

발 간 등 록 번 호

11-1543000-004558-01

농식품 온실가스 전과정평가 및 감축 인센티브 설계 연구

(최종 보고서)

2023. 12.



농림축산식품부

연구수행기관 : 인하대학교 산학협력단

제 출 문

농림축산식품부장관 귀하

본 보고서를 『농식품 온실가스 전과정평가 및 감축 인센티브 설계 연구』의 최종 보고서로 제출합니다.

2023년 12월

연구기관 : 인하대학교 산학협력단
총괄책임자 : 김춘산
공동연구원 : 황용우
참여연구원 : 강태농
 김영운
 이종효
 김재순
 양현재
 정선화

< 요약 문 >

전세계적 아젠다로 탄소중립의 중요성이 부각되고 있는 가운데, 선진국의 경우 농·축산업 분야에서의 온실가스 배출량은 그 양이 상당하며 당사국들은 이를 저감하기 위하여 다양한 노력을 기울이고 있다. 그리고, 온실가스 감축 전략 실현을 위해서는 온실가스 배출량에 대한 정량적 산정이 반드시 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 생산·유통·소비에서 발생하는 모든 물질 투입·산출량을 정량적으로 분석하고 이러한 과정이 환경에 미치는 영향을 평가하는 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA) 기법을 활용하여 수출입 비중이 상대적으로 높은 쌀, 밀, 옥수수, 소고기, 돼지고기, 닭고기, 우유 7개 대상의 환경부하량을 정량적으로 산정하였다.

7개 주요 품목의 LCA 수행을 위해, 기능은 각 농축산물 생산하기 위한 투입 물질로 선정하였다. 또한, 기능단위는 벼·밀·옥수수의 경우 “가공된 제품 1 kg(도정, 제분, kg 단위 환산)”, 소·돼지·닭은 “도축된 제품 1 kg(쇠고기·돼지고기·닭고기)”, 우유는 “원유 1 kg”으로 설정하였다. 또한, 시스템 경계는 자재(투입물) 생산단계, 생산단계, 가공(도정·제분·도축)단계, 유통단계까지로 설정 및 산정하였다.

첫 번째로, 농산물의 경우, 벼는 “도정된 벼 1 kg” 기준, 온실가스 배출량은 2.6772 kg CO₂ eq.로 나타났으며, 생산단계에서의 배출량이 87.42%로 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 생산단계 중에서도 물 대기 단계에서 발생하는 온실가스 배출량은 1.6255 kg CO₂ eq.로 전체 온실가스 배출량의 60.71%를 차지하였다. 이어서 에너지 생산 및 사용에 의한 온실가스 배출량이 0.5245 kg CO₂ eq.로 전체 온실가스 배출량의 19.59%를 차지하였다. 이어서 밀은 “제분된 밀 1 kg” 기준, 온실가스 배출량은 0.5925 kg CO₂ eq.로 나

타났으며, 자재생산 및 생산의 탄소배출량 비중이 94.24%, 제분단계 비중이 5.76%로 나타났다. 끝으로, 옥수수는 “옥수수 1 kg” 기준, 온실가스 배출량은 0.4786 kg CO₂ eq.로 나타났으며, 생산단계가 92.60%, 자재 생산단계는 7.40%를 차지하는 것으로 나타났다. 옥수수의 생산단계는 에너지 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량이 81.85%로 가장 비중을 차지하였다.

두 번째로, 축산물의 경우, 쇠고기는 “도축된 쇠고기 1 kg”을 기준으로 국내산은 29.7474kg CO₂ eq.로 나타났으며, 이 중 소 사육단계가 65.31%로 가장 높았으며, 이어서 자재 생산단계, 도축/가공단계, 유통단계 순으로 나타났다. 소를 사육하기 위해 사용되는 사료를 생산하는 단계에서 온실가스를 32.42% 배출하였고, 소 사육단계에서 장내 발효로 인한 온실가스 배출량은 37.26%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 분뇨 처리로 인한 온실가스 배출량이 21.58%, 에너지 생산 및 사용에 의한 온실가스 배출량이 6.46%로 나타났다. 돼지는 돼지고기 “도축된 돼지고기 1 kg”을 기준으로 국내산은 6.8134 kg CO₂ eq.로 나타났으며, 돼지 사육을 위한 자재 생산단계가 65.50%가 가장 높았으며, 다음으로 사육단계, 도축/가공단계, 유통단계 순으로 나타났다. 특히, 사육단계에서의 분뇨 처리로 인한 온실가스 배출량은 24.24%, 도축단계에서의 온실가스 배출량은 3.87%, 사육단계에서의 장내 발효로 인한 온실가스 배출량은 3.47% 순으로 나타났다. 끝으로, 닭고기는 “도축된 닭고기 1 kg”을 기준으로 하였을 때, 4.0677 kg CO₂ eq.로 나타났으며, 닭 사육을 위한 자재 생산이 56.80%로 가장 높았으며, 다음으로 사육단계, 도계/가공단계, 유통단계 순으로 나타났다. 이 중, 사육단계에서는 분뇨처리로 인한 온실가스 배출량이 12.75%로 나타났으며, 에너지 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량이 13.52%를 차지하는 것으로 분석되었다. 다음으로 가공단계는 16.02%로 나타났다.

마지막으로, 유제품인 우유의 경우 “우유 1 kg” 기준, 온실가스 배출량은 1.460 kg CO₂ eq.로 나타났으며, 젖소 사육단계의 온실가스 배출량이 67.26%로 가장 높았으며, 다음으로 자재 생산단계, 우유 생산단계 순으로 나타났다. 특히, 사육단계에서 장내 발효/에너지 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량이 56.96%로 높았으며, 분뇨 처리에 의한 온실가스 배출량이 11.30%를 차지하였다. 자재 생산단계의 온실가스 배출량은 26.78%로 나타났으며, 우유 생산단계는 6.09%로 낮은 것으로 나타났다.

이와 같은 7개 품목의 온실가스 배출량 산정 결과를 바탕으로 연구진은 다음과 같은 인센티브 제도를 제안한다. 첫째, 벼의 경우 유기물 시용 천수답(상습가뭄) 물대기 방법 적용 시, 1.5만원 / ha의 인센티브를, 유기물 미시용 조건 상수답수는 1.5만원 / ha, 간단관개(1회)-중간낙수(1주이상-2주미만)은 5만원 / ha, 간단관개(2회 이상)-중간낙수(2주이상)은 8.5만원 / ha, 천수답(상습가뭄)은 10.5만원 / ha의 인센티브를 제안한다. 또한, 비육우·우유의 경우 저메탄사료 급여의 상용화를 가정하였을 때, 2.0만원(1.75만원) / 비육우 1두, 2.0만원(2.34만원) / 우유 10 ton의 인센티브를 제안한다. 벼·쇠고기·우유 모두 현재의 탄소배출권 가격을 적용하였을 때는 경작·사육 비용 대비 인센티브로 취할 수 있는 경제적 효익이 적어 농가의 자발적 참여를 이끌어내기에는 부족한 금액으로 보여지나, 인센티브 지급액의 기준이 온실가스 배출권 시장 가격에 근거하므로, 시장 변화에 따라서 농가의 참여도 또한 크게 달라질 것으로 사료된다. 예를 들어, 유럽의 온실가스 배출권 선물(CFI2Z3) 가격 기준으로 인센티브 지급액이 결정되는 것을 가정하였을 때, 유기물 미시용 간단관개 2회 이상 기준 지급액은 85만원까지 시장 가격 형성이 가능한 것으로 예상할 수 있으며, 이는 경작 비용에 절반 이상을 충당할 수 있는 금액이다. 비육우·젖소 또한, 저메탄사료 급여에 따른 비육우·우

유 10 ton의 인센티브 금액은 각각 17.5만원, 23.5만원까지 시장 가격 형성이 가능한 것으로 예상할 수 있다. 즉, 본 연구에서의 비육우·젖소의 온실가스 배출 저감 활동 인센티브 설계안 또한 온실가스 배출권 가격 변동에 따라 효익 또한 달라지는 것으로 볼 수 있다.

반면, 밀·옥수수·돼지고기·닭고기의 경우 우리나라 농업 환경 특성에서 기인한 불리함, 축산물 생산 과정에서의 수입 사료 급여 특성 등 여러 요인으로 인하여 온실가스 배출량 저감에 대한 인센티브 제도는 효익이 크지 않은 것으로 나타났다.

본 연구를 통하여 산정된 7개 주요 농축산물의 온실가스 배출량은 다양한 목적으로 활용될 가능성이 높다. 특히, 농축산업에서의 온실가스 감축을 위한 정책을 지원하고, 국가 차원에서 농축산 분야에서의 체계적인 온실가스 배출 관리가 가능하도록 정보 인프라를 구축하는 것에 초석이 될 수 있을 것으로 기대한다.

목 차

I	서론	1
	제1장 연구 배경 및 목적	1
	1. 전세계적 아젠다 「탄소중립」	1
	2. 대한민국의 탄소중립 정책	3
	3. 탄소중립 관련 해외 정책 동향	7
	제2장 연구의 필요성	15
II	연구내용 및 방법	17
	제1장 연구 내용	17
	제2장 연구 방법	19
	1. 연구방법1: 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)	19
	1.1. LCA를 이용한 국내 주요 농식품 탄소발자국 연구	26
	2. 연구방법2: 메타분석(Meta-Analysis)	31
	2.1. 메타분석을 이용한 해외 주요 농식품 탄소발자국 연구	31
	3. 연구방법3: 집단심층면접법(FGI, Focus Group Interview)과 계층분석기법-쌍대비교행렬(AHP, Analytic Hierarchy Process)을 활용한 적정 인센티브 제도 설계	32
	4. 법·제도적 연구설계 적합성 검토	34
III	연구결과 및 고찰	37

제1장 해외 및 국내 농·축산물 관련 탄소중립 정책 현황	37
1. 영국	37
1.1. 영국의 탄소중립 관련 정책 현황	37
2. 일본	51
2.1. 일본의 탄소중립 관련 정책 현황	51
2.1.1. 축산분야 축종별 온실가스 배출현황	55
2.1.2. 일본 농림수산분야 탄소배출 저감 정책	56
2.1.3. 축산분야 탄소배출 저감 기술개발	58
2.2. 일본의 농업 분야 탄소중립 달성을 위한 방법론	60
2.2.1. 저단백 사료 활용(아미노산 균형 개선 사료 공급)으로 소, 돼지 및 육계 배설물 처리 시 N ₂ O 배출 저감	60
2.2.2. 경작지/초지의 무기질 토양에 바이오차 첨가: 바이오숯의 농업 응용	61
3. 프랑스	64
3.1. 프랑스의 탄소중립 관련 정책 현황	64
3.2. 프랑스의 농업 분야 탄소중립 달성을 위한 방법론	71
3.2.1. IDELE, “Carbon Agri”	71
3.2.2. Arvalis, “Grandes cultures”	73
3.2.3. Compagnie des Amandes, “Plantation de vergers”	74
3.2.4. Pays de la Loire 지역 농업회의소, “Haies”	75
3.2.5. SOBAC, “Gestion des intrants”	76
3.2.6. Blue-Blanc-Coeur, “Fermentation entérique des bovins lait”	78
3.3. 프랑스의 농업 분야 탄소중립 달성 전략의 시사점	80
4. 독일	82
4.1. 독일의 탄소중립 관련 정책 현황	82
4.1.1. EU 공동농업 정책	90
4.1.2. 재생에너지법 기반 재생에너지 발전 지원	91
4.1.3. 유기농업 미래전략(Zukunftsstrategie Ökologischer Landbau)	91
4.1.4. 질서법(Ordnungsrecht)	92

4.2. 독일의 농업 분야 탄소중립 달성을 위한 방법론	94
4.2.1. Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK), “TEKLa”	94
4.2.2. BMEL, “Bundesprogramm zur Steigerung der Energieeffizienz und CO ₂ -Einsparung in Landwirtschaft und Gartenbau”	96
5. EU	97
5.1. EU의 탄소중립 관련 정책 현황	97
5.1.1. 탄소 농업 기술지도	105
5.1.2. 식물성 단백질 개발	105
5.1.3. LIFE 탄소농업 계획(LIFE 프로그램)	107
5.1.4. INTERREG 탄소 농업 프로젝트	107
6. 미국	112
6.1. 미국의 탄소중립 관련 정책 현황	112
6.2. 미국의 농업 분야 탄소중립 달성을 위한 방법론	120
6.2.1. 농장 비료 및 화학물질 투입 최적화	120
6.2.2. 저탄소 비료 및 화학 물질 제조	121
6.2.3. 농업 에너지 및 연료 소비 절감	122
6.2.4. 토양 탄소 축적량 증가	123
7. 국내 탄소중립 정책 개요	125
7.1. 국내 농·축산 분야 탄소중립 정책 동향	127
7.2. 국내 농축산분야 탄소중립을 위한 방법론: 저탄소 농축산물 인증제	129
8. 국내외 농축산 분야 탄소중립 정책의 비교와 시사점	131
 제2장 농식품 탄소발자국 산정 방법론	 135
1. Frameworks and ISO standards	135
1.1. ISO 14040/44	135
1.1.1. 개요	135
1.1.2. 구성	135

1.2. ISO 14067	139
1.2.1 개요	139
1.2.2 제품의 탄소발자국(Carbon footprint) 정량화	139
1.2.3 GHG 배출	140
1.2.4 지구 표면의 온실가스	140
2. Guidelines	140
2.1 GHG Protocol	140
2.1.1 개요	140
2.1.2 온실가스 배출량 산정 기준	141
2.1.3 온실가스 배출량 산정	141
2.2 PAS 2050	144
2.2.1 개요	144
2.3 FAO LEAP Guidelines	146
2.3.1 개요	146
2.4 AGRIBALYSE methodological report	149
2.4.1 개요	149
2.4.2 LCI DB 구축 절차	150
2.5 LCA of Agri-food systems	151
2.5.1 개요	151
2.5.2 LCA 방법론	152
3. Product Category Rules	154
3.1 EPD PCR	154
3.1.1 개요	154
3.1.2 PCR 개발 절차	154
3.2. PEF CR	157
3.2.1 개요	157
3.2.2 제품의 환경 영향 측정을 위한 방법론 연구	158

3.3 환경성적표지 제도	159
3.3.1 개요	159
3.3.2 환경성적표지의 환경 영향범주	160
3.3.3. 환경성적표지의 법적근거 및 인증기준	161
3.3.4. 환경성적표지 인증절차	162
3.4 저탄소 농산물 인증제도	163
3.4.1 개요	163
3.4.2 인증기준	163
3.4.3 농산물 온실가스 배출량 산정 방법론	163
3.5 저탄소 축산물 인증제도	165
3.5.1 개요	165
3.5.2 인증기준	165
3.5.3 축산물 온실가스 배출량 산정 현황	165
4. Databases and tools	166
4.1 Agri-footprint	166
4.1.1 개요	166
4.1.2 방법론 및 범위	167
4.2 Ecoinvent	169
4.2.1 개요	169
4.2.2 구성	169
4.2.3 LCA 방법론	169
4.3 국내 LCI DB	172
4.3.1 개요	172
4.3.2 LCI DB와 환경영향	172
4.3.3 LCI DB 현황	173
4.3.4 LCI DB 개발 절차	174
5. 국내의 LCA 방법론 비교 분석	175

6. 본 연구의 LCA 방법론	177
6.1. 대상제품 선정	177
6.2. 목적 및 범위 정의	177
6.2.1. 목적 정의	177
6.2.2. 범위 정의	177
6.3. 시스템경계	178
6.4. 전과정 목록분석	179
6.4.1. 데이터 수집	179
6.5. 결과 해석	181
7. 탄소발자국 연구 대상 품목 선정	182
제3장 농식품 탄소발자국 산정	184
1. 벼의 탄소발자국 산정	184
1.1. 국내 벼의 탄소발자국	184
1.1.1. 목적 및 범위 정의	184
1.1.2. 전과정 목록 분석	188
1.1.3. 탄소배출량 산정	196
1.2. 해외 벼의 탄소발자국	206
1.2.1. 온실가스 배출량 산정식	206
1.2.2. 해외 벼의 탄소발자국 비교 분석	207
1.3. 국내외 벼의 탄소발자국 비교	214
2. 밀의 탄소발자국 산정	222
2.1. 국내 밀의 탄소발자국	222
2.1.1. 목적 및 범위 정의	222
2.1.3. 탄소배출량 산정	231
2.2. 해외 밀의 탄소발자국 사례	234
2.2.1. 온실가스 배출량 산정식	234
2.2.2. 해외 밀의 탄소발자국 분석	235
2.3. 국내외 밀의 탄소발자국 비교	239
3. 옥수수의 탄소발자국 산정	242

3.1. 국내 옥수수의 탄소발자국	242
3.1.1. 목적 및 범위 정의	242
3.1.2. 전과정 목록 분석	247
3.1.3. 탄소배출량 산정	251
3.2. 해외 옥수수의 탄소발자국 사례	258
3.2.1. 온실가스 배출량 산정식	258
3.2.2. 해외 옥수수의 탄소발자국 비교 분석	259
3.3. 국내외 옥수수의 탄소발자국 비교	264
4. 쇠고기의 탄소발자국 산정	268
4.1. 국내 쇠고기의 탄소발자국	268
4.1.1. 목적 및 범위 정의	268
4.1.2. 전과정 목록 분석	274
4.1.3. 탄소배출량 산정	283
4.2. 해외 쇠고기의 탄소발자국	295
4.2.1. 온실가스 배출량 산정식	295
4.2.2. 해외 쇠고기의 탄소발자국 비교 분석	298
4.3. 국내외 쇠고기의 탄소발자국 비교	306
5. 돼지고기의 탄소발자국 산정	315
5.1. 국내 돼지고기의 탄소발자국	315
5.1.1. 목적 및 범위 정의	315
5.1.2. 전과정 목록 분석	321
5.1.3. 탄소배출량 산정	329
5.2. 해외 돼지고기의 탄소발자국	336
5.2.1. 온실가스 배출량 산정식	336
5.2.2. 해외 돼지고기의 탄소발자국 비교 분석	338
5.3. 국내외 돼지고기의 탄소발자국 비교	348
6. 닭고기의 탄소발자국 산정	352
6.1. 국내 닭고기의 탄소발자국	352
6.1.1. 목적 및 범위 정의	352
6.1.2. 전과정 목록 분석	358
6.1.3. 탄소 배출량 산정	364

6.2. 해외 닭고기의 탄소발자국	371
6.2.1. 온실가스 배출량 산정식	371
6.2.2. 해외 닭고기의 탄소발자국 비교분석	373
6.3. 국내외 닭고기의 탄소발자국 비교	380
7. 우유의 탄소발자국 산정	385
7.1. 국내 우유의 탄소발자국	385
7.1.1. 목적 및 범위 정의	385
7.1.2. 전과정 목록 분석	391
7.1.3. 탄소배출량 산정	394
7.2. 해외 우유의 탄소발자국	397
7.2.1. 온실가스 배출량 산정식	397
7.2.2. 해외 우유의 탄소발자국 비교 분석	398
7.3. 국내외 우유의 탄소발자국 비교	403
제4장 농가 대상 온실가스 감축 인센티브 설계 연구	405
1. 해외 주요국 직불제 현황	405
1.1. 일본의 직불제	405
1.1.1. 일본 직불제의 구성	405
1.1.2. 일본 직불제 중점방향의 변화양상	407
1.2. EU의 직불제	410
1.2.1. EU의 직불제 구성(2014-2020)	410
1.2.2. EU의 직불제 중점방향 변화양상	417
1.3. 프랑스의 직불제	423
1.3.1. 프랑스 직불제의 구성	423
1.3.2. 프랑스 직불제의 이행점검체계	425
1.4. 미국	428
1.4.1. 미국의 직불제 구성	428
1.4.2. 미국의 농업 자원 및 환경보전정책의 특징	428
1.4.3. 미국 농가의 보전규정 준수 의무의 주요 내용 및 점검체계	430
2. 해외 주요국 탄소은행 현황	433
2.1. 미국 탄소은행	433

3. 해외 탄소배출권거래제	435
3.1. EU의 ETS	435
3.2. 미국	435
3.3. 중국	436
4. 국내 현황 조사	437
4.1. 농업·농촌 공익기능 증진 직접지불제도	437
4.1.1. 기본형 공익직접지불제도	437
4.2. 농업환경보전프로그램	439
4.3. 농업·농촌 온실가스 자발적 감축사업	441
4.4. 국내 탄소배출권거래제	443
4.4.1 온실가스 목표관리제	443
4.4.2 K-ETS	443
5. 농축산업 종사자 요구 분석	445
5.1. 농업 종사자 요구 분석	445
5.1.1. 응답자 특성	449
5.1.2. 온실가스 배출 감축활동에 따른 농가 대상 적정 인센티브 의견 자료 수집	450
5.2. 축산업 종사자 요구 분석	457
5.2.1. 응답자 특성	460
5.2.2. 온실가스 배출 감축활동에 따른 축산농가 대상 적정 인센티브 의견 자료 수집	461
6. 해외사례 조사 및 종사자 요구 분석의 시사점	466
7. 농·축산물 온실가스 감축 인센티브 설계(안)	467
7.1. 논 물대기 차이에 따른 온실가스 인센티브(안) 설계	472
7.2. 저메탄사료 급여에 따른 온실가스 인센티브(안) 설계	475
7.3. 밀, 옥수수, 돼지고기, 닭고기 생산과정에서의 온실가스 배출량 저감 한계와 인센티브 제도 실효성에 대한 논의	479
< 부 록 >	480

표 목 차

<표 1.1> 2030 국가 온실가스감축목표(NDC) 상향안 부문별 감축목표	4
<표 1.2> 2030년 농업부문 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 논물관리 온실가스 감축기술 가이드라인	5
<표 1.3> USDA의 기후스마트농림업 정책	11
<표 2.1> 전과정평가 관련 국제표준화 동향(ISO)	22
<표 2.2> 제품군별 탄소(환경)발자국 국제표준화 동향(IEC)	25
<표 2.3> 국내 관행농가 및 친환경농가 대상 FGI 개요 예시	33
<표 2.4> 전과정평가 전문가 대상 AHP 실시 개요	34
<표 3.1> 농업 분야 온실가스 배출량	55
<표 3.2> 축종별 장내발효 메탄가스(CH ₄) 배출량	56
<표 3.3> 녹색 식량시스템 전략 2050년까지 달성 모습과 추진 방향	57
<표 3.4> 축산분야 탄소배출 저감 기술개발 내용 및 공헌 분야	58
<표 3.5> 프랑스의 산업별 온실가스 배출 현황(2017년 기준)	68
<표 3.6> 프랑스의 국가 저탄소 전략(SNBC) 주요 내용	69
<표 3.7> 기본보호계획 2050의 행동영역별 배출량 감축 목표	83
<표 3.8> 농업 분야별 온실가스 배출량(2022)	86
<표 3.9> 기후보호 프로그램 2030 대책	88
<표 3.10> 연방 기후 보호법(19년 12월 18일 시행) 목표	89
<표 3.11> 2031년부터 2040년 연간 감소 목표(연방 기후 보호법)	89
<표 3.12> FAKT II 펀딩 분류 및 보조금	92
<표 3.13> 농업전력 2035 내용	93
<표 3.14> 배출원 구분 및 예시	95
<표 3.15> 농촌 지역과 관련된 EU의 기후 및 환경 정책	101

<표 3.16> NVZ의 행동 프로그램 예	102
<표 3.17> CAP 전략 계획에 있는 환경, 기후 및 동물 복지 활동 분야	103
<표 3.18> 2030년까지의 EU 그린딜 목표	104
<표 3.19> 운영 목표 1(토양 관리를 위한 역량 및 지식 기반 구축) 달성을 위해 지정된 강화된 행동 영역별 활동 내용	110
<표 3.20> IPCC 부문별 미국 온실가스 배출 및 흡수원의 최근 동향	117
<표 3.21> 미국의 2020년 기후 행동 주요 내용	117
<표 3.22> 미국 농림업부문의 온실가스 배출량 및 상쇄량(2000-2013)	118
<표 3.23> 2019년 농업 GHG 배출에 기여하는 온실가스(GHG) 배출원 및 배출량	122
<표 3.24> 2050 탄소중립 시나리오 최종(안) 총괄표	125
<표 3.25> 2030 국가 온실가스감축목표(NDC) 상향안 부문별 감축목표	126
<표 3.26> 2030년 농업부문 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한	128
<표 3.27> 19개 저탄소 농업기술	129
<표 3.28> 인증 신청 가능한 농산물 품목	130
<표 3.29> 데이터 수집 항목	137
<표 3.30> 탄소발자국 계산의 다섯 단계	145
<표 3.31> PCR 문서 포함사항	155
<표 3.32> PCR 개발 시작 이후의 절차	157
<표 3.33> 환경발자국과 전과정평가 비교	158
<표 3.34> 환경성적표지제도	160
<표 3.35> 환경 영향범주	160
<표 3.36> 농산물 온실가스 배출량 산정 방법론	164
<표 3.37> 국내 LCI DB 현황	173
<표 3.38> 방법론 비교	176
<표 3.39> 단계별 탄소발자국 산정식	180

<표 3.40> 2021년 곡물·육류·채소·과일의 수출입통계	182
<표 3.41> 2020년 곡물·육류·채소·과일의 수출입통계	183
<표 3.42> 벼의 단계별 적용 방법론 및 산정식	184
<표 3.43> 벼의 공정별 상세 설명	185
<표 3.44> 벼의 생산 및 도정 공정의 데이터 범주	186
<표 3.45> 벼의 데이터 품질요건	186
<표 3.46> 벼의 단계별 적용 방법론 및 산정식	187
<표 3.47> 벼의 생산정보	189
<표 3.48> 벼의 자재 생산단계의 정보	189
<표 3.49> 자재 생산단계의 사용 탄소배출계수	190
<표 3.50> 논벼 물관리 방법별 보정계수 SF _w	190
<표 3.51> 논벼 물관리 방법별 재배면적	191
<표 3.52> 물 대기에 따른 CH ₄ 배출량	191
<표 3.53> 질소 함량을 고려한 비료 사용 정보	192
<표 3.54> 에너지 생산 및 사용 시의 정보	192
<표 3.55> 벼 생산단계의 사용 탄소배출계수	193
<표 3.56> 쌀 도정단계의 정보	193
<표 3.57> 쌀 도정단계의 사용 탄소배출계수	194
<표 3.58> 수송(중국·미국·베트남→부산항) 정보	194
<표 3.59> 수송 시 사용 탄소배출계수	194
<표 3.60> 벼 1 kg 기준 공정별 목록분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보	195
<표 3.61> 비료 생산 시 온실가스 배출량	196
<표 3.62> 농약 생산 시 온실가스 배출량	196
<표 3.63> 물 대기에 따른 온실가스 배출량	197
<표 3.64> 비료 시비에 따른 온실가스 배출량	197

<표 3.65> 에너지 생산 및 사용 시의 온실가스 배출량	198
<표 3.66> 생산단계의 온실가스 배출량	198
<표 3.67> 도정단계의 온실가스 배출량	199
<표 3.68> 수송(미국→부산항)의 온실가스 배출량	199
<표 3.69> 국내산 벼의 전과정 온실가스 배출량	200
<표 3.70> 논벼의 화학비료 사용량 추이	202
<표 3.71> 벼의 온실가스 배출량 계산과정	203
<표 3.72> 벼의 온실가스 배출량 산정식	206
<표 3.73> 온실가스별 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)	207
<표 3.74> 벼의 해외 탄소 발자국 비교 분석	209
<표 3.75> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항	210
<표 3.76> 국내외 벼의 전과정 온실가스 배출량	220
<표 3.77> 국내외 쌀의 전과정 온실가스 배출량	221
<표 3.78> 밀의 단계별 적용 방법론 및 산정식	222
<표 3.79> 밀의 공정별 상세 설명	223
<표 3.80> 밀의 생산 및 제분 공정의 데이터 범주	224
<표 3.81> 밀의 데이터 품질요건	225
<표 3.82> 밀의 단계별 적용 방법론 및 산정식	225
<표 3.83> 밀 자재 생산단계 및 생산단계의 사용 온실가스 배출량	228
<표 3.84> 국내 밀 생산정보	228
<표 3.85> 수송(미국→부산항) 정보	229
<표 3.86> 제분 공정 정보	229
<표 3.87> 밀 1 kg 기준의 공정별 목록분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보 ·	230
<표 3.88> 밀 자재 생산 및 생산 시 온실가스 배출량	231
<표 3.89> 수입산 밀의 수송(미국→부산항) 시 온실가스 배출량	231

<표 3.90> 제분단계의 온실가스 배출량	232
<표 3.91> 국내산 밀의 전과정 온실가스 배출량	232
<표 3.92> 밀의 온실가스 배출량 계산과정	233
<표 3.93> 밀의 온실가스 배출량 산정식	234
<표 3.94> 밀의 해외 탄소 발자국 분석	236
<표 3.95> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항	237
<표 3.96> 국내외 밀의 전과정 온실가스 배출량	240
<표 3.97> 옥수수의 기능, 기능단위 및 기준흐름	242
<표 3.98> 옥수수의 공정별 상세 설명	243
<표 3.99> 옥수수의 생산 공정의 데이터 범주	244
<표 3.100> 옥수수의 데이터 품질요건	244
<표 3.101> 옥수수의 단계별 적용 방법론 및 산정식	245
<표 3.102> 옥수수의 생산정보	247
<표 3.103> 옥수수의 자재 생산단계의 정보	248
<표 3.104> 옥수수 생산 시 질소 함량을 고려한 비료 사용 정보	248
<표 3.105> 옥수수 생산 시 에너지 생산 및 사용 정보	249
<표 3.106> 수송(아르헨티나→부산항) 정보	249
<표 3.107> 옥수수 1 kg 기준 공정별 목록분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보	250
<표 3.108> 옥수수 자재 생산단계에서의 비료 생산의 온실가스 배출량	251
<표 3.109> 옥수수 자재 생산단계에서의 농약 생산 시 온실가스 배출량	251
<표 3.110> 옥수수 생산단계에서의 비료 시비에 따른 온실가스 배출량	252
<표 3.111> 옥수수 생산단계에서의 에너지 생산 및 사용 시의 온실가스 배출량	252
<표 3.112> 옥수수 생산단계의 온실가스 배출량	253
<표 3.113> 국내산 옥수수의 전과정 온실가스 배출량	253

<표 3.114> 옥수수의 온실가스 배출량 계산과정	256
<표 3.115> 옥수수의 온실가스 배출량 산정식	258
<표 3.116> 옥수수의 해외 탄소 발자국 비교 분석	259
<표 3.117> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항	261
<표 3.118> 국내외 옥수수의 전과정 온실가스 배출량	267
<표 3.119> 쇠고기의 단계별 적용 방법론 및 산정식	268
<표 3.120> 쇠고기의 공정별 상세 설명	269
<표 3.121> 쇠고기의 생산 및 도축/가공 공정의 데이터 범주	270
<표 3.122> 쇠고기의 데이터 품질요건	270
<표 3.123> 쇠고기의 단계별 적용 방법론 및 산정식	271
<표 3.124> 소의 사육정보	274
<표 3.125> 쇠고기의 자재 생산단계의 정보	275
<표 3.126> 자재 생산단계의 사용 탄소배출계수	275
<표 3.127> 소 사육 시 장내 발효 및 분뇨처리에 따른 정보	276
<표 3.128> 소 사육 시 에너지 생산 및 사용 정보	276
<표 3.129> 소 사육단계의 사용 탄소배출계수	277
<표 3.130> 소 도축단계의 정보	278
<표 3.131> 소 가공단계의 정보	278
<표 3.132> 소 도축/가공단계의 사용 탄소배출계수	279
<표 3.133> 유통 정보(“H”기업→각 지역)	280
<표 3.134> 수송(미국→부산항) 정보	280
<표 3.135> 수송단계의 사용 탄소배출계수	280
<표 3.136> 쇠고기 1 kg 기준의 공정별 목록분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보	281
<표 3.137> 소 사육 시 자재 생산단계의 온실가스 배출량	283

<표 3.138> 소 사육 시 장내 발효에 따른 온실가스 배출량	284
<표 3.139> 소 사육 시 분뇨 처리에 CH ₄ 에 의한 온실가스 배출량	284
<표 3.140> 분뇨 처리에 따른 온실가스 배출량	285
<표 3.141> 소 사육 시 에너지 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량	285
<표 3.142> 소 사육단계의 온실가스 배출량	285
<표 3.143> 소 도축 단계의 온실가스 배출량	286
<표 3.144> 쇠고기 가공단계의 온실가스 배출량	286
<표 3.145> 국내산 쇠고기의 유통에 의한 온실가스 배출량	287
<표 3.146> 수입산(미국) 쇠고기의 수송(미국→부산항)에 의한 온실가스 배출량	287
<표 3.147> 국내산 쇠고기의 전과정 온실가스 배출량	288
<표 3.148> 쇠고기의 온실가스 배출량 계산과정	291
<표 3.149> 쇠고기의 온실가스 배출량 산정식	295
<표 3.150> 쇠고기의 해외 탄소 발자국 비교 분석	299
<표 3.151> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항	300
<표 3.152> 해외 소 사육 단계 정보	307
<표 3.153> 국내의 쇠고기의 전과정 온실가스 배출량	312
<표 3.154> 국내의 쇠고기의 전과정 온실가스 배출량(생체중)	313
<표 3.155> 돼지고기 단계별 적용 방법론 및 산정식	315
<표 3.156> 돼지고기의 공정별 상세 설명	316
<표 3.157> 돼지고기의 생산 및 도축/가공 공정의 데이터 범주	317
<표 3.158> 돼지고기의 데이터 품질요건	317
<표 3.159> 돼지고기의 단계별 적용 방법론 및 산정식	318
<표 3.160> 돼지의 사육정보	321
<표 3.161> 돼지고기의 자재 생산단계의 정보	322

<표 3.162> 자재 생산단계의 사용 탄소배출계수	322
<표 3.163> 돼지 사육 시 장내 발효 및 분뇨처리에 따른 정보	322
<표 3.164> 돼지 사육 시 에너지 생산 및 사용 정보	323
<표 3.165> 돼지 사육단계의 사용 탄소배출계수	323
<표 3.166> 돼지 도축단계의 정보	324
<표 3.167> 돼지 가공단계의 정보	324
<표 3.168> 돼지 도축단계의 사용 탄소배출계수	325
<표 3.169> 유통 정보("H" 기업→각 지역)	326
<표 3.170> 수송(미국→부산항) 정보	326
<표 3.171> 수송단계의 사용 탄소배출계수	326
<표 3.172> 돼지고기 1 kg 기준의 공정별 목록분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보	327
<표 3.173> 돼지 사육 시 자재 생산단계의 온실가스 배출량	329
<표 3.174> 돼지 사육 시 장내 발효에 따른 온실가스 배출량	329
<표 3.175> 돼지 사육 시 분뇨 처리에 CH ₄ 에 의한 온실가스 배출량	330
<표 3.176> 분뇨 처리에 N ₂ O에 의한 온실가스 배출량	330
<표 3.177> 돼지 사육 시 에너지 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량	331
<표 3.178> 돼지 사육단계의 온실가스 배출량	331
<표 3.179> 돼지 도축/가공단계의 온실가스 배출량	332
<표 3.180> 가공단계 온실가스 배출량	332
<표 3.181> 국내산 돼지고기의 유통에 의한 온실가스 배출량	333
<표 3.182> 수입산(미국) 돼지고기의 수송(미국→부산항)에 의한 온실가스 배출량	333
<표 3.183> 국내산 돼지고기의 전과정 온실가스 배출량	334
<표 3.184> 돼지고기의 온실가스 배출량 계산과정	335
<표 3.185> 돼지고기의 온실가스 배출량 산정식	336

<표 3.186> 돼지고기의 해외 탄소 발자국 비교 분석	339
<표 3.187> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항	340
<표 3.188> 국내외 돼지고기의 전과정 온실가스 배출량	350
<표 3.189> 국내외 돼지고기의 전과정 온실가스 배출량(생체중)	351
<표 3.190> 닭고기 단계별 적용 방법론 및 산정식	352
<표 3.191> 닭고기의 공정별 상세 설명	353
<표 3.192> 닭고기의 생산 및 도계/가공 공정의 데이터 범주	354
<표 3.193> 닭고기의 데이터 품질 요건	354
<표 3.194> 닭고기의 단계별 적용 방법론 및 산정식	355
<표 3.195> 닭의 사육정보	358
<표 3.196> 닭고기의 자재 생산단계의 정보	359
<표 3.197> 자재 생산단계의 사용 탄소배출계수	359
<표 3.198> 닭 사육 시 장내 발효 및 분뇨처리에 따른 정보	360
<표 3.199> 닭 사육 시 에너지 생산 및 사용 정보	360
<표 3.200> 닭 사육단계의 사용 탄소배출계수	360
<표 3.201> 닭 도계단계의 정보	361
<표 3.202> 닭 가공단계의 정보	361
<표 3.203> 닭 도계/가공단계의 사용 탄소배출계수	361
<표 3.204> 유통 정보("H"기업→각 지역)	362
<표 3.205> 수송(브라질→부산항) 정보	362
<표 3.206> 수송단계의 사용 탄소배출계수	363
<표 3.207> 닭고기 1 kg 기준의 공정별 목록 분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보	363
<표 3.208> 닭 사육 시 자재 생산단계의 온실가스 배출량	365
<표 3.209> 닭 사육 시 분뇨 처리에 CH ₄ 에 의한 온실가스 배출량	365

<표 3.210> 분뇨처리에 따른 온실가스 배출량	366
<표 3.211> 닭 사육 시 에너지 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량	366
<표 3.212> 닭 사육단계의 온실가스 배출량	366
<표 3.213> 닭 도계단계의 온실가스 배출량	367
<표 3.214> 닭고기 가공단계의 온실가스 배출량	367
<표 3.215> 국내산 닭고기의 유통에 의한 온실가스 배출량	368
<표 3.216> 수입산(브라질) 닭고기의 수송(브라질→부산항)에 의한 온실가스 배출량	368
<표 3.217> 국내산 닭고기의 전과정 온실가스 배출량	369
<표 3.218> 닭고기의 온실가스 배출량 계산과정	370
<표 3.219> 닭고기의 온실가스 배출량 산정식	371
<표 3.220> 닭고기의 해외 탄소 발자국 비교 분석	374
<표 3.221> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항	375
<표 3.222> 해외 닭고기 사육단계 정보	382
<표 3.223> 국내외 닭고기의 전과정 온실가스 배출량	383
<표 3.224> 국내외 닭고기의 전과정 온실가스 배출량(생체중)	384
<표 3.225> 우유 단계별 적용 방법론 및 산정식	385
<표 3.226> 우유의 공정별 상세 설명	386
<표 3.227> 젖소의 사육 공정 데이터 범주	387
<표 3.228> 우유 생산 공정의 데이터 범주	387
<표 3.229> 우유의 데이터 품질요건	388
<표 3.230> 우유의 단계별 적용 방법론 및 산정식	388
<표 3.231> 젖소의 자재 생산단계 및 사육단계의 사용 온실가스 배출량	391
<표 3.232> 우유 생산 공정 정보	392
<표 3.233> 수송(이탈리아→부산항) 정보	392

<표 3.234> 수송단계의 사용 탄소배출계수	392
<표 3.235> 우유 1 kg 기준의 공정별 목록분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보	393
<표 3.236> 생산단계의 온실가스 배출량	394
<표 3.237> 수입산(이탈리아) 우유의 수송(이탈리아→부산항)에 의한 온실가스 배출량	394
<표 3.238> 국내산 우유의 전과정 온실가스 배출량	395
<표 3.239> 우유의 온실가스 배출량 계산과정	396
<표 3.240> 우유의 온실가스 배출량 산정식	397
<표 3.241> 우유의 해외 탄소 발자국 비교 분석	399
<표 3.242> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항	400
<표 3.243> 국내의 우유의 전과정 온실가스 배출량	404
<표 3.244> 일본형 직불제 개요	406
<표 3.245> 일본형 직불제의 지급단가	407
<표 3.246> 2003년 개혁의 직불제 주요 내용	419
<표 3.247> 2013년 개혁의 직불제 내용	421
<표 3.248> 프랑스의 농업경영체에 대한 직접 지원 시책	424
<표 3.249> 기본직접지불금	438
<표 3.250> 선택직접지불금	438
<표 3.251> 농업환경보전프로그램의 활동	440
<표 3.252> 농업·농촌 온실가스 자발적 감축사업 방법론	442
<표 3.253> PART A. 농산물 생산 관련 조사	446
<표 3.254> PART B Q11. 적정 수준의 농업 인센티브 규모(적정 직불금 단가)	447
<표 3.255> PART B Q12. 적정 수준의 농업 인센티브 규모(농업환경보전프로그램)	448

<표 3.256> PART B. 적정 수준의 농업 인센티브 규모(농업환경보전프로그램) 설문 결과	452
<표 3.257> PART B. 적정 수준의 농업 인센티브 규모(농업·농촌 온실가스 자발적 감축산업 방법론) 설문 결과	453
<표 3.258> PART B Q14. 적정 수준의 농업 인센티브 규모(농업 활동 인센티브 제도에서의 개선점) 설문 결과	454
<표 3.259> PART A. 축산물 생산 관련 조사	458
<표 3.260> PART B Q12. 축산에서의 저탄소 농업기술	459
<표 3.261> PART B Q13. 적정 수준의 축산 활동 인센티브 규모(축업 활동 인센티브 제도에서의 개선점)	460
<표 3.262> PART B. 축산에서의 저탄소 농업기술 설문 결과	461
<표 3.263> PART B Q14. 적정 수준의 축산 활동 인센티브 규모(축업 활동 인센티브 제도에서의 개선점) 설문 결과	463
<표 3.264> 국내산 7개 농·축산물의 전과정 온실가스 배출량	468
<표 3.265> 국내외 3개 축산물의 전과정 온실가스 배출량	470
<표 3.266> 논 물대기 방법별 보정계수 비교표	472
<표 3.267> 논 물대기 방법별 인센티브 지급액 산정 과정	473
<표 3.268> 논 물대기 방법별 인센티브 지급액	474
<표 3.269> 비육우·젖소 저메탄사료 급여에 따른 인센티브 지급액	477
<표 3.270> 비육우·젖소 저메탄사료 제공 가격 할인 인센티브 안	478

그림 목 차

[그림 1.1] 파리협정(COP21 본회의) 채택	1
[그림 1.2] 국가 탄소중립 녹색성장 전략 도식	3
[그림 1.3] 유기농업 토양개량제 바이오차 및 메탄 저감 효능 사료	5
[그림 1.4] 2050 농식품 탄소중립 추진전략	6
[그림 1.5] 식품과 농업의 현상	7
[그림 1.6] 식량 안보와 기후를 위한 4%의 토양	13
[그림 1.7] 일본의 농축산분야 온실가스 배출량	14
[그림 2.1] 연구목적 및 절차 요약 도식	19
[그림 2.2] LCA 국제표준(ISO 14040)에 의거한 농축산물 전과정평가연구 수행 요약 도식	20
[그림 2.3] 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)의 개념	21
[그림 2.4] 스마트폰 등에 대한 전과정평가 결과 공개 규정(예고) 인용 조문	21
[그림 2.5] 해외 환경발자국 및 탄소발자국 인증 프로그램 예	22
[그림 2.6] 농·축산물 전과정평가를 위한 시스템 경계	26
[그림 2.7] 전과정평가 목록분석 절차	27
[그림 2.8] 올리브오일 재배에 필요한 LCI DB 카테고리	28
[그림 2.9] 푸드 마일리지 선행 연구 예시	29
[그림 2.10] 농산물별 푸드마일리지 및 탄소발자국	30
[그림 2.11] 단백질원의 공개 LCI DB 메타분석 수행을 위한 시스템 경계 도식	31
[그림 2.12] 저탄소 농축산물 생산현황보고서 양식 문항 예시	35
[그림 2.13] 저탄소 농축산물 온실가스 배출량 산정보고서 절차 예시	35
[그림 2.14] 농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 공통지침의 원칙 및 온실가스 배출원 정의	35

[그림 2.15] 농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 개별지침 예시(벼)	36
[그림 3.1] 영국의 ETI 2021 결과	38
[그림 3.2] 영국 연도별 온실가스 배출 비율	39
[그림 3.3] 유럽 주요 국가별 온실가스 배출 현황(2020년 기준)	39
[그림 3.4] 2020년 부문별 영국 온실 가스 배출량(%)	40
[그림 3.5] 1990-2020년 부문별 영국 온실가스 배출량	40
[그림 3.6] 농업의 온실가스 배출량	41
[그림 3.7] 부문별 2037년까지 온실가스 감축 목표 경로	44
[그림 3.8] 경작지 및 원예용 토양 표준 개요	48
[그림 3.9] 개선된 초원 토양 표준 개요	48
[그림 3.10] 지속 가능한 농업 인센티브의 돌아옴	49
[그림 3.11] 일본 2050년 탄소중립 목표	51
[그림 3.12] 일본의 연도별 온실가스 배출량 비율	52
[그림 3.13] 일본 J-credit(Japancredit) 제도	53
[그림 3.14] 일본의 영역별 온실가스 배출 비율(2020년 기준)	54
[그림 3.15] 왕겨, 볏짚, 우드칩으로 만든 바이오차	61
[그림 3.16] 바이오차의 탄소배출 저감 원리	62
[그림 3.17] 바이오차의 자발적 순환 프로세스	63
[그림 3.18] ETI 2021 결과	65
[그림 3.19] 프랑스 연도별 온실가스 배출 비율 (1990년도 기준)	65
[그림 3.20] 유럽 주요 국가별 온실가스 배출 현황 (2020년 기준)	66
[그림 3.21] 프랑스의 영역별 온실가스 배출 비율(2020년 기준)	67
[그림 3.22] 1990년 이후 프랑스 농업 부문의 온실가스 배출량 추이	70
[그림 3.23] IDELE, “Carbon Agri” 방법론 도식	72

[그림 3.24] Carbon Agri 방법론의 두 번째 단계, 『가축 사육 환경 분석』 도식	73
[그림 3.25] 생물타리 유지: 생명을 부여하는 방법 주요 내용 도식	76
[그림 3.26] Haute-Garonne의 경작지 작업에 대한 기준선 및 프로젝트 시나리오의 배출량 예시	78
[그림 3.27] Fermentation entérique des bovins lait 방법론의 직접배출량 산정 도식	79
[그림 3.28] 독일의 분류별 온실가스 배출량 (1990~2020)	84
[그림 3.29] 1990년도 대비 산업 분야별 상대 온실가스 배출 감소량	84
[그림 3.30] 농업 분야별 온실가스 배출량(1990~2020)	85
[그림 3.31] 독일 농지 규모별(ha) 1인당 연간 소득 및 직불금(2015-2016 평균)	90
[그림 3.32] BEK에 따른 탄소 중립 체계	94
[그림 3.33] LULUCF를 제외한 EU-KP의 영역별 온실가스 배출 비율(2020년 기준)	98
[그림 3.34] EU-KP의 배출원별 발생된 N ₂ O 비율(2020년기준)	99
[그림 3.35] 1990-2020년 농업에서의 EU-28 GHG 배출량	100
[그림 3.36] 농업 배출원 범주별 GHG 배출량 분포(2020년 기준)	100
[그림 3.37] 2021/2022 EU 단백질 및 공급원 사용량	106
[그림 3.38] INTERREG 탄소 농업 프로젝트 7개 파트너	108
[그림 3.39] A Soil Deal for Europe Implementation Plan Mission 도식	109
[그림 3.40] EU의 soil health living labs 형성 단계	111
[그림 3.41] ETI 2021 결과	113
[그림 3.42] 미국 연도별 온실가스 배출량	114
[그림 3.43] 국가별 온실가스 배출 현황(2020년 기준)	114
[그림 3.44] 미국의 영역별 온실가스 배출 비율(2020년 기준)	115

[그림 3.45] 전과정평가(LCA) 관점에서 본 농업의 온실가스(GHGs) 완화 전략	121
[그림 3.46] 탄소중립 기본법 주요 내용 그래픽	126
[그림 3.47] 대한민국의 ETI 2021 결과	127
[그림 3.48] 유기농업 토양개량제 바이오차 및 메탄 저감 효능 사료	128
[그림 3.49] 2050 농식품 탄소중립 추진전략	129
[그림 3.50] 목록 분석의 단순화된 절차	137
[그림 3.51] 목록 분석의 단순화된 절차	139
[그림 3.52] Scope 1 온실가스 배출량 산정식	142
[그림 3.53] 카본 트러스트 인증 마크	144
[그림 3.54] 환경발자국 산정 방법론	159
[그림 3.55] 환경성적표지 인증절차	162
[그림 3.56] Schematic illustration of Agri-footprint (sources, outlets and applications)	166
[그림 3.57] System boundary for crop cultivation	168
[그림 3.58] Phases of an LCA (International Organization for Standardization (ISO) 2006a)	170
[그림 3.59] LCI DB와 환경영향	172
[그림 3.60] LCI DB 개발 절차	174
[그림 3.61] 벼의 시스템 경계 설정 및 목록분석 과정	178
[그림 3.62] 벼의 시스템 경계	185
[그림 3.63] 밀의 시스템 경계	223
[그림 3.64] 미국 각 주별 겨울 밀 생산량	227
[그림 3.65] 옥수수의 시스템 경계	243
[그림 3.66] 쇠고기의 시스템 경계	269
[그림 3.67] 돼지고기의 시스템 경계	316
[그림 3.68] 닭고기의 시스템 경계	353

[그림 3.69] 우유의 시스템 경계	386
[그림 3.70] EU 공동농업정책의 직불제 구조(2014-2020)	415
[그림 3.71] EU ETS 거래량	435
[그림 3.72] EUA futures 가격	435
[그림 3.73] 일평균 거래량과 거래대금	444
[그림 3.74] KAU 가격	444
[그림 3.75] 농업 분야 자발적 감축사업 연계 시 인센티브 적정 금액(원)	454
[그림 3.76] 축산 분야 자발적 감축사업 연계 시 인센티브 적정 금액(원)	463

I 서론

제1장 연구 배경 및 목적

1. 전세계적 아젠다 「탄소중립」

탄소중립은 화석연료 사용과 토지 이용 등 인간의 활동에 의해 직간접적으로 배출되는 온실가스를 줄이고, 더 나아가서 배출량만큼을 흡수하여 순배출량이 '0'이 되는 상태를 의미한다. 지난 2015년 12월 12일 파리에서 열린 '제21차 유엔 기후변화협약 당사국총회(Conference of the Parties 21, COP21)' 본회의에서는 195개 당사국들(Annex I)이 파리기후변화협약을 채택했다.



[그림 1.1] 파리협정(COP21 본회의) 채택

* 출처: 제주환경일보

미국의 버락 오바마(Barack Hussein Obama II) 대통령의 주도로 체결된 파리 기후변화협약에서 당사국들은 산업화 이전 수준 대비 지구 평균 온도가 2°C 이상 상승하지 않도록 온실가스 배출량의 단계적 감축 목표 설정했다. 이후 121개 국가가 참여한 '2050 탄소중립 목표 기후동맹'이 출범하였으며, 2019년 12월 유럽연합(이하 EU)을 시작으로 2020년 9월 22일 중국, 2020년 10월 26일 일본 등 선진국들의 연쇄적인 탄소중립 선언이 이어졌다. 특히, 미국의 조 바이든 대통령은 2050년 탄소 배출량 제로(Net Zero) 실현을 공언하면서 탄소중립은 현재 전 세계적 아젠다로 부각되고 있는 실정이다.

2021년 있었던 COP21에서 우리나라는 2050 탄소중립 시나리오 및 2030 NDC 상향안을 발표하였다. 또한, COP26에서는 국제메탄서약(Global Methane Pledge)이 미국·EU 주도로 발족되었다. 국제메탄서약은 2030년까지 메탄가스 배출량을 30% 감축하는 내용을 골자로 하고 있으며 103개 당사국이 서명하였다.

탄소중립은 온실가스 배출 저감 및 흡수가 병행되어야 달성이 가능하다. 이에 따라 세계 각국은 기후변화정부간협의체(IPCC)의 지침에 의거, 온실가스 배출량을 부지런히 산정하고 더 나아가 감축 방안을 수립하기 위해 노력하고 있다.

최근 기후변화 대응에서 세계적 흐름을 주도해 오고 있는 곳은 유럽연합(EU, European Union)이다. EU는 2050년 탄소중립을 목표로 설정하고 유로피안 그린딜(European Green Deal)을 통해 비전을 제시한 바 있다. 유로피안 그린딜은 탄소중립 달성을 위한 방안과 이 과정에서 발생하는 취약부문을 지원하기 위한 공정한 전환 등 탄소중립 이행의 전반적 방향을 포함하고 있다.

유럽그린딜(European Green Deal) 분야별 정책내용 및 추진동향

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1) 기후변화 대응목표 상향조정: 탄소배출 감축목표 재설정과 법제화, 탄소배출 감축목표 달성을 위한 제도도입(탄소국경세), 탄소배출감축목표 달성을 위한 제도도입(탄소배출권거래제) 2) 깨끗하고 저렴하고 안전한 에너지의 공급: 에너지 산업에서의 탈탄소화, 재생 에너지 활성화, 가스에너지 탈탄소화 3) 청정·순환경제를 위한 산업재편: 기후중립 달성을 위한 산업지원, 순환경제 실행계획(A new Circular Economy Action Plan)수립, 기후 중립화와 디지털화를 위한 투자와 자금 조달, EU 산업의 전략적 자주성 강화 4) 지속가능한 운송: 스마트 운송전략, 운송수단의 탈탄소·저탄소화 5) 건축의 에너지 및 자원 효율성 강화: 리모델링사업(Renovation wave)추진, 탄소배출권거래제(ETS)에 건설부문 적용 추진 및 관련규정 검토 6) 식품안전 및 생태계보전: EU식품안전전략(Farm to Fork Strategy, F2F) 발표, EU생물다양성전략(Biodiversity Strategy) 발표 7) 그린딜 이행 기금조성 및 R&D 지원: 그린딜 투자계획(European Green Deal Investment Plan), 공정전환체계(JTM; Just Transition Mechanism) 마련 |
|---|

현재 EU는 순차적으로 부문별 또는 핵심 수단별 탄소중립 전략을 발표하며 단계적으로 계획을 추진 중이다.

2. 대한민국의 탄소중립 정책

2021년 10월 18일, 우리나라는 2030년까지 온실가스 배출량을 2018년 대비 40% 감축하고 2050년에는 ‘순배출량 0’을 달성하겠다는 목표를 담은 ‘2050 탄소중립시나리오’와 ‘2030 국가 온실가스감축목표(NDC) 상향안’ 등 2개 안건을 확정하였다. 또한, 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)을 제정하고, 2022년 예산안에 탄소중립 주요 예산 확보 등 탄소중립을 위한 기본 발판을 마련하였다. 또한, 우리나라는 2023년 4월 10일 ‘탄소중립·녹색성장 국가전략 및 제1차 국가 기본계획’을 발표하였다.

<p>1. 부문별 중장기 감축 대책</p> <p>1-1. 전환 부문</p> <p>◇ (필요성) 국내 온실가스 배출량 대부분(87%)이 에너지 소비과정에서 발생하므로 청정에너지로의 전환 필요</p> <p>◇ (감축목표) (‘18) 269.6 → (‘30) 145.9백만톤(△45.9%)</p> <p>◇ (핵심과제) 온실가스 감축을 위한 ①청정에너지 전환(석탄→재생에너지), ②재생에너지 기반 확충 ③수요 효율화 ④전력수급체계 혁신 추진</p> <p>□ 정책추진 경과</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 석탄발전 감축, 재생에너지 확대 등 에너지 전환 정책 추진 결과, 대기질 개선 및 에너지 자립 기틀 마련” 등 가시적 성과 창출 <ul style="list-style-type: none"> * ‘17년 대비 ‘21년 석탄발전의 온실가스는 21%, 미세먼지는 60% 배출 감소 ** 재생에너지는 3년 연속 보급 목표 초과(누적 29GW) 달성, 에너지 수입 의존도 하락 추세 ○ 신재생에너지 확산을 위한 각종 제도 개선 완료 <ul style="list-style-type: none"> * 신재생에너지공급의무(RPS) 비율 상향(10→25%), 제3차 PPA(Power Purchase Agreement) 도입 등 <p>□ 추진 방향 및 과제</p> <p>◇ 그간의 에너지전환 성과에 더해 원전·재생에너지 보급을 가속화하고 수요관리를 강화하여 국가 온실가스 감축의 선도적 역할 수행</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 석탄발전 감축, 원전·재생에너지 확충 등 청정에너지로의 전환 가속화 ● 전력계통망 확충 및 주민수용성 제고 등 재생에너지 보급을 위한 기반 마련 ● ICT 등 기술을 활용한 건물·가정·수송의 전력수요 효율화 혁신 ● 탄소중립 친화적 전력시장 개편 및 에너지 가격 합리화 	<p>1-1-1 청정에너지 시스템으로의 전환 가속화</p> <p>① 탈탄소 에너지 공급믹스 달성을 위한 석탄발전 감축 (산업부)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 가동연수 설계수명 30년 이상 석탄발전기는 원칙적으로 폐지 <ul style="list-style-type: none"> * ‘36년까지 석탄발전 28기 폐지 및 LNG발전으로 전환 추진 <p>② 무탄소 전원으로서 원전 활용 확대 (산업부)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 신한울 3·4호기는 환경영향평가, 전원개발실시계획 승인 등 인허가 절차를 효율적으로 진행하여 조속 건설 추진 <ul style="list-style-type: none"> * (‘23) 전원개발실시계획 승인 및 부지정지 공사 → (‘24) 건설허가 및 본관 기초굴착 ○ 건설 중인 원전 3기는 적기에 준공될 수 있도록 관리 <ul style="list-style-type: none"> * 신한울 2호기 및 새울 3·4호기 ‘25년까지 준공 추진 ○ 원전 안전성 확보를 전제로 경제성, 에너지 안보, 전력수급 등을 종합적으로 감안하여 계속 운전 추진 ○ 고준위 방폐물 특별법 제정 협력 및 전담조직 설치 추진을 통해 법적 기반 및 추진체계 마련 후, 영구저분시설 부지 확보를 위한 구체적 절차 착수 <p>③ 합리적이고 실현가능한 재생에너지 확대 (산업부)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ ‘30년 재생에너지 비중을 실현가능한 수준으로 조정(신재생에너지 기준 점정 21.6%) 하고, ‘36년 30% 초반대까지 확대 <ul style="list-style-type: none"> * 신재생에너지 발전 비중 (‘22) 9.2% → (‘30) 21.6%+α ○ 해상풍력 확대를 통한 재생에너지 원별 균형 보급* <ul style="list-style-type: none"> * 태양광풍력 비율 : (‘21) 87:13 → (‘30) 60:40 <p>④ 청정에너지 추가 확대 (산업부)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 태양광, 수소 등 청정에너지를 확대하여 제10차 전력수급기본계획 대비 온실가스의 추가 감축을 추진하고, <ul style="list-style-type: none"> - 차기 전력수급기본계획 수립 시 국내 여건을 감안하여 세부 내용 조정 반영
--	---

[그림 1.2] 국가 탄소중립 녹색성장 전략 중 부문별 중장기 감축 대책

*출처: 대통령소속 2050 탄소중립 녹색성장 위원회

<표 1.1> 2030 국가 온실가스감축목표(NDC) 상향안 부문별 감축목표

(단위 : Mt CO₂-eq.)

구분	부문	기준연도('18)	現 NDC ('18년 比 감축률)	기존 NDC 상향안 ('18년 比 감축률)	수정 NDC 상향안 ('18년 比 감축률)
	배출량*	727.6	536.1 (△191.5, △26.3%)	436.6 (△291.0, △40.0%)	436.6 (△291.0, △40.0%)
배출	전환	269.6	192.7 (△28.5%)	149.9 (△44.4%)	145.9 (△45.9%)
	산업	260.5	243.8 (△6.4%)	222.6 (△14.5%)	230.7 (△11.4%)
	건물	52.1	41.9 (△19.5%)	35.0 (△32.8%)	35.0 (△32.8%)
	수송	98.1	70.6 (△28.1%)	61.0 (△37.8%)	61.0 (△37.8%)
	농축수산	24.7	19.4 (△21.6%)	18.0 (△27.1%)	18.0 (△27.1%)
			농축 22.2 수산 2.5		
	폐기물	17.1	11.0 (△35.6%)	9.1 (△46.8%)	9.1 (△46.8%)
	수소	-	-	7.6	8.4
	기타(탈루 등)	5.6	5.2	3.9	3.9
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-22.1	-26.7	-26.7
	CCUS	-	-10.3	-10.3	-11.2
	국외 감축	-	-16.2	-33.5	-37.5

* 출처: 2030 국가 온실가스감축목표(NDC) 상향안

2018년 기준으로 농축수산 부문 온실가스 총배출량은 24.7백만 ton CO₂-eq.로 국가 총배출량의 3.4%를 차지하는 것으로 나타났다. 이러한 상황에서 농축산 분야의 온실가스 배출량 감축목표를 달성하기 위해서는 저탄소 농업기술 개발 및 현장에 조속히 확산시키는 등 적극적 정책 추진 필요할 것으로 판단된다.

농업 분야는 전 세계적으로 온실가스 배출원으로 취급되고 있지만 인위적인 노력과 관리를 통해 온실가스 배출을 줄이고 더 나아가 흡수량까지도 향상이 가능한 분야이다. 이에, 농촌진흥청은 2022년 1월 13일, 농림축산식품부가 수립한 '2050 농식품 탄소중립 추진전략'을 적극 뒷받침하기 위해 '2050 탄소중립 실현 농업기술 개발과 현장보급 추진전략'을 마련하였다. 추진전략의 4대 중점 분야는 ①온실가스 정보에 대한 객관적이고 신뢰성 있는 통계자료 구축 ②온실가스 감축을 위한 저탄소 농업기술 개발 확대 ③농경지를 이용한 온실가스 흡수 기능 강화 ④개발된 기술의 현장 확산이다.

농촌진흥청은 '2050 탄소중립 실현 기술개발과 현장보급 추진전략'을 통해 기술을 보완·향상하여 농업현장에 효과적으로 확산될 수 있도록 효과적인 지원 방

안을 계획·구축해 나가고 있다. 대표적으로, 논물 관리기술, 토양개량제인 바이오차 등 저탄소농업 기술을 개발하여 현장에 보급 중이며, 메탄 저감 효능 사료 (2025년 개발 완료 예정) 등 꾸준히 저탄소농업 기술을 적용한 농자재를 개발 중이다.

<표 1.2> 2030년 농업부문 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한
논 물관리 온실가스 감축기술 가이드라인

논 물관리 방법	<ol style="list-style-type: none"> 1) 상시담수: 이앙 후 벼 재배기간 동안 논물을 깊게 유지 2) 중간 물 떼기(간단관개): 이앙 후 약 한달 간 논물을 깊이 대고 이후에는 물을 떼서 2~3주 바닥에 실금이 보일 때까지 말린 후 다시 관개 3) 논물 걸러대기: 벼 이앙 후 한달간 논물을 깊이 댄 후 논물을 얇게(3~5cm)대고 자연적으로 말리며 다시 얇게 대어줌. 벼 이삭이 익을 때까지 반복
효과	<ol style="list-style-type: none"> 1) 온실가스 감축: 논물 걸러대기를 할 경우 상시담수에 비해 63.0%, 중간 물 떼기를 할 경우 25.2%의 온실가스 감축 2) 농업용수 절약: 농업용수는 논물 걸러대기를 할 경우 상시담수에 비해 28.8%, 중간 물 떼기를 할 경우 16.8% 절약 3) 수확량 증가: 벼 수량은 논물 걸러대기를 할 경우 상시담수에 비해 10.4% 증가 4) 쌀 품질 향상 : 쌀의 품질을 결정하는 단백질 함량은 논물 걸러대기를 할 경우 6.1%, 중간 물떼기 6.0%로 탐라이스 조건(6.5% 이내)에 충족

*출처: 농촌진흥청 <농사로>

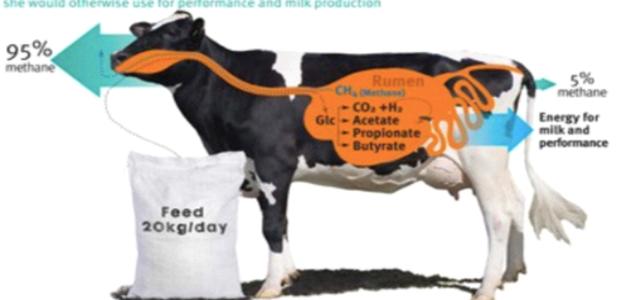


100% 국내산 참나무와 친환경자재로 만든
유기농업 토양개량제

Methane Reduction Project

- how to reduce methane emission by a minimum of 25%

A cow emits 500l of methane per day, which is equivalent to 10% of the energy she would otherwise use for performance and milk production



[그림 1.3] 유기농업 토양개량제 바이오차 및 메탄 저감 효능 사료



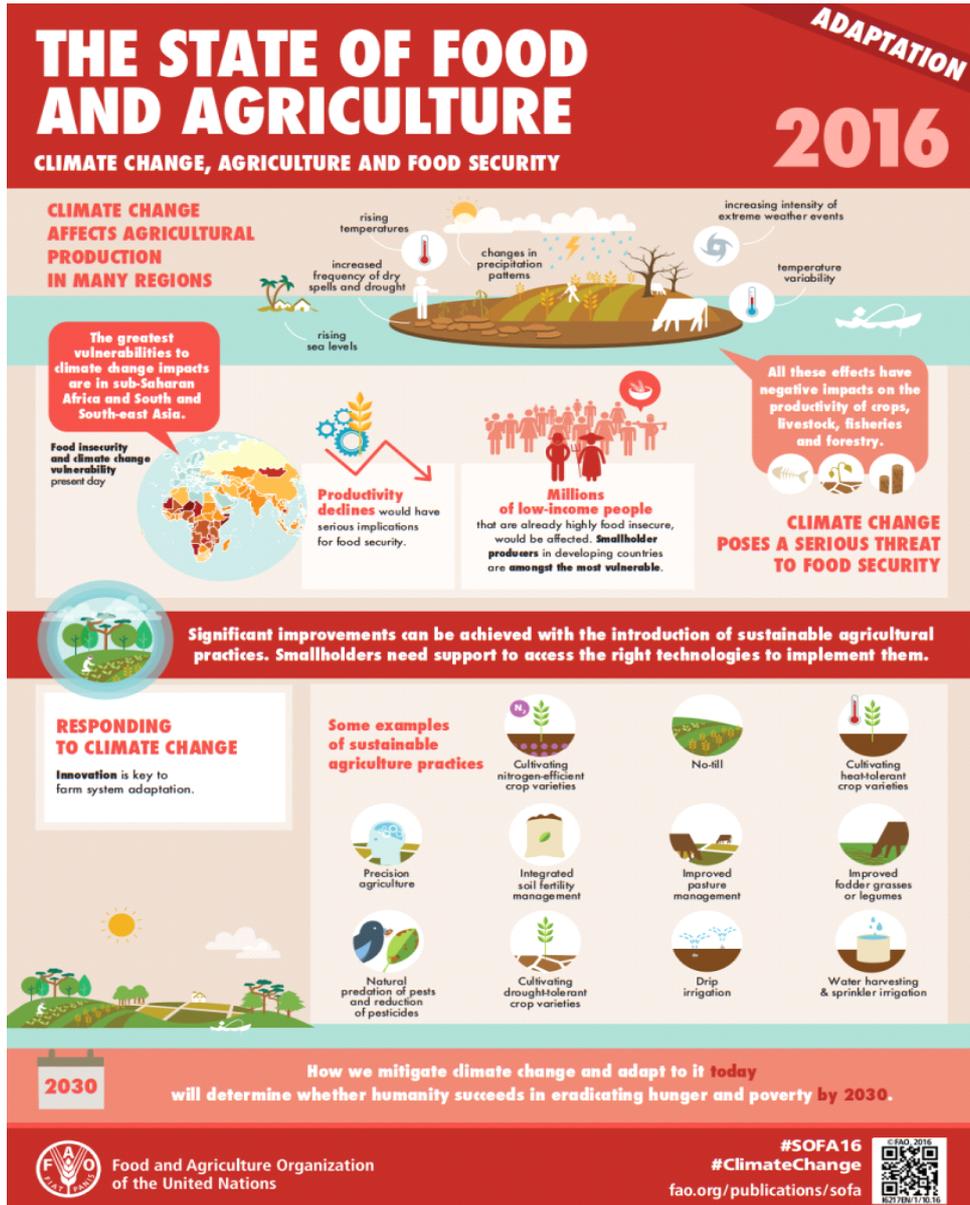
[그림 1.4] 2050 농식품 탄소중립 추진전략

*출처: 농림축산식품부 자료 재구성

또한, 농촌진흥청은 2022년 1월 농림축산식품부가 수립한 '2050 농식품 탄소중립 추진전략'을 적극 뒷받침하기 위해 '2050 탄소중립 실현 농업기술 개발과 현장보급 추진전략'을 마련했다. 농축산 분야의 온실가스 배출량 감축목표를 달성하기 위해 적극적인 정책 추진과 이를 뒷받침하는 저탄소 농업기술을 개발하고, 현장에 조속히 확산시키는 것이 해당 전략의 목적이다. 농촌진흥청은 ① 온실가스 정보에 대한 객관적이고 신뢰성 있는 통계자료 구축, ② 온실가스 감축을 위한 저탄소 농업기술 개발 확대, ③ 농경지를 이용한 온실가스 흡수 기능 강화, ④ 개발된 기술의 현장 확산을 2050 탄소중립 실현 기술개발과 현장보급 추진전략 4대 중점 분야로 설정하였다.

3. 탄소중립 관련 해외 정책 동향

국제연합식량농업기구(FAO)와 같은 국제기구를 비롯한 농업선진국에서는 온실가스 감축과 토양탄소 저장을 안정적 식량 생산, 토양 건강 회복, 수질오염 등 환경오염 최소화, 농업 경영 개선 등을 농업의 지속성을 위해 요구되는 필요조건 이행 과정의 부가적인 혜택으로 제시하고 있다.



[그림 1.5] 식품과 농업의 현상

* 출처: 국제연합식량농업기구(FAO)

EU에 따르면 EU 가입국 전체 온실가스 배출량 중 10%가 농업 생산에서 발생하며 이 중 반추동물의 장내발효(45%), 분뇨처리(15%)의 비중이 농업 생산에서 배출되는 온실가스 비중의 60%를 차지하는 것으로 나타났다.

이와 같은 통계를 바탕으로 EU는 농·축산 분야에서의 온실가스 감축 수단 발굴을 위해 반추동물의 메탄 배출감소, 반추동물용 사료 첨가제, 최적화된 가축 사료 공급 전략, 저 질소 사료, 반추위의 메탄 생성 박테리아 예방접종, 혐기성 소화 등을 제시하고 있다. 그리고 이러한 정책 제시의 결과로 육류 생산 및 소비 변화와 관련하여 최근 나타나고 있는 1인당 육류 소비량 감소, 환경친화적 시스템을 기반으로 한 축산 시스템 확대 등은 EU의 대표적인 성과라고 할 수 있다.

또한 유럽은 농업분야에서의 직불제도가 선진화되어 있는 것으로 유명하다.

유럽연합(이하 EU) 농업·농촌 정책의 핵심은 1962년 도입한 공동농업정책(Common Agriculture Policy, 이하 CAP)이다. EU는 CAP를 5 ~ 7년 주기로 개편하며 글로벌 정세 변화에 대응해왔다. CAP는 제2차 세계대전 여파로 식량 부족 문제가 심각했던 당시 시민들에게 먹거리를 적정 가격으로 안정성 있게 공급하는 것을 취지로 등장하였다. 이후, 환경 등 지속가능성 아젠다와 더불어 현재는 기후변화 대응 영역까지 폭넓은 분야를 다루고 있다.

직불제는 1992년, 가격보조를 줄이는 대신 직불금을 지급해 농가소득을 안정시키고 환경친화적인 방식으로 전환하였다. 이른바, 시장가격 지지에서 소득 지지 방식으로의 전환이다. 또한, 2003년엔 당해 연도 생산량과 무관하게 직불금을 책정하는 이른바 ‘생산비연계(Decoupled)’ 방식을 도입하고 ‘준수사항(Cross Compliance)’을 의무화했다.

2018년 CAP 개편은 "기후환경성 강화", "공정·형평성 강화", "성과 중심 체계로의 전환"의 세 가지 아젠다를 골자로 한다.

첫 번째로, ‘생태제도(Eco Scheme)’라 불리는 제도는 ‘녹색화 직불금’의 환경보전활동을 기본 준수사항에 추가하고, 의무 준수사항 이상으로 활동을 실천할 때만 인센티브를 지급하도록 하는 것이다. 이에 따라 EU 각 회원국은 직불금 예산 가운데 최소 25%를 생태제도에 할애해야 한다. 생태제도를 적용하는 영역은

유기농업·혼림농업·탄수흡수농법 같은 환경·기후 친화적 농법을 사용하고, 동물 복지를 향상하는 것이다.

두 번째로, "개별 국가 주도 직불제 설계"는 기존 EU가 제시한 목록에 따라 회원국이 정책적 수단을 선택하게 했던 기존의 방식에서 회원국이 먼저 정책 목표를 설정한 뒤 EU 승인을 받는 형태로 변경되었다. 이행 점검 또한 회원국과 EU가 함께 수행한다. 즉, 개별 회원국 여건을 고려하고 해당 국가의 책임성을 강조하는 방향으로 바뀐 것이다.

세 번째로, "재분배 직불"과 "청년농 직불"의 강화이다. 재분배 직불은 2013년 CAP 개편 때 도입한 것으로, 소농을 우대하는 직불금이다. 재분배 직불의 도입은 회원국 선택사항이었다. 하지만 새 CAP에선 이를 의무화했고, 재분배 직불제 예산을 전체 직불제 예산의 10% 이상이 되도록 했다. 또한 EU 농업인구 가운데 40세 미만 비중이 11%라는 점을 고려해 회원국은 직불제 예산 가운데 청년농 지원 예산 비중을 현재 '최소 2%'에서 '최소 3%'로 높여야 한다.

농·축산물의 소비는 개발도상국의 인구 증가 및 소득 향상과 더불어 지속적인 증가 추세를 보일 것으로 예상된다. 이에 따라, 농·축산물의 생산과 지속가능성 소비 측면에서 환경적 인식 또한 빠르게 변화할 가능성이 높다.

미국은 탄소중립 실현을 위해 토양 관리와 질소 관리에 역점을 두는 기후지능 농업의 대표적인 국가이다. 토양 관리의 궁극적인 목적은 무경운과 피복작물을 이용하여 토양 유기물 함량을 증가시키고, 그와 동시에 이산화탄소(CO₂) 배출을 줄여 유한 자원인 토양의 건강을 증진하는 것이다. 토양 관리 기술의 대표적인 예는 4가지가 있다.

첫 번째는 커버크롭 농법(Cover crop farming)이다. 커버 크롭은 귀리나 유채, 호밀 등 토양 보호 목적으로 지표면을 덮기 위해 재배하는 작물을 의미한다. 커버크롭은 토양을 그늘지게 해 지표면의 열기를 낮추고 빗물을 흡수해 땅속에 수분을 저장한다. 또한, 토양 침식을 줄여 토양 속 유기물과 탄소가 공기 중으로 유출되는 것을 차단한다.

두 번째는 무경운 농법(No-till farming)이다. 무경운이란 농작물을 기른 뒤 농지를 갈지 않은 상태에서 다시금 파종을 하는 농법을 의미한다. 예를 들어

대두와 옥수수를 번갈아 재배하면 농지를 뒤집지 않아도 되므로 토양 속에 저장된 탄소가 대기 중으로 유출되는 것을 막을 수 있다. 또한, 농지를 뒤집기 위한 트랙터 사용이 줄어 화석연료에 의한 온실가스 배출량을 줄일 수 있다.

세 번째는 질소 관리(Nitrogen Stewardship)기법으로 토양에 대한 질소 관리란 질소에 의한 수질오염을 방지하고 N₂O의 배출 감소를 목적으로 하는 기술적 접근 방법이다. 미국 농업 부문은 CO₂보다 250배 이상 온실효과가 있는 N₂O의 주요 배출원이다. 농업생산 부문에서 발생한 온실가스 배출량 중 합성 질소비료와 기타 유기물질에서 발생한 N₂O의 비중이 매우 높기 때문이다. 따라서, 4R¹⁾로 통칭되는 양분관리 방법을 통해 N₂O 배출을 줄이는 것에 목적이 있다.

그리고 이를 실현하기 위한 방안으로 미국은 농업법에 근거하여 자연자원 보전국을 통해 전체 농경지를 대상으로 한 농업환경 및 생태 보존 프로그램 등 기술·재정적 지원을 추진하고 있다.

대표적인 농업 분야에서의 탄소중립 관련 정책으로, 미국 농무부(USDA)는 기후스마트농림업 정책을 제시하여 2025년까지 매년 1억 2,000만 CO₂-eq.를 감축시킬 계획을 수립하였다. USDA의 기후스마트농림업 정책은 지속가능한 농업 생산성 향상과 기후변화에 대한 복원력을 구축하는 동시에 온실가스 저감, 탄소 저감 증진, 재생에너지 생산을 달성하는 개념이다. 정책의 10개 분야는 토양관리, 질소관리, 가축 파트너십, 민감토지의 보존, 목초지, 사유림의 성장 및 유지, 연방산림 관리, 목재제품 판촉 도시숲, 에너지 생산 및 효율성으로 세부 내용은 <표 1.3>과 같다.

1) 시기 관리(Right Time), 알맞은 비료 종류(Right Source), 알맞은 시비 장소(Right Place), 알맞은 시비량(Right Rate)

<표 1.3> USDA의 기후스마트농림업 정책

분야	2025년 목표
토양건강	<ul style="list-style-type: none"> • 토양 속 유기물질 개선 목적의 토양보존 농법 장려 • 토양과 관련 농기계로부터 발생하는 온실가스 배출을 저감
질소관리	<ul style="list-style-type: none"> • '4R'를 시행하여 이산화질소 배출을 저감하고 비용을 절감 • (4R:비료종류, 시비량, 시비 시기, 시비 장소)
가축 파트너십	<ul style="list-style-type: none"> • 혐기성 소화조를 500개 설치하고, 젖소 및 돼지 오수처리장의 10%에 불침투성 덮개를 씌움
민감토지의 보존	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 격리 잠재력이 높은 농지 40만 에이커를 CRP(보전휴경프로그램)에 등록
방목지	<ul style="list-style-type: none"> • 방목지관리계획을 900만 에이커에 추가적으로 시행
사유림의 성장 및 유지	<ul style="list-style-type: none"> • FLP(산림유산프로그램)와 CFP(공동채산림·공지보전프로그램)를 활용하여 약 100만 에이커의 경관 보존
연방산림 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 매년 3만 2,000에이커의 국가산림시스템 토지에 제조림합
목재제품 판촉	<ul style="list-style-type: none"> • 기술 지원을 하는 건축 프로그램 개수를 2025년까지 2,000개로 증가시킴
도시숲	<ul style="list-style-type: none"> • 도시 지역에 추가적으로 10만 그루 식수
에너지 생산 및 효율성	<ul style="list-style-type: none"> • 재생에너지 기술을 촉진하고, 에너지 효율성 증가

* 출처: 한국농촌경제연구원 <세계농업>

미국도 EU와 마찬가지로 오래전부터 농·축산업 농가의 소득 안정을 목적으로 기초 농산물에 대한 직접적인 가격·소득 지지 정책을 추진해왔다. 그 중에서도 직불제는 농가의 소득 안정과 관련한 대표적인 정책 수단이다. 특히 직불제 의 무준수 사항은 전 세계 최초로 1970년대에 미국에서 처음 도입됐다. 또한, 미국 농무부(이하 USDA)는 다양한 형태를 갖춘 공익형 환경보전 프로그램을 시행하고 있다. 과거에는 미국 또한 EU와 마찬가지로 생산과잉에 대응하기 위해 휴경 장려를 위주로 하는 환경보전 프로그램을 실시해왔다. 하지만 최근엔 환경보전 활동을 적극적으로 하는 농민에게 인센티브를 지급하는 방식으로 바뀌고 있다.

대표적으로, "환경개선지원제도(The Environmental Quality Incentives Program, 이하 EQIP)"는 농가가 해당 토지에 대한 환경개선 사업을 수립해 신청하면 정부가 농가와 협약을 맺어 친환경 농업·축산업·임업 활동에 필요한 기

술·재정을 지원해주는 제도이다. EQIP의 대표적인 세부 제도로 "보전유보제도 (Conservation Reserve Program, 이하 CRP)"는 토양 침식도가 높고 환경적으로 민감한 농지를 10~15년 휴경하면 정부로부터 농지 임대료 수준의 지원금을 받는 제도이다.

최근에는 美 조 바이든(Joseph Robinette Biden) 대통령이 '2050 탄소중립'을 선언하고 미국 농업부문도 기후변화 대응에 앞장설 것을 강조하면서 미국 내에서도 농업환경 보전프로그램에 대한 관심이 높아지고 있다. 2021년 1월 바이든 정부 출범 이후 톰 빌색(Tom Vilsack) USDA 장관은 "기후변화에 대한 적극적·선제적 대응이 새로운 농가소득원 기회가 될 수 있다"며 농업환경분야 재정지원을 확대하기 위한 입법적 뒷받침을 지속적으로 의회에 요청하고 있다.

미국 농업정책은 보통 5년 주기로 개편되는 '농업법(Farm Bill)'을 통해 사업 예산이 설정된다. 현재의 농업법은 2018년 통과된 것으로 2023년 9월30일까지 시행된다. 따라서 2023년 10월 이후 시행될 새로운 농업법에 농업환경 보전 예산 확대 포함 여부를 놓고 올해 상하 양원 농업위원회를 중심으로 논의가 개시될 것으로 전망된다.

프랑스는 2015년 파리에서 개최된 유엔기후변화협약 당사국 회의에서 프랑스 농업부 장관이 제안한 '4 per mille Soils for Food Security and Climate(4 per 1000 Initiative)'를 탄소중립의 핵심 개념으로 설정하였다. 4 per Initiative는 전 세계 토양의 탄소 함량이 연간 0.4%(4‰) 증가하면 인간 활동에 의해 배출되는 온실가스를 상쇄할 수 있음을 의미하며, 4‰(4퍼밀·4/1000)이라는 숫자는 전 세계 토양 2 m 깊이에 저장된 탄소 240억 ton에 대한 온실가스 배출량(8억 9,000만 톤)의 비율에서 착안한 수치이다.



[그림 1.6] 식량 안보와 기후를 위한 4%의 토양

* 출처: Cirad Youtube Channel, 4 per 1000 | Soils for food security and climate

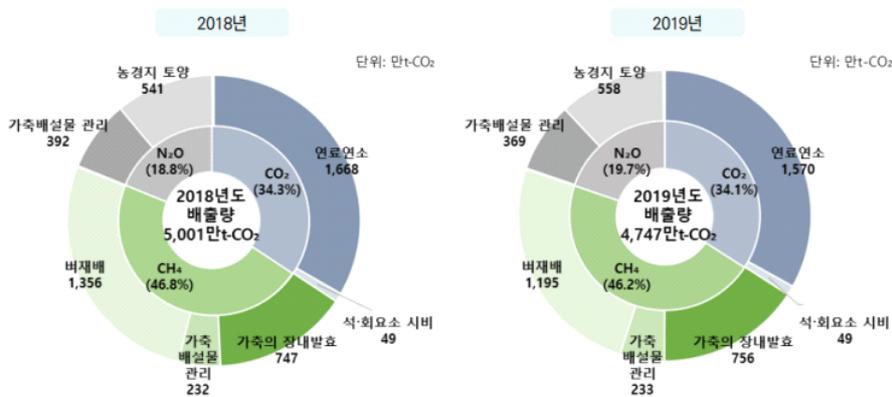
이 계획은 중앙정부, 지방정부, 사기업, 비정부기구, 연구기관 등의 자발적 참여를 전제로 하고 있어 아직 그 효과는 미미하지만, 농업 분야에서 토양 탄소 저장을 통한 기후변화 대응 필요성에 세계적 공감대를 형성한다는 측면에서 매우 유의미하다고 할 수 있다.

일본의 농림수산성은 2021년 5월 12일, 농업의 환경부하 감축을 목표로 하는 '녹색 식량 시스템 전략'을 발표하고, 유기농업 확대나 화학 농약·비료의 감축 등을 통해 2050년까지 농림수산업의 이산화탄소 배출량 제로를 달성하는 목표를 세우고 관련 사업을 추진하고 있다. 전략의 핵심은 '식량·농림수산업의 생산력 향상과 지속성의 양립을 혁신(이노베이션)으로 실현'이며 이를 위해 2050년까지 달성해야 할 8가지 목표를 설정하였다. 또한, 목표 달성을 위한 전략적 추진 방향으로 2040년까지 혁신적인 기술·생산 체계를 순차적으로 개발, 2050년까지 이를 바탕으로 '정책수단의 그린화'를 추진, 사회적 기술을 적용한다.

- ① 농림수산업 탄소배출 제로를 실현
- ② 저위험 농약으로 전환, 종합적인 병충해 관리체계 확립·보급, 종래 살충제를 대체하는 신규 농약 등의 개발로 화학농약 사용량을 50% 저감
- ③ 수입 원료 및 화석연료를 원료로 사용하는 화학비료 사용량을 30% 저감
- ④ 경지면적에서 차지하는 유기농업 재배면적 비율을 25%(100만ha)로 확대
- ⑤ 2030년까지 식품제조업 노동생산성을 최저 3할 향상
- ⑥ 2030년까지 식품기업에서의 지속가능성을 배려한 수입원재료 조달 실현 추구
- ⑦ 엘리트·트리(제2세대 정영목) 등을 임업용 묘목의 9할 이상으로 확대
- ⑧ 일본 장어, 참다랑어 등의 양식에서 인공 종묘 비율 100%를 실현

일본의 농축산분야 온실가스 배출량은 2018년 5,001만 ton으로 2019년에 4,747만 ton으로 254만 ton이 감소하였으며 분야별로는 벼재배에서 가장 많이 감소, 연료 연소, 가축 배설물 관리에서 상당히 감소하였다. 일본은 온실가스 배출 저감 대책으로 가축 배설물 관리방법 변경, 암모니아나 균형 개선 사료, 생산물 단위당 온실가스 배출량 감축(사양관리를 통해 증체성 개량으로 생산성 향상), J-크레딧 제도, 바이오매스 활용 등을 제시하고 있다. 특히, 일본 가축 배설물 관리 방법은 배출계수가 낮은 배설물 관리방법을 통해 CH₄ 및 N₂O를 제거하는 방법을 기존 퇴적발효에서 강제발효로 전환하여 퇴비화 과정에서 발생하는 CH₄의 99% 삭감이 가능하다.

축산분야에서 J-크레딧 제도의 축산분야 온실가스 감축대책으로 돼지·닭에 저단백질 배합사료 급여, 가축장 내 고효율 보일러 도입, 히트펌프 도입, LED 등 에너지 절약 설비 도입을 제시하였다.



[그림 1.7] 일본의 농축산분야 온실가스 배출량

*출처: 한국농촌경제연구원 <세계농업>

제2장 연구의 필요성

전세계적 아젠다로 탄소중립의 중요성이 부각되고 있는 가운데, 선진국의 경우 농·축산업 분야에서의 온실가스 배출량은 그 양이 상당하며 당사국들은 이를 저감하기 위하여 다양한 노력을 기울이고 있다. 그리고, 온실가스 감축 전략 실현을 위해서는 온실가스 배출량에 대한 정량적 산정이 반드시 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 생산·유통·소비에서 발생하는 모든 물질 투입·산출량을 정량적으로 분석하고 이러한 과정이 환경에 미치는 영향을 평가하는 전과정평가(Life Cycle Assessment, 이하 LCA) 기법을 활용하여 환경부하량을 정량적으로 산정, 환경에 부정적인 영향을 줄여 환경친화적 농식품 가치사슬 구축하며 단계적으로 온실가스 감축을 위한 전략을 마련하고자 한다.

본 연구는 농식품 생산·유통·소비 전과정에서 발생하는 환경부하량을 산정하고 이에 따른 농가의 인센티브 제도를 설계하여 혜택을 주는 것을 목적으로 한다. 이를 위한 세부사항으로 첫째, 국내 농식품의 온실가스 발생량과 수입 농산물의 비교를 통하여 친환경 농식품 홍보 방안을 마련한다. 둘째, 농가에서 온실가스 감축 활동에 따른 경제적 부담 지원과 활발한 감축활동 참여 유인을 위한 인센티브 제도 설계를 구축한다.

농축산 분야 국내 연구 동향을 살펴볼 때, 각 작물의 온실가스 배출량을 저감하기 위한 방법은 진행되었으나 감축 시 인센티브 설계에 관한 연구는 미비한 실정으로 관련 연구 필요할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 첫째, 유기농업 재배 시 온실가스 감축 경제적 효과 분석 확인하고, 둘째, 농업분야 온실가스 배출량 평가를 위한 전과정 목록 DB 개발하고자 한다.

축산분뇨에서 발생하는 온실가스 배출량은 부속과정에서 90.6%를 차지하여 해당 과정에서 배출량을 저감시켜 농축산업부문에서 온실가스 감축 달성 가능성이 높을 것으로 판단된다. 또한, 화학비료 생산과 벼재배 단계에서 온실가스 배출량이 높으며 온실가스 감축을 위해 복합비료 적정량 사용과 비료권장량 및 메탄발생 저감방법, 농기계 연료 효율성 증대 활용에 선행 연구를 분석하여 보다 실효성이 있는 온실가스 감축 인센티브 제도를 설계하고자 한다.

농축산 분야 해외 연구 동향으로 작물 및 농법에 대해 전과정 평가 연구가 상당히 진행되고 있는 추세이다. 따라서, 본 연구에서는 시나리오를 작성하여 각

분야별 환경 영향 분석을 진행하여 온실가스 배출량 산정 결과를 국내 관련 연구를 분석하고 해외 연구 사례와 비교, 이에 따른 연구 결과를 도출하고자 한다.

II 연구내용 및 방법

제1장 연구 내용

본 연구는 농·축산물 등 주요 농식품의 푸드 마일리지 현황 및 생산·가공·유통·소비·폐기 등 가치사슬 전 과정에서의 온실가스 배출량 평가하는 것에 그 목적이 있다. 선행 연구들을 응용하여 수입·수출, 운송 시나리오를 설계하여 품목별 푸드마일리지 및 온실가스 배출량 데이터를 수집하고 이를 전과정평가 방법론을 이용하여 국내산 농·축산물에 대한 온실가스 배출량 산정하고자 한다.

산정절차는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 수입량이 많은 해외 주요 농·축산물과 비교 가능한 국내산 주요 농·축산물 위주의 탄소발자국 연구대상을 설정한다. 둘째, 전과정평가 수행을 위해 시스템 경계(원료취득 → 생산 → 수송 → 폐기)를 설정한다. 셋째, 목록분석 진행을 통한 각 단계별 투입물에 대한 목록화를 진행한다. 넷째, 환경성적표지 표시내용에 따라 자원발자국, 탄소발자국, 오존층영향, 산성비, 부영양화, 광화학 스모그, 물발자국에 대한 환경영향평가를 수행한다. 다섯째, 연구 대상에 대하여 ISO 14040 series 기준 준용, 전과정평가를 통한 작물 카테고리별 전과정평가를 수행한다.

또한, 국내 선행 연구에서 발췌한 데이터 및 농·축산물 데이터베이스와 더불어 해외 농·축산물 전과정평가 선행연구에 대한 메타연구 수행을 통해 연구대상에 대한 온실가스 배출 총량을 분석하고자 한다. 해외 농·축산물 전과정평가 선행연구의 메타연구 절차를 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 해외 기관자료 문헌조사를 통한 해외 주요국(유럽연합, 미국, 프랑스, 일본)의 농업분야 온실가스 배출현황(탄소발자국 등)을 분석한다. 둘째, 해외 문헌 메타연구를 통해 도출된 결과로부터 시사점을 도출한다. 셋째, 전과정평가와 메타연구로 집계된 국내산 및 해외 농·축산물의 온실가스 배출현황(탄소발자국)에 대한 비교분석을 수행한다. 넷째, 해외 주요국의 대표적인 온실가스 산정방법을 통하여 국내 농·축산물 연구대상을 교차분석한다. 다섯째, 현행 국가 DB를 활용하여 도출된 결과와 국내 농·축산물 온실가스 데이터베이스와의 비교분석을 수행한다.

이와 더불어, 본 연구는 국내·외 농·축산물 온실가스 산정 연구와 더불어 푸드 마일리지를 산정, 온실가스 감축 인센티브제도 설계의 기틀을 마련하고자 한다.

국내·외 농·축산물 온실가스 감축 인센티브 제도 설계의 절차는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, FGI(Focus Group Interview), AHP(Analytic Hierarchy Process) 등 인센티브의 골자를 설계한 후 농·축산물 인센티브 제도 관련 전문가 자문을 통해 인센티브 부여 방식을 구체화·정교화한다. 둘째, 국내 관행농가 및 친환경농가 대상 FGI, AHP등을 통한 현행 농촌 현황 파악하고 설계된 인센티브 제도가 국내 관행농가에 적합한지 여부를 검정한다. 셋째, 해외 주요국 감축활동 인센티브 관련 제도 분석을 통해 국내 농·축산 분야에 인센티브 제도를 도입할 만한 적절한 방안을 연구한다.

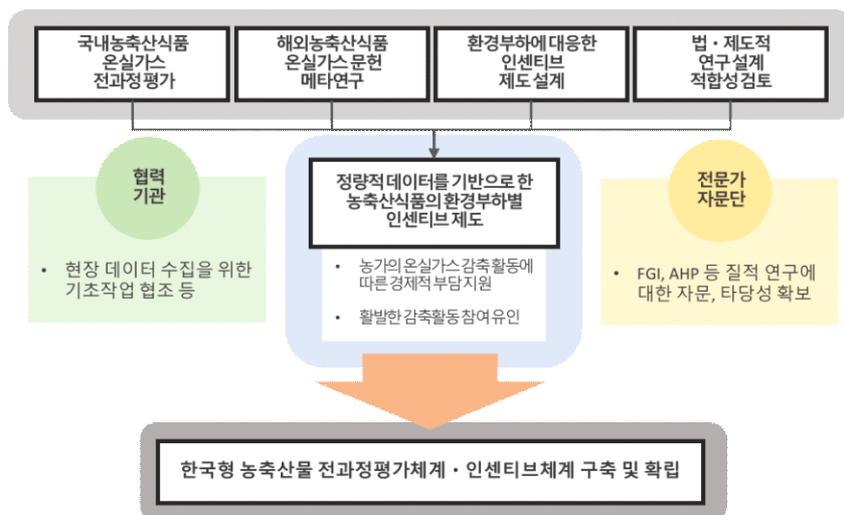
제2장 연구 방법

1. 연구방법1: 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)

전과정평가(Life Cycle Assessment, 이하 LCA)는 국제표준 ISO 14040 및 14044에 따라 제품의 환경적 영향, 제품과 서비스의 사용 및 폐기 평가에 활용되는 국제표준 및 방법론이다. LCA는 일련의 절차를 통해 분석 대상이 환경적으로 어떠한 영향을 미치는지 가시화·정량화가 가능한 방법론이다. 또한, 설계 단계 또는 기존 절차가 환경에 미치는 부분에 있어 개선이 이루어지는 동안 환경에 영향을 적게 미치는 물질/에너지 자원을 선정하는데 인사이트를 제공한다.

