	1.39	0.31	25.75	2.31	0.05	-
	2013	0.09	0.19	28.11	2.75	6.57	-
	2014	0.12	0.40	31.23	4.08	8.59	-
	2015	0.27	0.56	28.03	2.79	4.29	-
	2016	0.42	0.72	24.84	1.51	-	-
	2017	-	0.36	13.34	-	-	-
	2018	-	0.21	11.43	-	-	-
기타 시설	2011	13.08	12.21	49.24	55.82	67.05	-
	2012	11.66	13.12	59.44	61.72	67.79	-
	2013	14.34	9.80	59.46	57.73	52.76	-
	2014	18.60	10.49	57.31	64.56	62.96	-
	2015	24.10	14.74	62.17	67.99	51.33	-
	2016	29.60	18.99	67.02	71.43	39.70	-
	2017	24.84	20.78	75.84	76.94	42.24	-
	2018	21.65	18.30	77.65	69.57	42.69	-

주1) 기타 시설: 정화처리, 기타자체처리, 위탁처리 포함

주2) 기타 가축: 염소(산양), 사슴, 말, 양(면양)(축종별 가축분뇨처리시설 이용비율 적용을 위한 기타 가축군 분류이며, CRF 상의 기타 가축과는 다름)

주3) 소수점 이하 4자리까지 유효숫자 처리하여 산정식에 적용

주4) 1990-2010년은 과거 조사자료가 없으므로 가장 근접한 과거연도(2011)의 값을 준용, 2015년은 신규조사 자료가 없으므로 농림어업조사(통계청, 2016)의 마이크로데이터를 활용하여 내삽

(자료) 2011-2018년 농림어업조사(통계청, 2012-2019)

3. 축산분야 국가 온실가스 배출계수 검토

가. 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인

(1) 방법론

- “1996 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인(IPCC, 1996)”에서 규정하는 온실가스 인벤토리 방법론에는 대부분의 국가들이 일반적으로 적용할 수 있는 Tier 1의 방법론을 제공함과 동시에 국가 고유의 농축산업 환경 특성을 반영하여, 보다 정확한 온실가스 배출량을 산정토록 하는 Tier 2의 방법론을 제공하고 있음
- 일반적으로 Tier 1의 방법론은 단순한 산출식으로 이루어져 있어 온실가스 배출량의 산정이 용이한 특성이 있으나, Tier 1 방법론에는 국가별 고유한 농업특성이 반영되지 않기 때문에 국가 고유의 농업 활동 특성에 따라 부문별 온실가스 배출량이 과다 또는 과소하게 산출될 수 있음
- “1996 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인”에서는 축산분야의 가축 분뇨 장내발효 부문의 경우 젖소, 소의 축종에 대해서는 Tier 2의 방법론을 추천하고 있으며, 양, 오리, 말, 돼지 등의 축종에 대해서는 Tier 1의 방법론을 추천하고 있음
- 또한, 가축분뇨 처리 부문에서는 젖소, 소, 버팔로, 돼지의 경우 Tier 2의 방법론을 추천하고 있으며, 기타 축종에 대해서는 Tier 1의 방법론을 추천하고 있음, IPCC에서 국가별 활동 특성에 차이가 큰 부문에 대해서는 가능한 Tier 2의 방법론을 추천하고 있으며, 방법론 간에 국가별 온실가스 배출량의 차이가 크지 않은 경우에는 Tier 1의 방법론을 추천하고 있음
- “2006 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인(IPCC, 2006)”은 “1996 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인”을 보완 수정하여 발표한 것으로 기본적인 방법론은 “1996 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인”과 유사하나, 부문별 배출계수에서 좀 더 세분화하고 구체화한 것을 특징으로 하고 있음
- “2006 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인”의 경우, 축산분야의 가축분뇨 장내발효 부문의 경우 젖소, 소의 축종에 대해서는 Tier 2 또는 Tier 3의 방법론을 추천하고 있으며, 버팔로, 양은 Tier 2 또는 Tier 2의 방법론을 추천하고, 오리, 말, 돼지 등의 축종에 대해서는 Tier 1의 방법론을 추천하고 있음

- "2006 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인"에서는 가축종별로 국가별 활동 특성의 차이를 좀 더 인식하고, 국가 고유의 배출계수를 확보하는 방향으로 국가 온실가스 인벤토리 작성을 유도하고 있는 상황임
- 우리나라의 경우 국가 온실가스 인벤토리 작성에서 "1996 국가 온실가스 인벤토리 IPCC 가이드라인"에 근거를 두고 있으며, 모든 축종과 인벤토리 부문에 대하여 Tier 1의 방법론을 채택하고 있음
- 특히, IPCC는 양돈 분야에서 가축분뇨 처리 부문의 경우, 국가별 활동 특성의 차이를 인정하고 Tier 2의 방법론을 추천하고 있다는 점에서 Tier 2 방법론에 입각한 국가 고유 배출계수의 구축이 절실한 상황으로 판단됨

〈표 IV-7〉 축산분야 온실가스 인벤토리 방법론 추천 기준(1996 IPCC GL)

축종	IPCC 추천 온실가스 배출 인벤토리 방법론		국내 사용 온실가스 배출 인벤토리 방법론	
	장내발효 부문	가축분뇨 처리 부문	장내발효 부문	가축분뇨 처리 부문
젖소	Tier 2 ¹⁾	Tier 2	Tier 1	Tier 1
한·육우	Tier 2	Tier 2	Tier 1	Tier 1
버팔로	Tier 1	Tier 2	Tier 1	Tier 1
양	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1
오리	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1
낙타	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1
말	Tier 1	Tier 1	Tier 1	Tier 1
돼지	Tier 1	Tier 2	Tier 1	Tier 1
가금	미개발	Tier 1	미개발 ²⁾	Tier 1

주1) Tier 2 방법론은 대규모 가축사육을 하는 나라들에 대하여 추천함.

주2) 배출량 산출을 위한 자료 부족으로 미개발.

(자료) 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 1996).

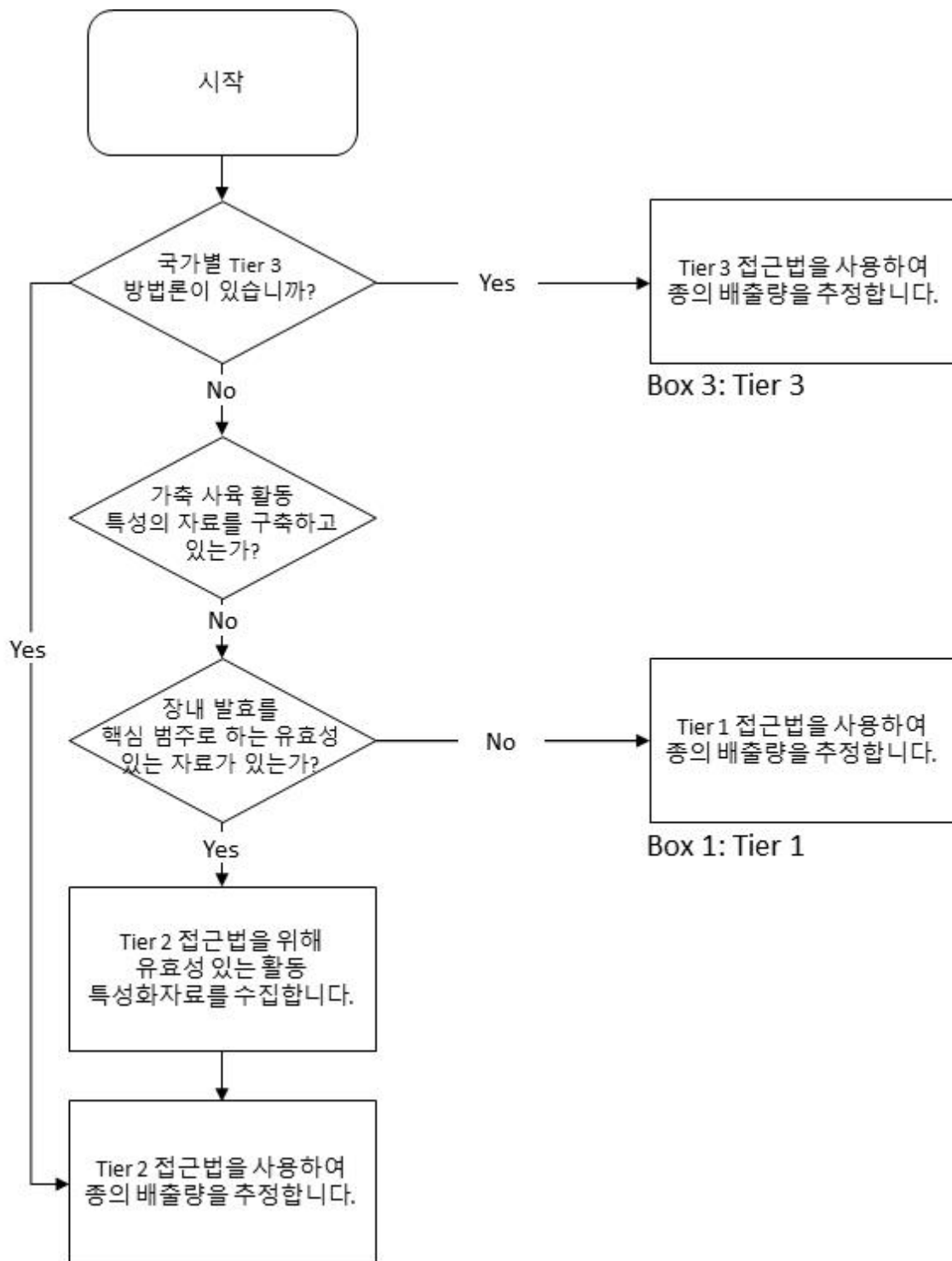
〈표 IV-8〉 축산분야 온실가스 배출 인벤토리 방법론 추천 기준(2006 IPCC GL)

축종	IPCC 추천 온실가스 배출 인벤토리 방법론(장내발효 부문)	국내 사용 온실가스 배출 인벤토리 방법론(장내발효 부문)
젖소	Tier 2 ¹⁾ /Tier 3	Tier 1
한·육우	Tier 2/Tier 3	Tier 1
버팔로	Tier 1/Tier 2	Tier 1
양	Tier 1/Tier 2	Tier 1
오리	Tier 1	Tier 1
낙타	Tier 1	Tier 1
말	Tier 1	Tier 1
돼지	Tier 1	Tier 1
닭	미개발	미개발 ²⁾
기타(사슴, 산양 등)	Tier 1	Tier 1

주1) Tier 2 방법론은 대규모 가축사육을 하는 나라들에 대하여 추천함.

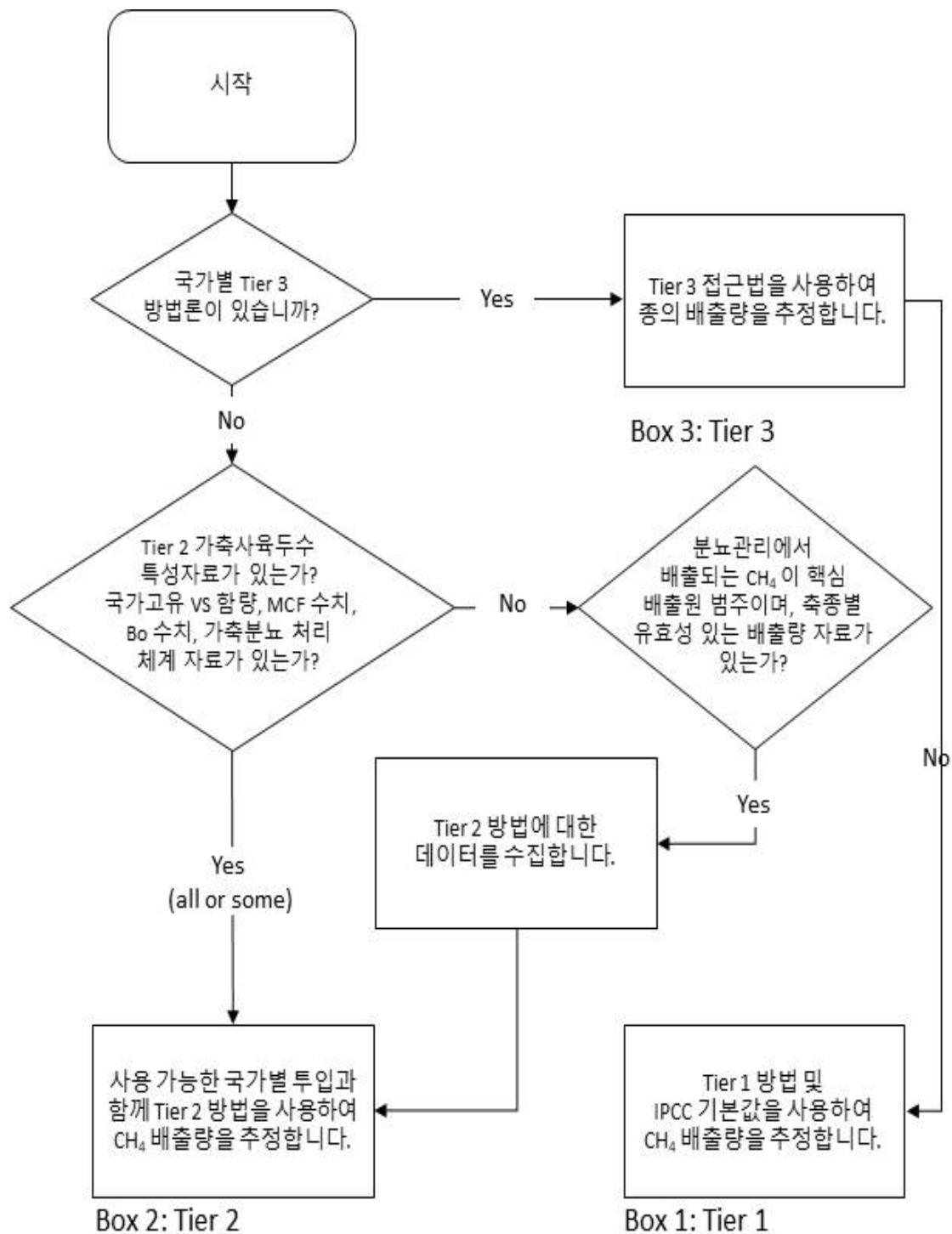
주2) 배출량 산출을 위한 자료 부족으로 미개발.

(자료) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).



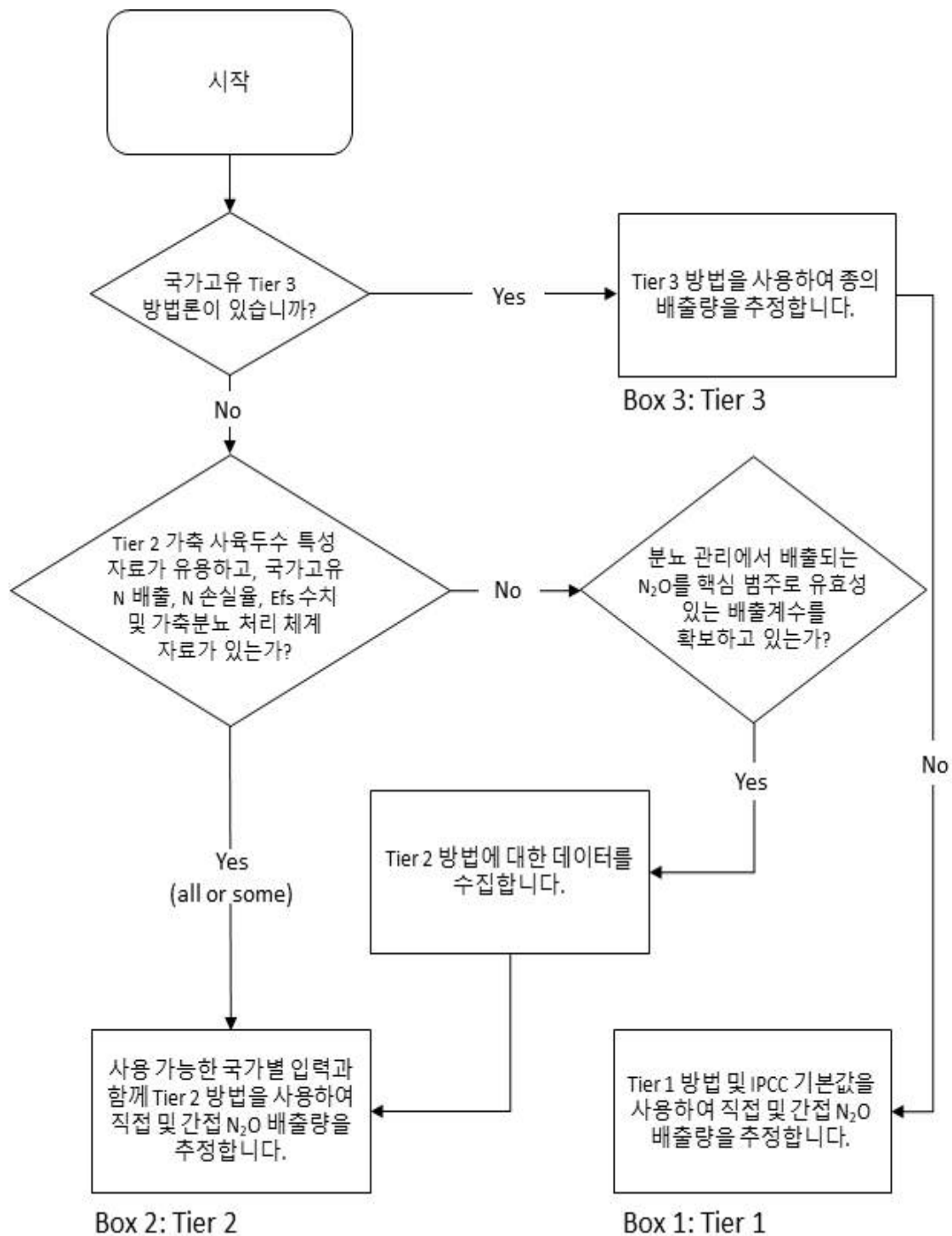
〈그림 IV-1〉 장내발효 부문 온실가스 배출량 방법론 결정 체계

(자료) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).



〈그림 IV-2〉 가축분뇨 처리 부문 CH₄ 배출량 방법론 결정 체계

(자료) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).



〈그림 IV-3〉 가축분뇨 처리 부문 N₂O 배출량 방법론 결정 체계

(자료) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).