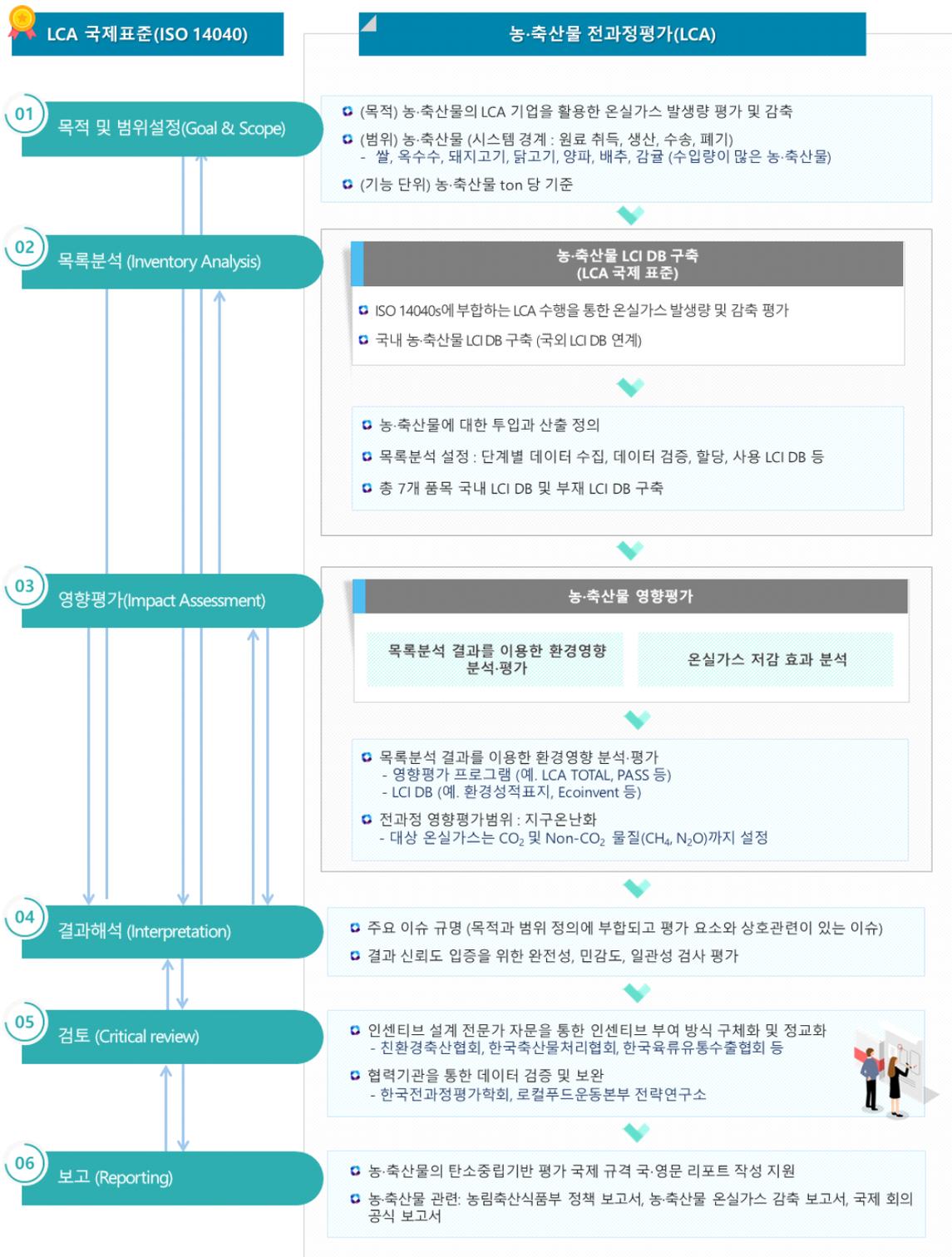
LCA는 제품 또는 공정의 중요한 환경적 영향을 미치는 수명주기 단계를 식별하기 위한 최적의 방법론으로 널리 알려져 있다. 제품의 탄소 발생 및 감소를 설명하는 온실가스과 같이 기타 다른 기법을 가진 방법론에도 LCA를 응용·적용 가능하며 제품 및 기술 등 공급망(생산, 저장, 운송, 활용)에서 기존기술 또는 신규기술 간의 환경성 비교·평가를 통해 최적의 친환경 대안 기술을 결정하는 것에 지원자료로써 활용도가 매우 높다.

제품 공급망 내 모든 기술은 정책목표에의 부합성을 국제적으로 합의되고 과학적인 검증기법에 의해 실증이 반드시 필요하다. 따라서, LCA를 활용해 기술의 환경성을 실증할 수 있다.

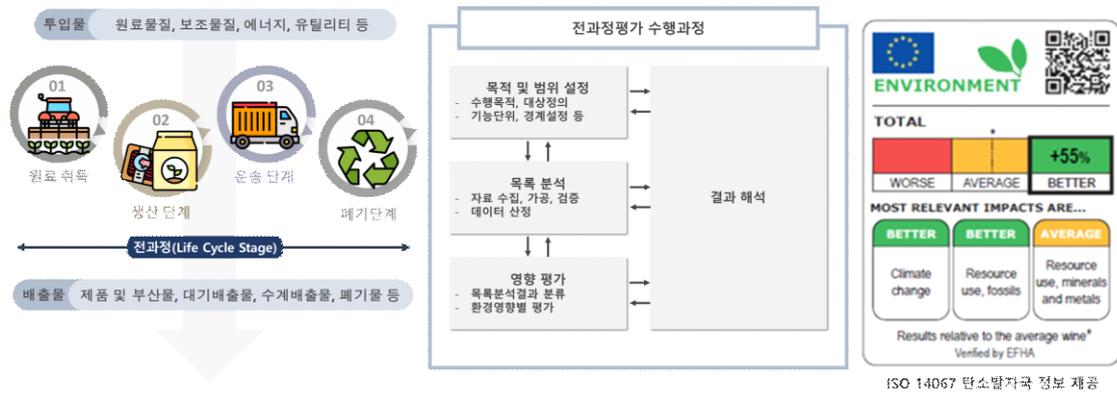


[그림 2.1] 연구목적 및 절차 요약 도식

본 연구에서 적용한 LCA 수행의 절차는 [그림 2.2]와 같다.



[그림 2.2] LCA 국제표준(ISO 14040)에 의거한 농축산물 전과정평가연구 수행 요약 도식



[그림 2.3] 전과정평가(Life Cycle Assessment, LCA)의 개념

인용조문

41. ANNEX: INPUT TO LEGISLATION

NB: in this annex, potential formulations of Ecodesign requirements (and an Energy Labelling scheme) affecting smartphones, mobile phones (other than smartphones), tablets and cordless phones are proposed. Given the declining market figures - and related environmental impacts - for mobile phones (other than smartphones) and cordless phones, it will be decided at a later stage (i.e. after the completion of the current preparatory study) whether or not to include these products in the scope of potential Regulations.

41.2. Ecodesign Requirements

41.2.1. Requirements per product segment

Mobile phones other than smartphones

From 1 xxx 2023, mobile phones other than smartphones shall meet the following requirements:

2. INFORMATION REQUIREMENTS

2.1 Manufacturers, importers or authorised representatives shall provide in the technical documentation and make publicly available on free-access websites the following information:

(a) compatibility with removable memory cards, if any;

(b) results of a Life Cycle Assessment following the method set out in 41.2.3, including the assessed environmental impact indicators and the results of the calculation, over the product life cycle from cradle to the location, where the product is put on the market in the European Union;

Smartphones

From 1 xxx 2023, smartphones shall meet the following requirements:

[그림 2.4] 스마트폰 등에 대한 전과정평가 결과 공개 규정(예고) 인용 조문

선진국은 전과정평가 기법과 표준을 기반으로 탄소발자국 인증 프로그램을 개발하여 제품의 탄소정보를 공개하도록 의무화하고 있다. 대표적으로 EU의 경우, 유럽시장에서 판매되는 모바일폰, 스마트폰, 태블릿 제품에 대해 2023년부터 전과정평가를 기술문서에 공개 규정 예고하였다([그림 2.5]).

국가	인증제도명	운영기관	비고
대만	Taiwan Product Carbon Footprint Labeling	Environmental Protection Administration	
스웨덴	EPD(Environmental Product Declaration)	EPD International	
태국	Carbon Label	Thailand Greenhouse gas Management Organization(TGO)	
미국	Carbon footprint	Carbon Fund	
영국	Carbon Reduction Label	Carbon Trust	
스위스	Carbon footprint	SGS	
영국	Carbon Footprint	LUCIDEON	
독일	Corporate Carbon footprint	TUV Rheinland	
독일	Carbon Footprint	Flocert	

국가	인증제도명	운영기관	비고
EU	PEF	유럽위원회 (EC)	
영국	Carbon Trust Water Standard	민간 인증기관 (Carbon Trust)	
호주	Smart Water Mark	민간 인증기관 (Smart Approved Water Mark)	
남아공	Water Footprint Verification/ Certification	비영리 컨설팅기관 (WFC)	
-	Water Footprint Verification	민간 인증기관 (TUV Rheinland)	

[그림 2.5] 해외 환경발자국 및 탄소발자국 인증 프로그램 예

또한, ISO(국제표준화기구)와 TC 207(환경기술위원회)는 환경성평가를 위한 전과정평가 관련 국제표준 개발 및 제정을 위해 전과정평가 분과위원회(SC 5)를 통해 <표 2.1>과 같은 표준을 제정 및 개발하였다. 또한, ISO/TC 207/SC 5에서 제정된 전과정평가 표준 기반 환경라벨링(SC 3)과 온실가스분과위원회(SC 7)에서 각각 검·인증표준을 제정 또는 개발 중이다. 그 뿐만 아니라, ISO와 별도로 국제전기표준회의(IEC)와 TC 111은 제품군별 탄소(환경)발자국 표준 개발 중에 있다.

<표 2.1> 전과정평가 관련 국제표준화 동향(ISO)

ISO			KS			
표준번호	표준명	현황	표준번호	표준명	제정/개정/확인	
<SC5 Life cycle assessment>						
ISO 14040:2006	Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework	발행	KS I ISO 14040:2006	환경경영 - 전과정평가 - 원칙및기본구조	2016-12-05	확인

ISO			KS			
표준번호	표준명	현황	표준번호	표준명	제정/개정/확인	
ISO 14044:2006	Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines	발행	KS I ISO 14044:2006	환경경영-전과정평가-요구사항및지침	2019-08-08	개정
ISO 14044:2006 /Amd 1:2017	Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines -- Amendment 2	발행				
ISO 14045:2012	Environmental management -- Eco-efficiency assessment of product systems -- Principles, requirements and guidelines	발행	KS I ISO 14045:2012	환경경영-제품시스템의생태효율성평가-원칙, 요구사항과지침	2016-12-26	제정
ISO 14046:2014	Environmental management -- Water footprint -- Principles, requirements and guidelines	발행	KS I ISO 14046:2015	환경경영-물발자국-원칙, 요구사항및지침	2015-04-29	제정
ISO/TR 14047:2012	Environmental management -- Life cycle assessment -- Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to impact assessment situations	발행	KS I ISO 14047:2012	환경경영-전과정평가- KS I ISO 14044의영향평가적용사례	2019-12-10	확인
ISO/TS 14048:2002	Environmental management -- Life cycle assessment -- Data documentation format	발행	KS I ISO/TS 14048:2002	환경경영-전과정평가-데이터문서화형식	2015-12-31	확인
ISO/TR 14049:2012	Environmental management -- Life cycle assessment -- Illustrative examples on how to apply ISO 14044 to goal and scope definition and inventory analysis	발행	KS I ISO 14049:2012	환경경영-전과정평가- KS I ISO 14044의목적및범위 정의와목록분석적용 사례	2019-12-10	확인
ISO/TS 14071:2014	Environmental management -- Life cycle assessment -- Critical review processes and reviewer competencies: Additional requirements and guidelines to ISO 14044:2006	발행	KS I ISO/TS 14071:2014	환경경영-전과정평가-정밀검토과정과검토자적격성: KS I ISO 14044:2007에대한 추가요구사항및지침	2019-12-10	확인
ISO/TS 14072:2014	Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines for organizational life cycle assessment	발행	KS I ISO/TS 14072:2015	환경경영-전과정평가-조직전과정평가를위한요구사항및지침	2015-06-30	제정
ISO/TR 14073:2017	Environmental management -- Water footprint -- Illustrative examples on how to apply ISO 14046	발행	KS I ISO/TR 14073	환경경영-물발자국-KS I ISO 14046 적용사례	2020-	제정중

ISO			KS			
표준번호	표준명	현황	표준번호	표준명	제정/개정/확인	
ISO 14040:2006 /DAMD 1	Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework – Amendment 1	발행				
ISO/WD TR 14055-2	Environmental management – Water footprint – Illustrative examples on how to apply ISO 14046	진행 중				
ISO/AWI 59014	Secondary materials – Principles, sustainability and traceability requirements	진행 중				
ISO/WDI TS 14074	Environmental management – Life cycle assessment – Principles, requirements and guidelines for normalization, weighting and interpretation	진행 중				

<SC3 Environmental labelling>

ISO 14025:2006	Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures	발행	KS I ISO 14025:2007	환경성표시및선언- 제3유형환경성선언 – 원칙및절차	2017-12-26	확인
ISO/TS 14027:2017	Environmental labels and declarations – Development of product category rules	발행	KS I ISO/TS 14027:2017	환경성표시및선언- 제품범주규칙개발	2018-08-07	제정
			KS I 7004	환경경영- 전과정평가- 전과정목록분석데이 터베이스구축방법	2016-01-27	제정

<SC7 Greenhouse gas management and related activities>

ISO 14067:2018	Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification	발행	KS I ISO 14067	온실가스- 제품탄소발자국- 정량화를 위한요구사항및지침	2020-	제정 중
----------------	--	----	----------------	-------------------------------	-------	------

* ISO 14040 및 ISO 14044는 전과정평가 실행 프로세스와 방법론을 규정한 핵심 표준이며, ISO 14046은 전과정평가 표준을 기반으로 한 제품 물발자국 표준

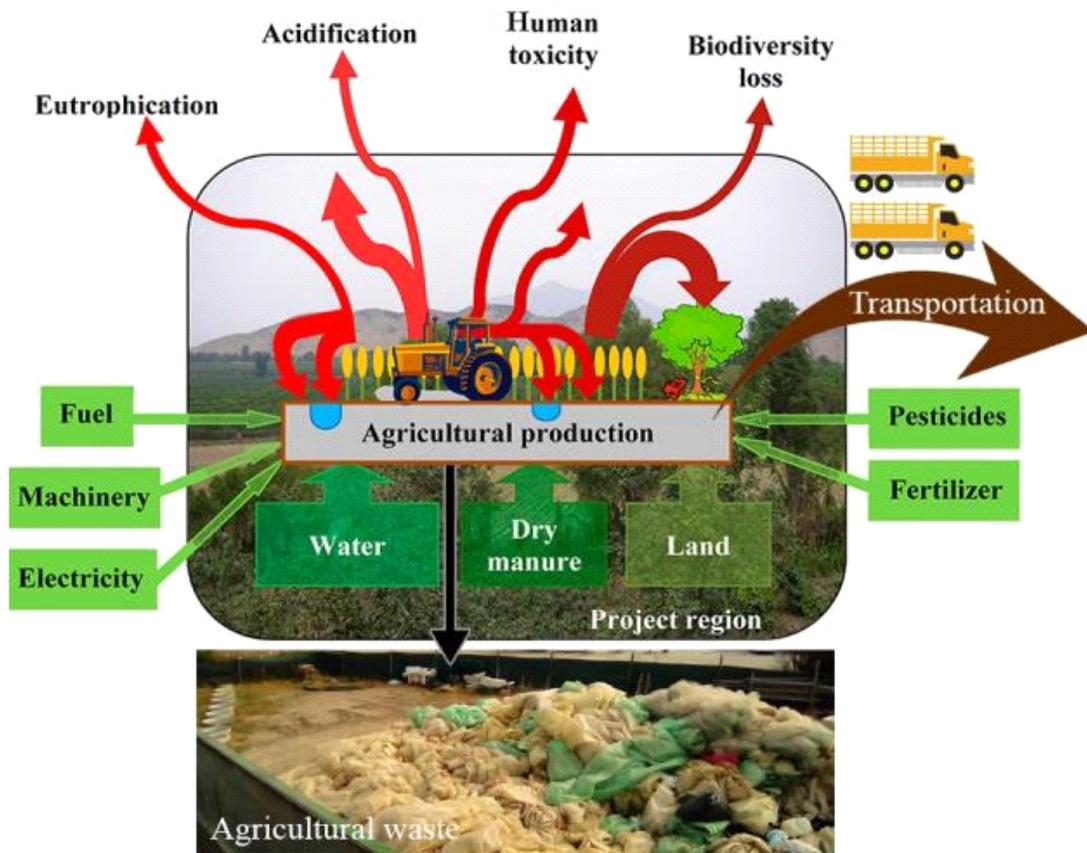
<표 2.2> 제품군별 탄소(환경)발자국 국제표준화 동향(IEC)

구분	주요내용
개발된 표준	<ul style="list-style-type: none"> • IEC 62125:2019 Environmental considerations specific to insulated electrical power and control cables • IEC TS 62282-9-102:2021 Fuel cell technologies – Part 9-102: Evaluation methodology for the environmental performance of fuel cell power systems based on life cycle thinking – Product category rules for environmental product declarations of stationary fuel cell power systems and alternative systems for residential applications • IEC TS 63058:2021 Switchgear and controlgear and their assemblies for low voltage – Environmental aspects
개발 중인 표준	<ul style="list-style-type: none"> • IEC/TC 111/WG 15 Product category rules for LCA of electrical and electronic products and systems : 전기전자제품 및 시스템의 전과정평가에 대한 제품범주규칙 표준 개발 • IEC/TC 111/WG 17 Greenhouse gas (GHG) : 전기전자제품, 서비스 및 시스템의 온실가스 배출량과 저감에 대한 탄소중립 체계, 정량화 방법과 의사소통에 대한 표준 개발 • IEC 61800-9-3: Adjustable speed electrical power drive systems – Part 9-3: Ecodesign for power drive systems, motor starters, power electronics & their driven applications – Quantitative eco-design approach through life cycle assessment including product category rules and the content of environmental declarations

이와 같은 ISO와 TC 207의 전과정평가 관련 국제표준 개발 및 제정 동향은 전세계적인 아젠다인 탄소중립 트렌드에 따라 온실가스 배출량 산정의 범위가 넓어지고 있음을 의미하며, 농·축산업 분야에서 또한 선제적인 대응이 필요함을 시사한다.

1.1. LCA를 이용한 국내 주요 농식품 탄소발자국 연구

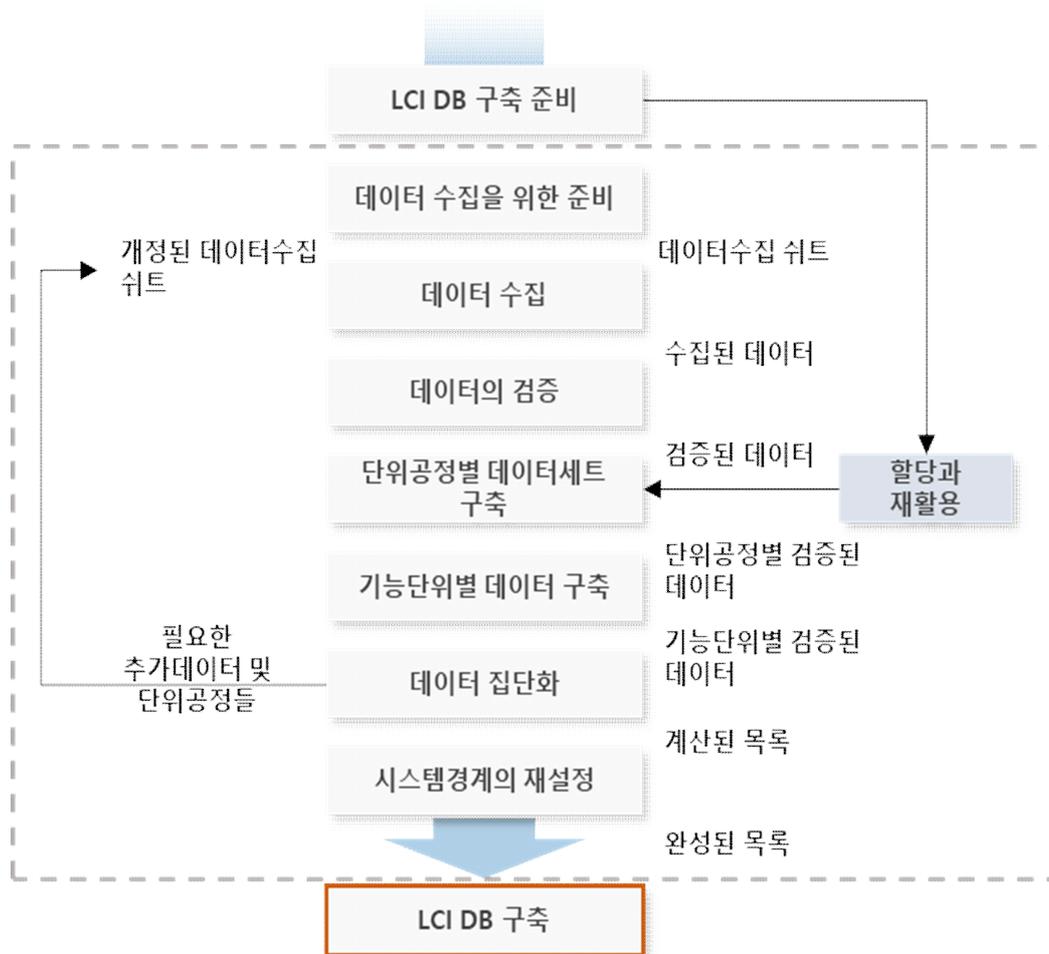
본 연구는 국제표준 또는 환경부의 환경성적표지 공동지침(일반제품)과 한국농업기술진흥원의 농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 공동지침에 따른 전과정평가 방법론을 준용하여 국내 주요 농·축산물의 탄소발자국을 산정하고자 한다. 산정 절차는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫 번째 단계는 「목적 및 범위 설정」이다. 목적 및 범위 설정은 탄소발자국 연구 대상 품목을 선정하고 수입량이 많은 해외 주요 농·축산물과 비교 가능한 국내산 주요 농식품 위주로 탄소발자국 연구 대상 품목 선정하는 과정이다. 두 번째 단계는 「시스템 경계 설정」이다. 시스템 경계 설정은 ① 원료 취득(재배), ② 생산(수확 및 가공), ③ 수송(유통), ④ 폐기(소비 후 처리)로 구분할 수 있다([그림 2.6]).



[그림 2.6] 농·축산물 전과정평가를 위한 시스템 경계

* 출처: Karin Bartl, Et Al.(2012). Life Cycle Assessment Based Evaluation of Regional Impacts from Agricultural Production at the Peruvian Coast의 도식을 연구목적에 맞게 재구성

세 번째 단계는 「목록분석」이다. 목록분석은 문헌조사를 통하여 시스템 경계 단계별 투입물의 명칭과 질량으로 목록화하는 단계이다. 목록분석의 절차는 [그림 2.7]과 같으며 [그림 2.8]과 같은 형태로 구성된다.



[그림 2.7] 전과정평가 목록분석 절차

Type	Extensive		Intensive		Super-intensive (particular case)	Data source
Subtype	Rainfed		Irrigated		Irrigated	
	Mean	C. V.*	Mean	C. V.*		
Olive yield (kg olives)	500 (2013/2020) 1213 (2019/2020)	-0.14	6009.20	0.16	8653.80	
Activity/product:						
Harvesting						
Petrol, two-stroke blend (kg)	-	-	4.4	1.44	0.4	Survey
Transport, tractor and trailer (tkm)	8.2	1.27	29.3	0.36	245.8	Survey
Polyethylene, linear low density (kg)	0.7	1.23	2.5	0.16	3.5	Survey
Cutting						
Petrol, two-stroke blend (kg)	-	-	0.5	1.56	0.1	Survey
Irrigating						
Electricity, low voltage (kwh)	-	-	2373.90	0.24	1788.50	Survey
Water (m ³)	-	-	2334.90	0.36	2500.00	Survey
Polyethylene, linear low density (kg)	-	-	15.97	0.64	65.6	Survey
Polyethylene, high density (kg)	-	-	7.29	0.72	30.2	Survey
Polyvinyl chloride (kg)	-	-	11.72	0.43	48.5	Survey
PPP & herbicides						
Application of PPP (ha)	0.4	3.23	3.4	4.37	6	Survey / PEFCR
Water (m ³)	0	-	0.1	0.88	0.2	Survey / PEFCR
Insecticide (kg)	0	-	3.1	0.64	4.5	Survey
Fungicide (kg)	-	-	-	-	16.2	Survey
Herbicide (kg)	-	-	8.4	1.03	15	Survey
Soil management						
Harrowing (ha)	0.8	0.6	3.6	0.55	-	Survey
Tillage (ha)	3.2	0.35	4	0.26	-	Survey
Transport, lorry 3.5 t (tkm)	0.1	0.44	0.1	0.36	0.1	PEFCR
Pruning management						
Transport, tractor and trailer (tkm)	18.2	1.27	65	0.36	545.9	Survey
Fertilizing						
Fertilizing, by broadcaster (ha)	0	-	0.1	1.42	0.5	Survey
Organic fertilizer (kg)	1655.60	1.42	4954.10	0.80	15	Survey
Nitrogen fertilizer (kg)	-	-	65.2	0.29	80	Survey
Potassium fertilizer (kg)	-	-	38.2	0.59	50	Survey
Phosphate fertilizer (kg)	-	-	119.2	1.13	37.2	Survey
Borax (kg)	0	-	0.7	0.51	0.7	Survey

[그림 2.8] 올리브오일 재배에 필요한 LCI DB 카테고리

* 출처: L. Fernández-Lobato, et. al.(2022) Life cycle assessment of the most representative virgin olive oil production systems in Tunisia

네 번째 단계는 「수송·유통시나리오 설계」이다. 수송·유통시나리오의 설계는 본 연구의 최종목적에 맞게 국산 농·축산물 주요 농식품의 푸드 마일리지 현황 조사와 병행하여 설계 및 분석을 수행하고자 한다.

푸드 마일리지(Food Mileage)란 일본 농림수산성, 농림수산정책연구소가 2020년 발간한 ‘푸드 마일리지의 시산에 대하여(2001)’ 라는 보고서에서 처음 등장한 개념이다. 보고서는 영국의 ‘푸드 마일(Food Mile)’에 중량 개념을 추가하여 ‘푸드 마일리지’ 산정 방법을 소개하고 있다.

푸드 마일리지란 앞서 소개한 어원과 같이 푸드 마일에 식품의 중량을 곱해서 나온 수치를 의미한다. 푸드 마일리지가 높다는 것은 식품의 이동거리가 길거나 중량이 크다는 것을 의미한다. 2002년 푸드 마일리지 개념을 토대로 일본, 한국, 미국, 영국, 프랑스, 독일 등의 푸드 마일리지를 측정 및 비교하여 국가별 식량공급구조의 특성 분석이 이루어진 바 있다. 푸드마일리지의 산정식은 아래와 같다.

$$\text{푸드 마일리지} = \text{수송량(ton)} \times \text{수송거리(km)}$$

푸드 마일리지와 관련한 국내의 대표적인 연구는 국립환경과학원의 「국민 식생활분야 푸드 마일리지 산정 연구(The study on food mileage relating to nations' dietary life)」가 있다.

부 표 1

□ 가락동농수산물도매시장 반입농산물의 품목별 푸드마일리지(2009)

1) 감자

Table 1. 감자의 출하지-가락시장 푸드마일리지 산출

단위: %, ton, km, ton·km

시군	거래물량 비율	거래물량	가락시장까지 거리	푸드마일리지
강원 평창군	20.78	15,650	170	2,658,663
전북 김제시	7.52	5,662	218	1,232,768
제주 제주시	6.42	4,837	621	3,005,805
충남 당진군	6.72	5,060	104	523,840
경남 밀양시	3.65	2,749	341	937,173
전남 보성군	5.31	4,000	352	1,408,724
전북 남원시	1.88	1,414	257	363,048
전북 부안군	1.68	1,266	231	292,025
충남 서산시	3.94	2,966	123	365,146

[그림 2.9] 푸드 마일리지 선행 연구 예시

* 출처: 국립환경과학원(2010) 국민 식생활분야 푸드 마일리지 산정 연구(The study on food mileage relating to nations' dietary life)

본 연구에서는 서구원(2012)의 연구 방법([그림 2.10])을 응용하여, 수입·수출 운송 시나리오를 설계 후 품목별 푸드마일리지 및 탄소배출량을 산정하고자 한다.

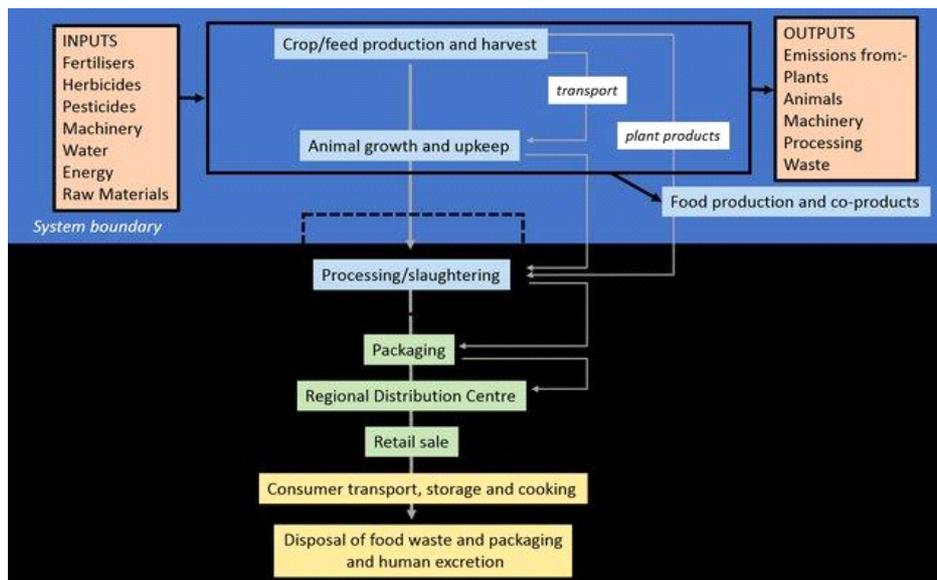
Product	Region	Shipment volume (ton)	Food miles (ton · km)	CO ₂ emission (ton · CO ₂)	Food miles by ton (km)
Potato	Mainland	50,390	9,595,156	2,389.19	190.42
	Jeju	7,074	3,600,283	711.44	508.95
	Total	57,464	13,195,439	3,100.63	229.63
Sweet potato	Total	29,330	3,544,112	882.48	120.84
Cabbage	Total	145,920	42,219,597	10,512.68	289.33
Radish	Mainland	72,826	13,577,513	4,535.04	186.44
	Jeju	92,568	47,404,211	8,012.15	512.10
	Total	165,393	60,981,724	12,547.19	368.71
Garlic	Mainland	20,000	7,918,542	1,917.72	395.93
	Jeju	4,874	2,498,580	483.27	512.63
	Total	24,874	10,417,122	2,454.99	418.80
Onion	Mainland	174,400	56,239,257	14,003.57	322.47
	Jeju	8,672	4,431,172	856.32	510.97
	Total	183,072	60,670,429	14,859.89	331.40
Hot pepper	Total	29,073	7,602,904	1,893.12	261.51
Carrot	Mainland	6,298	1,326,616	330.33	210.64
	Jeju	14,700	7,755,595	1,420.37	527.59
	Total	20,998	9,082,211	1,750.70	432.53
Cucumber	Total	55,947	8,327,071	2,073.44	148.84

[그림 2.10] 농산물별 푸드마일리지 및 탄소발자국

* 출처: 서구원(2012), 국내 주요 농산물의 푸드마일리지와 이산화탄소 배출량 분석

2. 연구방법2: 메타분석(Meta-Analysis)

메타분석(Meta-Analysis)은 서로 다른 연구들의 양적인 효과, 크기 결과들을 통계적으로 통합하기 위한 방법으로 여러 연구 분야의 요약 과정에서 편향(bias)이 발생하므로 메타분석을 통해 표본 수를 결합하는 분석 기법을 의미한다. 표본 수가 개별 연구에 비해 월등히 증가하게 되므로 통계적인 검정력과 정밀성이 비약적으로 향상된다는 특징이 있다.



[그림 2.11] 단백질원의 공개 LCI DB 메타분석 수행을 위한 시스템 경계 도식

* 출처: TRUE Deliverable 5.1 (D29), Report(2018), Public Report on Life Cycle Assessment Methodology for Assessing the Environmental Sustainability of Legume Value Chains Report on Life cycle assessment for legume value chains Deliverable Description & Contributors

2.1. 메타분석을 이용한 해외 주요 농식품 탄소발자국 연구

본 연구에서는 메타분석을 이용하여 주요 수입산 농식품의 푸드 마일리지 및 탄소발자국 연구 결과를 분석하고자 한다. 분석 절차는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫 번째로 해외 농·축산물 주요 농식품의 푸드 마일리지 현황 조사를 수행한다. 메타분석은 문헌 연구를 통한 작물 전과정평가 체계의 범주화 및 일반화 과정이 선행되어야 한다. 따라서, 작물단위 전과정평가 선행 연구를 범주화(예, 곡류, 채소류, 과일류 등)하고 메타분석을 통해 각 범주별 전과정평가 요소(목적 및 범위 설정, 시스템 경계 설정)를 일반화한다.

두 번째로, 해외 주요국의 국가 온실가스 배출총량 및 농업분야 배출량을 조사한다. 해외 주요 선진국의 국가 온실가스 배출총량 및 농업분야 온실가스 배출량은 각 작물별 제품 전과정에서의 온실가스 배출량과 더불어 무역 수지를 활용할 경우 해당 국가의 농업 생산량 및 환경영향 정도 등을 보다 면밀히 분석할 수 있는 기초통계자료이다. 따라서, 해외 기관 자료 문헌 조사를 통해 해외 주요국의 농업분야 온실가스 배출 총량 통계자료 수집 및 분석하고 이를 국내 농업분야 온실가스 배출 현황과 비교·분석하여 온실가스 발생 측면에서 각 연구대상이 갖는 특징과 시사점을 도출해내고자 한다.

세 번째는 해외 농식품 탄소감축 관련 정책 현황, 저탄소인증 제도 및 제품 소비현황, 배출량 측정 및 평가방법 등 제반 사항이 되는 법·제도적 현황에 대한 연구 수행이다. 해외 문헌 메타연구를 통해 도출된 결과를 토대로 해외 주요국의 대표적인 온실가스 산정방법을 이용, 국내 농·축산 분야의 온실가스 배출량 산정 절차를 재분석, 현행 국가 DB와의 온실가스 산정 방법 비교 등의 추가 연구를 수행한다.

3. 연구방법3: 집단심층면접법(FGI, Focus Group Interview)과 계층분석기법-쌍대비교행렬(AHP, Analytic Hierarchy Process)을 활용한 적정 인센티브 제도 설계

본 연구의 최종 목적은 국내 농·축산가에 온실가스 감축 인센티브 설계 및 지원방안을 도출하는 것이다. 세부적으로 살펴보면, 경종·축산·시설농업·에너지 전환 분야의 온실가스 감축 활동을 발굴하고 이에 따른 인센티브의 지급 방안을 설계하는 것이라 할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 첫 번째로 국내 및 해외 주요 농식품 탄소발자국 연구를 통해 도출된 개별·범주별 농·축산 식품 생산 과정에서의 대표적인 환경부하 원인을 파악하고자 한다. 환경부하량이 높은 특정 물질 또는 과정을 식별해내고 이를 대체하거나 도태·제거하는 것에 대한 인센티브를 제공하거나 부여하는 것이 핵심이라 할 수 있다.

산정된 국내 농·축산물 탄소발자국의 푸드 마일리지, 해외 농·축산물 선행 연구의 메타분석 결과를 토대로 설계된 인센티브 제도는 정책 입안에 앞서 반드시

전문가의 검토를 거쳐야 한다. 따라서, 본 연구에서는 인센티브 제도의 설계가 종료된 이후 집단심층면접법(Focus Group Interview, 이하 FGI)과 계층분석기법-쌍대비교행렬(Analytic Hierarchy Process, 이하 AHP)을 이용하여 제도 전반의 타당성 및 실용성을 검증받고자 한다.

인센티브 설계의 세부내용은 첫째, 대표적인 환경부하 원인과 인센티브 부여 방식 분석, 인센티브제도 시행을 위한 적정 예산규모 및 세부사업 시행지침을 전문가 자문을 통하여 골자를 마련한다. 미국·EU·일본 등 감축 활동 인센티브 관련 제도(탄소은행 등) 등을 조사하여 얻은 시사점을 바탕으로 국내 여건에 적합한 인센티브 제도 항목을 추출, 우리나라의 사정에 맞추어 현지화할 수 있는 요소들을 추출한다. 둘째, 감축 수단 및 활동을 실질적으로 적용하기 위해 국내의 제도적 여건 분석한다. 셋째, 환경성 평가를 통해 도출된 시사점 중 실질적으로 적용 가능한 항목을 추출하여 인센티브 제도에 반영한다.

<표 2.3> 국내 관행농가 및 친환경농가 대상 FGI 개요 예시

대상	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 관행농가 및 친환경농가 				
규모 및 구성	<ul style="list-style-type: none"> • 4개 그룹 <ul style="list-style-type: none"> - 관행농가와 친환경농가 그룹으로 구분하여 농.축산별 2명씩 구성 (감귤농가는 1명) - 농업.축산업 그룹당 4명, 감귤농가 그룹당 1명 / 총 10명 				
	그룹	분야			소계
		농업	축산업	농업(감귤)	
	1) 관행농가	2명	2명	1명	5명
	2) 친환경농가	2명	2명	1명	5명
주요 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 현행 농.축산분야 전과정평가 방법 및 절차 리뷰 • 연구를 통한 현행 농.축산분야 전과정평가 방법 보완사항 검토(현행 농.축산분야 전과정평가 방법의 개선점 등) • 전과정평가 단계별 산정 항목 검토 및 수정보완사항 의견 수렴 • 기타 조사 설계(표본 설계 등)를 위한 논의 및 설문항목의 검토 등 				
진행 방법	<ul style="list-style-type: none"> • 연구기획 단계 실시(9월 초 예상) • 그룹별 2시간 진행 • 본 용역 연구진이 직접 진행 				
기타	<ul style="list-style-type: none"> • 농림축산식품부에서 추천하는 FGI 대상자 포함 				

앞서 소개한 절차를 통해 설계된 인센티브 제도는 FGI와 AHP를 통해 구체화·정교화되는 과정을 거친다. FGI와 AHP의 세부 내용은 다음과 같이 요약할 수

있다. 첫째, 국내 관행농가 및 친환경농가를 대상으로 FGI를 수행하여 농촌 동향 및 현황을 파악하고 설계된 인센티브의 실효성을 개괄적으로 검증받는 작업을 거친다. FGI 결과는 현행 농·축산분야 전과정평가 방법을 보완하고 기존 산정 방식에서의 추가 반영 항목 등을 파악하여 인센티브 제도 내에 반영한다.

둘째, 농·축산 탄소발자국 산정 및 인센티브 설계 전문가 대상 AHP를 수행하여 설계된 인센티브 제도를 검토하고 제도의 정교함을 확보한다. 전문가 대상 AHP 실시 개요 예시는 <표 2.4>와 같다.

<표 2.4> 전과정평가 전문가 대상 AHP 실시 개요

대상	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 전과정평가 전문가(학계·산업계 전문가 등)
규모 및 그룹 구성	<ul style="list-style-type: none"> • 총 10명 / 2회 실시
주요 조사 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 항목별 가중치 산출을 위한 평가항목의 상대중요도 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 평가항목(예) : <ul style="list-style-type: none"> . 전과정 단계 조건 -①원료 취득 및 생산(재배) → ②가공 → ③유통(수송) → ④소비 및 폐기(소비 후 처리)의 각 단계별 가중치 도출 . 투입 물질 조건 : 비료의 종류, 농약의 종류, 작물에 따른 기계 사용 시기 및 사용시간, 사용연료 등 세부 항목에 대한 가중치 도출 . 농가의 규모 조건 : 농가의 작물 재배 가지 수, 농가의 연매출 등의 다른 가중치 도출
진행 방법	<ul style="list-style-type: none"> • FGI 실시 이후 진행(10월 초 예상) • 응답대상자 사전 전화 컨택 후 설문지 배포 후 수거 <ul style="list-style-type: none"> - 방문, 이메일, 팩스, 온라인 조사 병행
기타	<ul style="list-style-type: none"> • 농림축산식품부에서 추천하는 AHP 대상자 포함

4. 법·제도적 연구설계 적합성 검토

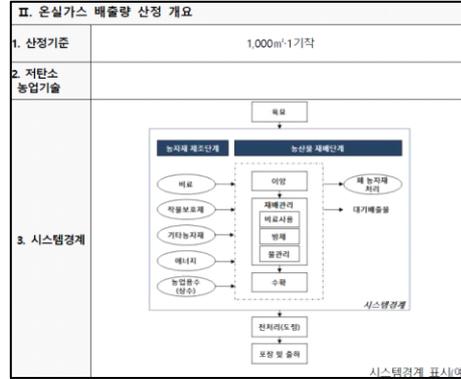
앞선 논의를 통해 설계된 인센티브 제도는 실질적으로 수행가능한 제도이어야 한다. 이에 본 연구에서는 법·제도적 연구설계 적합성 검토를 위해 현행 「저탄소 농축산물 인증제」, 「농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 지침」을 면밀히 검토하고 설계된 인센티브 제도와의 비교·분석 과정을 거쳐 실효성을 확보하고자 한다. 비교·분석 세부 사항은 다음과 같다.

- ① 저탄소 농축산물 인증제 세부운영요령(개정 2022. 02. 24. 내규 제5-35호)
 - [별지 제1호 서식] 저탄소 농축산물 생산현황보고서 양식의 연구 품목 조사

- [별지 제3호 서식] 저탄소 농축산물 온실가스 배출량 산정보고서의 데이터 수집 및 온실가스 배출량 산정 방법 조사

□ 비료 및 작물보호제(농약) 사용 내역

구분	사용유무	자재명 (상품명)	사용량 (톤/포/병)	비고
구매	가축분퇴비	<input type="checkbox"/> 사용 <input type="checkbox"/> 미사용		
	화학비료	<input type="checkbox"/> 사용 <input type="checkbox"/> 미사용		
	양액비료	<input type="checkbox"/> 사용 <input type="checkbox"/> 미사용		
	합성농약	<input type="checkbox"/> 사용 <input type="checkbox"/> 미사용		
	유기농업자재 (비료)	<input type="checkbox"/> 사용 <input type="checkbox"/> 미사용		
	유기농업자재 (병해충방제)	<input type="checkbox"/> 사용 <input type="checkbox"/> 미사용		



[그림 2.12] 저탄소 농축산물 생산현황보고서 양식 문항 예시

[그림 2.13] 저탄소 농축산물 온실가스 배출량 산정보고서 절차 예시

② 농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 공통지침(한국농업기술진흥원)

- 지침에서 제시하는 적용범위, 용어정의, 산정원칙 비교·분석

4. 원칙(Principles)	5. 온실가스 배출원(Source of greenhouse gases)
<p>농산물에 대한 온실가스 배출량을 산정하는 동안에 다음의 원칙을 준수하여야 한다.</p> <p>4.1 대표성(representativeness) 수집한 데이터는 지역적, 시간적으로 대표성이 있어야 한다.</p> <p>4.2 완전성(completeness) 농산물 제배의 전과정에서 온실가스 배출에 기여하는 모든 영농데이터를 수집해야 한다.</p> <p>4.3 일관성(consistency) 농산물 제배의 전과정에 대한 온실가스 배출량을 산정하는 절차와 방법은 이 지침에서 제시된 요건에 따라야 한다.</p> <p>4.4 투명성(transparency) 농산물 제배의 전과정에 대한 온실가스 배출량을 산정하는 과정에서 요구되는 모든 데이터는 투명하게 보고서에 공개되어야 한다.</p> <p>비고 영농상 기록유지가 필요하고 인정되는 데이터는 그 사유를 명기하고 보고서에서 제외할 수 있다.</p> <p>4.5 정확성(accuracy) 농산물 제배의 전과정에 대한 온실가스 배출량을 산정하기 위한 현장조사, 계측, 계산 등 모니터링 과정에서 발생할 수 있는 오차와 불확실성을 최소화해야 한다.</p> <p>4.6 보수성(conservativeness) 농산물 제배의 전과정에 대한 온실가스 배출량을 산정하는 과정에서 파손되거나 누락된 데이터는 보수적인 가정 값과 절차를 적용해야 한다.</p> <p>4.7 비교가능성(comparability) 동일품목의 농산물에 대하여 온실가스 배출량을 비교하는데 필요하다고 인정되는 부가정보는 온실가스 배출량 산정과정에서 반영되어야 한다.</p> <p>4.8 전과정 기준(life cycle basis) 농산물 제배의 전과정에서 발생한 온실가스를 포함해야 한다.</p> <p>4.9 과학적 기준(scientific basis) 농산물 제배의 전과정에서 온실가스 배출량을 산정하는 모든 과정은 과학적인 원리와 원칙에 입각해야 한다.</p>	<p>온실가스 배출량을 산정하는 과정에서 요구되는 온실가스의 종류와 배출원은 다음과 같다.</p> <p>5.1 온실가스 종류</p> <p>농산물의 온실가스 배출량 산정 시 다음의 온실가스를 포함한다. 다만, 시리트로 되어 있는 염화불화탄소, 할론, 수소염화불화탄소, 수소불화탄소, 과불화탄소, 수소불화에테르와 과불소폴리에테르에 대한 세부목록은 [붙임 2]를 참조한다.</p> <p>a) 이산화탄소(Carbon dioxide, CO₂) b) 메탄(Methane, CH₄) c) 아산화질소(Nitrous oxide, N₂O) d) 염화불화탄소(Chloro fluoro carbon, CFCs) e) 할론(Halon) f) 사염화탄소(Carbon tetrachloride) g) 브로민화메틸(Methyl bromide) h) 메틸클로로포름(Methyl chloroform) i) 수소염화불화탄소(Hydro-chloro fluorocarbon, HCFCs) j) 수소불화탄소(Hydrofluorocarbons, HFCs) k) 과불화탄소(Perfluorocarbons, PFCs) l) 수소불화에테르(Hydrofluoroether, HFEs) m) 과불소폴리에테르(Perfluoropolyether, PFPE) n) 탄화수소와 기타 물질</p> <p>5.2 온실가스의 배출원</p> <p>농산물의 전과정에서 발생 가능한 온실가스 배출원은 다음을 포함한다.</p> <p>5.2.1 농작물 생산에 의한 온실가스 간접배출: 비료, 작물보호제, 기타작물 생산단계에서 발생한 온실가스 간접배출</p> <p>5.2.2 에너지 생산에 의한 온실가스 간접배출: 전기 및 화석연료(경유, 휘발유, 가스, 인탄 등), 바이오 에너지(목재펠릿 등) 생산단계에서 발생한 온실가스 간접배출</p> <p>5.2.3 농작물과 농기계의 사용에 의한 온실가스 직접배출: 농산물 생산단계에서 사용되는 화석연료의 연소로 인해 발생한 온실가스 직접배출</p>

[그림 2.14] 농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 공통지침의 원칙 및 온실가스 배출원 정의

③ 농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 개별지침(농업기술실용화재단)

- 농·축산물 품목에 대한 산정원칙 비교·분석

농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 개별지침(벼)

Product Category Rule for Calculating GHG Emissions of Rice

0. 개요 (Introduction)

본 지침은 벼 재배의 전과정 온실가스 배출량을 산정하기 위한 것으로, 벼 재배를 위한 영농과정에서 투입되는 비료, 작물보호제, 기타 농자재 및 농기계 에너지 사용에 따른 전과정 온실가스 배출량을 산정하는데 필요한 세부적인 절차와 요건을 포함한다. 모든 품목에 공통으로 적용되는 지침은 「농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 공통지침」(이하 “공통 작성지침”이라고 한다)에 따른다.

1. 적용범위(Scope)

이 지침은 벼 재배에 대해 적용 가능하며 다보, 논관축갈, 화왕, 미면 등의 품종과 그 외 유사 품종에 대해 적용 가능하다.

2. 참조문헌(Normative reference)

이 지침은 다음의 문헌을 참조하였다.

- 농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 공통 작성지침(2013), 농업기술실용화재단
- 표준영농교본-76 벼 생력재배(2000), 농촌진흥청
- 표준영농교본-169 벼 직파(2009), 농촌진흥청
- 농업경영개선을 위한 2011 농축산물 소득자료집(2012), 농촌진흥청
- 농촌진흥청 농업기술종합정보

3. 온실가스 배출량 산정

벼 재배의 전과정에 대한 온실가스 배출량의 산정과정은 다음의 절차와 요건을 따라야 한다.

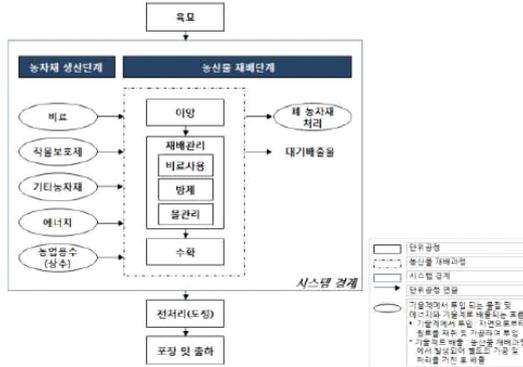
3.1 산정기준

- 3.1.1 벼에 대한 온실가스 배출량은 벼 재배면적 1,000m², 1기작을 기준으로 산정한다.
- 3.1.2 다만 품종, 적용된 저탄소 농업기술 또는 자체적으로 적용한 농법에 따라 관행농법보다 유의적으로 높은 생산량이 산출될 수 있다고 인정되는 경우에는

중량단위의 온실가스 배출량 산정이 가능하며, 이 경우 인증 대상 농산물의 총 재배면적, 총 수확량 등의 부가정보를 반드시 수집하여야 한다.

3.2 시스템 경계

3.2.1 벼 재배의 전과정에 대한 시스템 경계에 포함되는 전과정 단계는 공통 작성 지침을 따르며, 단계별 세부 활동은 벼 재배의 특징에 따라 다음의 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 벼 재배의 전과정 시스템경계

3.2.2 벼 재배의 전과정 각 단계별로 다음의 활동을 포함한다.

3.2.2.1 농자재 생산단계는 농산물 재배단계에 투입되는 농자재의 생산과 관련된 천연자원의 채취로부터 생산단계까지를 포함한다.

3.2.2.2 농산물 재배단계는 벼 모종의 이앙으로부터 비료사용, 방제, 물관리 등 재배 관리와 관련된 농작업과 수확, 농가 저장, 벼 농자재 처리를 포함한다.

a) 농가 저장은 농가 내의 창고 보관 등을 포함하며, 저온저장고와 같은 에너지 설비를 사용하는 저장은 제외한다.

3.3 데이터 품질

3.3.1 벼 재배의 전과정 온실가스 배출량을 산정하기 위하여 수집된 데이터 품질 요

[그림 2.15] 농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 개별지침 예시(벼)

Ⅲ 연구결과 및 고찰

제1장 해외 및 국내 농·축산물 관련 탄소중립 정책 현황

1. 영국

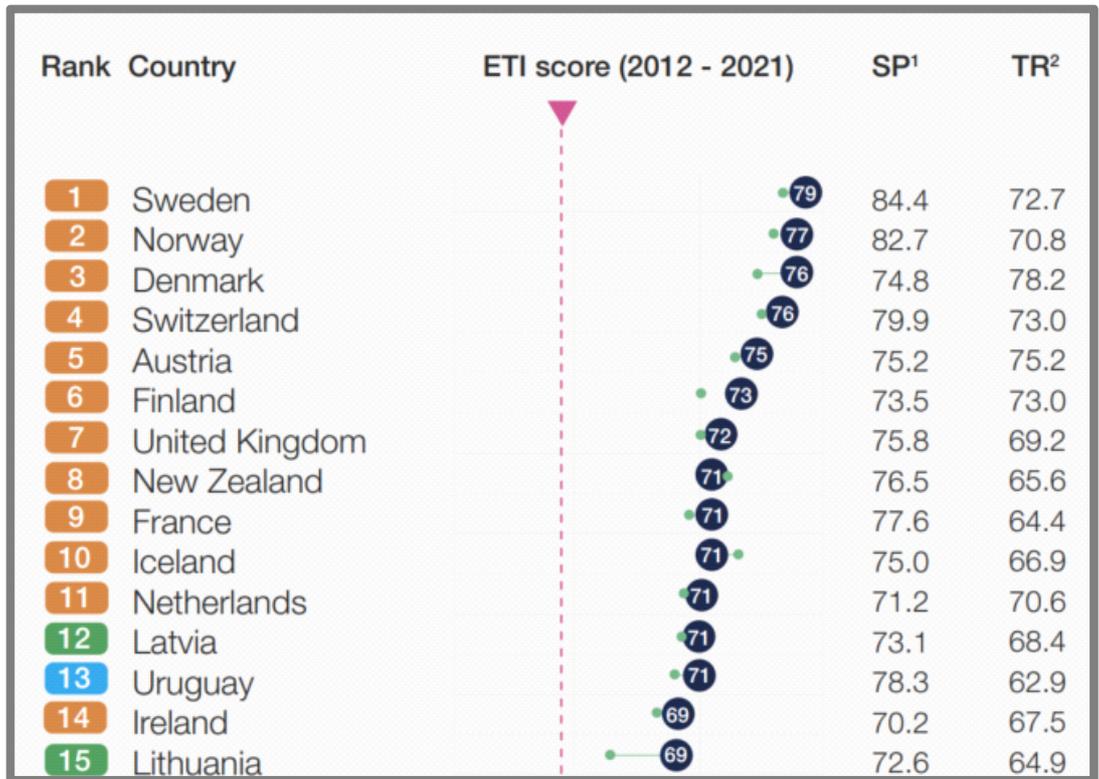
1.1. 영국의 탄소중립 관련 정책 현황

영국은 2019년에 ‘기후변화법(Climate Change Act of 2008)’을 개정하면서 기존의 온실가스 감축목표였던 1990년 대비 2050년 80% 감축을 순배출 Zero 달성으로 수정하고 탄소중립을 법제화하였다. 2030 온실가스 감축목표인 국가자발적기여(Nationally Determined Contributions, NDC)를 1990년 대비 53% 감축에서 최소 68% 감축으로 상향 조정하였다.

영국 기후변화법 주요 내용

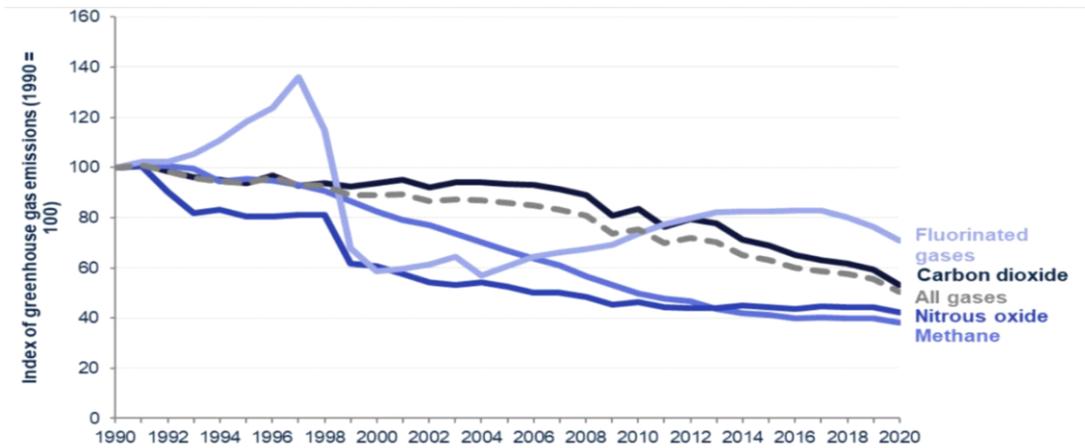
- 2050년 영국의 탄소 순배출량 1990년 기준 80% 이상 감축
- 배출권 거래제 도입 기반 마련
- 폐기물 감축제도 및 일회용매대봉투에 대한 규정 마련
- 기후변화위원회(The Committee on Climate Change, CCC) 설치
- 기후변화의 영향에 따른 영국에의 위험 평가를 내용으로 하는 보고서 제출
- 탄소 예산제도 운영 : 온실가스 배출 가능한 제한량 설정

이와 같은 취지와 더불어, 영국은 2020년에 채택한 녹색 산업 혁명을 위한 10대 중점 계획(The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution), 에너지 백서 2020(Energy White Paper: Powering our net zero future), 2021년에는 2050년 탄소중립 달성을 위한 추가 정책을 담은 ‘2050 탄소중립 전략 보고서(Net Zero Strategy : Build Back Greener)’를 발표하였다. 이와 같은 국가 정책 차원의 다양한 온실가스 감축 노력으로 영국은 현재 유럽연합 중 온실가스를 가장 적게 배출하는 나라 중 하나이며, 2018년 기준 세계경제포럼(World Economic Forum, WEF)의 에너지전환 지수(Energy Transition Index, ETI)가 71로 115개국 가운데 7위를 차지하였다.



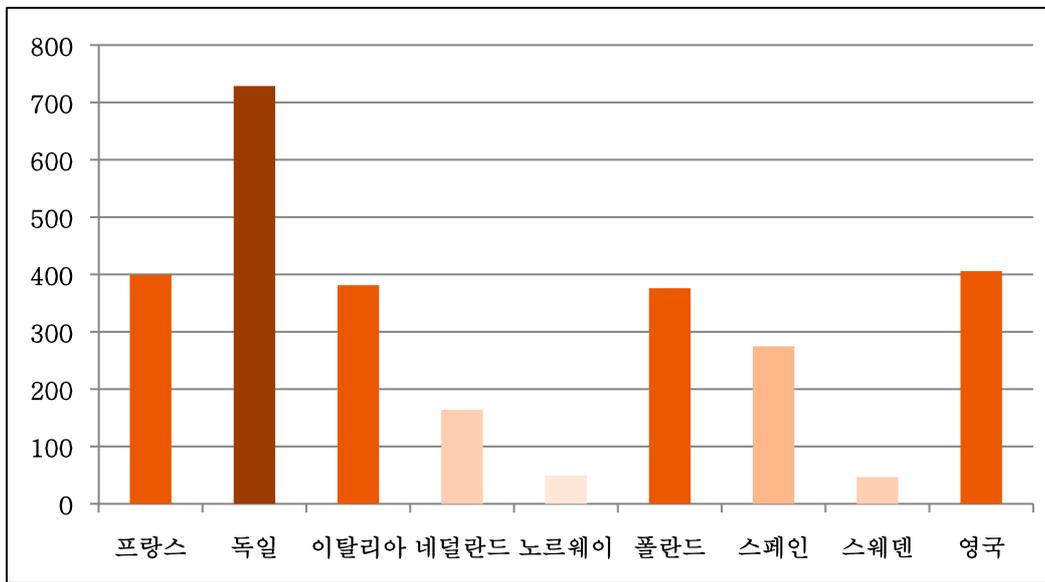
[그림 3.1] 영국의 ETI 2021 결과

영국의 온실가스 배출량은 1990년부터 2020년까지 꾸준히 감소하는 경향을 보여준다. 2020년 기준, CO₂ 배출량은 1990년 대비 47.0%(약 284.3 MtCO₂) 감축하여 2020년에는 321.1 MtCO₂, 메탄과 아산화질소의 배출량은 1990년 대비 각각 61.8%와 57.8% 감축하였다. 플루오르화 가스(F 가스)의 배출량은 1990년보다 현재 29.0% 더 낮은 것으로 추정되며, 수소불화탄소(HFC)가 주된 플루오르화 가스이다.



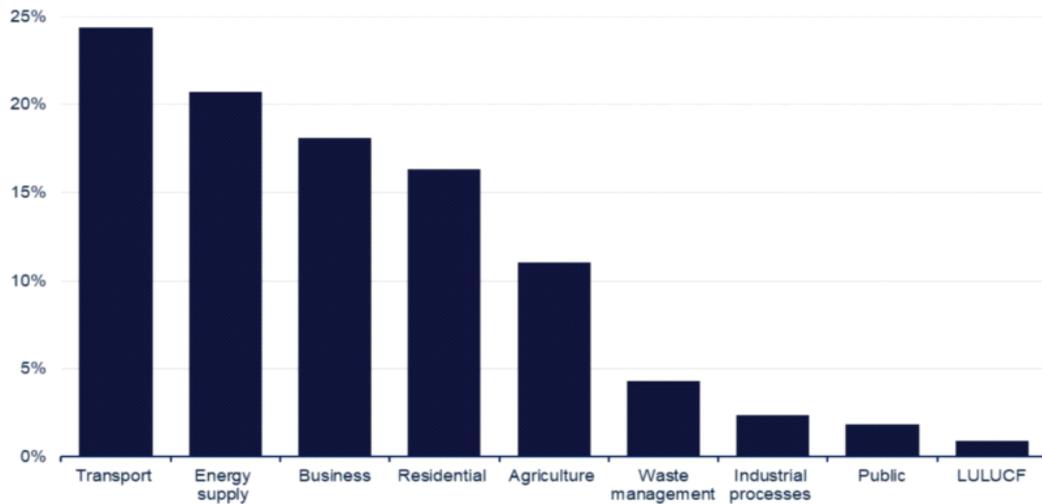
[그림 3.2] 영국 연도별 온실가스 배출 비율

2020년 기준 영국의 국가 전체 온실가스 배출량은 4억 550만 tCO₂-eq이다. 국가 전체 온실가스 배출량 중 24%는 운송 부문, 21%는 에너지 공급, 18%는 비즈니스, 16%는 주거 부문, 11%는 농업에서 발생할 것으로 추정된다. 나머지 9%는 폐기물 관리, 산업 공정, 공공 부문 및 토지 이용, 토지 이용 변경 및 임업(LULUCF) 부문과 같은 나머지 부문에서 발생한다.

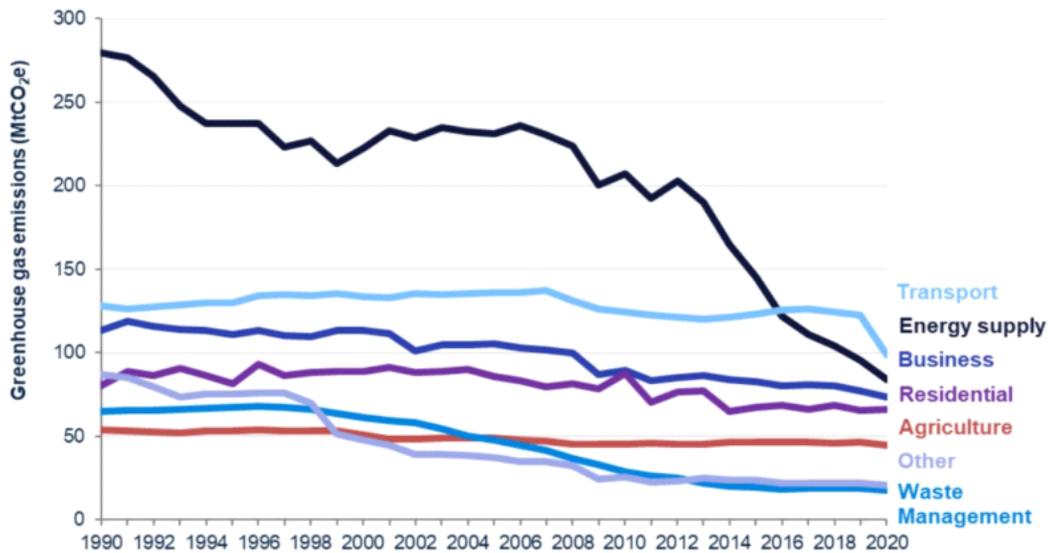


[그림 3.3] 유럽 주요 국가별 온실가스 배출 현황(2020년 기준)

(단위: Gt CO₂-eq)



[그림 3.4] 2020년 부문별 영국 온실 가스 배출량(%)

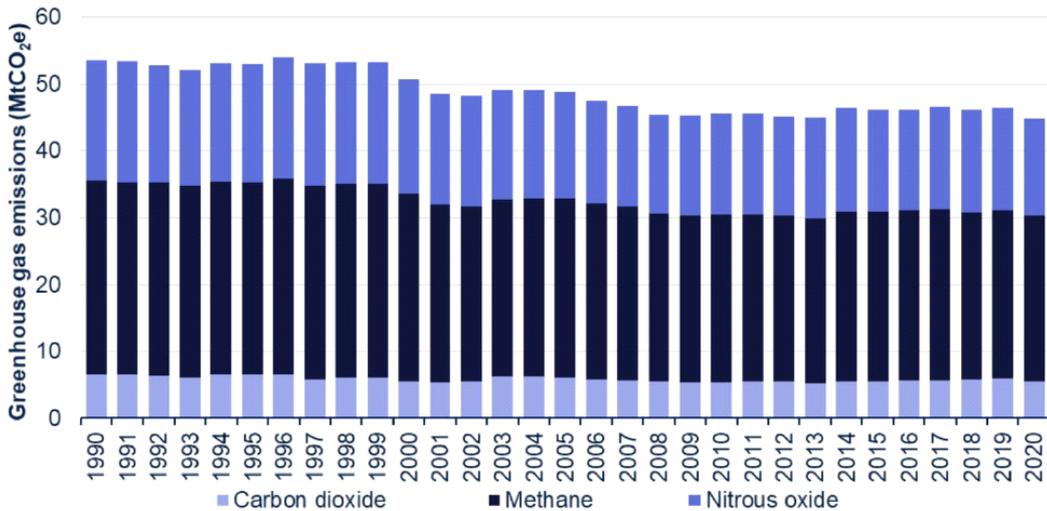


[그림 3.5] 1990-2020년 부문별 영국 온실가스 배출량

농업 부문은 가축, 농업 토양, 고정 연소원 및 오프로드 기계의 사용으로 구성되었다. 영국 총 온실가스 배출량의 11%를 차지하며 메탄(55%)과 아산화질소(32%)의 배출이 지배적이다. 여기서 가장 중요한 배출원은 가축, 특히 소의 장내 발효로 인한 메탄 배출이다.

2019년과 2020년 사이에 농업부문의 배출량이 3% 감소했는데, 이는 주로 석회 및 직간접적인 이산화탄소 배출량 감소로 인한 것이었다.

1990년 대비 2020년에서 농업으로 인한 온실가스 배출량은 약 16% 감소했다. 배출량 감소는 합성 비료 사용의 감소와 동물 수의 감소에 의해 일어났다.



[그림 3.6] 농업의 온실가스 배출량

2021년 10월 19일 영국 정부는 ‘넷제로 전략(Net Zero Strategy : Build Back Greener)’보고서를 발표하면서 2050년 탄소중립을 달성하기 위한 구체적인 투자계획과 중간경로 등을 제시하였다. 넷제로 전략은 2020년 11월에 발표한 ‘녹색 산업혁명 추진을 위한 10대 중점계획’의 세부 계획에 기초하여 작성되었다. 넷제로 전략 보고서에서는 기업과 소비자들이 청정에너지 및 녹색 기술로 전환하는 것을 지원하는 것에 초점을 맞추었다. 전략 보고서에서는 발전, 연료공급·수소, 산업, 열·건물, 수송, 천연자원·폐기물·불소가스, 온실가스 흡수 (removal) 등 총 7개 부문에 대한 탈탄소화 전략을 제시하고 있다.

부문 1. 발전

2035년까지 모든 전기 공급원의 탈탄소화하는 것을 주요 목표로 제시하였다. 또한, 이를 달성하기 위한 주요 수단으로 원전과 해상풍력을 제시하였다. 대규모 원자력 발전소에 대한 최종 투자 결정을 승인하고 추가 원자력 프로젝트에 대한 투자를 결정하였다. 재생에너지의 보급·확대와 관련해서는 1GW의 부유식 해상 풍력단지를 포함해 2030년까지 해상풍력 발전용량 40GW 달성 목표를 제시하였다. 또한 최초의 전력 CCUS 발전소를 배치하기 위해 DPA(Dispatchable Power Agreement)를 구현하고 에너지가격 급등 대응을 위한 에너지 저장장치(ESS) 등의 유연성 전원 확대 방안을 포함하였다.

부문 2. 연료공급·수소

2030년까지 수소 생산설비 5GW 확보 목표를 제시하였다. 수소 생산설비 확보를 위해서는 ‘산업 탈탄소화·수소지원 계획(Industrial Decarbonisation and Hydrogen Revenue Support, IDHRS)’을 통해 2023년에 최대 250MW 규모의 수소 생산 구축 설비(1억 파운드)를 포함하여 총 1억 4천만 파운드를 지원한다는 계획을 제시하였다. 한편, 석유·가스부문 온실가스 배출을 절반으로 감축하는 목표가 제시 되었는데, 이를 달성하기 위한 Oil and Gas Authority의 전략은 석유·가스부문 규제, 대륙붕 개발권에 대한 신규 기후 적합도 평가 체계 구축 등이 제시되었다.

부문 3. 산업

2030년까지 4개의 CCUS 클러스터 조성을 통해 연간 20~30MtCO₂ 규모의 탄소 포집(산업 부문 6 ~ 9 Mt CO₂) 목표를 설정했으며, 이를 위해 3억 1,500만 파운드 규모의 산업에너지전환기금(Industrial Energy Transformation Fund, IETF)을 활용하여 에너지 효율성 및 현장 탈탄소화 설비 설치 지원을 결정했다.

부문 4. 난방 및 건물

2035년까지 신규 가정용 천연가스 보일러 설치를 단계적으로 철폐하는 목표를 제시하였다. 2028년까지 민간임대주택을 EPCC로 업그레이드하기 위한 장기 규제 기준을 설정하고 협의를 거쳐 Social Housing에 대한 장기 규제 기준 설정을 제시하였다. 또한 2026년까지 수소마을 시범 운영 등 저탄소 난방을 활성화하기로 하였다. 이를 위해 방안으로는 주택 탈탄소화 계획과 난방설비교체 보조금 등이 제시되었다.

부문 5. 수송

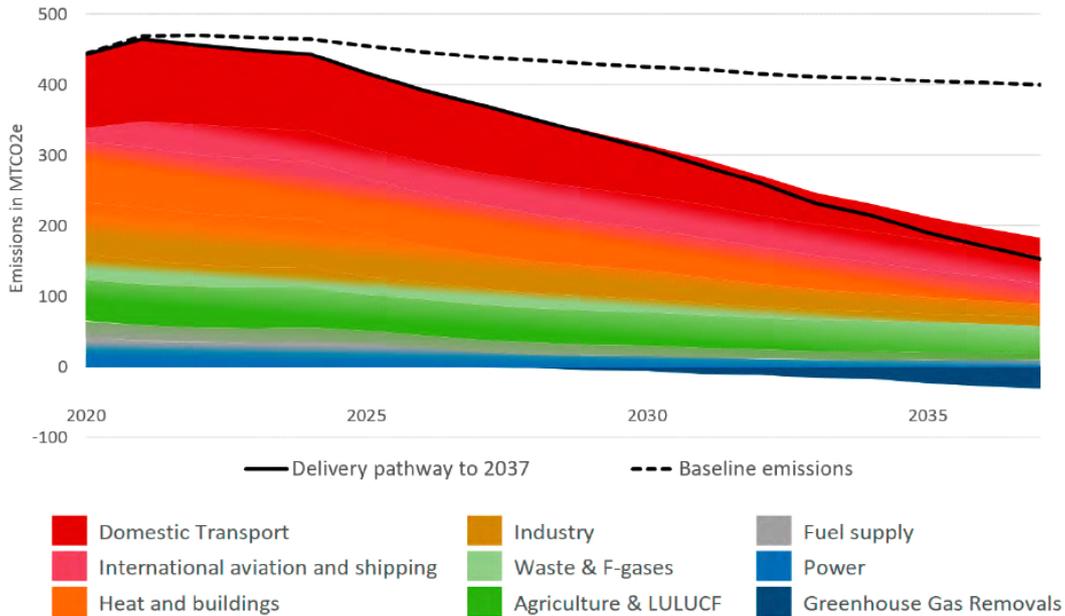
도로수송 탈탄소화 목표가 설정되었는데, 2030년부터 신규 휘발유·경유차 판매를 금지하고, 2035년까지 모든 신차와 배은 배기기관에서 배기가스 무배출을 의무화하였다. 이외에도 무배출차량 보조금 및 전기차 인프라 확충을 지원을 제시하였다. 대중교통과 관련하여서는 2050년까지 무배출 버스 4천 대 확대, 2040년까지 경유 기관차 운행 금지, 2050년까지 철도수송 부문 탄소중립 실현 목표 등이 설정되었다. 또한 무공해 비행을 위하여 2030년 까지 10%의 지속 가능한 항공 연료(SAF)의 제공을 위한 플랜트 개발을 지원하기 위해 1억 8천만 파운드의 자금을 투자할 계획이다.

부문 6. 천연자원·폐기물·불소가스

2021년 말까지 신규 조림면적을 연간 3만ha로 확대하는 목표를 제시하고, 천연자원, 폐기물, 불소가스 관련 R&D에 7,500만 파운드를 투자하겠다는 목표를 제시하였다. 또한 영국 농부의 75%는 2030년까지 저탄소 관행에 참여하고 35년까지 85%를 목표로 제시하였다. 정부는 넷제로 달성을 위한 새로운 환경 토지 관리 계획을 포함한 농업 계획을 도입하고 있다.

부문 7. 온실가스 흡수(removal)

2030년까지 연간 최소 5MtCO₂의 온실가스 흡수를 목표로 제시하였으며, 이를 위한 직접 공기 탄소 포집 및 저장(DACCS) 개발에 1억 파운드 투자를 결정하였다.



[그림 3.7] 부문별 2037년까지 온실가스 감축 목표 경로

또한, 2018년부터 시작된 25개년 환경 계획의 목표는 영국의 공기와 수질은 개선하고 멸종 위기에 처한 많은 식물, 나무 및 야생 동물 종을 보호하는 것이며, 10가지 환경 부문에서 목표가 있다.

목표 1. 깨끗한 공기

5가지 유해한 대기 오염 물질의 배출을 줄이기 위한 법적 구속력 있는 목표를 달성 하고 2040년까지 새로운 기존 휘발유 및 디젤 자동차 및 밴 판매를 중단 하였다. 또한 기존의 모범 사례와 성공적인 규제 프레임워크를 기반으로 산업 배출량의 지속적인 개선을 목표로 한다.

목표 2. 깨끗하고 풍부한 물

2021년까지 환경 기준을 지원하기에 충분한 물이 있는 수역의 비율이 지표수체의 경우 82%에서 90%로, 지하수체의 경우 72%에서 77%로 증가하도록 보장하였다. 2030년까지 지정된 해수에서 유해 박테리아를 최소화하고 수질의 청결을 지속적으로 개선한다.

목표 3. 번성하는 식물과 야생 동물

해양에서는 생물다양성의 손실을 되돌리고 실행 가능한 경우 복원하고, 주요 종의 개체군이 적절한 연령 구조로 지속 가능하도록 보장한다. 마지막으로 건강하고 지속 가능한 생태계를 지원하기 위해 해저 서식지가 생산적이고 충분히 광범위하도록 보장한다.

육지에서는 100만 ha의 육상 및 담수 보호 지역 중 75%를 유리한 상태로 복원하고 장기적으로 야생 동물 가치를 확보한다. 광범위한 혜택을 제공하는 토지 관리 변경의 일환으로 우선 서식지에 중점을 두고 보호 지역 네트워크 외부에 50만 ha의 야생 동물이 풍부한 서식지를 생성 또는 복원한다. 마지막으로 멸종 위기에 처한 상징적이거나 경제적으로 중요한 동물, 식물 및 곰팡이 종을 복구하기 위한 조치를 취하고 가능한 경우 영국 및 해외 영토에서 알려진 멸종 위기에 처한 종의 멸종 또는 손실을 방지하기 위한 조치를 마련한다.

목표 4. 환경 위협으로 인한 피해 위험 감소

토지 이용에 대한 결정이 현재 및 미래의 홍수 위험 수준을 반영하도록 하며, 장기간의 건기 및 가뭄 시 물 공급 중단 최소화 보장, 가정, 기업 및 기반 시설의 장기적인 복원력 향상을 목표로 한다.

목표 5. 자연의 자원을 보다 지속 가능하고 효율적으로 사용

2050년까지 자원 생산성을 두 배로 늘리고 자원에서 얻는 가치와 이점을 극대화한다. 2030년까지 영국의 모든 토양이 지속 가능하게 관리하고, 자연 자본

사고를 사용하여 적절한 토양 측정 및 관리 접근 방식을 개발한다. 또한 식품이 지속 가능하고 수익성 있게 생산을 목표로 한다.

목표 6. 아름다움, 유산 및 자연 환경과의 참여 향상

자연 경관의 아름다움을 보호 및 강화하고 유산에 대한 고려하면서 환경적 가치를 향상시킨다. 사회의 모든 부문에서 환경을 개선하기 위한 행동을 늘리는데 중점을 둔다.

목표 7. 기후 변화 완화 및 적응

토지 사용, 토지 사용 변경, 농업 및 폐기물 부문, 불소화 가스 사용을 포함한 온실가스 배출을 지속적으로 줄이고 모든 정책, 프로그램 및 투자 결정이 금세기에 가능한 기후 변화 범위를 고려한다.

목표 8. 낭비 최소화

2050년까지 폐기물 제로 달성 및 2042년 말까지 플라스틱 폐기물 제거를 목표로 제시하였다. 매립, 재사용 및 재활용을 포함하여 기존의 모든 폐기물 목표를 충족하고 야심찬 새로운 미래 목표 및 이정표 개발하고 모든 종류의 해양 플라스틱 오염을 줄이고 가능한 경우 방지하고자 한다.

목표 9. 화학 물질에 대한 노출 관리

스톡홀름 협약에 따른 약속에 따라 2025년까지 폴리염화비페닐의 사용을 철폐하고 2030년까지 육상에서 대기 및 수온으로 배출되는 수은을 50% 감소시킬 것이다. 환경에 무시할 수 있는 배출량이 있는지 확인하기 위해 2030년까지 파괴되거나 비가역적으로 변형되는 잔류성 유기 오염 물질의 양을 크게 늘리려고 한다.

목표 10. 생물보안 강화

기존 동식물 질병의 영향을 관리하고 감소시키고 외래 침입종들의 위험을 낮추고 대응 체계를 마련한다. 또한 2018년 나무 건강 회복 계획에 명시된 세부 목표를 달성하며 풍토병의 영향을 줄이기 위해 업계와 협력 체계를 마련한다.

2021년 1월 1일부터 시작된 농업 전환 계획의 목표는 2028년까지 공공 보조금에 의존할 필요가 없는 지속 가능한 사업 운영, 수익성 있는 식량 생산과 자연 회복을 제공하는 방식의 사업 관리, 오늘날 이용할 수 있는 우수한 현대 기술과 우수한 농장 축산업의 전통적 기술의 융합, 환경 및 동물 복지를 제공하는 데 도움이 되는 공적 자금, 영국 식품을 국제적인 환경 규제를 대응할 수 있도록 환경적 피해를 방지하고, 생물보안을 보호하고, 동물 복지를 보호하는 명확하고 관련성 있는 결과 중심의 법적 기준을 제시하는 것이다.

2021년에는 직접지불을 줄이고 기존 계획 및 규정이 작동하는 방식을 개선하여 농부들이 환경 및 생산성 향상에 투자할 수 있도록 보조금을 제공했다. 보조금을 통하여 농가가 토지와 사업을 보다 지속 가능하게 관리할 수 있도록 제도, 보조금 및 기타 유형의 지원을 했다.

2022년부터 2023년에 직접 지불에 대한 총 지출을 약 15% 줄이고 슬러리 투자 계획을 제공하여 농업으로 인한 오염을 줄이고 25개년 환경 계획 및 넷제로에 기여하도록 할 계획이다. 또한 나무 심기, 이탄지 복원 및 자연 회복을 지원하는 몇 가지 독립형 프로그램을 운영할 것이다.

2024~2028년에는 협의를 거쳐 토지에서 단계적으로 직불금을 해체하고 규제 및 집행을 중단하고 해당 부문과 공동 설계할 새로운 접근 방식을 설정한다.

농업 전환 계획에서는 Net Zero 목표를 달성하기 위한 농업의 온실가스 배출을 줄이기 위해 토지를 관리하는 방식 변화, 탄소 저장고 보호 및 증가를 통해 영국 전역에서 조림 및 토탄 복원율을 높이는 동시에 기후 변화 위험에 대한 적응성과 탄력성을 지원한다.

지속 가능한 농업 인센티브(Sustainable Farming Incentive ,SFI)은 농업 전환 계획의 세 가지 새로운 환경 토지 관리 계획 중 일부이다. 주요 목표는 자연 환경의 유지 및 향상, 탄소 배출 감소, 사육 동물의 건강과 복지 향상이다. 2021년 10월 15일 기준 938명의 농부가 시범 프로그램에 참여하기 위해 신청서를 제출했다.

2022년 6월 부터 신청을 받은 SFI는 현재 세 가지 표준이 존재한다.

- 경작 및 원예 토양 표준: 입문 수준(헥타르당 22파운드), 중급 수준(헥타르당 40파운드)

Level	Payment per hectare per year	Actions
Introductory	£22	<ul style="list-style-type: none"> • Test soil organic matter • Undertake a soil assessment and produce a soil management plan • 70% of winter cover to protect soil (includes any kind of winter cover including autumn sown crops) • Addition of organic matter to all of the land entered at least once during the 3-year agreement
Intermediate	£40	<ul style="list-style-type: none"> • Test soil organic matter • Undertake a soil assessment and produce a soil management plan • 70% of winter cover to protect soil (must include multi species green cover which covers at least 20% of the total land entered in standard) • Addition of organic matter to all of the land entered at least once during the 3-year agreement (includes multi species green cover used to fulfil winter cover requirement above)

[그림 3.8] 경작지 및 원예용 토양 표준 개요

- 개선된 초원 토양 표준: 입문 수준(헥타르당 28파운드), 중급 수준(헥타르당 58파운드)

Level	Payment per hectare per year	Actions
Introductory	£28	<ul style="list-style-type: none"> • Test soil organic matter • Undertake a soil assessment and produce a soil management plan • Minimise bare ground over winter to no more than 5%
Intermediate	£58	<ul style="list-style-type: none"> • Test soil organic matter • Undertake a soil assessment and produce a soil management plan • Minimise bare ground over winter to no more than 5% • Establish or maintain herbal leys (mixture of grasses, legumes, herbs and wildflowers) to improve soil health on at least 15% of the land entered

[그림 3.9] 개선된 초원 토양 표준 개요

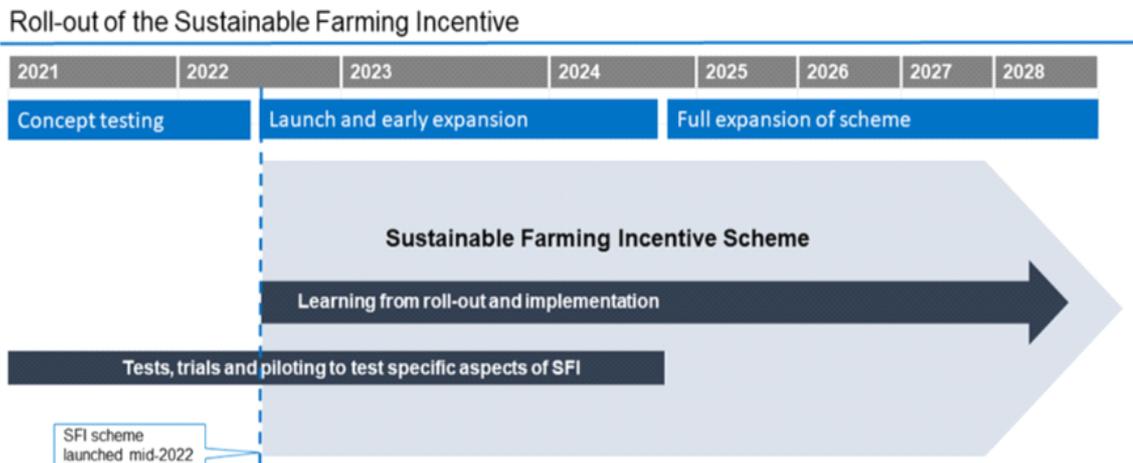
- 황무지 및 황무지 방목표준(초급)

입문 : 연간 계약된 고정 148파운드 및 헥타르당 6.45파운드의 추가 지불

이 기존 계획은 2024년까지 계속 사용할 수 있으며, 이후 초기에 잘 다루어지지 않는 고지대 및 미개간 초원 농장 등 광범위한 제안이 포함될 예정이다.

추가 표준 2023-2025 도입(변경될 수 있음):

- 2023년: 영양관리, 통합 해충 관리, 생물타리,
- 2024년: 혼농임업, 낮고 유입되는 초원 없음, 황무지 및 거친 방목(모든 수준), 수역 완충, 농지 생물다양성
- 2025년(지시적): 본질적인, 농장 내 삼림 지대, 과수원 및 전문 원예, 유산, 마른 돌담



[그림 3.10] 지속 가능한 농업 인센티브의 롤아웃

1.2. 영국의 농업 분야 탄소중립 달성을 위한 시사점

영국은 대륙과 분리된 지리적 여건하에서 재생에너지 중심의 성공적 에너지전환과 탄소중립 성과를 보여주었다는 점에서, 유사한 방향으로 정책을 추진하고 있는 우리나라가 참고할 만한 국가이다.

영국의 지속 가능한 농업 인센티브는 토지를 관리하여 농업의 생물 다양성을 높이고 기후 회복력, 식량 생산 개선, 수질 개선 및 온실가스 배출을 감축하는 농부들에게 인센티브를 제공하는 제도이다. 농부들은 좋은 토양의 영양분과 구조를 유지하고 겨울 녹지 덮개를 구축하여 유수 및 토양 침식으로부터 토양을 보호하며 온실가스 배출을 줄일 수 있다.

SFI는 초기 단계로 온실가스 배출량 감축보다 토양 및 생물다양성에 초점을 두고 표준을 적용하고 있어서 Net Zero 달성에 어떤 부분으로 기여하는지 알 수 없었다. 따라서 계획의 중반 단계로 넘어가는 2024년 이후 SFI의 표준이 온실가스 배출량 감축부문에서 어떤 방식으로 표준을 적용하는지 지속적인 확인이 필요하다.

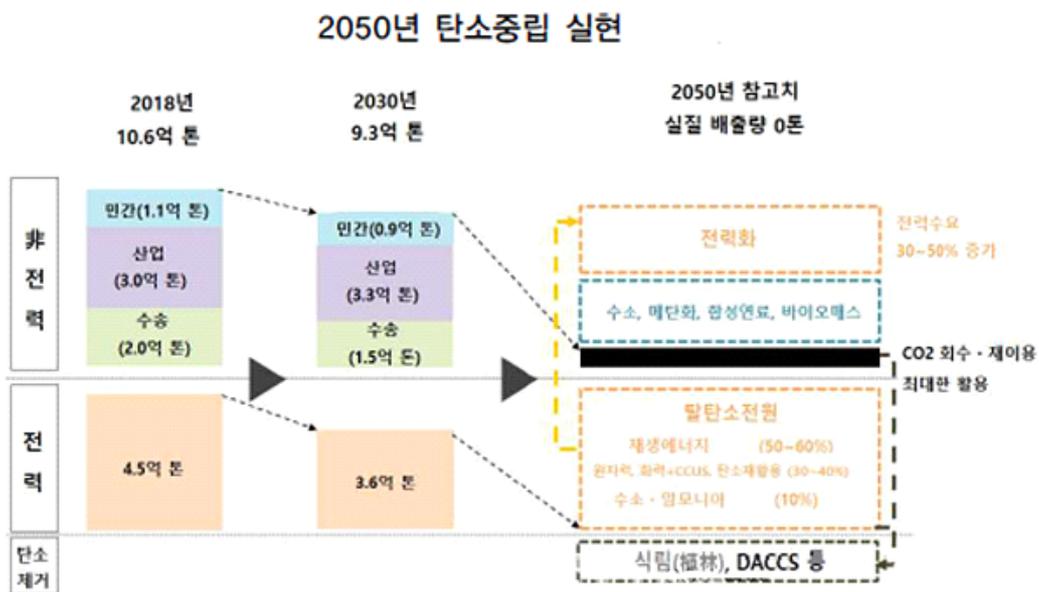
2. 일본

2.1. 일본의 탄소중립 관련 정책 현황

일본 정부는 2020년 10월, 2050년까지 탈탄소 사회 실현(탄소중립)을 선언하고, 관련 정책 추진을 본격화하였다. 2050탄소 중립을 실현하기 위해 ‘그린성장 전략’(2020.12월)을 책정하고, ‘지구온난화대책계획’을 개정(2021.4월)하였으며, ‘제6차 에너지기본계획(2021.10월)’을 발표하였다.

‘그린성장전략’에서는 14개 중점사업별 탄소중립 목표를 달성하기 위해 단계별 실행계획을 책정하였으며, ‘지구온난화대책계획’에서는 2030년 온실가스를 2013년 대비 46% 감축할 것을 목표로 하였다. 또한 ‘에너지기본계획’에서는 재생에너지 발전 비중을 2019년 18.7%에서 2030년 36~38%까지 확대하는 ‘재생에너지 주력 전원화’ 목표를 제시하였다.

일본은「지구온난화완화대책 추진에 관한 법률(地球温暖化対策の推進に関する法律)」을 1998년에 제정하였고, 2021년 일부 개정하였다. 지구 온난화 대책 기본법의 목표는 다음과 같다.



자료 : 經濟産業省(2020.12.25.)

[그림 3.11] 일본 2050년 탄소중립 목표

2010년 법률 제 177호 지구 온난화 대책 기본법 목표

- 제 10조-2020년까지 일본의 온실가스 배출량을 1990년 대비 25% 삭감
- 제 11조- 2020년까지 1차 에너지 총공급량에서 재생에너지 비중을 10% 증가
- 2050년까지 80% 삭감 목표
- 제 15조-재생에너지 이용촉진을 위해 고정가격매입제도 도입 규정

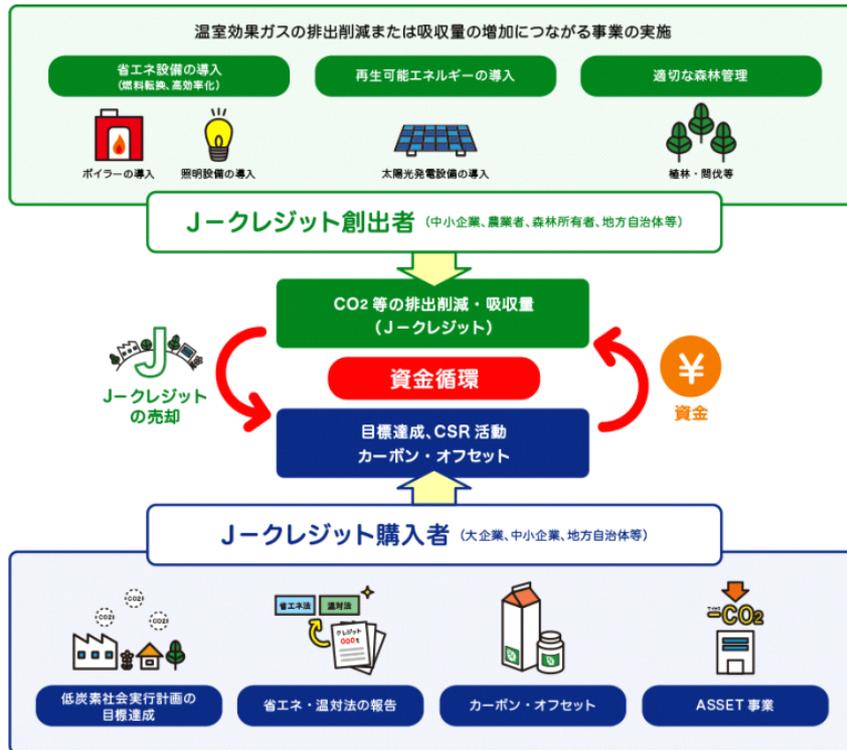
일본의 온실가스 총배출량은 2013년도 이후부터 6년 동안 꾸준히 감소하였다. 2019년 온실가스 총배출량은 전년대비 2.9% 감소한 12억 1,200만 ton을 기록하였고 이는 2013년과 비교하였을 때 14%(1억 9,730만 ton) 감소한 것이다. 2013년 대비 2019년도 온실가스 배출량 감소 요인은 에너지 소비량 감소(4,080만 ton) 및 재생에너지 도입 확대(8,410만 ton) 등 전력 분야에서의 감소이다.



[그림 3.12] 일본의 연도별 온실가스 배출량 비율

또한 일본에서는 온실가스 배출권 거래제인 ‘J-credit 제도’를 시행하고 있다. ‘J-credit 제도’는 재생에너지 및 에너지효율 설비 도입, 삼림 관리 등에 따라 감축·흡수된 온실가스 배출량을 배출권으로서 일본 내에서 거래하는 제도다. 일본 경제산업성은 환경성·농림수산성과 2013년부터 시작된 ‘J-credit 제도’ 개정

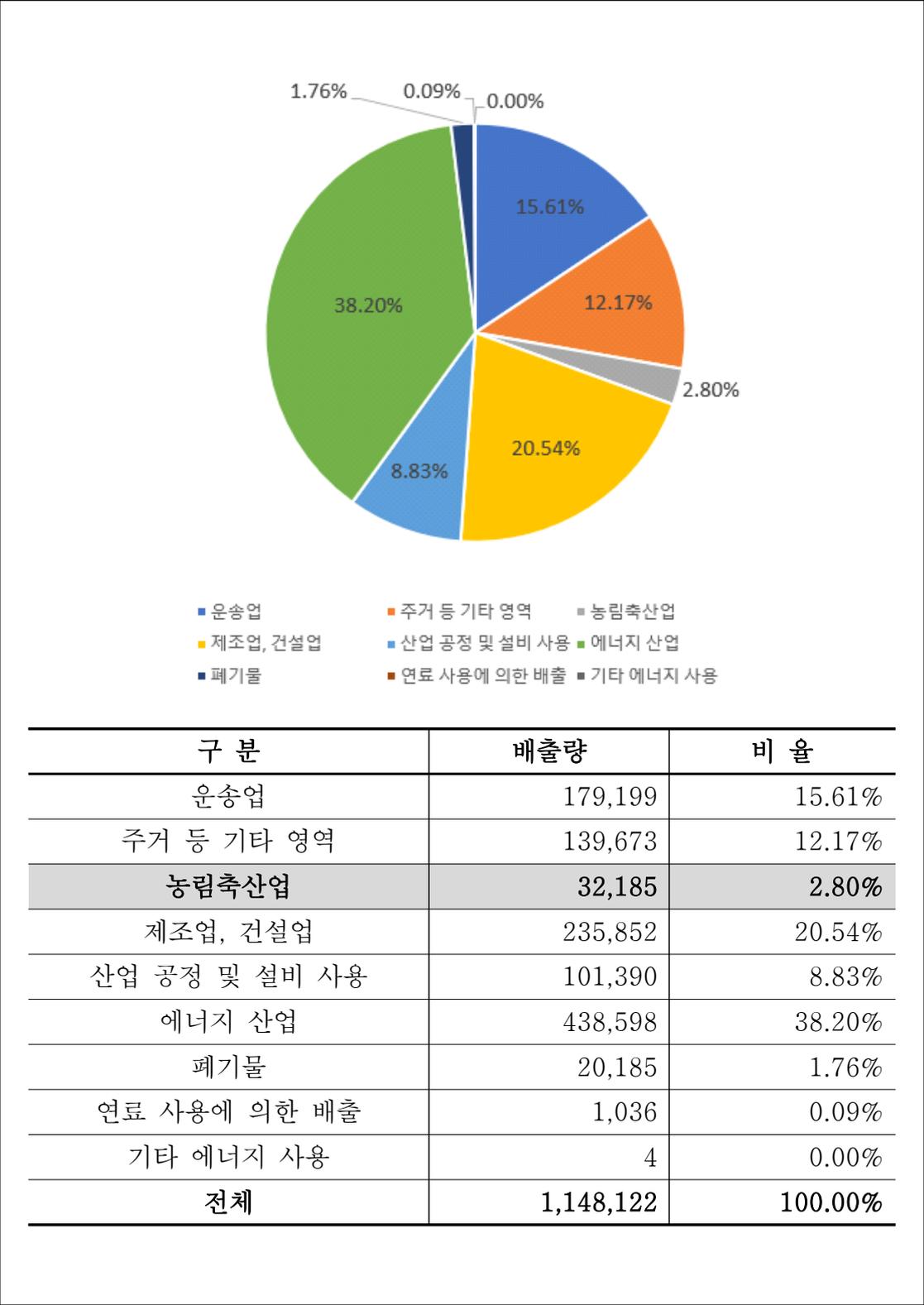
을 검토하고 있다. 개정 방향과 관련 현재는 재생에너지 및 에너지효율 설비 도입, 삼림 관리에 따른 온실가스 감축·흡수분만 배출권 인가 대상이나 이를 수소·암모니아·CCUS 등의 기술도 배출권 인가 대상으로 확대한다는 방침이다.



[그림 3.13] 일본 J-credit(Japancredit) 제도

* 출처: <https://enechange.jp/articles/j-credit>

2020년도, 일본의 국가 전체 온실가스 총배출량은 약 1,148,122 kt CO₂-eq.이다. 산업별 배출량을 살펴보면 에너지 산업이 약 4억 3,800만 t CO₂-eq.로 전체 배출량의 38%를 차지하여 가장 높게 나왔고, 제조업·건설업이 20%, 운송업이 15%를 차지한다. 농림축산업 배출량의 비중은 전체의 2.8%로 약 3만 2,000 t CO₂-eq.가 배출된다.



[그림 3.14] 일본의 영역별 온실가스 배출 비율(2020년 기준)

(단위: kt CO₂-eq.)

일본의 농업 분야 온실가스 배출량은, 2018년 31,584 kt CO₂-eq.에서 2019년 31,682 kt CO₂-eq.으로 2018년 대비 0.3%(98 kt CO₂-eq.) 증가했다. 주요 증가요인은 축산분야의 장내발효 및 가축분뇨처리에서 144 kt CO₂-eq.이 증가했기 때문이다. 한편 벼재배는 69 kt CO₂-eq.이 감소했다. 2019년 농업 분야 온실가스 배출 비중은, 축산업의 장내발효 및 가축분뇨처리 42.9%, 벼재배 37.7%, 농경지 토양 17.6% 순이며, 이밖에 잔여 농작물 소각 0.3%, 석회시용 및 요소 시비가 각각 0.8%로 나타났다.

<표 3.1> 농업 분야 온실가스 배출량

(단위: kt CO₂-eq.)

분 야	2018년	비 중	2019년	비 중
장내발효(CH ₄)	7,465	23.6%	7,563	23.9%
가축분뇨처리	5,972	18.9%	6,018	19%
소계(장내발효+분뇨처리)	13,437	42.5%	13,581	42.9%
벼재배(CH ₄)	12,015	38%	11,946	37.7%
농경지 토양(N ₂ O)	5,556	17.6%	5,581	17.6%
잔여 농작물 소각	85	0.3%	84	0.3%
석회 시용(CO ₂)	242	0.8%	242	0.8%
요소 시비(CO ₂)	248	0.8%	248	0.8%
합 계	31,584	100.0%	31,682	100.0%

* 출처: 일본 국립환경연구소, 「일본국 온실가스 인벤토리 보고서」, 2021년

2019년 일본 전체 온실가스 배출량에서 차지하는 축산분야의 배출량 비중은, 농업 비중 2.6%에 농업에서 축산(장내발효+분뇨처리) 비중 42.9%를 곱한 값으로 추산되는데, 약 1.1%로 추산된다.

2.1.1. 축산분야 축종별 온실가스 배출현황

축종별 온실가스 배출량 비중을 파악하기 위해서는, 축산분야 배출량 구성항목 ‘장내발효’와 ‘가축분뇨처리’를 축종별로 구분하여 볼 필요가 있다. 소, 물소, 면양, 산양 등 반추동물은 여러 개의 위를 가지고 있으며, 첫째 위에서 섬유질(셀룰로오스) 등을 분해하기 위해 혐기성발효를 하는데, 이때 메탄가스(CH₄)가 발생한다. 말과 돼지는 반추동물이 아닌 위가 하나인 동물이지만, 소화관 내 발효로 메탄가스(CH₄)를 미량 발생시켜 대기 중으로 방출한다. 2019년 ‘장내발효’

온실가스 배출량은 7,563 kt CO₂-eq.으로 일본 전체 배출량의 0.6%를 차지한다. 1990년도 배출량 9,423 kt CO₂-eq.과 비교하면 19.7%가 감소하였다. 감소의 주요 요인은 소 사육두수의 감소로 보인다. 축종별 비중은 비육우 50.6%, 젓소 44.6%, 돼지 4.2% 순으로, 비육우와 젓소가 95.2%를 차지한다.

<표 3.2> 축종별 장내발효 메탄가스(CH₄) 배출량

(단위: kt CO₂-eq.)

축종	메탄가스(CH ₄)	CO ₂ 환산	비중
젓소	135.000	3,375.00	44.6%
비육우	153.000	3,825.00	50.6%
면양	0.170	4.25.00	0.1%
돼지	12.800	320.00	4.2%
물소	0.006	0.15	0.0%
산양	0.120	3.00	0.0%
말	1.400	35.00	0.5%
합계	302.5	7,563	100.0%

* 출처: 일본 국립환경연구소, 「일본국 온실가스 인벤토리 보고서」, 2021년

2.1.2. 일본 농림수산업 분야 탄소배출 저감 정책

일본 농림수산업성은 농업의 환경부하 저감을 목표로 하는 ‘녹색 식량시스템 전략’을 발표했다. 이 전략은 유기농업 확대나 화학농약·비료의 삭감 등을 통해 2050년까지 농림수산업의 이산화탄소(CO₂) 배출량을 실질 제로로 하는 것이다.

전략의 핵심은 ‘식량·농림수산업의 생산력 향상과 지속성의 양립을 혁신(이노베이션)으로 실현’ 한다는 것이다.

이를 위해 2050년까지 달성해야 할 8가지 목표를 설정했다. ① 농림수산업 탄소배출 제로를 실현, ② 저위험 농약으로 전환, 종합적인 병충해 관리체계 확립·보급, 종래 살충제를 대체하는 신규 농약 등의 개발로 화학농약 사용량을 50% 저감, ③ 수입 원료 및 화석연료를 원료로 사용하는 화학비료 사용량을 30% 저감, ④ 경지면적에서 차지하는 유기농업 재배면적 비율을 25%(100만ha)로 확

대, ⑤ 2030년까지 식품제조업 노동생산성을 최저 3할 향상, ⑥ 2030년까지 식품기업에서의 지속가능성을 배려한 수입원재료 조달의 실현을 추구, ⑦ 엘리트·트리(제2세대 정영목) 등을 임업용 묘목의 9할 이상으로 확대, ⑧ 일본 장어, 참다랑어 등의 양식에서 인공 종묘 비율 100%를 실현 등이다.

목표 달성을 위한 전략적 추진 방향으로는, 2040년까지 혁신적인 기술·생산 체계를 순차적으로 개발하고, 2050년까지 이를 바탕으로 ‘정책수단의 그린화’를 추진하고, 사회적 기술 적용을 실현한다.

<표 3.3> 녹색 식량시스템 전략 2050년까지 달성 모습과 추진 방향

구분	주요 내용
온실가스	<ul style="list-style-type: none"> 2050년까지, 농림수산업의 이산화탄소(CO2) 배출량 제로 달성
화학농약	<ul style="list-style-type: none"> 2040년까지, 기존 살충제를 대체하는 신규 농약 등을 개발 2050년까지, 화학농약 사용량을 50% 저감
화학비료	<ul style="list-style-type: none"> 2050년까지, 수입원료 및 화석연료를 원료로 사용하는 화학비료 사용량을 30% 저감
유기농업	<ul style="list-style-type: none"> 2040년까지, 주요 품목에 대해 농업인 다수가 실천할 수 있도록, 차세대 유기농업에 관한 기술을 확립 2050년까지, 유기식품 시장을 확대하면서 경지면적에서 차지하는 유기농업 재배면적 비율을 25%(100만ha)로 확대
원예시설	<ul style="list-style-type: none"> 2050년까지 화석연료를 사용하지 않는 시설로 완전 이행을 추구
농림업 기계·어선	<ul style="list-style-type: none"> 2040년까지 농림업기계·어선의 전기화·수소화 등에 관한 기술 확립을 지향
재생가능 에너지	<ul style="list-style-type: none"> 2050년 탄소중립 실현을 위해 농림어업의 건전한 발전에 기여하는 형태로 국가차원의 재생에너지 도입확대에 보조를 맞추어, 농산어촌에 재생가능에너지 도입을 지향
식품낭비	<ul style="list-style-type: none"> 2030년까지 식품 낭비를 2000년도 대비 절반으로 줄이고, 2050년까지 AI에 의한 수요예측 및 새로운 포장자재 개발 등의 기술로 식품 낭비를 최소화
식품산업	<ul style="list-style-type: none"> 2030년까지 식품제조업 자동화 등을 추진, 노동생산성을 3할 이상 제고(2018년 기준) 또한 2050년까지 AI활용으로 완전 무인 식품제조라인을 실현 2030년까지 유통 합리화를 추진하여, 음식료품 도매업에서 매출에서 차지하는 경비비율을 10%로 감축하고, 2050년까지 AI, 로봇틱스 등의 새로운 기술을 활용하여 유통의 전과정에서 성력화 및 자동화를 달성

* 출처 : 일본농림수산업성 「녹색 식량시스템 전략」, 2021년 5월

2.1.3. 축산분야 탄소배출 저감 기술개발

‘녹색 식량시스템 전략’은 ‘농림수산업의 생산력 향상과 지속성의 양립’을 기술 혁신으로 달성하고, 나아가 2050년 탄소배출 제로 달성에 기여하고자 하는 전략이다. 이를 위해 2050년까지 분야별 달성해야 할 기술 혁신 공정표를 제시하고 있다. 화우의 경우, 2035년까지 생산량을 2018년도 생산량 14.9만 톤의 2배인 30만 톤으로 늘리겠다는 화우 생산 배증 계획을 공표(2019년 12월)한 바 있다. 이를 위해 번식우 마릿수를 늘리는 농가에 대해 장려금을 지급하고 있다. 장려금은 소규모 농가를 우대하는데, 늘리는 마릿수 1두당, 50두 미만 농가에 대해서는 24.6만 엔, 50두 이상 농가에는 17.5만 엔을 지급한다.

<표 3.4> 축산분야 탄소배출 저감 기술개발 내용 및 공헌 분야

기술개발 내용	공헌 분야
<ul style="list-style-type: none"> 퇴비 고품질화, 펠릿화 촉진, 퇴비 이용 새로운 비료 생산, 광역순환이용시스템 구축 	화학비료 저감, 자원순환 온실가스 삭감
<ul style="list-style-type: none"> 온실가스 배출량이 적고, 저비용 가축배설물 처리시설 개발·보급 	지속적인 축산물생산 온실가스 삭감
<ul style="list-style-type: none"> 가축배설물 중 유용물질(질소, 인 등) 및 에너지의 고효율 회수·활용기술 개발 	비료원료 국산화 온실가스 삭감
<ul style="list-style-type: none"> 흰개미로 인한 미이용 목재의 사료화 	사료 국산화
<ul style="list-style-type: none"> AI 및 ICT 등을 활용한 사양관리 기술 고도화 	사료와 가축분뇨 삭감 동물약품 삭감, 온실가스 삭감
<ul style="list-style-type: none"> AI 및 ICT, 로봇틱스 등 기술을 활용한, 사료생산 작업노동 경감, 사료유통 합리화(완전자동화 사료생산·조제, 물류, 급이 등) 	사료 국산화
<ul style="list-style-type: none"> 방목을 중심으로 노동절감 및 환경부하가 낮은 가축의 사양 관리 기술 보급 	사료 국산화
<ul style="list-style-type: none"> 사료옥수수 등의 저비용 다수성 향상, 작부·이용 확대 	사료 국산화
<ul style="list-style-type: none"> 다기능 노동절감형 혁신적인 백신 개발 	가축질병 예방, 동물복지

기술개발 내용	공헌 분야
<ul style="list-style-type: none"> 스마트 기술(행동센서· AI처리)을 활용한 가축의 동물복지 대응형 사료기술 개발 	동물복지
<ul style="list-style-type: none"> 빅데이터·AI를 활용한 기존 풀 종자의 혼과·품종 선정 기술 보급 	사료 국산화
<ul style="list-style-type: none"> 가축분뇨 유래 N₂O를 삭감하는 아미노산 밸런스 개선사료의 개발 	온실가스 삭감
<ul style="list-style-type: none"> 소트림(소화관 내 발효) 유래 메탄 배출을 억제하는 사료의 개발·루멘 환경 제어 기술 	온실가스 삭감
<ul style="list-style-type: none"> 미생물 기능을 활용한 젖소의 메탄 삭감 생산시스템 개발 	온실가스 삭감
<ul style="list-style-type: none"> 양돈오수 정화처리 유래 N₂O를 삭감하는 탄소섬유 리플렉터 	온실가스 삭감
<ul style="list-style-type: none"> 사료 이용성이 높은 가축의 개량(적은 사료로 잘 찌는 품종) 	사료와 가축분뇨 삭감 동물의약품 삭감 온실가스 삭감

* 출처 : 일본농림수산성 「녹색 식량시스템 전략」, 2021년 5월

축산분야, 2050년까지의 기술개발 공정표, 주요 내용은, 첫째 메탄가스 배출을 억제하는 사양 관리 기술의 개발 및 보급이다. 사료개발과 가축개량이 핵심이다. 두 번째는 가축배설물 처리 및 사료 설계 개선이다. 가축배설물로부터 아산화질소 발생 억제 사료 개발, 가축배설물 퇴비화 및 청정 처리가 주요 내용이다. 이 밖에도 AI, ICT 활용, 사료 국산화 등도 주요 기술개발 항목이다.

2.2. 일본의 농업 분야 탄소중립 달성을 위한 방법론

2.2.1. 저단백 사료 활용(아미노산 균형 개선 사료 공급)으로 소, 돼지 및 육계 배설물 처리 시 N₂O 배출 저감

아미노산을 첨가한 저단백질(저CP)사료를 돼지에게 급여하는 것으로, 돼지의 질소배설량을 감소시키는 동시에 사료생산에서 가축 배설물 처리까지의 이용 과정 전체에서의 온실가스를 20% 저감할 수 있다는 것을 확인했다. 배설물 처리 배수에 포함된 질소량도 저감할 수 있으며, 오수처리 비용도 저하된다는 것을 제시했다. 온실가스의 배출 삭감량을 매매하는 J-크레딧(Japancredit)제도로 수입을 얻을 수 있기 때문에 축산농가에서의 메리트가 클 것으로 예상된다.

저CP(조단백, 粗蛋白質)사료는 사료 가운데 콩 찌꺼기 등의 단백질을 줄인 사료이다. 이 기술은 사료용 아미노산을 첨가하여 사료 중의 필수아미노산의 밸런스를 최적으로 하는 것으로, 급여하는 단백질의 전체량을 절감해도 체내에서 합성되는 단백질의 양을 확보하며 증체(增體)를 저하시키지 않고 돼지가 배설하는 질소의 양을 삭감할 수 있다. 이로 인해 배설물 처리에서 발생하는 온실가스 가운데 아산화질소(N₂O)가 저감 된다.

사료용 아미노산을 첨가한 저CP사료는 이미 판매되고 있다. 그리고 저CP사료가 돼지의 질소배설량을 저감해 그에 따른 온실가스가 줄어든다는 연구 결과가 있다. 그러나 배설물 처리나 사료용 아미노산의 제조 등을 포함한 저CP사료의 이용 과정 전체로서의 온실가스 배출 배수의 환경영향 평가는 실시되지 않았다.

저CP 사료는 콩 찌꺼기를 줄여주는 것으로, 사료용 아미노산의 비용을 포함해도 관행의 배합사료와 비교해 사료비는 거의 동일하거나 저렴해지게 된다.

2.2.2. 경작지/초지의 무기질 토양에 바이오차 첨가: 바이오숯의 농업 응용

경작지 및/또는 초원에 바이오 숯을 추가하여 광물성 토양에 내화성 탄소를 저장하는 방법이다.

바이오차의 제조

바이오매스를 산소가 없거나 매우 적은 환경에서 약 300~800°C로 열분해하면 기체, 액체, 고체가 생성되는데, 이때 생성되는 고형물을 바이오차라고 한다. 온도가 낮고 오랜 시간 열분해 하는 경우, 바이오차 수율은 20~50% 정도이며, 온도가 높을수록 수율은 낮아지고 기체 또는 액체의 수율이 증가하게 된다. 바이오차의 성분은 탄소가 대부분이며, 산소, 수소, 무기물을 포함한다. 제조 장치가 기체를 적절히 분리하지 못하는 일체형일 경우에는 기체가 응축되어 낮은 분자량의 탄소화합물들이 바이오차와 함께 잔류할 수 있다. 이러한 경우 바이오차 수율 즉, 총량은 증가하나 바이오차의 탄소 품질(탄소 비율)은 감소하게 된다. 예를 들어 산소(O)/탄소(C) 비율이 증가하여 최종적으로 탄소저장 양은 각각의 경우에 따라 달라질 수 있다. 산소가 풍부한 환경에서 태우면 바이오매스는 이산화탄소로 연소되고 잔류물은 무기물이 대부분인 재가 되지만, 무산소 열분해 환경에서는 탄소가 고형물에 고정화되어 잔류하게 된다.

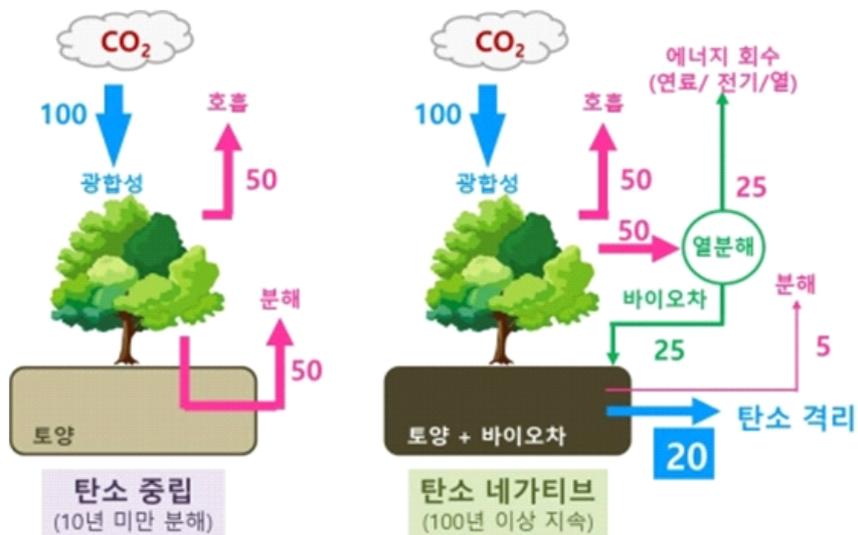


[그림 3.15] 왕겨, 벚짚, 우드칩으로 만든 바이오차

바이오차 제조의 원료가 되는 바이오매스는 넓은 의미에서 축분과 슬러지를 포함하는 모든 유기물이 가능하며, 원료의 종류에 따라 바이오차의 특성이 확연하게 달라질 수 있다. <그림 3.15>에서는 농가에서 구할 수 있는 대표적인 왕겨, 볏짚, 우드칩으로 만든 바이오차의 사례를 볼 수 있다.

바이오차의 탄소배출 저감 원리

식물이 광합성에 의해 대기 중의 이산화탄소를 흡수하면 약 50%는 호흡에 의해 대기 중으로 다시 방출되고 나머지는 식물의 성장을 통해 바이오매스에 고정화된다. 그러나 증가된 바이오매스는 결국 토양에 묻히면 미생물에 의해 약 10년의 짧은 기간 동안 모두 분해되어 결과적으로 초기에 식물에 의해 흡수되었던 이산화탄소가 모두 방출되므로 탄소중립이 된다. 그러나 바이오차의 경우에는 바이오매스에 저장되었던 이산화탄소가 열분해를 통해 바이오차의 형태로 남게 되고 이는 토양에 들어가더라도 100년 이상 보존될 수 있다. 바이오차의 일부가 분해되더라도 장기간 저장되는 탄소는 초기에 흡수된 이산화탄소의 약 20% 정도가 되며, 이는 탄소 네가티브라고 볼 수 있다. 즉, 대기 중의 자유 이산화탄소가 바이오매스를 거쳐 바이오차의 형태로 토양속에서 오랜 기간 동안 안정성을 유지하며 저장되는 것이다.



[그림 3.16] 바이오차의 탄소배출 저감 원리

일본 농가의 바이오차 자발적 순환 프로세스

일본의 교토 카메오카시에서는 2008년부터 도시와 농촌이 상생하기 위한 쿨베지(COOL VEGE) 프로젝트를 시행한 바 있다. 이 프로젝트에는 일본 산림청, 일본 바이오차 협회, 카메오카 시, 리츠메이칸 대학, 가쿠엔 대학, 류고쿠 대학, 그리고 교토은행 등 여러 기업체와 지역 위원회들이 참여하였다. 도시 인근의 농촌 지역에서 바이오매스 자원을 이용하여 바이오차를 만들고, 이를 농민의 채소 재배에 이용하여 생산한 채소를 “쿨베지”라는 이름으로 도시에 판매하는 구조로 되어 있다. 지자체에서는 탄소인증 위원회를 구성하여 해당 바이오차와 채소에 대한 탄소인증을 발급한다. 기업은 탄소인증을 구매하여 재정적으로 후원하고, 이를 상품에 표기함으로써 친환경적 이미지 제고의 장점이 있다. 은행에서는 탄소인증 라벨의 거래를 위해 공인된 펀드를 운영하는 역할을 담당하는 등 자발적 순환이 가능하도록 돕고 있다. 바이오차는 대나무를 원료로 만들고, 퇴비에 3분의 1 정도로 혼합하여 농지 1 m²당 1 kg 정도 투입한다. 첫 해에 바이오차 750 kg을 사용하였는데, 2012년에는 33 ton 정도로 증가하였다. 이렇게 생산된 채소는 2013년에 실제 판매를 통해 약 1억 원의 수익을 발생시켰고, 탄소인증 라벨은 후원기업이 라벨 당 20엔에 구매하여 그 중 50%를 농민에게 돌려주는 방식으로 운영하였다. 그 결과, 농민은 약 5 ~ 10%의 추가 수익을 올릴 수 있었다.



[그림 3.17] 바이오차의 자발적 순환 프로세스

3. 프랑스

3.1. 프랑스의 탄소중립 관련 정책 현황

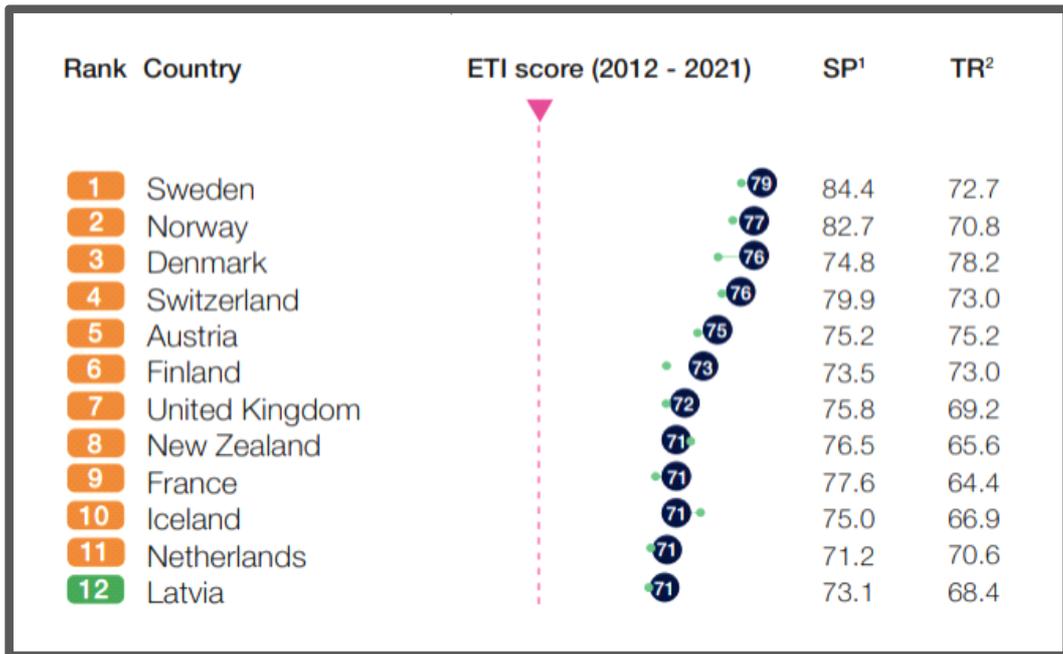
프랑스는 1990년대부터 전 세계적인 기후변화 대응 움직임에 발맞추어 온실가스(Greenhouse Gases, GHGs) 배출 감소를 위해 다양한 국가 전략 계획 및 목표를 세워온 대표적인 선진국 중 하나이다. 국제적인 차원에서 또한 다른 유럽 국가들과 더불어 파리협정을 통해 2030년까지 1999년에 비해 온실가스를 40% 감축할 것을 약속하였다.

프랑스 기후와 에너지에 관한 2019년 11월 8일법

제2019-1147호의 6개 목표

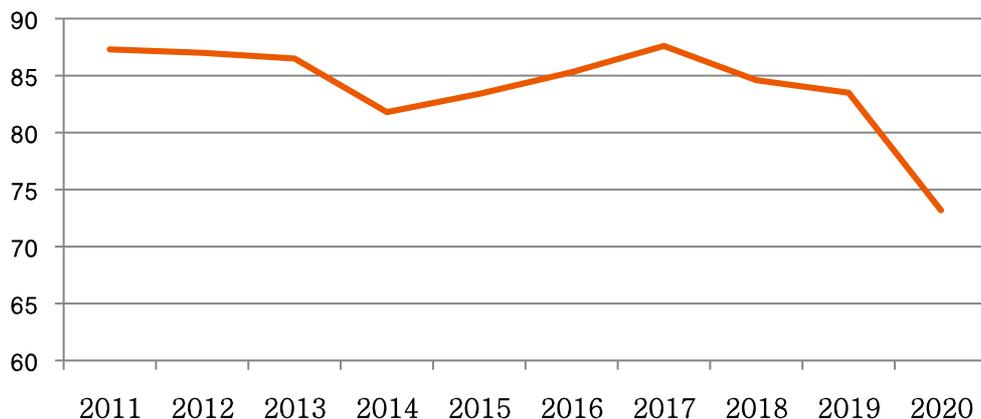
- 2050년까지 탄소 중립 목표
- 2030년까지 탄소에너지 소비량 (2012년 기준) 40% 감소
- 2022년까지 마지막 남은 석탄화력발전소 폐지
- 2035년까지 전력생산에서 핵에너지 부분을 50%로 줄임
- 주거건물 에너지 개선을 위한 점진적 대책 마련
- 기후고등위원회(Haut conseil pour le climat) 영속화

이와 같은 취지와 더불어, 프랑스는 2010년 이후 보다 고도화·정교화된 국가적 차원의 탄소중립 법·제도·정책을 수립하고 있다. 2015년에 채택한 국가 저탄소 전략(SNBC: Stratégie nationale bas carbon), 2016년의 에너지 다개년 계획(PPP: programmation pluriannuelle de l'énergie), 2017년의 기후플랜을 구체화 하기 위해 「기후와 에너지에 관한 2019년 11월 8일법 제2019-1147호(Loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie)」이 대표적인 탄소중립 법·제도·정책의 예이다. 이와 같은 국가 정책 차원의 다양한 온실가스 감축 노력으로 프랑스는 현재 유럽연합 중 온실가스를 가장 적게 배출하는 나라 중 하나이며, 2018년 기준 세계경제포럼(World Economic Forum, WEF)의 에너지전환 지수(Energy Transition Index, ETI)가 71로 115개국 가운데 9위를 차지하였다.



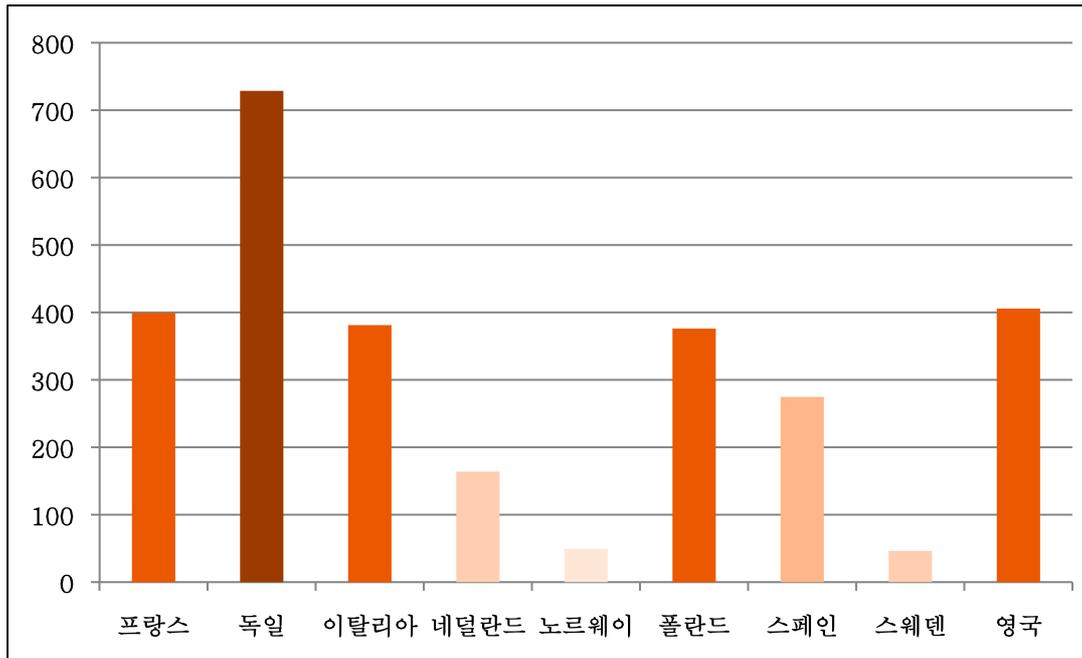
[그림 3.18] ETI 2021 결과

프랑스는 모든 활동 부문에서 저탄소, 지속 가능한 경제로의 전환을 위한 노력으로 온실가스 배출량은 1990년부터 2014년까지 25년간 꾸준한 감소세를 보여왔다. 이후 2017년까지 소폭 상승하였다가 2017년부터 다시 감소하면서 2020년, 최초로 1990년 대비 20%를 상회하는 온실가스 감축을 달성했다. 2020년 기준, 프랑스의 온실가스 배출량은 1990년 대비 약 26.8% 감소하였다.

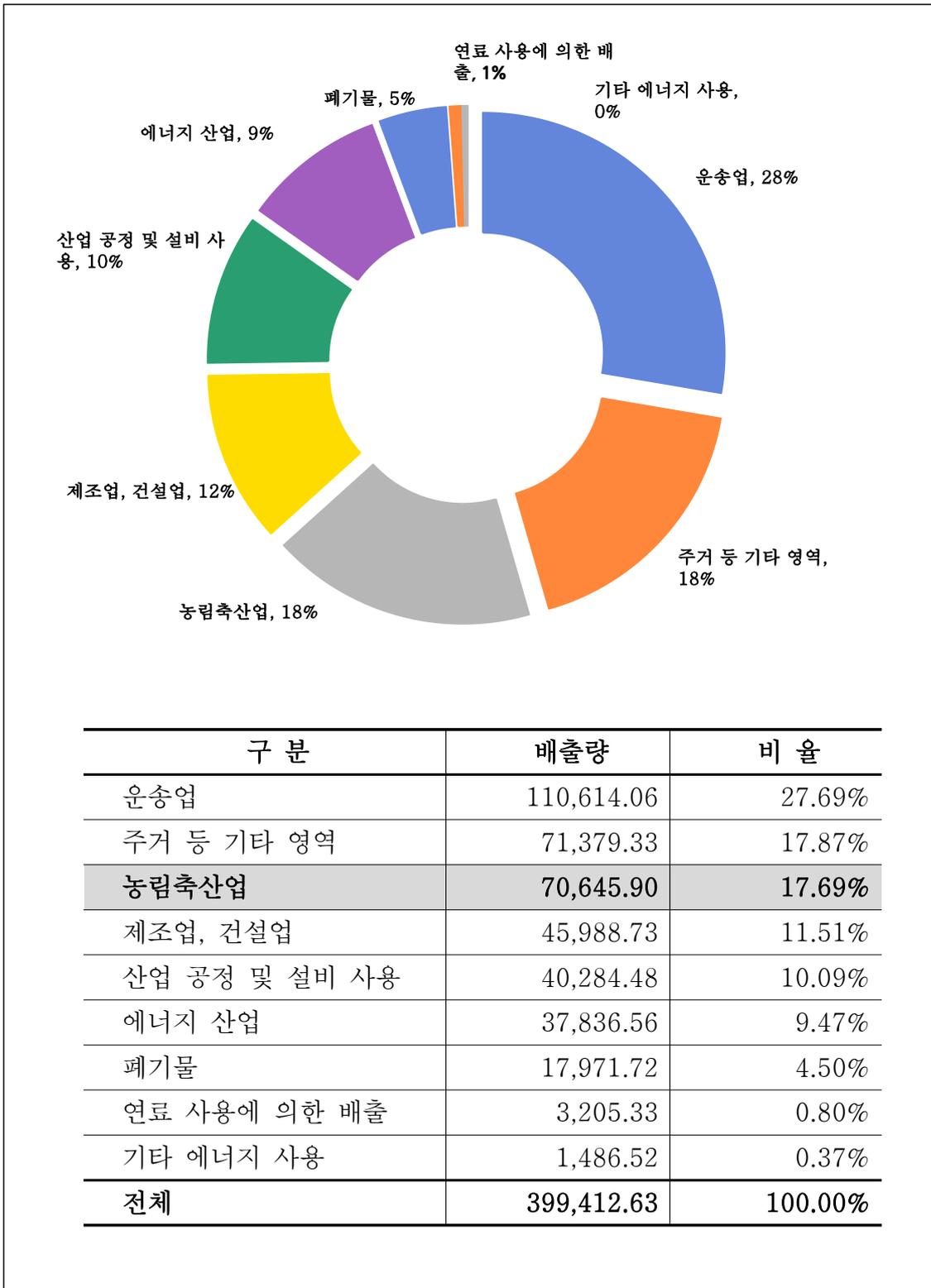


[그림 3.19] 프랑스 연도별 온실가스 배출 비율 (1990년도 기준)

2020년 기준 프랑스의 국가 전체 온실가스 배출량은 3억 9,941만 t CO₂-eq. 이다. 주요 온실가스 배출 산업은 운송으로 약 1억 1,061만 t CO₂-eq.이며, 주거 및 기타 7,137만 t CO₂-eq., 농업 7,064만 t CO₂-eq., 제조업 및 건설업 4,598만 t CO₂-eq. 등의 순으로 나타났다.



[그림 3.20] 유럽 주요 국가별 온실가스 배출 현황 (2020년 기준)
(단위: Gt CO₂-eq)



[그림 3.21] 프랑스의 영역별 온실가스 배출 비율(2020년 기준)

2020년 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)에 제출된 프랑스의 격년보고서(Biennial report)에 따르면 2017년 기준, 프랑스 내 산업에서 배출되는 주요 온실가스 중 이산화탄소(CO₂)는 대부분 에너지 사용에서 발생하는 것으로 나타난 반면, 메탄(CH₄)과 아산화질소(N₂O)는 주로 농업에서 발생하는 것으로 나타났다.

<표 3.5> 프랑스의 산업별 온실가스 배출 현황(2017년 기준)

(단위: Mt CO₂-eq)

구 분	배출 현황						
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF6	NF3
전체	316.366	57.874	45.224	18.779	0.707	0.461	0.008
에너지	326.036	2.821	3.849				
산업 공정 및 설비 사용	22.734	0.052	1.659	18.779	0.707	0.461	0.008
농업	1.943	38.709	35.818				
토지 이용, 토지 이용 변경 및 삼림	-35.918	1.216	3.095				
폐기물	1.572	15.076	0.802				

*출처: France's 4th biennial report to the United Nations Framework Convention on Climate Change - 108p Annex I. Annex to chapter I - Emissions per sector

농업 분야에서의 온실가스 감축 저감 노력은 프랑스의 국가 전략에서도 찾아볼 수 있다.

프랑스의 국가 저탄소 전략(Stratégie Nationale Bas-Carbone, 이하 SNBC)는 2050년까지 탄소 중립을 달성하는 것을 목표로 2015년에 수립되었다. 2018년부터 2019년까지 약 2년 간의 개정을 거친 SNBC 개정판은 2020년 1월 20일부터 2월 19일까지 공개 협의를 거쳐 2020년 4월 21일, 의회에서 채택되었다.

프랑스의 SNBC 주요 내용 중 농업분야에서의 저탄소 전략에는 2015년 대비 2030년까지 18%, 2050년까지 46% 수준으로 온실가스 배출량 감소 등이 명시되어 있다.

<표 3.6> 프랑스의 국가 저탄소 전략(SNBC) 주요 내용

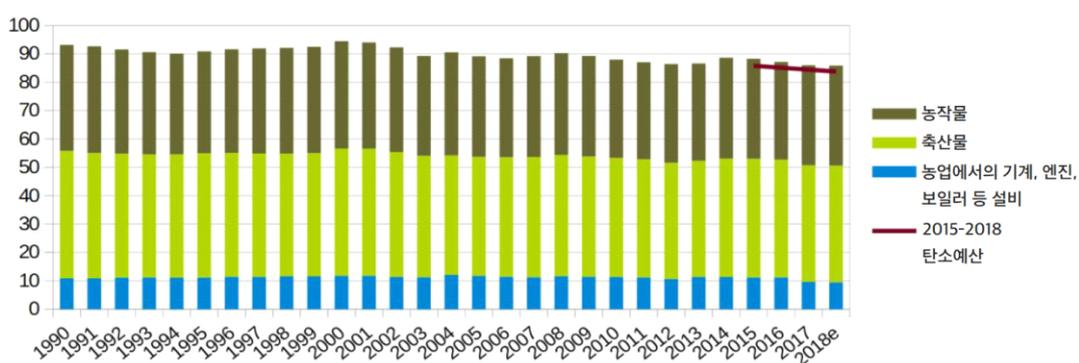
구분	내용	
목표	<ul style="list-style-type: none"> • 2050년까지 탄소중립 달성 • 분야별 탄소 발자국의 전반적인 감소 등 	
교통	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 2015년 대비 운송 부문의 배출량 28% 수준으로 감소 • 신형 전기차는 2050년까지 12.5 kWh / 100 km 수준 도달 등 	
건물	<ul style="list-style-type: none"> • 2015년 대비 2030년까지 49% 수준으로 온실가스 배출량 감소 • 2050년까지 탄소중립 달성 등 	
분야별	농업	<ul style="list-style-type: none"> • 2015년 대비 2030년까지 18%, 2050년까지 46% 수준으로 온실가스 배출량 감소 등
	조림	<ul style="list-style-type: none"> • 2026년까지 삼림, 목재 부문의 탄소 흡수원과 저장고의 보존 및 강화 및 목재 제품의 대체 및 탄소 저장 효과 극대화 등
전략	산업	<ul style="list-style-type: none"> • 2015년 대비 2030년까지 35%, 2050년까지 81% 수준으로 온실가스 배출량 감소 • 2050년 탄소 흡수원 또는 탄소 포집 및 저장 시설에 의해 상쇄 등
	에너지	<ul style="list-style-type: none"> • 2015년 대비 2030년까지 33% 수준으로 온실가스 배출량 감소 • 2050년까지 에너지 생산 분야에서 거의 완전한 탈탄소화 달성 등
폐기물	<ul style="list-style-type: none"> • 2015년 대비 2030년까지 37%, 2050년까지 66% 수준으로 온실가스 배출량 감소 등 	

프랑스 농업 분야에서의 온실가스 배출량은 2017년 86.0 Mt CO₂-eq. 즉, 프랑스 전체 온실가스 배출량의 18.5%를 차지한다. 이는 1990년 대비 7.6% 하락한 수치이다. 농업 분야에서 에너지 소비와 관련된 온실가스 배출량은 농업분야 전체에서 11.2%에 불과하며 대부분은 축산업에서의 CH₄(44.8%)와 N₂O가 차지한다. 농업 분야에서의 온실가스 배출은 개발 지역으로 남아있는 영구초원 또는 습지 그리고 혼농임업 분야에서 이루어지는 토양의 탄소격리 효과를 통해 상쇄가 가능한 것으로 SNBC 지침은 설명하고 있다.

현재 프랑스 농업분야에서의 온실가스 인벤토리 방법론에 따르면 농경지(작물 및 초원)에서 발생하는 온실가스의 양은 1990년 9.8 Mt CO₂-eq.에서 2017년 9.5 Mt CO₂-eq.로 0.3 Mt CO₂-eq. 감소하였다.

프랑스의 SNBC는 농업 분야에서 발생하는 N₂O와 CH₄의 발생을 불가피한 것으로 진단한다. 식물이 자라기 위해서는 질소가 반드시 필요하며 이는 곧 농업

분야에서 질소 비료의 사용에 따른 N₂O의 배출로 이어진다. 농장 동물의 반추위 또한 장내발효를 통해 CH₄ 배출로 이어지며, 이는 사료 개선을 통해 일정 수준 감축이 가능하나 불가피한 과정이다. 반면, 토양(농업 및 임업을 포함)은 광합성을 통해 대기로부터 CO₂를 흡수하고 이를 지층 내 또는 지층에 함유된 바이오매스에 격리시킨다. 즉, 농업 분야에서는 작물의 재배와 생산물의 균형을 맞추는 형태로 분야에서 발생하는 온실가스 배출량을 일부 상쇄할 수 있음을 의미한다.



[그림 3.22] 1990년 이후 프랑스 농업 부문의 온실가스 배출량 추이

(단위: Mt CO₂-eq.)

프랑스의 SNBC에서 밝히는 N₂O와 CH₄의 감축 전략은 다음과 같다. 첫째, N₂O의 경우, 콩과 식물의 재배량을 늘리고 질소 비료를 가축 부산물로 대체한다. 또한, 동물사료에서 동물성 단백질의 함유량을 식물성 단백질로 대체한다. CH₄의 경우 가축폐수의 관리를 개선하고 사료를 개선하는 방식으로 장내 발효량을 줄인다. 이를 통해, 토양의 비옥도를 유지하고 초원을 영구적으로 보전하는 것이 프랑스 SNBC 농업 분야에서 추구하는 목표라고 할 수 있다.

3.2. 프랑스의 농업 분야 탄소중립 달성을 위한 방법론

프랑스의 SNBC와 관련하여 프랑스의 농업식량주권부(Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire)는 농축산업에 종사하는 농업인들이 실용화할 수 있는 탄소 흡수원(이하 농업 흡수원) 개발 전략과 이를 실현하기 위해 인증된 방법론을 제시하고 있다. 농업 흡수원은 다음과 같은 항목들을 포함한다. 첫째, 생물타리를 조성하고 황무지를 초원으로 유지, 둘째, 작물 재배 시 사이짓기(간작, 間作) 장려, 셋째, 돌려짓기(윤작, 輪作) 시 임시 초원 유지, 넷째, 혼농임업 장려, 다섯째, 유기 퇴비물 이용 장려이다. 그리고 앞서 언급한 다섯가지 개발 전략을 실질적으로 수행하기 위해 부처 산하기관 및 민간 연구소에서 개발한 6가지 방법론을 승인하였다. 승인된 방법론은 IDELE社 “Carbon Agri”, Arvalis社의 “Grandes cultures”, Compagnie des Amandes社의 “Plantation de vergers”, Pays de la Loire 지역 농업회의소의 “Haies”, SOBAC社에 개발한 “Gestion des intrants” 그리고 Blue-Blanc-Coeur社가 개발한 “Fermentation entérique des bovins lait”의 6개 방법론이다.

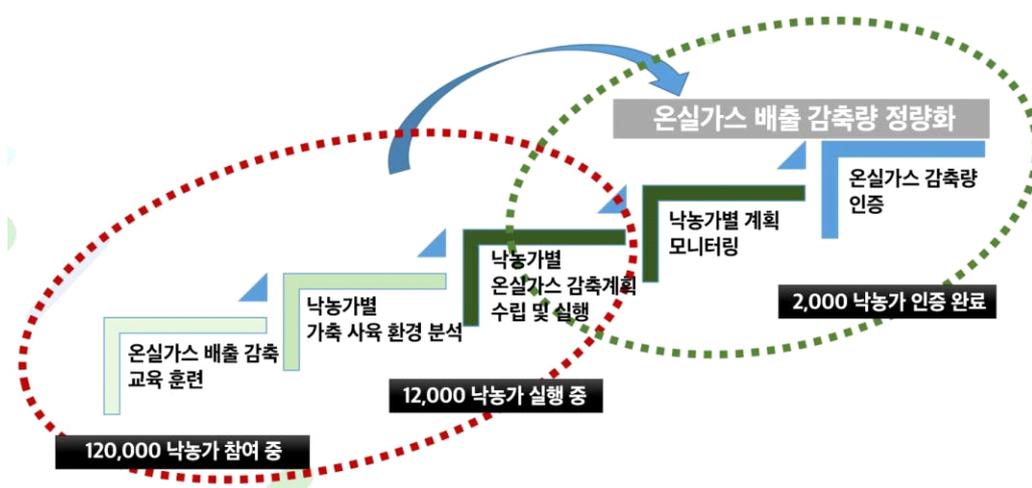
3.2.1. IDELE, “Carbon Agri”

IDELE에서 개발한 “Carbon Agri”는 주로 혼농임업 농가를 대상으로 한다.

IDELE의 'Carbon Agri'는 가축 사육 과정에서 발생하는 온실가스 배출량을 저감하기 위한 국가 차원의 업계 간 네트워크를 골자로 하고 있다. IDELE, Cniel, DANONE, Triskalia 등 17개 대표 낙농업체와 IDELE, interbev, McDonald, Maypark 등 11개 대표 육우 가공업체 네트워크를 통해 가축 사육 과정에서 발생하는 투입물과 산출물을 정량화하고 이를 토대로 해당 분야에서의 온실가스 배출 감축 계획을 수립, 수립된 계획을 바탕으로 온실가스 배출 감축량을 산정한다.

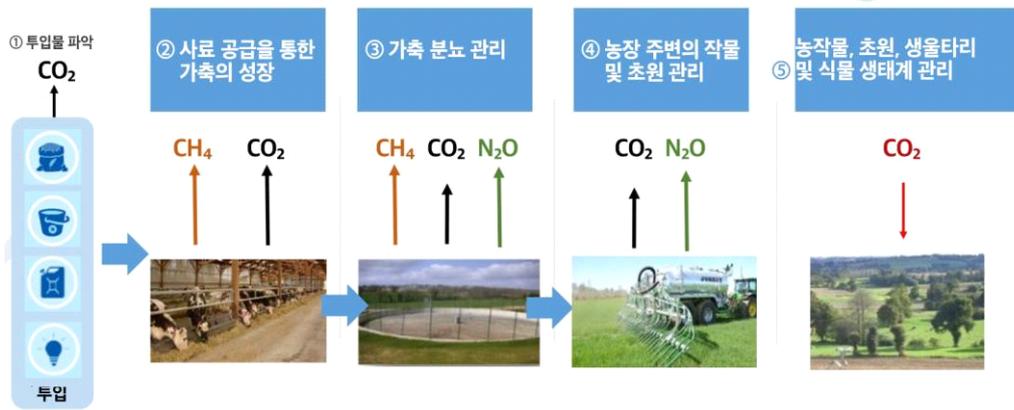
온실가스 배출 감축량의 산정은 다음의 5단계로 구분할 수 있다. 첫째, 가축 사육 과정에 투입되는 물질을 수집하고 목록화하는 교육단계, 둘째, 각 낙농가의 가축 사육 환경 분석단계, 셋째, 각 낙농가별 온실가스 배출량 저감을 위한 계획을 수립 및 실행하는 단계, 넷째, 각 낙농가별 온실가스 배출량 저감을 위한 계

획에 대한 모니터링 단계, 마지막으로, 온실가스 배출 저감량을 정량화하고 이를 인증받는 단계이다. 2019년 기준, 1단계에서 탄소발자국 교육을 받고 있는 낙농가는 120,000 농가에 해당하며 현재 3단계, 계획 수립 및 실행단계에 있는 낙농가는 12,000 농가이다. 또한, 온실가스 배출 실적으로 인증받은 낙농가는 2,000 농가이다. 온실가스 배출 감축량 산정의 절차는 [그림 3.23]과 같다.



[그림 3.23] IDELE, “Carbon Agri” 방법론 도식

이 중 두 번째 단계인 가축 사육 환경 분석의 경우, 가축의 사육을 4개의 과정으로 구분하고 각 과정에서 발생하는 온실가스의 종류를 구분한다. 가축의 사육 과정은 ① 투입물 파악, ② 사료 공급을 통한 가축의 성장, ③ 가축 분뇨 관리, ④ 농장 주변의 작물 및 초원 관리, ⑤ 농작물, 초원, 생울타리 및 식물 생태계 관리의 4단계로 구분된다. 이 중 ① 투입물이 준비되는 단계에서는 CO₂가 배출, ② 사료 공급을 통한 가축의 성장과정에서는 CO₂, CH₄가 배출되며 ③ 가축 분뇨 관리과정에서는 CO₂, CH₄, N₂O, ④ 농장 주변의 작물 및 초원 관리에서 CO₂, N₂O가 배출되고, 끝으로, ⑤ 농작물, 초원, 생울타리 및 식물 생태계 관리 단계에서는 CO₂가 토양으로 흡수되는 것을 가정한다. 가축 사육 환경에 대한 도식은 [그림 3.24]와 같다.



[그림 3.24] Carbon Agri 방법론의 두 번째 단계, 『가축 사육 환경 분석』 도식

가축 사육 환경의 단계별 온실가스 배출량 전략은 다음과 같다. 첫째, 투입물 준비 과정에서는 사료 및 비료관리, 장비 운용 관리, 콩과 식물 재배 최적화 등으로 온실가스 배출량을 관리한다. 둘째, 가축 사육 과정에서는 가축의 건강 및 번식 관리를 비롯하여 적절한 사료의 선택 등으로 장내 발효를 줄이고 방목 시간 최적화, 혐기성 소화 촉진제 등을 통해 가축 분뇨를 관리한다. 셋째, 토양 관리 측면에서는 황무지를 개간하여 토양 덮개(Land Cover)를 조성하고 생물다양성 및 혼농임업 등의 방식으로 초원을 관리한다.

이러한 과정들을 통해 정량화된 농장에서의 온실가스 감축량은 프랑스의 국가 농업 온실가스 평가 도구인 CAP'2ER와 연결되어 관리된다.

3.2.2. Arvalis, “Grandes cultures”

Arvalis社에서 개발한 “밭 작물(Grandes cultures)” 기술은 2021년 8월 승인되었으며 밭 농사 작물 재배 농장을 대상으로 한다.

밭 작물 기술은 크게 첫째, 유기농업에서의 잡초 관리, 둘째, 유기농업에서의 토양 비옥도 관리, 셋째, 토양관리를 위한 콩과 식물 및 감자와 비트 재배의 3가지로 구성된다.

첫째, 유기농업에서의 잡초 관리는 일년생 및 다년생 잡초 관리를 위한 예방(농업 체계 및 기타 농경학적 수단 관점) 및 수단(기계적 제초 도구 및 기술)의 측면에서 유기농업에 적합한 기술들을 소개한다.

둘째, 유기농업에서의 토양 비옥도 관리 기술의 경우 토양 비옥도 관리의 3개 측면(화학적, 물리적 및 생물학적)에서 각 재배 식물별 적절한 유기농업기술과 토양의 영양 공급 기술을 소개한다.

셋째, 토양관리를 위한 콩과 식물 및 감자와 비트 재배는 토양 복원의 탁월한 효과가 있는 콩과 식물 및 감자, 비트의 재배 기술을 소개한다.

3.2.3. Compagnie des Amandes, “Plantation de vergers”

Compagnie des Amandes가 개발한 “과수원 심기(Plantation de vergers)” 기술은 경작되지 않은 토지에 다년생 과일작물(과수원)을 재배함으로써 온실가스 배출량을 감소시키는 것을 목표로 한다. 이 방법론은 20년 이상의 장기 프로젝트로 진행된다. 나무의 탄소흡수 효과 및 나무 재배 과정에서 소모되는 투입물과 에너지의 관리를 통해 탄소중립을 달성하는 계획을 골자로 한다.

2020년 3월, 과수 분야의 이해관계자, 전문가, 농업 경제학자, 과수 재배 및 탄소 배출량 산정 전문가 그룹이 모여 전문가 위원회를 구성하고 논의에서 도출된 시사점 및 방법론에 대한 내용을 기관에 검토받는 과정을 거쳐 2020년 6월, 첫 번째 버전이 승인되었다.

방법론의 대상은 프랑스에 소재한 토지 중 본 방법론이 적용되지 않은 토지(기존의 경작지 또는 포도 재배, 영구 목초지와 같은 다년생 작물)의 재배 계획에 적용할 수 있다. 또한, 이미 온실가스 배출 감축을 목적으로 재배되는 작물 및 작물이 심어진 토지에 대해서는 방법론이 적용되지 않는다. 또한, 방법론이 적용되는 수종은 말린 과일(아몬드, 밤, 개암, 호두) 및 이과 과일(사과, 배, 모과, 무화과, 석류, 살구, 체리, 복숭아, 자두)을 수확하는 나무에 국한한다.

과수농가에서 온실가스 배출량 감축을 적용받는 영역은 첫째, 나무 및 나무가 심어진 토양이 온실가스를 흡수하는 효과, 둘째, 방법론에 의거하여 투입 감소가 예상되는 투입물 및 에너지에 따른 간접배출량 저감 효과, 셋째, 과수원에서 발생하는 부산물을 통해 생산한 에너지가 화석에너지를 대체하는 효과의 세 영역으로 구분할 수 있다.

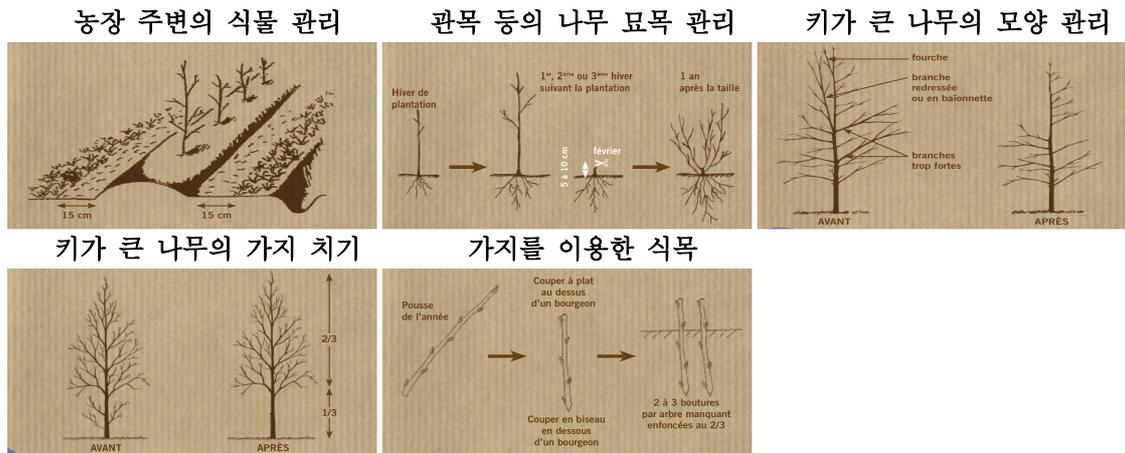
또한 Plantation de vergers 프로젝트는 신청한 과수농가가 프로젝트 기간 동안 일정 요건을 준수해야 한다. 준수 조건은 첫째, 프랑스의 과수원 개선 자금 지원 기준에 따른 과수원 내 식물 최소 밀도, 둘째, 프로젝트 기간 동안 과수원 내 다년생 과일 작물 재배 순면적 증가, 셋째, 프로젝트 기간 내 총 탄소 흡수량의 순증가, 마지막으로, 과수원 면적의 50% 이상의 잔디 재배의 4가지이다.

3.2.4. Pays de la Loire 지역 농업회의소, “Haies”

Pays de la Loire 지역 농업회의소에서 개발한 “생울타리(Haies)” 기술은 농장에서의 지속가능한 생울타리 조성 및 관리 방법을 제시한다.

보카쥬(Bocage)는 프랑스의 코탕탱 반도(Péninsule du Cotentin) 주변에서 흔하게 볼 수 있는 독특한 토지 구획법을 의미한다. 이 지역은 토지의 소유주들이 작은 독길을 경계로 뺑뺑이 심어놓은 생나무 울타리를 이용하여 소유지를 모자이크처럼 구분하는 지역 고유의 풍경이 만들어졌다. 보카쥬는 생물 다양성 보호 차원에서 가치가 높은 것으로 알려져 있으나 최근, 무분별한 벌채 및 개간, 부적합한 토양 관리방법 등으로 인해 점차 사라지고 있는 추세이다. 프랑스의 페이 드 라 루이레 지역 농업회의소는 보카쥬의 생태학적 가치를 높이 평가하며 이를 지속가능한 프랑스 고유의 생태학적 문화로 유지하기 위한 노력을 하고 있다.

페이 드 라 루이레 지역 농업회의소에서 제안하는 생울타리(Haies) 관리 제안 기술은 기존의 보카쥬 생울타리 다듬기, 가지치기 등 유지관리 측면에서의 기술뿐만 아니라 생울타리를 재배하는 기술 또한 다루고 있다. 그리고 이러한 기술을 보급하기 위해 페이 드 라 루이레 지역에 있는 10개 농장에 생울타리 조성을 재정적으로 지원하고 있다. 10개 농장에서 조성하는 70 km의 생울타리는 재정 지원 프로젝트의 기간인 15년 동안 약 3,000 t CO₂-eq의 탄소를 흡수할 것으로 예상된다. 페이 드 라 루이레 지역 농업회의소에서는 2017년 9월 ‘해충 퇴치에 도움이 되는 생울타리 조성 가이드라인’ 발간을 시작으로 현재까지 총 7개의 생울타리 조성 가이드라인을 제작·배포하고 있다.



[그림 3.25] 생울타리 유지: 생명을 부여하는 방법 주요 내용 도식

3.2.5. SOBAC, “Gestion des intrants”

SOBAC에서 개발한 “투입관리(Gestion des intrants)”는 모든 농장의 투입물을 감소시키는 것을 목표로 한다.

Gestion des intrants 방법론은 농업 분야에서 농약, 화학 비료 등 환경부하의 원인이 되는 투입물의 사용을 줄이고 이를 통해 발생하는 직·간접 온실가스(GHG) 배출 저감 효과를 정량화하는 것에 목적이 있다. 특히, 화학비료 감소에 초점이 맞추어져 있는 만큼 제3국으로부터의 인산염 수입 의존도를 줄인다는 측면에서 선진국의 온실가스 배출 감축 의무와도 직접적으로 연관되어 있다.

Gestion des intrants 방법론은 프랑스 영토(프랑스령 국가들을 포함)를 중심으로 농약, 화학 비료 등 환경부하의 원인이 되는 투입물의 사용을 줄일 수 있는 모든 형태의 농업에 적용 가능하다(예, 농산물, 원예, 초지 조성, 사료용 작물, 포도 등 관목 또는 수목 재배 등).

방법론은 기본적으로 베이스라인 배출량에서 프로젝트 배출량을 차감하는 방법으로 온실가스 감축량을 산정한다. 베이스라인 배출량은 관행 농업·축산업에서의 온실가스 배출량을 의미하며 온실가스의 배출원은 광물 및 유기질소비료, 인산비료, 칼륨비료, 석회비료 등이 해당된다. 베이스라인 배출량을 구하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$E_{ref} = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{n_i} c_{j,i} \cdot FE_j \dots\dots\dots(1)$$

E_{ref} : 프로젝트 신고 전 최근 5년의 온실가스 배출량(kgCO₂-eq)

$c_{j,i}$: i 년 투입물 j 의 소비량(배출계수에 따라 kg 또는 L)

FE_j : 투입물 j 의 온실가스 배출계수

n_i : i 년 농장에서 소비된 광물 또는 유기질소비료, 석회비료, 토양 개량제 또는 식물 보호 제품 등의 투입량

만약, 프로젝트 수행 전 5년 기간 중 특정 해의 농축산물 생산량이 20% 이상 차이를 보이는 경우 최고 생산량 및 최저 생산량을 보인 해의 경우 온실가스 배출량 측정 기간에서 제외하고 다음의 식을 취한다.

$$E_{ref} = \frac{5}{3} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{n_i} c_{j,i} \cdot FE_j \dots\dots\dots(2)$$

E_{ref} : 프로젝트 신고 전 최근 5년의 온실가스 배출량(kgCO₂-eq)

$c_{j,i}$: 생산량 측면에서 값이 가장 작은 변수 3개 중 i 년 투입물 j 의 소비량(배출계수에 따라 kg 또는 L)

FE_j : 투입물 j 의 온실가스 배출계수

n_i : i 년 농장에서 소비된 광물 또는 유기질소비료, 석회비료, 토양 개량제 또는 식물 보호 제품 등의 투입량

프로젝트 수행에 따른 온실가스 배출량은 다음의 식으로 계산한다.

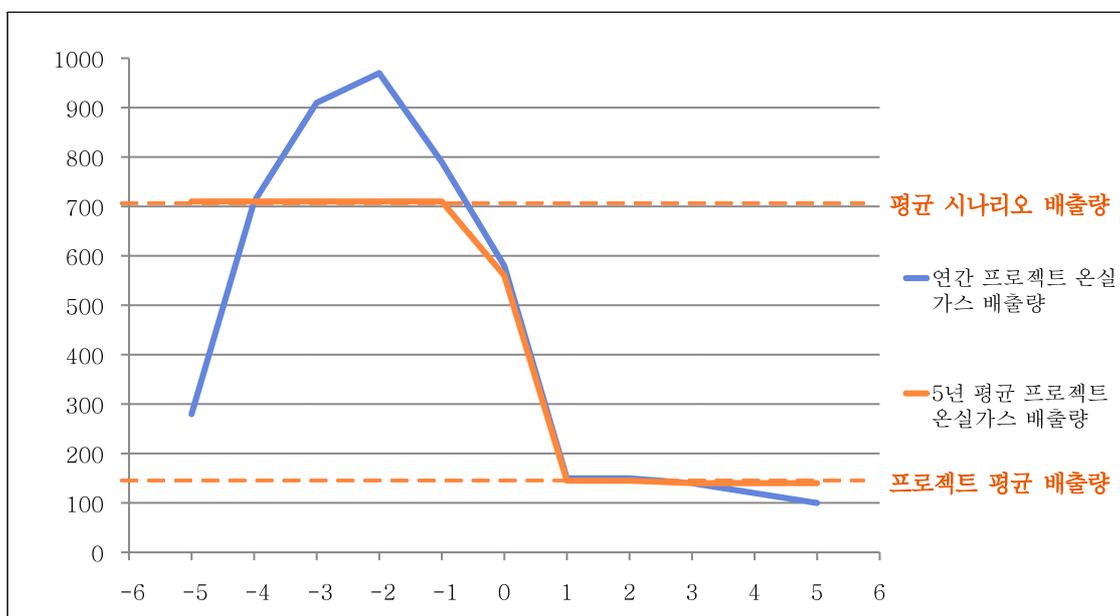
$$E_{refColl} = \sum_{i=1}^n E_{ref\ i} \dots\dots\dots(3)$$

$E_{refColl}$: 프로젝트 수행 이후 5년의 온실가스 배출량 기댓값(kgCO₂-eq)

$E_{ref\ i}$: 프로젝트 수행 이후 농장 i 의 5년 온실가스 배출량 기댓값(kgCO₂-eq)

n : 프로젝트 참여 총 농장 수

Gestion des intrants 방법론을 적용한 대표적인 프로젝트 사례는 Haute-Garonne의 경작지 운영 프로젝트이다. Haute-Garonne 프로젝트의 경우 투입물 감소를 통해 5년 간 76.9 t CO₂-eq를 감축하였다.

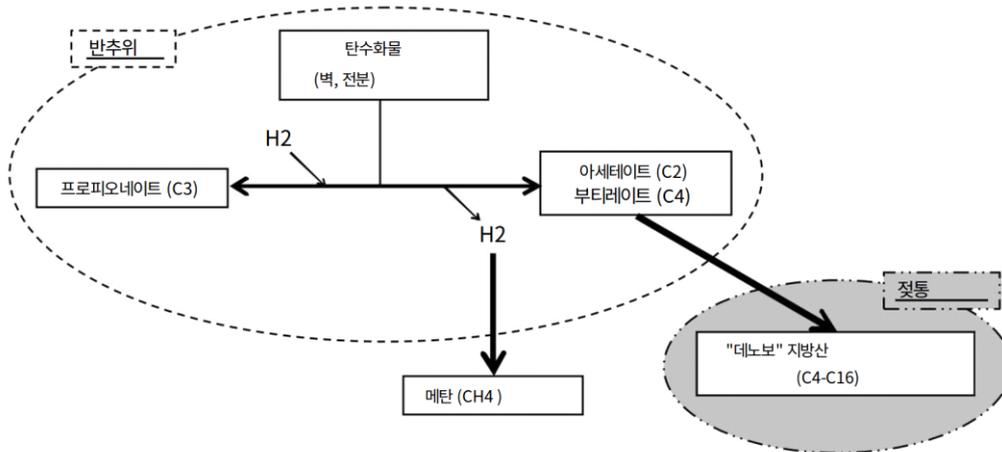


[그림 3.26] Haute-Garonne의 경작지 작업에 대한 기준선 및 프로젝트 시나리오의 배출량 예시

3.2.6. Blue-Blanc-Coeur, “Fermentation entérique des bovins lait”

Blue-Blanc-Coeur가 개발한 “젖소의 장내발효(Fermentation entérique des bovins lait)”는 주로 방목 젖소들을 대상으로 보충 사료에 오메가3 성분을 추가하여 CH₄ 배출을 감소시킨다.

방법론은 특정한 식이요법이 우유 또는 기타 유제품 생산과정 중 젖소의 소화기관에서 필연적으로 발생하는 메탄(CH₄)의 배출을 감소시킨다는 다양한 과학적 근거를 바탕으로 설계되어있다. 압출 아마씨를 주원료로 하는 사료는 알파리놀렌산(ALA)과 오메가3, 고도불포화지방산(PUFA)이 풍부하여 젖소의 장내발효를 억제한다. 따라서 방법론은 ① 장내 발효 억제에 특화된 사료 공급, ② 유제품의 지방산 프로파일(FA)로부터 CH₄ 배출 감소량을 간접적으로 측정한다.



[그림 3.27] Fermentation entérique des bovins lait 방법론의 직접배출량 산정 도식

$$CH_4 \text{ 발생량} = (AG \leq C16 / AG_{\text{합계}}) \times (a \times \text{우유 생산량}^b) \dots \dots \dots (1)$$

$AG \leq C16$: 백분율로 표시, 탄소수 16 이하의 지방산 합과 지방산 총량 사이의 비율

우유 생산량: 젖소 한 마리당 연간 우유 생산량(단위: kg)

CH_4 발생량: 우유 1 L 당 발생하는 CH_4 (단위: g)

계수, a 는 10에서 13 사이, b 는 -0.40 에서 -0.45 사이(Valorex Team, P. Weill and G. Chesneau ; INRA Team, Y. Chilliard. M. Doreau and C. Martin)

3.3. 프랑스의 농업 분야 탄소중립 달성 전략의 시사점

탄소중립 달성을 위한 프랑스의 정책적, 법·제도적 노력은 타 선진국들의 탄소중립 정책에 비교하여서도 선제적이며 모범적으로 평가받는다. 세계경제포럼(World Economic Forum, WEF)이 발표하는 에너지전환 지수(Energy Transition Index, ETI)에서도 항상 10위권 이내를 유지해왔다. 온실가스 배출량 또한 3억 9,941만 tCO₂-eq.로 기준이 되는 1990년 온실가스 배출량의 73.2% 수준이다.

산업 구조의 측면에서 프랑스는 서비스업이 전체 GDP의 71.2%를 차지하는 전형적인 3차 산업 중심의 국가이다. 농림축산업이 GDP에서 차지하는 비중은 1.6%에 불과하나 국가 전체 온실가스 배출량에서 차지하는 비중은 17.69%에 달한다. 이는 농림축산업 분야에서 창출되는 부가가치 대비 발생하는 환경부하의 정도가 타 산업에 비해 크을 의미함과 동시에 기술적·관행적 차원에서의 개선은 바탕으로 저감할 수 있는 온실가스 배출량의 폭 또한 크을 의미한다.

프랑스의 농업분야 온실가스 배출 저감 실천을 위한 방법론은 크게 두 가지 접근 방식으로 구분이 가능하다.

첫 번째는 토양 관리 측면에서의 방법론적 접근이다.

프랑스는 2015년 12월 COP21을 계기로 ‘세계 토양의 해’를 기념하고 식량안보, 기후변화 적응, 온실가스 배출 완화 등 기후변화에 긍정적 효과를 달성하기 위한 ‘4% 이니셔티브(4 per 1,000 initiative)’의 출범을 공식적으로 선언한 국가이다. 4%에 대한 의미는 과학적 불확실성은 있으나 전지구적으로 토양의 유기탄소 저장량을 8,200억 톤으로 가정할 때, 현재의 기술 수준으로 토양에 연간 추가로 축적 가능한 탄소량 약 35억 톤을 목표로 하는데 두고 있다. 2015년 12월 1일 출범식에서 프랑스는 식량안보 확보와 기후변화에 대응한 농업에서의 기여방안을 모색할 필요가 있으며, 이를 위해 4% 이니셔티브가 중요한 역할을 할 수 있을 것이라 밝힌 바 있다. 또한, 정부 및 비정부 기관 간 협력, 경제적, 사회적, 생태학적 접근을 통해 성공적인 추진을 할 수 있을 것이라 언급하였다.

4% 이니셔티브의 흔적은 농업분야에서의 탄소중립 달성을 위한 방법론 곳곳에서 발견할 수 있다. 특히, Compagnie des Amandes의 과수원 심기(Plantation

de vergers), Pays de la Loire의 생울타리(Haies) 방법론은 토양 덮개를 이용한 황무지 개간, 보카쥬와 같은 프랑스 고유의 전통적·친환경적 토지 구획 방법 등을 지원하는 것에 초점이 맞추어져 있다.

두 번째는 기술·프로젝트 측면에서의 방법론적 접근이다.

SOBAC의 투입관리(Gestion des intrants) 방법론, Blue-Blanc-Coeur의 젖소의 장내발효(Fermentation entérique des bovins lait) 방법론은 온실가스 저감 기술이 적용된 프로젝트의 시행 전과 후를 정량화하여 온실가스 감축량을 산정해내는 것으로 2006 IPCC Guidelines을 골자로 한다. 민간이 방법론을 개발하고 국가로부터 승인을 받는다는 점에서 우리나라의 상쇄등록부시스템 (<https://ors.gir.go.kr/ors/>)과 유사하다.

정리하자면, 프랑스의 농업 분야 탄소중립 정책은 토양의 탄소흡수 기능에 중점을 두고 이를 문화 보존과 더불어 실현하고자 하는 특징이 있으며 기술 측면에서의 온실가스 배출 저감의 경우 타 당사국들과 유사하게 기술 도입 이전과 이후의 온실가스 배출량을 정량화하고 감축분을 온실가스 저감량으로 인정한다.

4. 독일

4.1. 독일의 탄소중립 관련 정책 현황

독일은 1971년 연방 내각에서 실시한 연방정부 환경프로그램 ‘Umweltprogramm der Bundesregierung’을 통해 대기, 수질, 토양 오염, 에너지 부족 및 석유 위기에 대한 첫 번째 환경 프로그램 통과시켜 환경정책에 대한 구체화를 이루었다. 또한 80년대 오존층, 체르노빌 원폭 사건으로 인한 원자력 발전소의 방사능 등의 문제로 기후 보호에 대한 사람들의 인식이 증가하여 1986년 환경·자연보호·원자력안전부(Bundesministerium fuer Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit)를 설립하였으며²⁾ 기후 변화에 대한 국제적인 논의가 이루어지던 90년대 초반부터 기준가격 의무구매제도(Electricity Feed-in Tariff)와 포장 조례(German packaging Ordinance) 등의 환경 제도를 도입하였다.

이후 2010/2011년 에너지 기본계획(Energiekonzept) 및 2015년 파리 기후변화총회와 유럽의 기후보호 목표를 종합적으로 고려하여 독일 연방정부는 2050년까지 탄소배출량을 최소 80%에서 최대 95%까지를 목표로 단계적인 감축 조치를 제시하였으며 이를 위해 연방, 지자체, 협회, 시민이 협력하여 공동으로 2030년까지 적용될 수 있는 전략적 기후보호조치를 마련하고 연방정부는 이와 함께 학술연구와 시나리오를 반영하여 ‘기후보호계획 2050(Klimaschutzplan 2050)’을 2016년 11월에 수립하였다. 해당 계획에서 핵심 요소는 다음과 같다.

- 장기적으로 이번 세기 중반까지 독일의 전면적 탄소중립 지향
- 2050년까지 모든 행동영역의 지향목표라 할 수 있는 주요 원칙과 전환 경로
- 2030년까지 전 부문에 기틀을 제시하는 이정표와 목표
- 모든 행동영역에 전략적 조치
- 파리협정에서 합의한 감축목표 상향 조정을 실현할 프로세스 구축

2030년 중간 목표 달성을 위해 독일은 1990년 대비 2030년까지 총 온실가스 배출량의 55% 이상을 감소해야 한다. 이를 위해 독일의 연방정부에서는 각 행동 영역별 온실가스 감축 비율을 설정하였다.

2) 독일 연방 환경·원자력안전부 (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, BMUV) 웹사이트 참고

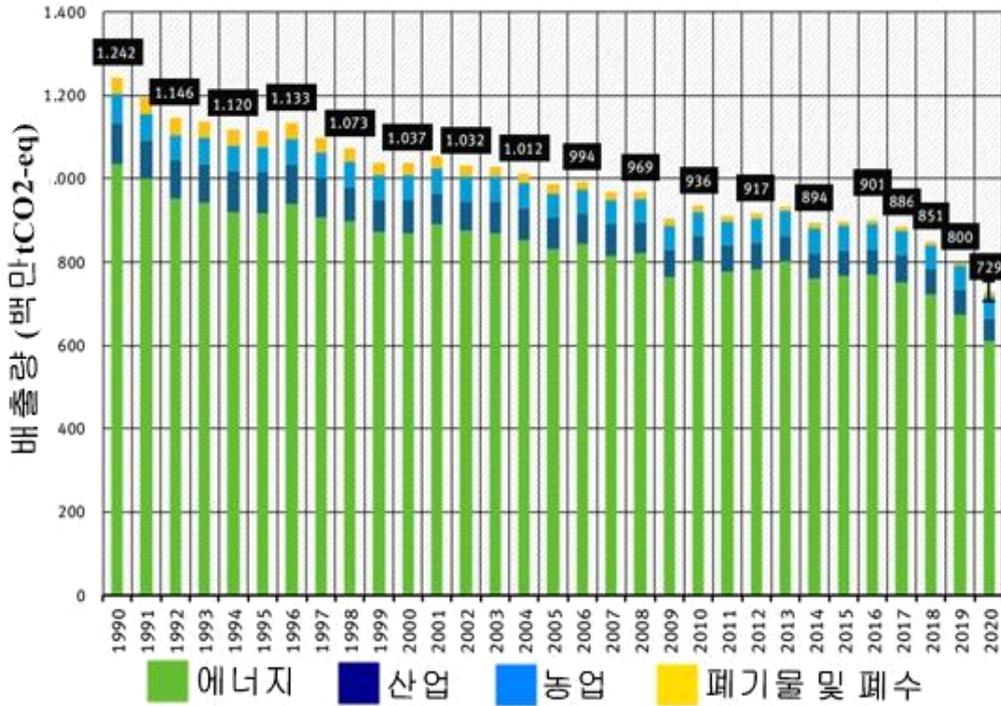
<표 3.7> 기본보호계획 2050의 행동영역별 배출량 감축 목표

행동영역	1990 (백만 tCO ₂ -eq.)	2014 (백만 tCO ₂ -eq.)	2030 (백만 tCO ₂ -eq.)	2030 (1990년 대비 감축%)
에너지산업	466	358	175~183	62~61%
건물	209	119	70~72	67~66%
교통	163	160	95~98	42~40%
산업	283	181	140~143	51~49%
농업	88	72	58~61	34~31%
소계(小計)	1,209	890	538~557	56~54%
기타	39	12	5	87%
총계	1,248	902	543~562	56~55%

* 출처: Klimaschutzplan 2050

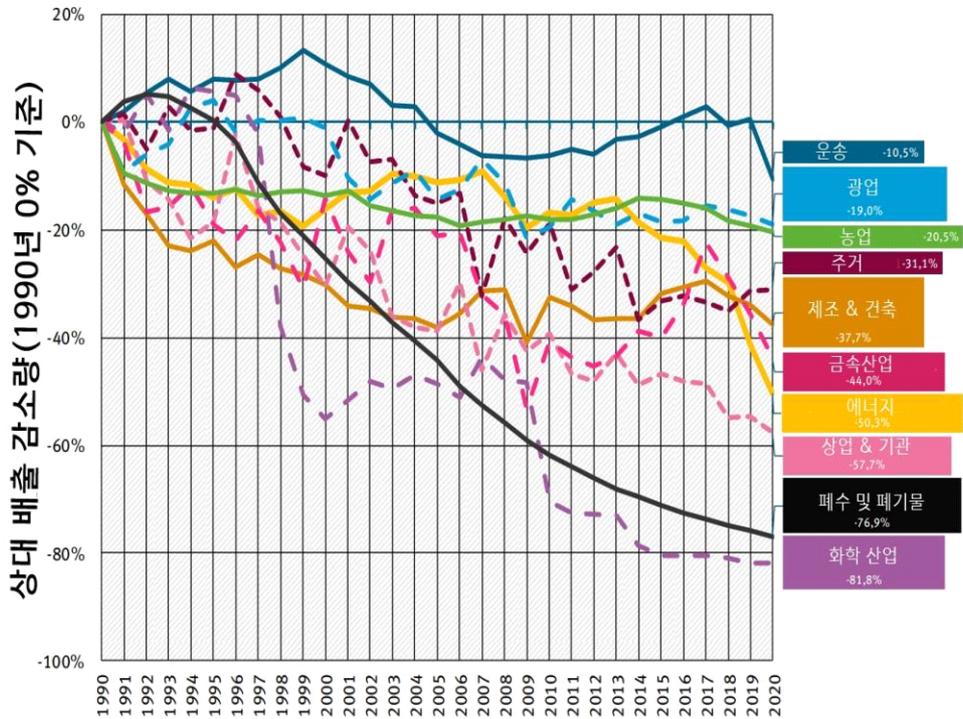
2022년 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)에 제출된 독일의 국가 온실가스 인벤토리 보고서에 따르면 토지이용과 산림 분야를 제외한 2020년 기준, 에너지, 산업, 농업, 폐기물 및 폐수 분야에서 발생하는 온실가스는 730 Mt CO₂-eq.이며 CO₂는 630 Mt CO₂-eq., CH₄ 50 Mt CO₂-eq., N₂O 30 Mt CO₂-eq., HFC, SF₆, PFCs의 F-gases는 10 Mt CO₂-eq.가 발생하였으며 에너지 분야에서 608 Mt CO₂-eq.로 가장 많은 양의 온실가스 배출되는 것으로 나타났다³⁾.

3) Germany. 2022 National Inventory Submissions



[그림 3.28] 독일의 분류별 온실가스 배출량 (1990~2020)

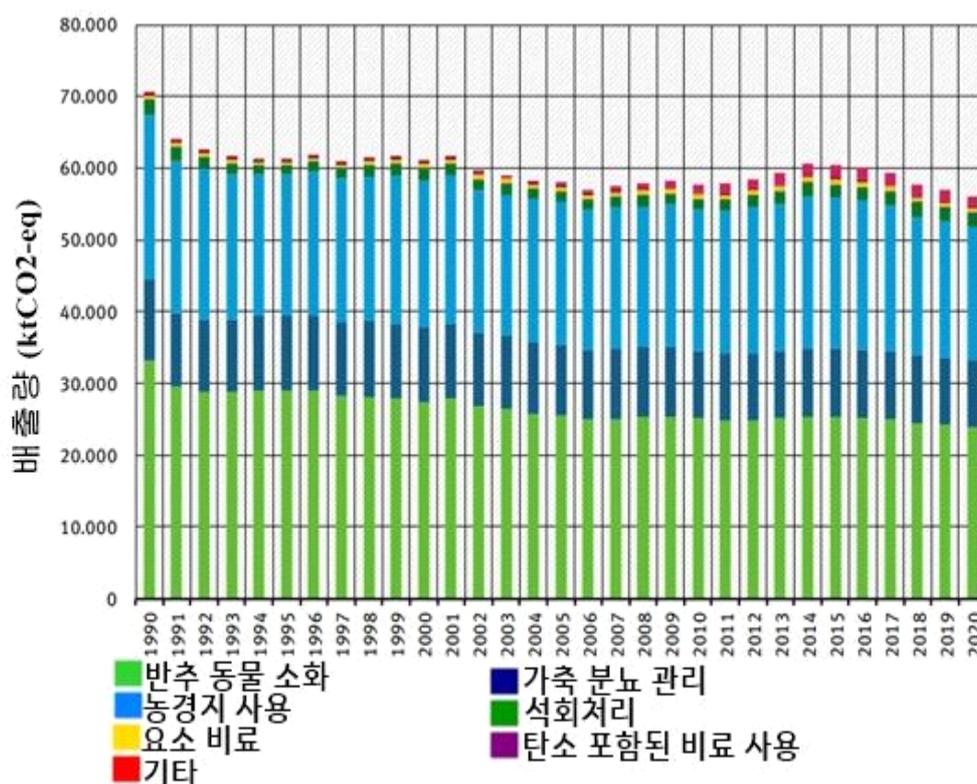
* 출처: Germany. 2022 National Inventory Submissions



[그림 3.29] 1990년도 대비 산업 분야별 상대 온실가스 배출 감소량

* 출처: Germany. 2022 National Inventory Submissions

온실가스의 배출량이 많은 산업 및 에너지 분야에서는 2005년 배출권거래제(ETS)를 도입하여 EU의 감축목표를 달성하고자 하였고 해당 분야에서의 온실가스 배출량은 EU 배출권 거래제(EU ETS) 4기에서 2005년 대비 2030년까지 43%의 감축을 목표로 하고 있다. 이에 반해 배출권거래제에 속하지 않는 교통, 건물, 농업 등의 Non-ETS 분야에서는 EU 기후보호 명령의 틀에 따라 CO₂ 배출 허용 총량이 명시되어 있다. 독일의 경우 2030년까지 Non-ETS 분야에서 2005년 대비 38%를 감축해야 하며⁴⁾ 이를 달성하지 못할 경우 다른 회원국으로부터의 온실가스 배출권을 할당받게 된다.



[그림 3.30] 농업 분야별 온실가스 배출량(1990~2020)

* 출처: Germany, 2022 National Inventory Submissions

Non-ETS 분야에 해당하는 농업은 온실가스를 배출하는 요소이나 다른 한편으로 보면 기후 변화에 따른 영향을 직접적으로 받는 요소이다. 따라서 독일 연방정부는 이러한 농업에서 얻을 수 있는 식량의 지속가능성을 보장하는 것을 목표와 기후 변화 적응 및 온실가스 배출 감축과 잠재적인 갈등이 발생한다.

4) 유럽의회 및 이사회의 규정(EU) 2018/842에 따른 2021년부터 2030년까지 회원국 연간 배출 할당량

독일의 CRF(Common Reporting Format) 부문 3에 해당하는 농업 분야 온실가스 배출량은 통일 후 동독의 가축사육두수 감소와 비료관리 개선으로 1990년대 초 큰 폭으로 감소하고서 2020년 기준 56 Mt CO₂-eq.로 이는 전체 발생량 대비 7.6%를 차지한다. 농업 보고서에 따라 농업 분야에서 배출하고 있는 주된 배출원은 가축별로도 구분되어 있으나 큰 범주로 반추동물의 소화과정에서의 발생(Enteric Fermentation) 23 Mt CO₂-eq., 분뇨의 소화 및 저장된 소화물을 포함한 분뇨 관리(Manure Management) 9 Mt CO₂-eq., 농경지 사용 중 발생(Agricultural Soils) 17 Mt CO₂-eq., 석회처리(Liming) 2 Mt CO₂-eq., 요소 비료(Urea Application) 0.4 Mt CO₂-eq., 탄소가 포함된 비료(Other C-containing Fertilizers) 3 Mt CO₂-eq.이며 각각의 주된 성분으로 N₂O인 농경지 사용과 CO₂인 석회처리를 제외하면 CH₄의 형태로 배출된다.

<표 3.8> 농업 분야별 온실가스 배출량(2022)

농업 분야	2020 (백만 tCO ₂ -eq.)
반추동물 소화	23.0
분뇨 관리	9.0
농경지 사용	17.0
석회처리	2.0
요소 비료	0.4
탄소 포함 비료	3.0
기타	1.6
총계	56.0

* 출처: Germany, 2022 National Inventory Submissions

농업 분야에서 발생하는 온실가스 배출의 상당량은 작물경작 및 가축 사육의 자연적인 생리학적 과정에서 발생하기에 실제 기술적 조치로는 제한적인 양만 감축할 수 있고 제로 배출로 줄이는 것이 어려운 상황이다. 따라서 농업 분야에서의 기후 보호 노력은 배출가스 감축과 지속가능한 농업 생산에 따른 자원효율 증대를 목표로 하고 있다.

독일의 기후보호계획의 2030년 중간 목표에 따라 2030년까지의 임업(LULUCF)을 포함한 농업 분야 온실가스 배출량은 58 Mt CO₂-eq.에서 61 Mt

CO₂-eq.까지 감소되어야 한다. 이러한 배출량 내 존재하는 질소에 대한 해결경로를 제시하여 질소 효율을 개선하고 축산업에 필요한 동물 사료 생산에 기후친화적 발전과 동시에 독일 농업과 식량 경작의 주요한 축 중 하나인 유기농업을 지속가능성 원칙에 도입하여 농경지의 유기농 확대를 제시한다.

장기적인 관점으로 봤을 때 농업에 대한 온실가스 배출은 2050년까지 2030년 중간목표 대비 큰 폭으로 감축할 수 있으나 다른 산업에서의 추가적인 감소가 불가피하게 발생해야 하며 동시에 전 세계적인 인구 증가로 인한 '기아 종식, 식량 안보와 개선된 영양 개선 그리고 지속가능한 농업(SDG2)'이라는 유엔의 지속가능발전 목표를 고려해야 하는 점을 무시할 수 없기 때문에 다양한 방면의 연구 및 개발프로젝트에 지원이 이루어지고 있으며 '농업과 임업의 기후보호에 관한 포괄적 연구 이니셔티브(2021년 시행)'⁵⁾ 등을 마련하고 있다.

독일 연방정부는 농업 정책의 강화를 위해 2019년 환경규제를 포함한 다양한 농업 정책을 발표했다. 9월 4일 농업정책 패키지(Agrarpaket)는 곤충 서식지 보호, 농약 사용 감축, 빛 공해와 관련된 곤충 보호 프로그램, 공동농업정책 예산 내 제1축(직불금)에서 제2축(농촌개발)로의 재할당분을 인상하여 농촌개발 프로그램 투자를 늘리는 직불금 관련법 개정⁶⁾ 및 동물복지 조치에 따른 등급 표시 등의 동물복지표시법을 연방내각에서 채택하여 의회로 제출되었다.

'기후보호 프로그램 2030(Klimaschutzprogramm 2030)'는 기후보호법과 함께 10월 9일에 채택되었으며 경제적인 측면에서 기후변화로 인한 피해와 이에 대한 적응 비용 및 국제적 탄소 배출 목표 미준수 시 발생하는 할당배출권 구매 비용을 독일이 방지하기 위해 만든 프로그램으로 연구 및 개발에 대한 지원과 기후 친화적 기술 제공을 통해 선도 시장으로서 부를 촉진하기 위한 원동력을 목표로 하여 다음과 같은 완화 대책을 제시하고자 하였다.

5) Klimaschutzbericht 2021

6) 독일 2014-2020 다년도 공동농업정책

<표 3.9> 기후보호 프로그램 2030 대책

- 1) 비료 이용 규제 및 시비 방법을 개선하여 잉여 질소 감축
- 2) 축산 분뇨에서 발생하는 메탄을 재생에너지로 활용하여 메탄 감축, 암모니아 및 아산화질소 배출 감축
- 3) 유기농업 확대를 위한 관련 제도 및 재정적 지원 확대
- 4) 축산업에서의 온실가스 배출량 감축을 위한 기후친화적인 축산 기술 연구 및 지식 공유
- 5) 농업 및 원예에서 요구되는 에너지의 효율 개선 및 재생에너지 이용 장려
- 6) 부식토 조성을 촉진하는 영농방식 장려 및 토양 탄소 고정 잠재력 활용
- 7) 영구 초지 보존을 통해 토양 내 고정된 탄소 보호
- 8) 온실가스 흡수원 이탄습지(Peatland) 보호하여 배출원이 되지 않도록 함
- 9) 삼림의 보전과 지속가능한 관리 및 목재의 지속가능한 이용
- 10) 음식물 쓰레기를 줄여 농업에서 발생하는 온실가스 간접 감축
- 11) 공동농업정책 내 기후보호 조치 확대

* 출처: Klimaschutzprogramm 2030

‘기후보호계획 2050’에서 확정된 부문별 배출감축 달성 목표는 모든 부문에서 동시에 이루어져야 가능한 일이므로, 이를 가장 비용 효율적으로 달성하도록 독일은 해당 부문별 조치와 포괄적 조치에 대한 사항을 해당 정책 통해 구체화하고 2019년 12월 18일 연방 기후 보호법을 제정하여 법적인 근거를 제시하였다.

연방 기후 보호법에서는 독일의 기후 목표 달성과 EU의 목표 준수를 보장하고 그에 대한 생태학적, 사회적, 경제적 영향을 고려하며 기본적으로 파리 협정에 기반하여 산업화 이전 수준으로 기후 변화의 영향을 최소화하기 위해 지구 평균 기온 상승을 섭씨 2도 아래로 제한하고 가능한 1.5도 이상으로 제한하기 위한 의무이다. 이를 위해 에너지, 산업, 교통, 건물, 농업, 폐기물 및 기타의 분야에 대해 연간 배출 예산을 규정하고 2030년 이후의 감소율 목표를 제시한다.⁷⁾

7) Bundes-Klimaschutzgesetz

<표 3.10> 연방 기후 보호법(19년 12월 18일 시행) 목표

<p>(1) 온실가스 배출량은 1990년에 비해 다음과 같이 점진적으로 감소</p> <p>1. 2030년까지 최소 65%</p> <p>2. 2040년까지 최소 88%</p>
<p>(2) 2045년까지 온실가스 배출량은 탄소 중립을 달성하는 수준까지 감소 2050년 이후에는 마이너스 온실가스 배출을 달성</p>
<p>(3) 상기 목표는 온실가스의 부분적 배출 감소에 대한 국제 메커니즘을 사용하는 국가 기후 목표 성취 가능성을 침해하지 않고 적용</p>
<p>(4) 유럽 또는 국제 기후 보호 목표를 충족하기 위해 연방 정부는 (1)의 수치를 높이기 위한 조치를 취해야하며 해당 수치는 높일 수 있으나 낮출 수 없음</p>

<표 3.11> 2031년부터 2040년 연간 감소 목표(연방 기후 보호법)

연도	1990년대 대비 감소율
2031	67%
2032	70%
2033	72%
2034	74%
2035	77%
2036	79%
2037	81%
2038	83%
2037	86%
2040	88%

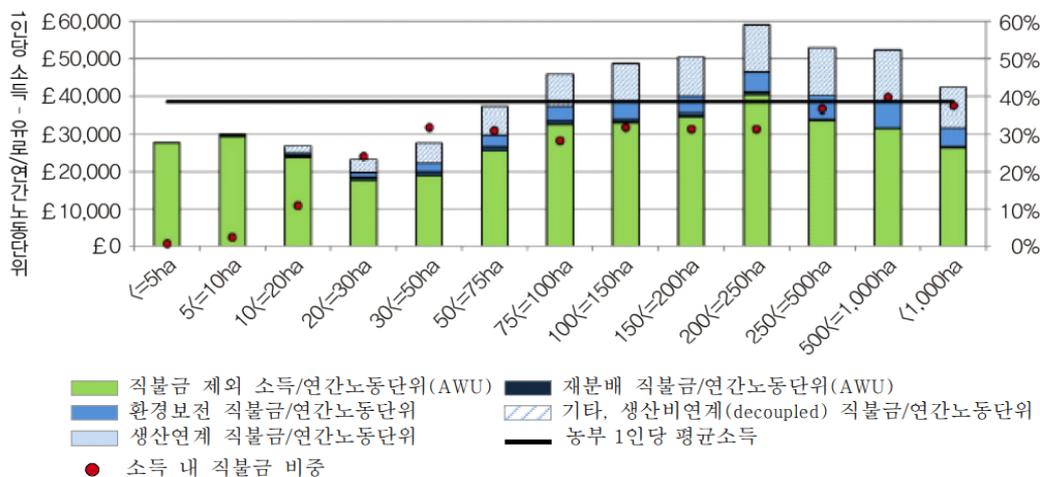
또한 기후보호프로그램 2030에서 발생한 부를 다른 목적에 투입하지 않고 기후보호 지원책에 재투자 및 국민 부담 경감의 형태를 유지하는 '에너지·기후기금 운영계획 2020(Wirtschaftsplan 2020 des Energie-und Klimafonds verankert)에 기반을 두며 연방 식품 농업부는 다음과 같은 원칙을 기준으로 제시하였다⁸⁾.