(2) 장내발효 부문 CH₄ 배출계수(Tier 1)

- 국가 온실가스 배출계수의 검토를 위하여 1996 IPCC GL(IPCC, 1996)과 2006 IPCC GL(IPCC, 2006)의 부문별 배출계수를 검토하였으며, IPCC에서는 국가별 온실가스 배출계수 작성을 위한 지침(Guideline)을 제공하고 있으며, 1996년과 2006년에 각각 기본적인 방법론과 배출계수를 제공하였음
- 앞에서 서술한 바와 같이, 국가 온실가스 배출량 산정 방법론은 국가별 농축산업의 활동 특성의 반영 정도에 따라 방법론의 단계를 Tier 1, 2, 3로 구분하고 있으며, 가능한 Tier 3 방법론을 추천하고, Tier 3 방법론의 작성을 위한 기초 활동자료가 미흡한 경우, Tier 1의 방법론을 따르도록 하고 있음, 우리나라는 기본적으로 1996 IPCC GL(IPCC, 1996)의 Tier 1 방법론에 기초하여 국가 온실가스 인벤토리를 작성하고 있음
- Tier 1 방법론에서 장내발효 부문의 배출계수는 지역별, 기후대별, 축종별 배출계수를 제공하고 있으며, 지역별 구분은 축산업의 활동 특성에 따라 북미, 서유럽, 동유럽, 오세아니아, 라틴 아메리카, 아프리카와 중동, 아시아, 인도 아대륙으로 구분함
- 우리나라에서는 장내발효 부문의 배출계수로 젖소, 한·육우는 북미지역의 배출계수를 사용하고 있으며, 돼지는 선진국의 배출계수를 사용하고 있음, 북미지역은 산업화에 따른 고생산성의 낙농업 지역으로 고품질의 조사료 및 곡물사료를 급여하고, 소의 경우 계절적으로 방목을 실시하며, 최종적으로는 사육사에서 곡물 급여를 통해 빠른 육성기를 가지며, 젖소의 사육두수는 적은 활동 특성을 가지는 지역임
- 1996 IPCC GL(IPCC, 1996)에서는 북미지역 장내발효 부문 배출계수가 젖소 118 kg CH₄/두/년, 한·육우 47 kg CH₄/두/년이었으나 2006 IPCC GL(IPCC, 2006)에서는 북미지역 장내발효 부문 배출계수가 젖소 128 kg CH₄/두/년, 한·육우 53 kg CH₄/두/년으로 증가하여 우리나라에서 2006 IPCC GL(IPCC, 2006) 기준으로 장내발효 온실가스 배출량을 산출하는 경우 온실가스 배출량의 증가가 예상됨
- 돼지의 경우 장내발효 부문 온실가스 배출량이 크지 않은 상황으로 1996 IPCC GL(IPCC, 1996)과 IPCC GL(IPCC, 2006)에서 1.5 kg CH₄/두/년으로 동일한 배출계수를 채택하고 있어, IPCC GL(IPCC, 2006)으로의 기준 설정에도 온실가스 배출량의 증가영향은 없을 것으로 판단됨

〈표 IV-9〉 기후 지역별 축산업 특성

지역	가축분뇨 관리 특성
북미 (North America)	- 산업화에 따른 고생산성 낙농업 지역으로 고품질의 조사료 및 곡물사료 급여, 소의 경우 계절적으로 방목을 실시하고, 최종적으로는 사육사에서 곡물 급여를 통해 빠른 육성기를 가짐, 젖소의 사육두수는 적음
서유럽 (Western Europe)	- 산업화에 따른 고생산성 낙농업 지역으로 고품질의 조사료 및 곡물사료 급여, 젖소가 어린 육우로 이용, 사육에서의 곡물급여 사육체계가 적음
동유럽 (Eastern Europe)	- 방목지 기반으로 하는 산업화된 낙농업 체계, 육우는 방목을 실시하고, 곡물사료를 급여하는 사육사 급여체계가 적음
오세아니아 (Oceania)	- 방목지 기반으로 하는 산업화된 낙농업 체계, 육우는 다양한 방목지를 이용하여 사육하고, 곡물 사료 기반의 사육체계가 성장하고 있음, 젖소의 사육두수는 적음
라틴 아메리카 (Latin America)	- 방목지 기반으로 하는 산업화된 낙농업 체계, 육우는 방목지를 이용하여 사육하고, 곡물 사료 급여 사육체계가 미미함, 낙농 이외의 가축 사육 부문이 성장하고 있음
아프리카, 중동 (Africa, Middle East)	- 방목지를 기반으로 하는 산업화된 낙농업 체계, 낮은 생산성을 가짐, 대부분의 소 가축은 다양한 목적(농업활동, 우유생산 등)으로 사용, 일부 소는 넓은 지역에서 방목되고, 대부분의 가축이 다른 지역과 비교하여 왜소함
아시아 (Asia)	- 작은 산업화된 낙농업 체계를 가지고, 대부분의 소 가축은 다양한 목적(농업활동, 우유생산 등)으로 사용, 방목 가축의 수가 적으며, 대부분의 가축이 다른 지역과 비교하여 왜소함
인도 아대륙 (Indian Subcontinent)	- 작물 부산물을 이용하는 사료 급여 체계를 가지는 산업화된 낙농업 체계, 생산성이 낮으며, 소 가축은 다양한 목적(농업활동, 우유생산 등)으로 사용, 방목 가축의 수가 적으며, 이 지역의 소는 다른 지역과 비교하여 가장 작음

(자료) 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 1996), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).

〈표 IV-10〉 장내발효 부문 온실가스 배출계수(Tier 1, 1996 IPCC GL)

(단위: kg CH₄/두/년)

축종	선진국	개발도상국
버팔로	55	55
양	8	5
오리	5	5
낙타	46	46
말	18	18
돼지	1.5	1.0
가금	미산정 ¹⁾	미산정

주1) 배출량 산출을 위한 자료 부족으로 미개발.

(자료) 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 1996).

〈표 IV-11〉 소의 장내발효 부문 온실가스 배출계수(Tier 1, 1996 IPCC GL)

(단위: kg CH₄/두/년)

지역 ¹⁾	젖소	한·육우
북미	118	47
서유럽	100	48
동유럽	81	56
오세아니아	68	53
라틴아메리카	57	49
아시아	56	44
아프리카, 중동	36	32
인도 아대륙	46	25

주1) 가축의 생산성, 급여사료의 종류 및 특성, 사육시스템, 젖소의 사육 밀도 등 축산활동 특성에 따라 지역을 구분함.

(자료) 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 1996).

〈표 IV-12〉 장내발효 부문 온실가스 배출계수(Tier 1, 2006 IPCC GL)

(단위: kg CH₄/두/년)

축종	선진국	개발도상국	생체중
버팔로	55	55	300kg
양	8	5	65kg - 선진국 45kg - 개발도상국
오리	5	5	40kg
낙타	46	46	570kg
말	18	18	550kg
사슴	20	20	120kg
알파카	8	8	64kg
돼지	1.5	1.0	
가금	미산정 ¹⁾	미산정	
기타(산양 등)	개발중	개발중	

주1) 배출량 산출을 위한 자료 부족으로 미개발.

(자료) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).

〈표 IV-13〉 소의 장내발효 부문 온실가스 배출계수(Tier 1, 2006 IPCC GL)

(단위: kg CH₄/두/년)

지역 ¹⁾	젖소	한·육우
북미	128	53
서유럽	117	57
동유럽	99	58
오세아니아	100	60
라틴아메리카	72	56
아시아	68	47
아프리카, 중동	46	31
인도 아대륙	58	27

주1) 가축의 생산성, 급여사료의 종류 및 특성, 사육시스템, 젖소의 사육 밀도 등 축산활동 특성에 따라 지역을 구분함.

(자료) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).

(3) 가축분뇨 관리 부문 CH₄ 배출계수(Tier 1)

- 가축분뇨 관리 부문의 CH₄ 배출계수는 지역별, 기후대별, 축종별 가축분뇨 관리 관련 축산활동 특성에 따라 배출계수를 설정하고 있으며, 기후대별 지역은 북미, 서유럽, 동유럽, 오세아니아, 라틴 아메리카, 아프리카, 중동, 아시아, 인도 아대륙으로 구분하고 있음
- 우리나라는 가축분뇨 관리 부문의 CH₄ 배출계수에서 젖소와 한·육우는 북미(한대), 돼지는 서유럽(한대) 지역의 배출계수를 채택하여 사용하고 있으며, IPCC GL(IPCC, 1996)에서는 기후대를 한대, 온대, 온난으로 구분하는 반면, IPCC GL(IPCC, 2006)에서는 한대, 온대, 온난의 기후대별 평균기온을 세분화하여 배출계수를 정하고 있음
- 북미지역의 가축분뇨 관리 활동 특성은 젖소와 돼지 분뇨의 관리에 액상 기반의 시스템을 사용하고, 기타 소(한·육우) 분뇨는 고상으로 관리되고 목초지나 방목장에 퇴적관리하는 형태이며, 서유럽의 가축분뇨 관리 활동 특성은 소 및 돼지 분뇨의 관리에 액상(Liquid)/슬러리(Slurry) 및 저장(pit) 시스템이 사용되고, 분뇨 살포에 사용할 수 있는 경작지가 제한된 형태임
- 실질적으로 우리나라의 가축분뇨 관리 활동 특성은 소의 경우 톱밥우사 등 고상의 사육사 관리형태가 많고, 돼지의 경우, 약 20%정도가 평사 및 톱밥돈사로서 고상의 사육사 관리를 하고 있어 IPCC GL(IPCC, 1996)의 가축분뇨 관리 부문 Tier 1에 따르는 북미, 서유럽 지역의 가축분뇨 관리 특성과는 차이가 있는 상황임
- IPCC GL(IPCC, 1996)의 경우, 가축분뇨 관리 부문 배출계수는 젖소 36 kg CH₄/두/년, 한·육우 1 kg CH₄/두/년, 돼지 3 kg CH₄/두/년이나, IPCC GL(IPCC, 2006)에서는 우리나라의 연평균 기온을 10℃로 가정하는 경우, 가축분뇨 관리 부문 배출계수는 젖소 48 kg CH₄/두/년, 한·육우 1 kg CH₄/두/년, 돼지 9 kg CH₄/두/년에 해당됨
- 따라서, 우리나라 온실가스 인벤토리 작성에 IPCC GL(IPCC, 1996)이 아닌, IPCC GL(IPCC, 2006)을 적용하는 경우, 젖소, 한·육우, 양돈산업 전반에서 온실가스 배출량의 증가가 예상됨, Tier 1의 방법론을 적용하는 우리나라에서는 향후 IPCC GL(IPCC, 2006) 배출계수의 적용으로 상당한 온실가스 배출량 증가가 예상되며, 우리나라 국가 고유 배출계수에 따르는 Tier 2 또는 Tier 3의 방법론의 개발이 시급한 상황임

〈표 IV-14〉 기후 지역별 가축분뇨 관리 특성

지역	가축분뇨 관리 특성
북미 (North America)	<ul style="list-style-type: none"> - 젖소와 돼지 분뇨의 관리에 액상 기반의 시스템이 사용 - 기타 소 분뇨는 고상으로 관리되고 목초지나 방목장에 퇴적
서유럽 (Western Europe)	<ul style="list-style-type: none"> - 소 및 돼지 분뇨의 관리에 액상(Liquid)/슬러리(Slurry) 및 저장(pit) 시스템이 사용 - 분뇨 살포에 사용할 수 있는 경작지는 제한되어 있음
동유럽 (Eastern Europe)	<ul style="list-style-type: none"> - 대부분의 분뇨 관리에 고상 기반 시스템이 사용 - 가축 분뇨의 약 1/3이 액상 기반 시스템으로 관리
오세아니아 (Oceania)	<ul style="list-style-type: none"> - 라군(lagoon)을 사용하는 젖소 분뇨를 제외하고, 대부분의 가축 분뇨는 목초지와 방목장에서 고상으로 관리 - 돼지 분뇨의 약 절반은 혐기성 라군에서 관리
라틴 아메리카 (Latin America)	<ul style="list-style-type: none"> - 거의 모든 가축 분뇨는 목초지와 방목장에서 고상으로 관리 - 버팔로 분뇨는 목초지와 방목장에 퇴적
아프리카 (Africa)	<ul style="list-style-type: none"> - 대부분의 가축분뇨는 목초지와 방목장에서 고상으로 관리 - 적지만 상당한 부분이 연료로 연소 이용됨
중동 (Middle East)	<ul style="list-style-type: none"> - 가축 분뇨의 2/3 이상이 목초지와 방목장에 퇴적 - 돼지 분뇨의 약 1/3이 액상 기반 시스템에서 관리 - 버팔로 분뇨는 연료로 연소되거나 고상으로 관리
아시아 (Asia)	<ul style="list-style-type: none"> - 소 분뇨의 약 절반이 연료로 사용되며 나머지는 건식 시스템에서 관리 - 돼지 분뇨의 40%가 액상으로 관리, 버팔로 분뇨는 drylot에서 관리되고 목초지와 방목장에 퇴적
인도 아대륙 (Indian Subcontinent)	<ul style="list-style-type: none"> - 소와 버팔로 분뇨의 약 절반이 연료로 사용되며 나머지는 건식 시스템에서 관리 - 돼지 분뇨의 약 1/3이 액상으로 관리

(자료) 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 1996), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).

〈표 IV-15〉 가축분뇨 관리 부문 온실가스 배출계수(Tier 1, 1996 IPCC GL)

지역별 특성 ¹⁾	가축 종류	기후 지역별 배출계수 ²⁾ (kg-CH ₄ /head/yr)		
		한대	온대	온난
북미	젖소	36	54	76
	한·육우	1	2	3
	돼지	10	14	18
서유럽	젖소	14	44	81
	한·육우	6	20	38
	돼지	3	10	19
	버팔로	3	8	17
동유럽	젖소	6	19	33
	한·육우	4	13	23
	돼지	4	7	11
	버팔로	3	9	16
오세아니아	젖소	31	32	33
	한·육우	5	6	7
	돼지	20	20	20
라틴 아메리카	젖소	0	1	2
	한·육우	1	2	1
	돼지	0	1	2
	버팔로	1	1	2
아프리카	젖소	1	1	1
	한·육우	0	1	1
	돼지	0	1	2
중동	젖소	1	2	2
	한·육우	1	1	1
	돼지	1	3	6
	버팔로	4	5	6
아시아	젖소	7	16	27
	한·육우	1	1	2
	돼지	1	4	7
	버팔로	1	2	3
인도 아대륙	젖소	5	5	6
	한·육우	2	2	2
	돼지	3	4	6
	버팔로	4	5	5

주1) 가축 사육체계에 따른 가축분뇨 발생 특성(목초지, 방목지, 사육사), 가축분뇨 관리 특성(고상, 액상), 처리시스템의 특성(고상, 액상) 및 고체연료 이용 등 이용특성에 따른 분류.

주2) 서늘한 기후는 평균 기온이 15°C 미만, 온대 기후는 평균 기온이 15°C에서 25°C 사이, 따뜻한 기후는 평균 기온이 25°C 이상임.

(자료) 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 1996).

〈표 IV-16〉 가축분뇨 관리 부문 온실가스 배출계수(Tier 1, 2006 IPCC GL)

지역적 특성 ¹⁾	가축종	연평균 기온별 CH ₄ 배출계수 (°C)																			
		한대 (Cool)					온대 (Temperate)												온난 (Warm)		
		≤10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	≥28	
북미	젖소	48	50	53	55	58	63	65	68	71	74	78	81	85	89	93	98	105	110	112	
	한·육우	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	비육돈	10	11	11	12	12	13	13	14	15	15	16	17	18	18	19	20	22	23	23	
	사육돈	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	31	32	34	35	37	39	41	44	45	
서유럽	젖소	21	23	25	27	29	34	37	40	43	47	51	55	59	64	70	75	83	90	92	
	한·육우	6	7	7	8	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	24	25	26	
	비육돈	6	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12	13	14	15	16	18	19	21	21	
	사육돈	9	10	10	11	12	13	14	15	16	17	19	20	22	23	25	27	29	32	33	
	버팔로	4	4	5	5	5	6	7	7	8	9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
동유럽	젖소	11	12	13	14	15	20	21	22	23	25	27	28	30	33	35	37	42	45	46	
	한·육우	6	6	7	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16	18	19	21	23	23	
	비육돈	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	10	10	10	
	사육돈	4	5	5	5	5	6	7	7	7	8	8	9	9	10	11	12	16	17	17	
	버팔로	5	5	5	6	6	7	8	8	9	10	11	11	12	13	15	16	17	19	19	
오세아니아	젖소	23	24	25	26	26	27	28	28	28	29	29	29	29	29	30	30	31	31	31	
	한·육우	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	비육돈	11	11	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
	사육돈	20	20	21	21	22	22	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	
라틴 아메리카	젖소	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
	한·육우	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	돼지	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
	버팔로	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	

〈표 IV-16〉 계속

지역적 특성	가축 종	연평균 기온별 CH ₄ 배출계수 (°C)																		
		한대 (Cool)					온대 (Temperate)										온난 (Warm)			
		≤10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	≥28
아프리카	젖소	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	한·육우	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	돼지	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
중동	젖소	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
	한·육우	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	돼지	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6
	버팔로	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
아시아	젖소	9	10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	23	24	26	28	31	31
	한·육우	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	돼지	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	7	7
	버팔로	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
인도 아대륙	젖소	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6
	한·육우	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	돼지	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6
	버팔로	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

주1) 가축 사육체계에 따른 가축분뇨 발생 특성(목초지, 방목지, 사육사), 가축분뇨 관리 특성(고상, 액상), 처리시스템의 특성(고상, 액상) 및 고체 연료 이용 등 이용특성에 따라 분류.

(자료) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).

(4) 가축분뇨 관리 부문 N₂O 배출계수(Tier 1)

- 가축분뇨 관리 부문 N₂O 배출계수는 지역별, 가축종별 질소 배출계수를 구하고, 가축분뇨 처리방법별 배출 질소당 N₂O 배출계수를 구하여 산출하고 있으며, 우리나라에서는 지역별, 가축종별 질소 배출계수에 대하여 IPCC GL(IPCC, 1996)에 근거하여 젖소, 한·육우는 북미지역을 기준으로 산출하고, 돼지의 경우 서유럽을 기준으로 산출하고 있음, 또한, 가축분뇨 처리방법별 배출 질소당 N₂O 배출계수는 액비화(Liquid system), 퇴비화(Solid storage and drylot), 기타 시설만을 고려하여 N₂O 배출량을 산출하고 있음
- IPCC GL(IPCC, 2006)에서는 지역별, 가축종별 질소 배출계수의 산출에서 기존 두당 질소 배출량을 가축의 체중 1,000kg당 질소 배출량으로 세분화하여 산출하고 있으며, 가축분뇨 처리방법별 배출 질소당 N₂O 배출계수는 액비화, 퇴비화 이외의 혐기소화, 깔짚 사육사 등 다양한 분뇨관리 형태에 대하여 배출계수를 설정하고 있음
- 특히, 가축분뇨 처리방법별 배출 질소당 N₂O 배출계수는 IPCC GL(IPCC, 1996)에서 액비화(Liquid system) 0.001, 퇴비화(Solid storage and drylot) 0.02, 기타 시설 0.005 kg N₂O-N/kg N으로 정하고 있는 반면, IPCC GL(IPCC, 2006)에서는 액비화(Liquid system) 0.005, 퇴비화(Solid storage and drylot) 0.005 kg N₂O-N/kg N으로 정하고 있음
- 그러나, IPCC GL(IPCC, 2006)에서는 호기성처리(Aerobic treatment) 0.005, 밀폐형 퇴비화(Composting - In-Vessel) 0.006, 퇴적형 퇴비화(Composting - Static Pile) 0.006 kg N₂O-N/kg N 등 다양한 가축분뇨 처리 방법에 대한 배출계수를 제공하고 있어, IPCC GL(IPCC, 1996)의 방법론과 비교하여 IPCC GL(IPCC, 2006)의 방법론이 국가별 가축분뇨 처리특성을 더욱 잘 반영하는 형태로 온실가스 배출계수 산정 방법론을 제공하고 있음
- 돼지의 경우, IPCC GL(IPCC, 2006)의 서유럽 기준인 0.5 kg N/1,000 kg-체중/일을 적용하는 경우, 두당 평균 질소 배출량은 약 10.95 kg N/두/년³⁾으로 예상되어 IPCC GL(IPCC, 1996)에서 정하는 20 kg N/두/년 와 비교하여 질소 배출량의 감소 가능성이 큰 것으로 판단됨

3) $0.05 \text{ kg N}/1,000 \text{ kg-체중/일} \times 60\text{kg}/1000\text{kg} \times 365\text{일} = 10.95 \text{ kg-N}$ (돼지의 평균체중 60 kg기준으로 산출)

- 또한, 우리나라의 경우, 가축분뇨 처리에서 쪼갬, 한·육우는 90% 이상을 퇴비화 처리하고 있고, 돼지의 경우 약 47% 정도를 폭기에 의한 액비화 및 정화처리를 하고 있어 IPCC GL(IPCC, 2006)을 적용하는 경우, 가축사육두당 질소배출량 저감과 가축분뇨 처리 방법에서의 계수 다변화로 가축분뇨 처리 부문의 N_2O 배출량의 저감이 가능할 것으로 추정됨
- 그러나, 국내 온실가스 인벤토리의 선진화를 위해서는 IPCC GL(IPCC, 2006)에서 추천하는 바와 같이 Tier 2 또는 Tier 3의 방법론의 마련이 시급하며, 국가 고유 방법론의 개발과 함께 기존 Tier 1 방법론과의 비교 검토가 필요한 상황임
- 우리나라는 2050 탄소중립 선언과 2050 탄소중립 시나리오 수립으로 농업 분야에서는 가축분뇨 처리방법에서 N_2O 배출량이 적은 가축분뇨 고체연료화(직접배출 없음, 대기 간접배출) 및 바이오가스화(혐기소화조 0 kg N_2O-N/kg N) 시설의 설치 확대를 계획하고 있어, 향후 가축분뇨 에너지화 시설 설치의 보급을 통해 상당한 양의 축산부문 온실가스 직접 배출량의 저감이 가능할 것으로 판단됨

〈표 IV-17〉 기후지역별 축종별 질소(N) 배출 계수(1996 IPCC GL)

(단위: kg N/두/년)

지역	가축종					
	한·육우	젖소	가금	양	돼지	기타가축
북미 (North America)	70	100	0.6	16	20	25
서유럽 (Western Europe)	70	100	0.6	20	20	25
동유럽 (Eastern Europe)	50	70	0.6	16	20	25
오세아니아 (Oceania)	60	80	0.6	20	16	25
라틴 아메리카 (Latin America)	40	70	0.6	12	16	40
아프리카 (Africa)	40	60	0.6	12	16	40
근동과 지중해 지역 (Near East & Mediterranean)	50	70	0.6	12	16	40
아시아와 극동 (Asia & Far East)	40	60	0.6	12	16	40

(자료) 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 1996).

〈표 IV-18〉 가축분뇨처리시설별 N₂O 배출계수

가축분뇨처리시설의 종류	배출계수[EF ₃] (kg N ₂ O-N/kg N)
혐기라군(Anaerobic lagoon)	0.001
액체시스템(Liquid system)	0.001
매일 살포(Daily spread)	0.0
고상저장(Solid storage and drylot)	0.02
방목장(Pasture range and paddock)	0.02
고체연료(Used as fuel)	-
기타 시스템(Other system)	0.005

(자료) 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 1996).

〈표 IV-19〉 기후지역별 축종별 질소(N) 배출 계수(2006 IPCC GL)

(단위: kg N/1,000 kg-체중/일)

가축종		가축종							
		북미 (North America)	서유럽 (Western Europe)	동유럽 (Eastern Europe)	오세아니아 (Oceania)	라틴 아메리카 (Latin America)	아프리카 (Africa)	중동 (Middle East)	아시아 (Asia)
젖소		0.44	0.48	0.35	0.44	0.48	0.60	0.70	0.47
한·육우		0.31	0.33	0.35	0.50	0.36	0.63	0.79	0.34
돼지	평균	0.40	0.50	0.54	0.52	1.47	1.47	1.47	0.40
	판매	0.42	0.51	0.55	0.53	1.57	1.57	1.57	0.42
	사육	0.24	0.42	0.46	0.46	0.55	0.55	0.55	0.24
가금	평균	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
	산란계	0.83	0.96	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
	어린 산란계	0.62	0.55	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
	기타 닭	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
	육계	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
	칠면조	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
	오리	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83

(자료) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).

〈표 IV-20〉 가축분뇨처리시설별 N₂O 배출계수

가축분뇨처리시설의 종류		배출계수[EF ₃] (kg N ₂ O-N/kg N)
방목지 (Pasture/Range/Paddock)		간접배출
매일살포 (Daily spread)		0
고상저장 (Solid storage)		0.005
건식 가축사육장 (Dry lot)		0.02
액체 시스템 (Liquid/Slurry)	자연적 덮개 존재 (With natural crust cover)	0.005
	자연적 덮개 없음 (Without natural crust cover)	0
덮개가 없는 혐기라군 (Uncovered anaerobic lagoon)		0
저장조 (Pit storage below animal confinements)		0.002
혐기소화조 (Anaerobic digester)		0
연료이용 (Burned for fuel as waste)		간접배출
깔짚사육사 (Cattle and swine deep bedding)	혼합없음 (No mixing)	0.01
	혼합 (Active mixing)	0.07
밀폐형 퇴비화 (Composting - In-Vessel)		0.006
퇴적형 퇴비화 (Composting - Static Pile)		0.006
줄형 퇴비화-집약형 (Composting - Intensive Windrow)		0.1
줄형 퇴비화-수동형 (Composting - Passive Windrow)		0.01
가금퇴비-짚포함 (Poultry manure with litter)		0.001
가금퇴비-짚불포함 (Poultry manure without litter)		0.001
호기성 처리 (Aerobic treatment)	자연폭기 (Natural aeration)	0.01
	강제폭기 (Forced aeration)	0.005

(자료) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).

〈표 IV-21〉 가축분뇨 관리 시스템의 정의

시스템	정의
목초지/들판/방목장 (Pasture/Range/Paddock)	- 목초지와 들판의 동물 배설물은 퇴적된 상태로 방치되며, 관리되지 않음
매일살포 (Daily spread)	- 분뇨는 정기적으로 격리 시설에서 제거되며 배설 후 24시간 이내에 농경지나 목초지에 이용
고상저장 (Solid storage)	- 일반적으로 몇 개월 동안 분뇨들이 무더기로 저장, 분뇨는 충분한 양의 깔짚과 증발에 의한 수분 손실로 충분히 제공
건식가축사육장 (Dry lot)	- 축적된 분뇨가 주기적으로 제거될 수 있으며 식생 피복이 되지 않은 포장 또는 비포장 개방형 구역
액체/슬러리 (Liquid/Slurry)	- 보통 1년 미만의 기간 동안, 분뇨는 배설물로 저장되거나 동물 사육장 외부의 탱크 또는 흙 웅덩이에 저장
덮개가 없는 혐기라군 (Uncovered anaerobic lagoon)	- 유기물의 안정화와 저장을 겸비하도록 설계 및 운영되는 액상 저장 시스템 유형, 라군의 상층액은 일반적으로 라군과 관련된 격리 시설에서 분뇨를 제거하는 데 사용 - 혐기성 라군은 기후 지역, 휘발성 고형물 부하율 및 기타 운영 요인에 따라 다양한 저장 기간(최대 1년 이상)으로 설계되며, 라군의 물은 관 개수로 재활용되거나 밭에 관개 및 비료를 주는 데 사용할 수 있다.
저장조 (Pit storage below animal confinements)	- 일반적으로 밀폐된 동물 사육시설의 슬레이트 바닥 아래에 물을 거의 또는 전혀 첨가하지 않고 일반적으로 1년 미만의 기간 동안 수집 및 저장
혐기소화조 (Anaerobic digester)	- 짚이 있거나 없는 동물의 배설물은 수집되어 대형 용기 또는 피복되어 있는 라군에서 혐기성으로 소화 - 소화조는 복잡한 유기화합물을 CO ₂ 및 CH ₄ 로 미생물 환원시켜 폐기물 안정화를 위해 설계 및 작동되며, 이는 포집되어 연소되거나 연료로 사용
연료이용 (Burned for fuel as waste)	- 분뇨는 들판으로 배설되며, 햇볕에 말린 분뇨 케익은 연료로 연소 이용
깔짚사육사 (Cattle and swine deep bedding)	- 분뇨가 축적됨에 따라 깔짚은 생산 주기에 걸쳐 수분을 흡수하기 위해 6~12개월 동안 지속적으로 첨가 - 이 분뇨 관리 시스템은 깔짚 분뇨관리 시스템으로도 알려져 있으며, 건식지나 목초지와 겸비될 수 있음
밀폐형 퇴비화 (Composting - In-Vessel)	- 일반적으로 밀폐된 경로에서 강제 통기 및 지속적인 혼합을 통해 퇴비를 제조

〈표 IV-21〉 계속

시스템	정의
적층형 퇴비화 (Composting - Static Pile)	- 강제로 통기하여 퇴비를 만들고 혼합은 하지 않음
줄형 퇴비화-집약형 (Composting - Intensive Windrow)	- 혼합 및 통기를 위해 정기적으로 (적어도 매일) 뒤집기를 하여 퇴비를 제조
줄형 퇴비화-수동형 (Composting - Passive Windrow)	- 혼합과 통기를 위해 뒤집기가 적은 상태에서 퇴비를 제조
가금퇴비-짚포함 (Poultry manure with litter)	- 일반적으로 밭이나 목초지와 결합되지 않는 것을 제외하고는 소 및 돼지의 깔개와 유사, 일반적으로 모든 가금류 사육자와 육계 및 기타 가금류 생산에 사용
가금퇴비-짚불포함 (Poultry manure without litter)	- 밀폐된 동물 사육시설의 개방된 구덩이와 유사하거나, 분뇨가 축적될 때 건조되도록 설계 및 운영, 후자는 고층 분뇨 관리 시스템(high-rise manure management system)으로 알려져 있으며, 적절히 설계되고 운영될 경우 수동적인 줄형 퇴비화의 한 형태임
호기성 처리 (Aerobic treatment)	- 강제 또는 자연 통풍을 통해 액체상의 분뇨를 생물학적으로 산화, 자연 통풍은 호기성 연못과 습지 시스템으로 제한되며 주로 광합성에 기인하며, 따라서 이러한 시스템은 햇빛이 없는 기간에는 일반적으로 무산소 상태에 있음

(자료) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).

나. 국내 온실가스 인벤토리 배출계수 연구 사례 검토

- 국내에서는 축산부문 온실가스 인벤토리와 관련하여 “축산부문 온실가스 배출계수 개발 및 배출량 평가(국립축산과학원, 2014) 등 다수의 연구가 진행된 바 있음(<부록 1> 참조)
- 특히, “축산부문 온실가스 배출계수 개발 및 배출량 평가(국립축산과학원, 2014) 등의 연구는 IPCC GL(IPCC, 1996)에서 제시하는 배출계수의 고유값이 산출되지 않는 국내 현실을 반영하여 Tier 2 방법에 의한 배출량 산정 방법론을 제시하고자 가축분뇨 처리 시설 분류, 축종, 분뇨처리 방법, 사육두수, 축종별 성장 단계별 휘발성 고형물 배설량, 질소 배설량, 분뇨처리비율, 발생량, 처리 형태에 따른 온실가스 배출량 산출 값 등을 정리하는 과정을 통해 국내 활동도 관련 자료체계를 구축하고자 하였음
- 본 연구에서는 한우분, 육계분, 산란계분, 비육돈분, 모돈분을 대상으로 축종별 최대 메탄 발생량을 조사한 결과, 축종별, 분뇨 종류별, 성장별로 메탄가스 발생량 및 가스 생산량의 차이가 큰 것으로 나타났으며, 온도변화(중온(37°C)/고온(55°C))에 따른 축종별 최대 메탄가스 발생량은 모돈분(37°C) 0.523, 비육돈분(37°C) 0.130, 산란계분(37°C) 0.684, 한우분(55°C) 10.604 g CH₄/kg bio-degradable VS이었으며, 채취 시점, 사료의 차이 등의 환경적 요인에서 기인한 것으로 평가한 바 있음
- 축종별, 분뇨 성장별 호/혐기 주기에 따른 최대 아산화질소가스 발생량을 조사한 결과, 혐기/호기 주기가 2시간인 경우 최대 가스발생량을 보였으며, 축종별 중온(37°C)에서 아산화질소 가스는 한우분>모돈분>비육돈분>산란계분의 순서로 많이 발생하는 것으로 나타났으며, 축종별 고온(55°C)에서 아산화질소 가스는 한우분>비육돈분>모돈분>산란계분의 순서로 많이 발생하는 것으로 나타났으며, 축종별 최대 아산화질소 발생량은 모돈 0.056, 비육돈 0.012, 산란계 0.005, 한우 0.366 kg N₂O/kg N으로 보고한 바 있음
- 중부지역 한우/젓소 깔짚 축사에서 발생하는 온실가스 배출량을 조사한 결과, 깔짚 두께(10, 15cm)에 따른 평균 CH₄ 발생량은 한우 7.4 kg/두/년, 젓소 130.4 kg/두/년으로 젓소가 17.7배 많았으며, 2006 IPCC GL의 깔짚에서 발생하는 CH₄ 배출계수는 현재 국가 배출량 산정 시 북아메리카 값을 적용하고 있으나 축종별로 구분만 하고 있을 뿐 분뇨처리 혹은 관리 방법에 대한 고려가 없어 본 연구에서 얻어진 배출계수와 직접적으로 비교할 수는 없을 것으로 판단한 바 있음

- 또한, 깔짚으로부터의 연간 N_2O 발생량은 한우 3,267 kg/두/년, 젖소 14,719 kg/두/년으로 젖소가 한우에 비해 약 4.5배 많음을 알 수 있었으며, 깔짚으로부터 발생하는 온실가스는 CH_4 보다 N_2O 가 많은 것으로 나타남
- 2006 IPCC GL의 깔짚에서 발생하는 직접적 N_2O 배출계수는 깔짚 혼합이 없을 경우 0.01 kg $\text{N}_2\text{O-N/kg N}$, 깔짚 혼합이 있는 경우 0.07 kg $\text{N}_2\text{O-N/kg N}$ 로 제시하였으며, 연구에서는 깔짚 혼합이 있을 경우의 IPCC 배출계수인 0.07 kg $\text{N}_2\text{O-N/kg N}$ 과 비교했을 때 한우 0.2148 kg $\text{N}_2\text{O-N/kg N}$, 젖소 0.1632 kg $\text{N}_2\text{O-N/kg N}$ 으로 한우는 약 3.07배, 젖소는 약 2.33배 정도 높은 것으로 보고한 바 있음, 그러나 2006 IPCC GL에 수록되어있는 N_2O 배출계수는 축종에 따른 구별 없이 깔짚에서의 발생 정도만을 대략적으로 제시하고 있어, 배출계수 값으로 직접적인 비교는 어려운 것으로 평가한 바 있음
- 이와 같이 우리나라 국가 고유 온실가스 배출계수 관련 연구는 주로 가축분뇨 관리 분야를 중심으로 연구가 진행되었었으며, 대부분의 연구결과는 단기적인 연구 기간과 현장의 활동 다양성으로 인하여 2006 IPCC GL의 Tier 1 방법론에 의한 배출계수와는 직접적인 비교가 어려운 상황임
- 따라서, 축산분야 온실가스 배출량의 합리적인 산정법 마련 및 국가 고유 배출계수 마련을 통한 Tier 2 또는 Tier 3 방법론의 개발을 위한 체계적인 계획과 접근이 요구되는 상황임
- 또한, 가축분뇨 관리 부문 중심의 연구에서 가축 장내발효 부문, 가축분뇨 직접 및 간접배출 부문의 전반적인 배출계수 마련 및 방법론의 개발이 요구되고 있음

제5장
한돈산업 온실가스 배출
저감 방안

제5장 한돈산업 온실가스 배출 저감 방안

1. 탄소중립 관련 대책

가. 2050 탄소중립 시나리오

- 2050 탄소중립 시나리오 세부 산출근거(환경부, 2021)에서는 2050 농축산업 분야 탄소 중립을 위하여 주요한 감축 수단으로 농축산에너지 전환, 영농법 개선, 가축관리, 식생활 개선, 생산성 향상, 대체가공식품 증가의 수단을 강구하고 있음

〈표 V-1〉 2050 탄소중립 시나리오에서 농축산 부문 감축수단 세부사항

구분		내용	감축량 (천톤-CO ₂ eq.)	비고
부문	감축수단			
농축산 에너지 전환	고효율 에너지설비	- 공기열히트펌프 등 고효율에너지 설비 보급, 시설원에 난방유 50% 절감	41.3	직접
	농기계 전기·수소 전환	- 등유 수요의 50%와 경유 수요의 100% 를 절감	189.8	직접
	바이오매스 에너지화	- 농산부산물 바이오매스 에너지화	0.4	간접
영농법 개선	논물관리	- 간단관개와 논물 얇게 대기 등	539.8	직접
	질소질 비료 사용 절감	- 친환경 경축순환농업 추진	268	직접
	바이오차	- 토양개량제 사용으로 토양내 탄소고정 - 바이오차를 농경지에 45천톤 보급	65	흡수
가축관리	가축분뇨 처리방법 개선	- 비농업계(에너지화, 정화처리 등) 이동 비율 확대	4,291	간접
	저탄소 가축관리시스템 구축	- 2세이상의 한·육우, 젖소 대상 저메탄 사료 100% 보급	402	직접
		- 저단백질사료 보급으로 분뇨 내 질소 1% 감소	48	직접
식생활 개선		- 사회구조변화와 식물성 단백질 선호도 증가, 대체 단백질 기술 개발 등	1,133	간접
생산성 향상		- 주요 축종(한·육우, 젖소, 돼지, 닭) 스 마트축사 보급 및 정밀사육 추진	815	직접
대체 가공식품 증가		- 대체 가공식품(배양육, 식물성 불고기, 곤충원료 대체) 확대	318	간접

(자료) 2050 탄소중립 시나리오 세부 산출근거(환경부, 2021)

- 농축산에너지 전환 부문에서는 고효율 에너지설비 도입, 농기계 전기·수소 전환, 바이오매스 에너지화의 방안으로 231.5 천톤-CO₂eq.을 감축하고, 영농법 개선 부문에서는 논물관리, 질소질비료 사용 절감, 바이오차 보급으로 872.8 천톤-CO₂eq.을 감축하는 시나리오를 계획하고 있음
- 또한, 가장 주요한 감축 수단으로 가축관리 부문에서 가축분뇨 처리방법 개선, 저탄소 가축관리시스템 구축으로 4,741 천톤-CO₂eq.을 감축하는 계획을 수립하고 있음, 비농업계(에너지화, 정화처리 등) 이동 비율을 확대하는 가축분뇨 처리방법 개선 부문은 가장 실효성 있는 탄소중립 수단으로 평가되고 있음

나. 2050 농식품 탄소중립 추진전략(안) 검토

- 농식품부는 2050 농식품 탄소중립 추진 전략(안)(농식품부, 2021)을 준비하고 있으며, 농축산업의 온실가스 배출 전망 및 여건과 관련하여 현재 추세로 농업생산이 지속되는 경우, 경지면적은 줄어들고 가축사육은 증가할 것으로 전망하였으나, 기후민감 산업인 농축산업의 특성상 식량안보 및 기후변화 정도에 따라 온실가스 배출량의 변화가 불가피한 것으로 전망
- 이에 따라, 2040년에 쌀 생산량은 13.7% 감소되고, 가축의 경우 고온 스트레스로 폐사율 증가, 번식률 저하, 체중감소 등 기후변화로 인한 피해 증가가 예상되며, 이러한 경우, 식량안보 문제를 추가로 고려하면 단기적으로는 온실가스 배출의 증가요인으로 작용할 가능성을 지적함
- 따라서, 농축산업 분야 온실가스 감축목표를 달성하기 위해서는 추가적인 감축 노력 확보와 신규 감축수단의 지속적인 개발의 필요성을 강조하고 있으며, 이에, 기후변화 대응에 있어 온실가스 감축과 함께 농축산업의 품목별 안정적인 생산성 확보 기술이 병행되어야 할 필요성이 있음
- 특히, 농업분야 온실가스는 식량생산 과정에서 불가피하게 발생할 수밖에 없는 상황으로 식량안보 등을 고려하여 탄력적인 감축 노력이 필요하며, EU, 영국, 독일 등은 농업분야 감축 노력을 지속하면서 탄소중립 이후 발생하는 배출량은 산림 등을 통한 흡수를 동시에 추진하고, 기후민감 산업 특성을 고려하여 온실가스 감축과 함께 재해예방, 작목·작부체계 전환도 동시에 추진할 예정임
- 또한, 국내 농축산업은 중소규모 농가 위주의 관행적 농축산업 체계가 상당한 부분을 차지하고 있어, 농업분야 온실가스 감축은 개별농가 단위보다는 지역단위의 감축이 효과적이며, 개별적인 규제보다는 인센티브 정책이 효과적일 것으로 전망하고 있음