8) 기후보호계획 2050의 이행을 위한 독일 연방정부의 기후보호 프로그램 2030

- 독일의 농업과 임업에 중대한 생산제한과 경쟁 불이익 발생 방지
- 기후보호와 기후적응 간 시너지와 자원효율 이용
- 법·제도적 충돌 영향을 고려 및 참작
- 이미 결정된 조치(독일 지속가능성 전략, 농업전략, 대기정화)와 결합
- 디지털 기술과 정밀농업을 통한 배출 감소 기여

‘기후보호계획 2050’의 정의에 따라 ‘기후보호 프로그램 2030’에서는 CRF 부문3의 모든 온실가스 배출은 농업으로 귀속되며 동시에 생물원의 원료(Biogene Rohstoffe)를 지속적으로 생산하여 기후 보호에 기여를 할 수 있다. 또한 식량의 안정적 공급 및 바이오 에너지, 섬유 등 다른 목적의 원료를 생산하는 것을 주된 과제로 삼고 이를 위하여 프로그램에서 명시한 당면 조치에는 다음과 같은 재정 지원책이 있다.

4.1.1. EU 공동농업 정책



[그림 3.31] 독일 농지 규모별(ha) 1인당 연간 소득 및 직불금(2015-2016 평균)

* 출처: European Commission(2019)

EU의 공동 농업정책(GAP)에 대하여 EU 집행위원회에서는 GAP 직불제의 녹색화(Greening)을 추진하며 친환경적 농업정책 수립 목표를 이행하였는데 이에 대해 독일 연방정부는 질소 감축, 유기농업 경지 확대, 축산업 배출 감소 등 미래경쟁력 강화와 독일의 기후목표 달성을 위해 현행 EU차원의 법보다 더 높은

수준의 지원금을 지원하기 위해 GAP 직불금 제도를 실시하여 환경보호, 동물복지, 토양 관리 등에 대한 의무와 규제가 부여됨과 동시에 기초 직불금(Basic Payment), 환경보전 직불금(Greening prämie) 등으로 독일에 부여된 포괄적 재량행위를 이용하여 농가에 대한 지원을 실시한다.

4.1.2. 재생에너지법 기반 재생에너지 발전 지원

독일에서는 2025년까지 바이오가스 플랜트의 퇴비(축산업의 액비와 거름) 사용량이 증가할 것으로 보고 있으며 이에 대해 2017년 재생에너지법(제4조(4), 제28조(3), 제44조)를 기반으로 발효기질 구성에 관한 의무를 준수할 경우 시설에 대한 지원이 이루어지도록 한다. 또한 가스 밀폐용 덮개의 설치 및 퇴비의 혼합발효로 메탄과 이산화질소의 배출을 방지하고자 한다.

4.1.3. 유기농업 미래전략(Zukunftsstrategie Ökologischer Landbau)

독일의 지속가능성 전략(2016)에 따라 전체 농지 중 20%의 유기농 경작지를 확보하기 위해 연방 식품 농업부(BMEL)에서 수립한 전략으로 참여자에 대한 적합한 제반조건을 마련하는 것에 중점을 두고 있다. 즉 친환경적 경작과 기존의 경작의 상호 보완 방식을 제시하고자 하며 2014년에서 2017년까지는 '농업 구조개선 및 해안보호 공동임무(GAK)'를 통한 농민의 유기농업 지원 비중은 강화하였고 이러한 조치는 이후에도 이어져 환경 고려 운영 관리, 유기 농업 확대, 폐수 및 폐기물 조치에 대한 '농업 환경, 기후 보호 및 동물 복지 지원 프로그램(FAKT, Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl)'와 같은 지원 프로그램에도 할당되어 이어지고 있다.

<표 3.12> FAKT II 펀딩 분류 및 보조금

분류	항목	보조금(€/ha)
A	환경 경영	
A2	농장 전체 사일리지 제거	80
B	초원과 보호종 보존 및 관리	
B1,2	질소 비료를 사용하지 않는 초원에서 최소 6종의 주요 종을 포함한 영구 초원	150
~		
E	환경 친화적 식물 생산 및 생물학적 조치	
E1	혼합 종자 사용	100
E2	제초제 미사용	80

* 출처: Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl ab 2023 (FAKT II)

4.1.4. 질서법(Ordnungsrecht)

2017년 7월부터 시행 중인 개정된 비료 관리 명령으로 비료 사용 계획, 농장의 양분관리, 가을에서 겨울까지 시비(施肥) 금지 기간 및 퇴비의 최소 저장량에 대한 강화 규정으로 유기물비료의 1헥타르 당 질소함량에 대한 상한선과 온실가스를 적게 배출하는 비료 살포 방법을 명시하였다. 이를 통해 환경을 보호하는 방식으로 질소를 사용하고 토양에 남는 아산화질소와 같은 잉여 질소를 감소시키고자 한다.

이어 연방식품농업부에서는 12월 19일 곡류, 채소, 과수와 같은 작물 부문에 대한 환경, 경제, 사회적 문제의 중장기적인 전략을 담은 6가지 지침과 12개의 실행영역 목표에 대한 농업전략 2035(Ackerbaustrategie 2035)를 발표하였다.

<표 3.13> 농업전력 2035 내용

구분	내용
지침	<ul style="list-style-type: none"> · 고품질 식품, 동물 사료 및 바이오 원료 공급 보장 · 농가 소득 확보 · 환경 및 자원 보호 강화 · 농업 경관의 생물다양성 보존 · 기후 보호에 대한 기여 확대 및 기후 변화에 경작지 적응 · 농업에 대한 사회적 수용 증대
행동 분야	<ul style="list-style-type: none"> · 토양 보호를 더욱 강화하고 토양 비옥도를 높입니다. · 작물 다양성 증가 및 작물 순환 확대 · 비료 효율을 높이고 영양 과잉 감소. · 통합 작물 보호 강화 및 원치 않는 환경 영향 감소 · 강건하고 현장에 적합한 종 및 품종 개발 · 디지털화의 도움으로 경작 가능한 잠재력의 최적 사용 · 농업 경관의 생물다양성 강화 · 기후 적응 재배 개념 개발 · 경작지에서 기후 보호 확대 및 시너지 활용 · 교육 및 상담 강화 · 농민들에게 더 많은 감사를 · 경작 가능 농업 전략의 실행을 위한 정치적, 재정적 지원

4.2. 독일의 농업 분야 탄소중립 달성을 위한 방법론

앞서 언급한 농축산분야에서의 탄소중립 정책과 함께 독일에서 농업 분야 내 온실가스를 측정 및 저감을 위해 알려진 방법론은 다음과 같다.

4.2.1. Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK), “TEKLa”⁹⁾

독일의 니더작센 농업 회의소에서 프로그램화해 개발한 농업 온실가스 배출량 계산 도구인 TEKLa (Treibhausgas Emissions Kalkulator Landwirtschaft)는 ‘BEK¹⁰⁾’에서의 계산 기준과 농업 시 발생하는 실제 요구사항 간의 네트워크를 결합하여 독일 전역의 평균적인 표준 기후를 기반으로 CO₂를 절감하기 위한 계산기로 농장 내 생산 체인, 즉, 업스트림 영역의 온실가스 배출량을 계산한다. 즉, 농부 또는 컨설턴트가 ‘TEKLa’에 생산 공정에 대한 회사별 데이터를 입력하여 결과값으로 얻은 탄소 배출량을 이용해 회사 차원의 취약점을 보완하여 직접적으로 생산 효율 및 온실가스 절감의 효과를 얻을 수 있다.



[그림 3.32] BEK에 따른 탄소 중립 체계

* 출처: BEK manual 2021

9) Landwirtschaftskammer Niedersachsen. 2020

10) Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen in der Landwirtschaft

‘BEK’는 개별 기업에서의 기후 중립을 위한 계산 기준으로 연방 농업 식품부의 지원을 받아 농업 기술 및 건설을 위한 이사회인 ‘KTBL(Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft)’에서 개발된 매뉴얼으로 농업, 축산업, 분뇨의 발효와 바이오가스 생산을 위한 에너지 생산에 대해 자원의 사용, 그리고 그로 인한 생산 및 부산물에서 발생하는 온실가스를 개별 회사 단위로 계산을 수행할 수 있도록 하기 위해 개발되었다. 농업별 온실가스 소스에 대한 관련 가스(예: N₂O) 및 이를 유발하는 물질(예: 잔류 질소)에 대하여 배출량은 물질의 양에 배출계수를 곱하고 이를 CO₂ 단위로 환산된다. 예를 들어, 광물질 비료에 포함된 질소의 경우 시비할 때 암모니아 손실 및 토양 내에서 N₂O를 배출하기 때문에 N₂O의 온실가스 배출계수를 비료의 양에 곱하여 해당 배출원 내 발생하는 CO₂의 양으로 산정하는 방식이다. 농업에서 발생하는 메탄, 아산화질소 및 이산화탄소와 같은 기후 영향 가스가 해당 과정에서 직간접적으로 배출되기 때문에 작물, 목축업의 과정에서 발생하는 양을 직접 배출량, 암모니아 등 간접적으로 아산화질소 배출로 이어질 수 있는 물질의 전환에서 배출되는 양을 간접 배출량, 제품 생산에서 발생하는 업스트림 배출량으로 구분하여 생산 공정 수준의 온실가스 계산 및 개선 가능성을 식별할 수 있다. 또한 농산물은 종종 농장의 한 지점에서 다른 지점으로 또는 다른 농장으로 이전될 수 있기에 이러한 공급 및 수령 지점에서의 온실가스를 동일하게 평가해야 하므로 이러한 점을 부산물의 형태로 고려하여 BEK를 이용할 수도 있다.

<표 3.14> 배출원 구분 및 예시

구분	배출원
직접 배출	<ul style="list-style-type: none"> · 아산화질소: 비료 · 메탄: 장내 발효(동물 소화), 액분뇨 저장 · 이산화탄소: 화석 연료 연소, 장기 저장된 유기물 부식질의 분해
간접 배출	<ul style="list-style-type: none"> · 암모니아의 토양 내 퇴적, · 질소 비료 침출로 인한 아산화 질소
업스트림 배출	<ul style="list-style-type: none"> · 비료, 살충제 살포 과정 · 제품 생산에 필요한 에너지 · 기계 제조를 위한 이산화탄소

* 출처: BEK manual 2021

4.2.2. BMEL, "Bundesprogramm zur Steigerung der Energieeffizienz und CO₂-Einsparung in Landwirtschaft und Gartenbau" (농업 및 원예 분야의 에너지 효율성 및 CO₂ 절감을 위한 연방 프로그램)¹¹⁾

해당 프로그램은 독일의 농업 분야에서 발생하는 에너지 관련 탄소 배출량은 2/3이 이동식 기계 및 장치의 내연 기관에 의해 발생하고 1/3은 화석 연료를 사용하는 열에 의해서 발생하기에 이러한 탄소 배출을 줄이고자 농업을 실시하는 회사의 에너지 절약 및 재생 가능 에너지 사용 촉진을 증가시키기 위한 연방 자금 지원 프로그램이며 기후 보호 프로그램 2030의 일부로 연방 식품 농업부가 농업에서 발생하는 16 Mt CO₂-eq.를 줄이기 위한 방안 중 하나로 개발한 프로그램이다.

해당 자금 지원 지침은 두 분야의 대상으로 나누어진다. 원예, 포도, 홉 재배 등의 1차 농업 생산에 참여하는 중소기업인 파트 A, 농업 및 원예 기업의 재생 에너지 공급을 위한 대규모 개인 및 회사 간 프로젝트를 파트 B를 대상으로 조인, 투자 및 지식 이전을 촉진하며 여기에는 에너지 절약 및 효율적인 에너지 사용, 재생 에너지 생산 및 이동식 기계를 위한 재생 에너지 사용이 포함된다.

파트 A에 해당하는 대상은 에너지 현대화에 추가하여 기존 공장 및 건물의 철거, 에너지 효율적인 신축 공사에 대한 자금과 새 건물이나 공장에서 재생 가능 에너지를 사용하는 경우 일정 비율의 자금이 지원된다. 독립적으로 재생 에너지 조달 영역의 경우 태양열, 태양광 설비, 우드칩 플랜트 및 소형 바이오가스 플랜트, 지열 에너지, 재생 에너지의 저장 및 방출 시스템에 대한 효율적인 제공에 대하여 프로젝트 진행 전 사전 견적, 프로세스에 대한 자금이 지원된다.

11) BMEL. Energieeffizienz und CO₂-Einsparung in Landwirtschaft und Gartenbau. 2021

5. EU

5.1. EU의 탄소중립 관련 정책 현황

유럽연합(EU)은 탄소중립 달성 목표를 설정해 국제사회의 기후위기 대응 논의를 선도하고 있다. 2019년 12월 EU 집행위원회는 그린딜('Green Deal') 정책을 발표하고 주요 목표로 30년까지 '90년 대비 온실가스 순 배출량을 55% 감축하고 2050년까지 유럽 대륙의 탄소중립을 실현하겠다고 선언했다. 이를 달성하기 위해 EU는 유럽 기후법(European Climate Law)을 제정하여 목표에 대한 법적 구속력을 부여했다. 2020년에 EU 집행위원회에 의해 제안되어 2021년 발효된 유럽 기후법은 다음과 같은 목표를 포함한다.

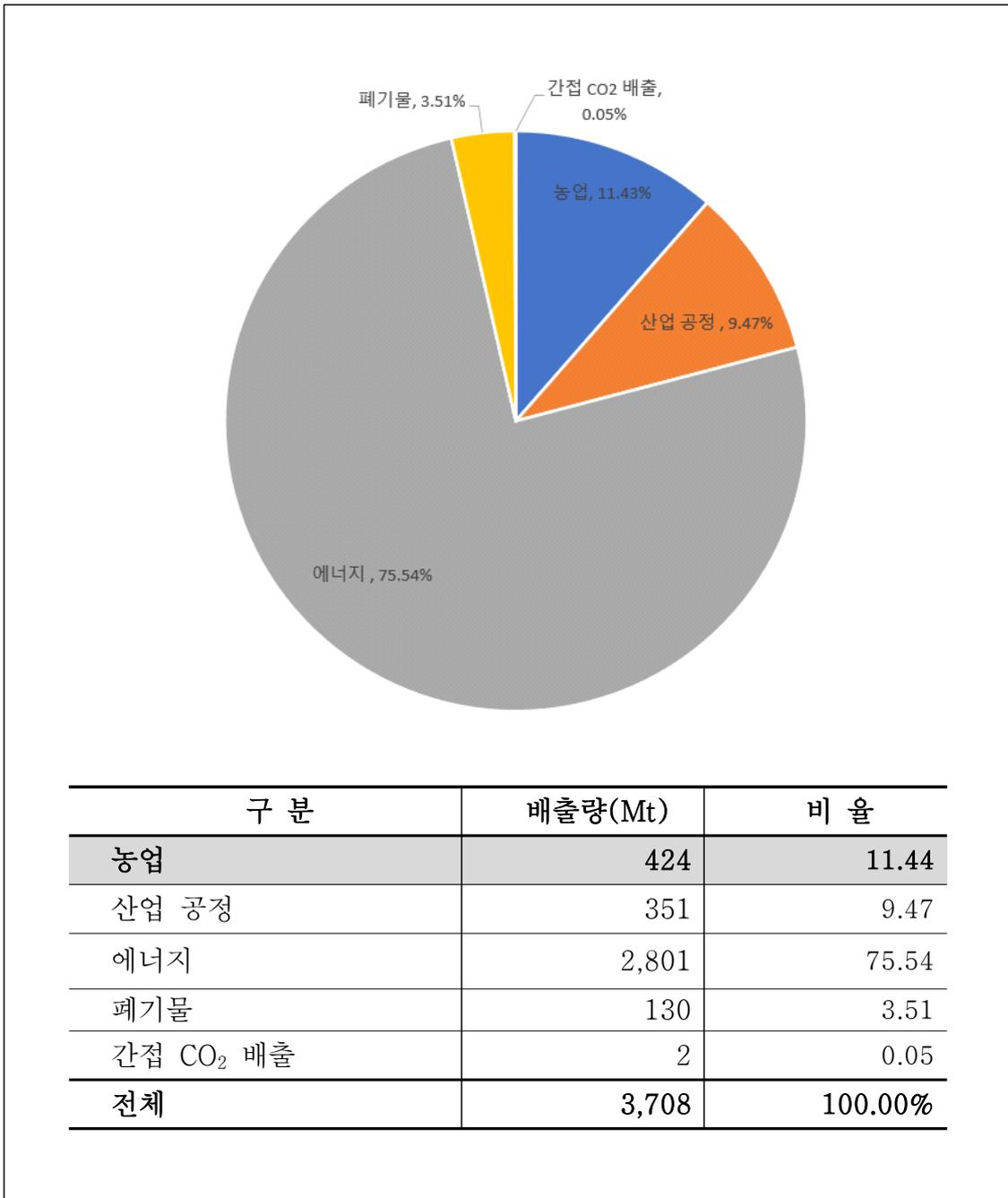
유럽 기후법(2018/1999 European Climate Law) 목표

- 2050년 기후 중립 목표를 달성하기 위한 모든 정책을 통한 공정하고 효율적인 장기 방향 설정
- EU 2030 목표를 설정하여 2050년까지 유럽이 기후 중립국이 되기 위한 책임 있는 경로 설정
- 진행 상황의 모니터링 시스템 제작, 필요한 경우 추가 조치
- 투자자 및 기타 경제 주체에 예측 가능성 제공
- 기후 중립으로의 전환이 되돌릴 수 없도록 보장

EU는 탄소배출량을 '90년 대비 55% 수준으로 감축하기 위한 총 12개 입법안 및 이니셔티브와 사회기후기금(Social Climate Fund) 신설한다는 내용이 포함된 입법안 패키지인 '핏포 55'(Fit for 55)를 발표했다.

EU는 온실가스 배출을 줄이기 위한 포괄적인 정책 틀을 구축했고, 1990년에서 2018년 사이 온실가스 배출량을 24% 감소시키는 성과를 달성했다. 2020년을 기준으로 한 총 EU-KP 배출량 중 LULUCF를 제외한 CO₂의 배출량은 1990년 수준보다 34% 낮은 수치인 2,966 Mt이다. 또한 2019년 대비 CO₂ 배출량, N₂O 배출량 및 CH₄ 배출량은 각각 9.9%, 1.4%, 1.3% 감소했다.

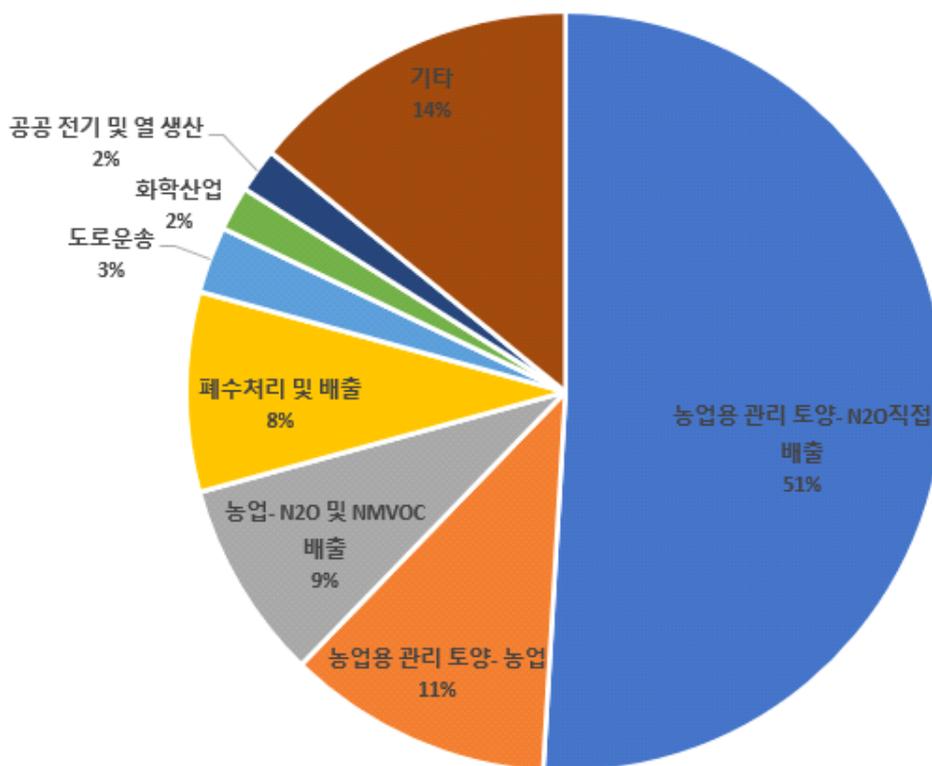
영역별 GHG 배출 측면에서 가장 중요한 부문은 에너지(즉, 연소 및 비산 배출)로, 2020년 총배출량의 76%를 차지한다. 두 번째로 큰 부문은 농업(11%)이며 산업 공정(9%)이 그 다음이다.



[그림 3.33] LULUCF를 제외한 EU-KP의 영역별 온실가스 배출 비율(2020년 기준)

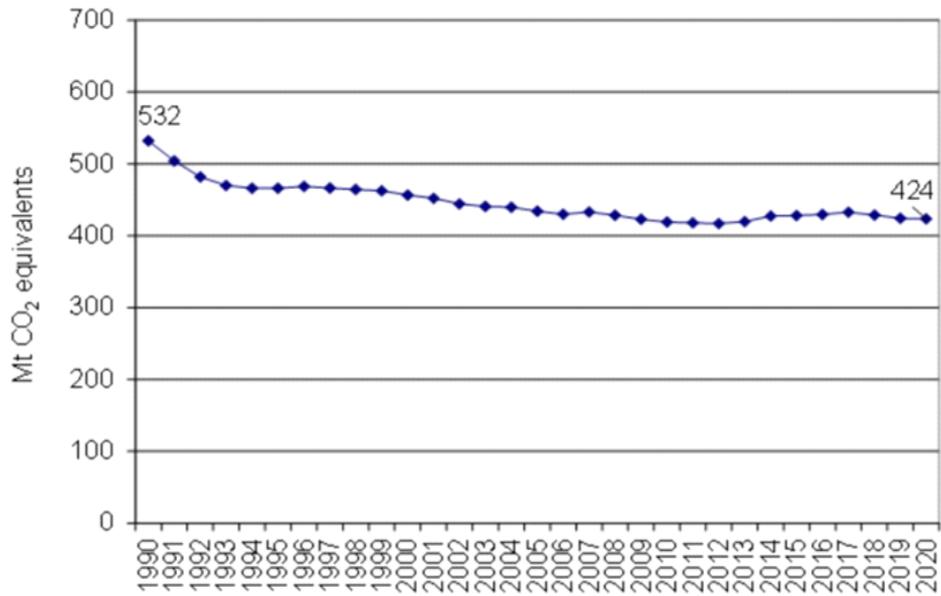
주요 온실가스별로 살펴보면 이산화탄소는 2020년 기준 총 배출의 80% 이상을 차지한다. 메탄 배출량은 2020년 총 EU GHG 배출량의 12%이며 1990년 이후 40% 감소해 2020년에는 4억 3400만톤을 기록했다. CH₄ 배출의 주요 원천

은 가축 장내 발효(36%), 혐기성 폐기물(18%), 농업(10%) 순이다. N₂O 배출량은 전체 EU GHG 배출량의 7%를 차지하며 2020년 39% 감소하여 2억 4,200만톤이다. N₂O 배출은 주로 농업 부문에서 발생하며 농업용 토지로 인한 N₂O 배출량은 총 66%를 차지한다.



[그림 3.34] EU-KP의 배출원별 발생된 N₂O 비율(2020년 기준)

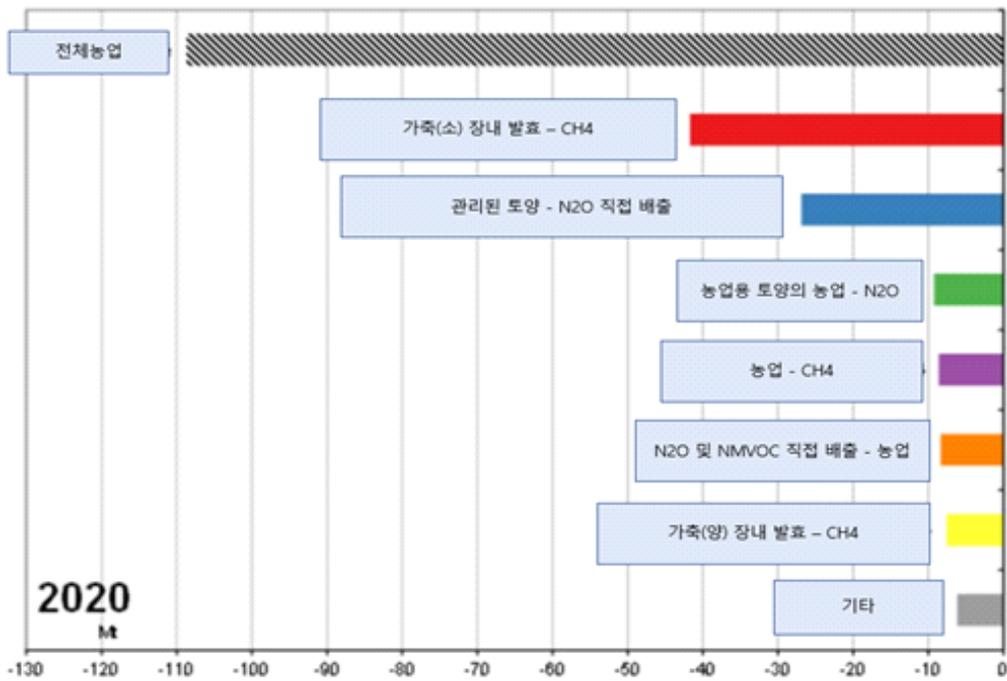
농업의 총 GHG 배출량은 1990년 532 Mt CO₂-eq에서 2020년 424 Mt CO₂-eq로 감소하였다. 배출량 감소 중 이산화탄소가 29.2% 감소하여 가장 두드러졌고 메탄(20.5%)이 그 뒤를 이어 감소했으며 아산화질소는 19.7% 감소했다. 감소는 1990년과 2000년 사이에 총 14.3%의 감소로 첫 10년 동안 가장 두드러졌으며 2000년과 2005년 사이에는 추가 감소가 있었지만 2005년 이후 거의 일정하게 유지되었다. 농업에서의 배출량 감소의 주된 원인은 소 개체수의 감소(1990년에서 2020년 사이 28.6%)와 합성 비료 및 유기농 비료의 적용량 감소(각각 25.2% 및 12.4% 감소)이다.



[그림 3.35] 1990-2020년 농업에서의 EU-28 GHG 배출량

* 출처: Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2020 and inventory report 2022

이 감소의 46%는 가축으로부터의 메탄 발생 부문에서 비롯됐다. 다음으로 관리된 토양으로부터의 아산화질소 직접 배출은 총감소량의 24%를 차지하며 분뇨 관리로 인한 메탄과 아산화질소는 각각 배출량 총감소량의 8%를 차지한다.



[그림 3.36] 농업 배출원 범주별 GHG 배출량 분포(2020년 기준)

* 출처: Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2020 and inventory report 2022

농업 분야에서의 온실가스 감축 저감 노력은 EU의 그린딜과 환경 정책에서도 찾아볼 수 있다. EU는 유럽 그린딜(European Green Deal)을 통해 2050년까지 EU의 탄소 중립 목표를 설정하고 2030년에는 1990년 수준과 비교하여 순 GHG 배출량을 최소 55% 줄이는 중간 목표를 제안했다. 이러한 기후 중립으로의 전환은 농촌 지역과 관련된 EU의 다양한 기후 및 환경 정책을 포함한다.

<표 3.15> 농촌 지역과 관련된 EU의 기후 및 환경 정책

<p>재생 에너지 지침 (Renewable Energy Directive)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 EU의 에너지 소비에서 재생 에너지의 양에 대한 공통 목표(32%)를 설정
<p>토지 이용, 토지 이용 변경 및 임업 규정 (LULUCF Regulation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 자연 흡수원에 의한 탄소 제거에 대한 전체 EU 목표(3억 1천만 톤의 CO₂ 배출량) 설정
<p>생물다양성 전략 (EU 2030 Biodiversity strategy)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 유럽 육지와 바다의 최소 30%를 효과적으로 관리되는 보호 지역으로 전환 목표 설정 • EU 자연 복원 계획 제안
<p>Farm to Fork 전략 (Farm to Fork Strategy)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 화학 살충제의 전반적인 사용과 위험 감량, 농경지의 최소 25% 유기농법으로 관리, 비료 사용 20% 이상 감량 목표 설정
<p>노력 분담 규정 (Effort Sharing Regulation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 건물, 도로 및 국내 해상 운송, 농업, 폐기물 및 소규모 산업에 대해 각 회원국에 강화된 배출 감소 목표 할당
<p>기후변화 적응에 관한 새로운 EU 전략 (The new EU Strategy on Adaptation to Climate Change)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2050년까지 기후 변화의 영향에 적응하고 기후 회복력이 있는 사회가 되기 위한 EU의 장기 비전 • 농촌 지역에 새로운 소득 가능성을 창출할 토지 기반 제거의 기후 이점을 모니터링하고 정량화하기 위한 탄소 제거 인증 메커니즘 개발

EU는 토지의 약 절반이 경작지로 유럽의 농업은 EU의 공동 농업 정책(CAP)의 영향을 크게 받는다¹²⁾. EU의 공동농업정책(CAP)는 지속 가능한 식품 시스템으로의 전환을 관리하고 EU의 기후 목표에 기여하는 유럽 농민의 노력을 강화하는 정책이다. 2003년 CAP 개혁 이후 CAP의 필수 요소가 된 교차 준수(Cross-compliance)는 여러 법적 관리 요건(SMR)과 토지를 좋은 농업 및 환경 조건(GAEC)으로 유지하는 의무를 직접 지불과 연결하는 역할을 하고 있다. 그 중 질산염 지침 (Council Directive 91/676/EEC)은 농업에서 온실 가스 배출에

12) Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2020 and inventory report 2022

가장 큰 영향을 미치는 SMR로 이 지침은 지하수의 질산염 농도가 50mg를 초과하지 않도록 하고 농부들이 이행해야 하는 모범 사례 코드를 나열하여 농업 공급원의 질산염으로 인한 수질 오염을 줄이고 예방하는 것을 목표로 한다. 질산염 취약 구역(NVZ)은 이러한 구역의 지하수와 지표수가 농업으로 인한 질산염 오염의 영향을 받거나 받을 수 있음을 나타내는 모니터링 결과를 기반으로 지정해야 한다. 실행 프로그램에는 필수 조치(가축분뇨 및 비료의 시비를 금지하는 기간, 동물 분뇨의 저장 용량 및 시설, 토지에 적용되는 동물 분뇨 및 비료의 양에 대한 제한)가 포함되어야 한다.

<표 3.16> NVZ의 행동 프로그램 예

행동 프로그램	내용
벨기에의 분뇨실행 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 분뇨 살포 기간 단축, 토지에 분뇨를 사용하기 위한 저배출 기술 예견 • 토지에 분뇨를 시용함으로써 발생하는 NH₃ 배출량 감량을 위한 잉여 분뇨와 분뇨 처리의 감소
덴마크 환경 정책	<ul style="list-style-type: none"> • 농업 토양에서 수생 환경으로의 질소 손실을 방지하기 위한 조치(분뇨의 질소 이용 개선, 가을과 겨울 동안의 분뇨 시용 금지, 질소를 포획하기 위한 겨울 녹지 면적 확대, 헥타르 당 최대 동물 수 및 농작물에 대한 최대 질소 적용률)도입 • 모든 농부의 농장 및 현장 수준에서 N-광물 회계 수행 의무 • 광물질 비료 공급업체의 상업 농부들에 대한 모든 N 판매를 Plant Directorate에 보고 의무
네덜란드의 분뇨 및 비료 정책	<ul style="list-style-type: none"> • 돼지 및 가금류 생산권(총 동물 수에 대한 상한선)의 일부를 구매하고 분뇨 및 비료에 대한 최대 영양소 적용 기준을 낮추는 등의 조치를 도입하여 어린 소, 돼지 가금류 수 감축

* 출처: Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2020 and inventory report 2022

행동 프로그램은 NVZ 내 농부들이 의무적으로 시행한다. 이러한 프로그램에는 필수가 되는 우수농업관리기준법(Code of Good Agricultural Practice)에 이미 포함되어 있는 조치와 비료 사용 제한(광물 및 유기물)과 같은 기타 조치가 포함되어야 하며, 작물 수요와 모든 질소 투입량 및 토양 질소 공급을 최대로 고려한다. 4년마다 국가는 지하수와 지표수의 질산염 농도, 지표수의 부영양화, 수질 및 농업 관행에 대한 행동 프로그램의 영향 평가, NVZ 및 실행 프로그램

의 개정, 수질의 미래 경향 추정을 보고해야 한다. 이러한 프로그램은 대부분의 국가의 배출량에 영향을 미쳤다¹³⁾.

환경을 위한 지침 외에도 CAP의 Pillar I은 우유 할당제(milk quota system)를 통해 온실가스 배출에 강한 영향을 미쳤다¹⁴⁾. 이는 지난 수십 년 동안 낙농 부문에서 동물 수의 강력한 감소로 이어졌으며 2015년에 종료되었다. 2018년 6월 1일, 유럽 위원회에서는 2020년 이후 CAP의 기능에 대한 제안을 제시했다. 제안에는 환경 및 기후와 관련하여 더 높은 목표를 달성하겠다는 약속이 있다. 2023년 이후 도입되는 새로운 CAP는 강화된 친환경 정책과 결과 기반 방식을 도입하며 EU의 각 회원국은 'CAP 전략 계획'을 작성하게 된다.

<표 3.17> CAP 전략 계획에 있는 환경, 기후 및 동물 복지 활동 분야

<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화 완화 (농업 관행에서 발생하는 온실가스 배출 감소, 기존 탄소 저장고 유지 및 탄소 강화) 	<ul style="list-style-type: none"> • 토양 황폐화 방지 (토양 복원, 비옥도 향상, 양분 관리)
<ul style="list-style-type: none"> • 기후변화 적응 (식량 생산 시스템의 회복력 개선 조치 포함) 	<ul style="list-style-type: none"> • 생물 다양성 보호 (서식지 또는 종의 보존 또는 복원)
<ul style="list-style-type: none"> • 수질 보호, 수자원에 대한 압박 감소 	<ul style="list-style-type: none"> • 살충제 사용을 줄이기 위한 조치
<ul style="list-style-type: none"> • 동물 복지 향상 또는 항균제 내성 해결을 위한 조치 	

* 출처: List of potential AGRICULTURAL PRACTICES that ECO-SCHEMES could support

각 회원국은 SWOT 분석, 자국 영토 상황 분석을 통해 목표에 맞는 행동유형을 설계하며 위원회는 이를 평가하여 계획을 승인한다. 이러한 접근 방식은 현재의 농촌 개발 지원(CAP Pillar II)과 농부에 대한 직접 소득 지원 지불(CAP Pillar의 일부)에 적용된다. CAP 전략 계획은 강화된 조건부(Conditionality), Eco-scheme, 농장 자문 서비스, 농업 환경 및 기후 조치 및 투자를 실행하여 그린딜 목표, 특히 Farm to Fork 전략 및 2030, CAP의 기후 및 환경 특정 목표를 달성한다.

13) Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2020 and inventory report 2022

14) Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2020 and inventory report 2022

<표 3.18> 2030년까지의 EU 그린딜 목표

<ul style="list-style-type: none"> • 화학 살충제 사용량 50% 감량 • 사육 동물과 농업의 항균제 판매량 50% 감소 • 고다양성 농업 면적으로의 10% 회복 	<ul style="list-style-type: none"> • EU 농경지 25% 이상을 유기농법으로 달성 • 토양 비옥도를 유지하며 최소 50%의 영양 손실 감량 • 비료 사용량 최소 20% 감량
--	---

* 출처: List of potential AGRICULTURAL PRACTICES that ECO-SCHEMES could support

조건부(Conditionality)시스템은 CAP 지불과 다양한 의무 간의 새 연결 시스템으로. 현재 CAP의 두 가지 요소인 교차 준수(Cross-compliance)와 녹색직불금(Greening Payments)을 병합하고 간소화한다. 회원국은 준수해야 하는 GAEC 표준을 토양, 기후, 토지 사용, 농업 구조 등에 따라 지역마다 다르게 실행하거나 추가 표준을 설정할 수 있다. 또한 특정 기존 의무는 더 높은 환경 편익을 제공하도록 조정된다. Eco-scheme는 회원국의 직접 지불 예산(CAP Pillar I)에서 자금을 조달하는 지불 제도다. 회원국은 CAP 전략 계획에서 Eco-scheme을 설정한다. 계획은 1년 단위의 연간계획을 포함할 수 있으며 회원국은 계획의 내용과 예산을 자유롭게 설정할 수 있다. Eco-scheme에 의해 지원될 수 있는 농업 관행은 다음 조건을 만족해야 한다.

- 1) 기후, 환경, 동물 복지 및 항균제 내성과 관련된 활동 취급
- 2) 국가와 지역 수준의 필요와 우선 순위 기반에 따른 정의
- 3) EU 그린딜 목표 달성에 기여
- 4) 기준선에 따라 설정된 의무(조건부 포함)의 요구사항을 넘어선 포부의 수준

또한 농촌 개발 지원을 통해 농업-환경-기후 약속(AECM)의 환경, 기후 및 기타 관리 약속에 대한 지불이 이루어진다. 이러한 지불은 회원국이 결정한 환경과 기후에 유익한 관행을 몇 년 동안 자발적으로 헌신한 농부와 기타 토지 관리자에게 보상한다. 이외에도 농업이 어려운 지역과 야생 동물에게 중요한 지역의 Natura 2000 네트워크로 어려움에 직면한 지역에 농업 유지를 지원한다. EU의 농업 정책의 지원 아래 구현된 지속 가능한 농업을 위한 프로젝트는 다음과 같다.

5.1.1. 탄소 농업 기술지도

탄소 농업은 농업에서 기후 완화를 제공하는 것을 목표로 하는 농장 관리 관행을 말한다. 탄소 농업의 예로는 가축, 토양, 식물에 있는 탄소 저장고와 이산화탄소, 메탄, 아산화질소의 관리, 탄소 제거(토양 및 바이오매스에 탄소의 격리 및 영구 저장), 배출 방지(저장된 탄소 손실 방지) 및 배출 감소(현재 농장 배출 수준 이하로의 GHG 감소)가 있다.¹⁵⁾

2021년 4월 27일, 유럽 위원회는 2년 간의 연구 끝에 민간 행위자와 공공 기관이 탄소 농업 계획을 시작할 수 있도록 돕기 위한 기술 핸드북을 출판했다. 기술 핸드북은 탄소 농업을 설정하고 구현하는 방법을 포함한다. 연구는 5개 영역에서 탄소 격리 또는 배출 감소를 보상하는 기존 계획을 검토했다. 연구는 결과 기반 탄소 농업이 EU의 기후 변화 대처에 기여한다는 결론과 이행에 대한 권장 사항을 제공했다. 5개의 영역은 이탄지 복원 및 재습윤, 혼농임업, 광물성 토양의 토양 유기탄소(SOC) 유지 및 강화, 초원의 SOC 관리, 가축 농장 탄소 감사로 구성되며 각 권장 방안은 5개 영역의 범위와 목표, 기후 조치, 설계 원칙, MRV, 보상, 자금 조달 등의 내용을 포함한다.

5.1.2. 식물성 단백질 개발

유럽연합 집행위원회는 2018년에 유럽연합의 식물성 단백질 개발에 관한 보고서를 작성했다. 보고서는 대두, 완두콩, 콩, 유채와 같은 식물성 단백질의 수요와 공급 및 생산 확대 가능성을 검토하고 조사한다. 식물성 단백질은 동물 사료의 중요한 구성 요소로 EU 농업에 필수적이면서 토양에 대기 질소를 고정하는 역할을 하는 단백질이다. EU의 경우 식물성 단백질이 부족하여 EU 농업 부문에 필요한 양 대부분을 수입하고 있다.

15) European Parliament, Carbon farming Making agriculture fit for 2030



[그림 3.37] 2021/2022 EU 단백질 및 공급원 사용량(단위: 백만톤)

*출처: EU feed protein balance sheet 2021-022

EU는 공동 농업 정책을 통해 직간접적인 식물성 단백질 생산 장려 조치를 해왔다. 여기에는 EIP-AGRI(The European Innovation Partnership for Agricultural Productivity and Sustainability)그룹을 통한 생태학적 초점 영역 및 작물 다양화, 자발적 결합 지원, 연구 및 혁신을 촉진하는 녹색직불금이 포함된다. 주요 조치는 다음과 같다.

- 1) 녹색직불금(Greening payments)을 통한 EFA(생태 초점 지역)의 생물 다양성에 유익한 특정 질소 고정 작물 재배 가능성 및 작물 다양화 요구
- 2) 농업-환경-기후 조치(AECM)을 통한 지식 이전, 자문 서비스, 협력 및 혁신, 투자 수단을 통한 농촌 개발 프로그램
- 3) 자발적 결합 지원(VCS)을 통한 특정 어려움을 겪는 부문과 현재 생산 수준 유지를 위한 지원

이러한 조치의 성과로 2014-2020년 프로그램 기간 동안 300만 명 이상의 사람이 윤작 및 작물 다양화를 시행했다. 벨기에의 Wallonia에서는 비료와 살충제를 사용하지 않는 20% 이상의 콩과 식물과 함께 비료를 혼합하는 윤작을 지원하며 독일은 최소 10%의 콩과 식물이 포함된다는 조건으로 경작농업에서 윤작을 지원하는 AECM 조치를 실행하고 있다.

또한 정책 제안에 따라 국가 CAP 전략 계획에 포함되어 식물 단백질을 재배하는 농부를 지원한다. 생태 계획 및 농촌 개발 프로그램에 따른 환경/기후 관리 약속을 통해 환경 및 기후 목표(예: 녹색 덩개 또는 작물 순환)에 대한 콩과 식물의 이점을 보상한다.

EU 및 회원국 연구 프로그램의 지속적인 지원은 육종 격차의 감소, 단백질 작물에 대한 민간 부문의 낮은 투자 상쇄, 친환경 작물 보호, 지속 가능한 토양 관리 등을 지원한다. 'Horizon Europe' 프로그램은 단백질 작물에 대한 연구/혁신 프로젝트에 대한 요청을 지원하며 EIP-AGRI(The European Innovation Partnership for Agricultural Productivity and Sustainability)는 모범 사례를 수집하고 EU 전역에 공유하여 연구 결과를 활용한다.

5.1.3. LIFE 탄소농업 계획(LIFE 프로그램)

LIFE 탄소 농업 계획은 미래의 탄소 농업 계획에 대한 모범 사례와 지침을 제공함으로써 탄소 격리 활동의 촉진을 추구하는 EU의 공동 자금 지원 프로젝트다. 프로젝트는 현재의 시장 계획을 분석하고, 탄소 흡수원의 정량적 추정 적용되는 계산 방법을 연구한다. 계산 방법은 모델링을 통해 9개의 다른 EU 국가의 농장 및 임업의 17개 사례를 테스트하였다. 프로젝트의 결과로 2022년 발간된 탄소 농업 계획의 최종 보고서¹⁶⁾는 프로젝트 활동의 주요 결과와 권장 사항을 요약한다. 해당 보고서에는 농경지 탄소 격리 방법 권장사항으로 종 선별과 탄소 함유 개량제의 토양 추가를 제시했으며 산림 부문에서는 재조림과 산림 벌채 방지를 제시했다.

5.1.4. INTERREG 탄소 농업 프로젝트

INTERREG 탄소 농업 프로젝트는 기후 변화 완화와 농업 토양 개선을 목표로 하는 EU의 공동자금 지원 프로젝트다. 프로젝트의 7개 파트너는 2018년 9월부터 2021년 8월까지 북해 지역의 탄소 농업을 촉진하였다.

16) LIFE Carbon Farming Scheme final report: Guidance for future carbon farming schemes



[그림 3.38] INTERREG 탄소 농업 프로젝트 7개 파트너

2020년, 프로젝트는 토양의 유기 탄소 축적량 개선을 위해 다양한 기술을 나열한 보고서¹⁷⁾를 발간했다. 보고서에 기술된 농업 토양의 탄소 격리 기술은 다음과 같다.

- 1) 임농복합경영시스템, 덮개작물의 통합, 농작물 운작 강화 등의 작물 이용
- 2) 경운 감소, 토양 구조 개선을 통한 토양 보호
- 3) 초원 관리 및 개조와 가축 방목을 통한 탄소 격리
- 4) 유기비료 사용, 짚 및 기타 수확 잔류물 활용, 퇴비 및 소화물을 통한 토양 개량, 토양에 바이오차 적용 등 탄소원 재활용

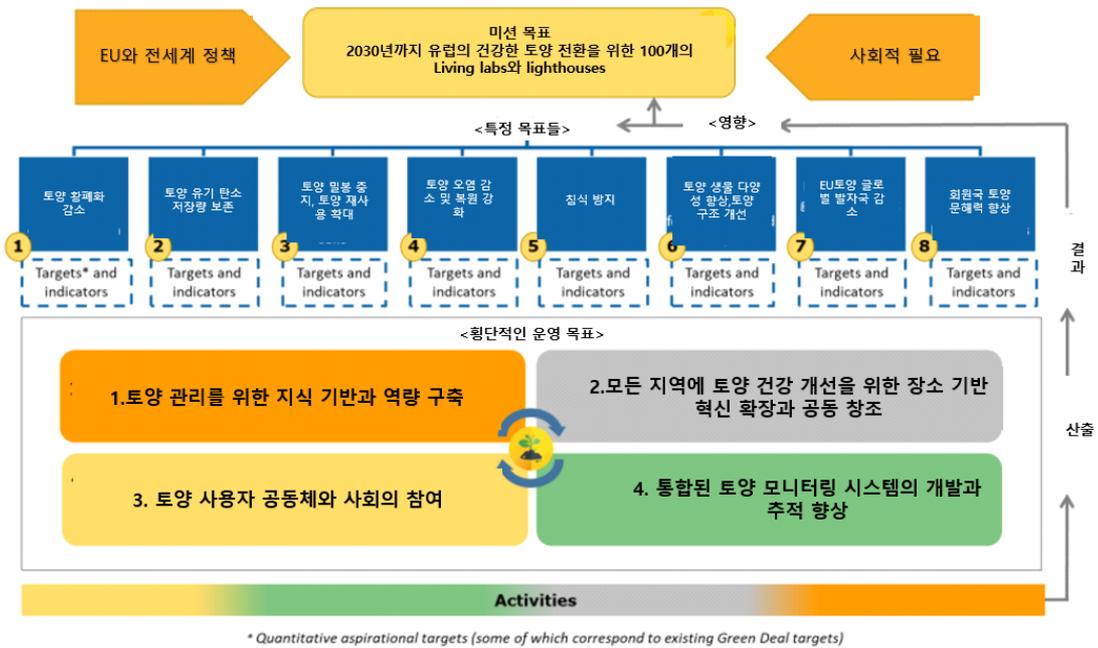
5.1.5. EU Missions : A Soil Deal for Europe

EU는 지속가능한 토양 관리의 중요성을 인식하고 5가지 EU Missions의 하나로 A Soil Deal for Europe 프로젝트를 진행하였다. A Soil Deal for Europe은 2030년까지 건강한 토양으로의 전환을 이끌 100개의 살아있는 living lab과 lighthouse 구축을 목표로 하는 프로젝트다. 구체적인 8개의 목표는 다음과 같다.

17) Inventory of techniques for carbon sequestration n agricultural soils

- 1) 토양 황폐화(사막화) 감소
- 2) 토양 유기 탄소 저장량 보존
- 3) 토양 밀봉 중지, 도시 토양 재사용 확대
- 4) 토양 오염 감소 및 복원 강화
- 5) 침식 방지
- 6) 토양 생물 다양성을 향상, 토양 구조 개선
- 7) 토양에 대한 EU 글로벌 발자국 감소
- 8) 유럽 사회의 토양 이해력 향상

A Soil Deal for Europe은 토양 전환을 통해 숲과 습지 보호, 유기농으로의 전환, 무공해 달성, 기후 성과 향상 등의 그린딜 목표에 기여한다. 프로젝트는 그린딜 달성을 위한 EU 전략인 Farm to Fork 전략과 2030년을 위한 EU 생물다양성 전략, 기후 적응 전략의 통합에도 반영된다.18)



[그림 3-1-5-39] A Soil Deal for Europe Implementation Plan Mission 도식

*출처: A Soil Deal for Europe Implementation Plan

18) EU, EU mission: soil deal for Europe Implementation Plan

A Soil Deal for Europe에서 Livings lab과 lighthouse는 지속가능한 관행 채택의 가속화와 현지 조건에 맞는 솔루션을 개발하는 역할을 한다. 설립된 living lab에 다양한 주체가 참여하여 공동 창조를 보장하고 새로운 아이디어와 솔루션 채택을 가속화한다. lighthouse는 living lab 구역에 포함되거나 구역 외부에 위치할 수 있는 개별적인 지역 장소로 토양 건강 개선 측면에서 모범적인 솔루션, 교육 시연을 위한 장소로 기능한다. 궁극적으로 living lab내의 모든 실험 현장은 lighthouse의 성능에 도달하기 위해 노력한다. 각 living lab에는 10~20개의 실험 장소가 포함되며, 유럽 전역에 1,000~2,000개 장소에서 공동 혁신 활동을 지원한다. 2027년까지 총 100개의 light house 설립을 위해 각 지역에 최소 1개의 light house가 있어야 한다.

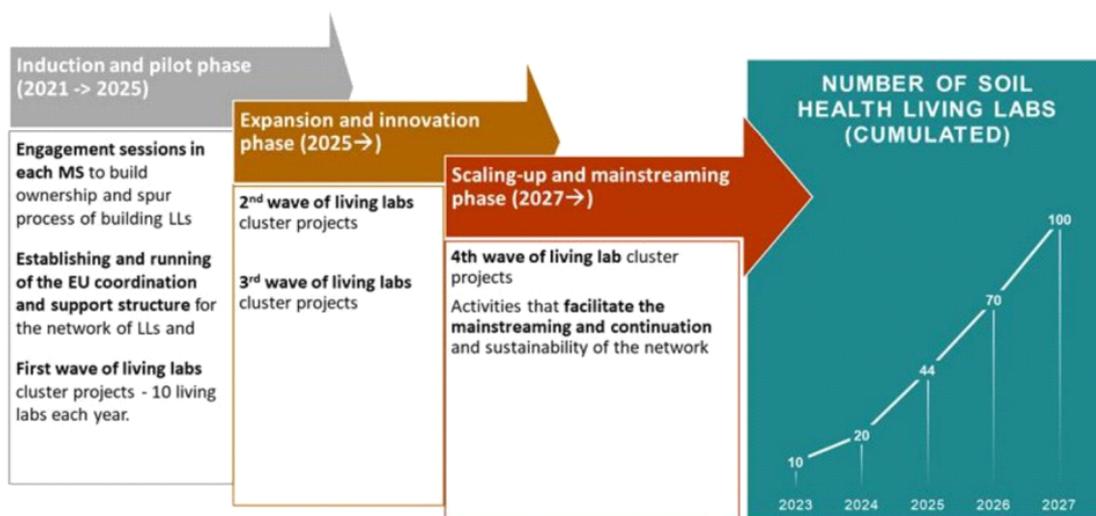
<표 3.19> 운영 목표 1(토양 관리를 위한 역량 및 지식 기반 구축) 달성을 위해 지정된 강화된 행동 영역별 활동 내용

강화된 행동 영역 (Hotspots)	내용
탄소농업	<ul style="list-style-type: none"> 탄소 측정, 모니터링 및 인증을 위한 지표 및 방법 개발을 통한 탄소 농업 생태계 구축 EU의 목표(2030년까지 GHG 배출량을 최소 55%감량)와 탄소 농업을 위한 EU framework에 반영 LIFE 프로그램 및 CAP에 따른 자금 지원
토양 오염 및 복원	<ul style="list-style-type: none"> 살충제, 중금속 및 미세 플라스틱으로 인한 토양 오염방지와 개선 솔루션 제공 대기, 수질, 토양에 대한 무공해 실행 계획과 Farm to Fork 및 생물다양성 전략목표구현에 기여
미생물 군집을 포함한 토양 생물 다양성	<ul style="list-style-type: none"> 미생물 군집을 포함한 토양 기능적 생물다양성의 기후 변화의 영향에 대한 토양 기능과 서비스 조절 연구
순환경제 솔루션	<ul style="list-style-type: none"> 인, 질소 및 미량 영양소, 생물학적 잔류물로부터 바이오 매스의 회수와 바이오 기반 토양 개선 방법의 적용과 관행 개발

*출처: A Soil Deal for Europe Implementation Plan

특히 운영 목표 1('토양 관리를 위한 역량 및 지식 기반 구축)을 위한 활동으로 특정 임무 목표와 관련하여 강화된 행동 영역(hotspots)이 지정되며 이 운영 목표에 따른 활동은 R&I 프로그램으로 분류된다.

A Soil Deal for Europe은 서로 연결된 세 단계로 진행된다. 도입 및 파일럿 단계에서는 각 회원국의 참여 활동과 living lab을 지원하는 준비 조치가 이뤄진다. 이 단계에서는 이행 구조를 개발하고 기존 자원을 통합하며 임무에 관련된 회원국, 지역 및 부문의 혁신 역량을 강화한다. 혁신 단계에서는 활동 확장, 혁신 생성 및 테스트가 이루어지며 규모 확장 및 주류화 단계에서는 솔루션을 확장하고 모범 사례를 주류화한다.



[그림 3.40] EU의 soil health living labs 형성 단계

*출처: A Soil Deal for Europe Implementation Plan

6. 미국

6.1. 미국의 탄소중립 관련 정책 현황

미국은 전 세계적인 기후변화 대응 움직임에 발맞추어 온실가스 배출 감소를 위해 다양한 국가 전략 계획 및 목표를 세워왔다. 2030년까지 온실가스 (Greenhouse Gases, GHGs) 배출량을 50% ~ 52% 줄이기 위하여 국가 온실가스 감축 목표를 설정하였으며, 글로벌 메탄 서약을 시작했다. 국내·외적으로 기후 행동을 진전시키기 위해 추가적인 구체적 조치를 취했다. 이 목표를 달성하려면 2030년까지 전 세계 온실가스 (Greenhouse Gases, GHGs) 배출량을 1990년 수준보다 40% 이상 줄이고, 2050년 또는 그 직후까지 전 세계 온실가스 배출량을 제로에 도달하고, 그 이후에는 넷 네거티브 배출량(net negative emissions)으로 전환해야 한다. 다음은 국가 기후 전략을 통해, 온실가스 배출량을 줄이기 위한 목표이다.

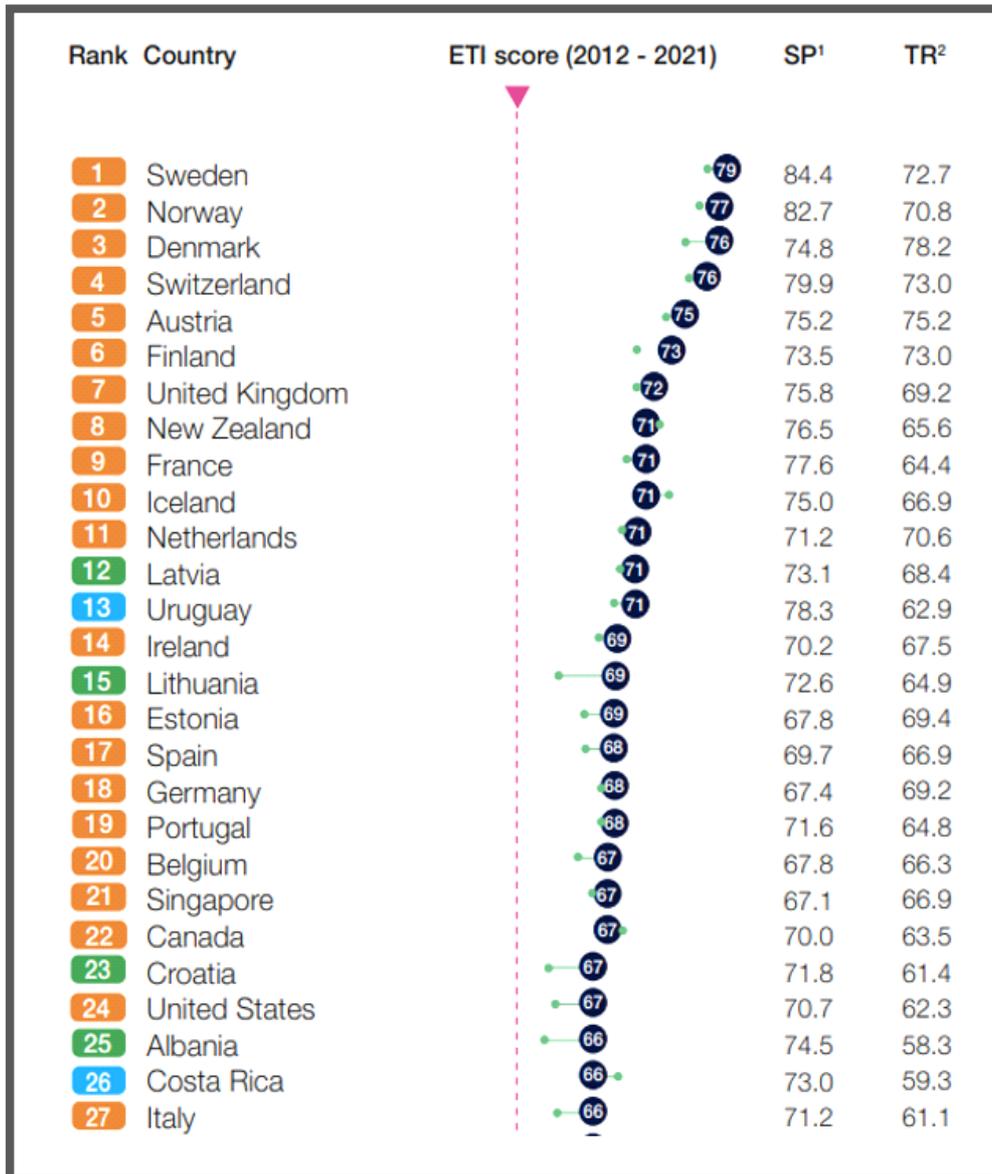
미국의 넷제로(Net-Zero) 달성을 위한 5개 주요 변화

- 전력 탈탄소화
- 에너지 소비 절감
- 이산화탄소 흡수 규모 확대
- 메탄 및 기타 非탄소 온실가스 배출 저감
- 최종 사용부문 전기화 및 기타 청정 연료로의 전환

이와 같은 취지와 더불어, 미국은 트럼프 행정부 당시 파리협정에서 탈퇴하였던 미국은 바이든 행정부 출범 이후 협정에 재가입하면서 2030년까지 달성할 온실가스감축목표를 2005년 대비 50-52%로 정하고, 2050년까지 탄소중립 달성을 표방하였다. 이러한 정책의 일환으로 2021년 11월에 「기반시설투자 및 일자리법」이 제정되어, 「청정대기법」과 「2005 에너지정책법」 등 관계 법률이 개정되었다.

이와 같은 국가 정책 차원의 다양한 온실가스 감축 노력으로 미국은 현재 전 세계 에너지전환 투자 규모에서 두 번째를 차지하고 있으며, 2021년 기준 세계

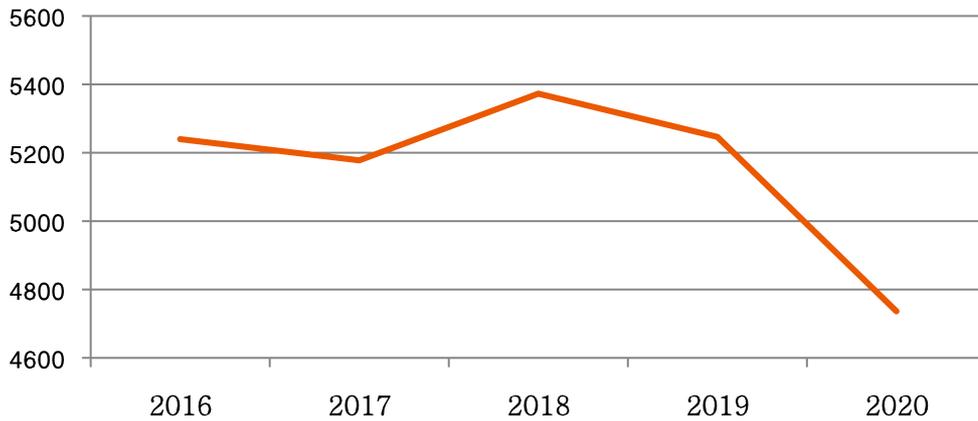
경제포럼(World Economic Forum, WEF)의 에너지전환 지수(Energy Transition Index, ETI)가 67로 115개국 가운데 24위를 차지하였다.



[그림 3-1-6-41] ETI 2021 결과

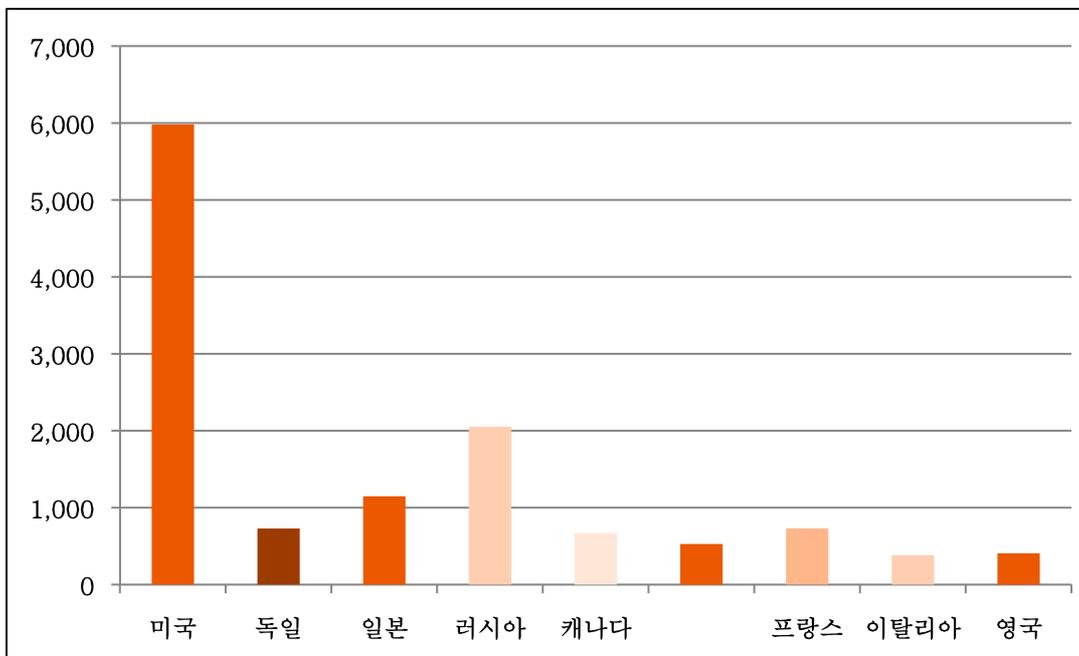
20세기 동안 대부분 증가해왔던 미국의 온실가스 순배출량은 2007년에 정점을 찍은 바 있다. 미국은 장기전략을 통하여 2050년까지 온실가스 순 배출량 “0”(Net-Zero) 달성을 목표로 설정했다. 미국의 온실가스 배출량은 2016년부터

2017년까지 소폭 감소하였다. 2019년 미국의 온실가스 총배출량은 6,558.3 MTCO₂-eq. 이다. 1990년 대비 1.8% 가량 증가한 수치이다. 총배출량은 2018년에서 2019년 사이 1.7%(113.1 MTCO₂-eq.) 감소하였으며, 2019년 대비 2020년에는 온실가스 배출량이 약 9.7% 감소했음을 알 수 있다.



[그림 3.42] 미국 연도별 온실가스 배출량

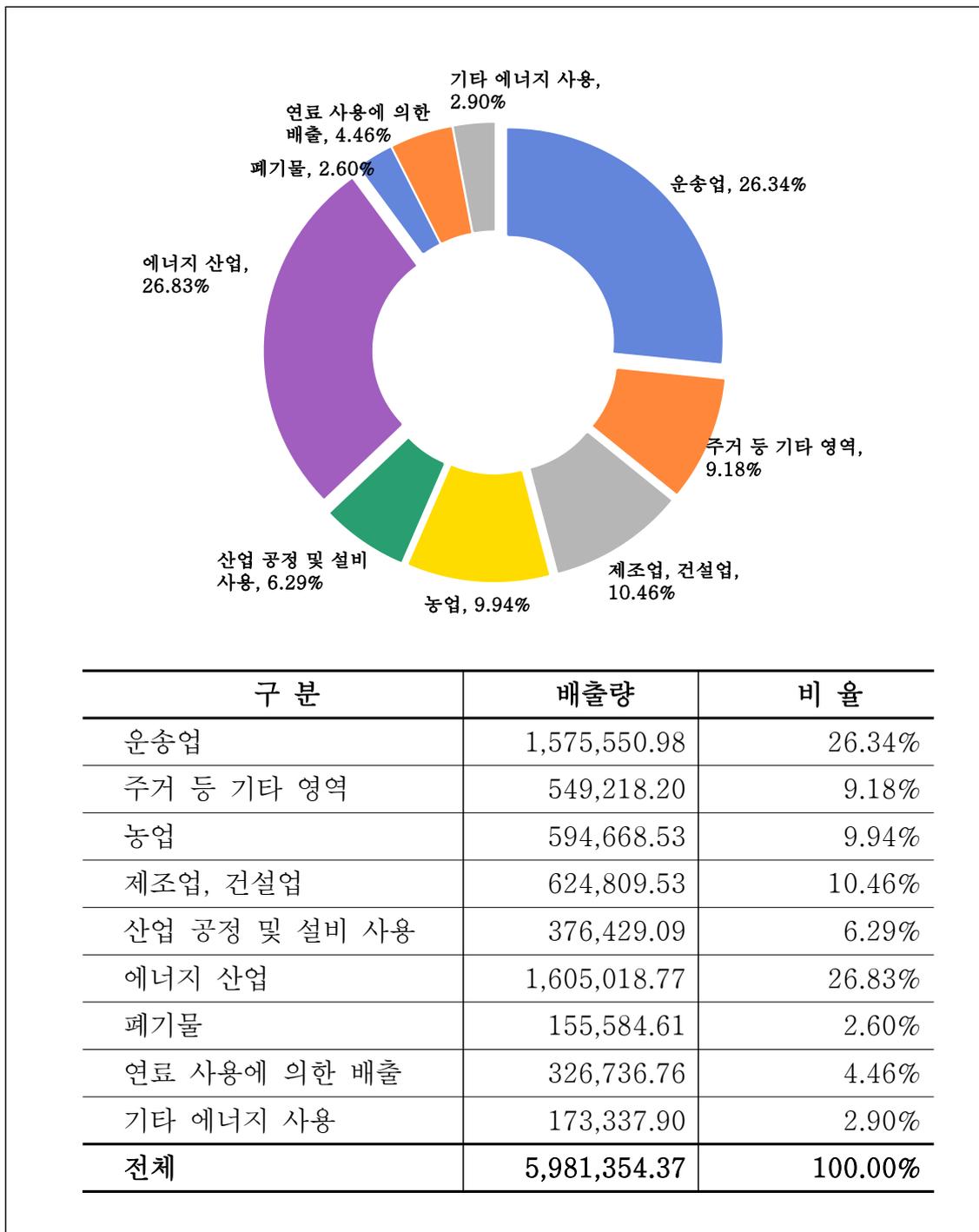
(단위: Mt CO₂-eq.)



[그림 3.43] 국가별 온실가스 배출 현황(2020년 기준)

(단위: Gt CO₂-eq)

2020년 기준 미국의 국가 전체 온실가스 배출량은 5,981.4 Mt CO₂-eq이다. 대표적인 온실가스 배출 분야는 에너지 산업이 약 1,650.2 t CO₂-eq로 가장 많으며 이어서 운송업 1,575.6 Mt CO₂-eq, 제조업, 건설업 624.8 Mt CO₂-eq, 농업 594.7 Mt CO₂-eq. 등의 순으로 나타났다.



[그림 3.44] 미국의 영역별 온실가스 배출 비율(2020년 기준)

농업은 산업혁명 이후에도 미국의 핵심 산업 분야로 명맥을 이어나가고 있다. 미국 농부와 목장주들은 국내 소비 및 수출을 목적으로 다양한 식품 및 섬유 작물, 사료용 곡물, 유지 종자, 과일 및 채소, 기타 농산물을 생산한다. 수십 년에 걸친 고급 생산 기술, 효율성, 품종 및 가축 품종에 대한 투자는 미국 농업을 매우 생산적으로 만들었다. 현재 수확 중인 면적은 1910년에 수확된 면적과 거의 동일하지만 현재 미국 농업은 과거 대비 3배 가량 더 많은 인구에 안정적으로 식량을 공급하고 있으며 잉여분은 다른나라에 수출하고 있다. 2020년 기준, 미국에는 약 202만 개의 농장과 목장이 있으며, 면적은 약 3억 6,300만 헥타르(8억 9,700만 에이커)에 달한다.

2020년 기준, 농업 분야에서 발생하는 온실가스 배출량은 594.7 Mt CO₂-eq.로 미국 전체 배출량의 약 9.94%로 비중으로는 4번째에 해당한다. 농업 분야에서의 온실가스 배출량에는 농업 활동으로 인한 인위적 배출이 포함된다(2006 IPCC Guidelines에 따라 에너지 부문에서 다루어지는 연료 연소 및 일부 농업 CO₂, CH₄, N₂O 플러스는 제외). 즉, 농업 토양 관리, 가축의 장내 발효, 가축 분뇨 관리, 벼 재배, 요소 비료, 석회 처리 및 농업 잔류물의 현장 소각 등 다양한 배출원 범주를 포함하는 다양한 과정을 통해 온실 가스 배출에 직접적으로 기여한다. 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O) 및 이산화탄소(CO₂)는 농업 활동에서 배출되는 온실가스이다. 장내 발효 및 분뇨 관리로 인한 CH₄ 배출량은 2019년에 인위적 활동으로 인한 총 CH₄ 배출량의 각각 약 27.1% 및 9.5%를 차지했다. 합성·유기비료 적용, 가축분뇨 퇴적 등과 같은 농업 토양 관리 활동은 2019년 미국 아산화질소(N₂O) 배출량의 75.4%로 가장 높은 비중을 차지했다. 분쇄된 석회석과 백운석(즉, 토양 석회) 및 요소 비료의 적용으로 인한 이산화탄소 배출량은 인위적 활동으로 인한 총 이산화탄소(CO₂) 배출량의 0.1%를 차지했다.

<표 3.20> IPCC 부문별 미국 온실가스 배출 및 흡수원의 최근 동향

IPCC 부문	1990	2005	2015	2016	2017	2018	2019
에너지	5,325.6	6,302.3	5,519.8	5,390.9	5,351.0	5,518.1	5,392.3
산업 공정 및 설비 사용	325.6	365.7	375.4	367.7	367.7	371.3	373.7
농업	555.3	577.1	616.1	604.4	605.5	621.0	628.6
폐기물	216.2	178.0	159.8	157.1	159.0	161.1	163.7
총 배출량 ^a	6,442.7	7,423.0	6,671.1	6,520.3	6,483.3	6,671.4	6,558.3
LULUCF 부문 순 총계 ^b	(900.8)	(788.1)	(763.8)	(842.8)	(766.1)	(801.4)	(789.2)
순 배출량 ^c	5,541.9	6,645.0	5,907.3	5,677.5	5,717.2	5,870.0	5,769.1

*출처: A Review of Sustained Climate Action through 2020

^a LULUCF가 없는 총 배출량.

^b LULUCF 부문 순 총계는 대기로의 모든 LULUCF CH₄ 및 N₂O 배출량과 MtCO₂-eq. 단위의 순 탄소 축적량 변화의 합계.

^c LULUCF의 순 배출량.

<표 3.21> 미국의 2020년 기후 행동 주요 내용

구분	내용
목표	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 온실가스 배출을 2005년 대비 50~52% 감축 • 2050 넷제로 배출을 달성
에너지	<ul style="list-style-type: none"> • 청정 에너지 자금 조달 • 성장하는 커뮤니티의 환경 • 청정에너지에 대한 농촌 접근성 확대 • 연방 토지 선도 • 지역 배출량 거래 - 지역 온실 가스 이니셔티브 • 주 재생 에너지 및 청정에너지 포트폴리오 기준
분야별 내용	<ul style="list-style-type: none"> • 저공해 및 연료의 효율적인 자동차, 트럭 및 대형 차량의 발전 • 무공해 차량 인프라 및 제조에 대한 투자 • 항공에서 배출 문제 해결 • 공공 및 사유림의 관리 증진
농업	<ul style="list-style-type: none"> • 농업용지에 대한 기후-스마트 관행의 촉진 • 농업에서 나오는 메탄 배출 감소 • 민감한 토지의 보존 증진
폐기물	<ul style="list-style-type: none"> • EPA 규칙에 따라 신규, 수정 및 기존 매립지는 현재 요구 사항보다 거의 3분의 1 낮은 배출 수준에서 매립지 가스를 수집하고 제어 • 에너지 사용을 위한 매립지 바이오가스의 회수 및 유익한 사용

미국은 농업과 에너지 분야에서 온실가스 배출량을 줄이기 위하여 다양한 정책을 내놓았다. 우선, 농업 분야에서는 농업용지에 대한 기후-스마트 관행의 촉진, 농업에서 나오는 메탄 배출 감소, 민감한 토지의 보존 증진 정책이 있다. 또한, 에너지 분야에서는 청정 에너지 자금 조달, 성장하는 커뮤니티의 환경, 청정 에너지에 대한 농촌 접근성 확대 등의 정책을 펼치고 있다.

<표 3.22> 미국 농림업부문의 온실가스 배출량 및 상쇄량(2000-2013)

구분	GHGs	2000	2005	2010	2011	2012	2013
가축		236.9	241.6	249.1	247.4	247.4	243.2
• 장 소화	CH ₄	170.6	168.9	171.1	168.7	166.3	164.5
• 축산폐기물	CH ₄	50.0	56.3	60.9	61.4	63.7	61.4
	N ₂ O	16.3	16.4	17.1	17.3	17.3	17.3
초지		33.0	82.9	101.5	101.4	100.7	102.0
• 초지	CH ₄	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.8
	N ₂ O	70.8	85.0	96.1	96.0	95.5	95.9
	CO ₂	(40.5)	(4.8)	2.8	2.8	2.7	3.3
작물		133.1	164.0	174.7	173.0	177.1	175.1
• 농지 토양	N ₂ O	141.8	158.6	168.1	169.8	170.5	167.8
	CO ₂	(18.8)	(3.9)	(4.9)	(5.7)	(3.1)	(1.4)
• 벼 재배	CH ₄	9.6	8.9	11.1	8.5	9.3	8.3
• 잔여물 소각	CH ₄	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
	N ₂ O	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
에너지 사용	CO ₂	73.9	69.9	72.7	73.3	73.9	74.4
산림		(563.2)	(887.6)	(851.5)	(856.1)	(860.7)	(865.2)
• 산림	CO ₂	(376)	(704)	(705)	(705)	(705)	(705)
• 수확된 목재	CO ₂	(113)	(703)	(60.5)	(63.9)	(67.3)	(70.8)
• 도시숲	CO ₂	(73.8)	(80.5)	(86.1)	(87.3)	(88.4)	(89.5)
순 배출량	GHG	(86.2)	(329.2)	(253.5)	(261.1)	(291.6)	(270.4)

* 출처: USDA(2016b)

** ()는 순 격리량.

2013년 기준 미국 농업 분야에서의 온실가스 배출량은 595.0 Mt CO₂-eq이다. 이 중 산림 부분에서 격리한 온실가스의 양은 약 865.2 Mt CO₂-eq에 달한다. 탄소흡수원에서 발생하는 온실가스 저감 효과가 농업분야에서의 온실가스 발생량을 전부 상쇄하고도 남는다. 즉, 온실가스 배출원과 탄소 격리 효과를 모두 고려하였을 때, 미국의 농지와 산지는 총 270 Mt CO₂-eq 온실가스를 흡수하는 것으로 볼 수 있다.

산림 및 농지 토양의 탄소 격리 효과를 제외하면, 농업 분야에서의 온실가스 배출량은 2013년 기준 2000년 대비 11.1% 증가하였다. 2000년대 초반 이후에는 온실가스 배출량이 증가하였지만, 산림에 의한 탄소 격리가 더 큰 규모로 증가하여, 농업 분야에서의 순 배출량은 마이너스가 되었고, 2000년 대비 2013년 순 격리량은 2배 증가하였다.

미국은 농업 분야에서 온실가스 배출을 줄이고 격리하며 기후 위기에 대한 지속적인 솔루션을 제공하기 위해 노력한다. 이러한 노력을 바탕으로 미국의 농업인들은 다른 선진국 대비 탄소중립 분야에서 이미 선두를 달리고 있으며, 최근 몇 년 동안 경작지 토양에 저장된 탄소는 자발적인 보존 노력으로 연간 880만 t CO₂-eq 증가했다.

2022년 2월 미국 농무부(USDA)에서는 기후-스마트 생산(Climate-Smart Commodities)에 대한 세부 정보를 발표하였다. 기후-스마트 생산(Climate-Smart Commodities)는 지속가능성, 농업 생산성 향상, 기후변화 적응 및 완화, 그리고 궁극적으로는 온실가스 배출량을 감소시키는 것에 목표를 둔다. 미국 농무부(USDA)는 기후-스마트 생산과 관련된 70개의 프로젝트에 협력하여 향후 몇 달 안에 범위와 자금 수준을 확정할 계획이다. 프로젝트의 세부 내용은 다음과 같다.

- 생산자가 작업장에서 자발적으로 기후-스마트 생산 관행을 시행할 수 있도록 기술 및 재정 지원
- 온실가스 감축 정량화, 모니터링, 보고 및 검증을 위한 혁신적이고 비용적으로 효율적인 방법을 시범 운영
- 시장을 개발하고 결과적으로 기후에 민감한 상품 홍보

미국 농무부(USDA)는 이 프로젝트 기간 동안 50 Mt CO₂-eq 이상의 온실가스가 격리될 것으로 기대하고 있다.

6.2. 미국의 농업 분야 탄소중립 달성을 위한 방법론

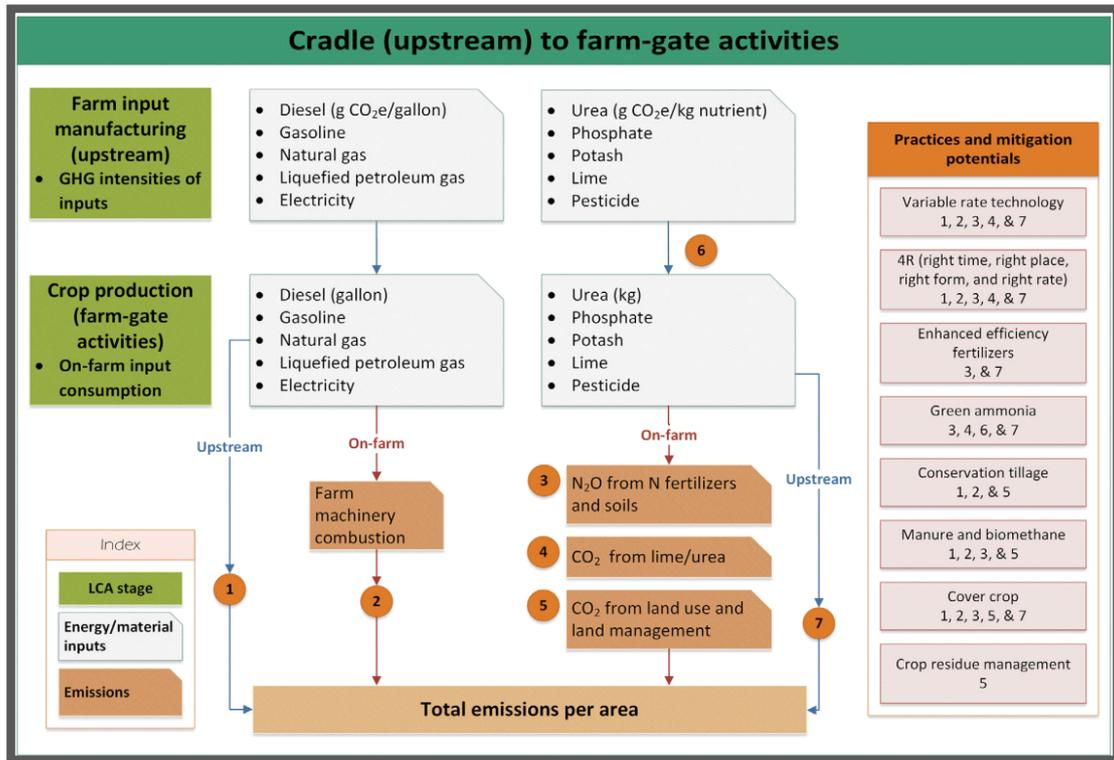
미국 농무부는 미국의 농업경제연구청(ERS), 농업진흥청(FSA), 산림청(FS) 등의 여러 부서와 협력하여 농업 분야 온실가스 배출량을 줄이기 위한 다양한 측면에서의 방법론을 제시하고 있다.

- 첫째, 농장 비료 및 화학물질 투입 최적화
- 둘째, 저탄소 비료 및 화학 물질 제조
- 셋째, 농업 에너지 및 연료 소비 절감
- 넷째, 토양 탄소 축적량 증가

6.2.1. 농장 비료 및 화학물질 투입 최적화

질소(예: 암모니아, 요소 등), 인산염(P_2O_5), 칼륨(K_2O), 석회 및 농약과 같은 농업 비료 및 화학 투입물은 농업 생산에 매우 중요하지만, 농업용 온실가스 배출의 주요 공급원이다. 작물을 생산할 때 합성질소비료를 적용하면 적용된 질소비료의 일부가 질화·탈질화의 토양 미생물 과정을 거쳐 N_2O 로 직접 전환되어 대기 중으로 방출된다. 게다가 질소 비료의 휘발과 질산염의 침출 및 유출과 관련된 간접적인 N_2O 배출이 있다. 질소 비료 사용(및 제조)과 관련된 온실가스가 265라는 높은 GWP를 감안할 때, 생산 활동(예: 미국 옥수수 재배의 경우 약 60%)에 이르는 농업 제품의 전체 온실가스 배출에 상당한 부분을 기여하므로 질소 사용 효율성을 개선하는 것이 중요하다. 질소 비료 사용을 최적화하기 위해 다양한 기술이 개발 및 채용되고 있다. 현재 미국 중서부에서 재배되는 옥수수의 경우 2010년부터 2016년까지 가변율기술(VRT)이 적용된 정밀농업 관행 채택률이 8%에서 35%로 증가했다. 밭마다 토양 특성이 다르기 때문에 VRT 기술을 통해 농민들이 밭을 세분화해 토양검사 결과를 토대로 올바른 비료 적용률을 결정할 수 있다. 최근에는 이러한 '적정 비율' 개념이 농가의 질소 비료 관리를 위한 4R(적정시간, 적소, 적정형태, 적정 비율)의 틀에 통합되어 직·간접 현장의 N_2O 배출을 모두 줄이고 있다. 또한, 연구들은 향상된 효율 비료(EEF)(예: 질화 억제제)가 잠재적으로 N_2O 배출을 줄이고 질소 사용 효율성을 향상시킬 수 있다고 보고했다. 예를 들어, 질화 억제제를 적용하면 토양에서 질화제의 활성을 억제할 수 있으므로 기존 비료에 비해 33-44%의 N_2O 배출량을 줄일 수 있다. 그럼에도 불구하고, EEF의 N_2O 배출에 대한 효과는 작물 유형, 제형,

토양 유형 및 관리 조건에 따라 크게 다르다. 재배자는 토양과 관리 여건에 따라 전략을 선택해야 한다.



[그림 3.45] 전과정평가(LCA) 관점에서 본 농업의 온실가스(GHGs) 완화 전략

6.2.2. 저탄소 비료 및 화학 물질 제조

위에서 언급한 현장 온실가스 배출을 줄이기 위한 접근법 외에도, 더 많은 재생 가능 에너지를 원료와 에너지원으로 활용함으로써 비료 및 화학 생산 단계인 업스트림에서도 혁신이 일어나고 있다. 이러한 "친환경" 경로는 농업 온실가스 배출량을 더 깊이 감소시키고 화석 에너지에 대한 농업 부문의 의존도를 줄일 수 있다. 예를 들어, 다른 모든 질소 비료의 구성 요소 역할을 하는 암모니아는 태양 또는 풍력에 의해 생성된 물, 공기 및 재생 가능한 전력으로부터 생산될 수 있다. 천연가스의 증기 메탄 개질을 통한 기존의 암모니아 제조 방법에 비해 극저온증류를 통한 N₂와 재생전기를 이용한 저온 전기분해를 통한 H₂에서 생산되는 이른바 녹색 암모니아는 암모니아 온실가스 배출량을 2.55g에서 0.22g

CO₂e⁻¹ 암모니아로 91%까지 줄일 수 있다. 옥수수 농사에 사용되는 모든 질소 비료를 녹색 암모니아로 제조할 경우, 미국에서 생산되는 옥수수의 농업 온실가스 배출량을 18%까지 줄일 수 있다.

<표 3.23> 2019년 농업 GHG 배출에 기여하는 온실가스(GHG) 배출원 및 배출량

부문	Tg CO ₂ -eq
농업	
CO ₂	7.8
요소 비료 시비	5.3
석회질 비료 시비	2.4
CH ₄	256.4
장내 발효	178.6
분뇨 관리	62.4
벼 재배	15.1
농업 잔류물의 현장 소각	0.4
N ₂ O	364.4
농업 토양 관리	344.6
분뇨 관리	19.6
농업 잔류물의 현장 소각	0.2
토지이용, 토지이용변화, 임업	
농경지 남아 있는 경작지	-14.5
광물 생태계 탄소 축적량의 변화	-14.5
경작지로 전환된 토지	54.2
모든 생태계 탄소 축적량의 변화	54.2
에너지	
농장 에너지 사용	40.84
산업 공정 및 제품 생산	
암모니아 생산	12.3
질산 생산	10.0
인산 생산	0.9

* 출처: CO₂e, carbon dioxide equivalent. Based on the U.S. Environmental Protection Agency's 2021 Greenhouse Gas Inventory (U.S. EPA, 2021)

6.2.3. 농업 에너지 및 연료 소비 절감

바이오매스 작물 재배 및 수확, 관개, 곡물 건조 등의 다양한 농업 작업에는 디젤, 가솔린, 액화석유가스, 전기, 천연가스 등의 연료를 필요로 하는 농기계 (예: 트랙터, 펌프, 경운기 등)가 포함된다. 미국에서는 1990년대 초부터 USDA의 농업자원관리조사(ARMS)를 비롯한 여러 프로그램을 통해 농가 에너지 소비

량을 주기적으로 조사해왔으며, USDA의 경제연구서비스의 최근 보고서는 ARMs 데이터를 요약하고 온실가스 배출량을 줄이기 위한 전략을 제안한다. 농업 에너지 사용과 관련하여, 보존 경작 관행의 채택, 전력망에서 재생 가능한 전력을 대체하기 위해 전력망에서 생산되는 재생 가능한 전기를 사용하고, 동물 분뇨를 혐기성 소화기로 바이오가스로 전환하여 추가 에너지원으로 사용하는 것을 포함한다. 보존 또는 경작을 하지 않음으로써 감소되는 농업용 기계 사용은 농장 내 연료 소비를 낮출 뿐만 아니라 토양 탄소 격리도 개선하여 온실가스 배출을 효과적으로 감소시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 그러나, 온실가스 배출에 대한 무경운의 영향은 지역마다 다를 것이며, 무경운 실천은 옥수수과 밀 생산자의 비료와 농약 지출을 증가시킬 것이다. 화석 연료를 바이오 에너지를 포함한 재생 가능한 에너지로 대체하는 것은 농업에 기인하는 온실가스 배출을 줄일 수 있는 또 다른 유망한 길이다. 식물성 기름과 동물성 지방으로부터 파생된 바이오 디젤의 수명 주기 온실가스 감소는 화석 연료와 비교할 때 24-73% 일 수 있다. 바이오매스로부터 혐기성 소화를 통한 바이오가스 생산은 농장 내 에너지 수요를 충족시키거나 재생 가능 에너지를 다른 부문(예: 전력, 운송)으로 수출하는 또 다른 방법이다. 혐기성 소화는 박테리아를 사용하여 생분해성 물질(거름이나 농작물 잔여물과 같은 농업 폐기물)을 주로 CH₄와 CO₂로 구성된 바이오가스로 분해한다. 바이오가스는 또한 정제되고 재생 가능한 천연가스(RNG)로 업그레이드될 수 있으며, 이는 기존의 천연가스와 상호 교환하여 사용할 수 있다. RNG는 수명주기 기준으로 화석 천연가스 관련 GHG 배출량을 136%(낙농 분뇨의 경우), 317%(돼지분뇨의 경우)까지 줄일 수 있다. 이러한 큰 감소는 RNG 생산으로 인한 동물 배설물로부터의 메탄 배출이 회피되었기 때문이다.

6.2.4. 토양 탄소 축적량 증가

특정한 목적을 위한 경작지의 토지 이용 변화는 온실가스 배출의 증가로 이어질 수 있지만, 수확 후 농작물 잔여물을 유기 탄소로 변환하여 경작지에서 토양 탄소 격리를 할 수 있다. 전형적으로, 토양에 대한 탄소 투입을 증가시키고 토양에서 탄소 손실을 감소시킴으로써 토양 탄소 격리를 촉진하는 것으로 잘 알려져 있다. 경작지는 농작물 잔존물 관리와 다음 작물에 대한 종자 준비에 매우 중요

하지만, 종래의 경작지는 토양 침식으로 인한 물리적 토양 탄소 제거와 미생물 활동 증가로 인한 온실가스 배출을 모두 증가시키는 토양 교란의 주요 원인으로 여겨져 왔다. 최근 수십 년 동안 경작 기술과 농업 관행의 발전으로 농부들은 농업 에너지 사용을 줄이고 토양 탄소 격리량을 늘리는 보존 경작 방식을 채택할 수 있다. 일부 지역에서는 보존 경작과 비수기 피복 작물을 포함하는 작물 순환이 결합되어 토양 탄소 격리에도 도움이 되는 것으로 확인되었다. 토양에 적용되는 가축 분뇨는 토양에서 탄소를 격리시킬 수 있다. 그러나, 동물 사료 사업에서 토지 적용을 위한 농장으로의 양식장 운송은 연료를 소비하며, 이는 기름 적용으로 인한 순 온실가스 감소에 반영되어야 한다. 또한, 뿌리 바이오매스 내에서 더 많은 탄소를 격리시키기 위해 심층 뿌리 작물 품종을 배양하는 등 신흥 기술이 개발되고 있다. 한편, 높은 바이오매스 생산 시나리오에서 바이오매스 폐기물(즉, 스토버 잔류물)의 사용을 조사하여 토양 건강과 장기적인 경작지 생산성의 균형을 유지하면서 더 나은 잔류물 관리를 통해 셀룰로오스 바이오 연료를 생산하였다. 농작물 잔여물이 적절하게 관리되면 토양 탄소 재고를 유지하면서 바이오 에너지 공급 원료로 사용될 수 있다.

7. 국내 탄소중립 정책 개요

2021년 10월 18일, 우리나라는 2030년까지 온실가스 배출량을 2018년 대비 40% 감축하고 2050년에는 ‘순배출량 0’을 달성하겠다는 목표를 담은 ‘2050 탄소중립시나리오’와 ‘2030 국가 온실가스감축목표(NDC) 상향안’ 등 2개 안건을 확정하였다. 또한, 기후위기대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(탄소중립기본법)을 제정하고, 2022년 예산안에 탄소중립 주요 예산 확보 등 탄소중립을 위한 기본 발판을 마련하였다.

<표 3.24> 2050 탄소중립 시나리오 최종(안) 총괄표

(단위 : Mt CO₂-eq.)

구분	부문	'18년	최종본		비고
			A안	B안	
배출량		686.3	0	0	
배출	전환	269.6	0	20.7	(A안) 화력발전 전면중단 (B안) 화력발전 중 LNG 일부 잔존 가정
	산업	260.5	51.1	51.1	
	건물	52.1	6.2	6.2	
	수송	98.1	2.8	9.2	(A안) 도로부문 전기·수소차 등으로 전면 전환 (B안) 도로부문 내연기관차의 대체연료(e-fuel 등) 사용 가정
	농축수산	24.7	15.4	15.4	
	폐기물	17.1	4.4	4.4	
	수소	-	0	9	(A안) 국내생산수소 전량 수전해 수소(그린 수소)로 공급 (B안) 국내생산수소 일부 부생·추출 수소로 공급
	탈루	5.6	0.5	1.3	
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-25.3	-25.3	
	이산화탄소 포집 및 활용·저장(CCUS)	-	-55.1	-84.6	
	직접공기포집(DAC)	-	-	-7.4	포집 탄소는 차량용 대체연료로 활용 가정

* 출처: 대통령소속 2050 탄소중립 녹색성장 위원회

<표 3.25> 2030 국가 온실가스감축목표(NDC) 상향안 부문별 감축목표

(단위 : Mt CO₂-eq.)

구분	부문	기준연도('18)	現 NDC ('18년 比 감축률)	NDC 상향안 ('18년 比 감축률)
배출량*		727.6	536.1 (△191.5, △26.3%)	436.6 (△291.0, △40.0%)
배출	전환	269.6	192.7 (△28.5%)	149.9 (△44.4%)
	산업	260.5	243.8 (△6.4%)	222.6 (△14.5%)
	건물	52.1	41.9 (△19.5%)	35.0 (△32.8%)
	수송	98.1	70.6 (△28.1%)	61.0 (△37.8%)
	농축수산	24.7	19.4 (△21.6%)	18.0 (△27.1%)
	폐기물	17.1	11.0 (△35.6%)	9.1 (△46.8%)
	수소	-	-	7.6
	기타(탈루 등)	5.6	5.2	3.9
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-22.1	-26.7
	CCUS	-	-10.3	-10.3
	국외 감축	-	-16.2	-33.5

* 출처: 2030 국가 온실가스감축목표(NDC) 상향안

Q. 탄소중립 기본법의 주요 내용은 무엇인가요?

- 2050년 '탄소중립' 목표
- 2030년 국가 온실가스 감축 목표(NDC)

법제화!