〈표 V-2〉 2050 농식품 탄소중립 추진전략(안) 로드맵

구분(천톤-CO ₂ eq.)			2030년 감축량	수단
부문	지표			
비 에 너 지	논물 관리	- 간단관계	474	- 농업용수 이용 효율화 - 논물관리체계 구축
		- 논물얹게 걸러대기	66	- 배출량 통계 구축 - 저감기술 효과 검증
	농경지	- 질소비료저감	267	- 비료감축 및 시비처방 확대
		- 바이오차보급	58	- 농약 적정사용 체계 구축 - 바이오차 검증 및 농가보급
		- 농경지 투입 분뇨량 저감	1,683	- 경운 최소화
	장내 발효	- 저메탄 사료 보급	121	- 저메탄 사료 개발
		- 분뇨내 질소 저감	630	- 저단백 사료 개발
	가축 분뇨	- 비농업계 이용 (에너지화, 정화처리)	2,058	- 가축분뇨 에너지화 시설 확충 - 가축분뇨 이용 바이오차 생산
	생산성 향상	- 식단변화 가축감소율	-	식생활 소비 개선 - 저탄소 미래형 식자재 공급기 반 구축
		- 축산생산성 향상 (스마트축사 보급)	389	
- 대체식품		63		
에 너 지	에너지	- 고효율 에너지 설비	14	- 시설원예 에너지 절감 - 유통시설 에너지 절감
		- 농기계 에너지 전환	35	- 저탄소 축산업 기반 마련 - 농기계 에너지 전환
계			5,858	

(자료) 2050 농식품 탄소중립 추진전략(안)(농식품부, 2021)

2. 양돈산업 탄소중립 대응수단

가. 기존 대책의 대응수단 검토

- 기존 “2050 탄소중립 시나리오(환경부, 2021)”와 “2050 농식품 탄소중립 추진 전략(안)(농식품부, 2021)”에서 양돈산업에 영향을 주는 온실가스 배출량 감축 수단을 검토한 결과, <표 V-3>과 <표 V-4>와 같음
- “2050 탄소중립 시나리오(환경부, 2021)”에서 양돈산업의 온실가스 배출량 저감에 가장 큰 영향을 주는 감축 수단은 축산물 생산성 향상과 가축분뇨 처리방법 개선으로 판단되며, 경축순환농업과 연계하는 농경지 질소비료 투입 저감 방안도 상당한 효과가 기대됨
- 가축의 생산성과 관련하여 스마트축사 보급 및 정밀사육 추진으로 인한 MSY 향상이 가장 유력한 수단으로 MSY 향상은 가축의 생산성 향상과 함께 모든 사육두수 저감을 통한 가축분뇨 발생 저감으로 상당한 온실가스 배출량 감축 효과도 기대됨
- “2050 농식품 탄소중립 추진전략(안)(농식품부, 2021)”에서 양돈산업의 온실가스 배출량 저감에 영향을 주는 감축 수단은 “2050 탄소중립 시나리오(환경부, 2021)”와 동일한 경향을 보임
- “2050 농식품 탄소중립 추진전략(안)(농식품부, 2021)”에서의 특징은 농경지 부문에서 질소비료 저감과 농경지 투입 분뇨량 저감을 농경지에서의 온실가스 배출량 감축 수단으로 설정하고 있는 것이 특징임
- 최근, 농경지 비료사용은 지역단위 양분관리제도 도입 추진과 지역자원 기반 친환경 경축순환농업 추진 등과 관련하여 지역자원의 효율적인 순환이용 측면에서 질소비료 저감을 중심으로 재검토가 필요한 것으로 판단됨
- 지역단위 양분관리제도 도입 추진과 관련해서는 지역단위 양분수지를 고려하여 무기질 비료(화학비료)와 가축분뇨 퇴·액비의 적정사용이 요구되나, 지역자원 기반의 경축순환농업 추진과 관련해서는 적정양분 수준 내에서 가능한 가축분뇨 퇴·액비의 사용이 우선시 될 필요가 있음
- 특히, 탄소 중립과 관련해서는 농경지 질소비료 사용의 저감이 핵심사항이며, 작물재배에 요구되는 비료의 종류는 경축순환 농업 측면에서 고려되어야 할 사항으로 별도의 “농경지 투입 분뇨량 저감” 항목의 필요성이 크지 않은 것으로 판단됨

〈표 V-3〉 2050 탄소중립 시나리오 양돈산업 영향분야 검토

구분		양돈산업 영향 ₁₎		수단 검토
부문	감축수단	탄소중립	생산성	
농축산 에너지 전환	고효율 에너지설비	△	△	- 돈사 냉·난방에너지 전환 (신재생에너지, 히트펌프·폐열 이용 등)
	농기계 전기·수소 전환	▽	×	- 운송차량 등 에너지 전환
	바이오매스 에너지화	×	×	- 양돈산업과 직접적인 연관성 없음
영농법 개선	논물관리	×	×	- 양돈산업과 직접적인 연관성 없음
	질소질 비료 사용 절감	○	×	- 양돈 분뇨 퇴·액비 자원 적정 순환 (양분관리 기반 경축순환농업 추진)
	바이오차	△	×	- 양돈분뇨 이용 바이오차 제조 및 농지 환원
가축관리	가축분뇨 처리방법 개선	◎	▽	- 비농업계(에너지화, 정화처리 등) 이용 및 전환
	저탄소 가축관리시스템 구축	×	×	- 저메탄사료 공급은 젖소, 한우 축종에 효과적
		▽	▽	- 저단백 사료 공급
식생활 개선		▽	×	- 사회구조변화로 축산물 수요 다변화
생산성 향상		○	◎	- MSY 향상(스마트축사 보급 및 정밀사육 추진)
대체 가공식품 증가		▽	×	- 식품소비 다변화

주1) 영향 및 효과 정도 : ◎ 매우 큼, ○ 큼, △ 보통, ▽ 작음, × 없음.
(자료) 2050 탄소중립 시나리오 세부 산출근거(환경부, 2021).

〈표 V-4〉 2050 농식품 탄소중립 추진전략(안) 로드맵 양돈산업 영향분야 검토

구분(천톤-CO ₂ eq.)		양돈산업 영향 ₁₎		수단 검토	
부문	지표	탄소중립	생산성		
비 에 너 지	논물 관리	- 간단관계	×	×	- 양돈산업과 직접적인 연관성 없음
		- 논물얇게 걸러대기	×	×	- 양돈산업과 직접적인 연관성 없음
	농경지	- 질소비료저감	○	×	- 양돈 분뇨 퇴·액비 자원 적정 순환 (양분관리 기반 경축순환농업 추진)
		- 바이오차보급	△	×	- 양돈분뇨 이용 바이오차 제조 및 농지 환원
		- 농경지 투입 분뇨량 저감	△	×	- 양돈 분뇨 퇴·액비 자원 적정 순환 (양분관리 기반 경축순환농업 추진)
	장내 발효	- 저메탄 사료 보급	×	×	- 저메탄사료 공급은 젖소, 한우 축종에 효과적
		- 분뇨내 질소 저감	▽	▽	- 저단백 사료 공급
	가축 분뇨	- 비농업계 이용 (에너지화, 정화처리)	◎	▽	- 비농업계(에너지화, 정화처리 등) 이용 및 전환
	생산성 향상	- 식단변화 가축감소율	▽	×	- 사회구조변화로 축산물 수요 다변화
		- 축산생산성 향상 (스마트축사 보급)	○	◎	- MSY 향상 (스마트축사 보급 및 정밀사육 추진)
		- 대체식품	▽	×	- 식품소비 다변화
에 너 지	에너지	- 고효율 에너지 설비	△	△	- 돈사 냉·난방에너지 전환 (신재생에너지 히트펌프·폐열 이용 등)
		- 농기계 에너지 전환	▽	×	- 운송차량 등 에너지 전환

주1) 영향 및 효과 정도 : ◎ 매우 큼, ○ 큼, △ 보통, ▽ 작음, × 없음.

(자료) 2050 농식품 탄소중립 추진전략(안)(농식품부, 2021).

나. 양돈산업 탄소중립 대응수단 세부검토

(1) 감축수단 중요도 검토

- 농업부문 온실가스 배출량 감축은 기후민감 산업인 농축산업의 특성을 고려할 때, 기후변화로 인한 농업 생산성의 피해를 최소화 및 온실가스 배출량 저감을 동시에 달성할 필요가 있음
- 따라서, 양돈산업의 2050 탄소중립 대응 감축 수단은 가축의 생산성 향상과 온실가스 감축 효과를 동시에 고려할 때, 가장 우선시 되는 감축 수단은 생산성 향상과 고효율 에너지설비 분야로 판단됨
- 다음으로는 축산분야 온실가스 감축 효과 측면에서 가축분뇨 처리방법개선, 질소질 비료 절감, 바이오차 분야가 중요 수단으로 추진될 필요가 있으며, 추가적인 수단으로 저탄소 가축관리시스템 구축, 농기계 전기·수소 전환이 있음

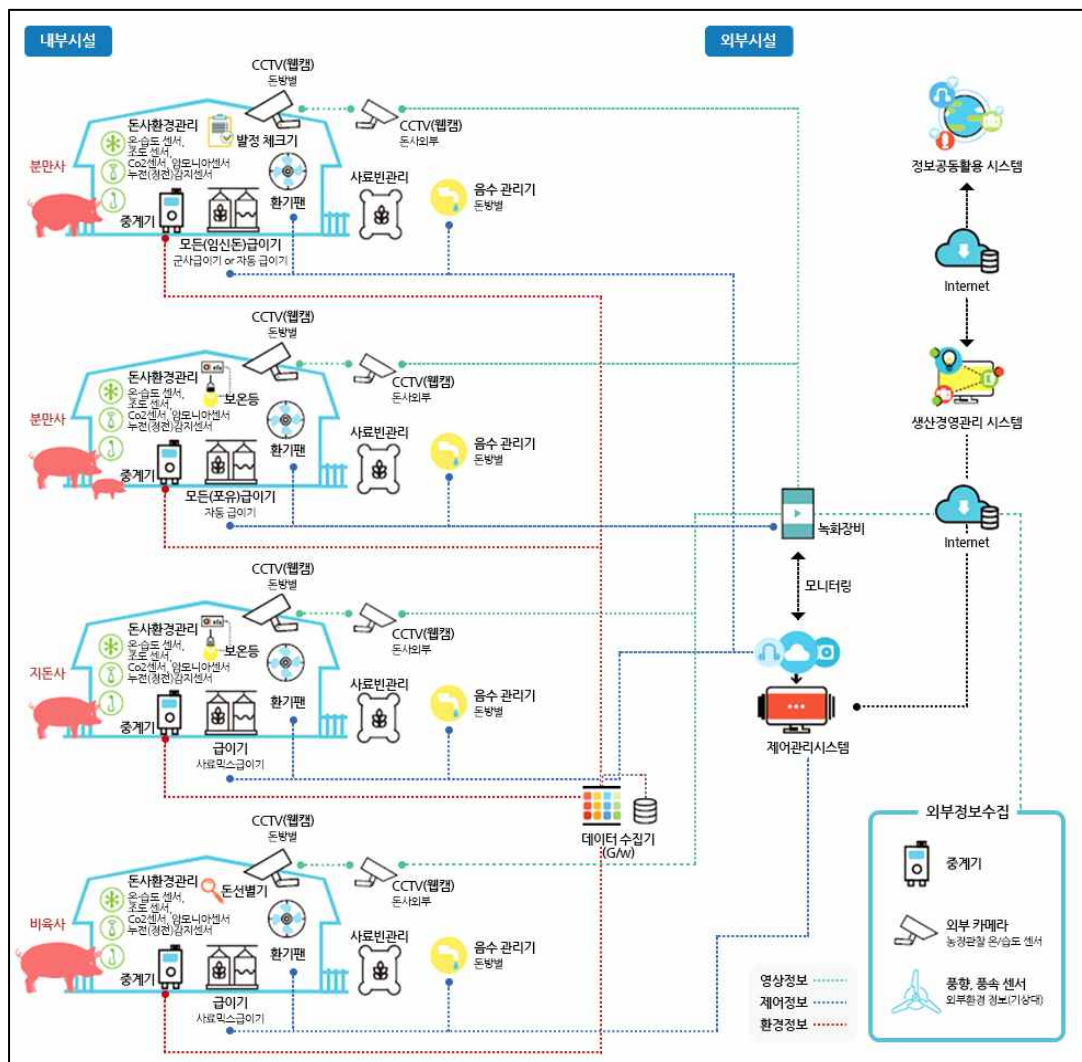
〈표 V-5〉 양돈산업 2050 탄소중립을 위한 감축수단 중요도 검토

우선순위	구분	양돈산업 영향 ¹⁾		수단 검토
	감축수단	탄소중립	생산성	
1	생산성 향상	○	◎	- MSY 향상 (스마트축사 보급 및 정밀사육 추진)
	고효율 에너지설비	△	△	- 돈사 냉·난방에너지 전환 (신재생에너지, 히트펌프·폐열 이용 등)
2	가축분뇨 처리방법 개선	◎	▽	- 비농업계(에너지화, 정화처리 등) 이용 및 전환
	질소질 비료 사용 절감	○	×	- 양돈 분뇨 퇴·액비 자원 적정 순환 (양분관리 기반 경축순환농업 추진)
	바이오차	△	×	- 양돈분뇨 이용 바이오차 제조 및 농지 환원
3	저탄소 가축관리시스템 구축	▽	▽	- 저단백 사료 공급
	농기계 전기·수소 전환	▽	×	- 운송차량 등 에너지 전환

주1) 영향 및 효과 정도 : ◎ 매우 큼, ○ 큼, △ 보통, ▽ 작음, × 없음.
(자료) 2050 탄소중립 시나리오 세부 산출근거(환경부, 2021)에서 재정리.

(2) 감축수단 1 : 생산성 향상

- (개념) 생산성 향상은 양돈의 정밀사육 기술 확립 및 스마트팜 기술을 통해 양돈의 사육환경을 개선하고, 폐사율 저감 등으로 양돈의 생산성 향상을 유도, MSY 지표 선진화로 모돈 사육두수를 적정화하여 가축분뇨 발생량 저감으로 온실가스 배출을 저감시키는 수단임
- (효과) 기존 관행의 사육시설 기반을 스마트팜 기술로 선진화하여 양돈 MSY를 17.5('18년기준)에서 25.0('30년 기준)으로 향상, 양돈산업의 생산성은 유지하면서 가축분뇨 발생량 저감으로 온실가스 배출량 저감이 가능함



<그림 V-1> 양돈 스마트팜 개념도

(자료) 스마트팜코리아(<https://www.smartfarmkorea.net>)

○ (현황) 국내 양돈산업의 체질개선을 위한 생산성 향상 및 온실가스 감축
동시 추진 필요

- 우리나라 연간모돈당출하두수(MSY)는 '18년 17.50으로 양돈 선진국인 덴마크 33.29, 네덜란드 30.25와 비교하여 매우 낮은 수준임, 따라서 기후변화에 대응하여 양돈산업의 생산성 향상을 위한 노력이 필요함
- 정부는 4차 산업혁명 시대 농업기술의 선진화를 위하여 빅데이터와 연계하는 스마트팜 기술개발 및 보급을 적극적으로 추진하고 있으며, 농식품부는 지속적인 양돈 분야 스마트팜 기술의 개발을 추진하고 있음
- 양돈산업의 기후변화의 취약성 극복 및 온실가스 배출량 저감을 위한 노력을 동시에 진행함으로써 육류자급률 향상 및 2050 탄소중립 달성 추진이 가능

〈표 V-6〉 국가별 양돈 생산실적 비교

구분	덴마크	네덜란드	독일	벨기에	프랑스	브라질	핀란드	스웨덴	스페인	미국	대한민국
PSY ¹⁾	33.29	30.25	29.66	29.83	28.19	27.72	27.13	26.62	26.98	26.43	20.90
MSY ²⁾	31.26	28.78	27.96	27.75	26.41	26.35	25.77	25.67	25.06	24.15	17.50
LSY ³⁾	2.28	2.36	2.33	2.34	2.37	2.33	2.23	2.24	2.31	2.44	2.13
출하체중(kg)	114	121	122	116	121	122	121	122	110	127	115
도체중(kg)	85.8	94.1	94.2	94.4	92.4	90.7	90.3	98.8	83.0	94.7	87.9
WSY ⁴⁾ (kg)	2,683	2,708	2,634	2,620	2,440	2,390	2,326	2,304	2,081	2,287	1,943

주1) PSY, 연간모돈당이유두수 : 모돈 마리당 1년에 낳는 새끼돼지의 마릿수.

주2) MSY, 연간모돈당출하두수 : 모돈 마리당 1년간 생산된 돼지 중 출하체중(판매체중, market weight)이 될 때까지 생존하여 판매된 마릿수.

주3) LSY, 모돈회전률 : 모돈 한 마리당 1년간 생산사이클(교배-분만-이유) 수.

주4) WSY, 연간모돈당출하체중 : 모돈 마리당 1년간 출하시키는 육성돈의 출하체중 합.

(자료) 한돈팜스 2018년 전산성적 2020년 수급전망(대한한돈협회, 2018)

〈표 V-7〉 양돈 관련 스마트팜 기술개발 사례

년도	과제명	내용	지원기관
2016	양돈 ICT융복합 1세대 스마트팜 기술 현장실증연구	양돈 1세대 스마트팜 보급형 모델 설정 및 매뉴얼 개발	농식품부
2018	생체 및 환경정보 기반 스마트 축산 시스템 개발	국내 양돈 시설에서 수집 가능한 생체정보 인자 설정, 비접촉식 생체정보 수집시스템 개발	농식품부
2019	빅데이터 기반 스마트축산 통합 서비스 플랫폼 개발 및 검증	가축의 개체정보를 출생 정보 기준으로 해당 시기에 맞는 건강, 질병 관리와 사육관리를 자동으로 알려주는 통합 서비스	농촌진흥청
2021	2세대 돼지 스마트 축산 모델 개발 및 실증	2세대 돼지 (비육돈, 번식돈) 스마트축사 빅데이터 수집체계 및 관리체계 개발	농식품부
2021	빅데이터 분석을 통한 2세대 양돈 스마트팜 통합플랫폼 개발 및 서비스	1세대 및 2세대 스마트축사 실증을 위한 테스트농장 확보, 축사 외·내기 TTA 표준안에 적합한 센서 선별	농식품부

(자료) 국가과학기술지식정보서비스(www.ntis.go.kr).