2018년 배출량 대비 **40% 감축을 목표로** 설정했습니다.

Q. 탄소중립기본법을 통해 새롭게 도입되는 제도는?

기후변화 영향 평가제도

온실가스를 많이 배출할 가능성이 큰 산업(에너지 개발 등)에는 온실가스 감축 방안을 마련토록 하고, 기후변화를 일으킬 가능성이 큰 산업(수자원, 항만·산지·하천 등) 개발 시 기후변화 영향 분석과 취약성·위험성 평가를 기반으로 기후위기 적응방안을 수립

온실가스 감축인지 예산제도

정부의 예산과 기금 편성, 결산 절차 과정에서 사업별 온실가스 감축목표 설정, 이행실적 점검 등을 통해 감축효과가 높은 사업에 우선 투자하여 정부 예산 사업의 온실가스 감축 기여도를 제고하기 위해 마련

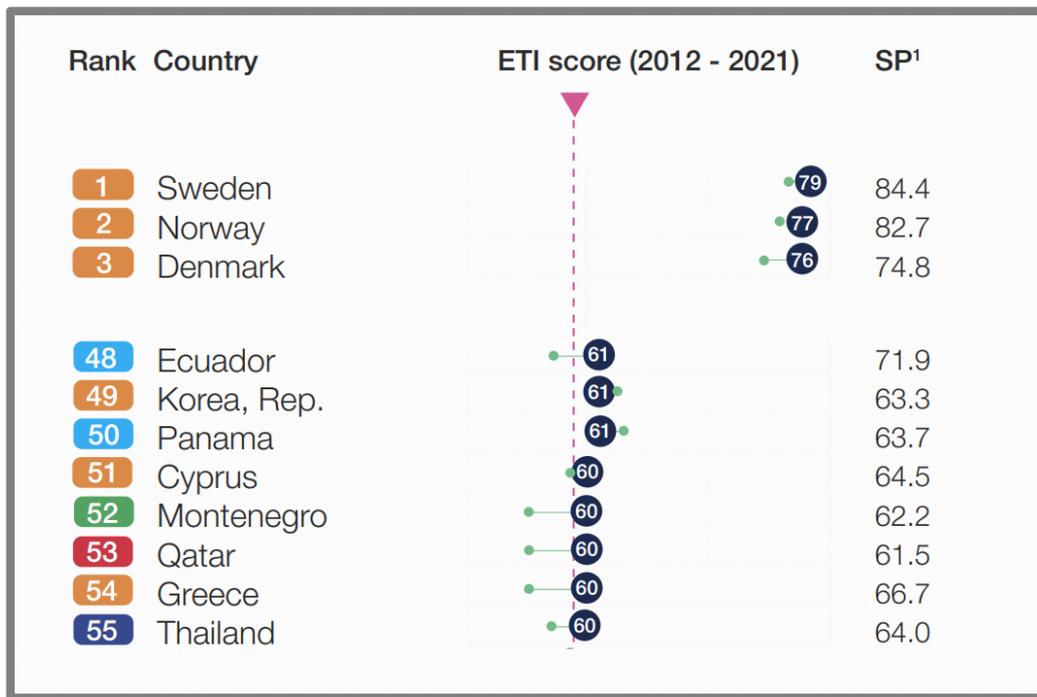
기후대응기금

탄소중립 사업의 효율성과 정합성을 제고하고, 온실가스 감축사업과 저탄소 분야 유망기업의 육성, 인력양성 등 정의로운 전환을 위해 신설

[그림 3.46] 탄소중립 기본법 주요 내용 그래픽

*출처: 대통령소속 2050 탄소중립 녹색성장 위원회

대한민국은 2018년 기준 세계경제포럼(World Economic Forum, WEF)의 에너지전환 지수(Energy Transition Index, ETI)가 63.3으로 115개국 가운데 49위를 차지하였다. 전세계적으로 탄소중립 아젠다가 부각되기 시작한 이후 다양한 정책적 노력을 기울이고 있기는 하나, 아직 지표 상으로는 다른 선진국들에 비하여 많은 노력을 필요로 하는 실정이다.



[그림 3.47] 대한민국의 ETI 2021 결과

7.1. 국내 농·축산 분야 탄소중립 정책 동향

2018년 기준으로 농축수산 부문 온실가스 총배출량은 24.7백만 ton CO₂-eq.로 국가 총배출량의 3.4%를 차지하는 것으로 나타났다. 이러한 상황에서 농축산 분야의 온실가스 배출량 감축목표를 달성하기 위해서는 저탄소 농업기술 개발 및 현장에 조속히 확산시키는 등 적극적 정책 추진 필요할 것으로 판단된다.

농업 분야는 전 세계적으로 온실가스 배출원으로 취급되고 있지만 인위적인 노력과 관리를 통해 온실가스 배출을 줄이고 더 나아가 흡수량까지도 향상이 가능한 분야이다. 이에, 농촌진흥청은 2022년 1월 13일, 농림축산식품부가 수립

한 ‘2050 농식품 탄소중립 추진전략’을 적극 뒷받침하기 위해 ‘2050 탄소중립 실현 농업기술 개발과 현장보급 추진전략’ 마련하였다. 추진전략의 4대 중점 분야는 ①온실가스 정보에 대한 객관적이고 신뢰성 있는 통계자료 구축 ②온실가스 감축을 위한 저탄소 농업기술 개발 확대 ③농경지를 이용한 온실가스 흡수 기능 강화 ④개발된 기술의 현장 확산이다.

농촌진흥청은 논물 관리기술, 토양개량제인 바이오차, 메탄 저감 효능 사료 등 저탄소농업 기술을 개발하여 현장에 보급해 왔으나, 이번 ‘2050 탄소중립 실현 기술개발과 현장보급 추진전략’을 통해 기술을 보완·향상하여 농업현장에 효과적으로 확산될 수 있도록 효과적인 지원 방안을 계획·구축해 나가고 있다.

<표 3.26> 2030년 농업부문 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한
벼는 온실가스 감축기술 가이드라인

논 물관리 방법	<ol style="list-style-type: none"> 1) 상시답수: 이앙 후 벼 재배기간 동안 논물을 깊게 유지 2) 중간 물 떼기(간단관개): 이앙 후 약 한달 간 논물을 깊이 대고 이후에는 물을 떼서 2~3주 바닥에 실금이 보일 때까지 말린 후 다시 관개 3) 논물 걸러대기: 벼 이앙 후 한달간 논물을 깊이 댄 후 논물을 얇게(3~5cm)대고 자연적으로 말리며 다시 얇게 대어줌. 벼 이삭이 익을 때까지 반복
효과	<ol style="list-style-type: none"> 1) 온실가스 감축: 논물 걸러대기를 할 경우 상시답수에 비해 63.0%, 중간 물 떼기를 할 경우 25.2%의 온실가스 감축 2) 농업용수 절약: 농업용수는 논물 걸러대기를 할 경우 상시답수에 비해 28.8%, 중간 물 떼기를 할 경우 16.8% 절약 3) 수확량 증가: 벼 수량은 논물 걸러대기를 할 경우 상시답수에 비해 10.4% 증가 4) 쌀 품질 향상 : 쌀의 품질을 결정하는 단백질 함량은 논물 걸러대기를 할 경우 6.1%, 중간 물떼기 6.0%로 탐라이스 조건(6.5% 이내)에 충족

* 출처: 농촌진흥청 <농사료>

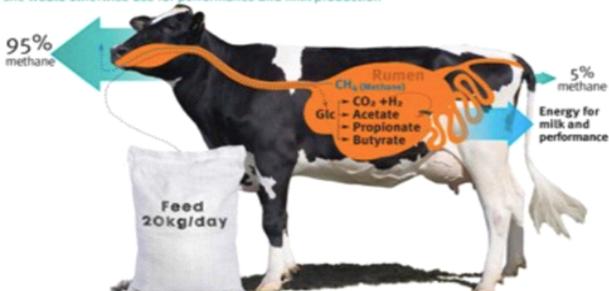


100% 국내산 참나무와 친환경자재로 만든
유기농업 토양개량제

Methane Reduction Project

- how to reduce methane emission by a minimum of 25%

A cow emits 500l of methane per day, which is equivalent to 10% of the energy she would otherwise use for performance and milk production



[그림 3.48] 유기농업 토양개량제 바이오차 및 메탄 저감 효능 사료



[그림 3.49] 2050 농식품 탄소중립 추진전략

* 출처: 농림축산식품부

7.2. 국내 농축산분야 탄소중립을 위한 방법론: 저탄소 농축산물 인증제

저탄소 농업기술이란 농업 생산 전반에 투입되는 비료, 농약, 농자재 및 에너지 절감을 통해 온실가스 배출을 줄이는 영농방법 및 기술이다. 그리고 저탄소 농축산물 인증제 사업은 저탄소 농업기술을 활용하여 생산 전과정에서 온실가스 배출을 줄인 농축산물에 저탄소 인증을 부여하는 제도로, 농업인의 온실가스 감축 유도, 소비자에게 윤리적 소비 선택권 제공한다.

저탄소 농축산물 인증제 사업은 현재 한국농업기술진흥원(舊 농업기술실용화재단)을 시행 주체로 하여 농업인 대상 인증 교육, 온실가스 산정보고서 작성을 위한 컨설팅 및 인증 취득 지원, 그린카드¹⁹⁾ 연계 및 인증 농산물 유통지원 등의 형태로 운영되고 있다.

또한, 저탄소 농업기술은 한국농업기술진흥원에서 인정하는 19개 저탄소 기술(<표 3.27>)을 의미하며 해당 기술을 농·축산업에 적용하고 있음을 시행 주체로부터 인정 받으면 시행 주체인 한국농업기술진흥원이 해당 농가에서 생산하는 농·축산물에 대하여 인증을 부여하는 형태이다.

<표 3.27> 19개 저탄소 농업기술

분류기준	No.	저탄소 농업기술명	분류기준	No.	저탄소 농업기술명
A 비료 및	1	최적비료사용	C 난방	1	다겹보온커튼 및 보온터널 자동개폐장치

19) 그린카드: 저탄소 농산물 구매 시 최대 9% 포인트 적립

분류기준	No.	저탄소 농업기술명	분류기준	No.	저탄소 농업기술명
작물 보호제 절감 기술	2	경축순환농법	에너지 절감기술	2	축열물주머니 이용 보온장치
	3	자가제조 농자재 사용 농법		3	수막재배 시스템
	4	뜻거름 작물재배		4	농업용 열 회수형 환기장치
	5	순환식 수경재배(폐양액 재활용 시스템)		5	온풍난방기 배기열 회수장치
	6	생물적 자원을 이용한 제조 및 방제		6	목재펠릿 난방 장치
B 농기계 에너지 절감기술	1	직파재배		7	지열 히트펌프 시스템
	2	무경운 및 부분경운		8	폐열 재이용 난방시스템
D 물관리 기술	1	빗물 재활용 기술		9	일사량 감응 전자동 변온관리 시스템
	2	논의 물관리 기술			

*출처: 한국농업기술진흥원 <저탄소 농축산물 인증제 소개자료>

인증신청 가능 농·축산물 품목은 2022년 기준 총 61개 품목이다(<표 3.28>).

<표 3.28> 인증 신청 가능한 농산물 품목

구분	농산물
식량작물(7)	벼, 감자, 고구마, 밀, 보리, 옥수수, 콩
채소(28)	가지, 고추, 단고추(피망), 당근, 들깻잎, 딸기, 마늘, 멜론, 무, 미나리, 방울토마토, 배추, 부추, 브로콜리, 상추, 생강, 수박, 시금치, 양배추, 양파, 연근, 오이, 착색단고추, 참외, 취나물, 토마토, 파, 호박
과수(15)	단감, 블루베리, 만감(감귤), 매실, 무화과, 밀감(감귤), 배, 복분자, 복숭아, 사과, 유자, 자두, 참다래, 체리, 포도
특용작물(9)	녹차, 느타리버섯, 더덕, 땅콩, 새송이버섯, 양송이버섯, 오미자, 인삼, 참깨
임산물(2)	대추, 밤

8. 국내외 농축산 분야 탄소중립 정책의 비교와 시사점

앞서 살펴본 해외 및 국내 농축산분야 탄소중립 정책 동향은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫 번째로 영국은 지속 가능한 농업 인센티브(The Sustainable Farming Incentive, 이하 SFI)를 대표적인 농축산분야 탄소중립 정책으로 볼 수 있다.

SFI는 토지를 관리하여 농업의 생물 다양성을 높이고 기후 회복력, 식량 생산 개선, 수질 개선 및 온실 가스 배출을 감축하는 농부들에게 인센티브 제공하는 제도이다.

SFI는 초기 단계로 온실가스 배출량 감축보단 토양 및 생물다양성에 초점을 두고 표준을 적용하고 있으나, Net Zero 달성에 어떠한 형태로 기여하는 것인지에 대해서는 구체적인 효과를 제시하고 있지는 않다. 따라서, 해당 정책이 온실가스 배출량 감축부문에서 어떤 방식으로 표준을 적용하는지 지속적인 확인이 필요하며, 이는 영국의 농축산분야 탄소중립 정책이 온실가스 배출량 정량화와 같은 세부적 수준에서의 논의가 아닌, 자연 환경 보존, 생물 다양성 확보 등의 포괄적인 수준에서 이루어지고 있음을 의미한다.

두 번째로, 일본은 J-Credit 제도를 대표적인 농축산분야 탄소중립 정책으로 볼 수 있다.

J-Credit 제도는 우리나라의 온실가스 감축 사업 방법론 상쇄등록부 시스템(<https://ors.gir.go.kr/>)과 매우 유사한 형태를 보인다. 방법론 등록 플랫폼에 국가로부터 인증을 받은 농업분야 온실가스 감축 기술 등록하고, 해당 기술들을 적용한 농가에서 크레딧을 통한 수익을 창출하는 형태이다.

현재 J-Credit 플랫폼에 등록된 농업분야 온실가스 감축 방법론은 ① 소, 돼지, 육계에 아미노산 균형 개선 사료 공급하여 N₂O 배출 저감 ② 가축폐기물 처리시스템 전환을 통한 CH₄ 및 N₂O 배출 저감, ③ 질산화억제제 함유 화학비료를 사용하여 토양에서 배출되는 N₂O 저감, ④ 경작지 및 초원에 바이오 숯을 추가하여 토양에 탄소 저장의 4개 방법론이다.

이는, 일본의 농축산분야 탄소중립 정책이 온실가스 배출량 정량화 단계까지 다루고 있음을 의미하며, 국내의 온실가스 감축 사업 방법론 등록 체계와 유사

도가 높은 만큼 농축산이라는 국한된 분야에서 제도적 보완점을 찾아 응용하는 것이 타 국가에 비해 비교적 적용 가능성이 높음을 시사한다.

세 번째로, 프랑스의 농축산분야 온실가스 배출 저감 실천을 위한 정책적 접근은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째, 토양 관리 측면에서의 방법론적 접근이다. Compagnie des Amandes의 과수원 심기(Plantation de vergers), Pays de la Loire의 생울타리(Haies) 방법론은 토양 덮개를 이용한 황무지 개간, 보카쥬와 같은 프랑스 고유의 전통적·친환경적 토지 구획 방법 등 지원에 중점을 두고 있다. 둘째, 기술·프로젝트 측면에서의 방법론적 접근이다. SOBAC의 투입관리(Gestion des intrants) 방법론, Blue-Blanc-Coeur의 젖소의 장내발효(Fermentation entérique des bovins lait) 방법론은 온실가스 저감 기술이 적용된 프로젝트 시행 전후를 정량화하여 온실가스 감축량을 산정해내는 것으로 2006 IPCC Guidelines을 골자로 하며, 민간이 방법론 개발, 국가로부터 승인을 받는다는 점에서 일본의 J-Credit 제도와 마찬가지로 우리나라의 상쇄등록부시스템과 유사한 형태를 지닌다. 이는, 프랑스의 농축산분야 탄소중립 정책이 온실가스 배출량 정량화와 더불어 자연 환경 보존, 생물 다양성 확보 등의 포괄적인 수준까지 다루고 있음을 의미하며, 국내의 온실가스 감축 사업 방법론 등록 체계와 유사도가 높고 국내에서는 아직 미진한 생태 보존 영역까지 온실가스 감축 정책에서 다루는 만큼 국내 농축산분야 탄소중립 정책에서 차용할 영역이 타 국가에 비해 상대적으로 넓은 정책임을 시사한다.

네 번째로, 독일은 농축산분야의 직불금 제도를 눈여겨 볼 수 있다.

독일은 EU의 공동 농업정책보다 높은 수준의 지원금을 농가에 지원한다. 직불금의 종류 또한 다양하다. 환경보호, 동물복지, 토양 관리 등에 대한 의무와 규제 부여 및 기초 직불금, 환경 직불금 등을 운영하고 있다. 각 직불금은 1차 농업 생산에 참여하는 중소기업에 에너지 현대화 및 에너지 효율적인 신축 공사 및 재생에너지 사용 시 일정 비율의 자금을 지원하고, 농업에서 사용되는 에너지의 절약 및 재생 에너지 사용 촉진을 목적으로 한다. 이는, 독일이 자국의 농·축산업 경쟁력 제고와 더불어 농·축산업 분야에서의 탄소중립 목표 또한 인센티브 제도 맥락에서 달성하려는 것으로 해석할 수 있다.

다섯 번째로 EU의 농·축산 분야 탄소중립 목표 달성 정책 노력은 거시적인 측면에서 토양 관리 측면이 주를 이룬다. 대표적으로, INTERREG 탄소 농업 프로젝트는 토양의 유기탄소 축적량 관리를 위한 바이오차 등의 탄소원 재활용 방법, 'A Soil Deal for Europe' 프로젝트는 2030년까지의 중·장기적인 기간 동안 건강한 토양으로의 전환을 이끌 100여 개의 소규모 프로젝트이다.

여섯 번째로 미국의 농·축산 분야 탄소중립 정책은 기술 개발을 통한 온실가스 감축에 초점이 맞추어져 있다. 예를 들어, 가변율기술(VRT)과 같은 적정 비료 시비를 통한 아산화질소(N_2O) 관리, 재생 에너지 사용을 통한 화석 에너지 사용 감소, 극저온 증류를 이용한 N_2 생산, 재생전기를 이용한 저온 전기분해 기술에서 생산되는 H_2 , 그리고 N_2 와 H_2 를 혼합하여 녹색 암모니아(NH_3) 생산 등의 세부 기술 항목들은 생태학적, 특히 토양관리 측면에 중점을 두고 있는 유럽 국가들과는 달리 기술적·실용적 측면에서 농·축산 분야의 탄소중립 목표를 달성하려는 것으로 해석할 수 있다.

앞서 해외 농·축산 분야 탄소중립 정책 동향 분석 결과와 국내 농·축산 분야 탄소중립 정책 간 비교·분석 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

해외는 토지의 탄소 격리 효과, 농업과 자연 경관 보존과의 연계성 등을 고려해서 포괄적으로 탄소중립 정책 시행 중이다. 그뿐만 아니라, 농업 내 세부 분야(예, 생물타리, 커버크롭, 무경운농업, 질소관리 등)의 경우 기술적 관점에서 온실가스 배출량을 정량화하고 이를 인증 및 인센티브 제도 등으로 연계한다. 하지만, 대부분의 해외 정책 사례에서 관찰되는 정량화 시도는 아직 방법론을 개발하고 이를 시범 적용하는 단계에 머물러 있는 것으로 보인다.

반면, 우리나라의 경우 한국농업기술진흥원의 저탄소 농축산물 인증제 사업을 대표적인 농·축산 분야에서의 정책으로 볼 수 있다. 이는 온실가스 배출량 산정 방법론에 따른 감축량 산정 결과를 기반으로 농가에 인센티브를 제공, 소비자 구매를 촉진하는 방법 등으로 간접적인 수익을 창출한다.

즉, 우리나라의 농업 분야 온실가스 감축 정책 양상은 토지 및 자연 경관 보존, 농업과 연계한 토양 덮개 작물 재배 등 생태적 관점에서의 지원은 다소 미흡한 편이나 투입물(농약, 비료 등) 및 유틸리티(농업용수, 농업용 전기 등)의 정량화 시도는 타 선진국에 비하여 범용성이 높고, 구체성을 충분히 갖춘 방법

론을 가지고 있는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 해외 농·축산 분야 탄소중립 정책 동향 분석 결과와 국내 농·축산 분야 탄소중립 정책 간 비교·분석 결과는 우리나라에서 현재 시행 중인 주요 농축산물의 탄소발자국 정량화 방법론의 정책적 활용 형태는 유지하면서도 동시에 해외 사례들을 응용하여 생태학적 효과를 접목한 제도를 확보하는 것으로 필요함을 시사한다.

제2장 농식품 탄소발자국 산정 방법론

1. Frameworks and ISO standards

1.1. ISO 14040/44

1.1.1. 개요

ISO 14040:2011 환경경영 - 전과정 평가 - 원칙 및 기본구조
ISO 14044:2006 환경경영 - 전과정 평가 - 요구사항 및 지침

ISO 14040은 LCA의 원칙 및 프레임워크와 전과정 평가(LCA) 연구과 전과정 인벤토리(LCI) 연구를 다룬다. ISO 14044는 LCA 실무자를 위한 가이드라인으로 LCA 수행을 위한 요구사항이 구체적으로 설명되어 있다. 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)는 제품의 전과정인 원료물질 채취 및 획득부터 에너지와 물질의 생산 및 제조를 거쳐 사용과 제품 수명 종료 시 처리 및 처분에 대한 제품 시스템 전반에 걸쳐 투입 및 산출되는 물질에 대해 잠재적인 환경 영향을 집계하고 평가하는 기법이다.

1.1.2. 구성

LCA 연구는 4단계로 구성되며, LCI 연구는 3단계로 구성된다. 구체적인 단계는 목적 및 범위 설정, 목록 분석, 영향 평가 및 결과 해석 순이다.

■ 목적 및 범위 설정

LCA는 반복적인 기법으로 데이터와 정보가 수집됨에 따라 연구의 목적과 범위는 변경이 가능하다. 목적은 연구 수행 이유, LCA 결과 사용 분야, 이해관계자 등을 고려해야하며 범위 설정의 경우 기능 단위, 시스템 경계, 할당 절차, 데이터 요구사항, 가정, 제한 사항 등을 고려해야한다. 기능단위는 기준 단위로 사용하기 위한 제품 시스템의 정량화된 동일한 성능의 기준이고, 기준흐름은 해당

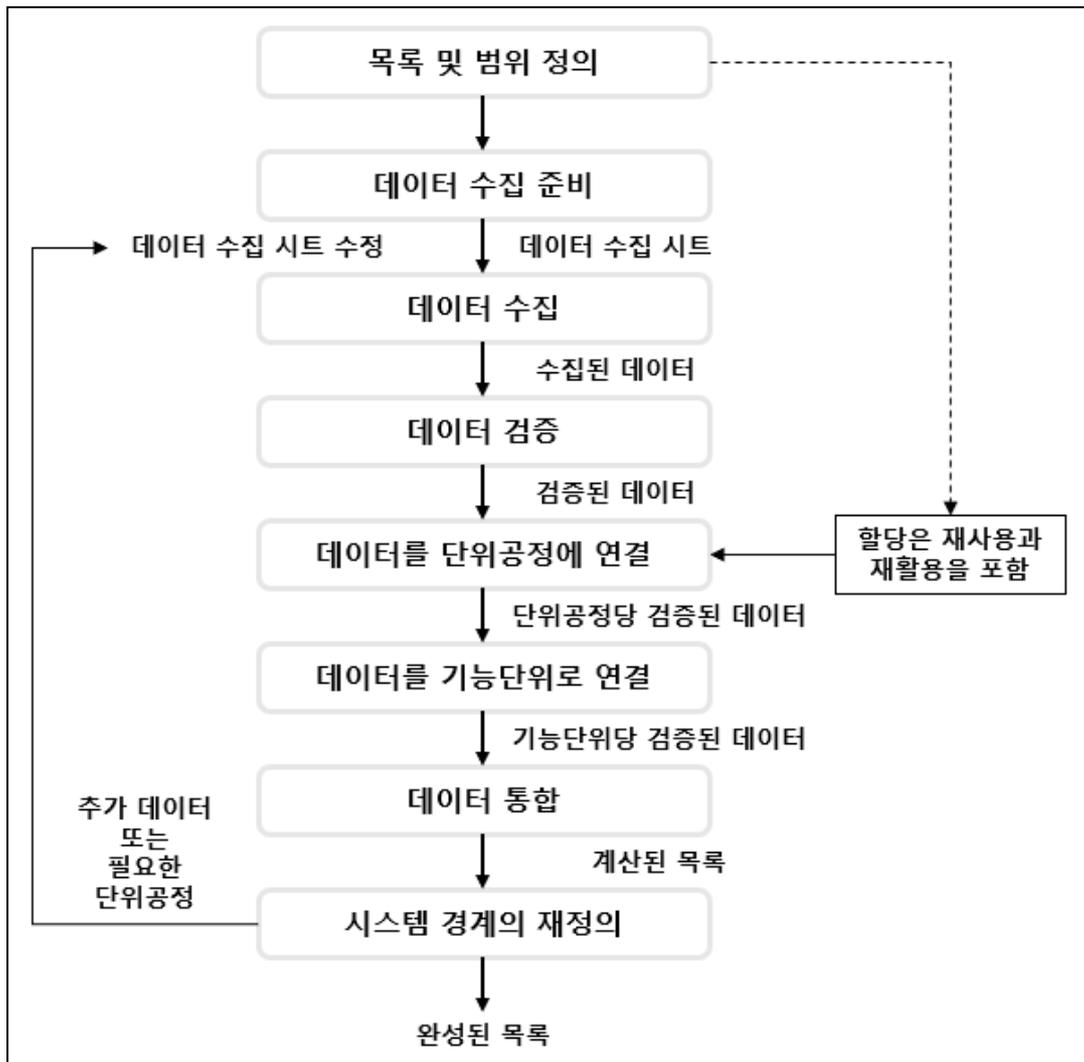
시스템 내 공정으로부터 나오는 산출물이 기능단위로 표현된 기능을 수행하는데 필요한 양을 나타낸다.

시스템 경계는 연구의 목적에 따라 달라지며 고려 사항은 다음과 같다. Cradle to Grave은 대표적인 시스템 경계로 제품의 원료취득부터 폐기단계까지 고려한다.

- 원료의 획득
- 주요 제조/가공 공정의 투입물 및 산출물
- 유통/운송
- 연료, 전기 및 열의 생산과 사용
- 제품의 사용과 유지보수
- 공정 폐기물 및 제품의 처분
- 사용된 제품의 회수(재사용, 재활용 및 에너지 회수를 포함)
- 보조 물질의 제조
- 자본 장비의 제조, 유지보수 및 중지
- 조명 및 가열과 같은 부가적인 운영

■ 전과정 목록분석

LCA를 수행하기 위하여 제품의 투입물과 산출물에 대한 정보를 정량화하는 과정이다.



[그림 3.50] 목록 분석의 단순화된 절차

데이터를 수집하는 과정에서 시스템 경계 내 포함된 단위공정별로 목록 분석에 포함되는 정성적, 정량적 데이터가 반드시 수집되어야 한다.

<표 3.29> 데이터 수집 항목

데이터 수집 항목	<ul style="list-style-type: none"> • 에너지 투입물, 원료 투입물, 보조 투입물, 기타 물리적 투입물 • 제품, 부산물 및 폐기물 • 대기로의 배출물, 물 및 토양으로의 방출물 • 기타 환경적 측면들
-----------	---

데이터 수집 후 데이터 품질 요구사항을 달성했는지 확인하기 위해 데이터 수집 과정에서 데이터의 신뢰도를 제고하기 위한 타당성 검토가 진행되어야 한다. 또한 민간도 분석을 토대로 LCA의 반복적인 특성을 반영하여 포함되어야 하는 데이터를 결정한다.

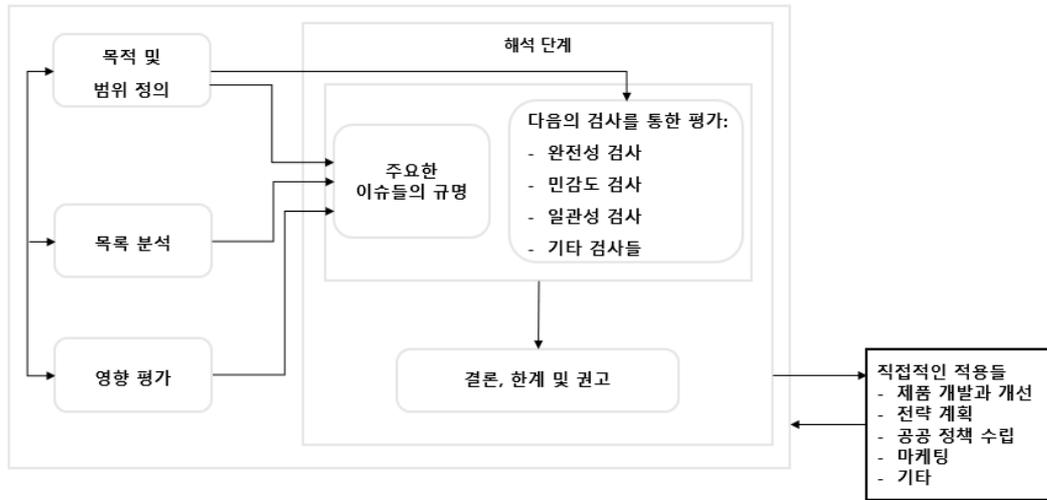
■ 전과정 영향평가

영향평가는 목록 분석 결과를 바탕으로 잠재적인 환경영향을 평가하는 단계이다. 투입물과 배출물이 미치는 잠재적인 환경영향을 과학적이고 정량적으로 계산하는 과정이다. 영향 평가 시 다음과 같이 산정한다.

분류화	<ul style="list-style-type: none"> 예상되는 환경영향의 유형을 토대로 전과정 목록 분석 결과로 도출된 투입물, 산출물을 해당 영향범주로 연결시키고 분류하는 과정
특성화	<ul style="list-style-type: none"> 영향범주별 분류된 항목들의 환경영향을 대표적 지표로 정량화하는 과정 각 항목의 환경부하와 그것이 환경에 미치는 상관관계를 나타내는 특성화 모델 사용
정규화	<ul style="list-style-type: none"> 영향범주별 특성화 값을 정규화 인자로 나누어 산정 정규화를 통해 환경오염의 상대적인 기여도 파악
가중치 부여	<ul style="list-style-type: none"> 각 영향 범주 간의 상대적 비중을 평가 주관적인 평가로 국가와 지역, 시대에 따라 상이 (가역성, 지역성, 예방 기준 등 고려)

■ 전과정 결과 해석

목록 분석과 영향 평가 결과를 바탕으로 전과정평가 대상 제품이 환경에 미치는 영향과 개선이 필요한 부분 등 평가 목적에 맞게 결론과 활용 방안을 이끌어내는 과정이다. 주요 이슈의 규명, 완성도·민감도·일관성 평가, 결론 및 건의 등이 이루어진다.



[그림 3.51] 목적 분석의 단순화된 절차

1.2. ISO 14067

1.2.1 개요

기후변화의 주요 원인인 온실가스 배출량을 줄이기 위한 노력의 일환으로 국제표준화기구(ISO)는 제품 및 서비스에 대한 탄소발자국의 정량화를 위한 원칙, 요구사항 및 지침을 제공하는 “ISO 14067: 온실가스-제품 탄소발자국-정량화를 위한 요구사항 및 지침“을 개발했다. 제품 탄소발자국은 전과정평가(LCA)를 기반으로 제품의 전과정에서 배출 및 제거되는 온실가스의 양을 산정하는 방법으로써 ISO 14067 표준에는 탄소발자국 산정 원칙, 절차 및 기준이 규정되어 있다. 특히, 탄소발자국 결과에 대한 비교, 재활용에 대한 할당(Allocation), 농산품 및 임산물 생산에 의한 온실가스 제거 등과 관련한 세부적인 기준을 제공함으로써 탄소발자국 산정 과정의 일관성을 확보하였다.

1.2.2 제품의 탄소발자국(Carbon footprint) 정량화

제품의 전체 또는 부분시스템(하나 이상의 공정)에서 발생하는 탄소발자국을 정량화하며 제품의 시스템 경계 GHG의 배출 및 GHG의 제거량에 대한 총합으로 나타낸다. 제품의 탄소발자국은 CO₂-eq.로 표현되며, 제품수명주기 내에서 선택된 공정을 기반으로 한다.

1.2.3 GHG 배출

GHG 배출 ① 방지, ② 감소 또는 ③ 제거를 통해 전체 탄소발자국 또는 부분 탄소발자국의 전체 또는 일부 배출량을 보상하기 위한 탄소 상쇄 메커니즘이다.

1.2.4 지구 표면의 온실가스

자연적 또는 인위적으로 대기 및 구름에서 방출되는 적외선 복사 스펙트럼 내 특정 파장에서 흡수 그리고 방출이 이루어지는 대기 중 GHG 구성 요소로 GHG 방출 시점 기준 이산화탄소(CO₂)로 인한 온도 변화와 관련된 전 지구 평균 표면 온도의 변화를 측정하며 단위는 CO₂-eq.로 표현된다. GHG의 복사 특성에 기반한 지수(Global warming potential, GWP)는 선택된 시간 범위 내 현재 대기 중 GHG 단위 질량(CO₂ eq.)의 펄스 방출에 따른 복사 강제력을 통합하여 측정된다.

2. Guidelines

2.1 GHG Protocol

2.1.1 개요

GHG 프로토콜은 미국의 환경NGO인 「세계자원연구소(WRI:World Resources Institute)」와 170개 다국적 기업연합체인 제네바소재 「세계지속가능발전기업협의회(WBCSD: World Business Council for Sustainable Development)」를 중심으로 모인 글로벌 기업, NGO, 정부기관 등 다수의 이해관계자들로 구성된 파트너십이다. 이는 국제적으로 인정된 온실가스 배출량 산정과 보고에 관한 기준을 개발 및 확산을 목적으로 1998년 발족하였다. GHG 프로토콜은 온실가스 배출량 산출 대상 및 주제에 따라서 현시점에 총 7개 기준서를 제시하고 있다.

1. 기업배출량 산정
2. 도시 배출량 산정
3. 프로젝트 배출량 산정
4. 밸류체인배출량(Scope3) 산정
5. 감축목표선정
6. 제품전생애주기 산정
7. 정책 및 활동 산정

2.1.2 온실가스 배출량 산정 기준

GHG 프로토콜은 기업 배출량 산정 기준서로 기업의 배출량 보고 경계를 설정하고, 온실가스 배출량 산출 영역(Scope)을 구분할 수 있는 기준을 제시한다. 배출량을 보고하는 주체의 배출 범위에 따라 직접배출(Scope1), 간접배출(Scope2), 기타 간접배출(Scope3)로 나누고 있다.

Scope1	• 기업이 소유하고 관리하는 자원에서 직접 발생된 탄소(직접배출)
Scope2	• 사업자가 소비하는 구입 전력 또는 스팀 등으로 인해 발생하는 온실가스배출(간접배출)
Scope3	• 사업자가 직접 소유하거나 통제하지 않는 배출원으로부터 발생하는 온실가스배출(기타 간접배출)

2.1.3 온실가스 배출량 산정

■ 온실가스 인벤토리 구축

기업 온실가스 인벤토리 구축은 기업이 정한 조직경계 안에서 직·간접적인 온실가스 배출원을 규명하고, 배출원으로 인한 각각의 온실가스 배출량을 산출 및 목록화하여 온실가스 배출현황을 파악하는 작업이다. 조직경계는 기업 내 포함

되어야할 사업장 및 종속회사 등을 결정하는 단계이고 운영경계는 배출원의 포함여부를 결정하거나 배출 Scope를 구분하는 단계이다. 운영경계 설정은 온실가스 산정 방법론(ISO 14064-1)과 가이드(GHG protocol)에 따라서 구분할 수 있다.

■ 배출량 산정

인벤토리 구축을 통해 조직경계와 운영경계가 설정되면 배출량 산정을 위해 배출원 확인, 산정 방법론 결정, 활동자료 취합, 배출계수 산정의 과정이 요구된다. 온실가스배출량은 탄소환산톤(t CO₂-eq)²⁰⁾로 표기된다.

$$\begin{array}{c} \text{활동자료} \\ \text{(Activity data)} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{발열량} \\ \text{(Net calorific} \\ \text{value)} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{배출계수} \\ \text{(Emission fact} \\ \text{or)} \end{array} \times \begin{array}{c} \text{지구온난화 지수} \\ \text{(GWP)*} \end{array} = \text{CO}_2\text{e Emissions}$$

[그림 3.52] Scope 1 온실가스 배출량 산정식

- 활동자료: 배출시설 연료(석탄, 도시가스, 휘발유, 경유 등) 사용량을 의미 (단위: ton / Nm³ / L 등)
- 발열량: 연료 연소에 따른 발열량 가운데 순발열량을 의미(단위: Tj/ton 등)
- 배출계수: 연료의 순발열량에 따른 주어진 배출계수 의미(단위: t CO₂/GJ 등)
- 지구온난화지수: 적용기준(IPCC 보고서등)에따른온실가스별적용

20) 탄소환산톤이란, 다양한 온실가스 배출을 지구온난화지수(GWP)에 기준하여 비교가능하도록이산화탄소 배출량을 기준으로 할 때 이를 탄소의 무게만으로 다시 환산하여 비교하도록 만든 측정수단

■ Scope3 배출량 산정 필요성

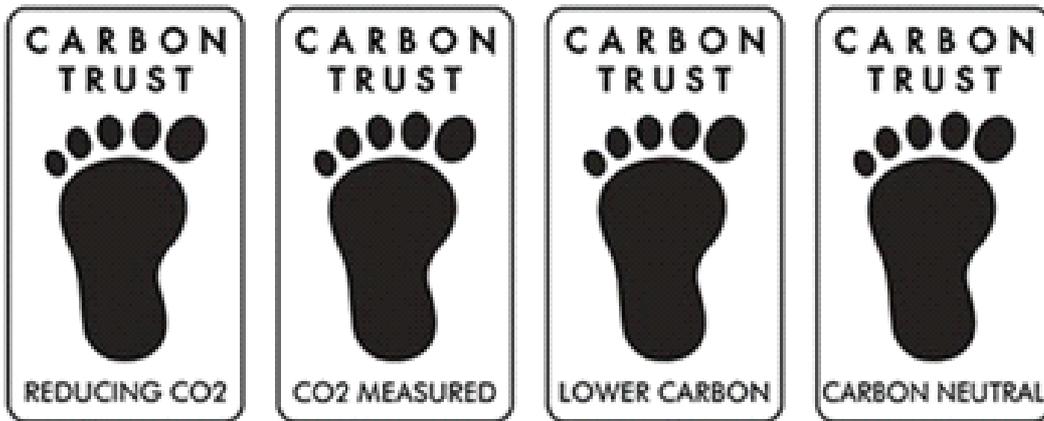
전과정 평가를 통해 Scope1과 Scope2에서 배출되는 온실가스 배출량보다 Scope3에서의 배출량이 월등히 많다면 고려될 필요성이 있다.

구분	No.	배출 종류	내용
Up Stream	1	구매 재화/서비스	• 기업운영을 위해 구매한 상품이나 서비스에 따른 탄소배출량
	2	자본재	• 기업운영을 위해 구매한 제품(기업의 자산/자본인 제품)
	3	기타 에너지 관련 배출	• 사용한 에너지의 생산 시 발생하는 탄소배출량
	4	업스트림 운송 및 배출	• 기업운영을 위해 원자재/부품 구매 시 운송에 따른 탄소배출량
	5	사업장 폐기물 처리	• 운영 시 발생하는 폐기물의 탄소배출량
	6	임직원 출장	• 임직원의 국내외 출장(활동)에 따른 탄소배출량(이동, 숙박 등)
	7	임직원 통근	• 임직원 통근에 따른 탄소배출량
	8	임차 자산	• 임차 자산 이용에 따른 탄소배출량(Scope 1&2 미포함)
Down Stream	9	다운스트림 운송 및 배송	• 기업에서 생산/제조한 제품의 운송/배송에 따른 배출량
	10	판매제품의 가공	• 판매제품의 중간가공 과정에서 발생하는 탄소배출량
	11	판매제품의 사용	• 판매제품을 고객이 사용하는데 발생하는 탄소배출량
	12	판매제품 사용 후 폐기/처리	• 판매제품의 수명이 다한 후 폐기과정에서 발생하는 탄소배출량
	13	임대자산 운영	• 임대 자산 이용에 따른 탄소배출량
	14	프랜차이즈 운영	• 프랜차이즈 운영 시 발생하는 탄소배출량(Scope 1&2 미포함)
	15	지분투자	• 기업이 투자/지분(50% 이상)을 보유 중인 자산에서 탄소배출량

2.2 PAS 2050

2.2.1 개요

PAS 2050은 제품의 전 과정 온실가스 배출을 평가하기 위한 공개적으로 이용 가능한 설명서이자 영국의 탄소감축라벨(Carbon Reduction Label) 인증 기준으로 ISO 14040s의 LCA에 기반을 두고 있다, 영국정부는 2001년 기후변화에 대응하고 저탄소 경제체제로 전환을 촉진하기 위해서 Carbon Trust社, 영국표준협회(BSI), 영국환경식품농림부(Defra)가 공동으로 개발하였다. 이는 제품 전과정에서 발생하는 이산화탄소 배출정보만 공개하고 이를 토대로 온실가스 감축을 유도하고 있어 세계 각국에서 추진 중인 탄소라벨링 제도의 벤치마킹 자료로 활용되고 있다. 지침은 모든 규모와 모든 산업 분야에서 제품의 전 과정 탄소발자국 평가와 배출량 감축 기회 방안을 가능하게 하고, 제품-수준의 온실가스 배출량 계산과 배출량 감축을 위한 우선순위 결정을 위한 모범 경영, 방법, 체제를 공유하는 것을 목적으로 한다.



[그림 3.53] 카본 트러스트 인증 마크

■ 범위와 구조

- 계획

① 목적 설정

온실가스 배출을 줄이기 위한 구체적인 목표를 설정하기 위해 제품 수준의 온실가스 평가를 미리 규정하고 그에 대해 합의하는 것이 필요하다. 탄소 발자국

계산에 쓰이는 데이터와 범위, 경계의 방침을 제공하고 검증 방법에 대한 정보가 필요하다.

② 제품 선택하기

제품을 선택하는 단계에서는 제품 생산량, 제품의 유형, 제품들의 다양한 크기 등을 규정하는 것을 핵심적인 요소로 한다. 제품을 선택 후 기능 단위를 명시해야 하며 이는 비교의 근거를 제시하고 결과들의 교환이 필요할 경우 분석이 용이하다.

③ 공급자와 교섭

제품의 수명을 이해하고 데이터를 수집하는 단계로 기업 내 생산 과정뿐만 아니라 기업 테두리 밖에서의 과정, 재료, 에너지와 관련된 요건들, 폐기물에 관한 정보를 확보하는 것이 중요하다.

- 제품 탄소발자국 계산

<표 3.30> 탄소발자국 계산의 다섯 단계

구분	단계명	내용	비고
1	프로세스 지도	원료부터 처분까지 모든 재료, 에너지, 폐기물 흐름을 포함한 제품 수명주기 프로세스 지도 작성	새로운 정보로 프로세스 지도 업데이트
2	경계와 우선순위 결정	경계를 확정하고 우선적인 노력을 도울 높은 수준의 탄소발자국 수행	
3	데이터 수집	제품, 수명주기 단계에 걸친 재료의 양, 활동, 배출계수 데이터 수집	
4	계산	제품 탄소 발자국 계산	
5	불확실성	탄소발자국 분석에 대한 평가의 정확성	

제품 탄소 발자국 방정식은 제품의 수명주기에 포함된 모든 활동에 걸친 모든 재료, 에너지, 폐기물의 합에 이들의 배출 계수를 곱한다.

$$\text{특정 활동의 탄소 발자국} = \text{활동 데이터(질량/부피/kWh/km)} * \text{배출계수(단위 당 CO}_2\text{e)}$$

온실가스 배출이 계산되면 지구 온난화 지수(GWP)를 사용하여 CO₂e로 환산해야 한다. 또한 모든 투입, 산출, 폐기물 흐름의 '질량 균형'을 요구한다.

2.3 FAO LEAP Guidelines

2.3.1 개요

생물다양성은 생태계 기능, 서비스 제공 및 인간 복지에 필수적이지만 이를 충족하지 못했던 정상속도보다 전례없는 속도로 감소하고 있다. 이러한 감소는 주로 소비를 위한 생산, 수송 및 사후 평가를 위해 인간이 자연 생태계를 다른 토지 이용으로 전환함으로써 발생한 서식지 손실로부터 기인한다. 국제협약은 현재 서식지 손실과 관련하여서는 아직 논의에 비하여 진전이 부족한 상황인데, 이를 완화하기 위해 보호 구역 설정과 같은 전통적인 동인(예: 서식지 손실, 오염) 해결 접근방식 내지는 전략이 정책적으로 보완될 필요성이 제기되고 있다. 이와 같은 접근 방식의 첫번째 단계는 개별 상품의 생산 활동이 생물 다양성에 미치는 영향을 정량화하고 생산자, 소비자 및 기타 이해 관계자에게 보다 지속 가능한 관리 관행의 채택을 촉진하기 위한 영향을 알리는 환경발자국으로 대표할 수 있다. 이는 생태적 맥락, 그리고 인간의 토지 이용 역사는 대규모 가축 사육이 생물 다양성에 위협적임을 설명함과 더불어 이를 적절히 관리하여야 자연적으로 가치가 높은 토지를 유지, 보존할 수 있음을 보여준다.

환경 평가에 생물다양성 평가를 포함시키는 것은 본질적으로 생태계의 복잡성, 규모의 문제 등 여러 가지 이유로 인해 단일 척도나 보전 목표로 축소하는 것이 매우 어렵다고 볼 수 있다. 따라서, 생물다양성과 관련된 국제적 약속을 충

족하고 환경기준 사이에서 상호 부담이 전가되는 형태의 위험 요인을 회피하기 위해 별도의 환경기준과 더불어 새로이 생물다양성 평가를 위한 정량적 지표와 평가 방법 개발이 필요하다.

■ 목적 및 범위 설정

평가 목표와 최종 결과의 용도를 설정하는 것은 생물다양성 평가의 첫 번째 단계이며, 선택한 평가 방법과 평가의 모든 단계는 정의된 목표를 반영해야 하므로 목표, 범위, 데이터, 방법, 선택한 지표, 결과 및 결론이 반드시 일치해야 한다. 여러 이해관계자의 참여는 연구 중인 특정 시스템(예: 가축 시스템, 지리적 영역)과 관련된 목표를 정의하는 데 매우 유용할 수 있다. 이는 전문적인 기술 정보가 거의 없는 가축의 사육 또는 농축산업 시스템과 특히 관련이 있으며, 여기서 이해관계자의 참여는 성공적인 생물다양성 평가의 올바른 구현에도 크게 기여할 수 있다.

■ 기능단위

LCA의 기능단위는 내구성, 기능성 등 제품의 속성에 따라 제품 시스템이 제공하는 서비스를 정량화한 것으로, 시스템 내 모든 투입 및 산출의 기준이 된다. 기능 단위를 정의하는 데 필요한 요구 사항 정보는 LEAP 부문별 지침 (FAO 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2018a)에서 확인 할 수 있으며 생산 시스템에 필요한 토지 면적과 같은 대체 기능 단위도 사용되었다. 다양한 유형의 제품 및 서비스를 단일 기능 단위로 통합하는 것은 매우 어려운 작업이므로 생산 시스템 (예, 가축 등)에서 제공하는 서비스의 일부를 기능 단위에 포함할 수 있다.

■ 시스템 경계

과거 LEAP 지침에서는 가축 생산 시스템에 대해 "farm gate"와 "first processor gate"로 명명되는 두 가지의 개별 다운스트림 시스템 경계를 정의했었다. (하지만) 업스트림 경계는 공급망에 투입되는 원료의 초기 추출 단계인 "cradle" 까지 확장이 되어야하며, LCA에 생물다양성 지표를 포함하려면 반드시

동일한 시스템을 대상으로 해야 한다. 생물다양성에 미치는 영향은 주로 “farm gate”까지 포착되는 것으로 알려져 있지만 LCA를 수행하는 동안에는 반드시 시스템 경계, 주요 수명 주기 단계 등 가축 생산 시스템의 모든 투입물에 대한 평가 프로세스 흐름도를 작성해야 한다. 또한 생물다양성에 영향을 미칠 수 있는 관련 활동 뿐만 아니라 기능 단위인 생산 관련 물질 흐름이 농장 외부 위치에서 발생할 수 있다는 점 또한 유의해야 한다. “cradle to farm gate” 단계는 사료 및 동물성 원료를 포함한다. 또한, 사료의 일부는 농장 외부에서 생산되어 동물에게 먹이를 주기 위해 농장으로 운송될 수 있으므로 다양한 사료공급원에 대한 고려가 필요하다.

■ 글로벌 영향평가

LCA를 사용한 생물다양성 평가의 경우 chaudhary와 brooks(2018)가 개발한 'CF 모델' 방법 적용을 권장한다. 이러한 CF는 해당 연구에서 가축 생산 시스템 관련 토지의 변화로 인한 생물 다양성 영향 평가하기 위해 해당 지역 종의 취약성에 가중치를 부여한 모델(SAR Model)을 사용하여 도출했다.

또한, 이 연구는 잠재적인 지역적, 세계적 멸종위기를 반영하고 있으며 이 가이드라인은 글로벌 taxa-aggregated CF 사용을 권장하고 있다. 이는 UNEP-SETAC 지침과 일치한다. 권장된 LCIA 모델의 한계는 생물다양성에 대한 유의한 영향을 반영하기가 어렵다는 것이다. 그렇기 때문에 생물다양성 유의 영향은 결과 해석의 일부로 논의되어야 하며, 이러한 한계를 극복하기 위해 보완적인 PSR 지표의 사용이 권장되고 있다.

CF: 특성화인자(Characterization factor)

■ 지역적 영향평가

지역/지역 영향 평가는 글로벌 또는 로컬 규모에서 채택된 CF를 혼합하여 적용하는 것이 필요하다. 이상적으로는 특정 생물다양성 모니터링 지역에서의 관리 기간 동안 자세한 데이터가 지역 전체를 대표할 수 있어야 한다. 품질이 낮은 데이터는 일반적으로 영향평가에서 사용하기는 어려우나, 지역의 생물다양성 평가를 위해서는 토지 이용 변화의 결과로 인한 생태 지역에서의 종의 잠재적

손실 종(種) 손실(Percent of species lost, 이하 PSL) 측면에서 해석할 수 있다.

■ 결과 해석

LCA에서 해석은 수명 주기 연구의 결과와 다양한 단계를 양적 및 질적으로 평가하는 단계이며, 정책 및 의사 결정자 그리고 이해관계자에게 정보를 제공하기 위한 수단으로 매우 강력하게 권장하고 있다. LCA 프레임워크 내에는 결과 해석을 위한 명확한 지침이 존재하는데, 해당 지침은 다음과 같다

■ PSR

PSR의 해석 단계는 유사하게 사용 가능한 증거를 사용하여 특정 의사 결정 및 정책 결정 등 컨텍스트를 평가하고 결론을 도출하며 정보를 제공한다. 이러한 질적 정보는 동인, 상태변화 및 잠재적 대응 조치 사이의 연결을 설명하기 위한 보충 정보를 제공하는 것에 사용된다.

2.4 AGRIBALYSE methodological report

2.4.1 개요

AGRIBALYSE 프로그램은 농사자, 식품 산업, 정책 입안자 및 소비자가 식품의 환경 영향에 대한 관심이 높아져 2009년 환경부가 주최한 “Grenelle de Grenelle de l'Environnement”을 통해 농업이 환경에 미치는 영향 및 결과 데이터 제공 등에 대한 필요성을 명확히 하였다.

프랑스 환경 및 에너지 관리 에이전시(ADEME)는 AGRIBALYSE 프로그램을 출시하여 프랑스 농식품의 LCA 인벤토리 구축을 위한 데이터 제공 및 식품의 환경 라벨링과 생산 흐름을 평가하고 환경 영향을 줄이기 위한 가이드라인을 제공한다. 농업 공정에 대한 수명 주기 평가(LCA)를 생성할 때 연구 시스템, 기능 단위, 시스템 경계 및 평가 기간, 사용할 모델 및 해당 매개변수를 정의하는 데 사용할 방법론을 제시한다. 이를 바탕으로 프랑스의 농산물 및 해외에서 재배된 특정 작물에 대한 수명 주기 인벤토리(LCI)를 생성하는 데 적용되었다. 현재에

는 약 2,500개의 식품에 대한 LCI를 제공하며 데이터는 LCA형식(SimaPro 및 OpenLCA를 통해)으로 제공된다.

2.4.2 LCI DB 구축 절차

프랑스 농식품에 대한 LCA를 수행하기 위하여 AGRIBALYSE 프로그램을 통해 LCI DB를 구축하였다. 데이터 수집과 변환 및 계산의 경우 AGRIBALYSE을 위해 개발된 data collection module(DCM)을 사용하여 기술연구소에서 생산 시스템에 대한 데이터를 연구하였다.

① 시스템 경계 설정

농업과 식품에 대한 LCI DB 구축 절차에 대한 가이드라인이며 가축 생산 시스템에 대한 LCI DB 구축을 진행하였다.

기능	<ul style="list-style-type: none"> 인간과 동물이 소비하는 농산물 공급을 위한 생산 시스템
기능 단위	<ul style="list-style-type: none"> 축산물: 생체중의 1kg 우유의 경우: 우유 1kg (4% 지방 및 3.3% 단백질로 보정) 달걀 및 양털: 1kg
시스템 경계	<ul style="list-style-type: none"> 축산업의 경우: cradle to farm gate cradle to gate까지의 모든 공정과 투입물 고려 필요

② 데이터 수집

통계자료, 과학 문헌, 현장 데이터 및 전문가 의견을 바탕으로 데이터 수집을 진행하였고, 가축 등급 관련 데이터(예: 동물 수, 획득 및 폐기 시 동물의 나이 및 무게, 사망률 등) 및 가축 사료 관련 데이터(사료 혼합비, 연간 배급량 등)를 참고하였다.

③ 데이터 품질 요건

ILCD(International Reference Life Cycle Data System) 요구 사항을 준수하기 위해 6가지 기준에 따라 데이터에 대한 품질 점수 계산이 필요하다. (데이터 점수가 ≤ 1.6 인 경우 "높은 품질"로, >1.6 에서 ≤ 3 인 경우 "기본 품질"로, >3 에서 ≤ 4 인 경우 "데이터 추정치"로 간주)

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1) 기술 대표성2) 지리적 대표성3) 시간 관련 대표성4) 완성도5) 정밀도/불확도6) 방법론적 적절성과 일관성 |
|--|

④ 데이터 계산 방법

농장 자체에서 발생하는 동물 사육과 관련된 직접 배출량은 AGRIBALYSE®에서 모델링한 반면, 투입 생산으로 인한 간접 배출량은 기존 데이터 세트(주로 Ecoinvent)를 사용하였다.

2.5 LCA of Agri-food systems

2.5.1 개요

개발도상국 및 신흥 경제국에서 농식품 시스템에 LCA를 적용하는 것은 여전히 제한적이다. 하지만 농식품 시스템에 대한 LCA 연구에 대한 수요는 빠르게 증가하고 있으며 수출 및 현지 시장을 위한 농식품 시스템과 관련이 있다. 농식품 시스템이란, 농업, 가축, 양식업 및 어업을 기반으로 식품, 섬유 및 바이오 에너지 제품을 제공하는 모든 시스템으로 정의된다.

본 가이드라인은 주로 열대 지방에 위치한 개발도상국 및 신흥 경제국을 대상으로 다양한 사회 경제적 맥락에서 농식품 시스템에 LCA를 적용한다.

2.5.2 LCA 방법론

본 가이드라인은 LCA 방법론을 사용하였고, ISO 14040/44 표준을 기반으로 한다. LCA 4단계는 1) 목표 및 범위 설정, 2) 인벤토리 분석, 3) 영향 평가, 4) 결과 및 해석으로 구분된다.

■ 시스템 경계

목표 및 범위 정의의 핵심 구성 요소는 컷오프 기준과 결합된 시스템 경계 설정이다. 단일 시스템 LCA의 경우 시스템의 한계는 일반적으로 정의하기가 간단하며 컷오프 기준에 대한 여러 가지 접근 방식이 있다. 일반적인 컷오프 기준에는 질량 또는 경제적 임계값이 포함되지만 영향에 대한 누적 기여도와 같은 보다 정교한 접근 방식도 있다.

■ 인벤토리 구축

연구가 제대로 설계되면 연구 시스템 또는 시스템 유형의 모든 중요한 흐름을 가장 신뢰할 수 있는 데이터로 추정해야 한다. 시간적 측면은 데이터 수집에 있어 핵심 요소이다. 모든 농식품 시스템은 시간이 지남에 따라 중요한 변동성을 가지며 이러한 변동성은 이상적으로 LCI 데이터 세트에 고려되어야 한다. 특히, 농식품 시스템은 기후 변화에 영향을 많이 받는다. 따라서 데이터 수집에서 몇 년을 고려하는 것이 가장 중요하다. 예를 들어, 다년생 작물의 경우 단일 연도를 기반으로 한 부분 모델링이 LCA 결과를 심각하게 편향시킬 수 있기 때문에 전체 다년생 주기를 설정하는 것이 가장 중요하다. 또한, 물의 가용성 또는 부족도 계절에 따라 크게 영향을 받기 때문에 계절 작물이나 연간 수확량이 여러 차례인 작물을 연구할 때 시간적 측면에 대한 고려는 매우 중요하다.

설문지 디자인 또한, 인벤토리 구축에 있어서 매우 중요하다. 설문지에는 생산 수단과 농장 운영에 대한 정보가 포함되어야 한다. 면접관이 직접 조사를 진행

하는 경우에는 질문이 더 개방적일 수 있고, 데이터 수집이 위임된 경우에는 단
한 질문이 될 수 있다. 농장 운영에 대한 세부 정보 외에도, 문헌에서 찾을 수
없는 배출 모델의 입력 변수인 추가 데이터를 수집해야 할 수도 있다(예: 경사
도, 버퍼 존의 존재 등). 이러한 특정 데이터 목록은 조사를 위해 현장으로 이동
하기 전에 적절하게 준비되어야 한다.

■ 영향 평가 수행

가장 적합한 LCIA 방법의 선택을 위한 결정 기준, 권장되는 LCIA 방법 세트
개요, 개발 맥락에서의 유효성, 전반적인 불확실성 및 운용성에 대한 간략한 분
석, 그리고 종종 의견이 다른 중요한 영향 범주에 대한 특별한 관점을 제시한다.

LCIA 방법이나 전체 LCIA 방법 세트의 선택은 여러 매개 변수에 따라 복잡
하며, LCA 실무자들에게 어려움을 겪을 수 있다. 이 선택은 과학적 고려사항,
의뢰인의 기대와 요구 사항의 준수, 연구를 위한 자원 제약(예: LCA 소프트웨어
에서 LCIA 방법의 가용성 등)을 모두 포함합니다. 선택된 방법은 이상적으로 최
신 지식과 모델에 기반하고, 연구된 문맥에서 유효하며, 큰 불확실성이 없어야
하며(예: LCA 소프트웨어에서 이용 가능), 운용 가능해야 한다.

■ 결과 해석

LCA는 의사결정 지원 도구이며 각 이해관계자는 건전한 의사결정을 내리기
위해 결과를 이해하고 신뢰해야 한다. 본 가이드라인에서는 의사 결정자를 위해
LCA 결과를 확보, 비교, 제시 및 공유하는 최선의 방법에 대한 권장 사항을 제
시한다.

3. Product Category Rules

3.1 EPD PCR

3.1.1 개요

PCR(Product Category Rules, 제품 범주 규칙)은 제품의 전과정에 걸쳐 환경 데이터의 계산 및 보고를 위한 제품 범주별 규칙, 요구사항, 지침을 제공한다. PCR은 EPD(Environmental Product Declaration, 환경 성적 표시) 작성을 위한 요구사항이며, EPD 프로그램을 운영하는 여러 국가의 운영자들은 EPD 작성을 위해 PCR을 개발 및 보완하고 있다. ISO 14025(제 3유형 환경성 선언) 표준에 따르면 PCR은 '제품 범주에 대한 목적 및 모든 관련 지침의 공통성 규정, 전과정 평가, 사전에 정해진 변수, 추가 환경정보 지침, 보고 요구사항 선언을 위해 요구되는 데이터를 어떻게 만들어낼지에 대한 지침'이라 정의되어있다. PCR을 통해 제품이 유사한 기능과 용도를 갖는 경우, 하나의 제품군을 하나의 제품 범주에 분배하기 위한 근거로 활용할 수 있고, 더 나아가 EPD간의 투명성, 비교가능성을 제공한다. 일반적인 PCR은 ISO 14025 표준에서 제시하고 있는 기준에 따라 작성하며, 유럽의 건설 부문 EPD를 위해 개발되는 PCR은 EN 15804 표준에 제시되어있는 기준에 따라 작성한다.

3.1.2 PCR 개발 절차

현재 운영 중인 EPD 프로그램들은 대부분 EPD 작성을 위해 기존의 PCR을 활용하기를 권장하고 있으나, 새로운 제품 범주에 대한 PCR 개발, 또는 기존 PCR과 다른 내용을 갖는 PCR의 개발 등 타당한 사유가 있는 경우 새로운 PCR의 개발을 진행하고 있다. 기존 PCR과 다른 내용을 갖는 PCR을 개발할 경우 기존에 있는 PCR 문서에 기초하여 개발을 진행해야 하며, 어떤 특별한 PCR 출처에 근거하지 않아야 한다.

■ 개발 준비단계 및 포함사항

PCR 개발 준비단계는 '제품 범주의 정의 → 적절한 전과정 평가결과 수집·수행 → PCR 지침 작성'의 순으로 진행되며, 포함사항들은 다음과 같다.

<표 3.31> PCR 문서 포함사항

포함사항	
a	<ul style="list-style-type: none">• 제품 범주 정의 및 기술(기능, 기술적 성능 및 사용 등)• ISO 14040 시리즈에 따른 전과정평가를 위한 목적 및 범위 정의
b	<ul style="list-style-type: none">• 기능 단위, 시스템 경계, 데이터 기술, 투입 및 산출물 포함 기준, 단위• 범위, 정밀성, 완전성, 대표성, 일관성, 재현 가능성, 출처 및 불확실성을 포함한 데이터 품질 요구사항
c	<ul style="list-style-type: none">• 목록 분석• 데이터 수집, 계산 절차• 물질 할당, 에너지 흐름 및 배출물의 할당
d	<ul style="list-style-type: none">• 영향 범주 선정 및 계산 지침(적용되는 경우)
e	<ul style="list-style-type: none">• 전과정 평가 데이터의 보고를 위해 사전에 정해진 매개변수)• 목록 데이터 범주 및 영향 범주 지표
f	<ul style="list-style-type: none">• 방법론상의 요구사항(위험 및 위해성 평가 시방서 등)을 포함한 추가 환경 정보의 제공을 위한 요구사항
g	<ul style="list-style-type: none">• 선언될 소재 및 물질
h	<ul style="list-style-type: none">• 선언 개발을 위해 요구되는 데이터를 작성하기 위한 지침
i	<ul style="list-style-type: none">• 제3유형 환경성 선언의 내용 및 양식 관련 지침
j	<ul style="list-style-type: none">• 선언이 모든 전과정 단계를 포함하는 전과정평가에 기초하지 못하는 경우, 어떤 단계가 고려되지 않았는지에 대한 정보
k	<ul style="list-style-type: none">• 유효 기간

■ 개발 절차

▶ PCR 개발 시작

① PCR 필요성 확인

- 참여자: PCR을 개발하고자 하는 조직
- PCR 개발이 필요한 시나리오와 필요하지 않은 시나리오를 구분하여 개발의 필요성을 확인하는 단계
- 시나리오
 - 제품 개선: 기존 제품과 변경 제품을 비교할 때 발생하는 시나리오로, PCR을 통해 제품 평가의 일관성을 제공(PCR 선택사항)

- 정형화되지 않은 공공커뮤니케이션: 구매/조달을 위한 비교 또는 의사 결정을 위한 의도가 아닌 단순히 제품의 환경성능을 전달하고자 하는 경우(PCR 선택 사항)
- 제품 범주 벤치마킹: 동일한 제품 범주에서 제품의 환경 성과를 개선하기 위한 경우(PCR 필수사항)
- 표준 제품 라벨링 및 선언: LCA 기반 선언 및 동일 범주에 있는 다른 제품의 선언과 비교하는 경우(PCR 필수사항)

② 프로그램 운영자 확인

- 참여자: PCR을 개발하고자 하는 조직
- ISO 14025에 따라 PCR을 개발하여야 하며, PCR을 개발하고자 하는 조직은 EPD 프로그램을 운영하는 운영자를 확인하여 개발을 진행

③ 제품 범주 확인

- 참여자: PCR을 개발하고자 하는 조직, 프로그램 운영자
- ISO 10425에 따라 동일한 기능을 수행하는 제품 그룹임을 확인하여 PCR의 범위를 명확하게 정의하는 과정

④ 기존 PCR 확인

- 참여자: PCR을 개발하고자 하는 조직
- PCR DB, EPD 운영자 홈페이지 등을 확인하여 동일한 제품 범주의 PCR을 확인하는 과정

⑤ PCR 개발 발표 / ⑥ PCR 개발 위원회 조직

- 참여자: 프로그램 운영자
- 공지나 알림을 통해 PCR 개발을 공식화하며 적절한 이해관계자를 초대하여 PCR 개발 위원회를 조직하는 과정

⑦ 필요 PCR 유형 결정(revised, new, adapted, unified)

- 참여자: 프로그램 운영자, PCR 위원회

⑧ LCA 분석 후 특성 및 요구사항 적용가능성 확인

- 참여자: PCR 위원회
- 기본 LCA를 통해 제품에 대한 분석을 진행하며, 분석 진행 시 ISO 14044 및 기타 관련 표준의 모든 요구사항을 충족해야 함
- LCA가 제3자에 의해 검토되지 않은 경우 표준의 요구사항에 따라 PCR 개발자의 내부 검증을 받아야 함

<표 3.32> PCR 개발 시작 이후의 절차

PCR 개발 시작		
단계	내용	참여자
PCR 개발	<ul style="list-style-type: none"> • PCR 생성 • PCR 검토 패널 조직 	<ul style="list-style-type: none"> • PCR 위원회 • 프로그램 운영자
PCR 검토	<ul style="list-style-type: none"> • PCR 검토 수행 • 공개협의 • 검토자 의견 처리 	<ul style="list-style-type: none"> • PCR 검토 패널 • 프로그램 운영자 • PCR 위원회
PCR 출판 및 유지관리	<ul style="list-style-type: none"> • PCR 출판 및 유지관리 	<ul style="list-style-type: none"> • 프로그램 운영자
PCR 사용	<ul style="list-style-type: none"> • PCR 사용 	<ul style="list-style-type: none"> • 프로그램 운영자

3.2. PEF CR

3.2.1 개요

EU는 녹색제품 단일화시장 계획(Single Market Green Products Initiative)²¹⁾에 따라 EU 내 통합된 새로운 인증제도가 필요하여 “제품환경발자국 (PEF : Product Environment Footprint)” 제도를 도입하였다. 제품의 환경발자국 산정을 위한 방법론으로 PEF CR을 만들었고, 이는 제품군별 환경성정보 산출 가이드라

21) 「Europe 2020 전략」에 따라 제정된 단일시장법에 의해 수립된 계획

인인 ISO 14044에 기반을 두고 있으며 이에 따라 산출된 제품·서비스의 전 과정 환경영향을 계량화한 것을 PEF(제품환경발자국)이라고 한다. EU에서 개발한 14개 환경성정보²²⁾ 중 선택적으로 3개의 환경성 정보를 공개하도록 유도하고 있다. PEF제도의 주요 내용은 EU에서 판매되는 소비제품에 대해 전과정에서 발생한 온실가스와 환경오염물질량을 EU 방법론에 따라 산정하고 경쟁 업체가 참여한 전문가팀의 검증을 받은 후 라벨에 표시하고 제품에 부착하는 제도이다. 소비자는 라벨을 보고 온실가스 배출량을 확인하여 구매 결정을 할 수 있다.

3.2.2 제품의 환경 영향 측정을 위한 방법론 연구

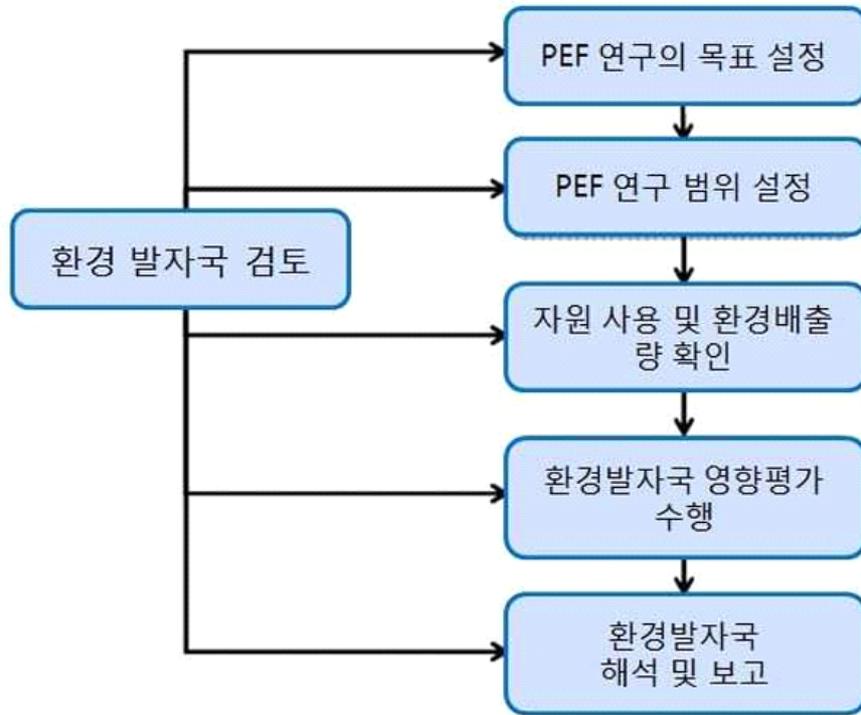
환경발자국은 전과정평가 수행방법 중 하나로 전과정평가와 유사하다. 환경발자국은 인간 및 기업 활동 등으로 발생하는 환경영향에 대한 평가 방법론으로 엄격한 데이터 품질 요건을 요구하고 표준화 및 가중치 도입이 가능하다. 환경발자국은 ISO 14044, ISO/TS 14067, PAS 2050, ILCD, BP X 30-323, Greenhouse Gas Protocol 등을 참고하고 있다.

<표 3.33> 환경발자국과 전과정평가 비교

구분	환경발자국	전과정평가
정의	<ul style="list-style-type: none"> 인간 및 기업 활동 등으로 발생하는 환경영향에 대한 평가방법론 	<ul style="list-style-type: none"> 전과정에 걸쳐 소비되는 자원과 발생하는 배출물 정량화 환경영향 종합 평가방법론
특징	<ul style="list-style-type: none"> 방법론적 유연성의 제한 엄격한 데이터 품질 요건 표준화 및 가중치 도입 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 환경문제 발생시 제품 공정 별 분석, 평가 가능 제품 간 비교 분석 수행 가능

환경발자국 산정을 위한 흐름은 다음과 같다.

22) 환경성정보(환경영향): 기후변화(탄소발자국), 오존층고갈, 인간독성(발암, 비발암), 호흡기질 환, 이온화방사선, 광화학오존생성, 산성화, 부영양화(토양, 수생), 생태독성(담수), 토지사용, 자원 고갈(물, 광물과 화석연료)



[그림 3.54] 환경발자국 산정 방법론

3.3 환경성적표지 제도

3.3.1 개요

환경성적표지 제도는 소비자에게 제품 및 서비스에 대해 정확하고 투명한 환경성 정보를 제공함으로써 지속 가능 소비·생산체계(SCP)를 구축하기 위해 제품 및 서비스의 원료채취, 생산, 수송·유통, 사용, 폐기 등 전과정에 대한 환경성에 관한 정보를 계량적으로 표시하는 제도이다. 즉, 환경성 수준에 따라 소비자의 차별구매를 유도하는데 그 목적이 있다.

국제표준화기구(ISO)에서는 환경라벨링제도를 아래 표와 같이 3개의 유형으로 구분하고 있으며, 이중 환경성적표지제도는 Type III에 해당한다.

<표 3.34> 환경성적표지제도

ISO규격	통상명칭	규격의 개요
ISO 14024 (1999.9)	환경표지 (Type I)	<ul style="list-style-type: none"> 제품의 환경성기준 및 품질기준을 설정하고 동 기준에 합당한 경우 환경표지 사용을 인증하는 제도 동일 제품군중에서 환경성과 품질 등이 탁월한 상품에 대하여 환경표지 사용을 인증하는 방법이며, 기준은 통상적으로 상위 20%정도(Leading Group)의 선택성을 유지
ISO 14021 (1999.4)	환경성 자기주장 (Type II)	<ul style="list-style-type: none"> 제품의 생산자가 자체적으로 제품의 환경성에 대한 주장을 할 수 있는 방법.조건 등을 정하는 제도 생산자의 무분별한 환경성 주장에 따른 소비자 기만행위 및 혼란 예방을 위해 제품의 환경적 특성 주장방법.조건 등 설정
ISO TR 14025 (2000.3)	환경성적표지 (Type III)	<ul style="list-style-type: none"> 제품에 대한 전과정평가(LCA)를 토대로 제품의 환경성을 계량적으로 분석하고 그 계량적 표시(데이터)를 인증하는 제도 제품의 이용자에게 제품에 대한 환경성 정보를 정확하게 제공함으로써 이용자의 환경적 수요에 맞는 제품의 소비/이용 유도 제품 생산으로 인한 환경영향을 계량화함으로써 장기적으로 생산단계에서의 계량적 환경관리체계 구축유도

3.3.2 환경성적표지의 환경 영향범주

환경성적표지의 환경 영향범주는 ‘탄소발자국’, ‘물발자국’, ‘자원발자국’, ‘오존층영향’, ‘산성비’, ‘부영양화’, ‘광화학 스모그’가 있다.

<표 3.35> 환경 영향범주

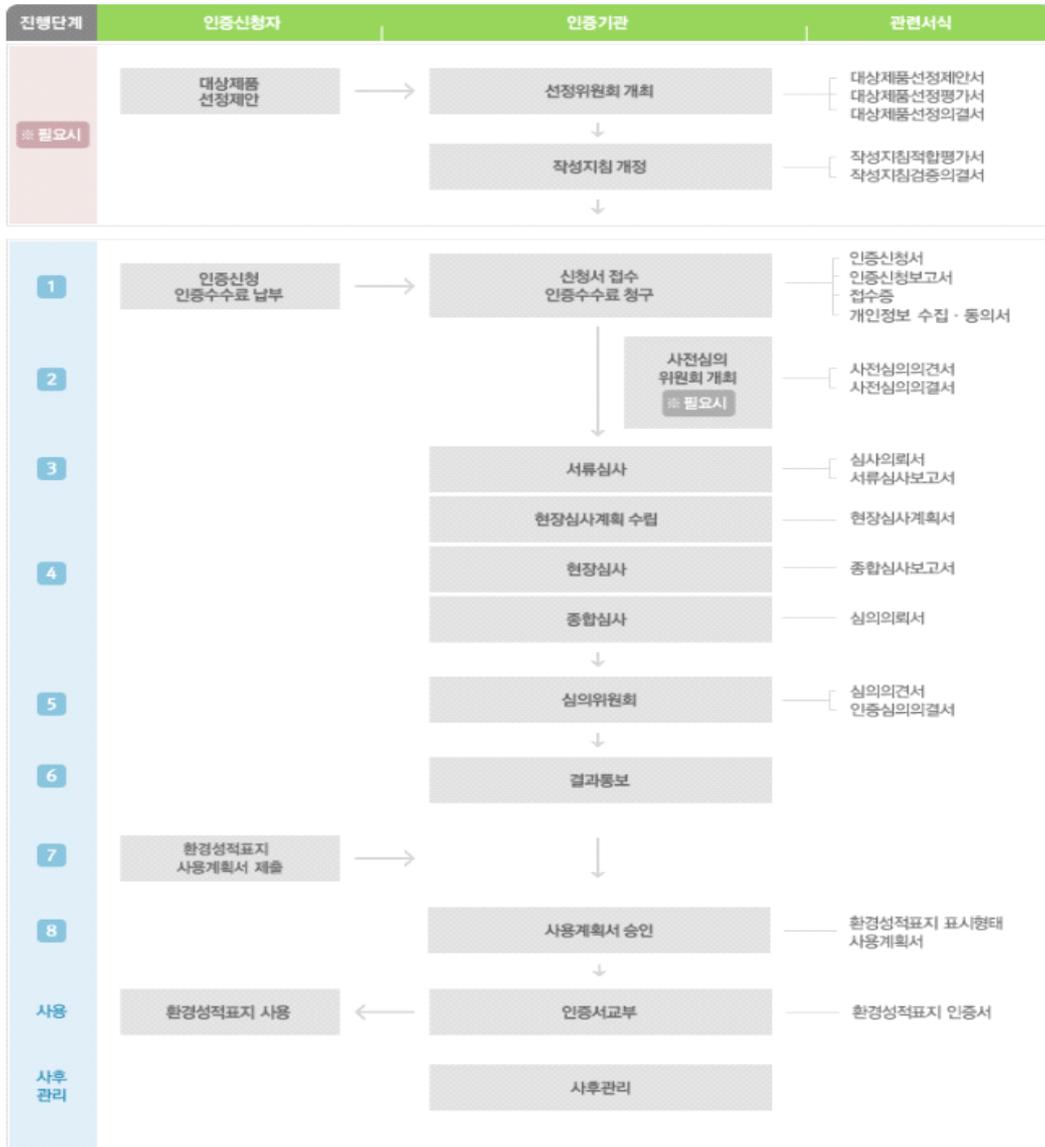
영향범주		제품의 환경성에 관한 정보 (「환경기술 및 환경산업 지원법 시행규칙」 제 37조의2)
범주명	설명	
자원발자국 (Resource Footprint)	<ul style="list-style-type: none"> 광물 및 화석연료 등의 개발 및 소비로 인한 전지구적 영향 	<ul style="list-style-type: none"> 폐기물 발생 및 자원순환에 미치는 영향
탄소발자국 (Carbon Footprint)	<ul style="list-style-type: none"> 대기로 방출된 이산화탄소 등 온실가스 물질이 지구의 기후변화에 미치는 영향 	<ul style="list-style-type: none"> 기후변화에 미치는 영향
오존층영향 (Ozone Depletion)	<ul style="list-style-type: none"> 대기중으로 배출된 프레온가스 등 오존층 파괴 물질이 성층권에 존재하는 오존층에 미치는 영향 	<ul style="list-style-type: none"> 대기질에 미치는 영향

영향범주		제품의 환경성에 관한 정보 (「환경기술 및 환경산업 지원법 시행규칙」 제 37조의2)
범주명	설명	
산성비 (Acidification)	<ul style="list-style-type: none"> 대기 중의 산성화물질(NOx, SOx)이 빗물에 녹아 지표로 떨어지면서 인간활동 및 생태계에 미치는 영향 	<ul style="list-style-type: none"> 토양 환경에 미치는 영향
부영양화 (Eutrophication)	<ul style="list-style-type: none"> 대기, 수계, 토양에 질소, 인 등 유기물질의 농도가 과다해짐에 따른 생태계 영향 	<ul style="list-style-type: none"> 수질 및 수자원에 미치는 영향
광화학 스모그 (Photochemical Smog)	<ul style="list-style-type: none"> 인간 활동으로 발생된 활성 물질이 빛과 반응하여 생성된 지표면의 오염물질로 인한 인체 및 생태계 영향 	<ul style="list-style-type: none"> 대기질에 미치는 영향
물발자국 (Water Footprint)	<ul style="list-style-type: none"> 농업, 공업 등 인간 활동이 수질, 수량 등 수자원에 미치는 영향 	<ul style="list-style-type: none"> 수질 및 수자원에 미치는 영향 .

3.3.3. 환경성적표지의 법적근거 및 인증기준

법적근거로는 「환경기술 및 환경산업 지원법」 제 18조, 「환경기술 및 환경산업 지원법 시행령」 제26조, 「환경기술 및 환경산업 지원법 시행규칙」 제37조가 있다. 환경성적표지 인증기준은 공통기준과 제품군별 개별기준으로 구분된다. 공통기준은 LCA 수행기준과 환경성적표지작성에 관한 일반적인 사항을 규정하며, 제품군별 개별기준의 기준이 된다.

3.3.4. 환경성적표지 인증절차



[그림 3.55] 환경성적표지 인증절차

3.4 저탄소 농산물 인증제도

3.4.1 개요

저탄소 농산물은 영농 과정에서 저탄소 농업 기술을 적용하여 일반 농산물에 비해 에너지 및 농자재 투입량을 줄임으로써 온실가스 배출량을 감축한 농산물을 의미한다. 저탄소 농산물 인증제도는 기존에 친환경 또는 GAP 인증을 취득한 농산물 중 저탄소 농업기술의 적용을 통해 품목별 평균 온실가스 배출량보다 적게 배출한 농산물을 인증하는 제도이다. 우리나라 농업은 국내 타 산업부문과 비교했을 때, 온실가스 배출규모가 작고 중소형, 가족형 농업형태를 가지는 특징이 있어 감축효율 측면에서도 강제적 온실가스 감축규제는 적합하지 않다. 따라서 자발적으로 온실가스 배출을 줄일 수 있는 메커니즘이 필요하게 되었고, 이에 따라 농림축산식품부에서는 농업부문에서 영농활동을 통해 자발적으로 온실가스 배출을 줄일 수 있도록 유도하는 다양한 감축사업을 실시하였다. 이 중 하나가 ‘저탄소 농축산물 인증제’이다.

3.4.2 인증기준

저탄소 농산물 인증 취득을 위해서는 3가지 자격요건을 만족시켜야 한다. 첫째는 인증을 신청하는 품목이 인증대상품목(61개)에 해당하여야 한다. 두 번째는 농산물 생산과정에서 ‘저탄소 농업기술’을 도입하여야 한다. ‘저탄소 농업기술’이라는 추가적인 활동이 도입되었을 경우만을 인증요건을 충족한 것으로 인정한다. 세 번째는 먹거리 안전을 보증하는 농식품 국가인증을 사전에 취득해야 한다.

3.4.3 농산물 온실가스 배출량 산정 방법론

농산물의 온실가스 배출량 산정은 기타 온실가스 관련 인증제도와 같이 원칙적으로 ISO 14040s, 즉 LCA(Life Cycle Assessment; 환경전과정평가)를 기본으로 한다. 그러나 농산물은 기존의 공산품과 생산 과정에서 다른 특성을 갖기 때문에, 이를 고려한 온실가스 배출량 산정 방법론의 개발이 요구된다. 따라서 저탄소 농산물 인증제도에서는 농가 실태 조사 및 벤치마킹을 토대로 ‘농산물

온실가스 배출량 산정을 위한 공통 및 개별 지침'을 개발하였다. 농산물에 대한 온실가스 배출량 산정 방법론 도출과정에서 고려된 주요 인자는 다음과 같다.

- 농산물의 전과정을 고려한 시스템경계 및 기능단위 등 범위설정
- 영농데이터 수집 및 데이터 품질 평가 방법론 도출
- 영농데이터 계산 및 온실가스 배출량 산정방법
 - 운작/혼작에 대한 농자재 데이터 할당 인자
 - 온실가스 배출량 산정식 및 배출계수

<표 3.36> 농산물 온실가스 배출량 산정 방법론

항목	• 저탄소 농산물인증
기능단위	• 1기작 , 1,000m ² 의 대상 농산물 재배
시스템 경계	<ul style="list-style-type: none"> • 농산물 재배의 전과정 - 농자재 생산단계, 농산물 생산단계 - 농산물 생산단계는 종묘의 정식, 재배관리, 수확 및 농자재 폐기를 포함
제외 기준	• 비료, 작물보호제, 에너지, 기타자재 전체 항목을 포함
영향 범주	• 중간점(Mid-point) 수준의 영향범주 지표 사용: 지구온난화
방법론	• IPCC 2006의 지구온난화 지수 활용
데이터 수집	<ul style="list-style-type: none"> • 인증 신청일 기준 2년 이내 최신 1년 데이터를 수집 • 단체농가 데이터 수집 시 데이터의 대표성을 확보하기 위해 표본농가의 인증신청면적 비율이 농가수 비율 이상이 되도록 농가 데이터 수집
데이터 품질	• 영농데이터 및 할당기준, 계산근거의 출처에 따라 수집된 데이터의 품질을 평가

3.5 저탄소 축산물 인증제도

3.5.1 개요

탄소중립을 위한 온실가스 감축목표가 구체화되면서 축산분야도 과투입구조에서 환경 친화적인 축산업으로의 전환을 위해 '23년 시범적으로 한우 대상으로 저탄소 축산물 인증제도를 도입하였다.

3.5.2 인증기준

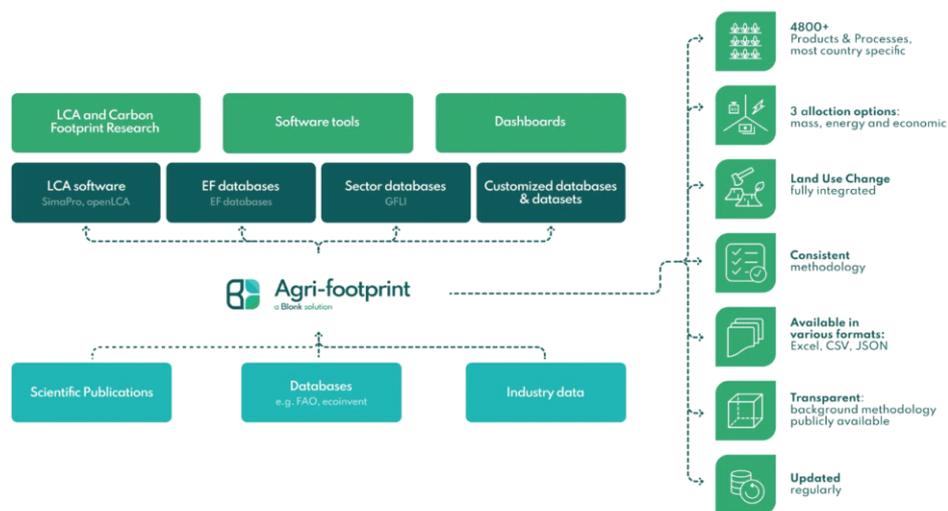
유기·무항생제 축산물, HACCP, 환경친화, 방목생태, 동물복지, 깨끗한 축산농장 인증 중 1개 이상 받은 농가만 신청할 수 있다. 평균 배출량보다 10%이상 줄이면 저탄소 축산물 인증농장으로 지정받게 된다. 조기 출하 등 사양관리를 개선하고, 가축의 분노를 적절히 처리하여 에너지를 절감하는 것을 고려해야 한다.

4. Databases and tools

4.1 Agri-footprint

4.1.1 개요

Agri-footprint 데이터베이스는 광범위한 다양한 사용자를 위한 농업 생산 및 상품 가공에서 LCA 정보의 관련 소스이다. Blonk는 농업 및 식품 부문의 LCI(Life Cycle Inventory)데이터베이스를 제공하기 위해 Agri-footprint DB를 개발하였고, 식품, 사료 및 농업 중간제품에 대한 데이터를 공급한다. 데이터베이스는 LCA 방법을 사용하여 개발되었고, 질량, 에너지 및 경제적 할당을 적용한다. 현재 약 5,000개의 제품 및 프로세스 DB가 통계, 과학 문헌, 기타 DB를 통해 구축되었고, SimaPro 및 OpenLCA을 통해 확인 가능하다.



[그림 3.56] Schematic illustration of Agri-footprint (sources, outlets and applications)

가이드라인의 1부에서는 데이터베이스 개발에 사용되는 방법론 및 일반 원칙의 선택 사항에 대해 설명하고 2부에서는 개별 데이터 세트 개발을 위한 데이터 소스 및 특정 모델링 선택 사항에 대해 설명한다. 3부에서는 현재와 이전의 Agri-footprint 간의 영향 계산의 주요 차이점을 설명한다.

4.1.2 방법론 및 범위

■ LCA(전과정 평가)

Agri-footprint에서 사용하는 방법론인 LCA는 제품 또는 서비스 생산 및 사용과 관련될 수 있는 환경 영향을 평가하기 위한 방법론으로 ISO 14040/44 시리즈(ISO 14040,2006 ; ISO 14044,2006,2020), 제품 환경 발자국(PEF) 방법론을 참고하였다. ISO 14040 시리즈는 LCA 연구를 수행하기 위한 기본 요구 사항을 설명한 것으로 제품의 기능 단위를 정의하는 방법, 포함하거나 제외해야 하는 프로세스를 결정하는 방법, 기본 흐름을 서로 가른 프로세스에 할당해야 하는 공동 생산 상황을 처리하는 방법에 대한 지침을 나타냈다.

■ 포함하는 데이터 및 기능 단위

Agri-footprint에는 동물 및 식물 농업 생산, 어업 및 파생 가공 제품의 LCI가 포함된다. 운송, 에너지 생산, 포장 및 이러한 제품을 생산하는 데 사용되는 일부 화학 물질에 대한 데이터가 포함되어 있다. 기능단위의 경우 제품마다 상황에 따라 다양하게 설정될 수 있다. Agri-footprint에서 사용되는 일반적인 원칙은 제품의 기준 흐름이 가능한 한 정확하게 물리적 흐름을 반영한다는 것이다. 따라서 이름 및 주석에 별도로 나열된 제품 속성과 함께 수분, 배합제 등이 포함된다.

■ 할당

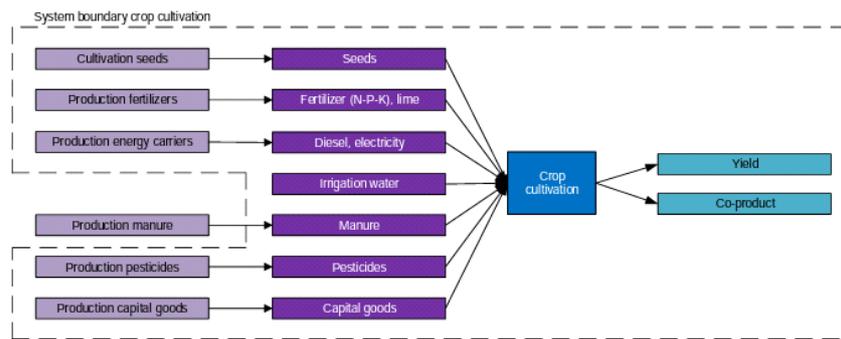
ISO14044:2006 규격(ISO 14044, 2006)에 따르면 다중 출력 공정은 2개 이상의 하위 공정으로 나누고 이들 하위 공정과 관련된 인벤토리 데이터를 별도로 수집하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 불가능한 경우 하기 할당 유형을 참고하여 할당을 진행한다.

- ① 대량 할당: 작물 및 작물 가공의 경우 대량 할당은 제품의 건조 물질의 질량을 기준으로 한다. 동물성 제품의 경우 대량 할당은 거래되는 수량을 기준으로 한다.

- ② 총 에너지 할당: 물의 총 에너지는 0 MJ/kg이다. 단백질, 지방 및 탄수화물의 총 에너지는 각각 23.6, 39.3 및 17.4 MJ/kg이다(USDA, 1973). 제품의 총 에너지 계산을 위한 영양 특성은 영양 공급 물질 목록을 기반으로 한다.
- ③ 경제적 할당: 농작물과 농작물 가공의 경우 제품의 경제적 가치를 토대로 한다.

■ 시스템 경계

LCI 데이터는 ‘cradle-to-gate’이며 게이트는 분석된 프로세스에 따라 다르다. 소매, 소비자 사용 또는 수명 종료(사용 단계 후)에 대한 데이터는 제공되지 않는다(단, 처리 중에 생성된 폐기물 처리는 포함됨).



[그림 3.57] System boundary for crop cultivation

■ Cut-off(컷오프)

입력 및 출력 포함에 대한 컷오프 기준은 질량 및 에너지 소비를 기반으로 한다. 누적 질량 및 에너지 흐름의 2% 이하를 나타내는 기본 흐름이 생략된 것으로 추정한다.

■ 영향 평가 근거

Agri-footprint를 개발할 때 LCIA 방법 및 EF방법이 고려되었지만 Agri-footprint는 다른 영향 평가 방법을 제공한다. Agri-footprint에서 토지 사용 변화로 인한 기후 변화는 대기 배출(이산화탄소, 토지 변형)에서 별도로 모델링하였다. 이를 통해 토지 이용 변화의 영향을 별도로 보고할 수 있다.

4.2 Ecoinvent

4.2.1 개요

Ecoinvent 데이터베이스는 Swiss Center for Life Cycle Inventories에서 개발하였고 다양한 유형의 지속 가능성 평가를 지원하는 LCI(Life Cycle Inventory) 데이터베이스이다. 전 세계 및 지역 수준의 다양한 부문을 포괄하고 있으며, 현재 인간 활동 또는 프로세스를 모델링하는 '데이터 세트'라고도 하는 18,000개 이상의 활동이 포함되어 있다. Ecoinvent 데이터세트는 환경에서 제거된 천연 자원, 물, 토양 및 대기로 배출되는 배출량, 간접 배출로 인식되는 전력 및 생산된 부산물 및 폐기물도 측정한다. 데이터베이스에는 에너지, 자원 추출, 재료 공급, 화학, 금속, 농업, 폐기물 관리 및 운송에 대한 데이터가 포함된다.