(2) 감축수단 2 : 고효율에너지 설비

- (개념) 양돈 사육시설에서 소비되는 난방에너지(전기, 화석연료 등)와 향후 기후변화 취약성 극복을 위해 요구되는 냉방에너지를 신재생에너지로 대체 하여 양돈 사육과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 저감시키는 수단임
- (효과) 양돈 사육시설은 농업 분야 중 난방을 위한 전력 의존도가 높은 분야로서 공기열, 지열, 태양열, 바이오에너지로 대체하여 사육과정에서의 온실가스 배출량을 저감
- (현황) 농업용 에너지의 전환 및 대체 에너지원 확대 보급 필요
 - 우리나라는 농업용 면세유 공급 등 유가보조금을 지원하고 있는 국가로서 2019년 유가보조금 2조 원, 농어민 면세유 1조 1,000억 원, 석탄 관련 보조금 3,400억 원 등이 지출

- 세계무역기구(WTO)의 수산보조금 폐지 관련 협상에서도 유류보조금, 어업용 면세유 폐지가 논의되고 있다. 기후위기 대응뿐만 아니라 면세유 폐지에 대응하는 현실적인 에너지 대책수립이 시급
- 농업용 시설의 에너지 효율화를 위한 기술로는 지열 히트펌프, 공기열 히트펌프, 목재펠릿 보일러, 태양열, 바이오가스 발전열 등이 있으며, 다양한 정부 지원사업으로 확산 보급이 용이한 분야임

〈표 V-8〉 양돈 사육시설 고효율 에너지 시스템

기술	기술내용
지열 히트펌프	<ul style="list-style-type: none"> - 전기를 사용하는 히트펌프를 가동, 지중열을 활용하여 냉매를 압축, 응축, 증발시키는 과정에서 발생하는 온열과 냉열을 시설 내에 공급하는 설비 - 폭발이나 화재의 위험이 없고 온도조절이 용이하여 거의 모든 운전이 자동화 되어 있음, 난방 및 냉방이 모두 가능함
공기열 히트펌프	<ul style="list-style-type: none"> - 기본적인 원리는 지열 히트펌프와 동일, 공기열을 활용하여 냉매를 압축, 응축, 증발시키는 과정에서 발생하는 온열과 냉열을 시설 내에 공급하는 설비 - 폭발이나 화재의 위험이 없고 온도조절이 용이하여 거의 모든 운전이 자동화 되어 있음, 난방 및 냉방이 모두 가능함
목재펠릿 보일러	<ul style="list-style-type: none"> - 톱밥이나 목재 부산물을 성형한 연료를 이용하여 난방열을 공급하는 설비 - 설비 비용은 저렴하나 연료 비용은 다소 높음
태양열	<ul style="list-style-type: none"> - 태양열을 집열하여 온수를 생산, 난방에너지로 이용하는 설비 - 날씨의 영향으로 인하여 보조 난방 설비를 필요로 함
바이오가스 발전열	<ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스 발전과정에서 발생하는 발전열을 회수하여 난방열로 이용하는 설비 - 바이오가스 발전 시설 인근 등 에너지 공급처와 관련하여 입지가 제한적임

(자료) 시설·축산농가의 에너지 전환에 관한 연구(에너지경제연구원, 2011)

(3) 감축수단 3 : 가축분뇨 처리방법 개선

- (개념) 가축분뇨 정화처리 및 에너지화를 통해 농경지로 투입되는 가축분뇨의 양을 줄이고 가축분뇨 이용 바이오에너지 생산으로 에너지 부문의 온실가스 배출량을 저감시키는 수단임

- (효과) 가축분뇨 정화처리는 호기적 처리 과정에서 메탄과 아산화질소 발생량을 저감시키고, 농경지로 유입되는 가축분뇨의 양을 줄여 가축분뇨 유래 농경지 온실가스 배출량을 저감시키는 수단이며, 가축분뇨 에너지화는 가축분뇨 처리 과정에서 발생하는 메탄과 아산화질소 발생량을 저감시키고, 생산 바이오에너지는 에너지 부문의 온실가스 배출량을 저감
- (현황) 온실가스 배출을 저감시키는 핵심적인 수단으로 평가됨
 - 양돈분뇨의 처리방법에는 정화처리(단독, 연계), 바이오가스화(정화, 액비), 고체연료화 기술이 있으며, 이들 양돈분뇨 처리 기술은 가축분뇨 처리 부문의 온실가스 배출을 저감시키는 핵심적인 수단으로 평가되고 있음
 - 농식품부와 환경부는 가축분뇨 정화처리, 에너지화 시설의 설치비 지원사업을 추진하고 있으며, 향후 축산부문 탄소중립을 위하여 가축분뇨 처리 분야의 시설 설치 보급을 확산할 계획임
 - 바이오차는 양돈분뇨 중 고형물을 대상으로 열화학적 변환을 거쳐 생산되는 소재 물질로서 기술적으로 다양한 연구가 진행되었으며, 경제성 및 토양환원을 통한 탄소격리 효과 검증으로 상용화 기술로 확산이 가능

〈표 V-9〉 양돈분뇨 처리 방법 개요

기술	기술내용
정화처리(단독)	- 양돈분뇨를 생물학적으로 폭기 처리하고 유기물, 질소, 인을 제거하여 방류하는 방법
정화처리(연계)	- 양돈분뇨를 생물학적으로 폭기 처리하고 유기물, 질소, 인을 제거하여 하수처리장에 연계하여 최종 처리하는 기술
바이오가스화(액비)	- 양돈분뇨를 단독 또는 음식물류폐기물 등과 병합하여 혐기소화시켜 바이오가스를 생산하고, 혐기소화액은 액비로 처리하는 기술
바이오가스화(정화)	- 양돈분뇨를 단독 또는 음식물류폐기물 등과 병합하여 혐기소화시켜 바이오가스를 생산하고, 혐기소화액은 정화처리하여 방류하는 기술
고체연료화	- 양돈분뇨를 물리, 화학, 생물학적 방식으로 전환, 탈수, 건조시켜 저위발열량 3,000kcal/kg 이상의 고체연료를 제조하는 기술

(자료) 자체 조사 정리.

〈표 V-10〉 환경부 가축분뇨공공처리시설 처리방식별·규모별 표준단가

(단위 : 백만원/㎥)

구분	시설용량	사업비	비고
정화 (단독)	50㎥/일	240	
	100㎥/일	195	
	150㎥/일	161	
	200㎥/일	141	
정화 (연계)	50㎥/일	211	
	100㎥/일	166	
	150㎥/일	144	
	200㎥/일	130	
바이오가스화 (정화)	50㎥/일	244	음식물류폐기물 등 다른 유기성폐기물을 혼합하여 처리하는 경우 가축분뇨 반입비율은 50% 이상으로 계획
	100㎥/일	212	
	150㎥/일	196	
	200㎥/일	185	
바이오가스화 (액비)	50㎥/일	205	
	100㎥/일	177	
	150㎥/일	161	
	200㎥/일	153	
고체연료화	30㎥/일	291	잠정적으로 타당성조사에서 계획한 총사업비를 적용
	50㎥/일	239	
	80㎥/일	232	

(자료) 가축분뇨공공처리시설 설치사업의 예산편성 및 집행관리 지침(안)(환경부, 2018)

〈표 V-11〉 농식품부 가축분뇨 공동자원화시설 사업비¹⁾ 기준

(단위 : 백만원/톤)

처리유형 \ 용량(톤/일)	70	100	150	200	250	300
에너지화	100	92	81	73	67	62
바이오가스 연계	54	50	44	40	36	34

주1) 에너지화는 50톤 이상 참여 가능하며, 지원한도는 70톤 시설 기준단가를 적용, 제시되지 않은 용량의 사업비는 직선보간법으로 산정(총사업비 기준).

(자료) 가축분뇨 공동자원화시설 사업지침(농식품부, 2021).

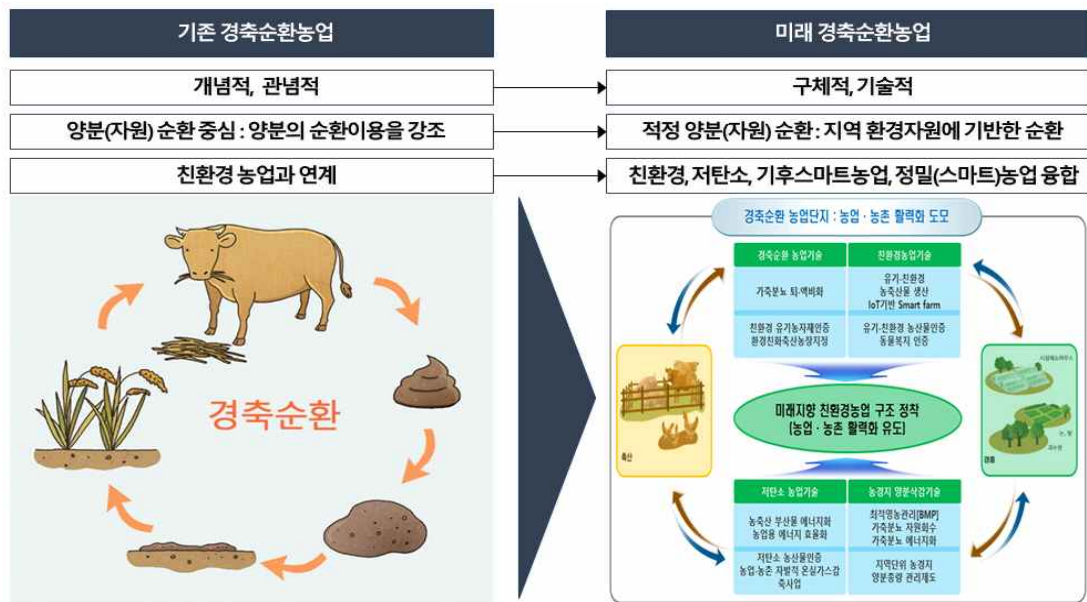
〈표 V-12〉 바이오차 관련 기술개발 사례

년도	과제명	내용	지원기관
2019	Black carbon을 이용한 가축분뇨 퇴비화 연구	Black Carbon 및 가축분의 병합 비율에 따른 온실가스 저감량 산정 가스 분석 항목	농촌진흥청
2020	이산화탄소 적용 돈분·계분 열분해 공정을 통한 합성가스 생산연구	돈분·계분 열분해 특성 및 합성가스 조사연구, 열분해 조건에 따른 열분해 생성물질(바이오오일, 바이오차) 특성 조사연구	농촌진흥청
2021	축사바닥 바이오차 발효 깔짚 소재와 퇴비사 연계 핵심기술 개발	축사바닥 깔짚 소재(바이오차)의 최적화 - 축사바닥 깔짚 소재 적용 가축분뇨 퇴비화 기술 확립	농식품부

(자료) 국가과학기술지식정보서비스(www.nts.go.kr).

(4) 감축수단 4 : 질소질 비료 사용 절감

- (개념) 지역자원 기반의 경축순환농업 체계를 구축하여, 지역의 적정 양분수준을 고려하는 비료성분의 적정투입으로 농경지 질소질 비료의 사용을 절감하고, 질소질 비료 투입량 저감으로 농경지 아산화질소의 발생량을 저감시키는 수단임
- (효과) 농경지 질소질 비료 사용량 감소로 농경지 아산화질소 발생량 감축, 특히 지역자원 기반의 경축순환농업으로 무기질비료(화학비료)의 사용량을 대폭 감축시키고 가축분뇨 및 농산부산물의 농경지 이용을 활성화하여 농축산업 부문의 지역지원 이용효율을 증진, 화학비료의 사용 저감은 농경지 온실가스 배출량 저감과 화학비료 제조과정에서 배출되는 온실가스를 추가로 저감시키는 효과가 있음
- (현황) 지역의 환경자원에 기반한 경축순환농업 추진
 - 과거 경축순환농업은 가축의 분뇨를 농경지에 환원시키고, 농경지에서 재배한 사료를 가축에 급여하는 개념적인 경축순환농업이었으나, 향후 경축순환농업은 지역의 가축분뇨 및 농업부산물의 발생 및 특성 자료를 기반으로 다양한 제도(친환경농업 인증제도, 저탄소농업 인증제도 등)와 기술(퇴비, 액비, 에너지화 등)을 융합하고, 지역단위의 묶음형 온실가스 감축 사업으로 추진이 가능함



<그림 V-2> 경축순환농업 개념 변화

(5) 감축수단 5 : 바이오차(Biochar)

- (개념) 가축분뇨, 초본 및 목질계 바이오매스 등을 이용하여 제조한 바이오차를 농경지에 시용하여 탄소를 격리시켜 온실가스를 토양에 흡수시키는 수단임
- (효과) 바이오차는 생물학적, 화학적, 물리적으로 분해저항성을 지니는 물질로 토양 중 분해가 용이하지 않아 탄소가 토양에 고정됨, 바이오차를 토양에 시비하는 경우 토양의 비옥도를 향상시켜 작물의 생산성을 증대시킬 수 있어 기후변화 취약성을 극복하고 농업생산성을 향상시킬 수 있는 효과가 있음
- (현황) 경제성 및 탄소격리 효과의 검증이 요구
 - 바이오차 제조 기술체계는 완성되어 있으나, 경제성 및 탄소격리 효과의 검증이 요구되고 있으며, 특히 토양 중에 격리 효과에 대한 효율 검증이 요구됨
 - 특히, 가축분뇨의 경우 수분함량이 높아 바이오차 제조공정의 경제성을 저하시키는 원인이 되고 있으며, 수열탄화 등 고함수 바이오매스의 바이오차 제조에 유리한 기술의 적용성 등의 검토가 필요함
 - 바이오차 제조 공정은 열화학적 반응에 기초하고 있어 상당한 에너지 소비가 요구되고 있으며, 따라서, 투입에너지 대비 탄소고정 효과의 효율 검증이 필요하며, 소비에너지를 신재생에너지로 대체하는 신재생에너지 융복합 바이오차 제조공정 기술의 개발이 요구됨

〈표 V-13〉 바이오차 농경지 이용 관련 기술개발 사례

년도	과제명	내용	지원기관
2011	바이오매스 유래 바이오차(Biochar)를 이용한 토양 탄소격리기술 개발	돈분 유래 바이오디젤 생성 특성 및 바이오차 이용(다공성물질) 생성 증대 기술 개발	과기부
2019	Black carbon을 이용한 농자재에 대한 친환경성 평가	바이오차의 토양 시비에 따른 효과 검증	농촌진흥청
2021	네팔의 농업생산력 향상을 위한 바이오차 생산 및 활용에 관한 공동연구	바이오차 생산원료로 이용 가능한 폐자원(소화슬러지, 농업부산물 등) 특성분석 및 농지 시용 효과 분석	과기부

(자료) 국가과학기술지식정보서비스(www.ntis.go.kr).

(6) 감축수단 6 : 저탄소 가축관리 시스템

- (개념) 돼지에 급여하는 사료 중의 조단백질의 함량을 줄여 가축분뇨로 배출되는 질소의 성분량을 저감시켜 가축분뇨 유래 아산화질소의 발생을 감축시키는 수단임
- (효과) 양돈분뇨에서 배출되는 분뇨 중 질소의 함량을 저감시켜 양돈분뇨의 저장, 처리 과정에서 아산화질소의 배출량을 저감
- (현황) 양돈용 배합사료 중 조단백 함량을 농식품부 고시로 관리하고 있으며, 양돈 성장 특성을 고려하여 배합사료 중의 조단백 함량의 관리가 가능
 - 돼지에 급여하는 사료의 성분함량 기준은 “사료 등의 기준 및 규격(농식품부 고시 2021.06.24.)”에서 규정하고 있으며, 양돈용 배합사료의 경우, 사육단계에 따라 조단백질 함량을 포유자돈 23% 이하, 이유자돈 20% 이하, 육성돈 18% 이하, 비육돈 16% 이하로 규정하고 있음
 - 양돈의 증체율 및 출하체중 등에 대한 영향을 고려하여 배합사료 중의 조단백 함량의 적정관리가 가능할 것으로 판단됨

〈표 V-14〉 양돈 사료 중 조단백질 함량 기준 현황

명 칭	사용범위 및 용도 (참고사항)	조단백질 최대량 (%)
포유자돈	이유 이전	23%이하
이유돈 전기	체중 7kg ~11kg	21%이하
이유돈 후기	체중 11kg~25kg	20%이하
육성돈 전기	체중 25kg~45kg	19%이하
육성돈 후기	체중 45kg~65kg	18%이하
비육돈 전기	체중 65kg~85kg	17%이하
비육돈 후기	체중 85kg~출하	16%이하
번식용 웅돈	체중 25kg 이상 수태지	14%이하
번식용 모돈	체중 25kg 이상 임신 이전	16%이하
임신 모돈	임신 중	16%이하
포유 모돈	포유 중	20%이하

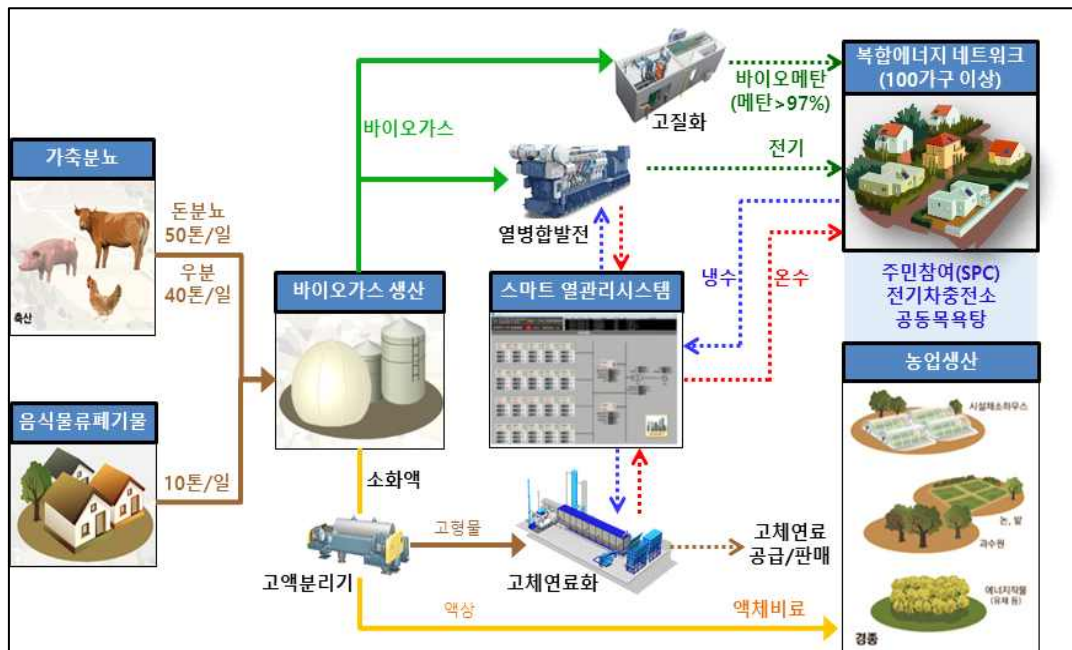
(자료) 사료관리법 배합사료의 성분등록 사항(법제처: moleg.go.kr)

(7) 감축수단 7 : 농기계 전기 수소 전환

- (개념) 농업용 차량 및 기계의 운전에 사용되는 화석연료 소비를 줄이기 위하여 농기계 등의 에너지를 전기 및 수소로 전환하는 방안
- (효과) 운송차량의 전기 및 수소 전환으로 농업 부문 수송용 에너지 부문의 온실가스 배출량을 저감
- (현황) 농업용 면세유 폐지가 예상되며, 전기 및 수소 전환을 통한 새로운 형태의 인센티브 제도 방안 연계가 요구됨
 - 농업 종사자가 농기계 소유를 증명하면 면세유를 사용할 수 있는 제도가 시행 중에 있으며, 우리나라는 화석에너지에 대한 보조금을 많이 지출하는 나라로 분류
 - 2019년 예산을 보면 유가보조금 2조 원, 농어민 면세유 1조 1,000억 원 그리고 석탄 관련 보조금 3,400억 원 등이 지출되었으며, 세계무역기구(WTO)의 수산 보조금 폐지 관련 협상에서도 유류보조금, 어업용 면세유 폐지가 논의되고 있다. 기후위기 대응뿐만 아니라 면세유 폐지에 대응하는 현실적인 에너지 대책 수립이 시급