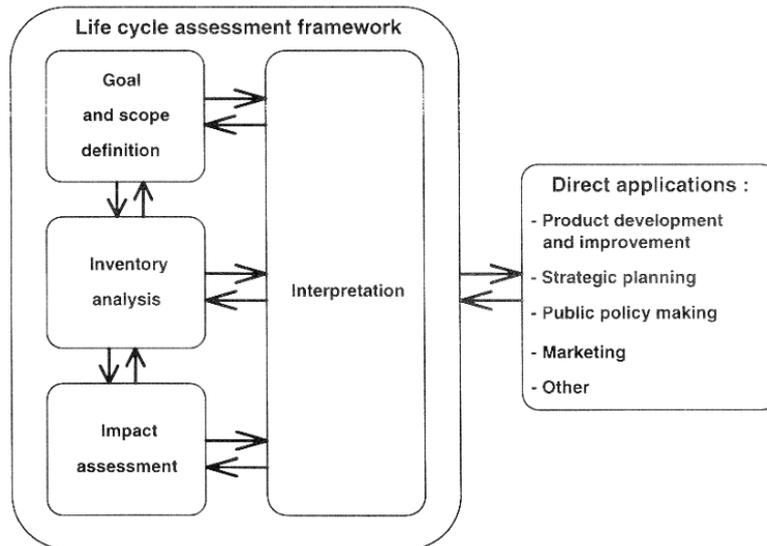
4.2.2 구성

본 가이드라인은 ecoinvent 데이터베이스(1장), 적용된 LCA 방법론(2장) 및 데이터베이스의 일반 구조(3장)에 대한 소개를 제공한다. 보고서의 주요 부분은 관련된 다양한 활동 영역과 데이터 제공자에 걸쳐 일관된 데이터 수집 및 보고를 보장하기 위해 수립된 특정 품질 지침(4장에서 11장)이다. 여기에는 다양한 유형의 데이터 세트에 대한 정의, 필요한 세부 수준, 완전성 보장 방법, 문서화 모범 사례, 명명 규칙 및 불확실성 보고 규칙이 포함된다. 12장과 13장에서는 검증, 검토 및 새 데이터 세트를 데이터베이스에 내장하는 절차를 설명한다. 데이터 세트를 제품 시스템에 연결하고 제품 시스템에 대한 누적 결과에 도달하기 위한 계산 절차는 14장에 설명되어 있고 15장과 16장은 데이터베이스 사용자와 데이터베이스에 기여하고자 하는 사람들에게 조언을 제공한다. 마지막으로 17장에서는 데이터베이스 개발의 간략한 역사를 설명한다.

4.2.3 LCA 방법론

Ecoinvent 데이터베이스는 국제표준화기구(국제표준화기구(ISO) 2006a; 국제표준화기구(ISO) 2006b)에서 표준화한 수명 주기 평가(LCA) 방법을 기반으로 한다. LCA 연구는 원료 획득에서 최종 폐기("요람에서 무덤까지")에 이르기까지

제품 시스템의 환경적 측면을 체계적이고 적절하게 다룬다. 이 방법은 (1) 목표 및 범위 정의, (2) 인벤토리 분석, (3) 영향 평가 및 (4) 해석의 네 가지 주요 단계를 구분한다.



[그림 3.58] Phases of an LCA (International Organization for Standardization (ISO) 2006a)

■ 농업 시스템의 LCA

농업 시스템의 LCA 방법은 산업 공정의 환경 영향을 평가하기 위해 처음 개발되었다. 환경에 미치는 영향 측면에서 농업은 다음과 같은 부분에 산업 공정과 차이를 보인다.

- ① 농업 생산은 천연 자원에 크게 의존한다.
- ② 농업 생산은 토양, 물 가용성, 날씨, 잡초, 해충 및 병원균의 유무에 따라 달라진다. 이에 따라 수확량이 크게 달라진다.
- ③ 기온과 물의 가용성에 따라 대부분의 지역에서 농업 생산의 강한 계절성이 있다.
- ④ 농업은 토지 이용 측면에서 매우 집약적이다.

■ 시스템 경계

식물 생산을 위한 시스템 경계는 이전 작물의 수확 후 시작하여 해당 작물의 수확 시 종료된다. 스위스에서 인벤토리 시작은 토양 경작 시점으로 설정되어 있다.

■ 가정 사항

Ecoinvent에서는 고려하는 작물에 대해 들판과 초원을 관개되지 않는다는 것을 가정으로 한다. 그리고 재배지는 5%의 경사를 가진 것으로 가정한다. 유럽 데이터의 경우 현지 전문가가 제공한 값을 사용한다.

■ 직·간접 배출

대기 중 암모니아 배출 관련하여 비료에 포함된 암모늄은 암모니아로 전환되어 대기 중으로 배출된다. 스위스 내에서 축산이 가장 큰 암모니아 배출원이며 암모니아는 산성화 및 부영양화에 크게 영향을 준다.

* 가축 분뇨 살포 시 NH₃ 배출량

$$NH_{3s} = 17/14 * (-9.5 + 19.4 \text{ TAN} + 1.1 \text{ SDm}) * (0.0214 \text{ S} + 0.358) * \text{As}$$

NH_{3s} = emission of NH₃ from slurry or liquid manure (kg NH₃/ha)

TAN = total content of ammonium-N in the slurry or liquid manure (kg NH₃-N/m³)

S = quantity of slurry spread (m³/ha of fertilised surface), including the dilution water

SDm = saturation deficit of the air in month m

As = fraction of the total area, where slurry is spread (%/100)

4.3 국내 LCI DB

4.3.1 개요

환경부와 산업통상자원부가 개발한 LCI DB는 1988년 지식경제부가 환경경영 표준화사업 실시의 일환으로 158개의 국가 LCI DB를 구축한 것을 시작으로

LCA 전용 소프트웨어인 PASS에서 가용한 국가 LCI DB를 구축하였다. 이러한 LCI DB는 제품에 대한 환경성적을 산정하는데 필요한 기초 데이터로서 한국환경산업기술원은 ISO 14044의 절차를 따라 개발하였다. 국가 LCI DB 목적은 LCI DB를 체계적으로 관리·운영하여 제품에 대한 환경성적 산정 시 사용자가 보다 편리하게 사용할 수 있도록 도움을 주기 위함이다.

4.3.2 LCI DB와 환경영향

LCI DB는 환경으로부터 채취하는 에너지 자원 및 광물자원 등의 목록과 환경으로 나가는 대기배출물, 수계배출물, 폐기물 등의 목록으로 구성된다. LCI DB 내 에너지원과 광물자원 등은 자원발자국 등과 같은 환경영향을 산출하는데 사용되고, 대기배출물은 탄소발자국, 오존층영향, 산성비, 광화학 스모그 등이 환경영향을 산출하는데 사용한다. 수계배출물은 부영양화, 물발자국에 대한 환경영향을 산출하는데 사용된다.



[그림 3.59] LCI DB와 환경영향

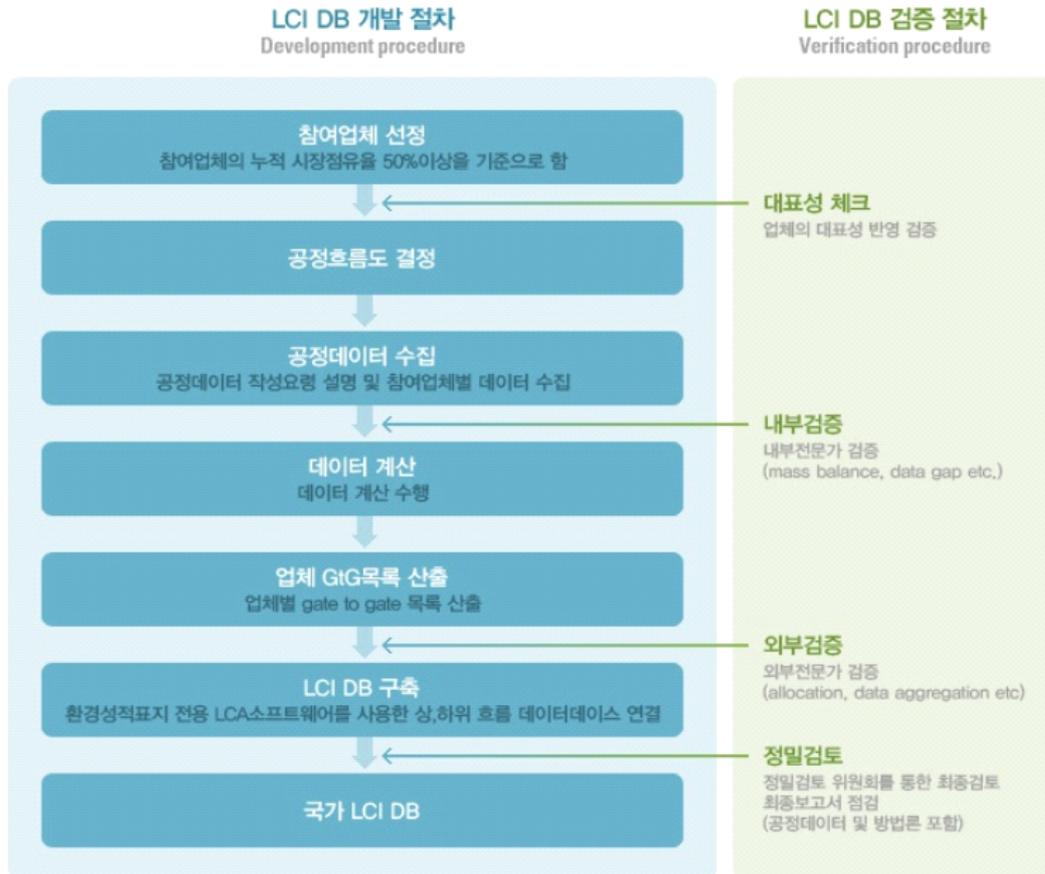
4.3.3 LCI DB 현황

물질 및 부품제조 부분 LCI DB는 총 302개, 가공공정 부분 LCI DB는 총 39개, 수송 부분 LCI DB는 총 63개, 폐기 부분 LCI DB는 총 34개이다.

<표 3.37> 국내 LCI DB 현황

전과정단계	데이터범주	개수
물질 및 부품제조	건축자재	27
	고무	8
	금속	52
	기초부품	24
	기초화학물질	90
	수자원	11
	에너지	12
	펄프와 종이	11
	플라스틱	35
	기타	21
가공공정	금속가공	12
	부품가공	4
	플라스틱가공	23
	기타	0
수송	육상수송	29
	항공수송	1
	해상수송	33
	기타	0
폐기	매립	3
	소각	10
	재활용	19
	기타	2
합계		438

4.3.4 LCI DB 개발 절차



[그림 3.60] LCI DB 개발 절차

5. 국내외 LCA 방법론 비교 분석

LCA 방법론은 기본적으로 ISO 14040 및 14044를 기본으로 하고 있다. GHG Protocol은 Scope 1, 2, 3로 구분하고 있으며, Scope 1은 에너지 등의 고정 연소 및 이동 연소, 자체 전력 생산에 의한 배출되는 온실가스에 대해 산정하는 것으로 직접 배출이라 정의하며, Scope 2는 구매한 전력이나 스팀에 의해 배출되는 온실가스로 간접 배출량으로 정의한다. Scope 3은 Scope 1과 Scope 2를 제외한 기타 부문으로 원료 및 에너지 생산, 외부 수송, 위탁업체, 폐기물 처리 등 직간접적으로 관련이 없는 분야에서 배출되는 온실가스로 기타 간접 배출로 정의한다. 주로 Scope 1과 Scope 2로 인하여 발생하는 온실가스의 산정방법을 제시하고 있다. PAS 2050, FAO LEAP Guidelines, AGRIBALYSE, LCA of Agri-food systems는 Scope 1, 2, 3를 모두 고려하고 있다. Product Category Rules(PCR)은 제품 환경라벨링의 하나인 TYPE III로 LCA 방법론을 이용하고 있으며, Scope 1, 2, 3를 모두 고려하고 있다. EDP PCR, PEFCR, 환경성적표지 인증은 시스템 경계가 제품의 전과정인 원료 획득, 제품 생산, 유통, 사용, 폐기에 이르는 모든 단계를 고려하고 있다. 단, 저탄소농산물인증과 저탄소축산물인증은 원료 획득인 재배 또는 사육단계만을 고려하고 있다.

LCA를 수행하기 위해 현장 자료를 파악하지 못할 시, LCI DB를 이용하게 된다. Agri-footprint, Ecoinvent, 국내 LCI DB는 기 구축한 LCI DB로서 이용하고 있다. 특히, Agri-footprint는 농축산물, 식품에 대해 LCI DB를 구축한 것이다. Ecoinvent는 전세계에서 가장 많은 LCI DB를 구축한 것으로, 에너지, 농축산물 분야에서 사용되는 비료, 농약, 농산물, 축산물, 식품 등에 대해서도 구축하였다. 반면에 국내 LCI DB는 농축산물 분야보다는 제조업 위주로 구축되어 있으며, 에너지, 수송, 일부 비료에 대한 LCI DB는 구축되어 있다. 저탄소농산물인증과 저탄소축산물인증에서 사용되는 LCI DB는 자체적으로 구축한 비료의 LCI DB가 구축되어 있으며, 에너지의 LCI DB는 국내에서 구축한 LCI DB를 이용하고 있다.

<표 3.38> 방법론 비교

구분	GHG Protocol	PAS 2050	FAO LAEP Guidelines	AGRIBALYSE	LCA of Agri-food systems	EPD PCR (Meat of mammals)	PEFCR	환경성적표지 인증	저탄소농산물 인증	저탄소축산물 인증
대상 온실가스	CO ₂ ,CH ₄ ,N ₂ O, SF ₆ ,PFCs,HFCs	CO ₂ ,CH ₄ ,N ₂ O	CO ₂ ,CH ₄ ,N ₂ O, SF ₆ ,PFCs,HFCs	CO ₂ ,CH ₄ ,N ₂ O, NH ₃ ,NO ₂	CO ₂ ,CH ₄ ,N ₂ O, NH ₃ ,NO ₃	CO ₂ ,N ₂ O,NH ₃ , CH ₄	CO ₂ ,NH ₃ ,N ₂ O, NO ₃	CO ₂ ,CH ₄ ,N ₂ O	CO ₂ ,CH ₄ ,N ₂ O	CO ₂ ,CH ₄ ,N ₂ O
경계	Cradle to farm gate	Cradle to gate	Cradle to farm gate	Cradle to gate	Cradle to gate	Cradle to grave	Cradle to gate	제품 제조 전 단계와 제조 단계 포함(사용, 폐기 단계)	작물 재배단계	사료생산부터 분뇨 처리까지
기준단위	CO ₂ -equivalent (CO ₂ e)	kgCO ₂ eq/ha·yr	kg CO ₂ eq/functional unit	Kg CO ₂ eq/ha	kg CO ₂ eq/kg	kg CO ₂ eq/kg	kg CO ₂ eq/kg	kg CO ₂ /kg	kg CO ₂ eq/kg	kgCH ₄ /head · yr kgN ₂ O/head · yr
사용 배출계수	IPCC, 2006	IPCC, 2006	IPCC, 2014	IPCC, 2006 (100년) EMEP/EEA2009	IPCC 2019	IPCC, 2009	IPCC, 2013 (100년)	-	IPCC, 1996	IPCC, 2006
Cut-Off 기준	△	수입된 양(무게) 기준으로 90%	95% (1% 초과 포함)	X	0	99% 적용	환경 영향의 1% 미만 프로세스 제외	95% 적용	95% 적용	X
할당 방법	질량, 경제적 가치 기준	질량, 경제적 가치 기준	0	질량, 부산물 생산에 필요한 에너지 기준	질량, 경제적 가치, 밀도기준	질량, 경제적 가치 기준	질량, 경제적 가치 기준	질량, 경제적 가치 기준	질량, 경제적 가치 기준	0

6. 본 연구의 LCA 방법론

본 연구에서는 기본적으로 ISO 14040 및 ISO 14044을 기본으로 하는 국내 환경성적표지인증 지침과 저탄소농산물인증지침, 저탄소축산물인증지침에 따라 산정하였다. 단, 에너지의 연소에 의한 온실가스 직접배출량 및 간접배출량과 농약과 비료 사용에 의한 온실가스 직접배출량은 GHG Protocol에서 제시하고 있는 방법론에 따라 산정하였다.

시스템 경계는 환경성적표지인증지침에서 제시하고 있는 제조전단계(수송단계 포함), 제조단계, 제품 수송단계, 사용단계, 폐기단계로 설정하였다.

사용한 LCI DB는 국가 LCI DB를 우선적으로 이용하였으며, 필요에 따라 저탄소농산물 인증제나 저탄소축산물인증제에서 제시하고 있는 LCI DB를 이용하였다. 국내에서 구축한 LCI DB가 없을 시, 국외 LCI DB를 이용하였다.

6.1. 대상제품 선정

탄소발자국의 산정은 선정된 7개 국내산 농·축산물 연구 대상 품목에 대해 ISO 14040 및 14044 표준에 맞추어 목적 및 범위 정의, 전과정 목록분석, 전과정 영향평가, 결과해석의 4단계로 수행한다.

6.2. 목적 및 범위 정의

6.2.1. 목적 정의

전과정평가를 수행하기 위해, LCA 수행하는 목적을 정의하여야 한다. 본 연구에서는 ‘대상 품목별 국내와 국외의 탄소발자국 비교’로 정의하였다.

6.2.2. 범위 정의

■ 기능단위

먼저, LCA를 수행하기 위한 기준이 되는 기능단위가 정의되어야 한다. 기능단위는 본 연구의 7개 대상 제품의 특성에 맞게 정의된다. 예를 들어, 농산물은 쌀

1 kg, 옥수수 1 kg 등으로 정의할 수 있으며, 축산물은 소 1두, 돼지 1두, 우유 1 kg 등으로 정의할 수 있다.

6.3. 시스템 경계

LCA를 수행하기 위한 범위를 정의하게 된다. 농산물과 축산물의 전과정인 ‘원료 취득, 재배/사육 단계, 도축 등 가공단계, 유통단계, 사용단계, 폐기단계’로 정의하되, 제품별 특성에 맞게 정의하게 된다.



[그림 3.61] 벼의 시스템 경계 설정 및 목록분석 과정

■ 영향평가 범주 및 방법론

영향평가 범주는 본 연구의 대상인 탄소발자국과 관련있는 지구온난화로 선정하였으며, 영향평가방법론은 탄소발자국으로 나타내고 있는 분류화, 특성화단계까지만 수행하였다. 특성화계수로 사용되고 있는 지구온난화지수(GWP)는 IPCC

1996과 2006를 병행하여 사용한다. 이는 환경성적표지인증제도에서 사용하고 있는 GWP는 IPCC 1996를 이용하며, 저탄소 농산물 인증에서의 온실가스로 인한 직접배출량 및 간접배출량을 산정하기 위해 사용되는 GWP는 IPCC 2006를 이용하였기 때문이다.

6.4. 전과정 목록분석

이 단계는 목적 및 범위 정의단계에서 설정한 대로 각 단계별 데이터를 수집하여 계산하였다.

6.4.1. 데이터 수집

■ 재배/사육단계

농산물의 재배단계 자료는 부록 1에 나타난 설문지를 이용하고, 축산물의 사육단계 자료는 부록 2에 나타난 설문지를 이용하여 수집되었다. 각각의 재배 및 사육단계에서의 자료는 전기, 경유, 휘발유, 등유 등의 에너지사용량, 농약사용량, 비료사용량, 생산량, 재배면적, 사육두수 등을 수집하였다. 데이터 수집이 어려운 경우, 기존 탄소발자국 산정자료를 수집하였다.

■ 가공단계

가공단계의 자료는 농산물의 가공단계와 축산물의 도축, 1차 가공단계에 대해 부록 3의 설문지를 이용하여 자료를 수집하였다. 데이터 수집이 어려운 경우, 기존 탄소발자국 산정자료를 수집하였다.

■ 유통단계

유통단계의 자료는 푸드 마일리지 자료를 이용하거나 설문을 통하여 조사한 지역별 판매량과 환경성적표지인증지침에서 제시하고 있는 지역별 수송거리를 수집하였다.

■ 사용단계

사용단계의 자료는 농산물과 축산물을 소비하면서 자료를 수집하게 되나, 본 연구에서는 수집의 한계로 인하여 제외하였다.

■ 폐기단계

폐기단계의 자료는 제품을 사용한 후, 포장재 폐기량을 수집하였다. 또한 전국 폐기물 통계자료를 이용하여 재활용, 매립, 소각 등의 처리방법별 처리율을 수집하였다.

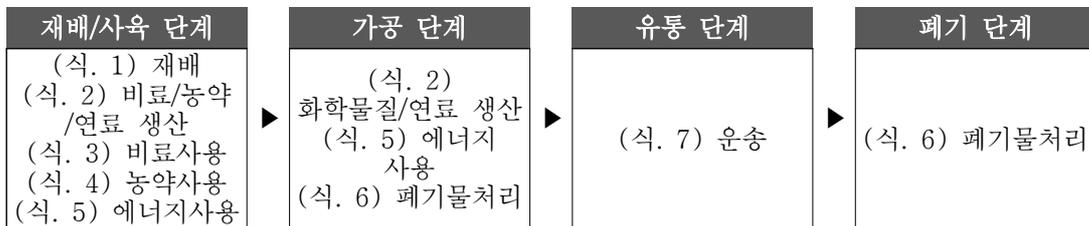
■ 데이터 계산

각 단계별로 수집한 자료를 이용하여 7개 대상제품별 기능단위를 기준으로 사용량과 배출량을 산정하였다.

■ 탄소발자국 산정

각 단계별 탄소배출량은 <표 3.39>에 나타난 탄소배출량 산정식을 이용하여 산정하였다.

<표 3.39> 단계별 탄소발자국 산정식



단계	탄소배출량 산정식	
재배/사육	논벼 재배	(식. 1) 논벼 재배 시 탄소배출량(CH ₄) $CH_{4Rice} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-3} \times GWP_{CH_4})$ <i>CH_{4Rice}</i> : 논에서의 연간 CH ₄ 배출량 <i>EF_{i,j,k}</i> : 각 조건에서의 일 배출계수 <i>t_{i,j,k}</i> : 각 조건에서의 벼 경작 기간 <i>A_{i,j,k}</i> : 각 조건에서의 논벼 수확 면적 <i>i,j,k</i> : 수문체계, 유기질비료 종류 등 CH ₄ 변화조건 <i>GWP_{CH4}</i> : 25, CH ₄ 의 GWP
	비료/농약/연료 생산	(식. 2) 비료, 농약, 연료 생산 시 탄소배출량 Σ 비료, 농약, 연료 사용량 × 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./kg. L)
	비료 시비	(식. 3) 비료 시비 시 탄소배출량 $CO_2 - C Emissions = \sum_T (M_{(T)} \times EF_{(T)})$ <i>CO₂-C Emissions</i> : 석회질 비료 시비에 따른 연간 탄소 배출량 <i>M_(T)</i> : 석회질 비료 비종별 연간사용량 <i>EF_(T)</i> : 비종별 배출계수 (석회고토 0.13, 석회석 0.12, 패화석 0.12) <i>T</i> : 비종
	농약 사용	(식. 4) 농약 사용 시 탄소배출량 Σ 살충제 소비량 × 농약성분비율(%) × 간접배출계수(kg CO ₂ -eq./kg)
	에너지 소비	(식. 5) 에너지 소비량 탄소배출량 Σ 연료(경유, 휘발유 등) 소비량 × 직접배출계수(kgCO ₂ -eq./kg, L)+ Σ 전력사용량 × 간접배출계수(kg CO ₂ -eq./kWh)
가공	화학물질/연료 사용	(식. 2) 이용
	에너지 소비	(식. 4) 이용
	폐기물 처리	(식. 6) 폐기물 처리 시 탄소배출량 Σ 폐기물의 양 × 폐기물 처리 방법별 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./kg)
유통	운송	(식. 7) 운송 시 탄소배출량 Σ 운송량 × 운송거리 × 운송 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./ton·km)
폐기	폐기	(식. 6) 이용

6.5. 결과 해석

결과해석에서는 국내외 탄소배출량 산정결과를 분석하게 된다. 본 용역에서는 7개 대상제품에 대한 국내외 탄소배출량 산정결과를 이용하여, 주요 이슈와 차이점이 분석되었다.

7. 탄소발자국 연구 대상 품목 선정

본 연구에서의 탄소발자국 연구 대상 품목은 수출입 거래 금액이 많은 해외 주요 농·축산물을 기준으로 하여 이와 비교 가능한 국내산 주요 농·축산물을 선정하였다. 선정된 7개 연구 대상은 쌀, 밀, 옥수수, 소고기, 돼지고기, 닭고기, 우유이다.

연구 대상 품목 선정의 세부 기준은 첫째, 관세청 수출입통계 거래금액을 기준으로 수출입 비중이 상대적으로 높은 품목을 정렬하였다. 둘째, 채소와 과일 경우, 개별 수입·수출량이 적어 중분류 수준에서 구분이 되므로 분석 대상에서 제외하였다. 마지막으로, 옥수수의 경우 수출 비중은 적으나 수입 비중이 매우 크므로 분석대상에 포함하였다.

<표 3.40> 2021년 곡물·육류·채소·과일의 수출입통계

단위: 천불, USD 1,000

2021년					
	곡물	육류	채소	과일	낙농
수입	옥수수 3,223,894	소고기 (냉장·냉동) 3,559,995	냉동채소 294,621	그 밖의 견과류 342,107	치즈와 커드(curd) 685,415
	밀과메슬린 1,349,111	돼지고기 (냉장·냉동) 1,718,154	건조한 채두류 104,026	바나나 290,160	밀크와 크림 (농축·비농축) 186,027
	쌀 402,573	닭고기 272,517	당근·순무·비트 등 90,613	감귤류의 과일 267,762	버터와 지방, 기름 등 144,777
수출	쌀 22,511	닭고기 43,139	그 밖의 채소 135,575	사과·배·마르멜 로(quince) 75,406	밀크와 크림 (농축·비농축) 32,507
	메밀·밀리트 등 454	돼지고기 (냉장·냉동) 5,027	양배추 등 식용 배추속 20,624	그 밖의 과일 69,121	천연밀크 함유 품목 12,077
	보리 275	소고기 (냉장·냉동) 3,056	토마토 14,379	포도 37,297	치즈와 커드(curd) 9,491

* 출처: 관세청 수출입통계

<표 3.41> 2020년 곡물·육류·채소·과일의 수출입통계

단위: 천불, USD 1,000

2020년					
	곡물	육류	채소	과일	낙농
수입	옥수수 2,370,922	소고기 (냉장·냉동) 2,896,044	냉동채소 266,248	그 밖의 견과류 295,028	치즈와 커드(curd) 629,224
	밀과 메슬린 (meslin) 970,454	돼지고기 (냉장·냉동) 1,382,381	건조채소 81,961	바나나 275,864	천연밀크 합유 품목 144,777
	쌀 375,415	닭고기 264,195	당근·순무·비트 등 78,814	감귤류의 과실 254,218	밀크와 크림(농축·비농축) 168,825
수출	쌀 27,377	닭고기 54,735	그 밖의 채소 143,989	사과·배·마르멜 로(quince) 76,701	밀크와 크림 (농축·비농축) 31,922
	메밀·밀리트 등 457	돼지고기 (냉장·냉동) 3,624	양배추 등 식용 배추속 19,957	그 밖의 과실 63,948	천연밀크 합유 품목 16,697
	보리 314	소고기 (냉장·냉동) 3,174	토마토 12,545	포도 30,776	요구르트, 버터밀크 등 6,547

* 출처: 관세청 수출입통계

제3장 농식품 탄소발자국 산정

1. 벼의 탄소발자국 산정

1.1. 국내 벼의 탄소발자국

1.1.1. 목적 및 범위 정의

■ 목적 정의

전과정평가 수행 목적은 “국내외 벼의 탄소발자국을 비교”하기 위함이다.

■ 범위 정의

▶ 기능단위

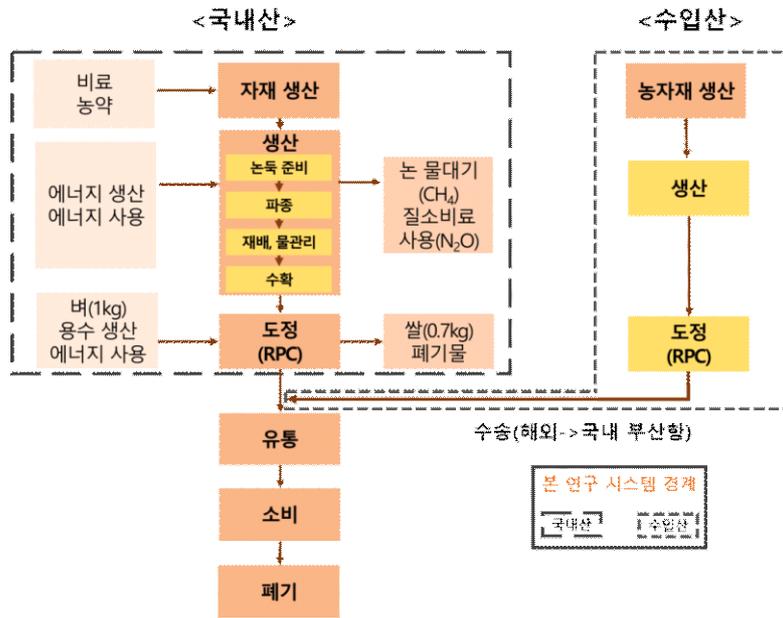
벼는 쌀을 만들기 위해 필요한 농산물이다. <표 3.42>는 본 연구에서의 벼의 탄소발자국을 산정하기 위한 기능, 기능단위 및 기준흐름을 정의하였다. 기능은 쌀을 만들기 위한 농산물로 선정하였다. 기능단위는 벼의 단위중량인 “생산된 벼 1 kg”과 “생산된 쌀 1 kg”으로 선정하였다. 기준흐름은 기능단위와 동일하게 “생산된 벼 1 kg”과 “생산된 쌀 1 kg”으로 선정하였다.

<표 3.42> 벼의 단계별 적용 방법론 및 산정식

구분	내 용
기능	• 쌀을 만들기 위한 농산물과 쌀
기능단위	• 생산된 벼 1 kg, 생산된 쌀 1 kg,
기준흐름	• 생산된 벼 1 kg, 생산된 쌀 1 kg,

▶ 시스템경계

벼의 전과정은 [그림 3.62]에 나타낸 자재 생산단계, 생산단계, 도정단계, 유통단계, 소비단계, 폐기단계로 구성되며, 각 단계별 수송으로 구성된다. 본 연구의 시스템 경계는 “생산된 벼 1 kg”의 경우 자재 생산, 벼 생산까지, “생산된 쌀 1 kg”의 경우 자재 생산, 벼 생산, 도정까지로 한정하였으며, 수입산의 경우 해외에서 자재 생산, 벼 생산, 도정 이후 국내 항구로 수송되는 과정까지 포함하였다. 벼의 생산과정은 논둑 준비, 파종, 재배 및 물관리, 수확으로 구분하였다.



[그림 3.62] 벼의 시스템 경계

<표 3.43>은 본 연구에서 시스템경계로 선정한 공정별 개요를 나타내었다.

<표 3.43> 벼의 공정별 상세 설명

공정	공정 설명
자재 생산	• 벼를 생산하기 위해 사용되는 비료 및 농약을 생산하는 과정
생 산	• 논둑이 녹는 과정에서 무너지거나, 논둑에 형성된 구멍을 제거하기 위한 과정
	• 모를 심는 과정
	• 벼를 재배하는 과정으로 벼의 양분공급, 온도조절, 잡초 발생 억제, 염류 농도 조절, 농약 살포 효과증대를 위한 물관리를 하는 과정
	• 농기계를 이용하여 벼를 수확하는 과정
도정	• 수확한 벼에서 벧짚, 겨 등을 제거하여 쌀을 생산하는 과정

▶ 데이터 범주

<표 3.44>는 본 연구에서의 데이터 범주를 나타낸 것이다. 데이터 범주는 원료, 보조물질, 에너지, 제품, 대기 배출물로 구분하였다.

<표 3.44> 벼의 생산 및 도정 공정의 데이터 범주

공정		세부 데이터	
생산	투입물	원료	종자
		보조물질	살균제, 비료
		에너지	전력, 경유, 휘발유, 등유
	산출물	제품	벼
		대기배출물	CH ₄ , N ₂ O
	폐기물	벼짚	
도정	투입물	원료	벼
		에너지	전력, 용수
	산출물	제품	쌀
		폐기물	껍질

▶ 데이터 품질요건

<표 3.45>는 본 연구에서의 데이터 품질요건을 나타낸 것이다. 데이터는 현장 데이터와 문헌 데이터로 구분한다. 데이터는 현장 데이터를 수집하여 이용하는 것을 원칙으로 하나, 현장 데이터를 수집하기 어려운 경우에는 관련 문헌 데이터를 수집하였다. 문헌 데이터를 국가 또는 해외 LCI 데이터베이스로 연결되어 대상의 상위 및 하위 흐름에 대한 환경부하를 모두 고려하였다. 여기에서의 상위 흐름은 자재, 에너지 생산 등에 대한 흐름이며, 하위 흐름은 폐기물 등의 처리에 대한 흐름을 의미한다.

<표 3.45> 벼의 데이터 품질요건

구 분	상/하위 흐름	생산/도정 단계
시간적 범위	10년 이내 데이터	2022년
지역적 범위	해당 지역 데이터	현장 및 문헌 데이터
기술적 범위	-	벼 생산 및 도정하기 위한 최신 기술

▶ 할당

할당은 다양한 농산물을 동시에 생산할 시 투입물과 배출물을 배분하기 위해 수행된다. 본 연구에서는 벼만을 생산하고 있으므로 할당을 적용하지 않았다.

▶ 적용 방법론

본 연구에서는 <표 3.46>에 각 단계별로 나타낸 ISO 14044의 방법론과 국가 인벤토리 보고서에서 적용한 IPCC 방법론을 적용하였다.

<표 3.46> 벼의 단계별 적용 방법론 및 산정식

자재 단계		생산 단계		도정 단계		수송 단계		
(식 1) 비료/농약		(식 2) 논 물 대기 (식 3) 질소비료사용 (식 4) 에너지 생산 (식 5) 에너지 소비 (식 6) 폐기물 처리		(식 4) 용수/에너지 생산 (식 5) 에너지 사용 (식 6) 폐기물 처리		(식 7) 수송		
단계	온실가스 배출량 산정식					적용 방법론		
자재 생산	비료/ 농약	(식 1) 비료, 농약 생산 시 탄소배출량 \sum 종자, 비료, 농약 사용량 \times 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./kg)					ISO 14040/14044	
(식 2) 논 물 대기에 의한 메탄(CH ₄) 배출에 의한 탄소배출량 ¹⁾								
$CH_{4Rice} = A \times EF_1 \times t \times GWP_{CH_4}$								
$EF_1 = EF_c \times SF_w \times SF_o$								
논 물 대기에 의한 메탄(CH ₄) 배출		CH_{4Rice} : 논에서의 연간 CH ₄ 배출량 (kg CO ₂ eq./kg) A : 벼 재배 면적(ha/yr) EF_1 : 벼 재배 메탄 배출계수 (kg CH ₄ /ha/day) t : 벼 재배 일수(day) GWP_{CH_4} : 25, CH ₄ 의 GWP EF_c : 기본 배출계수(kg CH ₄ /ha/day) SF_w : 벼 재배 기간 중 물관리 보정계수 SF_o : 유기물 사용 보정계수					IPCC 2006	
(식 3) 질소비료 사용으로 인한 N ₂ O 배출에 의한 탄소배출량								
생산	질소비료 사용으로 인한 아산화질소 (N ₂ O) 배출	$N_2O_{Direct} = \sum_i (F_{SNi} \times EF_{1i}) \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}$ ¹⁾ N_2O_{Direct} : 농경지토양 N ₂ O 직접배출량 (kg CO ₂ eq./kg) F_{SNi} : 연간 화학비료로 투입되는 질소량 (kg N/yr) EF_{1i} : 비료별 N ₂ O 배출계수 (kg N ₂ O-N/kg N 투입량) $44/28$: N 배출량(kg N ₂ O-N/yr)의 N ₂ O 환산계수 GWP_{N_2O} : 298, N ₂ O의 GWP						
	에너지 생산	(식 4) 연료 생산 시 탄소배출량 \sum 연료(경유, 휘발유 등) 사용량 \times 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./kg. L)					ISO 14040/ 14044	
	에너지 소비	(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량 ¹⁾ \sum 연료(경유, 휘발유 등) 소비량 \times 직접배출계수(kgCO ₂ -eq./kg. L) $+$ \sum 전력사용량 \times 간접배출계수(kg CO ₂ -eq./kWh)					IPCC 2006	
	폐기물 처리	(식 6) 폐기물 처리 시 탄소배출량 \sum 폐기물의 양 \times 폐기물 처리 방법별 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./kg)					ISO 14040/ 14044	
	용수 생산	(식 4) 이용					ISO 14040/ 14044	
	도정 에너지 사용	(식 5) 이용					IPCC 2006	
	폐기물 처리	(식 6) 폐기물 처리 시 탄소배출량 \sum 폐기물의 양 \times 폐기물 처리 방법별 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./kg)					ISO 14040/ 14044	
수송	해외 수송 (수입산)	(식 7) 운송 시 탄소배출량 \sum 운송량 \times 운송거리 \times 운송 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./ton·km)					ISO 14040/ 14044	

*2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서

▶ 가정 및 제한사항

2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서에 의거 국내 벼 재배에 대한 온실가스 배출량 산정 시 IPCC 2006을 기준으로 산정하였으며, 해외의 경우, 각 국가별 상황 및 지침에 따라 문헌에서 사용한 IPCC 2006과 2013을 반영하였으며 벼의 온실가스 배출량 산정을 위한 가정사항은 다음과 같다.

첫째, 논 물 대기에 따른 자료는 벼 1 kg 기준의 재배면적과 재배일수 137일, 상시답수, 유기물 무시용 조건, 간단관개, 천수답, 유기물 사용 시 물관리 방법별 보정계수(SFw)와 유기물 사용량별 보정계수(SFc)로 보정한 후 재배면적을 산정하였다.²³⁾ 둘째, 벼의 수입은 쌀 수입국 1·2·3위인 중국, 미국, 베트남에서 도정을 마친 후 국내 부산항으로 오는 수송 거리를 쌀 수입 비중에 할당 적용하였다. 셋째, 벼의 온실가스 배출량 산정을 위해 수집된 데이터는 경기 북부 및 인천광역시 소재 31개 관행농가이며, 미곡종합처리장(RPC)의 데이터는 해당 농가들의 벼를 가공하는 업체를 선정하여 대표성을 확보하였다.

또한, 본 연구에서의 시스템 경계 제외 범위는 다음과 같다.

첫째, 수송단계는 농자재(비료, 농약 등) 생산지에서 벼 생산 농가까지의 거리와 벼 생산 농가에서 RPC까지의 차량 수송에서 발생하는 온실가스 간접 배출량을 의미한다. 전과정 관점에서 보았을 때 해당 단계에서의 배출량은 ① 출하되는 상품의 중량 대비 차지하는 비중이 미미할 뿐더러, ② 휘발유, 경유 등의 화석연료가 생산단계에서의 사용량으로서 일정 부분 포함되어 있으며, ③ 현장의 동선을 정확하게 파악하는 것이 어려워 산정 과정에서 제외하였다. 둘째, 벼의 수확 후 발생하는 볏짚과 도정 이후 왕겨 등의 쌀 생산 부산물은 농가에서 거의 대부분 재활용되므로 시스템 경계에서 제외하였다.

1.1.2. 전과정 목록 분석

▶ 데이터 수집 및 계산

본 연구에서는 시스템경계 내 각 단계별 데이터를 수집하여 계산하였다. 부록 1에 나타낸 설문서를 이용하여 31개 농가에서 사용된 전기, 경유, 휘발유, 등유 등 연료, 비료, 농약 등의 양과 생산면적, 생산량을 파악하였다. <표 3.47>은 벼의 생산정보를 나타낸 것으로 연간 생산정보를 벼 1 kg 기준으로 환산하였다.

23) 온실가스종합정보센터. 2020. 2020 국가 온실가스 인벤토리 보고서

<표 3.47> 벼의 생산정보

구 분	단위	값	값 (벼 1 kg 기준)	비고	
투입물	전기*	kWh	40,873.46	0.0579	
	경유	L	84,813.01	0.1201	환산계수 0.86 kg/L
	휘발유	L	6,663.67	0.0094	환산계수 0.75 kg/L
	등유	L	41,130.96	0.0583	환산계수 0.84 kg/L
	비료	kg	71,972	0.1020	유효성분 100%, 질소 함유율 21%**, 건조중량물 100%
	농약	kg	39,642	0.0562	유효성분 17.3%**
	산출물	벼	kg	705,950	1
재배면적	평		382,600	0.5420	
	m ²		1,262,580	1.7885	
	ha		126.48	0.0002	

* 각 농가별 농업용 전력 사용량
 ** 저탄소 농산물 인증 기준

▶ 자재 생산단계

자재 생산단계에서는 비료와 농약 생산에 대한 자료를 수집하였다. 벼 1 kg 생산 시 사용한 비료와 농약의 양은 <표 3.48>에 나타난 자료를 이용하였다.

<표 3.48> 벼의 자재 생산단계의 정보

구 분	단위	값 (벼 1 kg 기준)	유효성분(%)	질소량 고려한 값 (벼 1 kg 기준)	
투입물	비료	kg	0.1020	100	0.1020
	농약	kg	0.0562	31.7	0.0178

자재 생산과정의 자료는 현장 데이터를 이용하는 것이 가장 바람직하나, 본 연구에서는 현장 데이터 수집이 어려워 <표 3.49>에 나타난 농촌진흥청, Ecoinvent에서 구축한 LCI DB를 이용하여 산출한 탄소배출계수를 수집하였다. 비료, 농약 등의 생산 현장에서 농가까지의 수송거리는 다양한 경로를 이용하므로, 파악하기 어려워 제외하였다.

<표 3.49> 자재 생산단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보				
	물질명	단위	탄소배출계수	개발기관	
투입물	비료	복합비료 (21-17-17)	kg CO ₂ eq./kg	1.25E+00	농촌진흥청
	농약	농약(살균제)	kg CO ₂ eq./kg	9.15E+00	Ecoinvent

▶ 생산단계

벼의 생산단계는 <표 3.47>에 나타낸 벼의 생산정보를 이용하였다.

논 물 대기로 인한 자료, 질소비료 시비로 인한 자료, 전기, 경유, 휘발유, 등유 등 연료 생산 및 사용으로 인한 자료를 산정하였다.

논 물 대기에 따른 자료는 벼 1 kg 기준의 재배면적과 재배일수 137일, 상시 담수, 유기물 무시용 조건, 간단관개, 천수답, 유기물 사용 시 물관리 방법별 보정계수(SF_w)와 유기물 사용량별 보정계수(SF_c)로 보정한 후 재배면적을 산정하였다. <표 3.50>에 나타낸 논벼 물관리 방법별 보정계수인 SF_w는 국가 온실가스 인벤토리 보고서(2022)를 이용하였다. <표 3.51>에 나타낸 연간 벼 재배면적은 농림축산식품통계연보(2020)에 나타낸 국내 재배면적을 비율로 환산하여 적용하였다. <표 3.52>에 나타낸 물 대기에 따른 연간 CH₄ 배출량은 45.9 ton으로 분석되었으며, 벼 1 kg을 기준으로 한 CH₄ 배출량은 0.065 kg으로 분석되었다. 벼 1 kg 기준 물 대기 면적은 0.0278 ha·day로 분석되었다.

<표 3.50> 논벼 물관리 방법별 보정계수 SF_w

구 분	SF _w	출처
상시 담수	1.00	국가고유 배출계수
간단관개 1회 (중간낙수 1주 이상~2주 미만)	0.66	국가고유 배출계수
간단관개 2회 이상 (중간낙수 2주 이상)	0.49	국가고유 배출계수
천수답-상습가뭄	0.4	IPCC GPG 2000

*2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서

<표 3.51> 논벼 물관리 방법별 재배면적

구 분		면적비(%)
유기물 사용	상시 담수	6.4
	간단관개 1회 (중간낙수 1주 이상~2주 미만)	25.5
	간단관개 2회 이상 (중간낙수 2주 이상)	21.5
	천수답-상습가뭄	0.4
유기물 무사용	상시 담수	5.9
	간단관개 1회 (중간낙수 1주 이상~2주 미만)	21.6
	간단관개 2회 이상 (중간낙수 2주 이상)	18.4
	천수답-상습가뭄	0.3

*농림축산식품부, 2020. 농림축산식품통계연보

<표 3.52> 물 대기에 따른 CH₄ 배출량

구 분	재배면적 (ha)	벼재배 면적 비율	기본 배출계수 (kg CH ₄ /ha/day)	물관리 보정 계수	유기물 사용 보정 계수	재배일수 (day)	CH ₄ 배출량 (ton CH ₄ /yr)
유기물 사용	상시담수	6.4%	2.32	-	2.50	137	6.5
	간단관개(1회) -중간낙수(1주 이상~2주 미만)	25.5%		0.66			16.9
	간단관개(2회 이상) -중간낙수(2주 이상)	21.5%		0.49			10.6
	천수답 (상습가뭄)	0.4%		0.40			0.2
유기물 무사용	상시담수	5.9%	2.32	-	-	137	2.4
	간단관개(1회) -중간낙수(1주 이상~2주 미만)	21.6%		0.66			5.7
	간단관개(2회 이상) -중간낙수(2주 이상)	18.4%		0.49			3.6
	천수답 (상습가뭄)	0.3%		0.40			0.0
합계							45.9

비료 시비에 따른 사용 정보는 <표 3.47>에 나타난 비료 시비량과 질소 함유율, 건조 중량율을 적용하여 벼 1 kg 기준의 질소 함량을 고려한 비료 사용량으로 산정하였다. 산정 결과는 <표 3.53>에 나타내었다. 벼 1 kg 기준의 비료 시비량은 0.1020 kg이며, 질소 함유율 21%과 건조 중량률 100%를 곱하면 산정한 벼 1 kg 기준의 비료 시비로 인한 사용량은 0.0214 kg으로 산정되었다.

<표 3.53> 질소 함량을 고려한 비료 사용 정보

구 분	단위	값 (벼 1 kg 기준)	질소 함유율	건조 중량률	질소 함량 고려 값 (벼 1 kg 기준)
비료	kg	0.1020	21%	100.00%	0.0214

전기, 경유, 휘발유, 등유 등 에너지에 대한 정보를 <표 3.54>에 나타내었다. 경유, 휘발유, 등유의 생산에 대한 온실가스 배출량을 산정하기 위해 연료의 사용량은 환산계수를 적용하여 변환하였다.

<표 3.54> 에너지 생산 및 사용 시의 정보

구 분	단위	값 (벼 1 kg 기준)
전기 생산	kWh	0.0579
경유 생산	kg	0.1033
경유(이동) 사용	L	0.1201
휘발유 생산	kg	0.0071
휘발유(이동) 사용	L	0.0094
등유 생산	kg	0.0489
등유(고정) 사용	L	0.0583

<표 3.55>는 벼 생산단계에서 사용하는 탄소배출계수를 나타낸 것으로, 산업통상자원부, 환경부, 농촌진흥청, 국가 고유 배출계수를 수집하였다.

<표 3.55> 벼 생산단계의 사용 탄소배출계수

구 분	단위	탄소배출계수	출처
전기 생산	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상자원부
경유 생산	kg CO ₂ eq./kg	6.82E-02	산업통상자원부
휘발유 생산	kg CO ₂ eq./kg	8.32E-02	산업통상자원부
등유 생산	kg CO ₂ eq./kg	2.53E-01	산업통상자원부
경유(이동) 사용	kg CO ₂ eq./L	2.60E+00	환경부
휘발유(이동) 사용	kg CO ₂ eq./L	2.13E+00	환경부
실내등유(고정) 사용	kg CO ₂ eq./L	2.46E+00	환경부
보통비료의 사용	kg N ₂ /kg N	1.90E-02	농촌진흥청
논 물 대기	kg CH ₄ /ha/day	2.32E+00	국가고유 배출계수(2014)

▶ 도정단계

도정 단계는 수확한 벼를 미곡종합처리장(Rice Processing Complex, 이하 RPC)에서 등겨층을 벗기는 단계로, 소비자가 쌀을 사용하기 위해 유통하기 전 단계이다. 도정 단계에서는 에너지 및 물 사용량을 파악하였다.

도정자료는 미곡종합처리장(Rice Processing Complex, 이하 RPC) 1개소에서 수집한 자료를 바탕으로 벼 1 kg 기준 투입물과 산출물을 산정하였다.

<표 3.56> 쌀 도정단계의 정보

구 분	단위	값 (쌀 1 ton 기준)	값 (벼 1 kg 기준)
투입물	벼	kg	1,429.8
	전기	kWh	56
	용수 생산	kg	80
산출물	쌀	kg	1,000
	껍질	kg	428.6

도정단계에서 사용하는 전기, 용수인 공업용수의 탄소배출계수는 <표 3.57>에 나타난 것으로, 환경부에서 구축한 탄소배출계수를 수집하였다. 껍질(등겨층)은 농가에서 거의 대부분 재활용되므로 산정에서 제외하였다.

<표 3.57> 쌀 도정단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보			
	물질	단위	탄소배출계수	출처
전기	전기	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	환경부
용수	공업용수	kg CO ₂ eq./kg	2.11E-04	환경부

▶ 수송 단계

수입산 쌀의 경우, 쌀 수입국 1·2·3위인 중국, 미국, 베트남에서 도정을 마친 후 국내 부산항으로 오는 수송 거리를 고려하였다. 국가별 수송거리는 쌀 수입 비중(중국-44.45%, 미국-37.75%, 베트남-8.69%)을 국가별 농산물 수출 항구(중국-산터우港, 미국-샌디에고港, 베트남-하이퐁港)거리에 할당 적용하여 산출하였다. 수송거리 정보는 <https://www.searates.com/services/distances-time/>에서 수집하였다.

<표 3.58> 수송(중국·미국·베트남→부산항) 정보

구분	수송거리(km)	국가	비고
쌀 (도정된 벼)	819.92	중국(Shantou)	1,844.59 km * 44.45%
	3,848.01	미국(San Diego)	10,193.41 km * 37.75%
	259.59	베트남(Haiphong)	2,987.28 km * 8.69%
합계	4,927.52		

<표 3.59>는 수송 시 사용한 외항선(컨테이너선)의 탄소배출계수를 나타낸 것으로, 환경부에서 구축한 자료를 수집하였다.

<표 3.59> 수송 시 사용 탄소배출계수

구 분	단위	탄소배출계수	출처
해양수송 (외항선(컨테이너))	kg CO ₂ eq./ton·km	2.11E-03	환경부

▶ 목록분석 결과 및 탄소배출계수 정보

<표 3.60>은 본 연구에서는 산정한 벼 1 kg 기준의 각 공정별 목록분석 결과와 수집한 탄소배출계수를 정리하였다.

<표 3.60> 벼 1 kg 기준 공정별 목록분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보

공정	구분	단위	값 (벼 1 kg 기준)	사용 탄소배출계수 정보				
				물질	단위	탄소배출계수	출처	
자재생산	투입물질	비료	kg	0.1020	복합비료 (21-17-17)	kg CO ₂ eq./kg	1.25E+00	농촌진흥청
		농약	kg	0.0178	농약 (살균제)	kg CO ₂ eq./kg	9.15E+00	Ecoinvent
생산	투입물질	전기	kWh	0.0579	전기 생산	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상자원부
		경유	kg	0.1033	경유 생산	kg CO ₂ eq./kg	6.82E-02	산업통상자원부
		휘발유	kg	0.0071	휘발유 생산	kg CO ₂ eq./kg	8.32E-02	산업통상자원부
		등유	kg	0.0489	등유 생산	kg CO ₂ eq./kg	2.53E-01	산업통상자원부
		경유	L	0.1201	경유(이동) 사용	kg CO ₂ eq./L	2.60E+00	환경부
	산출물질	휘발유	L	0.0094	휘발유(이동) 사용	kg CO ₂ eq./L	2.13E+00	환경부
		등유	L	0.0583	실내등유(고정) 사용	kg CO ₂ eq./L	2.46E+00	환경부
		비료 시비	kg	0.0214	보통비료의 사용	kg N ₂ /kg N	1.90E-02	농촌진흥청
		물 대기 면적	ha·day	0.0280	논 물 대기	kg CH ₄ /ha/day	2.32E+00	국가고유배출계수(2014)
		벼짚	kg	1.5330		미적용		
도정	투입물질	전기	kWh	0.0800	전기	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	환경부
		용수	kg	0.1143	공업용수 생산	kg CO ₂ eq./kg	2.11E-04	환경부
	산출물질	껍질	kg	0.6123		미적용		
수송	해외 수송	ton·km	7.2680	해양 수송 (외항선 컨테이너)	kg CO ₂ eq./ton·km	2.11E-03	환경부	

1.1.3. 탄소배출량 산정

수집한 데이터를 이용하여 각 단계별 탄소배출량을 산정하였다.

▶ 자재 생산단계

자재 생산단계에서의 온실가스 배출량은 <표 3.46>에 나타난 식 1을 이용하여 <표 3.60>에 나타난 벼 1 kg 기준의 자재별 사용량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. <표 3.61>은 비료 생산 시 온실가스 배출량을 나타낸 것으로, 산정결과는 벼 1 kg 기준으로 0.1274 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.61> 비료 생산 시 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (벼 1 kg 기준)	탄소배출계수	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-벼)
비료	kg	0.1020	1.25E+00	0.1274

<표 3.62>는 농약 생산에 의한 온실가스 배출량을 나타낸 것으로, 농약사용량, 탄소배출계수, 유효성분을 곱하여 산정한 결과는 벼 1 kg 기준으로 0.1629 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.62> 농약 생산 시 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (벼 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-벼)
농약	kg	0.0178	9.15E+00	0.1629

▶ 생산단계

벼 생산단계에서의 온실가스 배출량은 <표 3.60>에 나타난 벼 1 kg 기준의 사용량 및 배출량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. 벼 생산단계에서의 온실가스 배출량은 크게 4가지인 논 물 대기 과정 중 발생하는 CH₄ 배출로 인한 온실가스 배출량, 비료 사용에 따른 N₂O 배출로 인한 온실가스 배출량, 전기 및 연료 생산 및 사용에 따른 온실가스 배출량으로 구분할 수 있다.

논 물 대기에 따른 온실가스 배출량은 <표 3.46>에 나타난 식 2를 이용하여 산정한 결과를 <표 3.63>에 나타냈다. 연구 대상의 재배면적 126.48 ha에서 발

생하는 CH₄ 45.9 ton CH₄/yr를 GWP로 환산(IPCC 2006 기준) 후, 기초 자료에서 산정된 1 ha 당 벼 생산량 5,581.54 kg으로 나눈 결과, 벼 1 kg 기준의 온실가스 배출량은 1.6255 kg CO₂ eq.로 분석되었다.

<표 3.63> 물 대기에 따른 온실가스 배출량

재배면적 (ha)	CH ₄ 배출량 (ton CH ₄ /yr)	GWP (CH ₄)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-벼)
126.48	45.9	25	1.6255

비료 시비에 따른 온실가스 배출량은 <표 3.46>에 나타낸 식 3을 이용하여 산정한 결과를 <표 3.64>에 나타내었다. 비료의 사용량과 탄소배출계수, N₂O의 GWP인 298, N₂O/N₂ 비율인 1.5715를 곱하여 온실가스 배출량을 산정하였으며, 산정결과 0.1905 kg CO₂ eq./kg 벼로 나타났다.

<표 3.64> 비료 시비에 따른 온실가스 배출량

구분	단위	값 (벼 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg N ₂ /kg N)	GWP (N ₂ O)	N ₂ O/N ₂ 비율	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-벼)
비료	kg	0.0214	1.90E-02	298	1.5714	0.1905

에너지 생산과 사용 시의 온실가스 배출량은 <표 3.46>에 나타낸 식 4와 5를 이용하여 산정한 결과를 <표 3.65>에 나타냈으며, 벼 1 kg 기준으로 0.5245 kg CO₂ eq.로 분석되었다.

<표 3.65> 에너지 생산 및 사용 시의 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (벼 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./kWh, L, kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-벼)
전기 생산	kWh	0.0579	4.95E-01	0.0287
경유 생산	L	0.1033	6.82E-02	0.0070
경유(이동) 사용	kg	0.1201	2.60E+00	0.3124
휘발유 생산	L	0.0071	8.32E-02	0.0006
휘발유(이동) 사용	kg	0.0094	2.13E+00	0.0201
등유 생산	L	0.0489	2.53E-01	0.0124
등유(고정) 사용	kg	0.0583	2.46E+00	0.1433
합계				0.5245

벼 생산단계의 온실가스 배출량은 <표 3.66>에 정리하였다. 벼 생산단계의 온실가스 배출량은 벼 1 kg 기준으로 2.3404 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.66> 생산단계의 온실가스 배출량

(단위 : kg CO₂ eq./kg-벼)

물 대기	비료 시비	에너지 생산 및 사용	합계
1.6255	0.1905	0.5245	2.3404

▶ 도정단계

도정단계의 온실가스배출량은 RPC에서 도정하면서 사용하는 전력과 용수 사용으로 인하여 발생한다. <표 3.46>에 나타난 식 4, 5, 6를 이용하여 산정한 결과는 <표 3.67>에 나타냈으며, 벼 1 kg 기준으로 환산하면 온실가스 배출량은 0.0465 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.67> 도정단계의 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (벼 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./kWh, L, kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-벼)
전기	kWh	0.0800	4.95E-01	0.0396
용수	kg	0.1143	2.11E-04	0.00002
껍질	kg	0.6123	1.12E-02	0.0069
합계				0.0465

▶ 수송단계

수입산은 해외에서 도정 이후 국내로 수송되는 과정에서 온실가스 배출량이 발생한다. 수송과정에서의 온실가스 배출량은 <표 3.46>에 나타난 식 7을 이용하여 <표 3.60>에 나타난 벼 1 kg 기준의 수송량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. <표 3.68>에 나타난 산정결과는 벼 1 kg 기준으로 0.0937 kg CO₂ eq.로 나타났다. 또한, 수입되는 쌀은 도정(도정 수율 70%)을 마쳤으므로, 쌀 0.7 kg 수송에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하였다.

<표 3.68> 수송(미국→부산항)의 온실가스 배출량

벼 1 kg 환산 수송거리*	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./ton·km)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-벼)
3.4493	9.02E-03	0.0311

* 평균 (운송거리(4,927.53 km) × 수입쌀 기능단위(0.7 kg)) ÷ kg 단위 환산(1,000 kg)

▶ 전과정 온실가스 배출량

국내산 벼에 대해 전과정에 걸쳐 온실가스 배출량을 <표 3.69>에 나타내었다. 벼 1 kg 기준, 온실가스 배출량은 2.6772 kg CO₂ eq.로 나타났으며, 생산단계에서의 배출량이 87.42%로 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 생산단계 중에서도 물 대기 단계에서 발생하는 온실가스 배출량은 1.6255 kg CO₂ eq.로 전체 온실가스 배출량의 60.71%를 차지하였다. 이어서 에너지 생산 및 사용에 의한 온실가스 배출량이 0.5245 kg CO₂ eq.로 전체 온실가스 배출량의

19.59%를 차지하였다. 한편, 수입산을 국내에서 유통하기 위한 수송단계에서는 0.0311 kg CO₂ eq.가 발생하는 것으로 나타났으며, 이는 국내산 벼 전과정 온실가스 배출량의 0.42% 수준으로 매우 미미한 배출량으로 볼 수 있다.

<표 3.69> 국내산 벼의 전과정 온실가스 배출량

구분		온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-벼)		비율(%)		비고
자재	비료 생산	0.1274	0.2903	4.76	10.84	-
	농약 생산	0.1629		6.08		
물 대기		1.6255		60.71		
생산	비료 시비	0.1905	2.3404	7.12	87.42	-
	에너지 생산 및 사용	0.5245		19.59		
도정		0.0465		1.74		-
수송		-		-		수입산 0.0311 kg CO ₂ eq./kg-벼 해외→부산항
합계		2.6772		100.00		-

또한, 본 연구에서는 선행연구와의 비교를 통해 연구 결과에 대한 타당성을 검증하고자 한다. 비교 대상은 한국농업기술진흥원(2022)의 저탄소 인증제(벼) 자료(이하 선행연구)이다. 선행연구와의 비교에서 고려할 점은, 벼의 온실가스 배출량 산정에서 배출계수는 논 물관리 부분에서의 평균치 도출을 제외하고는 모두 「농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 공통지침(한국농업기술진흥원, 2022)」에 수록된 계수를 이용하였다는 점이다. 또한, 본 연구는 임의의 표본집단 31개 농가의 설문조사를 기반으로 활동자료를 마련하였으나, 선행연구의 경우 농산물생산비조사(통계청)에 수록된 2006년 2011년의 5년 표본 중 최대·최소값을 제외한 3년 평균 수치를 이용하였다. 따라서, 두 연구의 비교에서 발생하는 배출량 편차는 활동자료의 차이에서 기인하는 것으로 볼 수 있다.

첫 번째로, 논물관리 항목의 경우 선행연구는 1.3000 kg CO₂ eq.로 나타났으나, 본 연구에서는 1.6255 kg CO₂ eq.로 선행연구 대비 25.0% 많은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 선행연구는 전 표본에 대하여 논 물관리 방법별 보정계수로는 2010년 농림어업총조사(통계청, 2011), 2011-2018년 농림어업조사

(통계청, 2012-2029)의 통계자료를 이용하여 도출한 공통계수, 유기물 시용/미시용 보정계수로는 2017, 2018 농림어업조사(통계청, 2017, 2018)의 통계자료를 이용하여 도출한 공통계수를 적용하였다. 반면, 본 연구에서는 2019년 농림어업조사(통계청, 2020)의 논의 유기물 시용/미시용 비율 및 논물관리 방법별 비율을 고려하였으므로, 논물관리 항목에서의 편차는 논 물관리 방법 및 논의 유기물 시용/미시용의 면적 비율 차이에서 비롯된 것으로 볼 수 있다.

두 번째로, 비료 생산의 경우 선행연구는 0.1035 kg CO₂ eq.로 나타났으나, 본 연구에서는 0.1274 kg CO₂ eq.로 선행연구 대비 23.1% 많은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 이러한 편차는 본 연구에서의 자료 수집 과정의 한계 및 국내 관행 농가의 특성에서 기인하는 것으로 볼 수 있다. 국내 관행 농가의 특성상 하나의 작물만을 경작하는 경우는 거의 없으며, 이로 인하여 각 작물에의 투입물 및 유틸리티의 양을 정확하게 파악하는 것은 어렵다. 특히, 비료의 경우 투입이 이루어지는 것은 분명하나, 농가마다 사용하는 비료의 종류가 다르며, 이 또한 다른 작물 재배 과정에 투입되는 양을 본 연구의 설문지에서는 구분해 내는 것이 불가능하였다. 따라서, 농가 설문조사 및 인터뷰 내용을 토대로, 농산물의 경우 가장 많이 사용되는 복합비료(21-17-17)가 전량 투입되는 것으로 가정하였다. 또한, 선행연구에서는 용성인비·염화칼리 등 질소를 함유하지 않은 비료의 생산도 세부적으로 고려하였다. 이는 본 연구에서의 비료 시비 단계 온실가스 배출량 산정 결과가 선행연구에서 비하여 다소 많게 산정될 여지가 있음을 시사하나, 선행연구에서의 무기 비료 시비 단계 온실가스 배출량은 0.1855 kg CO₂ eq., 본 연구에서의 배출량은 0.1905 kg CO₂ eq.,로 편차의 크기는 2.7% 수준이다. 이는 2011년부터 2021년까지의 농약 및 화학비료 사용량 추이 통계에서 관찰되는 ha당 화학비료 사용량 증가율(0.7%) 및 국내 관행 농가의 여건 및 표본집단의 특징을 고려하였을 때, 연구 결과의 타당성을 입증하는 편차로 볼 수 있다(<표 3.70>).

세 번째로, 농약 생산의 경우 선행연구는 0.009 kg CO₂ eq.로 나타났으나, 본 연구에서는 0.1629 kg CO₂ eq.로 선행연구 대비 1,630.6% 많은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 이 또한 비료 생산과 같은 맥락으로, 자료 수집 과정의 한계 및 국내 관행 농가의 특성에서 기인하는 것으로 볼 수 있다. 특히, 본 연구의 자료 수집과정에서는 국내 관행 농가의 농약 사용량 분석을 위하여 각 농가

별 제초제·살균제·살충제의 사용량을 농약 구매량 설문을 이용하여 수집하였다. 수집된 기초 자료는 각 농가별 작물 생산 규모를 고려하여 작물별로 사용량을 할당하였으며, 유제·수화제·증량제·액제·입제 모두 중량 단위(kg)으로 환산하는 과정을 거쳤다. 여기서 농약 구매량은 비축된 농약에 대하여서도 사용량으로 합산함을 의미한다. 따라서, 데이터 수집 과정에서의 불완전성이 농약 사용량을 과도하게 산정하였을 여지가 있다. 또한, 국내 관행 농가의 특성상 하나의 작물만을 경작하는 경우는 거의 없어 농약 또한 여러 작물에 동시 투입되는 경우가 일반적이며, 이로 인하여 본 연구의 설문지에서 작물별 농약 투입량을 구분해내는 것은 불가능하였다. 따라서, 농가 설문조사 및 인터뷰 내용을 토대로, 농약 중 가장 많이 사용되는 제초제·살균제·살충제 중 살균제가 전량 투입되는 것으로 가정하였다. 농약 사용에 따른 온실가스 배출량이 벼 생산 과정 전체에서 차지하는 비중(6.1%)이 크지 않으므로, 이 지점은 선행연구와 본 연구의 조사 결과 편차에 따라 수치의 영향을 받기 쉬운 영역으로 보여진다. 따라서, 데이터 수집 과정에서의 한계를 보완한 후속 연구를 통해 국내 관행 농가의 현실을 반영하여 농약 사용량 파악에 집중한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

<표 3.70> 논벼의 화학비료 사용량 추이 (단위: kg)

	2006-2011년 평균**	2016년-2021년 평균**
10 a당 사용량	315.37	317.67
2006-2011년 평균 대비 2016-2021년 평균 10 a당 사용량 변화율:		0.7%

* 출처: KOSIS, 「농축산물생산비조사」, 도별 논벼 주요투입물량 및 시간. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EC0007&conn_path=I2

** 최고·최저값을 제외한 5개년 평균

네 번째로, 에너지 사용의 경우, 선행연구는 0.2299 kg CO₂ eq.로 나타났으나, 본 연구에서는 0.5245 kg CO₂ eq.로 선행연구 대비 128.2% 많은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 이러한 편차 또한 비료 생산·농약 생산과 같은 맥락으로, 자료 수집 과정의 한계 및 국내 관행 농가의 특성에서 기인하는 것으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 국내 관행 농가의 전기·경유·휘발유·등유 사용량 분석을 위하여 농업용 전기 사용량 자료 및 농업용 면세유 구매 자료를 수집하였다. 수집된 기초 자료는 각 농가별 작물 생산 규모를 고려하여 작물별 사용량을

할당하는 과정을 거쳤다. 전술한 바와 마찬가지로 설문조사 대상 농가들의 인터뷰 자료에 따르면, 국내 관행 농가의 특성상 전기·경유·휘발유·등유는 특정 작물의 재배 용도 이외에도 농막의 난방, 차량의 이동 에너지로 사용되는 경우가 있으며, 각 작물별 전기·경유·휘발유·등유 사용 데이터를 별도로 관리하는 농가가 없어 작물별 전기·경유·휘발유·등유 사용량을 구분해내는 것은 불가능하였다. 또한, 본 연구에서는 등유 사용량은 벼 생산 과정에서의 에너지 사용량으로 설정하고 이로부터 발생하는 온실가스 배출량을 합산하였다. 등유는 벼 농가에서 생산된 벼의 건조 및 온실의 난방을 유지하는데 사용되는 것이 일반적이다. 전기의 경우 벼 생산을 위해 별도로 투입되는 에너지로 구분하였다. 그러나 선행연구의 경우 벼 생산에 등유 투입은 없는 것으로, 전기의 경우 유류 사용을 통해 생산되는 에너지로 보았다. 따라서, 선행연구와 본 연구에서의 편차는 연구 분석틀의 차이 및 전기·등유의 사용을 벼 생산 과정에의 투입물로 간주 여부에서 발생하는 것으로 해석할 수 있다. 편차의 크기(128.1%)는 큰 수준이나, 본 연구에서 합산한 전기(0.03 kg CO₂ eq.) 및 등유(0.16 kg CO₂ eq.)에서의 온실가스 배출량을 제외하면 편차는 약 47.9%로 상당한 수준으로 보기에 어려우며, 국내 관행농가의 여건 및 표본집단의 특징을 고려하였을 때, 충분히 타당성을 갖춘 것으로 볼 수 있다.

<표 3.71> 벼의 온실가스 배출량 계산과정 (단위 : (kg CO₂/벼-1 kg))

구분	선행연구(A)	본 연구(B)	결과값 A	결과값 B	증감 (B-A)	증감율
$H_{4Rice} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \times t_{i,j,k} \times A_{i,j,k} \times 10^{-3} \times GWP_{CH_4})$ CH_{4Rice} : 논에서의 연간 CH ₄ 배출량 $EF_{i,j,k}$: 각 조건에서의 일 배출계수 $t_{i,j,k}$: 각 조건에서의 벼 경작 기간 $A_{i,j,k}$: 각 조건에서의 논벼 수확 면적 i,j,k : 수문체계, 유기질비료 종류 등 CH ₄ 변화조건 GWP_{CH_4} : 25, CH ₄ 의 GWP						
논물관리 (메탄)	< 주요 차이 >		1.3000	1.6255	0.3255	25.0%
	선행연구: 전 표본에 대하여 유기물 시용/미시용 보정계수 및 논물관리 방법별 보정계수로 국가 통계에 근거한 공통 값 적용 본 연구: 2019년 농림어업조사(통계청, 2020)의 논의 유기물 시용/미시용 비율 및 논물관리 방법별 비율을 고려					

< 본 연구에서 적용한 논벼 물관리 방법별 재배면적 >

구분		면적 비
유기물 사용	상시 담수	6.4
	간단관개 1회	25.5
	간단관개 2회 이상	21.5
	천수답-상습가뭄	0.4
유기물 무사용	상시 담수	5.9
	간단관개 1회	21.6
	간단관개 2회 이상	18.4
	천수답-상습가뭄	0.3
* 통계청(2020). 2019년 농림어업조사		

요소	0.0107kg(7.35kg(사용량)/684)* 1.01kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	0.0107	-	-0.0107	순감	
유안	0.0008kg(0.58kg(사용량)/684) * 2.65kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	0.000852	-	-0.00085	순감	
용성인비	0.000087kg(0.06kg(사용량)/684) * 0.725kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	6.01E-05	-	-6E-05	순감	
용과린	0.000014kg(0.01kg(사용량)/684) * 2.02kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	2.95E-05	-	-3E-05	순감	
염화칼리	0.000058kg(0.04kg(사용량)/684) * 0.49kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	2.63E-05	-	-2.6E-05	순감	
황산칼리	0.12kg(사용량)/684 * 0.36kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	6.32E-05	-	-6.3E-05	순감	
비료 생산	복합비료 (21-17-17) 0.0136kg(9.33kg(사용량)/684) * 1.25kgCO ₂ /kg(배출계수)	0.1020(사용량) * 1.25kgCO ₂ /kg(배출 계수)	0.017	0.1274	0.1105	650.0%	
복합비료 (17-21-17)	0.00055(0.38kg(사용량)/684) * 1.22kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	0.000684	-	-0.00068	순감	
복합비료 (기타)	0.054kg(36.91kg(사용량)/684) * 1.27kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	0.0685	-	-0.0685	순감	
석회질	0.0024(1.69kg(사용량)/684) * 0.0499kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	0.000124	-	-0.00012	순감	
규산질	0.0265(18.11kg(사용량)/684) * 0.206kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	0.00546	-	-0.00546	순감	
비료생산 과정 중 CO ₂ 배출량 합계			0.1035	0.1274	0.0239	23.1%	
비료 시비	유기	1.5714(N ₂ O/N 분자량비율) * 0.0036kg(2.47kg-N(사용량)/684) * 0.018kgN ₂ /N(배출계수) * 298(GWP)	-	0.0305	-	-0.0305	순감
	무기	1.5714(N ₂ O/N 분자량비율) * 0.01747(11.95kg-N(사용량)/684) * 0.019kgN ₂ /N(배출계수) * 298(GWP)	1.5714(N ₂ O/N 분자량비율) * 0.0214kg-N(사용량) * 0.019kgN ₂ /N(배출계수) * 298(GWP)	0.155	0.1905	0.0355	22.9%

		농장 시비 후 벼 생산과정 CO ₂ 배출량 합계	0.1855	0.1905	0.0050	2.7%
<hr/>						
	제조제		0.00317	-	-0.00317	순감
농약 생산	살충제	제조제 사용량 * 유효성분비 * 유효성분별 배출계수 * 농약연보 통계활용하여 별도계산 후 배출량 산출	0.003	-	-0.003	순감
	살균제	0.0178kg(투입물) *9.15kgCO ₂ /N(배출계수)	0.00234	0.1629	0.16056	6861.5%
	생조전체		0.000903	-	-0.0009	순감
		농약생산 중 CO ₂ 배출량 합계	0.009413	0.1629	0.15349	1630.6%
<hr/>						
전기	생산	* 통계자료 특성상 전기와 유류의 비율이 구분되지 않아, 일반적인 상황을 고려하여 전량 유류로 가정함	0.0579(투입물)kwh * 0.495kgCO ₂ /kwh(배출계수)	-	0.0287	0.0287 순증
<hr/>						
경유	생산	0.07982 l(54.60 l/684) * 0.86kg/l(비중) * 0.0682kgCO ₂ /kg(배출계수)	0.1033kg(투입물, 0.1201 l) * 0.0682kgCO ₂ /kg(배출계수)	0.00468	0.007	0.00232 49.6%
	연소	0.07982 l(54.60 l/684) * 2.60kgCO ₂ /l(이동연소 배출계수)	0.1201 l(사용량) * 2.60kgCO ₂ /l(이동연소 배출계수)	0.208	0.3124	0.1044 50.2%
<hr/>						
휘발유	생산	0.00782 l(5.35 l/684) * 0.75kg/l(비중) * 0.0832kgCO ₂ /kg(배출계수)	0.0071kg(투입물, 0.0094 l) * 0.0832kgCO ₂ /kg(배출계수)	0.000488	0.0006	0.000112 23.0%
	연소	0.00782 l(5.35 l/684) * 2.13kgCO ₂ /l(이동연소 배출계수)	0.0094 l(사용량) * 2.13kgCO ₂ /l(이동연소 배출계수)	0.0167	0.0201	0.0034 20.4%
<hr/>						
	생산		0.0489kg(투입물, 0.0583 l) * 0.253kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	0.0124	0.0124 순증
등유	연소		0.0583 l(사용량) * 2.46kgCO ₂ /l(고장연소 배출계수)	-	0.1433	0.1433 순증
		에너지(전기, 경유, 휘발유, 등유) 사용에 대한 CO ₂ 배출량 합계	0.2299	0.5245	0.2946	128.1%
		벼 생산 전과정 CO₂ 배출량 합계	1.8300	2.6307	0.801	43.8%

* 선행연구와의 비교에서 도정단계는 제외

1.2. 해외 벼의 탄소발자국

1.2.1. 온실가스 배출량 산정식

<표 3.72>는 각 국가에서 벼의 전과정에 걸쳐 온실가스 배출량을 산정하기 위한 식을 나타내었다. 각 단계별로 온실가스 배출량 산정식은 <표 3.46>에 나타낸 식을 이용하였다. 벼의 전과정은 벼를 생산하기 위한 자재 생산, 수송, 벼의 생산, 수확한 벼를 쌀로 만드는 도정, 쌀의 유통, 소비를 거쳐 폐기된다. 주로 해외에서 벼의 시스템 경계는 자재 생산, 벼 생산, 도정, 수송까지로 선정되었다. 자재 생산, 수송, 벼의 생산, 에너지 생산, 폐기물 처리 시의 온실가스 배출량은 ISO 14040와 14044의 방법론을 적용하였다. 논 물 대기에 의한 메탄 발생, 질소 비료 사용으로 인한 아산화질소 배출, 에너지 사용에 의한 온실가스 배출량은 IPCC 방법론을 적용하였다. 이때, 지구온난화지수는 각 국가의 실정에 맞게 <표 3.73>에 나타낸 IPCC 2006 또는 2013을 적용하였다.

<표 3.72> 벼의 온실가스 배출량 산정식

단계	온실가스 배출량 산정식		적용 방법론
자재 생산	종자/비료/농약 생산	(식 1) 이용	ISO 14040/ 14044
수송	수송	(식 7) 이용	ISO 14040/ 14044
생산	논 물 대기에 의한 메탄(CH ₄) 발생	(식 2) 이용, GWP는 해당연도 이용	IPCC 2006, 2013
	질소비료 시비로 인한 아산화질소 (N ₂ O) 배출	(식 3) 이용, GWP는 해당연도 이용	
	에너지 생산	(식 4) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 사용	(식 5) 이용	IPCC 2006, 2013
수송	수송	(식 7) 이용	ISO 14040/ 14044
도정	에너지 생산	(식 5) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 사용	(식 6) 이용	ISO 14040/ 14044
	폐기물 처리	(식 6) 이용	ISO 14040/ 14044

<표 3.73> 온실가스별 지구온난화지수(Global Warming Potential, GWP)

온실가스	지구온난화지수 (IPCC, 2006)	지구온난화지수 (IPCC, 2013)
CO ₂	1	1
CH ₄	25	34
N ₂ O	298	298

1.2.2. 해외 벼의 탄소발자국 비교 분석

<표 3.74>는 각 국가별 온실가스 배출량의 요약 결과이다. 연구 대상 국가별로 기능단위와 시스템 경계가 조금씩 상이하기는 하나, 적용 방법론은 ISO 14040/14044와 IPCC 방법론을 적용하여 동일한 수준에서 비교 가능한 문헌을 조사하였다. 미국은 도정 후 쌀 1 kg을 기준으로 자재 생산, 수송, 생산, 수송, 도정까지를 산정²⁴⁾하였으며, 중국²⁵⁾과 일본²⁶⁾은 벼의 재배면적 1 ha 기준으로 재배단계에 대한 전과정평가가 수행하였다. 태국²⁷⁾은 쌀 1 kg을 기준으로 자재 생산에서 도정 및 포장단계까지를 시스템 경계로 설정하고 있다. 도정 단계까지의 온실가스 배출량을 살펴보면, 태국의 경우 미국에 비해 도정된 쌀 1 kg 기준 온실가스 배출량은 약 3.6배가 높은 것으로 나타났다. 이는 유기농 쌀 생산을 위한 물대기에서 비롯된 것으로 사료된다. 태국 홈 말리 지역의 경우, 쌀 생산을 위해 1개월 이상 습지 시스템을 유지해야 한다. 이는 우리나라의 상시담수와 유사한 것으로 볼 수 있으나, 태국의 경우 열대 기후 조건 등의 차이로 유기물에서 발생하는 CH₄의 발생량이 크고, 물 소비 과정 및 관개 시스템에서의 온실가스 간접배출량 또한 타 국가에 비하여 많기 때문으로 사료된다⁶⁾. 또한, 미국의 경우 전문화된 벼 생산 설비, 레이저와 컴퓨터화와 같이 첨단 장비의 사용과 정밀화로 인해 생산과정에서의 에너지 사용 및 비료 사용 등을 적게 사용²⁸⁾함으

24) Sonja Brodt et al. 2014. Life cycle greenhouse gas emissions in California rice production. p.3~4.

25) Ling Lin et al. 2021. Comparing rice production systems in China: Economic out put and carbon footprint. p.3.

26) Kiyotaka Masuda. 2019. Eco-Efficiency Assessment of Intensive Rice Production in Japan: Joint Application of Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis. p.3.

27) Rattanawan Mungkung et al. 2019. Life Cycle Assessment of Thai organic Hom Mali rice to evaluate the climate change, water use and biodiversity impacts. p. 1~2

28) 미국쌀협회(www.usarice.co.kr/)

로써, 논 물 대기 시 온실가스 배출에 의한 영향도 적을 것으로 사료된다.

한편, 생산단계까지 고려한 중국과 일본의 온실가스 배출량을 비교해 보면 대체적으로 유사한 것으로 나타났다. 중국의 경우 벼 재배 이후 가재를 키우는 농법의 적용²⁹⁾ 및 대규모 농업 등을 적용하였고, 일본의 경우 소규모 재배였던 과거와 비교하여 점차 규모를 늘려감과 동시에 고효율, 고성능 농업 기계를 적극적으로 사용³⁰⁾하여 효율적인 농업의 방향으로 흘러갔기 때문으로 사료된다. 하지만 중국과 일본의 경우, 기능단위가 ha이므로 국내와의 비교는 추정치로 분석이 가능하다는 한계점이 있다.

29) Ling Lin et al. 2021. Comparing rice production systems in China: Economic out put and carbon footprint. p.3.

30) Kiyotaka Masuda. 2019. Eco-Efficiency Assessment of Intensive Rice Production in Japan: Joint Application of Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis. p.3, 10.

<표 3.74> 벼의 해외 탄소 발자국 비교 분석

품 목	국가	기능 단위	시스템 경계	탄소발자국 (kg CO ₂ eq.)	출처	지원 부처	적용 방법론
	미국	1 kg bag of rice (includes 90% white, 10% brown rice) (9,300 ton rice/ha)	자재 생산→자 재 수송→생산 →수송→도정	1.474	Sonja Brodt (2014)	Agricultural Sustainability Institute	ISO 14040 IPCC, 2006
		1 ha (이모작)		42,213			
		1 ha (벼 이후 가재 키우기)		18,797			
	중국	1 ha (벼 이후 유채 재배)	자재 생산→자재 수송→생산	11,455	LingLin (2021)	National Key Research and Development Program	ISO 14040 IPCC, 2013
		1 ha (벼 이후 밀 재배)		22,488			
		1 ha (벼 이후 휴작)		13,806			
벼	일본	1 ha (농가면적별 기준 0.5 ha 이하 ~ 15 ha 이상)	자재 생산→자 재 수송→생산	12,682~14,902	Kiyotaka Masuda (2019)	Japan Society for the Promotion of Science	DEA (Data Envelopment Analysis) IPCC, 2013
	태국	1 kg paddy rice (2,581 kg/ha)	자재 생산→생산→ 수송→도정 및 포장	2.88	Rattanawan Mungkung (2019)	Agricultural Research Development Agency (ARDA)	ISO 14040, 14044 IPCC, 2006
		1 kg white milled rice		5.36			
	이탈리아 북부	1 ton of rice grain	자재 생산→자재 수송→생산 (저장)	669.946	Jacopo Bacenetti (2015)	Regione Lombardia which financed a Postdoctoral Research Fellowship ("Progetto Dote Ricerca" financed by FSE e Regione Lombardia)	ISO 14044, IPCC 2006
		1 ha (7~8,000 kg bag of rice)	자재 생산→생산	8,310.00	Vinci Giuliana (2022)	Università degli Studi di Roma La Sapienza within the CRUI-CARE Agreement	ISO 14040 IPCC 2006

<표 3.75> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항

(a) 미국

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재	종자/ 비료/ 농약 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 비료: 아쿠아아모니아, 인산암모늄, 칼륨, 황산아연 - 농약: 볼레로 8EC(티오벤카브), Londax(벤술폴론-메틸), 2,4-d (2,4-d-디클로로페녹시아세트산의 디메틸아민염), Warrior(피레스로이드 화합물), 황산동, 작물유(콩기름), 보조제(등유 기반) 	Rice seed, Ecoinvent	ISO 14040/14044
수송	수송	농약 이동거리 64km로 가정	Diesel fuel, Ecoinvent	ISO 14040/14044
	논 물 대기	현장 배출인 CH ₄ 고려	-	-
생산	질소 비료 시비	<ul style="list-style-type: none"> - 살충제와 일부 비료는 비행기로 살포 - 항공기 적재 용량, 최대 및 빈 용량에서의 연료사용률, 기본 활주로와 경작지 사이의 일반적인 거리에 대한 정보 제공 	fertilizer, Ecoinvent	IPCC 2006
	농약 사용		Pesticide, Ecoinvent	
	에너지 생산	시스템 경계 제외	-	-
	에너지 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 과중, 살충제 살포 및 비료 살포에 필요한 ha당 평균 연료 사용량은 인터뷰 중에 수집된 데이터와 적용된 물질의 밀도, 살포율 및 살포 필요면적의 백분율 기반으로 산정 - 비CO₂ 배출량은 비행기의 엔진 출력 등급(562.5kW)을 기준으로 결정 	Diesel fuel, Ecoinvent	IPCC 2006
수송	수송	수확한 쌀을 건조기까지 트럭으로 운송하는 거리는 48km로 추정	Diesel fuel, Ecoinvent	ISO 14040/14044
도정	에너지 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 건조 후 벼의 90%는 백미로, 10%는 현미로 도정 - 밀링 장비의 에너지원으로 표준 캘리포니아 전기 혼합 가정 	-	ISO 14040/14044
	에너지 사용		-	IPCC 2006
	폐기물 처리	정미 부산물에 대한 부산물 크레딧 (소 사료 크레딧은 알팔파 33%와 호밀풀 67%의 건조 혼합)	-	ISO 14040/14044
유통	운송	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

(b) 중국

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	종자/ 비료/ 농약 생산	질소 비료(요소, N 함량 = 46%),인산염 비료 (과인산염, P ₂ O ₅ 함량 = 18%),칼륨 비료(염화 칼륨, K ₂ O 함량 = 62%),제초제, 살충제, 작물 살균제 생산	Rice seed, Ecoinvent	ISO 14040/ 14044
수송	수송	비료와 살충제의 수송 고려	-	ISO 14040/ 14044
생산	논 물 대기	CH ₄ 및 N ₂ O 가스는 정적 챔버 기술을 사용하여 7-10일마다 수집한 다음 불꽃 이온화 검출기가 장착된 가스 크로마토그래프를 사용하여 분석	-	IPCC 2013
	질소 비료 시비	배출계수를 사용하여 계산	-	
	에너지 생산	경유 생산 포함	Diesel, CLCD 0.7	ISO 14040/ 14044
	에너지 사용	경유 및 연간 장비 투입을 포함시켰으며 전체 필드 레이아웃 기계 개조 입력과 유효 연도의 비율로 계산	Diesel combustio n,CLCD 0.7	IPCC 2013
수송	수송	시스템 경계 제외		
	에너지 생산	시스템 경계 제외		
도정	에너지 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
유통	운송	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

(c) 일본

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	종자/비료/농약 생산	비료는 연간 평균 기준(2005-2011, 연간)의 투입 및 산출 데이터 기술통계 이용	일본농림수산성 MAFF	DEA method
수송	수송	시스템 경계 제외	-	-
생산	논물 대기	CH ₄ 배출계수는 313.8~363.1kg CH ₄ /ha/year로 총 CH ₄ 배출량을 해당 국가의 총 면적으로 나누어 계산	일본농림수산성 MAFF	DEA method
	질소 비료 시비	질소비료 시비 고려	일본농림수산성 MAFF	
	에너지 생산	시스템 경계 제외	-	-
	에너지 사용	- 연간 평균 기준(2005-2011, 연간)의 투입 및 산출 데이터 기술통계 확인 - 연료 유형의 에너지 사용량은 총 발열량의 95%로 가정	GIO, 일본 온실가스 인벤토리 오피스	DEA method
수송	수송	시스템 경계 제외		
	에너지 생산			
도정	에너지 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리			
유통	운송	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

(d) 태국

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	종자/ 비료/ 농약 생산	종자 생산 고려 유기비료(가축분뇨) 사용	Seed production ,Ecoinvent	ISO 14040/ 14044
수송	수송	시스템 경계 제외	-	ISO 14040/ 14044
생산	논 물 대기	논에서 직접적으로 배출되는 메탄은 국가별 배출 계수 (Tier-2) 및 아산화질소를 기반으로 적용	태국 자체 DB	IPCC 2006
	질소 비료 시비	아산화질소(직접, 비료 살포), 아산화질소(간접, 비 료 살포로 인한 휘발), 아산화질소(비료 살포로 인한 침출/유출) 포함	-	
	에너지 생산	디젤 생산	태국 자체 DB	IPCC 2006
	에너지 사용	현장에서 경작, 비료 시비, 토지 굴착, 수확 단계 에서 사용되는 디젤 사용	Electricity production ,Ecoinvent	IPCC 2006
수송	수송	도정 공장까지 운송	-	-
도정	에너지 생산	전기 사용 및 포장 봉투	Plastic bag production /Diesel production ,Ecoinvent	ISO 14040/ 14044
	에너지 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리			
유통	운송	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

1.3. 국내의 벼의 탄소발자국 비교

<표 3.76>은 국내외 벼의 탄소발자국 산정 결과를 나타낸 것이다. 우선, “생산된 벼 1 kg”에 대한 비교 분석 수행을 위하여 미국과 태국 벼의 온실가스 배출량은 도정 후 쌀 1 kg를 도정 전 벼 1 kg으로 환산하였다. 수치 환산은 각 단계별 온실가스 배출량에 도정 전 수율이 미반영된 값(1/0.7)을 나누는 방식으로 이루어졌다. 또한, 중국 및 일본은 1 ha 기준으로 산정된 선행연구 결과를 본 연구 대상 농가의 평균 1 ha 생산량인 5,581.54 kg으로 환산하였다. 같은 맥락에서 미국의 ha당 벼 생산량은 9,300 kg, 태국은 2,581 kg을 적용하였다.

상호 공통 단계를 추려내어 비교 분석을 수행한 결과, 국내의 경우, 비료 생산 단계에서의 온실가스 배출량은 0.1274 kg CO₂ eq./벼 1 kg로 미국(0.1988 kg CO₂ eq./벼 1 kg)과 비교하였을 때 64.1% 수준의 배출량을 보였으나, 살충제 사용 단계(0.1629 kg CO₂ eq./벼 1 kg)에서는 미국(0.0060 kg CO₂ eq./벼 1 kg)보다 약 27배 높은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 물관리 및 에너지 사용 단계에서 국내 벼 생산은 2.1500 kg CO₂ eq./벼 1 kg로 미국(0.7140 kg CO₂ eq./벼 1 kg)보다 약 3배 높은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났으나, 태국(3.2920 kg CO₂ eq./벼 1 kg)에 비하여서는 약 65.3% 수준에서만 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 건조 및 도정 단계에서의 온실가스 배출량은 0.0465 kg CO₂ eq./벼 1 kg로 미국(0.0571 kg CO₂ eq./벼 1 kg)의 81.4% 수준, 태국(0.1120 kg CO₂ eq./벼 1 kg)의 41.5% 수준으로 비교 가능한 국가들 대비 상대적으로 낮은 배출량을 보이는 것으로 나타났다. 중국과 일본의 문헌에서는 온실가스 배출량을 단계별로 구분하지 않아 단계별 비교분석에서는 제외하였다.

종합적으로, 국내산 벼의 전과정 온실가스 배출량은 2.6307 kg CO₂ eq./벼 1 kg로 산정되었으며, 이는, 미국(0.9724 kg CO₂ eq./벼 1 kg)의 270.5%, 태국(3.6400 kg CO₂ eq./벼 1 kg)의 72.3% 수준, 중국(2.05 ~ 7.56 kg CO₂ eq./벼 1 kg)의 34.8% ~ 128.3%, 일본(2.27 ~ 2.67 kg CO₂ eq./벼 1 kg)의 98.5% ~ 115.9% 수준으로 나타났다. 또한, 각 국가별 벼의 전과정 온실가스 배출량 결과에 국내까지의 수송 배출량을 고려할 경우, 국내산 벼의 온실가스 배출량은 해외에서 생산된 벼 대비 미국(1.0174 kg CO₂ eq./벼 1 kg)의 258.6%, 태국(3.6610 kg CO₂ eq./벼 1 kg)의 71.9% 수준, 중국(2.06 ~ 7.57 kg CO₂ eq./벼

1 kg)의 34.8% ~ 127.7%, 일본(2.28 ~ 2.68 kg CO₂ eq./벼 1 kg)의 98.2% ~ 115.4% 수준으로 나타났다. 각 국가별 항구로부터 부산항까지의 거리는 미국(샌디에고) 10,193.41 km, 태국(방콕) 4,696.22 km, 중국(산터우) 819.92 km, 일본(히메카와) 938.21 km이며, 선적 거리를 바탕으로 산정한 온실가스 배출량은 각각 미국 0.0450 kg CO₂-eq./벼 1 kg, 태국 0.0210 kg CO₂-eq./벼 1 kg, 중국 0.0050 kg CO₂-eq./벼 1 kg, 일본 0.0059 kg CO₂-eq./벼 1 kg이다.

이어서 <표 3.77>은 국내외 벼 도정 이후 쌀의 탄소발자국 산정 결과를 나타낸 것이다. 우선, “생산된 쌀 1 kg”에 대한 비교 분석 수행을 위하여 본 연구와 선행연구, 그리고 중국과 일본의 온실가스 배출량은 도정 전 벼 1 kg를 도정 후 쌀 1 kg으로 환산하였다. 수치 환산은 각 단계별 온실가스 배출량에 쌀 수율(70%)을 나누는 방식으로 이루어졌다. 또한, 중국 및 일본은 1 ha 기준으로 산정된 선행연구 결과를 본 연구 대상 농가의 평균 1 ha 생산량인 5,581.54 kg으로 환산하였다. 같은 맥락에서 미국의 ha당 벼 생산량은 9,300 kg, 태국은 2,581 kg을 적용하였다.

상호 공통 단계를 추려내어 비교 분석을 수행한 결과, 국내의 경우, 비료 생산 단계에서의 온실가스 배출량은 0.1820 kg CO₂ eq./쌀 1 kg로 미국(0.2840 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)과 비교하였을 때 64.1% 수준의 배출량을 보였으나, 살충제 사용 단계(0.2327 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)에서는 미국(0.0086 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)보다 약 27배 높은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 물관리 및 에너지 사용 단계에서 국내 쌀 생산은 3.0714 kg CO₂ eq./벼 1 kg로 미국(1.0200 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)보다 약 3배 높은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났으나, 태국(3.2920 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)에 비하여서는 약 65.2% 수준에서만 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 건조 및 도정 단계에서의 온실가스 배출량은 0.0664 kg CO₂ eq./쌀 1 kg로 미국(0.0571 kg CO₂ eq./벼 1 kg)의 81.4% 수준, 태국(0.1600 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)의 41.5% 수준으로 비교 가능한 국가들 대비 상대적으로 낮은 배출량을 보이는 것으로 나타났다. 중국과 일본의 문헌에서는 온실가스 배출량을 단계별로 구분하지 않아 단계별 비교분석에서는 제외하였다.

종합적으로, 국내산 쌀의 전과정 온실가스 배출량은 3.8247 kg CO₂ eq./쌀 1 kg로 산정되었으며, 이는, 미국(1.4707 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)의 260.1%, 태국

(5.3600 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)의 71.4% 수준, 중국(2.9286 ~ 10.8000 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)의 35.4% ~ 130.6%, 일본(3.2429 ~ 3.8143 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)의 100.3% ~ 117.9% 수준으로 나타났다. 또한, 각 국가별 쌀의 전과정 온실가스 배출량 결과에 국내까지의 수송 배출량을 고려할 경우, 국내산 쌀의 온실가스 배출량은 해외에서 생산된 쌀 대비 미국(1.5350 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)의 249.2%, 태국(5.3900 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)의 71.0% 수준, 중국(2.9429 ~ 10.8143 kg CO₂ eq./쌀 1 kg)의 35.4% ~ 130.0%, 일본(3.2571 ~ 3.8286 kg CO₂ eq./벼 1 kg)의 99.9% ~ 117.4% 수준으로 나타났다. 각 국가별 항구로부터 부산항까지의 거리는 미국(샌디에고) 10,193.41 km, 태국(방콕) 4,696.22 km, 중국(산터우) 819.92 km, 일본(히메카와) 938.21 km이며, 선적 거리를 바탕으로 산정한 온실가스 배출량은 각각 미국 0.0643 kg CO₂-eq./쌀 1 kg, 태국 0.0300 kg CO₂-eq./쌀 1 kg, 중국 0.0071 kg CO₂-eq./쌀 1 kg, 일본 0.0084 kg CO₂-eq./쌀 1 kg이다.