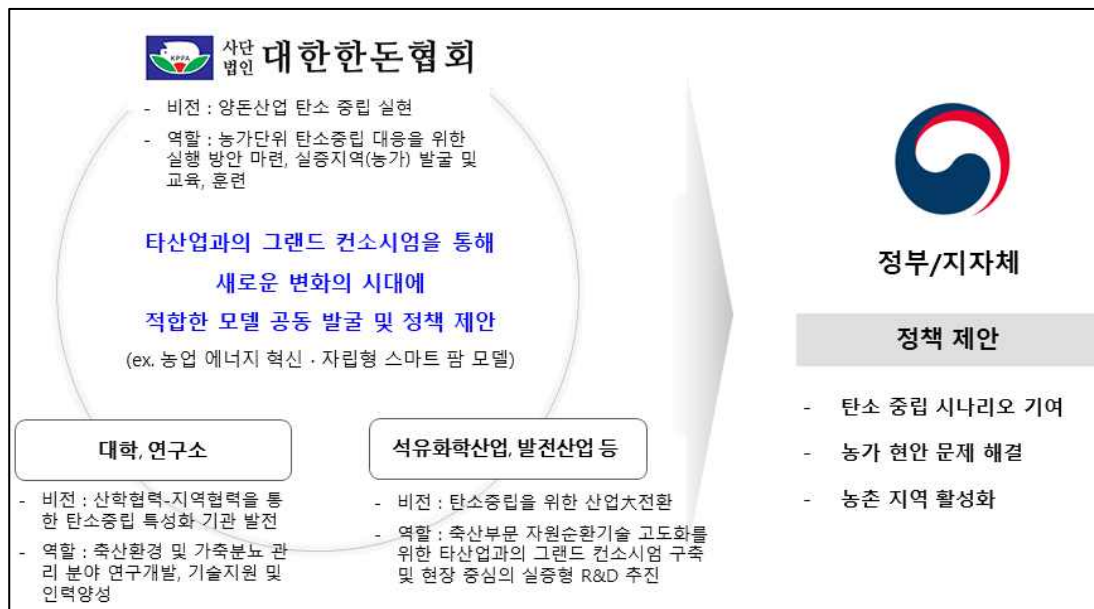
(8) 감축수단 8 : 추가 수단 개발 및 탄소중립 활성화 추진

- (에너지자립형 지구조성) 농업·농촌 부문에서 발생하는 가축분뇨, 농산부산물 등 다양한 바이오매스를 이용하여 바이오 연료(기체, 액체, 고체 바이오 연료)를 생산하고, 이를 이용하여 지역의 농가용 또는 농업용 에너지를 자립하는 지구를 조성
 - 독일은 가축분뇨 등 유기성 폐자원을 이용하는 바이오가스화 시설에 지역의 난방 네트워크를 연결하여 생산한 바이오가스의 에너지 이용효율을 향상시키고 바이오 에너지 생산 및 수요 체계 구축으로 탄소중립 효과를 극대화하고 있음
 - 특히, 가축분뇨를 원료로 이용하는 국내 바이오가스 발전시설은 약 10여개소가 가동 중에 있으며, 바이오가스 발전시설에서 발생하는 발전열(열에너지)은 거의 폐기하고 있는 상황으로 바이오가스 발전시설의 에너지 이용효율이 약 30% 수준에 그치고 있음, 바이오가스 발전열을 지역의 난방 네트워크에 연결하는 경우 바이오가스 발전시설의 에너지 이용효율을 약 80% 이상으로 향상시킬 수 있어, 농업부문 탄소중립을 위한 추가적인 수단으로 강구할 필요가 있음

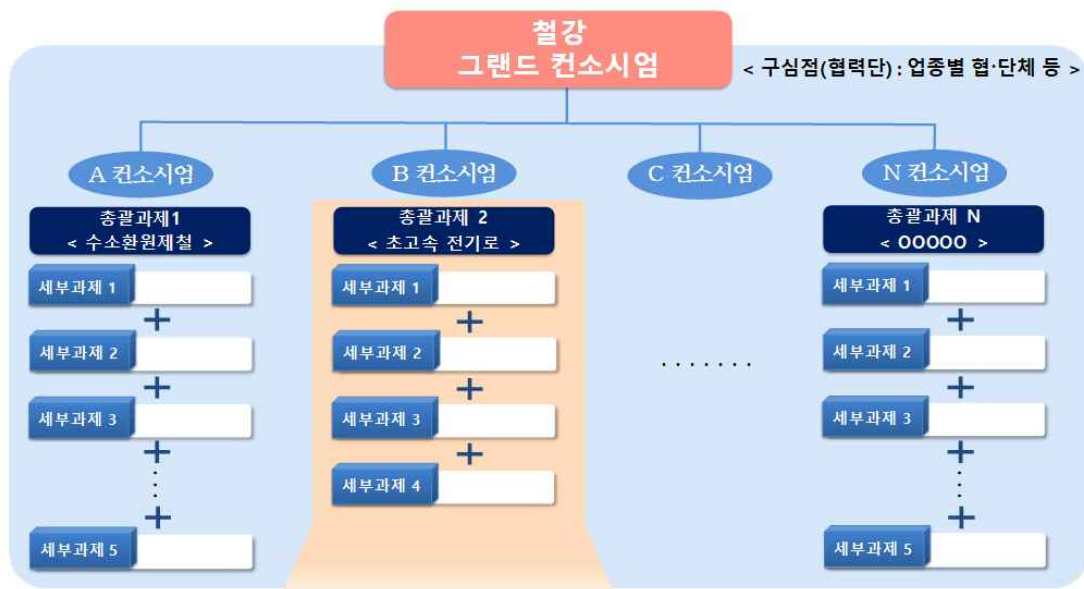


〈그림 V-3〉 분산형 에너지 자립형 마을 개념도

- (이종산업 간의 그랜드 컨소시엄) 2050 탄소중립은 농업뿐만이 아니라 발전, 산업(제철, 석유화학, 시멘트 등), 건물, 수송 등 전 분야에 걸친 도전적인 목표를 설정하고 있음, 따라서 단일 분야만의 노력으로 해당분야의 탄소중립을 달성하는 데는 어려움이 있음, 이에 이종산업 간의 그랜드 컨소시엄 (Grand consortium) 구축을 통한 공동의 노력이 요구되는 상황으로 축산분야에서도 다양한 이종산업 간의 그랜드 컨소시엄 구축으로 탄소중립 산업 활성화 및 성과 중심의 대형·통합형 R&D 추진 및 현장 중심의 실증형 R&D 집중 노력이 요구됨
- 정부는 2050 탄소중립 추진에 있어, 정부의 정책적·재정적 총력지원으로 산업계의 부담 최소화하고, 탄소중립을 기회로 산업의 새로운 경쟁력과 미래 먹거리 창출하고, 탄소중립에 따른 소외계층 없이 함께 도약하는 대전환을 실현하는 방향으로 비전과 전략의 기본방향을 설정하고 있음
- 따라서, 양돈산업 부문에서도 2050 탄소중립 추진에 있어 양돈 생산성을 비약적으로 개선하고, 이종산업 간의 협력을 통한 농업·농촌 부문의 신산업을 창출하며, 이를 위한 정부의 다양한 정책적, 재정적 지원을 유도할 필요가 있음



〈그림 V-4〉 이종 산업간의 그랜드 컨소시엄의 개념



〈그림 V-5〉 철강산업 그랜드 컨소시엄 모델

(자료) 제2차 탄소중립 산업전환 추진위원회 회의자료(산업통상자원부, 2021)

- (축산부문 농업환경보전프로그램 개발 및 확산) 정부는 '19년 농업활동으로 인한 환경오염을 방지하는 등 농업의 공익적 가치 제고를 위해 농업환경관리를 위한 농업환경보전프로그램 사업을 시행 중임, 본 프로그램은 경종활동으로 인한 양분유출 저감 등을 중심으로 계획하여 시행하고 있으며, 농업환경보전프로그램의 실효성 확산을 위하여 축산활동과 관련한 프로그램 개발로 경축순환농업에서의 탄소중립 효과를 기대할 수 있음
- 농업환경보전프로그램은 '21년 전국 25개소에서 사업이 진행 중이며, 토양(적정 양분 투입, 외부 양분 투입 감축, 토양침식 및 양분유출 방지), 생태(농약사용저감), 대기(온실가스 감축, 축산악취 저감) 분야 활동에 대하여 인센티브를 지급하고 있음
- 농업환경보전프로그램의 세부활동 중에서 (적정 양분 투입, 외부 양분 투입 감축, 토양침식 및 양분유출 방지), 대기(온실가스 감축, 축산악취 저감) 분야 활동은 농업환경에서의 탄소 배출량 저감과 깊은 관련이 있어, 축산분야 농업환경 보전 프로그램의 개발과 축산분야 확대 적용으로 농업인이 실천하고 참여할 수 있는 탄소중립 방안으로 중요한 의미를 지니며, 특히, 공익형 직불제도 연계를 통해 농업인의 탄소중립 노력을 보상하는 기초적인 활동프로그램으로 발전이 기대됨



〈그림 V-6〉 전국 농업환경보전프로그램 사업대상지 현황(25개소)
(자료) 2021년 농업환경보전프로그램 가이드라인(농식품부, 2021)

〈표 V-15〉 농식품부 농업환경보전프로그램 사업의 세부활동 내용

분야	단위과제	세부활동
토양	1. 적정 양분 투입	① 완효성 비료 사용하기
	2. 외부 양분 투입 감축	① 농사 후 남은 농업부산물 잘라 논·밭에 환원
		② 휴경기 녹비작물 재배 및 토양환원
	3. 토양침식 및 양분유출 방지	① 벼짚 등 농업부산물로 경사진 밭 덮기 ② 경사진 밭 둘레에 빗물이 돌아가는 이랑 만들기 ③ 경사진 밭 끝에 초생대 설치하기 ④ 경사진 밭 끝에 침사구 설치하기
생태	1. 농약사용 저감	① 천적으로 해충 방지하기
		② 제초제 없이 잡초 제거하기
		③ 파수원에서 초생 재배하기
		④ 태양열로 토양 소독하기
		⑤ 시설하우스에 방충망 설치하기
대기	1. 온실가스 감축	① 경운 최소화
	2. 축산악취 저감	① 축산악취 저감을 위한 미생물 제제 사용하기

제6장

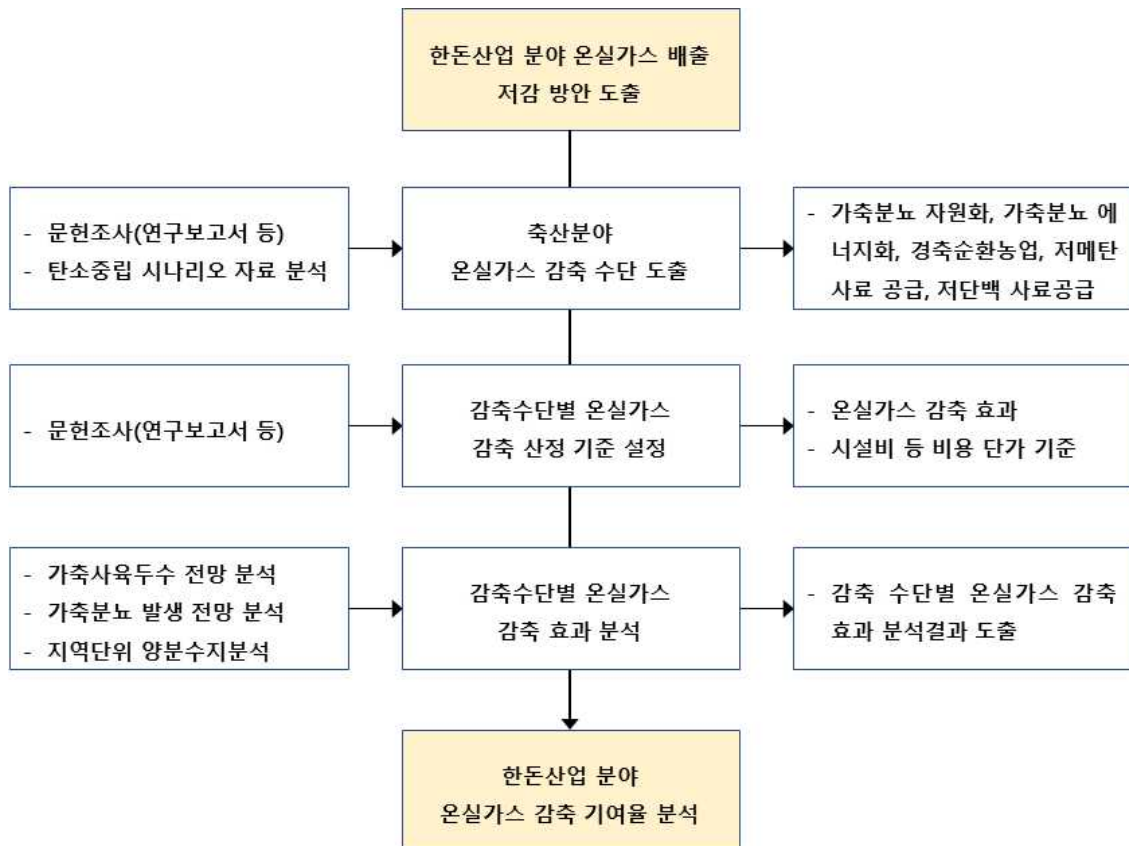
한돈산업 온실가스 배출 저감 효과 분석

제6장 한돈산업 온실가스 배출 저감효과 분석

1. 분석방법 및 기준

가. 분석방법

- 한돈산업 분야 탄소 중립을 위한 온실가스 배출 저감 방안을 도출하기 위하여 2030년을 목표연도로 하여 2018년 대비 축산분야 온실가스 330 만톤 -CO₂eq.을 저감하는 방안을 도출하였음
- 축산분야 온실가스 저감 방안을 기초로 한돈산업에서 기여하는 비중을 분석하여 한돈산업 분야 탄소 중립을 위한 온실가스 배출 저감 방안을 도출하였음
- 한돈산업 분야 탄소 중립을 위한 온실가스 배출 저감 방안을 도출을 위한 분석 방법은 <그림 VI-1>과 같음



<그림 VI-1> 한돈산업 분야 온실가스 배출 저감 방안 도출 방법

〈표 VI-1〉 축산분야 탄소중립 대응 온실가스 수단

번호	구분		효과
	감축수단	세부수단	
1	생산성 향상	스마트팜	- 스마트축사 보급 및 정밀사육 추진(MSY 향상 등)
2	고효율 에너지설비	청정에너지 설비	- 가축사육사 냉·난방에너지 전환 (신재생에너지, 히트펌프·폐열 이용 등)
3	가축분뇨 처리방법 개선	가축분뇨 위탁처리 설비	- 가축분뇨 처리과정 온실가스 발생 저감
		가축분뇨 에너지화 설비	- 가축분뇨 처리과정 온실가스 발생 저감 - 청정에너지 생산 및 화석연료 대체
4	질소질 비료 사용 절감	양분관리기반 경축순환농업	- 농경지 비료 투입량 저감 (농경지 토양 온실가스 발생 저감)
5	바이오차	탄소격리 (토양개량제)	- 양돈분뇨 이용 바이오차 제조 및 농지 환원
6	저탄소 가축관리시스템 구축	저단백 사료	- 저단백 사료 공급
		저메탄 사료	- 저메탄 사료 공급
7	농기계 전기·수소 전환	청정에너지 전환	- 운송차량 등 에너지 전환

(자료) 2050 농식품 탄소중립 추진전략(안)(농식품부, 2021)에서 재정리.

나. 산정 기준

(1) 온실가스 저감효과

- 양분관리 기반의 가축분뇨 처리 및 이용 계획에 따른 온실가스 감축효과는 화학비료 생산 저감, 농경지 비료사용 저감, 가축분뇨 처리시설 분야로 구분하여 산정하였음
- 화학비료 생산저감 효과는 농경지 화학비료 이용 저감량을 화학비료 생산 저감으로 간주하여 화학비료 제조과정 온실가스 발생 감축 효과를 기준으로 산출하였으며, 농경지 비료사용 저감 효과는 농경지 질소양분 투입저감으로 농업생산과정에서 발생하는 N_2O 발생 저감량을 기준으로 산정하였음
- 가축분뇨 처리시설의 온실가스 발생 저감량은 가축분뇨의 처리 시설별 처리 과정 개선, 화학연료 대체, 화학비료 대체 효과를 기준으로 산정하였음
- 2050 농식품 탄소중립 추진전략(안)(농식품부, 2021)

〈표 VI-2〉 축산분야 온실가스 감축 효과 산출기준

구분			효과
번호	감축수단	세부수단	
1	생산성 향상	스마트팜	<ul style="list-style-type: none"> - MSY('18년 17.5 →'30년 25.0), 모돈사육두수 1,001,418두 → 700,993두(300,524두 감소) - 장내발효 : 1.5 kg-CH₄/두/년¹⁾ - 가축분뇨처리(CH₄) : 3.0 kg-CH₄/두/년 - 가축분뇨처리(N₂O) : 20kg-N/두/년, 기타시설(0.005 kg-N₂O-N/kg-N)
2	고효율 에너지설비	청정에너지 설비	<ul style="list-style-type: none"> - 14 천톤-CO₂/년의 50% 적용²⁾
3	가축분뇨 처리방법 개선	가축분뇨 위탁처리 설비	<ul style="list-style-type: none"> - 정화처리 : 농가 자체처리 대비 : 771 CO₂톤/년 적용³⁾ - 액비화(화학비료 대체) : 320.76 톤 CO₂-eq/년⁴⁾ - 퇴액비자원화시설³⁾ : 2,549 톤 CO₂-eq/년 적용
		가축분뇨 에너지화 설비	<ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스 발전 : 3,000MWh/년 × 0.4594톤 CO₂-eq/MWh = 1,378 톤 CO₂-eq/년⁴⁾ - 고체연료 : 유연탄 연료 대체효과 17.45톤-C/TJ 적용
4	질소질 비료 사용 절감	양분관리기반 경축순환농업	<ul style="list-style-type: none"> - 경축순환농업(질소비료 투입저감) 국가 온실가스 인벤토리 농경지 토양 직접배출량 산정 방법론 적용 별도 산정⁵⁾ - 화학비료 생산저감 : 질소 2.196 톤-CO₂/kg-N, 인 9.766톤-CO₂/kg-P(비료생산에 따른 배출계수⁴⁾ 요소비료 1.01 kg-CO₂/kg, 용성인비 0.725 kg-CO₂/kg, *단일비료 NPK 함량 : 요소(N 46%), 용성인비(P₂O₅ 17%))
5	바이오차	탄소격리 (토양개량제)	<ul style="list-style-type: none"> - 58 천톤-CO₂/년 적용²⁾
6	저탄소 가축관리시스템 구축	저단백 사료	<ul style="list-style-type: none"> - 630 천톤-CO₂/년 적용²⁾
		저메탄 사료	<ul style="list-style-type: none"> - 121 천톤-CO₂/년 적용²⁾
7	농기계 전기·수소 전환	청정에너지 전환	<ul style="list-style-type: none"> - 35 천톤-CO₂/년의 50% 적용²⁾

주1) 1996 IPCC GL(IPCC, 1996).

주2) 2050 농식품 탄소중립 추진전략(안)(농식품부, 2021).

주3) 농업·식품분야 온실가스감축 잠재량 분석과 감축목표 달성전략(2014, 한국농촌경제연구원).

주4) 저탄소 농업기술 편람(농림축산식품부, 농촌진흥청, 농업기술실용화재단, 2019).

주5) 2020년 국가 온실가스인벤토리 보고서(환경부, 2020).