이와 같은 국내외 벼의 탄소발자국 비교 분석 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 미국의 경우 물 관리 단계에서 필요한 수자원을 중력을 이용하여 산맥으로부터 공급받아, 관개(灌漑)를 위해 별도의 에너지를 사용하지 않았다. 또한, 미국은 대부분의 살충제와 일부 비료를 비행기로 살포하여 타 국가 대비 상대적으로 생산 과정에서의 연료 효율이 매우 높은 것으로 나타났다. 국내의 경우 농약 운송 중량에 탄소배출계수를 곱하여 농약 생산의 배출량을 산정하는 반면, 미국의 경우 운송한 이동거리를 가정하여 산정했다. 또한, 우리나라의 경우, 작물보호제(살균제)를 대부분 직접 방제하고 있으며 ha 당 작물보호제 사용량이 313.43 kg으로 나타났으나, 미국의 경우, 살충제의 비행기 살포로 ha 당 19.8 8³¹⁾ kg의 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 따라서 작물보호제(살충제, 살균제) 사용에서 큰 차이를 보이는 이유는 작물보호제의 사용 과정 자체의 효율과 사용량에서 차이가 큰 것으로 판단된다. 이에 따라 작물보호제의 사용이 국내는 전체 온실가스 배출량의 6% 정도를 차지하는 반면, 미국은 0.5% 정도로 나타났다.

이와 같은 우리나라와 미국의 벼 생산 방식 및 온실가스 배출량 산정방식 차

31) Sonja Brodt et al. 2014. Life cycle greenhouse gas emissions in California rice production. p.3

이로 인해 살충제 사용 단계에서만 약 19배 차이가 발생한 것으로 나타났으나, 이는 절대적인 비교 항목으로 보기에는 어려움이 있으며, 향후 보다 정교한 연구설계 및 표준화된 체계를 이용한 온실가스의 산정 및 비교 분석 연구 수행이 필요할 것으로 판단된다.

종합적으로, 우리나라는 미국에 비해 벼 1 kg 기준, 약 82.1% 많은 온실가스 배출량을 보이는 것으로 나타났다. 이는 미국이 품종과 재배 지역의 기후에 따라 적은 기자재를 투입하는 반면, 우리나라는 제한된 농지에 집약적인 농업의 형태로 많은 비료와 농약을 투입하기 때문이다.

또한, 태국의 경우 유기농 쌀 생산을 위해 생산 주기 중 최소 1개월가량 습지 시스템을 이용한다는 특징이 있다. 이는 우리나라의 상시 담수와 유사한 것으로 볼 수 있으나, 태국의 경우 열대 기후 조건 등의 차이로 유기물에서 발생하는 CH₄의 발생량이 크고, 물 소비 과정 및 관개 시스템에서의 온실가스 간접 배출량 또한 타 국가에 비하여 많으나, 벼 생산량은 1/2 ~ 1/3 수준 때문으로 사료된다³²⁾. 이로 인해, 태국은 벼 1 kg 기준, 국내보다 약 28.6% 많은 온실가스를 배출하는 것으로 나타났다.

중국 및 일본의 경우 국내산과 거의 유사한 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 이는, 중국 일부 지역 및 일본의 경우 품종 및 농법의 유사도가 높기 때문으로 사료된다. 특히, 일본의 경우, 벼 재배 시 온실가스 배출량이 점진적으로 감소하는 추세이다. 이는 과거에는 소작농 형태의 벼 농가가 많았으나, 최근 들어 벼농사 규모의 확대가 이루어져 환경 효율성의 증가로 이루어졌기 때문으로 판단된다³³⁾. 규모의 경제가 일본 자국 내 벼 생산단계에서 논 물 대기 등의 효율성을 비약적으로 향상시키기 때문이다.

종합적으로, 본 연구와 선행연구 그리고 해외 문헌에서의 벼 생산에 따른 온실가스 배출량 비교가 시사하는 점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 벼 생산 과정에서는 국내·외 전반에 걸쳐 논 물관리가 차지하는 비중이 가장 크며, 이는 적절한 인센티브 제도 및 농가의 의지로 상당 부분 감축이 가능한 영역이라는 것이다. 본 연구에서의 국내 논 물관리에서 발생하는 온실가스

32) Rattanawan Mungkung et al. 2019. Life Cycle Assessment of Thai organic Hom Mali rice to evaluate the climate change, water use and biodiversity impacts. p.1,3.

33) Kiyotaka Masuda. 2019. Eco-Efficiency Assessment of Intensive Rice Production in Japan: Joint Application of Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis. p.10.

배출량은 1.6255 kg CO₂-eq./㎡-1 kg로 전체 배출량인 2.6307 kg CO₂-eq./㎡-1 kg의 61.8%를 차지하였다. 선행연구 또한 논물관리에서 발생하는 온실가스 배출량은 1.3000 kg CO₂-eq./㎡-1 kg로 전체 배출량인 1.8283 kg CO₂-eq./㎡-1 kg의 71.1%를 차지하였다. 미국, 태국도 유사하게 전체 배출량인 0.9724 kg CO₂-eq./㎡-1 kg, 3.6400 kg CO₂-eq./㎡-1 kg 중, 재배/물관리에서의 온실가스 배출량은 각각 0.7140 kg CO₂-eq./㎡-1 kg(에너지 사용 포함), 3.2550 kg CO₂-eq./㎡-1 kg로 차지 비중은 각각 73.4%, 89.4%를 차지하였다. 이는 국내·외를 막론하고 벼 생산 과정 중 재배/물관리에서 발생하는 온실가스가 상당함을 의미하며, 유기물 시용시 온실가스 배출량이 2.5배 증가 또는 간단관개, 천수답 적용 시 30% ~ 60% 가량 온실가스 배출량이 저감되는 만큼, 재배/물관리 영역은 온실가스 배출량 저감 측면에서 가장 우선순위가 높은 단계라고 할 수 있다.

둘째, 해외에서의 운송을 고려하더라도 단위 중량 당 수송 과정에서의 온실가스 배출량은 전체 배출량에서 차지하는 비중이 미미하였다. 가장 비중이 큰 미국의 경우 수송에서의 온실가스 배출량(0.0450 kg CO₂-eq./㎡-1 kg)이 국내까지의 수송을 포함한 전체 배출량(1.0174 kg CO₂-eq./㎡-1 kg)의 4.4%를 차지하였으나, 태국은 0.6%, 중국과 일본은 0.2% 수준으로 나타났다. 수송 단계에서의 온실가스 배출량은 거리에 비례하여 증가하나, 전체 배출량에서 차지하는 비중은 적어 온실가스 배출 측면에 있어 주요 단계로 보기는 어렵다는 것이다.

본 연구에서 설정한 시스템 경계와 해외 문헌 자료의 산정 방식은 연구 목적 차이에 따른 시스템 경계의 상이함으로 인하여 비교분석에 있어 일정 부분 한계를 지닌다. 예를 들어, 미국 문헌에서 다루고 있는 토양 준비 과정에서의 온실가스 배출량의 경우, 본 연구에서는 Cut-off 기준³⁴⁾에 해당하므로 시스템 경계에서 제외하였다. 같은 맥락에서, 미국 문헌에서 다루고 있는 부산물 재활용에 따른 환경영향 회피효과³⁵⁾ 또한 국내 벼 수확 단계 이후의 곤포 사일리지 생산

34) 환경영향이 미미하거나 중요도가 낮아 연구 목적에 맞게 시스템 경계에서 제외할 단위 공정 또는 제품 시스템과 관련된 물질, 에너지 흐름량에 대한 기준. 일반적으로 전체 물질 수지의 5% 미만을 차지하는 양은 Cut-off가 가능한 것으로 간주(ISO(2022). ISO 14044:2006)

35) 제품의 재사용·재제조·재활용으로부터 발생하는 환경영향 증감량의 이중 산정을 방지하기 위한 절차로, 일반적으로, 대상 제품의 폐기 단계 이후 용도에 따라 대체된 제품의 전과정에 대하여 환경영향을 차감하는 형태로 반영(Tajda Potrč Obrecht. et. al.(2021). An LCA methodology for assessing the environmental impacts of building components before and after refurbishment Author links open overlay panel, Journal of Cleaner Production, Vol. 327, 129527.)

및 비육우 사료 생산 회피에 따른 환경영향을 본 연구에서는 다룰 수가 없어, 산정 과정에서 또한 제외되었다. 이외 단계(비료 시비, 종자 생산·과종 등) 또한 마찬가지로 연구 목적에 부합하지 않거나, 연구 설계 과정에서 다루지 않는 범주이므로 해당 단계에 한하여서는 해외와의 단순 비교는 한계점이 있는 것으로 볼 수 있다. 한편, 비교 가능한 범위 내에서의 시스템 경계 구분, 기능단위의 환산(도정 후 쌀 1 kg 또는 1 ha에서의 쌀 생산량 → 도정 전 벼 1 kg 및 도정 전 벼 1 kg 또는 1 ha에서의 쌀 생산량 → 도정 후 쌀 1 kg) 등 별도의 통계적 처리 통해 본 연구에서 설정한 시스템 경계 내에서는 단순 비교가 가능한 수준으로 결과 분석을 수행하였다.

<표 3.76> 국내외 벼의 전과정 온실가스 배출량

구분	온실가스 배출량(ton CO ₂ eq./ha, kg CO ₂ eq./kg-벼 1 kg)						
		국내 (본연구) ⁵⁾	국내 (선행연구) ⁵⁾	미국 ⁷⁾	태국 ⁷⁾	중국 ³⁾	일본 ³⁾
토양 준비	ha 단위	-	-	0.4062	-	11.4422 ~ 42.1964 (ha 단위)	12.6701 ~ 14.9027 (ha 단위)
	kg 단위	-	-	0.0437	-		
비료 생산	ha 단위	0.7113	0.7087	1.8488	-		
	kg 단위	0.1274	0.1035	0.1988	-		
비료 시비	ha 단위	1.0632	1.2701	0.1940	0.1626	2.05 ~ 7.56 (kg 단위)	2.27 ~ 2.67 (kg 단위)
	kg 단위	0.1905	0.1855	0.0209	0.0630		
종자 생산 및 파종	ha 단위	-	-	0.1048	0.2349		
	kg 단위	-	-	0.0113	0.0910		
살충제 사용 ¹⁾	ha 단위	0.9091	0.0644	0.0560	-		
	kg 단위	0.1629	0.0094	0.0060	-		
물관리	ha 단위	9.0726	8.9011	6.6402	8.4012	-	-
	kg 단위	1.6255	1.3000		3.2550		
에너지 사용	ha 단위	2.9274	1.5741	0.7140	0.1084		
	kg 단위	0.5245	0.2299		0.0420		
수확 및 쪼 관리	ha 단위	-	-	0.5104	-		
	kg 단위	-	-	0.0549	-		
수송(자국 내이동)	ha 단위	-	-	0.0377	0.4878	-	-
	kg 단위	-	-	0.0041	0.1890		
수송(해외→ 부산항) ⁴⁾	ha 단위	-	-	(0.4186)	(0.0542)	(0.0279)	(0.0329)
	kg 단위	-	-	(0.0450) ⁶⁾	(0.0210)	(0.0050) ⁶⁾	(0.0059) ⁶⁾
부산물	ha 단위	-	-	-0.7552	0.2891	-	-
	kg 단위	-	-	-0.0812	0.1120		
합계	ha 단위	14.6836	12.5184	9.0430 (9.4616)	9.3948 (9.4490)	11.4422 ~ 42.1964 (11.4980 ~ 42.2243)	12.6701 ~ 14.9027 (12.7030 ~ 14.9356)
	kg 단위	2.6307	1.8283	0.9724 (1.0174)	3.6400 (3.6610)	2.05 ~ 7.56 (2.06 ~ 7.57)	2.27 ~ 2.67 (2.28 ~ 2.68)

- 1) 국내의 경우 살충제 사용
- 2) 도정전 환산 계수 적용(1.4286)
- 3) 벼 1 kg 추정을 위한 환산(1 ha = 5,581.54 kg)
- 4) 해외 항구에서 부산항까지의 거리에 대한 온실가스 배출량 산정(미국(샌디에고) 10,193.41 km, 태국(방콕) 4,696.22 km, 중국(산터우) 819.92 km, 일본(히메카와) 938.21 km)
- 5) 본 연구는 임의의 표본집단 31개 농가의 설문조사를 기반으로 활동자료를 마련하였으나, 선행연구의 경우 농산물생산비조사(통계청)에 수록된 2006년 2011년의 5년 표본 중 최대·최소값을 제외한 3년 평균 수치를 이용
- 6) ha당 벼 생산량: 본 연구 및 중국, 일본 5,581.49 kg, 선행연구 6,846.99 kg, 미국 9,300 kg, 태국 2,581 kg 적용
- 7) 미국, 태국의 경우 도정된 쌀 1 kg가 기능단위이므로 도정 전 단계 수율(70%)을 역산한 값으로 환산(v/(1/0.7))

<표 3.77> 국내외 쌀의 전과정 온실가스 배출량

구분	온실가스 배출량(ton CO ₂ eq./ha, kg CO ₂ eq./kg-쌀 1 kg)						
	국내 ⁸⁾ (본연구) ⁵⁾	국내 ⁸⁾ (선행연구) ⁵⁾	미국	태국	중국 ³⁾⁸⁾	일본 ³⁾⁸⁾	
토양 준비	ha 단위	-	-	0.5803	-	16.3460 ~ 60.2806	18.1001 ~ 21.2896
	kg 단위	-	-	0.0624	-	(ha 단위)	(ha 단위)
비료 생산	ha 단위	1.0161	1.0124	2.6411	-	-	-
	kg 단위	0.1820	0.1479	0.2840	-	-	-
비료 시비	ha 단위	1.5189	1.8144	0.2771	0.2323	2.9286 ~ 10.8000	3.2429 ~ 3.8143
	kg 단위	0.2721	0.2650	0.0299	0.0900	(kg 단위)	(kg 단위)
종자 생산 및 파종	ha 단위	-	-	0.1497	0.3355	-	-
	kg 단위	-	-	0.0161	0.1300	-	-
살충제 사용 ¹⁾	ha 단위	1.2987	0.0920	0.0800	-	-	-
	kg 단위	0.2327	0.0134	0.0086	-	-	-
물관리	ha 단위	12.9609	12.7159	9.4860	12.0017	-	-
	kg 단위	2.3221	1.8571	-	4.6500	-	-
에너지 사용	ha 단위	4.1820	2.2487	-	0.1549	-	-
	kg 단위	0.7493	0.3284	1.0200	0.0600	-	-
수확 및 쪼갠 관리	ha 단위	-	-	0.7291	-	-	-
	kg 단위	-	-	0.0784	-	-	-
수송(자국 내이동)	ha 단위	-	-	0.0539	0.6969	-	-
	kg 단위	-	-	0.0059	0.2700	-	-
수송(해외→부산항) ⁴⁾	ha 단위	-	-	(0.5980)	(0.0774)	(0.0399)	(0.0470)
	kg 단위	-	-	(0.0643) ^{d)}	(0.0300) ^{d)}	(0.0071) ^{d)}	(0.0084) ^{d)}
건조 및 도정	ha 단위	0.3706	0.3706 ⁷⁾	0.7589	0.4130	0.3706 ⁷⁾	0.3706 ⁷⁾
	kg 단위	0.0664	0.0660 ⁷⁾	0.0816	0.1600	0.0660 ⁷⁾	0.0660 ⁷⁾
부산물	ha 단위	-	-	-1.0788	-	-	-
	kg 단위	-	-	-0.1160	-	-	-
합계	ha 단위	21.3471	18.2540	13.6774 (14.2754)	13.8342 (13.9116)	16.3460 ~ 60.2806 (16.4257 ~ 60.3204)	18.1001 ~ 21.2896 (18.1471 ~ 21.3366)
	kg 단위	3.8247	2.6783	1.4707 (1.5350)	5.3600 (5.3900)	2.9286 ~ 10.8000 (2.9429 ~ 10.8143)	3.2429 ~ 3.8143 (3.2571 ~ 3.8286)

- 1) 국내의 경우 살충제 사용
- 2) 도정전 환산 계수 적용(1.4286)
- 3) 벼 1 kg 추정을 위한 환산(1 ha = 5,581.54 kg)
- 4) 해외 항구에서 부산항까지의 거리에 대한 대한 온실가스 배출량 산정(미국(샌디에고) 10,193.41 km, 태국(방콕) 4,696.22 km, 중국(산터우) 819.92 km, 일본(히메카와) 938.21 km)
- 5) 본 연구는 임의의 표본집단 31개 농가의 설문조사를 기반으로 활동자료를 마련하였으나, 선행연구의 경우 농산물생산비조사(통계청)에 수록된 2006년 2011년의 5년 표본 중 최대·최소값을 제외한 3년 평균 수치를 이용
- 6) ha당 벼 생산량: 본 연구 및 중국, 일본 5,581.49 kg, 선행연구 6,846.99 kg, 미국 9,300 kg, 태국 2,581 kg 적용
- 7) 본 연구에서의 도정배출량 적용
- 8) 본 연구, 선행연구, 중국, 일본의 경우 도정 전 벼 1 kg가 기능단위이므로 도정 전 단계 수율(70%)을 곱한 값으로 환산($v \times (1/0.7)$)

2. 밀의 탄소발자국 산정

2.1. 국내 밀의 탄소발자국

2.1.1. 목적 및 범위 정의

■ 목적 정의

전과정평가 수행 목적은 “국내외 밀의 탄소발자국을 비교”하기 위함이다.

■ 범위 정의

▶ 기능단위

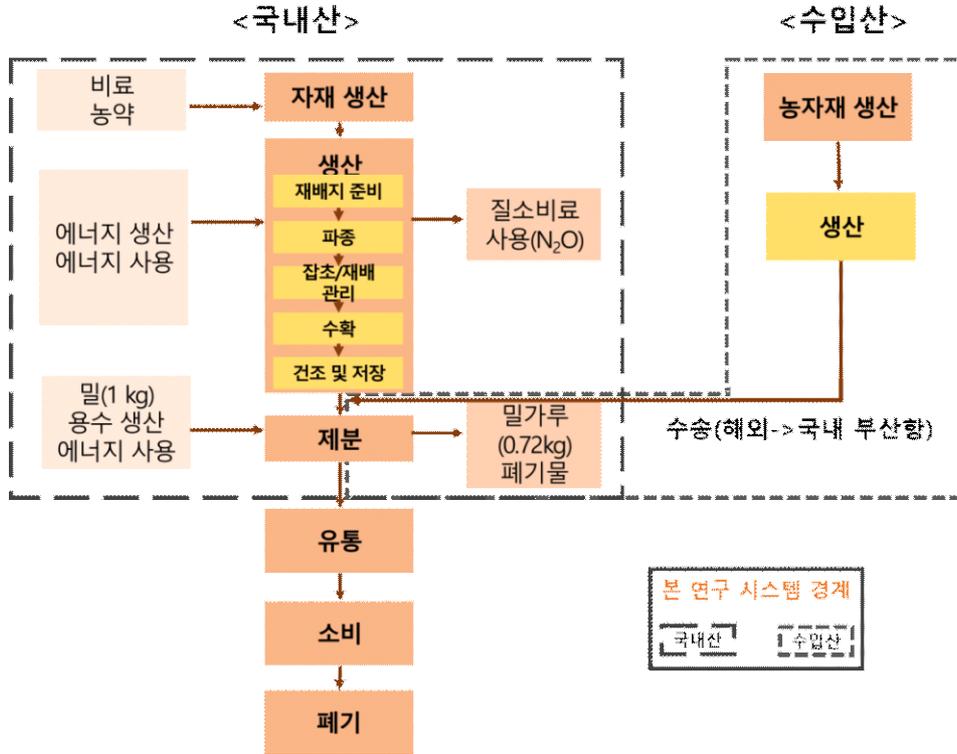
밀은 밀가루를 만들기 위해 필요한 농산물이다. <표 3.78>은 본 연구에서 밀의 탄소발자국을 산정하기 위한 기능, 기능단위, 기준흐름이다. 기능은 밀가루를 만들기 위한 농산물로 선정하였다. 기능단위는 밀의 단위중량인 “생산된 밀 1 kg”으로 선정하였다. 기준흐름도 동일하게 “생산된 밀 1 kg”으로 선정하였다.

<표 3.78> 밀의 단계별 적용 방법론 및 산정식

구분	내 용
기능	• 밀가루를 만들기 위한 농산물
기능단위	• 생산된 밀 1 kg
기준흐름	• 생산된 밀 1 kg

▶ 시스템경계

밀의 전과정은 [그림 3.63]에 나타낸 자재 생산단계, 생산단계, 제분단계, 유통단계, 소비단계, 폐기단계로 구성되며, 각 단계별 수송으로 구성된다. 본 연구에서는 자재 생산, 밀 생산, 제분까지로 한정하였으며, 수입산은 해외에서 자재 생산, 밀 생산, 밀 생산 후 국내 항구로 수송되는 과정까지 포함하였다. 밀 생산 과정은 파종 전 재배지 준비, 파종, 비료 시비, 잡초 관리, 파종 후 재배지 관리, 수확, 건조 및 저장으로 구분하였다.



[그림 3.63] 밀의 시스템 경계

<표 3.79>은 본 연구에서 시스템 경계로 선정한 공정별 개요를 나타내었다.

<표 3.79> 밀의 공정별 상세 설명

공정	공정 설명	
자재 생산	• 밀을 생산하기 위해 사용되는 비료 및 농약을 생산하는 과정	
재배지 준비	• 늦가을 땅이 얼기 전에 물이 잘 빠지도록 가장자리에 물 빠짐 골을 설치하는 과정	
파종	• 종자를 심는 과정으로 점파, 조파, 산파의 3가지로 구분하며, 파종량은 봄 파종 시 ha당 밀 종자 200~250kg임	
생산	잡초 관리	• 논외 잡초 발생 정도에 따라 파종 전 표면 로터리 또는 파종 2~3일 후 토양 처리제인 적용 약제를 살포
	재배 관리	• 물이 유입되는 것을 막아주고 가장자리 물 빠짐 골로 배수가 되도록 하는 과정
	수확	• 농기계를 이용하여 밀을 재배하는 과정
	건조 및 저장	• 밀 수확 후, 온도는 40~50°C에서 수분 함량은 12% 이내로 건조
제분	• 수확한 원맥에서 밀가루를 생산하는 과정	

▶ 데이터 범주

<표 3.80>는 본 연구에서의 데이터 범주를 나타낸 것이다. 데이터 범주는 원료, 보조물질, 에너지, 제품, 대기 배출물로 구분하였다. 생산 공정의 데이터는 수집하기 어려워, 저탄소 농산물 인증에서 제시하고 있는 밀(노지)의 평균 온실가스 배출량 자료를 이용하였다. 제분 공정의 에너지는 데이터 수집이 어려워, 환경정보공개시스템에 등록된 국내 밀가루 생산기업인 D사의 2021년 온실가스 배출량 자료를 이용하였다.

<표 3.80> 밀의 생산 및 제분 공정의 데이터 범주

공정		세부 데이터	
생산	투입물	원료	종자
		보조물질	농약, 비료
		에너지	에너지, 연료
	산출물	제품	밀
대기배출물		CH ₄ , N ₂ O	
제분	투입물	원료	원맥(수입)
		에너지	에너지, 용수
	산출물	제품	밀가루
		폐기물	껍질

- 1) 밀 생산 자료를 저탄소 농산물 인증의 온실가스 배출량 이용
- 2) 환경정보공개시스템에 등록된 D사의 2021년 온실가스 배출량 이용

▶ 데이터 품질요건

<표 3.81>은 본 연구에서의 데이터 품질요건을 나타낸 것이다. 데이터는 현장 데이터와 문헌데이터로 구분한다. 데이터는 현장 데이터를 수집하여 이용하는 것을 원칙으로 하나, 현장 데이터를 수집하기 어려운 경우에는 관련 문헌 데이터를 수집하였다. 문헌 데이터를 국가 또는 해외 LCI 데이터베이스로 연결되어 대상의 상위 및 하위 흐름에 대한 환경부하를 모두 고려하였다. 여기에서의 상위 흐름은 자재, 에너지 생산 등에 대한 흐름이며, 하위 흐름은 폐기물 등의 처리에 대한 흐름을 의미한다.

<표 3.81> 밀의 데이터 품질요건

구 분	상/하위 흐름	생산/제분 단계
시간적 범위	10년 이내 데이터	2021년
지역적 범위	해당 지역 데이터	현장 및 문헌 데이터
기술적 범위	-	밀 생산 및 제분하기 위한 최신 기술

▶ 할당

할당은 다양한 농산물을 동시에 생산할 시 투입물과 배출물을 배분하기 위해 수행된다. 본 연구에서 생산 자료는 기존 저탄소 농산물 인증제의 평균 온실가스 배출량 자료를 이용하여 할당이 수행되지 않았으며, 밀 제분공정은 밀가루만을 생산하고 있으므로 할당은 수행되지 않았다.

▶ 적용 방법론

본 연구에서는 <표 3.82>에 각 단계별로 나타낸 ISO 14044의 방법론과 국가 인벤토리 보고서에서 적용한 IPCC 방법론을 적용하였다.

<표 3.82> 밀의 단계별 적용 방법론 및 산정식

단계	온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
자재 단계 (식 1) 비료/농약	생산 단계 (식 3) 질소비료사용 (식 4) 에너지 생산 (식 5) 에너지 사용 (식 7) 수송	제분 단계 (식 4) 용수/에너지 생산 (식 5) 에너지 사용 (식 6) 폐기물처리
자재 생산	(식 1) 비료, 농약 생산 시 탄소배출량 Σ 종자, 비료, 농약 사용량 \times 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./kg)	ISO 14040/ 14044
생산	(식 3) 질소비료 사용으로 인한 N ₂ O 배출에 의한 탄소배출량 $N_2O_{Direct} = \sum_i (F_{SN_i} \times EF_{1i}) \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}^{1)}$ N ₂ O _{Direct} : 농경지토양 N ₂ O 직접배출량 (kg CO ₂ eq./kg) F _{SNi} : 연간 화학비료로 투입되는 질소량 (kg N/yr) EF _{1i} : 비료별 N ₂ O 배출계수 (kg N ₂ O-N/kg N 투입량) 44/28 : N 배출량(kg N ₂ O-N/yr)의 N ₂ O 환산계수 GWP _{N₂O} : 298, N ₂ O의 GWP	IPCC 2006

단계	온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
에너지 생산	(식 4) 연료 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg. L)}$ (식 5) 에너지 소비량 탄소배출량 ¹⁾	ISO 14040/ 14044
에너지 사용	$\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수(kgCO}_2\text{-eq./kg, L)} + \sum \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kWh)}$ (식 7) 수송 시 탄소배출량	IPCC 2006
수송 해외 수송 (수입)	$\sum \text{수송량} \times \text{수송거리} \times \text{수송 탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./ton}\cdot\text{km)}$	ISO 14040/ 14044
용수 생산	(식 4) 이용	ISO 14040/ 14044
제분 에너지 사용	(식 5) 이용	IPCC 2006
폐기물 처리	(식 6) 폐기물 처리 시 탄소배출량 $\sum \text{폐기물의 양} \times \text{폐기물 처리 방법별 탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg)}$	ISO 14040/ 14044

1) 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서(2006 IPCC GL)

▶ 가정 및 제한사항

비료, 농약 등의 생산 공장에서 농가까지의 수송거리는 다양한 경로를 이용하므로, 파악하기 어려워 제외하였다.

비료 생산을 위한 에너지는 디젤로 가정하였다. 또한, 비료, 농약, 전기 및 연료 생산, 수송, 음식물류 폐기물에 대한 자료는 현장 데이터를 수집하기 어려워 환경부, 농촌진흥청, Ecoinvent에서 제시한 탄소배출계수를 적용하였다.

생산 공정의 데이터는 수집하기 어려워, 저탄소 농산물 인증에서 제시하고 있는 밀(노지)의 평균 온실가스 배출량 자료를 이용하였다.

밀의 자재 생산단계 및 생산단계의 온실가스 배출량은 저탄소 농산물 인증에서 제시하고 있는 밀(노지)의 평균 온실가스 배출량과 2022년의 국내 밀 재배면적(1,000 m²) 및 생산량(0.4 ton)을 적용한 후, 밀 1 kg 기준으로 산정하였다.

제분 공정의 에너지는 데이터 수집이 어려워, 환경정보공개시스템에 등록된 국내 밀가루 생산기업인 D사의 2021년 온실가스 배출량 자료를 이용하였다.

수송은 자재를 생산한 후, 재배농가까지 다양한 경로로 복잡하므로 제외하였다. 또한, 농가에서 제분공장까지의 경로도 제외하였다.

수입산 밀의 국내로 수입 시의 수송거리는 밀 생산 후, 수입국 1위인 미국에서 수입하는 것으로 가정하였다. 연구 자료에 따르면 미국과 호주의 제분에 관

한 경계 설정이 되어 있지 않아서 시스템 경계 통일을 위해 미국 수입산의 경우 수입한 후 우리나라에서 제분하는 것으로 가정하였다.

해외 탄소발자국 비교를 위해 미국과 호주의 밀 1 kg 재배 시 자재 생산 단계, 재배 단계, 수출항까지 운송까지로 동일하게 시스템 경계를 설정하였다. 동일한 조건 설정을 위해 농장, 인프라 및 장비 건설은 제외하였다. 운송수단은 연구 자료에 제시되어있는 것처럼 미국의 경우 거리의 50%는 철도, 50%는 트럭 운송으로 가정하였고, 호주의 경우 100% 트럭 운송으로 가정하였다.

미국엔 다양한 품종의 밀이 있지만, 미국에서 생산되는 밀의 70~80%가 겨울 밀이며, [그림 3.64]와 같이 겨울 밀에 속하는 경질적동소맥의 41%, 켄사스 주의 생산량의 경질적백소맥 55%이다. 겨울 밀의 최대 생산지인 미국 켄사스 주의 밀 1 kg 기준으로 온실가스 배출량 및 탄소발자국을 계산하였다.

Winter Wheat

STATE	Hard Red				Soft Red				Hard White			
	2005		2006		2005		2006		2005		2006	
	1,000 Bushels	1,000 Bushels	Average	Percent	1,000 Bushels	1,000 Bushels	Average	Percent	1,000 Bushels	1,000 Bushels	Average	Percent
AL	0	0	0	0%	2250	2610	2430	1%	0	0	0	0%
AZ	160	180	170	0%	0	0	0	0%	0	0	0	0%
AR	0	0	0	0%	8320	18605	13463	4%	0	0	0	0%
CA	19008	12035	15522	2%	0	0	0	0%	648	1015	832	4%
CO	48576	37107	42842	5%	0	0	0	0%	4224	2793	3509	18%
DE	0	0	0	0%	3570	3015	3293	1%	0	0	0	0%
FL	0	0	0	0%	360	210	285	0%	0	0	0	0%
GA	0	0	0	0%	7280	5880	6580	2%	0	0	0	0%
ID	11293	10934	11114	1%	0	0	0	0%	664	547	606	3%
IL	366	1219	793	0%	36234	59751	47992	14%	0	0	0	0%
IN	0	0	0	0%	24480	31740	28110	8%	0	0	0	0%
IA	450	653	552	0%	300	535	417	0%	0	0	0	0%
KS	364800	285376	325088	41%	0	0	0	0%	15200	5824	10512	55%
KY	612	227	420	0%	19788	22493	21140	6%	0	0	0	0%
LA	144	167	155	0%	4656	5398	5027	1%	0	0	0	0%
MD	0	0	0	0%	9240	8500	8870	3%	0	0	0	0%
MI	779	1424	1101	0%	22585	28945	25765	7%	0	0	0	0%
MN	540	2790	1665	0%	0	0	0	0%	0	0	0	0%
MS	0	0	0	0%	3250	4307	3779	1%	0	0	0	0%
MO	1750	2948	2349	0%	27410	46192	36801	11%	0	0	0	0%
MT	92610	80909	86759	11%	0	0	0	0%	1890	1651	1771	9%
NE	67267	60588	63928	8%	0	0	0	0%	1373	612	992	5%
NV	0	0	0	0%	0	0	0	0%	0	26	13	0%
NJ	0	0	0	0%	1219	1320	1270	0%	0	0	0	0%
NM	9720	3840	6780	1%	0	0	0	0%	0	0	0	0%
NY	103	174	138	0%	1488	1970	1729	0%	0	0	0	0%

[그림 3.64] 미국 각 주별 겨울 밀 생산량

* 출처 : Brendan Gleason O'Donnell, Life Cycle Assessment of American Wheat: Analysis of Regional Variations in Production and Transportation

2.1.2. 전과정 목록 분석

▶ 데이터 수집 및 계산

시스템경계로 설정한 각 단계별 데이터를 수집하여 계산하였다.

▶ 자재 생산단계 및 생산단계

본 연구에서는 부록 1에 나타난 설문서를 이용하여 조사했으나, 데이터 수집이 어려워 저탄소 농산물 인증제에서 제시하고 있는 밀(노지)의 국가 평균 온실가스 배출량과 2022년 국내 밀 재배면적 및 생산량을 수집하였다.

비료, 농약 등의 생산 현장에서 농가까지의 수송 거리는 다양한 경로를 이용하므로, 파악하기 어려워 제외하였다.

<표 3.83> 밀 자재 생산단계 및 생산단계의 사용 온실가스 배출량

구 분	단위	온실가스 배출량				출처
		비료	농약	에너지	계	
밀(노지)	kg CO ₂ eq./1000m ² ·1기작	205	1	31	237	한국농업기술진흥원

<표 3.84> 국내 밀 생산정보

구 분	재배면적(ha)	생산량(ton)	생산량 원단위 (ton/m ²)	출처
2022년	8,259	33,000	0.0004	농림축산식품부 2023.05.01. 보도자료

수입산은 수입국 1위인 미국에서 생산 후 국내 부산항으로 오는 수송 거리를 고려하였다. 수입산 밀 1 kg를 기준으로 국내 부산항까지의 수송 거리를 <https://www.searates.com/services/distances-time/>에서 수집하였다. <표 3.85>에 나타난 수송량은 10.1934 ton·km로 분석되었다.

<표 3.85> 수송(미국→부산항) 정보

밀(kg)	수송 거리(km)	수송량(ton·km)
1	10,193.41	10.1934

수송 시 사용한 외항선(컨테이너선)의 탄소배출계수는 <표 3.59>에 나타난 자료를 이용하였다.

▶ 제분단계

제분단계는 원맥을 밀가루로 만드는 단계로, 본 연구에서는 국내에서 밀가루 생산량이 가장 높은 “D”사의 자료를 환경정보공개시스템에서 공개된 2021년 밀 생산정보, 온실가스 배출량, 용수사용량을 수집하였다. 한편, 밀 사용량은 밀가루 대비 제분수율인 72%를 적용하여 산정하였다. 제분단계에서 사용하는 전기, 용수인 공업용수, 일반폐기물의 탄소배출계수는 <표 3.86>에 나타난 자료를 이용하였다.

<표 3.86> 제분 공정 정보

구 분	단위	값 (밀가루 2021년)	값 (밀 1 kg 기준)
밀(수입산)	ton	638,354	1.0000
용수	ton	64,450	0.1010
에너지로 인한 온실가스 배출량	ton CO ₂ eq.	21,130	0.0331
일반폐기물	ton	178,739	0.2800
밀가루	ton	459,615	0.7200

▶ 목록분석 결과 및 탄소배출계수 정보

본 연구에서는 산정한 밀 1 kg 기준의 각 공정별 목록분석 결과와 수집한 탄소배출계수를 <표 3.87>에 정리하였다.

<표 3.87> 밀 1 kg 기준의 공정별 목록분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보

공정	구분	단위	값 (밀 1 kg 기준)	물질	사용 탄소배출계수 정보			
					단위	탄소배출계수	출처	
자재생산	투입물	비료	kg					
		농약	kg					
생산	투입물	전기	kWh					
		경유	kg		데이터 수집의 한계로 미수집하였으며, 밀(노지)의 저탄소 농산물 인증제의 평균 온실가스 배출량 자료 이용			
		휘발유	kg					
	등유	kg						
	경유	L						
	산출물	휘발유	L					
		등유	L					
		비료 시비	kg					
	수송	해외 수송	ton·km	10.3829	해양 수송 (외항선 (컨테이너))	kg CO ₂ eq./ton·km	2.11E-03	환경부
	재배	투입물	에너지	-	"D"사의			
용수			kg	0.1010	공업용수 생산	kg CO ₂ eq./kg	2.11E-04	환경부
산출물		일반 폐기물	kg	0.2800	음식물 쓰레기 재활용	kg CO ₂ eq./kg	1.12E-02	환경부

2.1.3. 탄소배출량 산정

수집한 데이터를 이용하여 각 단계별 탄소배출량을 산정하였다.

▶ 자재 생산단계 및 생산단계

자재 생산단계 및 생산단계에서의 온실가스 배출량은 <표 3.88>에 나타난 밀 (노지)의 평균 온실가스 배출량과 2022년의 국내 밀 재배면적 및 생산량을 적용한 후, 밀 1 kg 기준으로 산정하였다. 산정 결과 0.5925 kg CO₂ eq./kg-밀로 나타났다. 또한, 수입산은 해외에서 생산 후 국내로 수송되는 과정에서 온실가스 배출량이 발생한다. 수송과정에서의 온실가스 배출량은 <표 3.46>에 나타난 식 7을 이용하여 <표 3.88>에 나타난 밀 1 kg 기준의 수송량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. <표 3.89>에 나타난 산정결과는 밀 1 kg 기준으로 0.0937 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.88> 밀 자재 생산 및 생산 시 온실가스 배출량

밀 생산량 원단위 (ton/m ²)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./1000m ² ·1기작)				온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-밀)			
	비료	농약	에너지	계	비료	농약	에너지	계
0.0004	205	1	31	237	0.5125	0.0025	0.0775	0.5925

<표 3.89> 수입산 밀의 수송(미국→부산항) 시 온실가스 배출량

수송량(ton·km)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./ton·km)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-밀)
10.1934	9.02E-03	0.0937

▶ 제분단계

제분단계의 온실가스 배출량은 “D” 공장의 생산데이터를 이용하여 산정하였으며, 에너지에 의한 온실가스 배출량은 환경정보공개시스템에서 제공하는 2021년 “D”사의 온실가스 배출량을 이용하였으며, 용수와 일반폐기물은 식 5, 6를 이용하여 산정하고, 결과는 <표 3.90>에 나타냈으며, 밀 1 kg 기준으로 온실가스 배출량은 0.0362 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.90> 제분단계의 온실가스 배출량

구분	단위	값 (밀 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-밀)
용수	kg	0.1010	2.11E-04	0.0000213
에너지로 인한 온실가스 배출량	kg CO ₂ eq.	0.0331	-	0.0331
일반폐기물	kg	0.2800	1.12E-02	0.00314
합계				0.0362613

▶ 전과정 온실가스 배출량

국내산 밀에 대해 전과정에 걸쳐 온실가스 배출량을 <표 3.91>에 나타내었다. 농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 공통지침(2022)의 원칙 따라 농산물에 대한 온실가스 배출량은 단위 농지 면적(1,000m²)·1기작을 기준으로 산정하였다. 밀 1 kg 기준, 온실가스 배출량은 0.6288 kg CO₂ eq.로 나타났으며, 자재생산 및 생산의 탄소배출량 비중이 94.23%, 제분단계 비중이 5.77%로 나타났다. 자재생산 및 생산단계 중에서도 비료에 따른 과정에서 발생하는 온실가스 배출량은 0.5125 kg CO₂ eq./kg-밀로 자재생산 및 생산단계 온실가스 배출량의 81.42%를 차지하였다. 이어서 에너지 생산 및 사용에 의한 온실가스 배출량이 0.0775 kg CO₂ eq./kg-밀로 자재생산 및 생산단계 온실가스 배출량의 12.31%를 차지하였다. 한편, 농약에 따른 과정에서는 0.0025 kg CO₂ eq./kg-밀이 발생하는 것으로 나타났으며, 이는 국내산 밀 전과정 온실가스 배출량의 0.40% 수준으로 매우 미미한 배출량으로 볼 수 있다.

<표 3.91> 국내산 밀의 전과정 온실가스 배출량

구분	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-밀)		비율(%)		비고
자재 생산 및 생산	비료	0.5125	81.50		-
	농약	0.0025	0.5925	0.40	94.23
	에너지 생산 및 사용	0.0775	12.33		-
제분		0.0363	5.77		-
합계		0.6288	100.00		-

자재 생산·생산·수송 단계의 경우 한국농업기술진흥원(2022)의 저탄소 농산물 인증(이하 선행연구)에서 제시하고 있는 밀(노지)의 평균 온실가스 배출량 자료를 이용하였으므로 선행연구와의 편차는 존재하지 않는다. 다만, 본 연구에서는 제분 단계를 고려하였으므로, 제분 단계에서 발생하는 0.0363 kg CO₂ eq.만큼 전체 온실가스 배출량 비교시에는 편차가 존재한다.

<표 3.92> 밀의 온실가스 배출량 계산과정 (단위 : (kg CO₂/밀-1 kg))

구분	선행연구(A)	본 연구(B)	결과값 A	결과값 B	증감 (B-A)	증감율
자재 생산	비료/농약	비료, 농약 생산 시 탄소배출량 Σ종자, 비료, 농약 사용량 × 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./kg)				
생산	질소비료 사용으로 인한 아산화질소(N ₂ O) 배출	질소비료 사용으로 인한 N ₂ O 배출에 의한 탄소배출량 $N_2O_{Direct} = \sum_i (F_{SN_i} \times EF_{1i}) \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}^{(1)}$ N ₂ O _{Direct} : 농경지토양 N ₂ O 직접배출량 (kg CO ₂ eq./kg) F _{SNi} : 연간 화학비료로 투입되는 질소량 (kg N/yr) EF _{1i} : 비료별 N ₂ O 배출계수 (kg N ₂ O-N/kg N 투입량) 44/28 : N 배출량(kg N ₂ O-N/yr)의 N ₂ O 환산계수 GWP _{N₂O} : 298, N ₂ O의 GWP	0.5150	0.5150	-	-
	에너지 생산 에너지 사용	연료 생산 시 탄소배출량 Σ연료(경유, 휘발유 등) 사용량 × 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./kg. L) 에너지 소비량 탄소배출량 ¹⁾ Σ연료(경유, 휘발유 등) 소비량 × 직접배출계수(kgCO ₂ -eq./kg, L)+Σ전력사용량 × 간접배출계수(kg CO ₂ -eq./kWh)	0.0775	0.0775	-	-
제분	용수 생산	연료 생산 시 탄소배출량 Σ연료(경유, 휘발유 등) 사용량 × 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./kg. L) 에너지 소비량 탄소배출량 ¹⁾ Σ연료(경유, 휘발유 등) 소비량 × 직접배출계수(kgCO ₂ -eq./kg, L)+Σ전력사용량 × 간접배출계수(kg CO ₂ -eq./kWh)				
	에너지 사용		-	0.0363	0.0363	순증
	폐기물 처리	폐기물 처리 시 탄소배출량 Σ폐기물의 양 × 폐기물 처리 방법별 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./kg)				
밀 생산 전과정 CO ₂ 배출량 합계			0.5925	0.6288		

제분 단계에서의 온실가스 배출량은 “D” 공장의 생산데이터를 이용하여 산정하였으며, 에너지에 의한 온실가스 배출량은 환경정보공개시스템에서 제공하는 2021년 “D”사의 온실가스 배출량을 이용하였다. 제분 단계에서 용수에 의한 온실가스 배출량, 에너지로 인한 온실가스 배출량, 일반폐기물로 인한 온실가스 배출량으로 구분하여 계산하였으며, 밀 1 kg 기준, 용수에 의한 온실가스 배출량 0.0000213 kg CO₂ eq./kg-밀, 에너지로 인한 온실가스 배출량 0.00314 kg CO₂ eq./kg-밀, 일반폐기물 0.00314 kg CO₂ eq./kg-밀의 합산 결과, 제분 단계의 온실가스 배출량은 0.03626 kg CO₂ eq./kg-밀로 나타났다.

2.2. 해외 밀의 탄소발자국 사례

2.2.1. 온실가스 배출량 산정식

<표 3.93>는 각 국가에서 밀의 전과정에 걸쳐 온실가스 배출량을 산정하기 위한 식을 나타내었다. 각 단계별로 온실가스 배출량 산정식은 <표 3.82>에 나타낸 식을 이용하였다. 밀의 전과정은 밀을 생산하기 위한 자재 생산, 수송, 밀의 생산, 수확한 밀을 밀가루로 만드는 제분, 밀의 유통, 소비를 거쳐 폐기된다. 주로 해외에서 밀의 시스템 경계는 자재 생산, 밀 생산, 제분, 수송까지로 선정되었다. 자재 생산, 수송, 밀의 생산, 에너지 생산, 폐기물 처리 시의 온실가스 배출량은 ISO 14040과 14044의 방법론을 적용하였으며, 질소 비료 사용으로 인한 아산화질소 배출, 에너지 사용에 의한 온실가스 배출량은 IPCC 방법론을 적용하되, 지구온난화지수는 <표 3.73>에 나타낸 IPCC 2006을 적용하였다.

<표 3.93> 밀의 온실가스 배출량 산정식

단계	온실가스 배출량 산정식		적용 방법론
자재 생산	종자/비료/ 농약 생산	(식 1) 이용	ISO 14040/14044
수송	수송	(식 7) 이용	ISO 14040/14044
생산	질소비료 시비로 인한 아산화질소 (N ₂ O) 배출	(식 3) 이용, GWP는 해당연도 이용	IPCC 2006
	에너지 생산	(식 4) 이용	ISO 14040/14044
	에너지 사용	(식 5) 이용	IPCC 2006, 2013

단계	온실가스 배출량 산정식		적용 방법론
수송	수송	(식 7) 이용	ISO 14040/14044
	에너지 생산	(식 5) 이용	ISO 14040/14044
제분	에너지 사용	(식 6) 이용	ISO 14040/14044
	폐기물 처리	(식 6) 이용	ISO 14040/14044

2.2.2. 해외 밀의 탄소발자국 분석

각 국가별 온실가스 배출량을 조사하여 <표 3.94>에 정리하였으며, 이 중, 대표적인 수입국인 미국과 호주를 중점적으로 비교 분석하였다. 미국과 호주 모두 시스템경계는 동일하고, 적용 방법론은 ISO 14040/14044와 IPCC 방법론을 적용하였다. 지구온난화지수는 IPCC 2006을 이용하고 있다. 미국과 호주는 밀 1 kg을 기준으로 자재 생산, 수송, 밀 생산, 수출항까지 운송을 산정하였다. 미국의 경우 재배지에서 항구까지 거리를 420 km로 잡았고, 호주의 경우 재배지에서 항구까지 거리를 180 km로 잡았다. 밀 자재 수송 및 항구로 운송 시는 미국의 경우 기차와 트럭을 같이 이용하지만, 호주는 트럭을 이용한다. 미국의 밀에 대한 연구 자료³⁶⁾와 호주의 밀에 대한 연구자료³⁷⁾에 따르면 미국은 50%씩 기차와 트럭을 이용한 경우, 호주는 트럭만 이용한 경우로 온실가스 배출량 계산을 하였는데, 미국과 호주의 운송 거리를 같다고 가정하였을 때 운송 시 발생하는 온실가스 배출량이 호주가 미국보다 많으므로 기차와 트럭을 이용한 경우가 트럭을 이용한 경우보다 밀 1 kg 기준 온실가스 배출량이 적은 것을 확인할 수 있다.

미국에서 옥수수과 대두에 이어 경작면적이 세 번째로 크며 매년 5,500만 ton 이상이 생산되고 있다. 밀은 미국 대부분의 지방에서 재배되며 지방마다 다양한 경작 여건만큼 다양한 종류의 밀 재배가 가능하다. 밀이 자라는 시기에 따라 봄 밀과 겨울 밀로 나눌 수 있다. 미국 농무부에 따르면 겨울 밀이 미국 전체 생산

36) O'Donnell, Brendan Gleason. Life cycle assessment of American wheat: Analysis of regional variations in production and transportation. Diss. University of Washington, 2009

37) Biswas, Wahidul K., Louise Barton, and Daniel Carter. "Global warming potential of wheat production in Western Australia: a life cycle assessment." Water and Environment Journal 22.3 (2008): 206-216.

되는 밀의 70 ~ 80% 차지하고 있고, 겨울 밀은 96%가 캔사스에서 재배된다. 이에 따라 미국 주별 밀 1 kg 기준 온실가스 배출량 산정 연구자료에서 캔사스를 기준으로 산정하였다.

호주는 국토 면적이 크고 바다로 둘러싸여 있어 열대, 아열대, 온대 등 다양한 기후대가 고르게 분포하며, 날씨는 대체로 청명하고 평균 강수량이 적은 편이다. 호주 온실가스청(Australian Greenhouse Office), 서호주 농업식품부, 곡물연구개발공사(Grains Research Development Corporation)에 따르면 호주의 곡물 주산지 중 하나인 서남부 연안 농업 단지는 아열대와 온대지역을 중심으로 분포하고 약 1,800만 ha의 반건조 지역으로 구성되어 있으며 호주 연간 곡물 생산량의 40%를 담당하고 있다. 반건조 기후로 연간 강수량이 368 mm이고 주로 겨울철에 내린다. 일일 평균 최고 기온은 25.1°C, 일일 평균 최저 기온은 11.4°C이다. 호주의 밀 재배 지역은 강수량과도 밀접한 관련이 있다. 밀은 1,000 mm 이하의 강수량인 지역에서 재배가 되며, 그 이상인 지역은 쌀과 같은 작물이 적합하다. 밀은 건조하고 온화한 날씨에서 가장 잘 자라는 특성대로 호주의 남쪽에 곡물 재배 지역이 위치한다.

<표 3.94> 밀의 해외 탄소 발자국 분석

품목	국가	기능단위	시스템 경계	탄소발자국 (kg CO ₂ eq.)	출처	지원 부처	적용 방법론
	미국	1 kg of wheat	자재 생산 → 자재 수송 → 생산 → 수송	0.262	Brendan Gleason O'Donnell (2008)	University of Washington	ISO 14040 IPCC, 2006
밀	호주	1 kg of wheat (2.7 ton/ha)	자재 생산 → 자재 수송 → 생산 → 수송	0.2694	Wahidul (2008)	the Australian Greenhouse Office, Department of Agriculture & Food Western Australian	IPCC, 2006

<표 3.95> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항

(a) 미국

단계	고려 사항	LCI DB	적용 방법론
농자재 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 비료 생산을 위한 에너지는 디젤로 가정 - 질소(N) 및 인(P) 비료를 고려 - 기존 밀 생산에 사용되는 총 수명 주기 에너지의 2% 미만을 차지하는 칼륨 비료 또는 잔류물 관리 관행에 따라 석회의 사용은 포함하지 않음 - 종자 생산은 시스템 경계에서 제외 	미국 농무부 (USDA)	ISO 14040/14044
수송	<ul style="list-style-type: none"> - 곡물 재배 투입물의 장거리 운송을 고려 - 운송 영향은 트럭 및 철도 모드 분석 - 분뇨 수송은 100km를 초과하지 않음 - 농약은 생산지에서 농장까지 1000km를 이동 	미국 농무부 (USDA)	ISO 14040/14044
생산	<ul style="list-style-type: none"> - 분뇨의 밀도와 관련 수송 비용으로 인해 분뇨는 일반적으로 농장 근처(기본 사례의 경우 30km) 내에서 얻음 	미국 농무부 (USDA)	IPCC 2006
	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 제초제는 글리포세이트 또는 2,4-D를 포함하고 50% 활성 성분을 포함 	국가 살충제 사용 데이터 (NCFAP)	
	<ul style="list-style-type: none"> - 연료 생산과 관련된 GHG 및 에너지 사용은 EIO-LCA 의 석유 정제 부문에서 수집 	-	ISO 14040/14044
	<ul style="list-style-type: none"> - 연료는 받을 준비하고, 종자를 심고, 해충과 잡초를 관리하고, 작물을 수확하기 위해 농기구에 사용 - 미국 에너지 정보국 정보 사용 	미국 농무부 (USDA)	IPCC 2006
수송	<ul style="list-style-type: none"> - 캔사스 주 에서 아시아국(한국,일본)으로의 수출항 까지 설정 - 거리의 50%는 철도, 50%는 트럭 운송 한다고 가정하고, 420 km로 설정 	미국 농무부 (USDA)	ISO 14040/14044
에너지 생산	시스템 경계 제외		
에너지 사용	시스템 경계 제외		
폐기물 처리	시스템 경계 제외		
유통	수송	시스템 경계 제외	
소비	소비	시스템 경계 제외	
폐기	폐기	시스템 경계 제외	

(b) 호주

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	종자/비 료/ 농약 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 호주 LCA 데이터베이스(Royal Melbourne Institute of Technology, 2007)는 살충제 및 제초제와 같은 화학 투입물의 생산으로 인한 GHG 배출량을 계산하는 데 사용 - 단일 과인산염에 대한 배출 계수는 호주 데이터베이스에서 데이터를 사용할 수 없기 때문에 비료 제조업체(CSBP Ltd, Perth; C. Schuster pers. comm.)에서 얻음 	RMIT 및 제조업체	ISO 14040/ 14044
수송	수송	<ul style="list-style-type: none"> - 비료, 농약 운송 포함 (디젤 이용한 트럭 이용) 	RMIT	ISO 14040/ 14044
생산	비료 시비	<ul style="list-style-type: none"> - N 비료 적용으로 인한 N₂O 배출은 포함 	-	IPCC 2006
	농약 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 특정 화학물질(예: 일부 제초제 및 살충제)에 대한 일부 데이터베이스를 사용할 수 없었기 때문에 제조업체 자료 이용 	-	IPCC 2006
	에너지 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 농기계 이용 (디젤 이용) 	RMIT	IPCC 2006
	에너지 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 농기계 이용 (디젤 이용) 	RMIT	IPCC 2006
수송	수송	<ul style="list-style-type: none"> - 재배지에서 수출항 까지 설정 - 180km 설정 	-	-
제분	에너지 생산	시스템 경계 제외	-	-
	에너지 사용	시스템 경계 제외	-	-
	폐기물 처리	시스템 경계 제외	-	-
유통	수송	시스템 경계 제외		
소비	소비	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

2.3. 국내의 밀의 탄소발자국 비교

<표 3.94>에서 제시한 바와 같이 국가별로 정리한 계산식에는 일부 차이가 있으나, 온실가스 배출량을 직접 비교를 위하여 <표 3.96>와 같이 단계별 온실가스 배출량을 세분화한 후, 미국산·호주산 밀이 국내로 수입되는 것을 가정, <표 3.97>과 같이 단계별 온실가스 배출량을 정리하였다. 상호 공통 단계를 추려내어 비교 분석을 수행한 결과, 국내의 경우, 비료 단계에서의 온실가스 배출량은 0.51 kg CO₂ eq.로 미국(0.17 kg CO₂ eq.)과 비교하였을 때 약 3배 높은 배출량을 보였으며, 호주(0.17 kg CO₂ eq.)와 비교하여서는 약 3.8배 높은 배출량을 보였다. 농약 단계에서 국내의 온실가스 배출량은 0.0025 kg CO₂ eq.로 미국(0.0026 kg CO₂ eq.)과 유사한 배출량을 보였으나, 호주(0.1656 kg CO₂ eq.)와 비교하여서는 약 10배 이상 낮았다. 에너지 사용 단계에서 국내의 온실가스 배출량은 0.08 kg CO₂ eq.로 미국(0.07 kg CO₂ eq.)에 비하여서는 5% 가량 많은 것으로 나타났으며, 호주(0.11 kg CO₂ eq.)에 비하여서는 약 72.6% 수준으로 나타났다.

종합적으로, 국내산 밀의 전과정 온실가스 배출량은 0.63 kg CO₂ eq.로 산정되었으며, 수입산 밀을 국내에서 재분하는 것을 가정하였을 때, 미국(0.39 kg CO₂ eq.)의 160.4%, 호주(0.38 kg CO₂ eq.)의 166.8% 수준으로 나타났다.

이와 같은 국내의 밀의 탄소발자국 비교 분석 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 우리나라의 비료 사용으로 인한 온실가스 배출량은 자재 수송이 포함된 미국과 호주보다도 높게 나타났는데, 이는 우리나라가 미국, 호주와 비교하여 토양 및 기후가 밀 재배에 어려운 측면이 있어 비료 투입량이 상대적으로 많기 때문이다. 이는 시비 처방 시스템으로부터 적정 비료 시비량 정보를 확보, 밀 경작지 내 적합한 양의 비료를 적용하는 노력이 온실가스 감축에 효과적인 방법이 될 수 있음을 시사한다. 반면, 국내 밀 생산 시 농약 사용으로 인한 온실가스 배출량은 미국과 유사하나 호주보다는 10배 이상 적다. 이는 호주의 경우, 경작 면적이 넓어 농약 수송에 의한 영향이 큰 것으로 판단되며, 이는 에너지 생산 및 사용에서의 온실가스 배출량에도 같은 맥락에서 해석이 가능한 것으로 사료된다.

<표 3.96> 국내외 밀의 전과정 온실가스 배출량

구분	온실가스 배출량(ton CO ₂ eq./ha, kg CO ₂ eq./kg-밀 1 kg)				
	국내 (본연구)	국내 (선행연구)	미국	호주	
비료	ha 단위	2.1674	2.1674	0.4931	0.3358
	kg 단위	0.5125	0.5125	0.1656	0.1338 ¹⁾
농약	ha 단위	0.0106	0.0106	0.0077	0.0707
	kg 단위	0.0025	0.0025	0.0026	0.0280 ¹⁾
에너지	ha 단위	0.3277	0.3277	0.2141	0.2694
	kg 단위	0.0775	0.0775	0.0719	0.1067
자재 수송	ha 단위	-	-	0.0334	- ²⁾
	kg 단위	-	-	0.0112	- ²⁾
농기계 생산	ha 단위	-	-	0.0299	0.0023
	kg 단위	-	-	0.0107	0.0009
수송(해외 →부산항) ⁴⁾	ha 단위	-	-	(0.2790) ³⁾	(0.1798) ³⁾
	kg 단위	-	-	(0.0937) ³⁾	(0.0712) ³⁾
제분	ha 단위	0.1535	-	-	-
	kg 단위	0.0363	-	-	-
합계	ha 단위	2.6592	2.5057	0.7802 (1.0593)	0.6802 (0.8600)
	kg 단위	0.6288	0.5932	0.2620 (0.3557)	0.2694 (0.3406)

- 1) 수입산(호주) 밀의 비료와 농약에 의한 온실가스 배출량은 비료 및 농약 수송 포함
- 2) 수입산(호주) 자재 수송은 비료와 농약 부분에 포함
- 3) 해외 항구에서 부산항까지의 거리에 대한 온실가스 배출량 산정(미국(샌디에고) 10,193.41 km, 호주(퍼스) 7,744.6 km)
- 4) 저탄소 농산물 인증에서 제시하고 있는 밀(노지)의 평균 온실가스 배출량 자료, 환경정보공개시스템에 등록된 국내 밀가루 생산기업인 D사의 2021년 온실가스 배출량 자료 이용
- 5) ha당 밀 생산량: 국내 4,229 kg, 미국 2,978 kg, 호주 2,525kg 적용

한편, 본 연구에서 설정한 시스템 경계와 해외 문헌 자료의 산정 방식은 연구 목적 차이에 따른 시스템 경계의 상이함으로 인하여 비교분석에 있어 일정 부분 한계를 지닌다. 예를 들어, 미국·호주 문헌에서 다루고 있는 농기계 생산 과정 등에서의 온실가스 배출량의 경우, 본 연구에서는 Cut-off 기준³⁸⁾에 해당하므로 시스템 경계에서 제외하였다. 한편, 제분 공정의 특성상 수입산 밀의 수송 및 국내 제분 단계를 고려하여 비교 가능한 수준으로 데이터를 가공, 결과 분석을 수행하였으므로 국내외 밀 전과정에서 발생하는 온실가스 배출량의 정량화·가시화를 통해 종합적인 비교가 가능하다. 결론적으로 국내 밀의 전과정 온실가스 배출량과 미국산, 호주산 밀의 온실가스 배출량을 비교하였을 때, 우리나라의 비료로 인한 밀의 온실가스 배출량 0.5125 kg CO₂ eq./밀-1 kg, 미국은 0.1656 kg CO₂ eq./밀-1 kg, 호주는 0.1338 kg CO₂ eq./밀-1 kg 으로서 우리나라의 비료 사용에 의한 온실가스 배출량이 미국산, 호주산의 약 3배 이상 큰 것을 확인할 수 있다. 토양 및 기후가 밀 재배에 어려운 측면이 있어 비료 투입이 많은 경향성을 보인다. 이에 대해 우리나라 토양에 맞고 환경영향이 적은 비료 기술 개발 등의 방안이 필요하다. 또한, 본 연구에서는 선행연구에서 고려하지 않은 제분과정에서의 국내 밀 온실가스 배출량 0.0363 kg CO₂ eq./ 밀 1 kg 을 고려하였다. 국내 밀 전과정 온실가스 배출량을 고려하였을 때 제분 단계에 의한 온실가스 배출량은 전체의 5.75%로 적지 않은 부분을 차지하고 있다. 제분단계의 온실가스 배출량은 용수, 에너지, 일반폐기물에 의한 온실가스 배출량으로 구분되는데 그 중 에너지로 인한 온실가스 배출량이 제분단계의 온실가스 배출량 중 91.2%로 많이 차지하고 있으므로 제분 단계에서 에너지를 줄일 수 있는 방안이 필요할 것으로 사료된다.

38) 환경영향이 미미하거나 중요도가 낮아 연구 목적에 맞게 시스템 경계에서 제외할 단위 공정 또는 제품 시스템과 관련된 물질, 에너지 흐름량에 대한 기준. 일반적으로 전체 물질 수지의 5% 미만을 차지하는 양은 Cut-off가 가능한 것으로 간주(ISO(2022). ISO 14044:2006)

3. 옥수수의 탄소발자국 산정

3.1. 국내 옥수수의 탄소발자국

3.1.1. 목적 및 범위 정의

■ 목적 정의

전과정평가 수행 목적은 “국내외 옥수수의 탄소발자국을 비교”하기 위함이다.

■ 범위 정의

▶ 기능단위

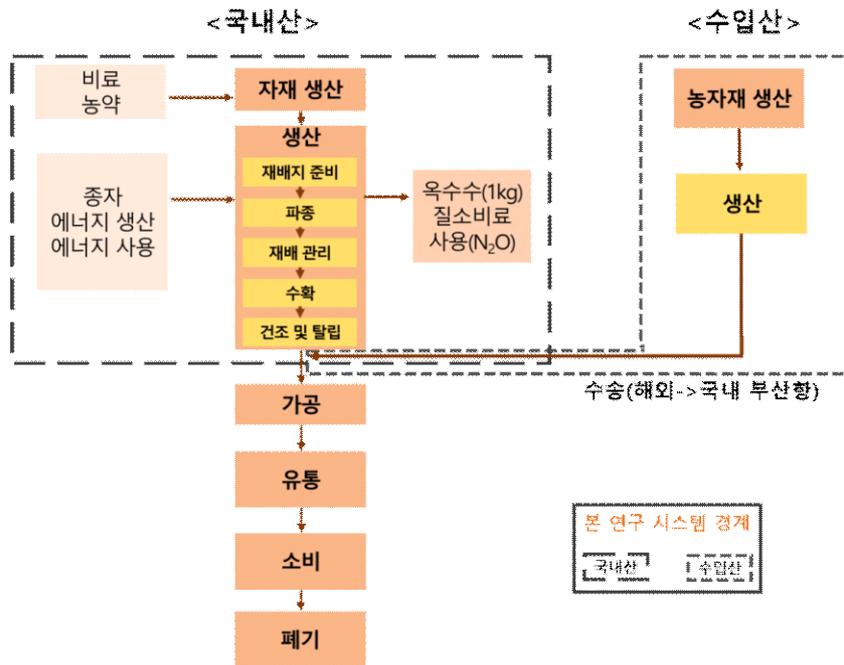
옥수수는 식용과 사료로 사용되는 농산물이다. <표 3.97>은 본 연구에서의 옥수수의 탄소발자국을 산정하기 위한 기능, 기능단위, 기준흐름을 정의하였다. 기능은 식용 또는 사료용으로 사용하는데, 국내산은 사료용 옥수수의 데이터의 수집이 어려워 식용으로 사용하는 농산물로 설정하였다. 기능단위는 옥수수의 단위중량인 “생산된 옥수수 1 kg”으로 선정하였다. 기준흐름도 동일하게 “생산된 옥수수 1 kg”으로 선정하였다.

<표 3.97> 옥수수의 기능, 기능단위 및 기준흐름

구분	내 용
기능	식용으로 사용하기 위한 농산물
기능단위	생산된 옥수수 1 kg
기준흐름	생산된 옥수수 1 kg

▶ 시스템경계

옥수수의 전과정은 [그림 3.65]에 나타낸 농자재 생산단계, 생산단계, 가공단계, 유통단계, 폐기단계로 구성되며, 단계별 수송으로 구성된다. 본 연구에서는 자재 생산, 옥수수 생산까지로 한정하였으며, 수입품은 해외에서 자재 생산, 옥수수 생산 후 국내 항구로 수송되는 과정까지 포함하였다. 옥수수 생산과정은 재배지 준비, 파종, 재배 관리, 수확, 건조 및 탈립으로 구분하였다.



[그림 3.65] 옥수수의 시스템 경계

<표 3.98>은 본 연구에서 시스템 경계로 선정한 공정별 개요를 나타내었다.

<표 3.98> 옥수수의 공정별 상세 설명

공정	공정 설명
자재 생산	• 옥수수를 생산하기 위해 사용되는 비료 및 농약을 생산하는 과정
재배지 준비	• 땅을 깊게 파고, 흙을 부드럽게 깨뜨리는 과정
파종	• 씨앗을 심는 과정
생산	재배 관리 • 옥수수를 재배하는 과정으로 비료 시비를 통하여 조절하는 과정
	수확 • 농기계를 이용하여 옥수수를 수확하는 과정
건조 및 탈립	• 수확한 옥수수를 건조 후, 수분 함량이 17~20%일 때 탈립기를 이용하여 옥수수 낱알을 이삭에서 따내는 과정

▶ 데이터 범주

<표 3.99>는 본 연구에서의 데이터 범주를 나타낸 것이다. 데이터 범주는 원료, 보조 물질, 에너지, 제품, 대기 배출물로 구분하였다.

<표 3.99> 옥수수의 생산 공정의 데이터 범주

공정	세부 데이터	
생산	원료	씨앗
	투입물	보조물질, 살균제, 비료
	에너지	전력, 경유, 휘발유, 등유
	제품	옥수수
산출물	대기 배출물	N ₂ O

▶ 데이터 품질요건

<표 3.100>은 본 연구에서의 데이터 품질요건을 나타낸 것이다. 데이터는 현장데이터와 문헌 데이터로 구분한다. 데이터는 현장데이터를 수집하여 이용하는 것을 원칙으로 하나, 현장 데이터를 수집하기 어려운 경우에는 관련 문헌 데이터를 수집하였다. 문헌 데이터를 국가 또는 해외 LCI 데이터베이스로 연결되어 대상의 상위 흐름에 대한 환경부하를 모두 고려하였다. 본 연구에서는 상위 흐름은 자재, 에너지 생산 등에 대한 흐름을 의미한다.

<표 3.100> 옥수수의 데이터 품질요건

구 분	상/하위 흐름	생산 단계
시간적 범위	10년 이내 데이터	2022년
지역적 범위	해당 지역 데이터	현장 및 문헌 데이터
기술적 범위	-	옥수수 생산하기 위한 최신 기술

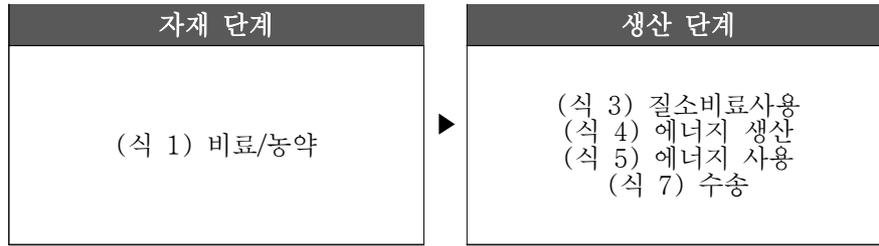
▶ 할당

할당은 다양한 농산물을 동시에 생산할 시 투입물과 배출물을 배분하기 위해 수행된다. 본 연구에서는 옥수수를 생산하고 있으므로 할당을 적용하지 않았다.

▶ 적용 방법론

본 연구에서는 <표 3.101>에 단계별로 나타낸 ISO 14044의 방법론과 국가 인벤토리 보고서에서 적용한 IPCC 방법론을 적용하였다.

<표 3.101> 옥수수의 단계별 적용 방법론 및 산정식



단계		온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
농자재 생산	비료/ 농약	(식 1) 비료, 농약 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{종자, 비료, 농약 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg})$	ISO 14040/14044
	질소비료 사용으로 인한 아산화질소 (N ₂ O) 배출	(식 3) 질소비료 사용으로 인한 N ₂ O 배출에 의한 탄소배출량 $N_2O_{Direct} = \sum_i (F_{SN_i} \times EF_{1i}) \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}^{1)}$ N_2O_{Direct} : 농경지토양 N ₂ O 직접배출량 (kg CO ₂ eq./kg) F_{SN_i} : 연간 화학비료로 투입되는 질소량 (kg N/yr) EF_{1i} : 비료별 N ₂ O 배출계수 (kg N ₂ O-N/kg N 투입량) $44/28$: N 배출량(kg N ₂ O-N/yr)의 N ₂ O 환산계수 GWP_{N_2O} : 298, N ₂ O의 GWP	IPCC 2006
재배	에너지 생산	(식 4) 연료 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg, L})$	ISO 14040/ 14044
	에너지 사용	(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량 ¹⁾ $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times$ $\text{직접배출계수} (\text{kgCO}_2\text{-eq./kg, L}) + \sum \text{전력사용량} \times$ $\text{간접배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kWh})$	IPCC 2006
수송	해외 수송 (수입)	(식 7) 수송 시 탄소배출량 $\sum \text{수송량} \times \text{수송거리} \times \text{수송 탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./ton}\cdot\text{km})$	ISO 14040/ 14044

1) 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서(2006 IPCC GL)

▶ 가정 및 제한사항

국내산 옥수수는 사료용 옥수수의 생산 데이터를 수집하기 어려워 식용 옥수수의 생산 데이터를 이용하였다. 비료, 농약 등의 생산 공장에서 농가까지의 수송거리는 ① 생산된 옥수수의 중량 대비 차지하는 비중이 미미하며 ② 비료, 농약의 종류에 따라 다양한 경로를 이용하므로 정확한 온실가스 배출량 산정에 어려움이 있어 산정에서 제외되었다.

비료는 토양, 품종, 파종기, 재배 목적, 지역에 따라 상이하다. 또한, 옥수수가

땅에 있는 비료를 모두 흡수하는 것이 아니므로 적정량이 요구된다. 일반적으로 옥수수 전용 복합비료가 없으므로 벼 복합비료(질소 21%, 인산 17%, 칼리 17%)의 양을 조절하여 사용한다.³⁹⁾ 따라서 본 연구에서는 유효성분 100%, 질소함유율 21%, 건조 중량률 100%의 비료를 이용하는 것으로 가정하였다.

농약은 병충해 방지를 위해 사용되는데 그 종류는 지역적 특성, 병충해의 종류, 작용기작에 따라 상이하다. 따라서 본 연구에서는 농약 허용기준 강화제도를 따라 국내에서 옥수수 재배 시 사용되는 살균제 중 유효성분이 15.3%인 것을 이용하는 것으로 가정하였다.⁴⁰⁾ 농약 사용량에 대해 현장 데이터 수집이 어려워 국내 통계 자료를 기반으로 비료 사용량 대비 농약 사용량을 산정하였다⁴¹⁾.

비료, 농약, 전기 및 연료 생산, 수송에 대한 자료는 현장 데이터를 수집하기 어려워 환경부, 농촌진흥청, Ecoinvent에서 제시한 탄소배출계수를 적용하였다.

생산 단계에서 전기 및 연료 사용단계에는 건조기, 탈립기의 사용이 포함되어 있으나 데이터 수집 시 총 전기 및 연료 사용 데이터만이 수집되어 각각에 따른 배출량을 확인할 수 없다는 한계가 존재한다.

수입산 옥수수에 대한 수송거리는 2022년 기준 수입국 1위인 아르헨티나에서 수입하는 것으로 가정하였다⁴²⁾.

해외 옥수수의 기능은 아르헨티나산 옥수수가 국내산과 동일한 식용이며, 미국산 옥수수는 사료용으로 서로 다르므로 온실가스 배출량을 상호 비교하기는 어려운 한계가 있다. 브라질의 경우 식용과 사료용에 대한 배출량이 모두 산정되어 있어 비교가 가능할 것으로 보인다.

국내와 해외의 옥수수의 온실가스 배출량 산정 시, 지구온난화지수는 국내, 아르헨티나, 브라질의 경우 IPCC 2006을 이용하고 있으나, 미국의 경우 IPCC 2001을 이용하여 IPCC 2006에 비해 CH₄에 의한 배출량은 약 9%, N₂O에 의한 배출량은 약 0.7% 저평가되는 한계가 존재한다.

39) 농촌진흥청. 2021. 농업기술길잡이 035(개정판) 옥수수

40) 농림축산식품부. 2020. 2020년도 품목별 올바른 농약 사용 안내서

41) e-나라지표. 2022. 농약 및 화학비료 사용량(<https://www.index.go.kr/>)

42) 농림축산식품부. 2023. 2022 농림축산식품 수출

3.1.2. 전과정 목록 분석

▶ 데이터 수집 및 계산

시스템 경계로 설정한 단계별 데이터를 수집하여 계산하였다.

본 연구에서는 부록 1에 나타난 설문서를 이용하여 9개 농가에서 사용된 전기, 경유, 휘발유, 등유 등 연료, 비료, 농약 등의 양과 재배면적, 생산량을 파악하였다. <표 3.102>는 옥수수의 재배정보를 나타낸 것으로 연간 생산정보를 옥수수 1 kg 기준으로 환산하였다.

<표 3.102> 옥수수의 생산정보

구분	단위	값	값 (옥수수 1 kg 기준)	비고
전기	kWh	4,950.36	0.4398	
경유	L	604.76	0.0537	환산계수 0.86 kg/L
휘발유	L	53.50	0.0048	환산계수 0.75 kg/L
투입물 등유	L	87.40	0.0078	환산계수 0.84 kg/L
비료	kg	310	0.0275	유효성분 100% 질소 함유율 21% 건조중량률 100%
농약	kg	13	0.0011	유효성분 15.3%
산출물 옥수수	kg	11,256	1.0000	
재배면적	평	5,180	0.4602	
	m ²	17,094	1.5187	

▶ 자재 생산 단계

자재 생산 단계에서는 비료와 농약 생산에 대한 자료를 수집하였다. 옥수수 1 kg 생산 시 사용한 비료와 농약의 양은 <표 3.103>에 나타난 자료를 이용하였다. 농약 사용량은 국가 통계자료를 통해 비료 사용량을 기준으로 산정하였다⁴³⁾.

43) e-나라지표. 2022. 농약 및 화학비료 사용량(<https://www.index.go.kr/>)

<표 3.103> 옥수수의 자재 생산단계의 정보

구분	단위	값 (옥수수 1 kg 기준)	유효성분(%)
투입물	비료	kg	0.0275
	농약	kg	0.0011

자재 생산과정의 자료는 현장 데이터를 이용하는 것이 가장 바람직하나, 본 연구에서는 현장 데이터 수집이 어려워 <표 3.49>에 나타낸 농촌진흥청, Ecoinvent에서 구축한 LCI DB를 이용하여 산출한 탄소배출계수를 수집하였다. 비료, 농약 등의 생산 현장에서 농가까지의 수송 거리는 다양한 경로를 이용하므로, 파악하기 어렵고, 중량 단위의 물질 사용량이 전체에서 차지하는 비중이 매우 미미하여 시스템 경계에서 제외하였다.

▶ 생산 단계

옥수수의 생산 단계는 크게 비료 사용, 에너지 사용 단계로 구분할 수 있으며, 각 단계에서의 산정은 질소 비료 시비에 따른 자료, 전기, 경유, 휘발유, 등유 등 연료 생산 및 사용으로 인한 자료를 수집하여 산정하였다.

비료 시비에 따른 사용 정보는 <표 3.104>에 나타낸 비료 시비량과 질소 함유율, 건조 중량률을 적용하여 옥수수 1 kg 기준의 질소 함량을 고려한 비료 사용량으로 산정하였다. 옥수수 1 kg 기준의 비료 시비량은 0.0275 kg이며, 질소 함유율 21%과 건조 중량률 100%를 곱하면 산정한 옥수수 1 kg 기준의 비료 시비로 인한 사용량은 0.0058 kg으로 산정되었다.

<표 3.104> 옥수수 생산 시 질소 함량을 고려한 비료 사용 정보

구분	단위	값 (옥수수 1 kg 기준)	질소 함유율	건조 중량률
비료	kg	0.0275	21%	100.00%

<표 3.105>는 전기, 경유, 휘발유, 등유 등 에너지에 대한 정보이다. 경유, 휘발유, 등유의 생산에 대한 온실가스 배출량을 산정하기 위해 연료의 사용량은 환산계수를 적용하여 변환하였으며, 탄소배출계수는 <표 3.55>에 제시한 값을 적용하였다.

<표 3.105> 옥수수 생산 시 에너지 생산 및 사용 정보

구 분	단위	값 (옥수수 1 kg 기준)
전기 생산	kWh	0.4398
경유 생산	kg	0.0462
경유(이동) 사용	L	0.0537
휘발유 생산	kg	0.0036
휘발유(이동) 사용	L	0.0048
등유 생산	kg	0.0065
등유(고정) 사용	L	0.0078

또한, 수입산 옥수수는 수입국 1위인 아르헨티나에서 생산 후 국내 부산항으로 오는 수송거리를 고려하였다⁴⁴⁾. 수입산 옥수수 1 kg를 기준으로 국내 부산항까지의 수송거리를 <https://www.searates.com/services/distances-time/>에서 수집하였다. <표 3.106>에 나타난 수송량은 16.4034 ton·km로 분석되었다.

<표 3.106> 수송(아르헨티나→부산항) 정보

옥수수(kg)	수송거리(km)	수송량(ton·km)
1	16,403.37	16.4034

수송 시의 탄소배출계수는 <표 3.59>에 나타난 외항선(컨테이너선)의 탄소배출계수를 이용하였다.

▶ 목록분석 결과 및 탄소배출계수 정보

본 연구에서는 산정한 옥수수 1 kg 기준의 공정별 목록분석 결과와 수집한 탄소배출계수를 <표 3.107>에 정리하였다.

44) 농림축산식품부. 2023. 2022 농림축산식품 수출

<표 3.107> 옥수수 1 kg 기준 공정별 목록분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보

공정	구분	단위	값 (옥수수 1 kg 기준)	물질	사용 탄소배출계수 정보			
					단위	탄소배출 계수	출처	
자재생산	투입분	비료	kg	0.0275	복합비료 (21-17-17)	kg CO ₂ eq./kg	1.22E+00	농촌진흥청
		농약	kg	0.0011	농약 (살균제)	kg CO ₂ eq./kg	9.15E+00	Ecoinvent
생산	투입분	전기	kWh	0.4398	전기 생산	kg CO ₂ eq. /kWh	4.95E-01	산업통상 자원부
		경유	kg	0.0462	경유 생산	kg CO ₂ eq./kg	6.82E-02	산업통상 자원부
		휘발유	kg	0.0036	휘발유 생산	kg CO ₂ eq./kg	8.32E-02	산업통상 자원부
		등유	kg	0.0065	등유 생산	kg CO ₂ eq./kg	2.53E-01	산업통상 자원부
	산출분	경유	L	0.0537	경유(이동) 사용	kg CO ₂ eq./L	2.60E+00	환경부
		휘발유	L	0.0048	휘발유 (이동)사용	kg CO ₂ eq./L	2.13E+00	환경부
		등유	L	0.0078	실내등유(교정) 사용	kg CO ₂ eq./L	2.46E+00	환경부
		비료 시비	kg	0.0058	보통비료의 사용	kg N ₂ /kg N	1.90E-02	농촌진흥청
수송	해외 수송	ton· km	16.4034	해양 수송 (외항선 컨테이너)	kg CO ₂ eq./ton·km	2.11E-03	환경부	

3.1.3. 탄소배출량 산정

▶ 자재 생산단계

자재 생산단계에서의 온실가스 배출량은 <표 3.101>에 나타낸 식 1을 이용하여 <표 3.107>에 나타낸 옥수수 1 kg 기준의 자재별 사용량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. <표 3.108>은 비료 생산 시 온실가스 배출량을 나타낸 것으로, 산정결과는 옥수수 1 kg 기준으로 0.0336 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.108> 옥수수 자재 생산단계에서의 비료 생산의 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (옥수수 1 kg 기준)	탄소배출계수	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-옥수수)
비료	kg	0.0275	1.22E+00	0.0336

<표 3.109>는 농약 생산에 의한 온실가스 배출량을 나타낸 것으로, 농약 사용량, 탄소배출계수, 유효성분을 곱하여 산정한 결과는 옥수수 1 kg 기준으로 0.0018 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.109> 옥수수 자재 생산단계에서의 농약 생산 시 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (옥수수 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-옥수수)
농약	kg	0.0011	9.15E+00	0.0018

▶ 생산단계

옥수수 생산단계에서의 온실가스 배출량은 <표 3.107>에 나타낸 옥수수 1 kg 기준의 사용량 및 배출량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. 옥수수 생산 단계에서의 온실가스 배출량은 크게 3가지인 비료 사용에 따른 N₂O 배출로 인한 온실가스 배출량, 전기 및 연료 생산 및 사용에 따른 온실가스 배출량으로 구분할 수 있다.

비료 시비에 따른 온실가스 배출량은 <표 3.101>에 나타낸 식 3을 이용하여 산정한 결과를 <표 3.110>에 나타내었다. 비료의 사용량과 탄소배출계수, N₂O

의 GWP인 298, N₂O/N₂ 비율인 1.5714를 곱하여 온실가스 배출량을 산정하였으며, 산정결과 0.0515 kg CO₂ eq./kg-옥수수로 나타났다.

<표 3.110> 옥수수 생산단계에서의 비료 시비에 따른 온실가스 배출량

구분	단위	값 (옥수수 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg N ₂ /kg N)	GWP (N ₂ O)	N ₂ O/N ₂ 비율	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-옥수수)
비료	kg	0.0058	1.90E-02	298	1.5714	0.0515

에너지 생산과 사용 시의 온실가스 배출량은 <표 3.101>에 나타난 식 4와 5를 이용하여 산정한 결과를 <표 3.111>에 나타냈으며, 옥수수 1 kg 기준으로 0.3917 kg CO₂ eq.로 분석되었다.

<표 3.111> 옥수수 생산단계에서의 에너지 생산 및 사용 시의 온실가스 배출량

구분	단위	값 (옥수수 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq. /kWh, L, kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-옥수수)
전기 생산	kWh	0.4398	4.95E-01	0.2177
경유 생산	kg	0.0462	6.82E-02	0.0032
경유(이동) 사용	L	0.0537	2.60E+00	0.1397
휘발유 생산	kg	0.0036	8.32E-02	0.0003
휘발유(이동) 사용	L	0.0048	2.13E+00	0.0101
등유 생산	kg	0.0065	2.53E-01	0.0017
등유(고정) 사용	L	0.0078	2.46E+00	0.0191
합계				0.3917

옥수수 생산단계의 온실가스 배출량은 <표 3.112>에 정리하였다. 옥수수 생산단계의 온실가스 배출량은 옥수수 1 kg 기준으로 0.4432 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.112> 옥수수 생산단계의 온실가스 배출량
(단위 : kg CO₂ eq./kg-옥수수)

비료 시비	에너지 생산 및 사용	합계
0.0515	0.3917	0.4432

▶ 전과정 온실가스 배출량

국내산 옥수수에 대해 전과정에 걸쳐 온실가스 배출량을 <표 3.113>에 나타내었다. 옥수수 1 kg 기준, 온실가스 배출량은 0.4786 kg CO₂ eq.로 나타났으며, 생산단계에서의 배출량이 92.60%로 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 생산단계 중에서 에너지 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량은 0.3917 kg CO₂ eq.로 전체 온실가스 배출량의 81.85%를 차지하였다. 다음으로 비료 시비에 의한 온실가스 배출량이 0.0515 kg CO₂ eq.로 전체 온실가스 배출량의 10.75%를 차지하였다. 한편, 수입산을 국내에서 유통하기 위한 수송단계에서는 0.1781 kg CO₂ eq.가 발생하는 것으로 나타났으며, 이는 국내산 옥수수 전과정 온실가스 배출량의 37.21% 수준으로 상당량의 온실가스 배출량을 나타내는 것으로 확인되었다.

<표 3.113> 국내산 옥수수의 전과정 온실가스 배출량

구분	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-옥수수)	비율(%)	비고	
자재 생산	비료 생산	0.0336	7.02	-
		0.0354	7.40	
	농약 생산	0.0018	0.38	
생산	비료 시비	0.0515	10.76	-
		0.4432	92.60	
	에너지 생산 및 사용	0.3917	81.84	
수송	-	-	수입산 0.1781 kg CO ₂ eq./kg-옥수수 국외→부산항	
합계	0.4786	100.00	-	

본 연구에서는 선행연구와의 비교를 통해 해당 연구 결과에 대한 타당성을 검증하고자 한다. 비교 대상은 저탄소 농축산물 인증제(옥수수)의 인증배출량 기준(이하 선행연구)이다. 「농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 개별지침(한국농업기술진흥원, 2022)」에 따라 옥수수의 온실가스 배출량은 활동자료 및 배출계수의 곱으로 나타난다. 이때 배출계수는 「농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 공통지침(한국농업기술진흥원, 2022)」에 수록된 국가 온실가스 배출계수가 사용된다. 그러나, 본 연구는 설문조사를 기반으로 9개 농가의 활동자료를 이용하였다. 조사 시기 설정의 문제로 재배 기간 이후의 자료 수집, 다른 영농 활동으로 인한 에너지 사용 등 여러 측면에서 표본 통제 오류가 발생하여 충분한 신뢰도를 지닌 표본을 수집하지 못한 점은 본 연구가 지니는 한계점으로 볼 수 있다. 따라서, 동일한 배출계수를 사용하여도 선행연구와 활동자료가 다르기에 두 연구의 배출량 편차가 발생한다. 선행연구와 비교를 위해 <표 3.n>에서는 선행연구와 본 연구의 항목별 옥수수의 온실가스 배출량을 나타내었다. 이때 저탄소 농축산물 인증제의 인증배출량은 $\text{kg CO}_2 \text{ eq}/1,000\text{m}^2 \cdot 1\text{기작}$ 을 기준으로 나타내고 있다. 이에 9개 농가의 활동자료를 통해 얻은 단위 재배면적 당 옥수수 생산량 값을 적용하여 비교하였다.

첫 번째로, 비료·농약 생산 항목의 경우 선행연구는 각각 $0.371 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}$, $0.764 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}$ 로 나타났으나, 본 연구에서는 각각 $0.034 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}$, $0.052 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.}$ 로 선행연구 대비 각각 90.6%, 93.3% 적은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다.

이러한 편차는 본 연구에서의 자료 수집 과정의 한계 및 국내 관행 농가의 특성에서 기인하는 것으로 볼 수 있다. 국내 관행 농가의 특성상 하나의 작물만을 경작하는 경우는 거의 없으며, 이로 인하여 각 작물에의 투입물 및 유틸리티의 양을 정확하게 파악하는 것은 어렵다. 특히, 비료의 경우 투입이 이루어지는 것은 분명하나, 농가마다 사용하는 비료의 종류가 다르며, 이 또한 다른 작물 재배 과정에 투입되는 양을 본 연구의 설문지에서는 구분해내는 것이 불가능하였다. 따라서, 농가 설문조사 및 인터뷰 내용을 토대로, 농산물의 경우 가장 많이 사용되는 복합비료(21-17-17)가 전량 투입되는 것으로 가정하였다. 또한, 농약의 자료 수집과정에서는 국내 관행 농가의 농약 사용량 분석을 위하여 각 농가별 제조제·살균제·살충제의 사용량을 농약 구매량 설문을 이용하여 수집하였다. 수

집된 기초 자료는 각 농가별 작물 생산 규모를 고려하여 작물별로 사용량을 할당하였으며, 유제·수화제·증량제·액제·입제 모두 중량 단위(kg)으로 환산하는 과정을 거쳤다. 여기서 농약 구매량은 비축된 농약에 대하여서도 사용량으로 합산함을 의미한다. 따라서, 데이터 수집 과정에서의 불완전성이 농약 사용량을 과도하게 산정하였을 여지가 있다. 또한, 국내 관행 농가의 특성상 하나의 작물만을 경작하는 경우는 거의 없어 농약 또한 여러 작물에 동시 투입되는 경우가 일반적이며, 이로 인하여 본 연구의 설문지에서 작물별 농약 투입량을 구분해내는 것은 불가능하였다. 따라서, 농가 설문조사 및 인터뷰 내용을 토대로, 농약 중 가장 많이 사용되는 제초제·살균제·살충제 중 살균제가 전량 투입되는 것으로 가정하였다. 비료 및 농약 사용에 따른 온실가스 배출량이 옥수수 생산 과정 전체에서 차지하는 비중(7.4%)이 크지 않으므로, 이 지점은 선행연구와 본 연구의 조사 결과 편차에 따라 수치의 영향을 받기 쉬운 영역으로 보여진다. 따라서, 데이터 수집 과정에서의 한계를 보완한 후속 연구를 통해 국내 관행 농가의 현실을 반영하여 농약 사용량 파악에 집중한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

두 번째로, 에너지 사용의 경우 선행연구는 0.082 kg CO₂ eq.로 나타났으나, 본 연구에서는 0.392 kg CO₂ eq.로 선행연구 대비 379.4% 많은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 이 또한 비료·농약 생산과 유사한 맥락으로, 자료 수집 과정의 한계 및 국내 농가의 특성에서 기인하는 것으로 볼 수 있다. 특히 전기의 경우 옥수수 재배 목적 외 장비 사용, 시설 운영 등 다양한 경로를 통해 사용될 수 있기에, 실제 옥수수 단위질량 당 사용되는 전기량보다 많은 양이 사용된 것으로 나타났으며, 이에 따라 전기 사용 시 온실가스는 약 46배의 편차가 발생하는 것으로 나타났다. 전기를 제외한 연료의 경우, 본 연구에서는 국내 농가의 경유·휘발유·등유 사용량 분석을 위하여 농업용 연료 사용량 자료를 수집하였다. 수집된 기초 자료는 각 농가별 작물 생산 규모를 고려하여 작물별 사용량을 할당하는 과정을 거쳤다. 산정 대상 농가들의 인터뷰 자료로 봤을 때, 전기와 유사한 상황이 발생하였으며, 국내 농가의 특성상 경유·휘발유·등유는 옥수수 재배에만 사용되는 것이 아닌 농막의 난방, 차량의 연료, 기타 장비의 연료 등으로 사용되는 경우가 있으며, 각 연료의 사용 데이터를 별도로 관리하는 농가가 없어 옥수수 재배만을 위한 경유·휘발유·등유 사용량을 구분해내는 것은 불가능하였다. 또한, 선행연구에서는 연료라는 분류로만 온실가스 배출량을 나타내고 있

기에 실질적으로 연료 종류에 따라 증감량을 나타내기에는 한계가 있다. 따라서 특정 연료로 인한 문제로 구분할 수는 없으며, 전기 사용량과 같은 이유로 농가 특성 및 재배 상황에 따라 과도하게 산정되었다고 볼 수 있다.