다. 축산분야 온실가스 감축 효과

(1) 가축분뇨 발생 전망 및 처리시설 계획

- '19년도 양분수지 현황을 기준으로 지역단위 적정양분관리를 위한 가축분뇨 저감 목표를 설정하고, 이에 해당하는 가축분뇨 양분 저감시설로 가축분뇨 정화처리시설과 고체연료화 시설의 설치 수요를 분석함
- 양분관리를 위한 양분저감 시설로 가축분뇨 공공처리 분야 정화처리(바이오가스) (개소당 200톤/일 시설용량 기준), 고체연료화 시설은 약 139 개소(개소당 100톤/일 시설용량 기준)가 요구되는 것으로 분석됨
- 경축순환농업을 위한 가축분뇨 자원화 시설은 기 수립된 바 있는 농식품부 “중장기 가축분뇨 자원화 대책(농식품부, 2013)”에 근거하여 가축분뇨 공동 자원화 시설 설치는 액비화(바이오가스), 퇴비화 시설이 300개소로 설정함

〈표 VI-3〉 양분관리 기반 가축분뇨 처리 및 이용 시설 계획

구분				목표년도							
				2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030
시설 설치 달성률(%)				-	-	0	1	10	25	40	100
가축분뇨 처리시설 (개소 시설용량)	양분 저감 시설 ¹⁾	바이오가스 +정화처리	개소 ³⁾	-	-	0	1	8	20	32	79
			톤/일	-	-	0	200	1,600	4,000	6,400	15,800
		고체연료	개소	-	-	0	1	6	15	24	60
			톤/일	-	-	0	100	600	1,500	2,400	6,000
		소계	개소	-	-	0	1	14	35	56	139
			톤/일	-	-	0	300	2,200	5,500	8,800	21,800
	경축 순환 시설 ²⁾	바이오가스 +액비화	개소	-	-	0	2	15	38	60	150
			톤/일	-	-	0	150	1,500	3,750	6,000	15,000
		퇴비화	개소	-	-	0	2	15	38	60	150
			톤/일	-	-	0	150	1,500	3,750	6,000	15,000
		소계	개소	-	-	0	3	30	75	120	300
			톤/일	-	-	0	300	3,000	7,500	12,000	30,000
	총계		개소	-	-	0	4	44	110	176	439
			톤/일	-	-	0	600	5,200	13,000	20,800	51,800

주1) 지역단위 양분수지 관리목표 달성을 위한 양분저감 시설 수요 분석 결과.

주2) 중장기 가축분뇨 자원화 대책(농식품부, 2013)에 근거하여 시설 수요 설정.

주3) 정화처리시설 200톤/일 시설용량 기준, 기타시설 100톤/일 시설용량 기준.

(2) 지역단위 양분수지 관리를 통한 경축순환농업 효과

- 지역단위 양분관리를 통한 양분 투입 저감에 따른 온실가스 발생 저감은 화학비료 생산 저감 분야에서 231,738 톤-CO₂eq./년, 경축순환농업에 따른 농경지 비료사용 저감에 따른 직접 배출량 저감에서 331,936 톤-CO₂eq./년의 온실가스 저감효과가 예상됨
- 또한, 경축순환농업을 통한 비료사용량 저감으로 인해 대기로 휘산되는 암모니아 등의 발생 저감을 통한 간접배출량 저감효과가 811,924 톤-CO₂eq./년으로 추산되었으며, 따라서 양분관리 기반 경축순환농업 부문에서 총 1,375,625 톤-CO₂eq./년의 온실가스 감축효과가 기대됨

<표 VI-4> 양분관리 기반 경축순환농업의 온실가스 감축효과

지역	비료사용량 저감				온실가스감축			
	질소 (N)		인 (P)		산업공정 ¹⁾	농경지		합계
	가축분뇨 퇴액비	무기질 비료	가축분뇨 퇴액비	무기질 비료		화학비료 생산저감	직접배출량 저감 ²⁾	
	(ton-N/year)		(ton-P/year)		(ton-CO ₂ eq./year)			
경기	11,616	7,943	3,081	1,214	29,297	56,789	136,016	222,102
강원	1,198	3,393	382	521	12,538	13,331	32,159	58,028
충북	2,128	2,731	537	418	10,077	14,110	34,669	58,856
충남	11,705	14,855	3,155	1,757	49,777	77,114	189,484	316,375
전북	9,347	15,493	2,333	1,679	50,412	72,121	177,990	300,523
전남	4,611	12,617	1,321	1,383	41,210	50,020	119,716	210,946
경북	5,169	7,871	1,615	1,224	29,236	37,861	96,955	164,052
경남	1,218	2,439	361	393	9,189	10,618	24,936	44,743
계	46,992	67,342	12,785	8,589	231,738	331,963	811,924	1,375,625

주1) 화학비료 생산과정에서 저감되는 온실가스 배출량.

주2) 화학비료, 가축분뇨 퇴액비 사용 감소로 저감되는 온실가스 직접 배출량.

주3) 화학비료, 가축분뇨 퇴액비 사용 감소로 인한 수계, 대기 유출 감소로 저감되는 온실가스 간접 배출량.

(자료) 자체 산출.

(3) 양분관리 기반 가축분뇨 처리 및 이용 시설 효과

- 가축분뇨 양분저감 시설 839,222 톤-CO₂eq./년, 경축순환농업시설 637,200 톤-CO₂eq./년의 온실가스 저감효과가 예상되며, 가축분뇨 처리 및 이용 시설 분야는 총 1,476,422 톤-CO₂eq./년의 온실가스 저감 효과가 기대됨

〈표 VI-5〉 양분관리기반 가축분뇨 처리시설 계획의 온실가스 감축효과

구분			목표년도					
			2021	2022	2023	2024	2025	2030
시설 설치 달성률(%)			0	1	10	25	40	100
온실가스 감축량 (톤-CO ₂ eq./년)	양분 저감 시설	바이오가스 +정화처리	0	4,298	34,384	85,960	137,536	339,542
		고체연료	0	8,328	49,968	124,920	199,872	499,680
		소계	0	12,626	84,352	210,880	337,408	839,222
	경축 순환 시설	바이오가스 +액비화	0	2,549	25,485	63,713	101,940	254,850
		퇴비화	0	3,824	38,235	95,588	152,940	382,350
		소계	0	6,372	63,720	159,300	254,880	637,200
	계		0	18,998	148,072	370,180	592,288	1,476,422

(4) 축산분야 온실가스 감축 효과

- 축산분야 탄소중립 방안으로 4,265 천톤-CO₂eq./년의 온실가스 저감효과가 기대됨
- 축산분야 온실가스 감축 효과에 대한 한돈산업 분야의 기여율은 양돈슬러리를 가축 분뇨 공공처리시설, 가축분뇨 액비화 시설 등에 유입 처리하는 것으로 가정하여 산출하였을 때, 가축분뇨 처리시설 분야 약 40.3%, 화학비료 생산저감 분야 72.5%, 화학비료 대체효과 50.0%로 추정되었으며, 축산분야 탄소중립을 위한 온실가스 감축량에 대해서는 약 57.0%의 기여율을 나타내었음

〈표 VI-6〉 축산분야 탄소중립을 위한 온실가스 감축 대응 효과

번호	감축수단		온실가스 감축량		한돈분야 기여율(%)
			축산분야	한돈분야	
			(톤-CO ₂ eq./년)		
1	생산성 향상		578,980	578,980	100.0
2	고효율에너지 설비		7,000	2,800	40.0
3	가축분뇨 처리시설	양분저감시설	839,222	339,885	40.5
		경축순환시설	637,200	254,880	40.0
		소계	1,476,422	594,998	40.3
4	질소질비료 사용 저감	경축순환농업 (화학비료 대체)	1,143,887	571,944	50.0
		화학비료 생산 저감	231,738	168,010	72.5
5	바이오차	탄소격리 (토양개량제)	58,000	5,800	10.0
6	저탄소 가축관리 시스템 구축	저단백 사료 공급	630,000	504,000	80.0
		저메탄 사료 공급	121,000	0	0.0
7	농기계 전기·수소 전환	청정에너지 전환	17,500	5,250	30.0
계			4,264,527	2,431,548	57.0

주1) 2050 탄소중립 시나리오 세부 산출근거(환경부, 2021)

제7장
한돈산업 탄소중립 이행
전략 및 제언

제7장 한돈산업 탄소중립 이행 전략 및 제언

1. 이행전략

- 축산분야 탄소중립을 위한 온실가스 감축 방안 분석에서 한돈산업이 축산분야 탄소중립에서 차지하는 비중은 약 43.7%로 산출되어(<표 V-7> 참조), 탄소 중립에서 한돈산업이 차지하는 역할은 매우 큰 것으로 예상됨
- 이러한 결과는 축산분야 탄소중립을 위한 온실가스 감축 방안이 가축분뇨처리 부문을 중심으로 하는 데에 기인하고 있음, 특히, 향후 축산분야 탄소중립에서 가축분뇨 고체연료, 정화처리, 바이오가스화 시설의 역할이 강조되는 상황에서 양돈산업이 온실가스 감축 분야에 미치는 영향은 더욱 증가할 것으로 예상됨
- 따라서, 한돈산업은 수세적인 대응보다는 공세적인 대응을 통해, 2050 탄소중립에서 새로운 도약 및 발전의 기회를 마련하는 방향으로 이행전략을 수립할 필요가 있음
- 또한, 한돈산업의 탄소중립 이행은 한돈산업에만 한정하는 것이 아니라 축산분야 전반의 탄소중립 이행전략 안에서 종합적으로 계획되어야 하며, 한돈산업의 탄소중립 역할론을 정립하여 한돈산업 발전을 위한 과감한 투자와 이를 통한 신산업 창출의 기회를 마련할 필요가 있음
- 본 연구에서는 “2030년 축산분야 온실가스 배출량 30%(3.0백만톤 CO₂-eq.) 저감”을 목표로 하였으며, 이의 이행을 위한 추진 전략은 ① 정책+제도+기술의 융합화, ② 농업+환경+에너지 기술 복합화, ③ 축산분야 탄소중립에 집중화, ④ 생산자, 기술인, 연구자, 산업체의 참여확대를 4대 전략으로 함
- 이를 위한 주요 추진과제는 ①(가축사양관리) 저메탄 사료 공급, 사료자급율 및 생산성 증대, ②(가축분뇨처리) 자원화(퇴액비·에너지) 촉진, 위탁처리시설 확대, ③(경축순환농업) 농경지 양분투입량 저감, 대기 및 수계 양분유출 저감, ④(거버넌스구축) 정책-사업의 연계성 및 효율성 증대, 지역주민 홍보, ⑤(온실가스인벤토리개발) 국가 온실가스 배출 인벤토리(Tier 2, 3) 개발, ⑥(연구개발 및 기술보급) 저메탄 사료 등 탄소중립 2050 대응기술 개발 보급, ⑦(제도개선) 가축분뇨 에너지화 민간사업 활성화 제도개선의 과제를 도출함

<표 VII-1> 축산분야 2050 탄소중립을 위한 축산기반 구축 목표 및 과제



2. 제언

○ 식량안보 및 식량자급률 강화

- 기후위기는 기후변화와 기후 양극화로 인하여 농업 기상의 변화, 가축 스트레스 증가 등으로 경종과 축산에서의 농업 생산성 저하 영향을 동반하고 있음, 따라서 장기적으로 국가의 안정적인 식량 생산 기반을 구축하고, 식량자급률의 유지 및 증대를 위한 지속적인 노력이 필요함
- 따라서 농축산업 부문의 2050 탄소중립에 있어 안정적인 식량안보 달성을 위한 노력이 함께 수반되어야 하며, 이를 위해서는 식량 부문별(경종, 축산) 식량자급률의 유지 및 달성 목표의 수립이 필요함

○ 양분관리 기반 경축순환농업 체계 구축

- 정부는 농경지에서 기인하는 비점오염원 저감을 위하여 지역단위 양분관리 제도 수립을 추진 중에 있으며, 양분관리제도는 축산과 경종에서의 비료사용량을 규제하는 핵심 제도 활용이 예상됨, 특히, 농경지에서 수계와 대기로 유출되는 비료성분에서 기인하는 N_2O 는 농경지 부문의 온실가스 간접 배출로 산정되고 있어, 양분관리제도는 일정정도 농경지 부문의 N_2O 간접 배출량의 저감 수단으로 활용이 가능함
- 따라서, 농축산업 부문의 2050 탄소중립은 단편적으로 영농기술 및 처리시설 보급을 통한 온실가스 배출량 저감 노력과 함께, 국내 농업환경에서의 양분 순환 체계를 안정화시키고, 지속가능한 축산업 발전을 위한 방편으로 가축분뇨 퇴·액비의 활용을 촉진할 필요가 있음
- 즉, 지역의 양분수지 분석결과에 기초하여 축산과 경종의 합리적인 양분 순환 체계를 계획하고 축산에서 기인하는 퇴·액비의 적정 순환을 유도함과 동시에 화학비료의 사용량을 획기적으로 저감하여 가축분뇨 퇴·액비의 활용 촉진을 유도할 필요가 있음

○ 가축분뇨 에너지화 산업 활성화

- 기존 가축분뇨 에너지화 시설의 90% 이상이 지자체 등이 운영하는 공공시설로서 민간이 운영하는 가축분뇨 에너지화 시설은 매우 미미함(‘21년 기준 가축분뇨 에너지화 시설 총 100개소 중 민간 시설은 약 10개소에 불과함), 정부에서 추진하고 있는 신재생에너지 공급인증서 제도, 온실가스 배출권거래제 등은 민간 시설에 해당하는 인센티브 제도로써 이러한 인센티브 제도와 연계하는 가축분뇨 에너지화 산업의 활성화를 위해서는 민간 에너지화 산업의 역할이 주요하게 평가되고 있음

- 특히, 가축분뇨 에너지화 시설 등의 보급으로 가축분뇨 처리 부문에서 저감되는 온실가스는 대부분 농축산업 부문의 직접 배출량을 저감하는 것이 아니라, 화석연료 대체 등 간접 배출량을 저감하는 특성이 있음, 따라서 가축분뇨 에너지화 시설 등에서 기인하는 온실가스 간접 배출량의 산정 및 집계를 위해서는 신재생에너지 공급인증서 제도, 온실가스 배출권거래제 등과 연계가 요구되고 있으며, 이를 통한 에너지 부문의 간접 배출량 저감량 통계체계의 구축이 필요함

○ 국가 고유 온실가스 배출량 산정 방법론 선진화

- '21년 기준 우리나라 국가 온실가스 인벤토리는 1996 IPCC GL(IPCC, 1996)의 Tier 1 방법론에 기초하여 작성하고 있으나, IPCC에서는 1996 IPCC GL(IPCC, 1996)을 수정 보완하여 2006 IPCC GL(IPCC, 2006)을 제공하고 있음
- 2006 IPCC GL(IPCC, 2006)에 기초하여 Tier 1 방법론을 적용하는 경우 일부 배출계수의 변동으로 국가 온실가스 배출량의 상당한 증가가 예상됨, 특히, 2006 IPCC GL(IPCC, 2006)에서는 농축산업 부문의 온실가스 배출량 산정에서 가능한 국가 고유 배출계수를 활용하는 Tier 2 또는 Tier 3의 방법론을 권장하고 있고, 국가 고유 배출계수를 활용하는 경우, 우리나라 축산활동의 특이성 반영으로 온실가스 배출량 저감이 가능함
- 또한, 향후 축산분야 2050 탄소중립을 위한 핵심적인 대응 방안으로 가축분뇨 처리시설 확충 및 에너지화 시설 확대가 예상되는 상황에서 가축분뇨 처리분야 온실가스 저감 노력의 과학적인 평가 및 온실가스 저감 효과 반영을 위해 국가 고유 배출계수를 활용하는 Tier 2 또는 Tier 3의 방법론 마련이 요구됨

참 고 문 헌

참고 문헌

- 가축분뇨 공동자원화시설 설치기준·표준사업비 및 사업추진절차 개선 마련 연구(축산환경관리원, 2020)
- 가축분뇨처리통계(환경부, 2020).
- 네덜란드 농업부문 온실가스 배출량https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party(2019)
- 농림축산식품 주요통계(농림축산식품부, 2020)
- 농림축산식품부(「농림축산식품 주요통계」 각 년도)
- 농업·식품분야 온실가스감축 잠재량 분석과 감축목표 달성전략(2014, 한국농촌경제연구원).
- 농업전망21(농촌경제연구원, 2021)
- 독일 농업부문 온실가스 배출량https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party(2019)
- 벨기에 농업부문 온실가스 배출량https://di.unfccc.int/detailed_data_by_party(2019)
- 신기후체제에 따른 농축산식품부분 영향과 대응전략(2/2차년도)(농촌경제연구원, 2018).
- 저탄소 농업기술 편람(농림축산식품부, 농촌진흥청, 농업기술실용화재단, 2019).
- 지역자원기반 경축순환농업 활성화 방안(대통령 직속 농어업·농어촌 특별위원회, 2019)
- 통계청, 「농업면적조사」, 한국농촌경제연구원 KASMO(Korea Agricultural Simulation Model), 농업전망 농업전망 2021(2021).
- 1996 IPCC GL, Vol.3, Table 4-3, 4-4
- 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 1996)
- 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(IPCC, 2006).
- 2011-2018년 농림어업조사(통계청, 2012-2019)
- 2020 국가 온실가스 인벤토리 보고서(환경부 온실가스종합정보센터, 2021)
- 2021년 가축분뇨공공처리시설 설치사업의 예산편성 및 집행관리 지침(환경부, 2021).
- 2050 탄소중립 시나리오 세부 산출근거(환경부, 2021)
- 2050 탄소중립 시나리오 세부산출근거(환경부, 2021.10)
- 2050 탄소중립 시나리오(2050탄소중립위원회, 2021)

부록

부록 1. 축산분야 온실가스 배출계수 연구 사례

〈부록 표 1〉 축산부문 온실가스 배출계수 연구 사례

제목	축종	재료	조사 항목	분뇨 처리방법	측정방법	결과	출처
한우갈짚 (툽밥)과 한우 분뇨 단순 퇴적 퇴비단의 메탄과 아산화질소 배출량 조사 (2005)	한우	갈짚 우분, 우분	CH ₄ , N ₂ O 배출계수 및 배출량	갈짚우상(툽밥), 단순퇴적	갈짚-flux chamber 단순퇴적- 윈드터널	<ul style="list-style-type: none"> ○ 배출계수 - 한우 비육우/벧짚: CH₄(0.84692345 μg/m²/s), N₂O(0.00437376 μg/m²/s) - 한우 비육우/양질목건초: CH₄(0.32033439 μg/m²/s), N₂O(0.02355152 μg/m²/s) - 한우 번식우/벧짚: CH₄(0.18445075 μg/m²/s), N₂O(0.02136670 μg/m²/s) - 한우 번식우/양질목건초: CH₄(0.18445087 μg/m²/s), N₂O(0.02136670 μg/m²/s) - 퇴적분뇨/교반: CH₄(0.37867791 μg/m²/s), N₂O(0.00041633 μg/m²/s) - 퇴적분뇨/무교반: CH₄(1.434969424 μg/m²/s), N₂O(0.00012288 μg/m²/s) ○ 배출량 - 한우 비육우/갈짚/벧짚: CH₄(4.5895g/m²/일), N₂O(0.0237g/m²/일) - 한우 비육우/갈짚/양질목건초: CH₄(1.7359g/m²/일), N₂O(0.1276g/m²/일) - 한우 번식우/갈짚/벧짚: CH₄(0.96425g/m²/일), N₂O(0.1117g/m²/일) - 한우 번식우/갈짚/양질목건초: CH₄(1.3063g/m²/일), N₂O(0.0692g/m²/일) - 퇴적분뇨/교반: CH₄(0.0327g/m²/일), N₂O(0.000038g/m²/일) - 퇴적분뇨/무교반: CH₄(0.1240g/m²/일), N₂O(0.000040g/m²/일) 	
한우갈짚 (툽밥)과 한우 분뇨 단순 퇴적 퇴비단의 메탄과 아산화질소 배출량 조사 (2006)	한우	갈짚 우분, 우분	CH ₄ , N ₂ O 배출량, 분뇨성상분석	갈짚/무갈짚 퇴적 (교반/무교반)	토양,분뇨표면에 flux chamber설치, 5분간격, 7번측정(daily), 채취당일GC분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 배출계수 - 한우 비육우/갈짚 : CH₄(909.7 μg/m²/s), N₂O(9.9 μg/m²/s) 여름/가을 평균값 - 한우 비육우/무갈짚: CH₄(584.0 μg/m²/s), N₂O(37.6 μg/m²/s) 여름/가을 평균값 - 퇴적분뇨/교반: CH₄(118.7g/m²/s), N₂O(1.5g/m²/s) - 퇴적분뇨/무교반: CH₄(918.7g/m²/s), N₂O(7.1 μg/m²/s) ○ 배출량 - 한우갈짚: CH₄(78.6g/m²/일), N₂O(0.9g/m²/일) - 한우 무갈짚: CH₄(50.5g/m²/일), N₂O(3.2g/m²/일) - 퇴적분뇨/교반: CH₄(10.3g/m²/일), N₂O(0.1g/m²/일) - 퇴적분뇨/무교반: CH₄(79.4g/m²/일), N₂O(0.6g/m²/일) ○ 성상분석 VS 함량 퇴적분뇨/교반: 66.5% 퇴적분뇨/무교반 :72.89 - T-N 퇴적분뇨/교반: 2.31% 퇴적분뇨/무교반 : 1.89% 	

<부록 표 1> 계속

제목	축종	재료	조사 항목	분뇨 처리방법	측정방법	결과	출처
돈분뇨 퇴비화 과정에서 발생하는 온실가스 배출량 조사(2007)	돼지	돈분	CH ₄ , N ₂ O 배출, 분뇨성상, 기상	SCB 시설 및 초지(단순퇴적, 송풍퇴적, 기계교반)	윈드돔 내부 돈분뇨+톱밥 혼합 단순퇴적/송풍퇴적퇴비 제작 TGA(Trace gas analyzer)측정, 기계교반은 SCB에 윈드챔버 설치 TGA	○ 배출량 - 단순퇴적: CH ₄ (16.4 μg/m ² /s), N ₂ O(2.0 μg/m ² /s) - 송풍퇴적: CH ₄ (4.6 μg/m ² /s), N ₂ O(0.6 μg/m ² /s)	
돈분뇨 퇴비화 과정에서 발생하는 온실가스 배출량 조사(2008)	돼지	돈분	CH ₄ , N ₂ O 배출량, 송풍시간, 송풍량	SCB 시설 및 초지(단순퇴적, 송풍퇴적, 기계교반)	단순퇴적: megachamber (noaeration) 송풍퇴적: megachamber (aeration) 기계교반: open chamber 모든실험시TGA로 실시간측정	○ 배출량 - 단순퇴적: CH ₄ (5.463 μg/m ² /s), N ₂ O(13.372 μg/m ² /s) - 송풍퇴적: CH ₄ (2.272 μg/m ² /s), N ₂ O(0.433 μg/m ² /s) - 기계교반: CH ₄ (74.532 μg/m ² /s), N ₂ O(48.784 μg/m ² /s)	
축산분뇨에서 발생하는 온실가스 배출량 추정	젖소 한우 돼지 닭		장내발효 (CH ₄ , N ₂ O), 분뇨처리 (CH ₄ ,N ₂ O), 가축두수, 분뇨발생량		추정방법 IPCC GPG 2000을 따름 (Tier 1)	○ 배출량추정 - 장내발효/CH ₄ : 1990년(122,887tons) - 2003년(129,016tons) - 가축분뇨/CH ₄ : 1990년(13,370tons) - 2003년(14,870tons) ○ 배출량 추정(장내발효 가축분뇨 합산) - CH ₄ : 2000년(87.7천TC)- 2020년(66.2천TC) - N ₂ O : 2000년(454천TC)- 2020년(552.1천TC)	

〈부록 표 1〉 계속

제목	축종	재료	조사 항목	분뇨 처리방법	측정방법	결과	출처
가축분뇨로부터 아산화질소 배출량 산출	젓소 한우 돼지 닭		분뇨처리(N ₂ O), 가축 두수, 분뇨발생량		추정방법 IPCC GPG 2000을 따름 (Tier 1)	○ 배출량추정 - 젓소 : 1990년(0.46Gg)-2020년(0.58Gg) - 한우 : 1990년(1.03Gg)-2020년(1.16Gg) - 돼지 : 1990년(1.75Gg)-2020년(3.89Gg) - 닭 : 1990년(0.48Gg)-2020년(0.90Gg)	축산시설 환경학회 지 ; 9(1) 1~8, 2003
돈분의 퇴비화가 온실가스 발생에 미치는 영향	돼지	돈분	CH ₄ , N ₂ O 배출량, 분뇨성상	퇴비화 : 호기발효 (30일), 후숙(60일)	발효챔버(돈분+ 톱밥)상 가스를 매일 채취; CH ₄ , N ₂ O는 GC분석, CO ₂ 는 CO ₂ 측정기 이용	○ 정상변화 - 유기물(OM) 변화: (돈분+톱밥) 초기 - 78.76%, 30일 후- 70.84% 완료 - 70.02% - 총 질소(T-N) 변화: (돈분+톱밥) 초기 - 2.91%, 30일 후- 2.22% 완료 - 2.09% ○ 배출량 및 발효기간 중 발생 패턴 - CH ₄ : 발효기간 동안 평균농도 - 208.99ppm, - 총 발생 볼륨(무게) : 1625.22L(1081.63g) 유기물 kg당 발생량:31.97g-CH ₄ /kg-VS - 발생패턴 : 초기 1달 호기발효시 보다 후기 2달 혐기발효시 더 높은 농도의 메탄 발생 N ₂ O : 발효기간 동안 평균농도 - 6895.57ppb, 총 발생 가스 볼륨(무게): 53.62L(80.29g), 총 질소 1g당 발생량: 0.043g N ₂ O/g - T-N 발생패턴 : 호기-혐기발효로 전환되는 시점에 급격히 농도 증가 이후 서서히 감소	
돈슬러리 발효증발 퇴비화 시스템의 온실가스 배출량 측정(2001)	돼지	슬러리	CH ₄ , N ₂ O 배출량, 분뇨성상	호기퇴비화: 밀폐형(산소는5 L/min으로바 닥에서주입교 반은1.5rpm매 일10분간,충진 재는톱밥사용)	유효용적 1m ³ 의 퇴비화 시설 제작, 톱밥 142kg 투입 돈분노 슬러리를 1~2일 간격으로 20~30L 씩 투입, 1개월 시험, 매일 가스 채취 GC분석	○ 발효상온도변화 - 시험시작 2주 이내 60도 정도까지 최고조 이후 저하 30~35도 유지 ○ 정상변화 - 유기물(VS) 함량은 초기- 종료까지 4.1% 감소 - 질소함량 : 슬러리의 지속적 투입으로 증가 ○ 온실가스 발생량 - CH ₄ : 반응 초기 10~15일 이내 급격히 발생, 이후 급감소, 총 1582.4g 발생 (14.8g-CH ₄ /kg-TS, 145.2g-CH ₄ /kg-VS _{removed}) - N ₂ O : 반응 초기 10~15일 이내 급격히 발생, 이후 감소하는 경향을 보이다가 다시 증가 (아산화질소 생성균이 온도변화에 대한 충격이 적고 회복이 빠르기 때문) 분해된 VS당 발생량 : 6.2g-N ₂ O/kg-VS _{removed})	축산시설 환경학회 지 ; 7(2) 111~118, 2001

<부록 표 1> 계속

제목	축종	재료	조사 항목	분뇨 처리방법	측정방법	결과	출처
가축분뇨와 간척지 사료작물의 메탄 발생량과 생분해도(2008)	돼지 한우	슬러리, 우분	CH ₄ 배출량, 생분해도	혐기소화	BMP(biochemical methane potential)test 발생가스는 GC분석, 일3회혼합(수작업)35도에서 3개월시험	○ C/N비:메탄발생량 주요변수로 최적비율은 25~30 우분의 경우 돈분에 비해 2배 정도 높은 수치, 돈분이 N함량이 높기때문 ○ CH ₄ 가스 발생량 - 돈분 : 0.345L CH ₄ /g VS 우분 : 조사료 종류에 따라 큰 차이, 목초지류 사료 > 벼짚 조사료 (1.5배차이) 목초지류 조사료 - 0.247L CH ₄ /g VS (초지류에 생분해 성 셀룰로스 함량이 높기 때문에 사료됨) ○ 생분해도 평가 - 돈분 슬러리 : 약 45% , 우분(벼짚조사료) : 약 32% , 우분(초지조사료) : 약 46%	한국 신재생 에너지 학회;4(4) 56~63,20 0
돈분슬러리 성상에 따른 최적 바이오가스 회수(2010)	돼지	돈분 (자돈, 비육돈, 모돈분)	CH ₄ 배출량성상 분석	혐기소화	BMP(bioche micalmetha nepotential)test 발생가스는 GC분석 TS함량별 (1,3,5,7%)교반강도별 돼지성장단 계별 시험	○ 유기물 함량별 CH ₄ 발생량(35℃,체류시간:50일) - TS 1% -357 , 3%-480 ,5% -457, 7%-459 ml CH ₄ /g-VS _{add} ○ 교반속도가 너무 큰 경우 전력 낭비, 너무 느린경우 기질과 미생물과의 접촉 효 율이 낮아져 반응조 하부의 고형물의 침전이 일어남 혐기 소화 공정 진단을 위한 최적의 시험 조건은 유기물농도 3~5%, 식종 슬러지 비율 50%, 교반강도 120rpm이 적절 ○ 돈분 기질 종류 및 성상에 따른 CH ₄ 발생량(TS 5%, 120rpm) - 자돈분:C/N=12.0,308ml-CH ₄ /g-VS _{add} (초기가스발생속도가늦음) - 비육돈 : C/N = 15.0 , 320ml-CH ₄ /g-VS _{add} - 분만돈 : C/N = 17.3 , 387ml-CH ₄ /g-VS _{add} (초기 가스 발생속도가 빠름)	한국환경 농학회지; 2 9(2)197~2 0 5,201

<부록 표 1> 계속

제목	축종	재료	조사 항목	분뇨 처리방법	측정방법	결과	출처
유기성폐기물을 이용한 고온메탄발효의 특성(2008)	소 돼지	우분 돈분	온도, 체류 시간에 따른 메탄 발생			<ul style="list-style-type: none"> ○ 우분뇨 <ul style="list-style-type: none"> - 셀룰로스 등이 많고 단백질 함량은 특성을 지님 - 고농도(VS 8~11%) 짧은 체류시간(3~6일)에 고부하 고온 메탄발효가능 ○ 돈분뇨 <ul style="list-style-type: none"> - 암모니아성 질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$)가 농도가 높은 특성을 지님.고온이 될수록 유리(free) - 암모니아성 질소의 농도가 증가하여 메탄가스생성을 저하 	유기성 자원 학회지;16 (2)129 ~37,200
혐기성소화를 통한 돈분의 메탄생성특성(2007)	돼지	돈분 슬러리	혐기상태 CH_4 발생량	슬러리 혐기소화	BMP(biochemical methanepotential) test 발생가스는 GC분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초기성상(VS)별누적메탄가스발생량 <ul style="list-style-type: none"> - 1.8g/L - 119.2ml(CH_4) , 3.6g/L - 220.2ml(CH_4) ,7.2g/L -373.5ml , 14.4g/L -591.0ml . ○ 초기 성상(VS)별 최종 메탄 수율 :기질 농도증가에 따라 감소 경향 <ul style="list-style-type: none"> - 1.8 g/L -0.44L CH_4/g VS, 3.6g/L - 0.41L CH_4/g VS , 7.2g/L - 0.35L CH_4/g VS, 14.4 g/L -0.27L CH_4/g VS ○ 초기 성상(VS)별 최대 메탄 발생 속도 : 기질농도 증가에 따라 감소 경향 ○ 초기 성상(VS)별 동력학적 속도 상수(k) : 14.4g/L에서 현저한 감소 경향 	유기성 자원 학회지 ;15(3)113 ~120,200
유기성폐기물의 혐기성 분해 특성 (I) : 메탄전환율, kinetic , 기질 입자 크기에 대한 효과(1995)		곡물, 채소, 육류 (포도당, 녹말, 셀룰로즈)	유기물질별 혐기분해 특성, 유기물 입자 크기의 영향, kinetic		BMP(biochemical methanepotential) test 발생가스는 GC분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유기물 단위 기질별 누적 메탄가스 발생량(메탄전환율) (초기VS는 2000mg/L로 일정) <ul style="list-style-type: none"> - 포도당 : 0.291 L CH_4/ g vs(glu) , 녹말 : 0.321 L CH_4/ gVS(sta), - 셀룰로스 : 0.170L CH_4/g VS(cellu) , 카제인 : 0.352 L CH_4/g VS(cas) ○ 유기물질별 누적 메탄가스 발생량(메탄전환율) (VS는 2000mg/L로 일정) <ul style="list-style-type: none"> - 육류 > 채소류 > 곡류 ○ 혐기분해 속도(kinetic constant) <ul style="list-style-type: none"> - 카제인 > 포도당 > 녹말 > 셀룰로스 (뒤로 갈수록 난분해성물질) ○ 폐기물 입자크기의 영향 : 입자 크기에 따른 최종 메탄 발생량의 차이는 없으나 반응속도 상수는 입자의 크기가 작을 수록 큰 것을 알 수있음 (기질 표면적이 넓어 반응이 빠름) 	대한환경 공학회지; 17(3) 237~245, 1995

<부록 표 1> 계속

제목	축종	재료	조사 항목	분뇨 처리방법	측정방법	결과	출처
고농도 유기물의 저온혐기성 소화에 관한연구(2008)		축산폐수 : 음식물류 폐기물 (5:1)의 혼합폐수	저온(25℃) 혐기소화조에서의 최적 HRT 도출		혐기소화조제작저온(25℃)유지	<ul style="list-style-type: none"> ○ 축산폐수와 음식폐기물5:1 혼합이 단독 소화시보다 더 많은 메탄 발생 ○ 상온에서는 HRT 60일에서 가장 높은 TCOD제거율을 보이고 HRT40일에서 가장 높은 TS제거율을 보임 ○ 메탄 발생량의 경우 HRT 50일이 가장 적절 	대한환경 공학회 ; 춘계학술대회발표 (2008)
농축수산 폐기물의 메탄전환에 관한 기초연구(1998)		농수산물 유통 집하장의 유기폐기물	시료 성분 조성에 따른 특성, 생분해 특성, kinetic	3단 여과막 충전형 메탄 발효	BMP(biochemical methanepotential)test, 발생가스는 GC분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ C/N ratio의 영향 : 혐기발효에 적합한 범위는 C/N 12~30 ○ 셀룰로스 성분이 많은 채소류 시료의 비중이 높은 경우 누적 메탄가스 발생량이 저조함. 또한 분해반응 속도가 늦어지므로 유기물 부하조절 필요 ○ 생분해성이 낮은 물질이 함유된 경우 메탄 생성 속도가 느림 ○ 기존 UASB, UBF반응기를 개량한 반응조는 메탄발생 증가 	폐기물자원화 ; 6(1) 31~42, 1998
혐기소화조에서 메탄발생에 영향을 미치는 인자 분석(2003)			메탄발생에 영향을 미치는 인자(온도 pH, 탄소 및 질소원, 저해제) 분석		혐기미생물용 배지 제작 발생 가스는 GC분석 , 유기산은 HPLC 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 체류시간(SRT)를 길게 하고 메탄생성균수를 증가시키면 메탄생성효율 증가 ○ 중온(35~40도)의 경우 가장 메탄 발생에 최적(이것은 실험에 사용된 슬러지가 6개월 이상 중온에서 순응된 것이기 때문임) ○ pH 6~8 인 중성에서 가장 많은 메탄가스 생성 , 중성>알칼리성>산성 ○ 탄소원은 메탄올, 아세트산에서 최대 발생 ○ 질소원은 암모니아성 질소원이 질산성 질소보다 메탄가스를 발생시키는데 효과적 ○ 메탄 발생 저해제 : 2-Bromoethanesulfonic acid(메탄 가스 생성 세균 특유의 조효소 저해) ○ 유기산 분석을 통해 PH 5.2이하에서는 메탄 발생이 저해됨을 알수있음 (메탄 발생시 생성되는 유기산 중 가장 많은 유기산은 formic acid) 	한국생물 공학회지; 18(6), 473~478, 2003

<부록 표 1> 계속

제목	축종	재료	조사 항목	분뇨 처리방법	측정방법	결과	출처
돈분의 Biogas생산과오염물질 제거에 관한 연구	돼지	돈분	CH ₄ 발생량, 성장변화	중온/고온 혐기소화	단단(single-stage type)소화조제작. 온도(37°C, 55°C) 변화, 체류시간변화시험	<ul style="list-style-type: none"> ○ 유기물제거효율 <ul style="list-style-type: none"> - 혐기 소화시 소화 온도는 유기물 제거 효율에 큰 영향을 주지 않으며 체류시간을 충분히 줄 경우 중온 고온에서 유기물 감량화율과 소화 가스 생산율이 거의 동일함 ○ CH₄ 발생량 <ul style="list-style-type: none"> - 유기물 제거 kg당 CH₄ 발생량 - 중온/고온 0.812~0.823 m³ CH₄/kg-VS_{re} 로 비슷하게 나타남 	한국 폐기물 학회지; 25(1) 1~8, 2008
축산분뇨시설에서 배출되는 non-CO ₂ 온실가스 발생량 평가		축산 폐수	CH ₄ , N ₂ O 배출량	가축분뇨공공처리시설-액상부식법 -BCS-혐기성 처리	각처리공법별 온실가스 발생가능 지점에 flux chamber설치 tedlarbag에 가스 채취후 GC분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ CH₄발생농도 <ul style="list-style-type: none"> - 액상부식법 - 저류조 548.54ppmv - 혐기소화시설- 유입저장조 36657.92ppm - 수처리반응조 1850.63ppm ○ N₂O 발생 농도 <ul style="list-style-type: none"> - 액상부식법 -저류조 20.39ppmv 탈질조 39.08ppmv - 질산화조-14.24ppm BCS -단일반응조 37.00ppmv ○ 처리공정별 CH₄ 배출계수 <ul style="list-style-type: none"> - 액상부식법 - 저류조 9746 mg-CH₄/m³(0.00075kg-CH₄/kg-BOD) - 혐기소화시설 - 유입저장조 1440154 mg-CH₄/m³(0.0206kg-CH₄/kg-BOD) - 혐기소화조 117661105.91mg-CH₄/m³(1.6809kg-CH₄/kg-BOD) - 수처리반응조 55189.25mg-CH₄/m³(0.0008kg-CH₄/kg-BOD) ○ 처리공정 별N₂O배출계수 <ul style="list-style-type: none"> - 액상부식법 -저류조 1020.73 mg-N₂O/m³(0.00025kg-N₂O/kg-T-N) - 탈질조 1865.95mg-N₂O/m³(0.00045kg-N₂O/kg-T-N) - 질산화조 5480.64 mg-N₂O/m³(0.00132kg-N₂O/kg-T-N) - BCS - 단일반응조 23205.57 mg-N₂O/m³(0.0054kg-N₂O/kg-T-N) 	한국대기 환경학회 발표논문

〈부록 표 1〉 계속

제목	축종	재료	조사 항목	분뇨 처리방법	측정방법	결과	출처
가축분뇨 유래 온실가스의 연속 측정 및 배출량 산출기술 개발(2007) -1	한우	깔짚우 분	CH ₄ , N ₂ O 배출량, 분뇨성상 기상	단순퇴적	megachamber-깔 짚 우분단순퇴적후 흡기/배기팬설치 small chamber - 단순퇴적 퇴비 위에 open chamber 설치 TGA로 가스 연속 측정	○ 배출량 - 메가챔버 : CH ₄ (42.6 μg/m ² /s), N ₂ O(1.7 μg/m ² /s) - 스몰챔버 : CH ₄ (7.4 μg/m ² /s), N ₂ O(1.3 μg/m ² /s)	
가축분뇨 유래 온실가스의 연속 측정 및 배출량 산출기술 개발(2007) -2	돼지	돈분	CH ₄ , N ₂ O 배출량, 송풍량	SCB 퇴비단	open chamber - 기존 방법에서 구조변경 (air mixer 장착) TGA 연속측정	○ 배출량 - air mixer 장착 전 : CH ₄ (2898ppb), N ₂ O(481ppb) - air mixer 장착 후 : CH ₄ (2896ppb), N ₂ O(479ppb)	

이 연구용역은 한돈자조금 재원으로 진행되었습니다.

이 보고서의 소유권은 (사)대한한돈협회에 있으며 대한한돈협회의 허락 없이 무단전재와 무단복제를 할 수 없습니다.