<표 3.114> 옥수수의 온실가스 배출량 계산과정 (단위: kg CO₂/옥수수-1 kg)

구분	선행연구(A)	본 연구(B)	결과값 A	결과값 B	증감 (B-A)	증감율
퇴구비	5.0541kg(2091.63kg(사용량)/399.6) * 0.0336kgCO ₂ /kg(배출계수)	-				
요소	0.06506kg(26kg(사용량)/399.6) * 1.01kgCO ₂ /kg(배출계수)	-				
유인	0.00075kg(0.3kg(사용량)/399.6) * 2.65kgCO ₂ /kg(배출계수)	-				
용성인비	0.00042kg(0.17kg(사용량)/399.6) * 0.725kgCO ₂ /kg(배출계수)	-				
비료 생산	염화칼리 0.00008kg(0.7kg(사용량)/399.6) * 0.49kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	0.371	0.0336	-0.3374	-90.6%
	붕소 0.000075kg(0.03kg(사용량)/399.6) * 1.63kgCO ₂ /kg(배출계수)	-				
	농용석회 0.0325kg(12.97kg(사용량)/399.6) * 0.0499kgCO ₂ /kg(배출계수)	-				
복합비료	0.1596kg(63.77kg(사용량)/399.6) * 1.27kgCO ₂ /kg(배출계수)	0.0275kg(사용량) * 100% * 1.22				
규산질	0.001kg(0.4kg(사용량)/399.6) * 0.206kgCO ₂ /kg(배출계수)	-				
비료생산 과정 중 CO₂ 배출량 합계			0.371	0.0336	-0.3374	-90.6%
비료 사비	1.5714(N ₂ O 분자량비율) * 0.0443kg(17.74kg-N(사용량)/399.6)) * 0.018kgN ₂ /N(배출계수) * 298(GWP)					
	유기 * 퇴구비의 질소함량(1.49%) 및 건조중량율(56.93%) 기준으로 사용량(kg-N) 산출 * 통계자료 특성상 퇴구비와 질의 비율이 구분되지 않아, 일반적인 상황을 고려하여 전량 퇴구비로 가정함	-	0.310	-	-0.31	순감
	1.5714(N ₂ O 분자량비율) * 0.0617(24.67kg-N(사용량)/399.6) * 0.019kgN ₂ /N(배출계수) * 298(GWP)	1.5714(N ₂ O 분자량비율) * 0.0058kg-N(사용량) * 0.019kgN ₂ /N(배출계수) * 298(GWP)	0.454	0.0515	-0.4025	-88.7%
무기 * 무기질비료의 질소함량(요소(46%), 유인(20%), 복합비료(17.7%)) 및 건조중량율(100%) 기준으로 사용량(kg-N) 산출						
농장 사비 후 비 생산과정 CO₂ 배출량 합계			0.764	0.0515	-0.7125	-93.3%

구분	선행연구(A)	본 연구(B)	결과값 A	결과값 B	증감 (B-A)	증감율
제조제			0.008	-	-0.0075	-93.8%
농약	살충제	제조제 사용량 * 유효성분비 * 유효성분별 배출계수	0.001	-	-0.00088	-88.0%
	살균제	* 농약연보 통계활용하여 별도계산 후 배출량 산출	0.000161	0.0018	0.001639	1118.0%
	생조 전착제		-	-	-	-
농약생산 중 CO₂ 배출량 합계			0.0092	0.0018	-0.0074	-80.4%
생산	0.01221kg(4.88kg/399.6) * 1.86kgCO ₂ /kg	-	0.019	-	-0.0188	순감
기타 자재	0.01221kg(4.88kg/399.6) * 0.186kgCO ₂ /kg(재활용 배출계수)	-	0.002	-	-0.00188	순감
기타자재 생산 중 CO₂ 배출량 합계			0.021	-	-0.02068	순감
전기	0.0140(5.60kWh/399.6) * 0.495kgCO ₂ /kWh(배출계수)	0.4398(투입물)/kwh * 0.495kgCO ₂ /kwh(배출계수)	0.006	0.2177	0.2117	3528.3%
경유	0.0341 l(13.63 l/399.6) * 0.86kg/l(비중) * 0.0682kgCO ₂ /kg(배출계수)	0.0462kg(투입물, 0.0537 l) * 0.0682kgCO ₂ /kg(배출계수)	0.00234	0.0032	0.00154	77.0%
	* 통계자료 특성상 경유와 휘발유로 구분되지 않아, 상대적인 사용량이 많은 경유로 가정함					
연소	0.0341 l(13.63 l/399.6) * 2.60kgCO ₂ /l(이동연소 배출계수)	0.0537 l(사용량) * 2.60kgCO ₂ /l(이동연소 배출계수)	0.073	0.1397	0.0663	90.8%
휘발유	생산	-	-	0.0003	0.0003	순증
	연소	-	-	0.0101	0.0101	순증
LPG	0.0002 l(0.08 l/399.6) * 0.579kg/l * 0.596kgCO ₂ /kg(배출계수)		0.0000953	-	0.0000953	순감
	0.0002 l(0.08 l/399.6) * 0.295Nm ³ /l * 3.65kgCO ₂ /Nm ³ (배출계수)		0.000297	-	0.000297	순감
생산	-	0.0065kg(투입물, 0.0078 l) * 0.253kgCO ₂ /kg(배출계수)	-	0.0017	0.0017	순증
등유	연소	-	-	0.0191	0.0191	순증
에너지(전기, 경유, 휘발유, 등유) 사용에 대한 CO₂ 배출량 합계			0.08173	0.3917	0.30997	379.3%
옥수수 생산 전과정 CO₂ 배출량 합계			1.24	0.4786	-0.7614	-61.4%

3.2. 해외 옥수수의 탄소발자국 사례

3.2.1. 온실가스 배출량 산정식

<표 3.115>는 각 국가에서 옥수수의 전과정에 걸쳐 온실가스 배출량을 산정하기 위한 식을 나타내었다. 단계별 온실가스 배출량 산정식은 <표 3.101>에 나타낸 식을 이용하였다. 옥수수의 전과정은 옥수수를 생산하기 위한 자재 생산, 수송, 옥수수의 생산, 수확한 옥수수를 식용 또는 사료로 만드는 가공, 옥수수의 유통, 소비를 거쳐 폐기된다. 주로 해외에서 옥수수의 시스템 경계는 자재 생산, 옥수수 생산까지로 선정되었다. 자재 생산, 수송, 옥수수의 생산, 에너지 생산, 폐기물 처리 시의 온실가스 배출량은 ISO 14040와 14044의 방법론을 적용하였으며, 질소 비료 사용으로 인한 아산화질소 배출, 에너지 사용에 의한 온실가스 배출량은 IPCC 방법론을 적용하되, 지구온난화지수는 <표 3.73>에 나타낸 IPCC 2001 또는 2006을 적용하였다.

<표 3.115> 옥수수의 온실가스 배출량 산정식

단계	온실가스 배출량 산정식		적용 방법론
자재 생산	종자/비료/농약 생산	(식 1) 이용	ISO 14040/ 14044
수송	수송	(식 7) 이용	ISO 14040/ 14044
생산	질소비료 시비로 인한 아산화질소 (N ₂ O) 배출	(식 3) 이용, GWP는 해당연도 이용*	IPCC 2006
	에너지 생산	(식 4) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 사용	(식 5) 이용	IPCC 2001, 2006
수송	수송	(식 7) 이용	ISO 14040/ 14044

* GWP: IPCC 2001 - CO₂ 1, CH₄ 23, N₂O 296 / IPCC 2006 - CO₂ 1, CH₄ 25, N₂O 298

3.2.2. 해외 옥수수의 탄소발자국 비교 분석

<표 3.116>은 각 국가별 온실가스 배출량을 조사하여 정리하였다. 대표적인 수입국인 아르헨티나, 브라질, 미국에 대해 비교 분석하였다.

<표 3.116> 옥수수의 해외 탄소 발자국 비교 분석

품목국가	기능 단위	시스템 경계	탄소발자국 (kg CO ₂ eq.)	출처	지원 부처	적용 방법론
아 르 헨 티 나	1 kg of maize (식용) (5.297 ton/ha, 1.53 million km ²)	자재 생산 → 생산	0.199	E.M. Arrieta (2017)	National Research Council of Argentina (CONICET)	IPCC, 2006
옥 수 수	1 ton of grain maize (사료용) (300 ha)	자재 생산 → 수송 → 생산	0.2035	G. Giusti (2021)	CNPQ	IPCC, 2006 CML, 2015
미 국	1 kg of dry grain (에너지화)	자재 생산 → 생산	0.254~0.825	Seungdo (2009)	US Department of Energy and input from the external ICBR LCA Advisory Panel	IPCC, 2001 ISO 14041

아르헨티나는 국내산과 동일하게 식용 옥수수이며, 브라질과 미국은 사료용 옥수수를 기능단위로 선정하였다. 아르헨티나와 미국은 시스템 경계는 다르지만, 적용 방법론은 ISO 14040/14044와 IPCC 방법론을 적용하였다. 지구온난화지수는 미국의 경우 IPCC 2001, 아르헨티나, 브라질은 국내와 동일한 IPCC 2006을 이용하고 있다. 아르헨티나와 미국은 자재 생산, 옥수수 생산으로 동일하며, 브라질은 자재 수송이 포함되어 있다. 아르헨티나산 옥수수의 온실가스 배출량은 미국산 옥수수의 온실가스 배출량보다 22% ~ 76%까지 낮은 것으로 나타났으며, 브라질산 옥수수의 온실가스 배출량은 약 2% 낮은 것으로 나타났다. 이는 수확 시기에 대한 정보의 부재로 식용인 아르헨티나산 옥수수와 단순 비교하기 어렵지만, 국내 문헌을 참고했을 때 수확 시기의 차이로 인한 문제로 사료된다. 품종에 따라 상이하나 식용의 경우 늦게 수확할수록 당분이 떨어져 사료용보다 출사일수가 짧아진다⁴⁵⁾. 따라서 해당 기간 동안 비료, 농약 등이 더 적게 사용

되기 때문에 식용인 아르헨티나산 옥수수의 배출량이 낮게 산정되는 것으로 사료된다. 브라질산 옥수수의 온실가스 배출량은 미국산 옥수수의 온실가스 배출량보다 낮은 것으로 나타났다. 지역에 따라 미국산 옥수수의 온실가스 배출량이 높은 것은 비료나 농약의 사용량이 다르며 이는 해당 지역 토양에서의 높은 N_2O 의 배출과, 낮은 탄소 격리 능력으로 나타났다⁴⁶⁾. 브라질산과 미국산 옥수수의 온실가스 배출량의 차이가 나는 다른 이유는 서로 다른 지구온난화지수 및 탄소배출계수를 이용한 점도 있으나, 미국의 사례와 국내 문헌 자료를 보았을 때 토양 수분, 온도의 차이가 내부 미생물의 활동에 영향을 미치는 점도 있는 것으로 사료된다⁴⁷⁾.

45) 농촌진흥청. 2021. 농업기술길잡이 035(개정판) 옥수수

46) Seungdo Kim. 2009. Life cycle assessment of corn grain and corn stover in the United States

47) 이선일. 2019. 농경지에서 무경운 및 녹비 투입에 따른 아산화질소 배출특성

<표 3.117> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항

(a) 아르헨티나

단계	고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 농업 연도 2012/2013의 데이터가 사용 - 파종 및 수확 면적은 아르헨티나 농산업부의 통합 농업 정보 시스템에서 각 행정 구역별로 얻음 - 비료, 살충제, 토양 노동 유형 및 종자 사용에 대한 데이터는 Buenos Aires Grain Exchange의 Applied Agro Technology Survey 보고서에서 얻음 - 국립 농업 기술 연구소(Donato, 2011)의 각 농업 작업 및 각 작물에 대한 헥타르당 연료 소비량의 국가 평균 데이터를 사용 - 분뇨와 같은 유기비료는 고려하지 않음 - 살충제, 제초제, 살균제 사용 	Buenos Aires Grain Exchange	ISO 14040/14044
수송	수송	시스템 경계 제외	-
생산	<ul style="list-style-type: none"> - 농작물 잔재 중 N의 양은 IPCC(2006a) 에서 제시한 방법을 사용하여 추정 - 합성 비료에 의해 시비된 N과 논밭에 남겨진 잔류물에서 발생하는 N₂O의 토양 배출량을 계산 - 적용된 N으로부터 NH₃의 휘발로부터 N₂O-N의 간접 배출은 적용되거나 잔류물을 통해 증착된 N 1 kg당 기본 배출 계수 0.1 kg NH₃ - N 및 NO_x - N에 의해 추정 	Buenos Aires Grain Exchange	IPCC, 2006
에너지 생산 및 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 농기구 생산과 인력은 전체 영향에 대한 기여도가 낮기 때문에 시스템 경계에 포함되지 않음 - 기계 사용을 위한 디젤 소비 포함 	국립 농업 기술 연구소	ISO 14040/14044 IPCC, 2006
수송	수송	시스템 경계 제외	-
가공	가공	시스템 경계 제외	-
유통	수송	시스템 경계 제외	-
소비	소비	시스템 경계 제외	-
폐기	운송	시스템 경계 제외	-
	폐기	시스템 경계 제외	-

(b) 브라질

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	종자/ 비료/ 농약 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 잡초에 대한 제초제 아트라진 및 템보트리온, 살충제 티아메톡삼, 람다-사이할로트린 및 기타 살충제 화합물 사용 - 비페트린 살충제 사용으로 개미 방지 - 아족시스트로빈 살진균제, 사이프로코나졸 및 기타 농약 화합물 사용 - 글리포세이트 및 제초제 살포 	fertilizer, Ecoinvent Pest LCI 2.0.8	-
수송	수송	- 투입물의 수송은 산업체에서 소매시장까지의 평균운송거리 2,150 km, 소매시장에서 농가까지의 수송으로 평균 거리 54km	-	ISO 14040/ 14044
	비료 시비	- 68.28 kg/ha의 질소와 22.76 kg/ha의 칼륨이 있는 덮개 비료를 트랙터(0.1 h/ha에서 작동)와 결합된 비료(0.3 ton)로 시비하여 5.97 kg의 디젤 사용	-	IPCC 2006
생산	에너지 생산 및 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 1.54 kg/ha의 디젤을 소비하는 농장 분무기(0.1 h/ha에서 작동)를 사용하여 잡초 관리 - 수확 및 건조를 위한 수송 시 트랙터 사용으로 디젤 사용 - 곡물 건조 및 탈립은 전기(8.64 kWh/곡물 ton)와 장작(0.0213 m³/곡물 ton)을 소비 	Ecoinvent 현장 데이터	ISO 14040/ 14044 IPCC 2006
수송	수송	- 40 ton 트럭이 국내/국제 시장에 수출하기 위해 옥수수 알갱이를 Santos의 항구로 수송	-	ISO 14040/ 14044
가공	가공	시스템 경계 제외		
유통	수송	시스템 경계 제외		
소비	소비	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

(c) 미국 (사료용)

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	종자/비료/농약 생산	- 농경 투입물(비료 및 농약) 소비량은 NASS(2007)에서 데이터 수집 - 농약 사용 포함	NASS (2007)	ISO 14040/14044
수송	수송	시스템 경계 제외	-	-
생산	비료 시비	- 질소 비료가 혼합되거나 주입되기 때문에 질소 비료로 인한 암모니아 휘발 손실이 발생하지 않음 - N 비료의 투입물인 암모니아 생산을 위한 부산물 할당은 미 고려	NASS (2007)	IPCC 2001
	에너지 생산 및 사용	- 연료 소비량은 경제 조사국(ERS 2005) 자료 사용 - 쟁기질, 파종, 수확 시 연료 소비 포함	NASS (2007) -	ISO 14040/14044 IPCC 2001
수송	수송	시스템 경계 제외		
가공	가공	시스템 경계 제외		
유통	수송	시스템 경계 제외		
소비	소비	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

3.3. 국내의 옥수수의 탄소발자국 비교

<표 3.118>은 아르헨티나, 브라질, 미국 등 국내의 옥수수의 탄소발자국 산정 결과를 나타낸 것이다. 아르헨티나 옥수수의 경우 국내산과 동일하게 식용 옥수수이며, 브라질, 미국은 사료용 옥수수를 기준으로 산정하였다. 이때 미국 옥수수는 지역에 따라 옥수수 재배 시 온실가스 배출량이 상이하기 때문에 평균 값을 적용하였다.

상호 공통 단계를 추려내어 비교분석을 수행한 결과, 국내의 경우, 옥수수 재배 단계까지의 온실가스 배출량은 0.48 kg CO₂ eq.로 아르헨티나(0.20 kg CO₂ eq.), 브라질(0.19 kg CO₂ eq.)과 비교하여 2.4 ~ 2.5배 사이로 높은 배출량 차이를 나타내고 있다. 브라질의 경우 자국 내 운송 시 온실가스 배출량을 포함하고 있으며, 이 양은 전체 배출량의 9.1%를 차지한다. 미국(0.42 kg CO₂ eq.)과 비교하였을 때 12.5% 수준의 차이를 보였으나, 국내산의 비료 및 농약 생산단계(0.04 kg CO₂ eq.)와 비교하여 미국(0.11 kg CO₂ eq.)은 약 2.8배 높은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 반면, 옥수수 생산단계인 비료 시비, 에너지 생산 및 사용 단계는 국내산(0.40 kg CO₂ eq.)이 미국(0.06 kg CO₂ eq.)보다 6.7배 높게 나타났다. 또한, 미국산은 농약, 비료 사용으로 인해 토양 내 탄소, 질소가 잔류하다가 다시 토양 밖으로 배출될 때 발생하는 온실가스 배출량을 고려하며, 이 양은 전체 배출량의 61.0%를 차지한다.

종합적으로, 국내산 옥수수의 전과정 온실가스 배출량은 0.48 kg CO₂ eq.로 산정되었으며, 이는, 아르헨티나(0.20 kg CO₂ eq.), 브라질(0.20 kg CO₂ eq.)의 240.0% 수준, 미국(0.11 kg CO₂ eq.)의 113.2% 수준으로 나타났다. 또한, 각 국가별 옥수수의 전과정 온실가스 배출량 결과에 국내까지의 수송 배출량을 고려할 경우, 국내산 옥수수의 온실가스 배출량은 해외에서 생산된 옥수수 대비 아르헨티나(0.45 kg CO₂ eq.)의 106.7%, 브라질(0.39 kg CO₂ eq.)의 123.1%, 미국(0.52 kg CO₂ eq.)의 92.3% 수준으로 나타났다. 각 국가별 항구로부터 부산항까지의 거리는 아르헨티나(부에노스아이레스) 27,970.28 km, 브라질(리우데자네이루) 21,075.76 km, 미국(샌디에고) 10,193.41 km이며, 선적 거리를 바탕으로 산정한 온실가스 배출량은 각각 아르헨티나 0.25 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg, 브라질 0.19 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg, 미국 0.09 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg이다.

국내외 옥수수의 탄소발자국 비교 분석 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 국내산 옥수수의 온실가스 배출량이 아르헨티나산, 브라질산에 비하여 높게 나타나고 있는데, 우선, 아르헨티나의 경우 선행연구에서 온실가스 배출량 산정 과정에 전력 사용량을 고려하지 않는 것에서 기인하는 차이로 판단된다. 그러나, 전력에 의한 배출량을 제외하더라도 국내산의 배출량이 더 높게 나타나는데, 이는 국내산의 경우 단위 면적 당 비료, 농약 투입량 및 에너지 사용량이 많은 측면에서 기인하는 차이로 사료된다⁴⁸⁾. 미국의 경우 지역별 배출량 편차가 매우 커 국내산보다 높고 낮음을 단순 비교하는 것은 어려우나, 미국의 문헌만을 분석하였을 때, 단위 면적 당 생산량이 많을수록 배출량은 낮은 반면, 비료, 농약, 연료 사용량은 통계적 인과관계를 지니지 않으므로, 미국에서의 옥수수 생산의 경우 온실가스 배출량을 결정하는 주요 요인으로 토양 및 재배방식의 영향이 가장 클 것으로 보여진다⁴⁹⁾⁵⁰⁾. 브라질의 경우 식용, 사료용 옥수수가 모두 산정되었으며 수확 과정에서 농기계 등을 활용하지 않고, 대부분 사람의 노동력을 이용하여 국내산보다 현저히 낮은 배출량을 보였다. 특히, 식용 옥수수는 사료용보다 46% 낮은 배출량을 보이는데 이는 종의 차이로 식용의 생산량이 더 많으며, 식용으로 사용하기 위해 사료용과 달리 건조 과정을 제외하는 것에서 차이를 보이는 것으로 나타났다⁵¹⁾.

종합적으로, 본 연구와 선행연구 그리고 해외 문헌에서의 옥수수 생산에 따른 온실가스 배출량 비교가 시사하는 점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 옥수수 재배 과정에서 발생하는 온실가스 중 국내는 에너지 생산 및 사용이 차지하는 비중이 가장 큰데, 이를 미국 사례와 함께 봤을 때, 에너지 사용과 생산량이 비례하지 않은 점을 보아 재배 환경에 따라 전기, 연료 사용량 절감을 통해 온실가스 배출 저감이 가능한 영역으로 사료된다. 동시에 사용량에 따라 온실가스 배출량에 많은 영향을 미칠 수 있어, 전기 및 연료 사용량 데이터를 시스템 경계에 맞게 정교하게 수집이 필요함을 시사한다. 본 연구에서의 국내산의 에너지 사용 및 생산에서 발생하는 온실가스 배출량이 0.3917 kg

48) 한국농촌경제연구원. 2012. 세계농업

49) Seungdo Kim. 2009. Life cycle assessment of corn grain and corn stover in the United States

50) National Soil Survey Center. 2005. Soil characterization database. Natural Resources Conservation Service

51) G. Giusti. 2023. Environmental impacts management of grain and sweet maize through life cycle assessment in São Paulo, Brazil

CO₂-eq./옥수수-1 kg로 전체 배출량인 0.4786 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg의 81.8%를 차지하였으나, 선행연구에서는 에너지 생산 및 사용에서 발생하는 온실가스 배출량은 0.0817 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg로 전체 배출량인 0.9127 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg의 9.0%를 차지하였다. 미국도 유사하게 전체 배출량인 0.4232 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg 중, 비료 시비를 포함한 에너지 생산 및 사용에서의 온실가스 배출량은 0.0565 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg으로 차지 비중은 13.4%를 차지하여, 실제 옥수수 생산 과정 중 에너지 생산 및 사용에서 발생하는 온실가스가 적은 비중을 차지할 수 있다.

둘째, 해외에서의 옥수수 운송을 고려할 때 단위 중량당 수송과정에서의 온실가스 배출량은 전체 배출량에서 차지하는 비중이 높다. 가장 비중이 큰 아르헨티나의 경우 수송에서의 온실가스 배출량(0.2523 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg)이 전체 배출량(0.4513 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg)의 55.9%를 차지하였으며, 브라질(0.1901 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg)은 48.3%, 미국(0.0919 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg)은 17.8% 수준으로 나타났다. 수송 단계에서의 온실가스 배출량은 거리에 비례하여 증가하기에, 먼 곳에서 제품이 운반될수록 배출량은 비례하여 증가한다. 따라서 우리나라와 상대적으로 거리가 먼 아르헨티나, 브라질, 미국의 옥수수는 전체 배출량에서 운반에 의한 비중이 크기에, 이러한 운반을 고려하여 옥수수의 온실가스 배출량 비교는 필수적인 사항이다.

셋째, 토양 배출 단계에 대해서는 적극적인 온실가스 배출량 산정이 필요해 보인다. 미국의 문헌에서는 비료, 농약이 토양 내 잔류하다가 대기 중으로 다시 배출되는 온실가스의 양을 산정하였는데, 이는 전체 배출량인 0.4232 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg의 61.0%를 차지한다(0.2582 kg CO₂-eq./옥수수-1 kg). 미국 문헌의 경우, 본 연구, 선행연구를 비롯한 다른 해외 연구와 비교하였을 때 토양 내 잔류 농약에 의한 실제 온실가스 배출이 상당할 것으로 예상되는 만큼 농약 사용에 따른 온실가스 배출량에 집중한 후속 연구의 필요성을 시사한다.

본 연구와 해외 문헌 자료는 연구 목적, 대상(식용, 사료용), 경계 정의, 산정 방법 등에서 차이에 있어 비교분석에 있어 한계를 지닌다. 예를 들어, 아르헨티나 문헌에서 다루고 있는 토양 준비 과정에서의 온실가스 배출량의 경우, 본 연구에서 질소만을 이용하여 산정한 것과 달리 비료 내 인(P), 황(S) 성분에도 의한 온실가스 배출량을 산정하고 있으며, 살균제만을 고려한 본 연구와 달리 제초제, 살충

제에 의한 배출량을 함께 고려하고 있다. 또한, 미국, 브라질 문헌에서는 국내산에서 다루고 있지 않은 토양 배출, 운송을 고려하는 등 시스템 경계가 다르므로 해당 단계에 한하여서는 해외와의 단순 비교는 한계점이 있는 것으로 볼 수 있다. 이는 부족한 샘플 수에서 비롯되는 것이므로 비교 대상이 되는 연구 결과 간 분석에 신중할 필요성이 있다. 한편, 비교 가능한 범위 내에서 시스템 경계 구분 등 별도의 통계적 처리 통해 본 연구에서 설정한 시스템 경계 내에서는 단순 비교가 가능한 수준으로 결과 분석을 수행하였으므로, 인센티브 설계의 근거자료 확보가 본 연구의 주 목적인 만큼 연구 목적은 달성하였다고 볼 수 있다.

<표 3.118> 국내외 옥수수의 전과정 온실가스 배출량

구분	온실가스 배출량 (ton CO ₂ eq./ha, kg CO ₂ eq./kg-옥수수)					
		국내 (본연구) ^{4,5)}	국내 (선행연구) ^{4,5)}	아르헨티나 ⁶⁾	브라질 ⁷⁾	미국 ^{2,8)}
비료 생산	ha 단위	0.2213	2.4430			0.8004
	kg 단위	0.0336	0.3710	1.4786	2.0387	(ha 단위)
농약 생산	ha 단위	0.0119	0.0606			0.1085
	kg 단위	0.0018	0.0092	(ha 단위)	(ha 단위)	(kg 단위)
비료 시비	ha 단위	0.3391	5.0309			0.4168
	kg 단위	0.0515	0.7640	0.1990	0.1850	(ha 단위)
에너지 생산 및 사용	ha 단위	2.5793	0.5380			0.0565
	kg 단위	0.3917	0.0817	(kg 단위)	(kg 단위)	(kg 단위)
기타 자재	ha 단위	-	0.1383	-	-	-
	kg 단위	-	0.0210	-	-	-
토양 배출 ¹⁾	ha 단위	-	-	-	-	1.9047
	kg 단위	-	-	-	-	0.2582
수송(해외내 운송)	ha 단위	-	-	-	0.2039	-
	kg 단위	-	-	-	0.0185	-
수송(해외→ 부산항) ³⁾	ha 단위	-	-	(1.8746)	(2.0949)	(0.6779)
	kg 단위	-	-	(0.2523)	(0.1901)	(0.0919)
합계	ha 단위	3.1516	8.2108	1.4786 (3.3532)	2.2426 (4.3375)	3.1219 (3.7998)
	kg 단위	0.4786	1.2469	0.1990 (0.4513)	0.2035 (0.3936)	0.4232 (0.5151)

- 1) 토양 내 탄소 및 아산화질소 등이 대기 중으로 배출되어 발생
- 2) 지역에 따라 배출량이 상이하여 평균값 적용
- 3) 해외 항구에서 부산항까지의 거리는 아르헨티나(부에노스아이레스) 27,970.28 km, 브라질(리우데자네이루) 21,075.76 km, 미국(샌디에고) 10,193.41 km
- 4) 본 연구는 임의의 표본집단 10개 농가의 설문조사를 기반으로 활동자료를 마련하였으나, 선행연구의 경우 저탄소 인증배출량 기준을 기반으로 산정
- 5) 국내 경작면적당 생산량은 6,585 kg/ha
- 6) 아르헨티나 경작면적당 생산량은 7,430 kg/ha
- 7) 브라질 경작면적당 생산량은 11,020 kg/ha
- 8) 미국 경작면적당 생산량은 7,377 kg/ha

4. 쇠고기의 탄소발자국 산정

4.1. 국내 쇠고기의 탄소발자국

4.1.1. 목적 및 범위 정의

■ 목적 정의

전과정평가 수행 목적은 “국내외 쇠고기의 탄소발자국을 비교”하기 위함이다.

■ 범위 정의

▶ 기능단위

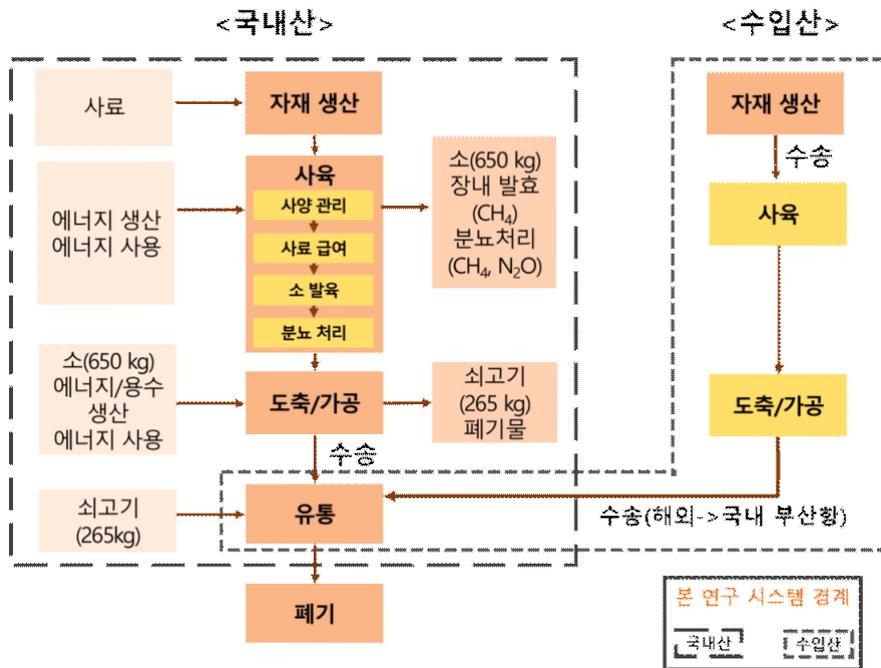
쇠고기는 소를 도축 후 가공한 축산물이다. <표 3.119>는 본 연구에서의 쇠고기의 탄소발자국을 산정하기 위한 기능, 기능단위, 기준흐름을 정의하였다. 기능은 식용으로 사용하기 위한 소 도축 후 가공한 쇠고기로 선정하였다. 기능단위는 쇠고기의 단위중량인 “쇠고기 1 kg”으로 선정하였다. 기준흐름도 동일하게 “쇠고기 1 kg”으로 선정하였다.

<표 3.119> 쇠고기의 단계별 적용 방법론 및 산정식

구분	내 용
기능	식용으로 사용하기 위한 소 도축 후 가공한 쇠고기
기능단위	쇠고기 1 kg
기준흐름	쇠고기 1 kg

▶ 시스템경계

쇠고기의 전과정은 [그림 3.66]에 나타난 자재 생산단계, 사육단계, 도축/가공 단계, 유통단계, 소비단계, 폐기단계로 구성되며, 각 단계별 수송으로 구성된다. 본 연구에서는 국내산 쇠고기의 시스템 경계는 자재 생산, 소 사육, 소 도축 및 쇠고기 가공, 유통단계까지로 한정하였으며, 수입산의 시스템 경계는 해외에서 자재 생산, 소 사육, 소 도축 및 쇠고기 가공 후 국내 항구로 수송되는 과정까지 포함하였다. 수송은 자재 생산단계에서 사육단계, 사육단계에서 도축단계를 제외하고, 유통단계만 고려하였다. 사육 소의 중량은 650 kg/두 이며, 쇠고기는 265 kg/두로 나타났다. 이를 쇠고기 1 kg로 환산하였다.



[그림 3.66] 쇠고기의 시스템 경계

<표 3.120>은 본 연구에서 시스템 경계로 선정한 공정별 개요를 나타내었다.

<표 3.120> 쇠고기의 공정별 상세 설명

공정	공정 설명	
사료 생산	소를 사육하기 위해 사용되는 사료를 생산하는 과정	
사양 관리	소 종별로 특징을 파악하여 건강관리 및 사료 관리를 하는 과정	
사료 급여	고급육 생산을 위해 조사료 종류, 급여 수준 및 급여 방법 등을 고려하는 소에게 사료를 주는 과정	
사육	소의 전기	비육 전기는 비육말소의 비육이 시작되는 단계이며 근육 발달과 지방 축적이 이루어짐
	소의 발육 후기	주로 체지방이 축적되는 단계로 육질이 개선되며 비육이 마무리되는 기간
분뇨 처리	소의 분뇨는 자원화시설에서 퇴비 원료로 사용하는 과정	
도축/가공	도축	소를 도축하는 과정
	가공	도축한 소를 부위별로 포장하는 과정
유통	수송	가공한 쇠고기를 각 지역으로 수송하는 과정

▶ 데이터 범주

표 <3.121>은 본 연구에서의 데이터 범주를 나타낸 것이다. 데이터 범주는 원료, 보조물질, 에너지, 제품, 대기 배출물로 구분하였다.

<표 3.121> 쇠고기의 생산 및 도축/가공 공정의 데이터 범주

공정	세부 데이터	
생산	투입물	원료 송아지 보조물질 사료 에너지 전력, 경유, 휘발유, 등유
	산출물	제품 소 대기배출물 CH ₄ , N ₂ O
	투입물	원료 소 에너지 전력, 용수, 냉매
	산출물	제품 쇠고기 폐기물 일반 폐기물

▶ 데이터 품질요건

<표 3.122>는 본 연구에서의 데이터 품질요건을 나타낸 것이다. 데이터는 현장데이터와 문헌데이터로 구분한다. 데이터는 현장데이터를 수집하여 이용하는 것을 원칙으로 하나, 현장 데이터를 수집하기 어려운 경우에는 관련 문헌 데이터를 수집하였다. 문헌 데이터를 국가 또는 해외 LCI 데이터베이스로 연결되어 대상의 상위 및 하위 흐름에 대한 환경부하를 모두 고려하였다. 여기에서의 상위 흐름은 자재, 에너지 생산 등에 대한 흐름이며, 하위 흐름은 폐기물 등의 처리에 대한 흐름을 의미한다.

<표 3.122> 쇠고기의 데이터 품질요건

구분	상/하위 흐름	생산/도축 단계
시간적 범위	10년 이내 데이터	2022년
지역적 범위	해당 지역 데이터	현장 및 문헌 데이터
기술적 범위	-	쇠고기 생산 및 도축하기 위한 최신 기술

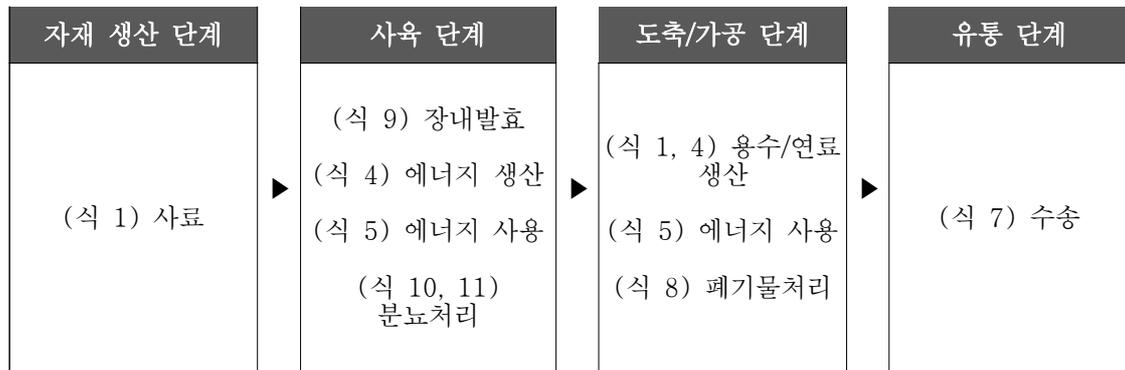
▶ 할당

할당은 다양한 축산물을 동시에 생산할 시 투입물과 배출물을 배분하기 위해 수행된다. 본 연구에서는 도축 및 가공하는 기업에서 소와 돼지를 동시에 도축 및 가공하고 있어 생산량 비율로 할당하였다.

▶ 적용 방법론

본 연구에서는 <표 3.123>에 각 단계별로 나타낸 ISO 14044의 방법론과 국가 인벤토리 보고서에서 적용한 IPCC 방법론을 적용하였다.

<표 3.123> 쇠고기의 단계별 적용 방법론 및 산정식



단계	온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
자재 생산 사료 생산	(식 1) 사료 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{사료 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg})$	ISO 14040/ 14044
장내 발효	(식 9) 장내 발효 탄소배출량(CH₄) $CH_4 \text{ Emissions} = E_T \times \left[\frac{N_T}{10^6} \right] \times GWP_{CH_4}$ $E_T = \text{축종별 배출계수, kg CH}_4/\text{두}\cdot\text{년}$ $N_T = T\text{가축 종의 두수}$ $GWP_{CH_4} = 25$	IPCC 1996 (산식) IPCC 2006 (GWP)
사육 에너지 생산	(식 4) 에너지 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg, L})$	ISO 14040/ 14044
에너지 사용	(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수} (\text{kgCO}_2\text{-eq./kg, L}) + \sum \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kWh})$	IPCC 1996 (산식) IPCC 2006 (GWP)

단계	온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
	<p>(식 10) 분뇨처리 시 탄소배출량(CH₄)</p> $CH_4 Emissions = \frac{(E_T \times N_T)}{10^6} \times GWP_{CH_4}$ <p>E_T=축종별 배출계수, kg CH₄/두·년 N_T=T가축 종의 두수 GWP_{CH₄}=25</p>	
분뇨 처리	<p>(식 11) 분뇨처리 시 탄소배출량(N₂O)</p> $N_2O Emissions = (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)} \times EF_{3(S)} \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}$ <p>N_(T)=종의 두수 Nex_(T)=T가축 종의 연평균 질소 배출량, kg H/두수/년 MS_(T)=T가축 종의 S분뇨관리시스템 비율 EF_{3(S)}=S분뇨시스템의 N₂O-N 배출계수, kg N₂O-N/kg N S : 분뇨시스템 T: 가축 종 44/28: N₂O-N를 N₂O로 전환 GWP_{N₂O}=298</p>	IPCC 1996 (산식) IPCC 2006 (GWP)
용수 생산	<p>(식 1) 용수 생산 시 탄소배출량</p> $\sum \text{용수 사용량} \times \text{탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg)}$	ISO 14040/14044
에너지 생산	<p>(식 4) 연료 생산 시 탄소배출량</p> $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg, L)}$	ISO 14040/14044
에너지 소비	<p>(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량¹⁾</p> $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg, L)} + \sum \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kWh)}$	ISO 14040/14044
도축	<p>(식 1) 세척용품 사용 시 탄소배출량</p> $\sum \text{제품 사용량} \times \text{탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg)}$ <p>(식 12) 폐수 처리 시 탄소배출량</p> $CH_4 = Emission = \sum_i [(TOW_i - S_i)EF_i - R_i]$ <p>CH₄Emissions = CH₄ 배출량, kg CH₄/yr TOW_i = 산업 폐수에서의 총 유기 분해 가능 물질 i = 산업 분야 S_i = 슬러지로 제거된 유기 성분 EF_i = 배출계수, kg CH₄/kg COD R_i = 회수된 CH₄양</p>	ISO 14040/14044
폐기물 처리	<p>(식 8) 폐기물 처리 시 탄소배출량</p> $\sum \text{폐기물의 양} \times \text{폐기물 처리 방법별 탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg)}$	

단계	온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
용수 생산	(식 1) 용수 생산 시 탄소배출량 $\Sigma \text{용수 사용량} \times \text{탄소배출계수}(\text{kg CO}_2\text{-eq./kg})$	ISO 14040/ 14044
에너지 생산	(식 4) 연료 생산 시 탄소배출량 $\Sigma \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수}(\text{kg CO}_2\text{-eq./kg, L})$	
가공	(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량 ¹⁾ $\Sigma \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수}(\text{kgCO}_2\text{-eq./kg, L}) + \Sigma \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수}(\text{kg CO}_2\text{-eq./kWh})$	ISO 14040/ 14044
폐기물 처리	(식 8) 폐기물 처리 시 탄소배출량 $\Sigma \text{폐기물의 양} \times \text{폐기물 처리 방법별 탄소배출계수}(\text{kg CO}_2\text{-eq./kg})$	ISO 14040/ 14044
유통	(식 7) 수송 시 탄소배출량 $\Sigma \text{수송량} \times \text{수송거리} \times \text{수송 탄소배출계수}(\text{kg CO}_2\text{-eq./ton}\cdot\text{km})$	ISO 14040/ 14044

1) 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서(2006 IPCC GL)

▶ 가정 및 제한사항

소를 도축하기까지의 사육 기간은 30개월로 가정하였으며(농촌진흥청, 2021)⁵²⁾, 소 30월령 1두의 중량은 평균 출하체중 650 kg로, 쇠고기의 중량은 도축 및 가공 전문 업체의 자료를 이용하여 265 kg으로 가정하였다.

사육 단계에서 소에게 투입되는 사료의 양은 현장데이터와 문헌조사를 통해 1두당 출하 전까지 약 4.3 ton을 가정하였다.(농촌진흥청,2021).

도축 및 가공단계에서의 락스와 주방세제는 국내 배출계수가 부재하여 해외 문헌의 배출계수를 적용하였다⁵³⁾.(Senorpe Asem-Hiablie, 2018).

도축/가공 단계에서 발생하는 폐수는 생물학적 수처리를 통해 처리되나 온실가스 배출량 산정에 필요한 현장 데이터를 수집하기 어려워 문헌 데이터(김희준, 2019)와 환경부에서 제시한 탄소배출계수를 적용하였고⁵⁴⁾ 폐수 처리 과정에서 사용되는 전력 사용량은 현장 데이터에 포함되어 있다.

52) 농촌진흥청. 2021. 농업기술길잡이 한우

53) Senorpe Asem-Hiablie. 2018. A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in the USA

54) 김희준. 2019. 도축장 폐수의 수질오염원이 물벼룩에 미치는 생태독성 평가 연구

수송은 자재 생산지에서 축산 농가까지의 거리와 축산 농가에서 도축장까지의 차량 수송에서 발생하는 온실가스 간접 배출량을 의미한다. 전과정 관점에서 보았을 때 해당 단계에서의 배출량은 ① 출하되는 상품의 중량 대비 차지하는 비중이 미미할 뿐더러, ② 휘발유, 경유 등의 화석연료가 생산단계에서의 사용량으로서 일정 부분 포함되어 있으며, ③ 현장의 동선을 정확하게 파악하는 것이 어려워 산정 과정에서 제외하였다.

유통단계는 쇠고기 유통 전문기업 “H社”의 자료를 이용하였다.

4.1.2. 전과정 목록 분석

▶ 데이터 수집 및 계산

본 연구에서는 앞서 설정한 시스템 경계에서의 각 단계의 데이터 수집을 위하여 부록 2에 나타낸 설문서를 이용, 25개 농가에서 사용된 전기, 경유, 휘발유, 등유 등 연료, 사료 등의 양과 사육두수, 생산량을 파악하였다. <표 3.124>은 수집한 자료를 합한 값을 나타낸 것이다. 본 연구에서의 기능단위인 쇠고기 1 kg은 소 30월령 1 두의 중량은 평균 출하체중 650 kg인 소에서 도축 후 얻게 되는 쇠고기의 중량을 265 kg으로 가정, 수율 40.77%를 두당 투입되는 투입물 중량에 적용하였다.

<표 3.124> 소의 사육정보

구 분	단위	값	값 (소 650 kg)	값 (쇠고기 1 kg)	비고
전기	kWh	2,805,000	931,5842	3.5154	
경유	L	52,500	17.4361	0.0658	환산계수 0.86 kg/L
투입물 휘발유	L	1,625	0.5397	0.0020	환산계수 0.75 kg/L
등유	L	1,000	0.3321	0.0013	환산계수 0.84 kg/L
사료	kg	5,203,008	4,320	16.3019	
산출물 소	두	3,011	650.0000	2.4528	

▶ 자재 생산단계

자재 생산단계에서는 사료 생산에 대한 자료를 수집하였다. 쇠고기 1 kg 기준의 사료 사용량은 <표 3.125>에 나타난 자료를 이용하였다.

<표 3.125> 쇠고기의 자재 생산단계의 정보

구 분	단위	값(쇠고기 1 kg 기준)
투입물 배합 사료	kg	16.3019

자재 생산과정의 자료는 현장 데이터를 이용하는 것이 가장 바람직하나, 본 연구에서는 현장 데이터 수집이 어려워 <표 3.126>에 나타난 탄소배출계수를 이용하였다. 배합 사료의 탄소배출계수는 농촌진흥청의 “저탄소 농축산물 인증제 참여를 위한 반추가축 축산물 LCI DB 기반 구축” 문헌을 이용하였다. 탄소배출계수는 2013년에서 2017년까지의 사료 단위 중량당 배출계수인 5.916E-01kg CO₂ eq./kg을 활용하였고, 가축용 사료에 대한 온실가스 배출량 산정 시 시스템 경계는 각 사료원의 생산과정, 운송, 최종 가공과정을 포함하였고, 우리나라는 해외에서 사료원을 수입하는 구조이기에 수입 시 해상 운송 부분도 포함되었다 (농촌진흥청, 2019)⁵⁵⁾.

<표 3.126> 자재 생산단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보		
	단위	탄소배출계수	출처
투입물 배합 사료	kg CO ₂ eq./kg	5.92E-01	농촌진흥청

▶ 사육단계

소의 사육단계 산정은 <표 3.124>에 나타난 소의 사육정보를 이용하였다.

본 연구에서는 소 사육 시 사료 사용으로 인한 장내 발효에 따른 CH₄ 배출 정보, 소 사육 시 분뇨처리 시 CH₄ 배출 및 N₂O 배출, 전기, 경유, 휘발유, 등유 등 연료 생산 및 사용으로 인한 자료를 수집하여 산정하였다.

55) 농촌진흥청. 2019. 저탄소 농축산물 인증제 참여를 위한 반추가축 축산물 LCI DB 기반 구축

장내 발효 및 분뇨처리에 의한 정보는 <표 3.127>에 나타내었다. 소 1 두 기준으로 사육 기간 30개월을 곱한 후, 12개월로 나누면 값은 2.50 head·yr이다.

<표 3.127> 소 사육 시 장내 발효 및 분뇨처리에 따른 정보

소 수량(두)	사육기간(월)	값(head·year)
1	30	2.50

분뇨 처리시설은 가장 많이 사용되는 퇴비화시설로 가정하였다.

전기, 경유, 휘발유, 등유 등 에너지에 대한 정보를 <표 3.128>에 나타내었다. 경유, 휘발유, 등유의 생산에 대한 온실가스 배출량을 산정하기 위해 연료의 사용량은 환산계수를 적용하여 변환하였다.

<표 3.128> 소 사육 시 에너지 생산 및 사용 정보

구 분	단위	값 (최고기 1 kg 기준)
전기 생산	kWh	3.5154
경유 생산	kg	0.0566
경유(이동) 사용	L	0.0658
휘발유 생산	kg	0.0015
휘발유(이동) 사용	L	0.0020
등유 생산	kg	0.0011
등유(고정) 사용	L	0.0013

사육단계에서 사용하는 탄소배출계수는 <표 3.129>에 나타내었다. 소 사육 시 사용되는 연료에 의한 탄소배출계수는 환경부에서 개발한 계수를 이용하였으며, 사료 사용으로 인한 장내 발효의 CH₄ 배출에 의한 탄소배출계수, 소 사육 시 분뇨처리에 의한 CH₄ 배출계수, 분뇨내 연평균 질소량, 분뇨 퇴비화 시설의 N₂O자료는 국가 온실가스 인벤토리 보고서에서 제시하고 있는 계수를 이용하였다.

<표 3.129> 소 사육단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보		
	단위	탄소배출계수	개발기관
전기	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상자원부
경유(이동)	kg CO ₂ eq./L	2.60E+00	환경부
휘발유(이동)	kg CO ₂ eq./L	2.13E+00	환경부
실내등유(고정)	kg CO ₂ eq./L	2.46E+00	환경부
장내발효의 사용	kg CH ₄ /head/yr	47	IPCC (북미) 1996
분뇨처리의 CH ₄	kg CH ₄ /head/yr	1	IPCC (북미) 1996
분뇨내 연평균 질소량	kg N/head/yr	70	IPCC (서유럽) 1996
퇴비화시설 N ₂ O	kg N ₂ O-N/kg N	0.002	IPCC 1996

▶ 도축/가공 단계

도축 및 가공단계는 사육한 소를 도축장에서 도축한 후, 쇠고기로 가공하는 단계이다. 도축 및 가공단계에서는 현장 데이터를 이용하였다. 국내에서 가공업체로 생산비율이 가장 높은 “H”기업의 2022년 연간 자료를 수집하였다. 도축 및 가공정보는 <표 3.130>과 <표 3.131>에, 도축/가공단계에서 사용한 탄소배출계수는 <표 3.132>에 나타내었다. 소의 중량은 1두 기준으로 650 kg이며, 가공 후 쇠고기의 중량은 265 kg으로 나타났다. “H”기업은 돼지 1두를 기준으로 자료를 취합하고 있으며, 소 1 두는 돼지 6 두로 가정하고 있다. 따라서, 본 연구에서도 돼지 1 두 기준으로 기초 자료에 6을 곱한 후, 쇠고기 265 kg으로 나누어 쇠고기 1 kg 기준의 값을 산정하였다. LPG의 환산계수는 0.579 kg/Nm³를 적용하였다.

<표 3.130> 소 도축단계의 정보

구 분	단위	값 (돼지 1두 기준)	값 (쇠고기 1 kg 기준)	비고	
	소	kg	돼지 1/6두	2.4528	
	공업용수	ton	0.3673	0.0083	
	전기	kWh	18.0000	0.4075	
투입물	LPG(생산)	Nm ³	1.2090	0.0274	
	LPG(연소)	kg	0.7000	0.0158	
	락스	kg	0.0075	0.0002	
	주방세제	kg	0.0034	0.0001	
	냉매	kg	0.0034	0.0001	
	쇠고기	kg	1.0000	1.0000	
산출물	폐수	ton	0.3782	0.0012	BOD 2,500mg/L*56)
	폐기물	kg	1.4528	1.4528	

* 김희준. 2019. 도축장 폐수의 수질오염원이 물벼룩에 미치는 생태독성 평가 연구

<표 3.131> 소 가공단계의 정보

구 분	단위	값 (돼지 1두 기준)	값 (쇠고기 1 kg 기준)	비고
투입물	전기	kWh	15.7956	0.3576
산출물	쇠고기	kg	돼지 1/6두	1.0000

56) 김희준. 2019. 도축장 폐수의 수질오염원이 물벼룩에 미치는 생태독성 평가 연구

<표 3.132> 소 도축/가공단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보		
	단위	탄소배출계수	출처
공업용수	kg CO ₂ eq./kg	2.11E-04	환경부
전기	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상자원부
LPG 생산	kg CO ₂ eq./kg	3.94E-01	환경부
LPG(고정) 연소	kg CO ₂ eq./Nm ³	3.65E+01	산업통상자원부
냉매(R-22) 생산	kg CO ₂ eq./kg	7.51E-01	환경부
냉매(R-22)(GWP)	kg CO ₂ eq./kg	1,810	IPCC
락스	kg CO ₂ eq./kg	2.12.E-04	BASF(2002)*
주방세제	kg CO ₂ eq./kg	1.28.E-05	BASF(2000)*
폐수	kgCO ₂ /kg BOD	5.61E-01	환경부
음식물쓰레기 재활용	kg CO ₂ eq./kg	1.12E-02	환경부

* BASF 데이터 소스는 Ecoinvent 2.2 LCI 목록 데이터베이스 활용(Asem-Hiablie, S 2018)

▶ 유통단계

유통단계는 제품 가공 후 각 지역으로 유통되는 생산량과 생산비율을 쇠고기 유통 전문 기업 “H社”로부터 수집하였다. 권역별로 수도권, 충청권, 경상권, 전라권으로 구분하여 수집하였으며, 환경성적표지인증지침에서 제시하고 있는 권력별 거리를 적용하여 ton·km로 산정하였다. 국내산 쇠고기의 수송량 및 수송거리는 <표 3.133>에 나타낸 바와 같이 185,038 ton·km로 분석되었으며, 이를 쇠고기 유통량 합계인 1,217,076 kg로 나누면 쇠고기 1 kg 기준의 수송량은 0.1520 ton·km로 나타났다.

<표 3.133> 유통 정보(“H”기업→각 지역)

지역	유통량 (kg-쇠고기)	수송거리(km)	수송량(ton·km)
서울	859,491	138	118,610
충청	31,294	38	1,189
경상	200,915	220.5	44,302
전라	125,375	167	20,938
합계	1,217,076		185,038
수송량(쇠고기 1 kg 기준)			0.1520

수입산은 수입국 1위인 미국에서 생산 후 국내 부산항으로 오는 수송거리를 고려하였다. 수입산 쇠고기 1 kg를 기준으로 국내 부산항까지의 수송거리를 <https://www.searates.com/services/distances-time/>에서 수집하였다. <표 3.134>에 나타낸 수송량은 10.3829 ton·km로 분석되었다.

<표 3.134> 수송(미국→부산항) 정보

수입산(미국) 쇠고기(kg)	수송거리(km)	수송량(ton·km)
1	10,382.85	10.3829

수송 시의 탄소배출계수는 <표 3.135>에 나타낸 육로수송과 외항선(컨테이너선)의 탄소배출계수를 이용하였다.

<표 3.135> 수송단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보		
	단위	탄소배출계수	출처
육로수송	kg CO ₂ eq./ton·km	1.92E-01	환경부
해양수송 (외항선(컨테이너))	kg CO ₂ eq./ton·km	2.11E-03	환경부

▶ 목록분석 결과 및 탄소배출계수 정보

<표 3.136>은 본 연구에서 산정한 쇠고기 1 kg 기준의 각 공정별 목록분석 결과와 수집한 탄소배출계수를 정리하였다.

<표 3.136> 쇠고기 1 kg 기준의 공정별 목록분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보

공정	구분	단위	값 (쇠고기 1 kg 기준)	사용 탄소배출계수 정보				
				물질	단위	탄소배출 계수	출처	
자재 생산	투입물	사료	kg	0.0455	배합 사료	kg CO ₂ eq./kg	5.92E-01	농촌진흥청
		전기	kWh	3.4154	전기 생산	kg CO ₂ eq. /kWh	4.95E-01	산업통상 자원부
	투입물	경유	kg	0.0566	경유 생산	kg CO ₂ eq./kg	6.82E-02	산업통상 자원부
		휘발유	kg	0.0015	휘발유 생산	kg CO ₂ eq./kg	8.32E-02	산업통상 자원부
사용		등유	kg	0.0011	등유 생산	kg CO ₂ eq./kg	2.53E-01	산업통상 자원부
		경유	L	0.0658	경유 (이동) 사용	kg CO ₂ eq./L	2.60E+00	환경부
		휘발유	L	0.0020	휘발유 (이동) 사용	kg CO ₂ eq./L	2.13E+00	환경부
		등유	L	0.0013	실내등유 (고정) 사용	kg CO ₂ eq./L	2.46E+00	환경부
	산출물	장내 발효	head · year	0.0214	장내발효 의 사용	kg CH ₄ /head/yr	47	IPCC (복미) 1996
					분뇨처리 CH ₄	kg CH ₄ /head/yr	1	IPCC (복미) 1996
		분뇨 처리	head · year	0.0214	분뇨내 연평균 질소량	kg N/head/yr	70	IPCC (서유럽) 1996
				퇴비화 시설 N ₂ O	kg N ₂ O-N/kg N	0.002	IPCC 1996	
도 축	투 입	공 업 용 수	ton	0.0083	공 업 용 수 생 산	kg CO ₂ eq./kg	2.11E-04	환경부

공정	구분	단위	값 (최고기 1 kg 기준)	사용 탄소배출계수 정보			
				물질	단위	탄소배출 계수	출처
물	전기	kWh	0.4075	전기 생산	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상 자원부
	LPG	kg	0.0518	LPG 생산	kg CO ₂ eq./kg	3.94E-01	환경부
	LPG	Nm ³	0.0274	LPG (고정) 연소	kg CO ₂ eq./Nm ³	3.65E+01	산업통상 자원부
	락스	kg	0.0002	NaClO	kg CO ₂ eq./kg	2.12.E-0 4	*BASF(20 02)
	주방 세제	kg	0.0001	Alkyl (C14)	kg CO ₂ eq./kg	1.28.E-0 5	*BASF(20 00) ⁵⁷⁾
	냉매	kg	0.0001	냉매 (R-22) 생산	kg CO ₂ eq./kg	7.51E-01	환경부
				냉매 (R-22) (GWP)	kg CO ₂ eq./kg	1,810	IPCC
산출물	폐수	ton	0.0012	생물학적 폐수처리	kg CO ₂ eq./kg BOD	5.61E-01	환경부
	폐기물	kg	1.4528	음식물 쓰레기 재활용	kg CO ₂ eq./kg	1.12E-02	환경부
가공	전기	kWh	0.3576	전기 생산	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상 자원부
	PE 포장재	kg	0.0068	LDPE	kg CO ₂ eq./kg	1.86E+00	산업통상 자원부
	골판지 박스	kg	0.0405	골판지	kg CO ₂ eq./kg	5.81E-02	산업통상 자원부
	OPP 테이프	kg	0.0002	OPP 테이프	kg CO ₂ eq./m ²	8.81E-02	산업통상 자원부
유통	국내 수송 (국내산)	ton· km	0.1520	해양 수송 (외항선, 컨테이너)	kg CO ₂ eq./ton·km	1.92E-01	환경부
	해외 수송	ton· km	10.3829	해양 수송 (외항선, 컨테이너)	kg CO ₂ eq./ton·km	2.11E-03	환경부

* BASF 데이터 소스는 Ecoinvent 2.2 LCI 목록 데이터베이스 활용(Asem-Hiablie, S 2018)

57) Senorpe Asem-Hiablie. 2018. A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in the USA

4.1.3. 탄소배출량 산정

▶ 자재 생산단계

자재 생산단계에서의 온실가스 배출량은 <표 3.123>에 나타난 식 1을 이용하여 <표 3.136>에 나타난 쇠고기 1 kg 기준의 사료 사용량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. <표 3.137>은 사료 생산 시 온실가스 배출량을 나타낸 것으로, 산정결과는 쇠고기 1 kg 기준으로 9.6442 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.137> 소 사육 시 자재 생산단계의 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (쇠고기 1 kg 기준)	탄소배출계수	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./ kg-쇠고기)
사료	kg	16.3019	5.92E-01	9.6442

▶ 사육단계

소 사육단계에서의 온실가스 배출량은 크게 4가지로 구분할 수 있다. 장내발효에 의한 CH₄ 배출로 인한 온실가스 배출량, 분뇨 처리에 의한 CH₄ 및 N₂O 배출로 인한 온실가스 배출량, 에너지 생산 및 사용에 따른 온실가스 배출량으로 구분할 수 있다.

장내 발효에 의한 온실가스 배출량은 <표 3.123>에 나타난 식 9를 이용하여 <표 3.138>에 나타내었다. 온실가스 배출량은 <표 3.131>에 나타난 소 1 두 기준의 장내 발효 정보와 장내 발효의 배출계수, CH₄의 GWP을 곱한 후, 소 1 두당 중량 650 kg으로 나누고 쇠고기 1 kg 기준의 소의 양인 2.4528 kg을 곱하여 산정하였으며, 산정결과 쇠고기 1 kg 기준으로 11.0849 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.138> 소 사육 시 장내 발효에 따른 온실가스 배출량

값 (두/yr)	탄소배출계수 (kg CH ₄ / 두/yr)	GWP	소 중량 (650 kg/두)	환산값 (kg-소/ kg-쇠고기)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./ kg-쇠고기)
2.50	47	25	650	2.4528	11.0849

분뇨 처리에 의한 온실가스는 CH₄ 배출과 N₂O 배출로 발생한다.

분뇨 처리 시 CH₄ 배출로 인한 온실가스 배출량은 <표 3.136>에 나타난 정보를 이용하여 <표 3.123>에 나타난 식 10을 이용하였으며, 산정결과는 <표 3.139>에 나타내었다. 온실가스 배출량은 <표 3.136>에 나타난 소 1 두 기준의 분뇨 처리 정보와 분뇨 처리 시 CH₄의 배출계수, CH₄의 GWP를 곱한 후, 소 1두당 중량 650 kg으로 나누고 쇠고기 1 kg 기준의 소의 양인 2.4528 kg을 곱하여 산정하였으며, 산정결과는 쇠고기 1 kg 기준으로 0.2358 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.139> 소 사육 시 분뇨 처리에 CH₄에 의한 온실가스 배출량

값 (두/yr)	탄소배출계수 (kg CH ₄ / 두/yr)	GWP	소 중량 (650 kg/두)	환산값 (kg-소/ kg-쇠고기)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./ kg-쇠고기)
2.50	1	25	650	2.4528	0.2358

N₂O 배출로 인한 온실가스 배출량은 <표 3.136>에 나타난 정보를 이용하여 <표 3.123>에 나타난 식 11을 이용하였으며, 산정결과는 <표 3.136>에 나타내었다. 온실가스 배출량은 <표 3.136>에 나타난 소 1 두 기준의 분뇨 처리 정보와 분뇨 처리 시 탄소배출계수, 한우 분뇨 내 연평균 질소량, 분뇨 퇴비화시설 N₂O 발생량, 퇴비화 분뇨처리시설 이용비율, N₂O/N 비율을 곱한 후, N₂O의 GWP와 소 1 두 중량 650 kg로 나누고 쇠고기 1 kg 기준의 소의 양인 2.4528 kg을 곱하여 산정하였으며, 산정결과는 쇠고기 1 kg 기준으로 6.1848 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.140> 분뇨 처리에 따른 온실가스 배출량

값 (두/yr)	탄소배출계수 (kg N/두/yr)	GWP	퇴비화 분뇨처리 시설 이용비율	분뇨처리 시설 아산화질소 배출계수 (kg N ₂ O-N/ kg N)	N ₂ O/N 비율	소 중량 (650 kg/두)	환산값 (kg-소/ kg-쇠고기)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./ kg-쇠고기)
2.50	70	298	1	0.02	44/28	650	2.4528	6.1848

소 사육 시 에너지 생산과 사용으로 인한 온실가스 배출량은 <표 3.123>에 나타낸 식 4와 5를 이용하여 산정한 결과를 <표 3.141>에 나타냈으며, 쇠고기 1 kg 기준으로 1.9229 kg CO₂ eq.로 분석되었다.

<표 3.141> 소 사육 시 에너지 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (쇠고기 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq. /kWh, L, kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-쇠고기)
전기 생산	kWh	3.5154	4.95E-01	1.7401
경유 생산	kg	0.0566	6.82E-02	0.0039
경유(이동) 사용	L	0.0658	2.60E+00	0.1711
휘발유 생산	kg	0.0015	8.32E-02	0.0001
휘발유(이동) 사용	L	0.0020	2.13E+00	0.0043
등유 생산	kg	0.0011	2.53E-01	0.0003
등유(고정) 사용	L	0.0013	2.46E+00	0.0031
합계				1.9229

소 사육단계의 온실가스 배출량은 <표 3.142>에 정리하였다. 소 사육단계의 온실가스배출량은 쇠고기 1 kg 기준으로 19.4284 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.142> 소 사육단계의 온실가스 배출량

장내 발효	분뇨 처리	연료 사용	합계
11.0849	6.4206	1.9229	19.4284

▶ 도축/가공 단계

도축 및 가공 단계의 온실가스 배출량은 도축/가공하면서 사용하는 전력, LPG, 용수, 냉매로 인한 것이다. 도축과 가공 단계의 온실가스 배출량은 <표 3.136>에 나타낸 정보를 이용하여 산정한 결과를 <표 3.143>와 <표 3.144>에 나타내었다. 도축 단계의 온실가스 배출량은 쇠고기 1 kg 기준으로 0.4686 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.143> 소 도축 단계의 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (쇠고기 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./kWh, Nm ³ , kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-쇠고기)
공업용수	ton	0.0083	2.11E-04	0.0018
전기	kWh	0.4075	4.95E-01	0.2017
LPG	kg	0.0158	3.94E-01	0.0062
	Nm ³	0.0274	3.65E+01	0.0999
락스	kg	0.0002	2.21E-04	0.000000036
주방세제	kg	0.0001	1.28E-05	0.000000001
냉매	kg	0.0001	7.51E-01	0.0001
냉매	kg	0.0001	1,810	0.1409
폐수	ton	0.0012	5.61E-01	0.0017
폐기물	kg	1.4528	1.12E-02	0.0163
합계				0.4686

가공단계의 온실가스 배출량은 쇠고기 1 kg 기준으로 0.1770 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.144> 쇠고기 가공단계의 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (쇠고기 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./kWh, L, kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-쇠고기)
전기	kWh	0.3576	4.95E-01	0.1770
합계				0.1770

▶ 유통단계

유통단계의 온실가스 배출량은 “H”기업에서 판매하기 위해 각 권역별로 판매 비율을 적용하였으며, 환경부의 환경성적표지 인증지침의 권역별 수송 거리를 고려하여 산정하였다. <표 3.136>에 나타난 정보를 이용하여 <표 3.123>의 나타난 식 7를 이용하여 산정하였으며, 산정결과는 <표 3.145>에 나타내었다. 산정한 결과 쇠고기 1 kg 기준으로 0.0292 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.145> 국내산 쇠고기의 유통에 의한 온실가스 배출량

수송량(ton·km)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./ton·km)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-쇠고기)
0.1520	1.92E-01	0.0292

수입산 쇠고기는 해외에서 가공 이후 국내로 수송되는 과정에서 온실가스 배출량이 발생한다. 수송과정에서의 온실가스 배출량은 <표 3.123>에 나타난 식 7을 이용하여 <표 3.136>에 나타난 쇠고기 1 kg 기준의 수송량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. <표 3.146>에 나타난 산정결과는 쇠고기 1 kg 기준으로 0.0937 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.146> 수입산(미국) 쇠고기의 수송(미국→부산항)에 의한 온실가스 배출량

수송량(ton·km)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./ton·km)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-쇠고기)
10.3829	9.02E-03	0.0937

▶ 전과정 온실가스 배출량

국내산에 대해 전과정에 걸쳐 산정한 온실가스 배출량은 <표 3.147>에 나타내었다. 쇠고기 1 kg 기준으로 국내산은 29.7474kg CO₂ eq.로 나타났으며, 소 사육단계가 65.31%로 가장 높으며, 다음으로 자재 생산단계, 도축/가공단계, 유통단계 순으로 나타났다. 소를 사육하기 위해 사용되는 사료를 생산하는 단계에서 온실가스를 32.42% 배출하였고, 소 사육단계에서 장내 발효로 인한 온실가

스 배출량은 37.26%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 분뇨 처리로 인한 온실가스 배출량이 21.58%, 에너지 생산 및 사용에 의한 온실가스 배출량이 6.46%로 나타났다. 따라서, 쇠고기의 전과정 중에서 온실가스 배출량을 개선할 필요가 있는 분야는 가축 사육 및 사료 생산 분야이다.

<표 3.147> 국내산 쇠고기의 전과정 온실가스 배출량

구분	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-쇠고기)		비율(%)		비고	
자재 생산	사료 생산	9.6442	9.6442	32.42	32.42	-
	장내 발효	11.0849		37.26		
사육	분뇨 처리	6.4206	19.4284	21.58	65.31	-
	에너지 생산 및 사용	1.9229		6.46		
도축 가공	도축	0.4686	0.6456	1.58	2.17	-
	가공	0.1770		0.60		
	유통	0.0292	0.0292		0.10	수입산(평균) 0.0616 kg CO ₂ eq./kg-쇠고기
합계		29.7474		100.00		-

또한, 본 연구에서는 선행연구와의 비교를 통해 연구 결과에 대한 타당성을 검증하고자 한다. 비교 대상은 농림축산식품부(2022)의 저탄소축산물 인증제(소) 도입 연구 자료이다. 선행연구와의 비교를 위해서는 상호 비교 품목의 기준을 동일하게 만드는 과정이 필요하다.

우선 본 연구는 도축 후 머리, 내장, 족(足), 가죽 및 뼈 중량을 제외한 식용 가능한 살코기 무게인 265 kg/두를 쇠고기 1 kg 기능단위 설정의 근거로 한다. 반면, 선행연구의 경우 한우 사육단계에 대해서만 온실가스 배출량을 산정하였으므로, 이는 도축 이전까지만을 고려하기 때문에 도체중에 대한 온실가스 배출량 산정만이 가능하다. 선행연구에서 적용하고 있는 도체중은 유엔식량농업기구(FAO)의 5년간(2017~2021년)의 통계자료를 바탕으로 산정한 평균도체중인 457.07 kg/두이다. 또한, 본 연구는 IPCC 4차⁵⁸⁾ 보고서에 수록된 배출계수를

58) IPCC 4차 Assessment Report, CH₄ GWP: 25 kg CO₂ eq./kg, N₂O GWP: 298 kg CO₂ eq./kg

적용하고 있는 반면, 선행연구는 IPCC 5차⁵⁹⁾ 보고서에 수록된 배출계수를 적용하고 있다.

따라서, 비교 대상의 기준을 동일하게 만들기 위하여 본 연구에 적용한 계수를 IPCC 5차에 수록된 배출계수로 변경하고, 기능단위 또한 1 kg의 쇠고기에서 1 kg의 도체중을 기준으로 재산정하는 과정을 거쳤다. 재산정을 위해 새로 설정한 도체중 기준은 2022 축산물등급판정 통계연보 자료를 바탕으로 430.2 kg/두로 설정하였다.

도체중 기준으로 온실가스 배출량을 재산정한 후 비교 분석을 수행한 결과, 본 연구에서의 소 도체중 1 kg 온실가스 배출량은 12.24 kg CO₂ eq./1 kg-소 도체중으로 선행연구(13.01 kg CO₂ eq./1 kg-소 도체중) 대비 6.3% 온실가스를 적게 배출하는 것으로 나타났다. 소 사육단계에서의 편차는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫 번째로, 사육단계에서 장내발효 경우 선행연구는 7.07 kg CO₂ eq.로 나타났으나, 본 연구에서는 7.51 kg CO₂ eq.로 선행연구 대비 6.2% 많은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 두 연구는 한우 육성 기간을 월령별 도축신고현황 자료를 기준으로 설정하여 한우 1마리 사육 시 평균 30개월(2.5년) 소요로 동일하게 적용하였으며, 고려한 배출계수도 2018년 국가 온실가스 인벤토리 보고서 기준으로 동일했다. 두 연구 간 편차는 도체중 기준의 차이이며, 도체중의 편차 또한 6.2%로 동일하다. 즉, 장내발효에 따른 온실가스 배출량의 차이는 없는 것으로 볼 수 있다.

두 번째로, 분뇨처리단계에서 발생하는 아산화질소의 경우, 선행연구는 2.04 kg CO₂ eq.로 나타났으며 본 연구에서는 3.39 kg CO₂ eq.로 선행연구 대비 66.2% 많은 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다. 이러한 편차는 퇴비화와 액비화의 구분에서 비롯된 것으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 분뇨처리 시 전량 퇴비화로 가정하였지만, 선행연구는 조사 비율에 따라 퇴비화(58.66%), 액비화(24.87%), 기타 처리(16.47%)로 할당하였다.

세 번째로, 에너지 사용의 경우, 선행연구는 3.75 kg CO₂ eq.로 나타났으나, 본 연구에서는 1.18 kg CO₂ eq.로 선행연구 대비 68.4% 적게 온실가스를 배출

59) IPCC 5차 Assessment Report, CH₄ GWP: 27.5 kg CO₂ eq./kg, N₂O GWP: 265 kg CO₂ eq./kg

하는 것으로 나타났다. 이러한 편차는 기능단위인 도체중 기준, 전기·경유·휘발유·등유 사용량 및 배출계수에 대한 차이에서 발생한 것으로 사료된다. 본 연구에서는 국내 관행 농가의 전기·경유·휘발유·등유 사용량 분석을 위하여 사육용 전기 사용량 자료 및 축산업 면세유 구매 자료를 수집하였다. 수집된 기초 자료는 각 축사별 사육 규모를 고려하여 사용량을 할당하는 과정을 거쳤다. 설문조사 대상 농가들의 인터뷰 자료에 따르면, 경유는 축산 농가에서 트랙터, 로더 등 기계를 사용하기 위해 쓰이며, 휘발유는 애초기를 사용할 때 쓰이며, 등유는 축산 농가에서 실내 난방용으로 사용된다. 그러나 선행연구의 경우 소를 사육하는 단계에서 사용되는 에너지를 전기 및 경유로 한정하였으며, 활동자료는 에너지 총조사 보고서 내 농림어업 에너지 소비량 정보와 농림축산식품 통계연보의 수도 광열비 기준으로 추정하였다. 전력의 배출계수 경우, 본 연구는 산업통상자원부에서 개발한 배출계수를 적용하였고, 선행연구는 ecoinvent LCI DB(electricity, medium voltage, marketfor/KR)를 적용하였다. 전력 외 에너지에 대한 배출계수의 경우, 본 연구는 산업통상자원부 및 환경부에서 개발한 배출계수를 사용하였고, 선행연구의 경우 배출계수 출처에 대한 내용이 없었다. 선행연구의 경우 국가의 연간 통계자료를 바탕으로 축사에서 소 한 마리를 사육하기 위해서 사용되는 전력 및 기타 에너지의 사용량을 추정한 값이고 축사에서 사용되는 화석 연료를 모두 경유로 가정한 점을 고려하면, 본 연구에서 현장데이터를 수집한 결과와 차이가 있을 수 있다. 본 연구 또한 25개의 축사가 전체 모집단을 대표할 수 없으므로 두 연구 모두 에너지 사용량 데이터의 신뢰성에 대한 한계가 존재한다.

<표 3.148> 쇠고기의 온실가스 배출량 계산과정 (단위 : kg CO₂/쇠고기-1 kg(도체중 기준))

구분	선행연구(A) (도체중 457.07kg 기준 ,AR5 적용)	본 연구(B) (도체중 430.2kg 기준 ,AR5 적용)	본 연구(C) (도체중 265kg 기준 ,AR4 적용)	결과값 A	결과값 B	결과값 C	증감 (B-A)	증감율
자재 생산	-	10.0418kg(사용량)*0.5916kg CO ₂ eq./kg(배출계수)	4,320kg(사용량)*0.5916kg CO ₂ eq./kg(배출계수)/265(도체중)	-	5.9408	9.6442	5.9408	순증
자재 생산 과정 중 CO₂ 배출량 합계				-	5.9408	9.6442	5.9408	순증
장내 발효	2.5(headyear)*4.70E+01kgCH ₄ /head/year(배출계수)*27.5(GWP) ²⁾ /457.07kg(도체중)	2.5(headyear)*4.70E+01kg CH ₄ /head/year(배출계수)*27.5(GWP) ²⁾ /430.2kg(도체중)	2.5(headyear)*4.70E+01kg CH ₄ /head/year(배출계수)*25(GWP) ¹⁾ /265kg(도체중)	7.07	7.5110	11.0849	0.441	6.24%
분뇨처리(CH ₄)	2.5(headyear)*1.00E+00kg CH ₄ /head/year(배출계수)*27.5(GWP) ²⁾ /457.07kg(도체중)	2.5(headyear)*1.00E+00kg CH ₄ /head/year(배출계수)*27.5(GWP) ²⁾ /430.2kg(도체중)	2.5(headyear)*1.00E+00kg CH ₄ /head/year(배출계수)*25(GWP) ¹⁾ /265kg(도체중)	0.15	0.1598	0.2358	0.0098	6.53%
사용	(퇴비화)1.871=2.5(headyear)*7.00E+01kgN/두/yr(배출계수) ³³⁾ *0.02kg N ₂ O-N/kg N(퇴비화 배출계수)*265(GWP) ²⁾ *1.5714(N ₂ O/N ₂)*0.5866(퇴비화 비율)/457.07kg(도체중)	2.5(headyear)*7.00E+01kg N/두/yr(배출계수) ³³⁾ *0.02kg N ₂ O-N/kg N(퇴비화 배출계수)*265(GWP) ²⁾ *1.5714(N ₂ O/N ₂)/430.2kg(도체중)	2.5(headyear)*7.00E+01kg N/두/yr(배출계수) ³³⁾ *0.02kg N ₂ O-N/kg N(퇴비화 배출계수)*298(GWP) ¹⁾ *1.5714(N ₂ O/N ₂)/265kg(도체중)	2.04	3.3879	6.1848	1.3479	66.07%
분뇨처리(N ₂ O)	(액비화)0.039=2.5(headyear)*7.00E+01kgN/두/yr(배출계수) ³³⁾ *0.001kg N ₂ O-N/kg N(액비화 배출계수)*265(GWP) ²⁾ *1.5714*0.2487(액비화 비율)/457.07kg(도체중)	(기타)0.131=2.5(headyear)*7.00E+01kgN/두/yr(배출계수) ³³⁾ *0.005kg N ₂ O-N/kg N(기타 배출계수)*265(GWP) ²⁾ *1.5714(N ₂ O/N ₂)*0.1647(기타 비율)/457.07kg(도체중)						

구분	선행연구(A) (도체중 457.07kg 기준 ,AR5 적용)	본 연구(B) (도체중 430.2kg 기준 ,AR5 적용)	본 연구(C) (도체중 265kg 기준 ,AR4 적용)	결과값 A	결과값 B	결과값 C	증감 (B-A)	증감율
		(경유)0.0349kg(사용량)*6.82E-02kg CO2 eq./kg(배출계수)	(경유)0.0566kg(사용량)*6.82E-02kg CO2 eq./kg(배출계수)		0.0024	0.0039		
에너지 생산 (유류)	0.2986kg(사용량)*4.47E-01kg CO2 eq./kg(배출계수) ⁶⁾			0.13			-0.1274	-98.00%
		(휘발유)0.0009kg(사용량)*8.32E-02kg CO2 eq./kg(배출계수)	(휘발유)0.0015kg(사용량)*8.32E-02kg CO2 eq./kg(배출계수)		0.0001	0.0001		
		(등유)0.0006kg(사용량)*2.53E-01kg CO2 eq./kg(배출계수)	(등유)0.0011kg(사용량)*2.53E-01kg CO2 eq./kg(배출계수)		0.0002	0.0003		
에너지 사용 (전력)	(3.8895kWh(사용량)*6.83E-01kg CO2 eq./kWh(배출계수) ⁵⁾	2.1655kWh(사용량)*4.95E-01kg CO2 eq./kWh(배출계수)	3.5154kWh(사용량)*4.95E-01kg CO2 eq./kWh(배출계수)	2.66	1.0719	1.7401	-0.5881	-57.70%
		(경유)0.0349kg(사용량)*3.02E+00kg CO2 eq./kg(배출계수)	(경유)0.0566kg(사용량)*3.02E+00kg CO2 eq./kg(배출계수)		0.1054	0.1711		
에너지 사용 (유류)	(0.2986kg(사용량)*3.21E+00kg CO2 eq./kg(배출계수) ⁶⁾	(휘발유)0.0009kg(사용량)*2.84E+00kg CO2 eq./kg(배출계수)	(휘발유)0.0015kg(사용량)*2.84E+00kg CO2 eq./kg(배출계수)	0.96	0.0027	0.0043	-0.8501	-88.55%
		(등유)0.0006kg(사용량)*2.93E+00kg CO2 eq./kg(배출계수)	(등유)0.0011kg(사용량)*2.93E+00kg CO2 eq./kg(배출계수)		0.0019	0.0031		
		에너지 생산소비 CO₂ 배출량 합계		3.75	1.1846	1.9229	-2.5654	-68.41%
		사육단계 과정 중 CO₂ 배출량 합계		13.01	12.2432	19.4284	-0.7669	-5.89%

구분	선행연구(A) (도체중 457.07kg 기준 ,AR5 적용)	본 연구(B) (도체중 430.2kg 기준 ,AR5 적용)	본 연구(C) (도체중 265kg 기준 ,AR4 적용)	결과값 A	결과값 B	결과값 C	증감 (B-A)	증감율
용수 생산	-	0.0051톤(사용량)*2.11E-04kgC O2/kg(배출계수)	0.0083톤(사용량)*2.11E-04kgC O2/kg(배출계수)	-	0.0011	0.0018	0.0011	순증
	-	(전력)0.2510kWh(사용량)*4.95 E-01kg CO2 eq./kWh(배출계수)	(전력)0.4075kWh(사용량)*4.95 E-01kg CO2 eq./kWh(배출계수)	-	0.1243	0.2017	0.1243	순증
에너지 소비	-	(LPG)0.0098kg(사용량)*3.94E- 01kgCO2/kg(배출계수)	(LPG)0.0158kg(사용량)*3.94E- 01kgCO2/kg(배출계수)	-	0.0038	0.0062	0.0038	순증
	-	(LPG고정)0.0169Nm3(사용량)* 3.65E+00kgCO2/Nm3(배출계수)	(LPG고정)0.0274Nm3(사용량)* 3.65E+00kgCO2/Nm3(배출계수)	-	0.0615	0.0999	0.0615	순증
도축	-	(락스)0.0001kg(사용량)*2.12E- 04kgCO2/kg(배출계수)	(락스)0.0002kg(사용량)*2.12E- 04kgCO2/kg(배출계수)	-	2.22E-08	3.61.E-08	2.22E-08	순증
	-	(주방세제)4.75E-051kg(사용량) *1.28E-05kgCO2/kg(배출계수)	(주방세제)0.0001kg(사용량)*1.2 8E-05kgCO2/kg(배출계수)	-	6.09E-10	9.88E-10	6.09E-10	순증
세척 용품 사용	-	(냉매1)4.80E-05kg(사용량)*7.5 1E-01kgCO2/kg(배출계수)	(냉매1)0.0001kg(사용량)*7.51E -01kgCO2/kg(배출계수)	-	3.60E-05	0.0001	3.60E-05	순증
	-	(냉매2)4.80E-05.kg(사용량)*2 E+03kgCO2/kg(배출계수)	(냉매2)0.0001kg(사용량)*2E+0 3kgCO2/kg(배출계수)	-	0.0868	0.1409	0.0868	순증
폐수 처리	-	0.0008톤(사용량)*5.61E-01kgC O2/kg BOD(배출계수)	0.0012톤(사용량)*5.61E-01kgC O2/kg BOD(배출계수)	-	0.0011	0.0017	0.0011	순증

구분	선행연구(A) (도체중 457.07kg 기준 ,AR5 적용)	본 연구(B) (도체중 430.2kg 기준 ,AR5 적용)	본 연구(C) (도체중 265kg 기준 ,AR4 적용)	결과값 A	결과값 B	결과값 C	증감 (B-A)	증감율
폐기물 처리	-	0.5109kg(사용량)*1.12E-02kg CO2 eq./kg(배출계수)	1.4528kg(사용량)*1.12E-02kg CO2 eq./kg(배출계수)	-	0.0057	0.0163	0.0057	순증
도축 과정 중 CO ₂ 배출량 합계				-	0.2844	0.4686	0.2844	순증
가공 에너지 사용	-	0.2203kWh(사용량)*4.95E-01k g CO2 eq./kWh(배출계수)	0.3576kWh(사용량)*4.95E-01k g CO2 eq./kWh(배출계수)	-	0.1090	0.1770	0.1090	순증
가공 과정 중 CO ₂ 배출량 합계				-	0.1090	0.1770	0.1090	순증
유통 수송	-	0.1006ton·km*1.92E-01kgCO2 eq./ton·km(배출계수)	0.1520ton·km*1.92E-01kgCO2 eq./ton·km(배출계수)	-	0.0193	0.0292	0.0292	순증
유통 과정 중 CO ₂ 배출량 합계				-	0.0193	0.0292	0.0292	순증
쇠고기 생산 전과정 CO ₂ 배출량 합계				13.01 (사육단계만 고려)	18.5967	29.7474	-	-

1) 2006 IPCC Guidelines CH₄ GWP: 25 kg CO₂ eq./kg, N₂O GWP: 298 kg CO₂ eq./kg
2) IPCC 5차 Assessment Report, CH₄ GWP: 27.5 kg CO₂ eq./kg, N₂O GWP: 265 kg CO₂ eq./kg
3) 2006 IPCC Guidelines, 장내발효, 분뇨처리 배출계수
4) 국가 LCI DB(<https://www.greenproduct.go.kr/epd/>)
5) Ecoinvent, electricity, medium voltage, market for/KR
6) 경유 배출계수 확인 불가

4.2. 해외 쇠고기의 탄소발자국

4.2.1. 온실가스 배출량 산정식

<표 3.149>는 각 국가에서 쇠고기의 전과정에 걸쳐 온실가스 배출량을 산정하기 위한 식을 나타내었다. 각 단계별 온실가스 배출량 산정식은 <표 3.123>에 나타낸 식을 이용하였다. 쇠고기의 전과정은 소를 사육하고 생산하기 위한 자재 생산, 수송, 소 사육, 사육한 소를 도축하고 쇠고기로 만드는 도축/가공, 쇠고기의 유통, 소비를 거쳐 폐기된다. 주로 해외에서 쇠고기의 시스템 경계는 쇠고기의 전과정 또는 소를 사육하기 위한 자재 생산, 수송, 사육까지로 하는 등 다양하게 설정하였다. 사료 생산, 수송, 에너지 생산, 물질 생산, 폐기물 처리 시의 온실가스 배출량은 ISO 14040와 14044의 방법론을 적용하였으며, 장내 발효에 의한 메탄 발생, 분뇨처리에 의한 메탄 및 아산화질소 발생, 에너지 사용에 의한 온실가스 배출량은 IPCC 방법론을 적용하되, 지구온난화지수는 <표 3.73>에 나타낸 IPCC 2006을 적용하였다. 운송의 경우, 우리나라에서 가장 많은 소고기를 수입하고 있는 미국을 기준으로 국내로 수입 시 수송거리를 산정하였다⁶⁰⁾(미국 육류수출협회, 2022).

<표 3.149> 쇠고기의 온실가스 배출량 산정식

단계	온실가스 배출량 산정식		적용 방법론
자재 생산	사료 생산	(식 1) 사료 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{사료 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg})$	ISO 14040/14044
자재 수송	수송	(식 7) 수송 시 탄소배출량 $\sum \text{운송량} \times \text{운송거리} \times \text{운송 탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./ton}\cdot\text{km})$	ISO 14040/14044
사육	장내 발효	(식 9) 장내 발효 탄소배출량(CH ₄) $CH_4 \text{ Emissions} = E_T \times \left[\frac{N_T}{10^6} \right] \times GWP_{CH_4}$ $E_T = \text{축종별 배출계수, kg CH}_4/\text{두}\cdot\text{년}$ $N_T = T \text{가축 종의 두수}$ $GWP_{CH_4} = 25$	IPCC 2006

60) 미국육류수출협회.2022. <https://www.newswire.co.kr/newsRead.php?no=959862>

에너지 생산	(식 4) 연료 생산 시 탄소배출량 $\Sigma \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg. L)}$	ISO 14040/ 14044
에너지 소비	(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량 $\Sigma \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수(kgCO}_2\text{-eq./kg, L)} + \Sigma \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kWh)}$	IPCC 2006
	(식 10) 분뇨처리 시 탄소배출량(CH ₄) $CH_4 \text{ Emissions} = \frac{(E_T \times N_T)}{10^6} \times GWP_{CH_4}$ E _T =축종별 배출계수, kg CH ₄ /두·년 N _T =T가축 종의 두수 GWP _{CH₄} =25	
분뇨 처리	(식 11) 분뇨처리 시 탄소배출량(N ₂ O) $N_2O \text{ Emissions} = (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)} \times EF_{3(S)} \times \frac{44}{28}) \times GWP_{N_2O}$ N _(T) =종의 두수 Nex _(T) =T가축 종의 연평균 질소 배출량, kg H/두수/년 MS _(T) =T가축 종의 S분뇨관리시스템 비율 EF _{3(S)} =S분뇨시스템의 N ₂ O-N 배출계수, kg N ₂ O-N/kg N S : 분뇨시스템 T: 가축 종 44/28: N ₂ O-N를 N ₂ O로 전환 GWP _{N₂O} =298	IPCC 2006
수송	수송 (식 2) 이용	ISO 14040/ 14044
	물질 생산 (식 1) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 생산 (식 4) 이용	
도축	에너지 사용 (식 5) 이용	IPCC 2006
	세척 용품 사용 (식 1) 이용	ISO 14040/ 14044
	폐수 처리 (식 12) 폐수 처리 시 탄소배출량 $CH_4 = \text{Emission} = \sum_i [($	ISO 14040/ 14044

		(식 8) 폐기물 처리 시 탄소배출량	
폐기물 처리		Σ 폐기물의 양 \times 폐기물 처리 방법별 탄소배출계수(kg CO ₂ -eq./kg)	ISO 14040/ 14044
	물 생산	(식 1) 이용	ISO 14040/ 14044
가공	에너지 생산	(식 4) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 사용	(식 5) 이용	IPCC 2006
	폐기물 처리	(식 8) 이용	ISO 14040/ 14044
유통	수송	(식 7) 이용	ISO 14040/ 14044
소비	에너지 생산	(식 4) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 사용	(식 5) 이용	IPCC 2006
폐기	폐기물 처리	(식 8) 이용	ISO 14040/ 14044

4.2.2. 해외 쇠고기의 탄소발자국 비교 분석

국내·외 쇠고기의 탄소발자국 비교 분석 결과, 미국, 뉴질랜드와 같이 방목형 초지에서 풀을 먹여 소를 사육하는 국가들의 쇠고기 탄소배출량이 우리나라, 일본과 같이 축사에서 사료를 급여하여 소를 사육하는 국가들보다 상대적으로 온실가스의 배출량이 많은 것으로 나타났다. 이는 방목형의 경우 초지 점유는 가축에게 먹이는 사료를 직접 재배하기 위해 사용되는 종자, 비료, 살충제, 에너지 및 관개 시설에 대한 환경영향을 포함하는 동시에 토지 이용 및 토지 피복 변화, 특히 산림을 목초지 지역으로 개간하는 것에 대한 환경영향이 포함되었다.⁶¹⁾ 또한 토지 이용 과정에서 발생하는 작물의 물 사용, 농경지의 영양분 배출, 토지 피복 변화로 인한 온실가스 배출 등에 대한 영향을 받으며 이는 토양의 질, 생물 다양성, 생산성 및 지하수 함양 등에도 영향을 미친다. <표 3.150>은 국가별 온실가스 배출량의 조사·정리 내용이다. 국가별로 기능단위와 시스템 경계가 조금씩 상이하기는 하나, 적용 방법론은 ISO 14040/14044와 IPCC 방법론을 적용하여 동일한 수준에서 비교가 이루어질 수 있도록 하였다. 지구온난화 지수는 IPCC 2006을 이용하고 있다. 미국, 뉴질랜드, 일본은 쇠고기 1 kg을 기준으로 사료 생산, 수송, 가축 사육(장내 발효, 분뇨관리), 가공, 유통, 폐기까지를 산정하였다.

해외 문헌을 바탕으로 조사한 국가별 소 1 두의 생체중은 544 kg에서 722 kg까지 차이가 있는 것으로 나타났다. 온실가스 배출량은 뉴질랜드가 미국보다 높게 나타났으며⁶²⁾, 이는 뉴질랜드에서 소를 사육하는 기간이 미국보다 12개월 정도 더 길기 때문에 사육기간 동안 목초지 유지와 사육장 온습도 관리로 인한 환경영향이 크다고 사료된다. 국외산(뉴질랜드)도 사료 생산 및 사육단계에서 목초지 유지를 고려하고 있지만 목초지의 면적이 국외산(미국)은 9,713 ha, 국외산(뉴질랜드)은 626 ha로 차이가 있다. 이는 국외산(미국)은 면적이 넓은 목초지 유지를 위해 사용되는 비료 사용량이 많고, 자재 수송 빈도가 높아 국외산(뉴질랜드)보다 환경영향이 높은 것으로 사료된다. 한편, 일본이 자재생산 및 사육단계에서 뉴질랜드보다 온실가스 배출량이 높은 이유는 사육 시스템이 다르기

61) C. A. Rotz. 2013. A simulation-based approach for evaluating and comparing the environmental footprints of beef production systems

62) Andre M. Mazzetto. 2022. Carbon footprint of New Zealand beef and sheep meat exported to different markets

때문이다. 뉴질랜드는 목초지를 활용하여 사육하는 방목 시스템이지만, 일본은 사료에 크게 의존하는 비방목형 시스템이다. 이는 사료를 제조 시 다른 나라에서 원자재를 수입하면서 운송이 포함되고, 수입된 원자재를 가공하는 단계도 더해져 환경영향이 크게 나타나는 것으로 사료된다.

<표 3.150> 쇠고기의 해외 탄소 발자국 비교 분석

품목	국가	기능 단위	시스템 경계	탄소 발자국 (kg CO ₂ eq./LW)	탄소 발자국 (kg CO ₂ eq./beef)	출처	지원 부처	적용 방법론
미국		1 kg of consumed, boneless, edible beef (581 kg-LW/두)	사료 생산 → 수송 → 사육(장내 발효, 분뇨 관리) → 가공 → 유통 → 폐기	19.75*	48.44	Senorpe Asem-Hiablie (2019)	Creative Commons Attribution 4.0 International License	IPCC, 2006 ISO 14040/ 14044
쇠고기	뉴질랜드	1 kg of meat (544 kg-LW/두)	사료 생산 → 수송 → 사육(장내 발효, 분뇨 관리) → 가공 → 유통 → 폐기	20.6 ~ 20.9	50.5 ~ 51.3*	Andre M. Mazzetto (2022)	the Ministry for Primary Industries (MPI)	IPCC, 2006 ISO 14040/ 14044
일본		1 kg of meat (722 kg-LW/두)	사료 생산 → 수송 → 사육(장내 발효, 분뇨 관리) → 가공 → 유통 → 폐기	14.5	35.6*	Poritosh Roy (2011)	-	IPCC, 2001 ISO 14040/ 14044

* 국내 수율(40.77%) 적용 추정치

<표 3.151> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항

(a) 미국

단계	고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	<ul style="list-style-type: none"> - USMARC(US Meat Animal Research Center)에서 가축 소비를 위해 생산 및 구매한 사료의 수명 주기를 연구 - USMARC는 2,108 ha의 관개 토지에서 사료 작물을 생산하고 생산된 소를 먹이기 위해 9,713 ha의 관개되지 않은 목초지를 유지(2011) - 사료 작물에는 알팔파/풀 건초 및 사일리지, 옥수수 사일리지, 고수분 옥수수 및 건조 옥수수 곡물이 포함 	Ecoinvent	ISO 14040/14044
자재 수송	<ul style="list-style-type: none"> - WDGS(습식 증류 곡물) 생산을 위해 구매한 옥수수에서 증류소까지의 평균 왕복 거리는 400 km였으며 증류소에서 USMARC까지 WDGS의 평균 왕복 거리는 32 km 	현장 데이터	ISO 14040/14044
사육	<ul style="list-style-type: none"> - 배설물과 소변의 장내 CH₄ 및 CH₄, N₂O 및 NH₃ 배출과 목초지의 인 및 질소 유출 손실은 소 사육 과정에서 고려함 - 방출된 장내 CH₄의 탄소는 작물이 성장하는 동안 대기 중 CO₂에서 흡수되는 것으로 가정 	-	IPCC 2006
에너지 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 분뇨 처리 시스템 경계 제외 	-	-
에너지 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 디젤, 휘발유 포함 	-	ISO 14040/14044
수송	<ul style="list-style-type: none"> - 포장 공장으로 소를 운송 - 기타 원부자재 및 소모품의 경우 평균 운송거리 2,033 km를 할당 	현장 데이터	ISO 14040/14044
물 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 소모적 물 사용(L eq/CB)은 증발, 제품 및 폐기물로의 흡수 또는 유역 외부로의 이동을 통해 제품의 수명 주기에서 원래 유역에서 손실된 인출된 담수를 정량화 		ISO 14040/14044
도축	<ul style="list-style-type: none"> - 디젤, 휘발유 포함 	BASF Ecoinvent	IPCC 2006
폐기물 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 쇠고기 부산물(가죽, 찌꺼기, 피, 수지, 뼈 및 뺏가루 포함)은 협력 포장업자로부터 얻은 1차 판매 데이터를 기준으로 생산 및 포장 영향의 11.7%를 경제적 할당 		ISO 14040/14044

단계	고려 사항	LCI DB	적용 방법론
물 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 업계의 기본 데이터와 공공 데이터베이스의 정보, 문헌 검토 및 필요한 경우 전문가 의견 반영 - 물 사용 및 세척 화학물질의 경우 입력 값은 이 시설의 운영자 및 업계 전문가의 지식을 기반으로 보고된 포장 시설 사용의 10%로 가정 		ISO 14040/14044
가공 에너지 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 디젤, 휘발유 포함 	BASF	IPCC 2006
에너지 사용			
폐기물 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 골판지 이외의 농장 후 포장재 중 매립지와 소각장에서 각각 82%와 18%가 폐기되고 소각된 에너지에서 회수되는 것으로 가정 		ISO 14040/14044
유통 수송	<ul style="list-style-type: none"> - 음식점은 일반적으로 쇠고기 외에 다른 소비재를 판매하므로 전체 식당 매출에서 판매되는 쇠고기의 비율로 계산된 경제적 배분 계수를 사용 	현장 데이터	ISO 14040/14044
소비 에너지 생산 및 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 전기 등 에너지 사용 	-	ISO 14040/14044
폐기 폐기	<ul style="list-style-type: none"> - 골판지 이외의 농장 후 포장재 중 매립지와 소각장에서 각각 82%와 18%가 폐기되고 소각된 에너지에서 회수되는 것으로 가정 - 소각으로 인한 영향이 에너지 소비자(즉, 소각으로 생산된 전력의 구매자)에게 귀속되는 것으로 가정하여 컷오프 방법을 적용 	Ecoinvent	ISO 14040/14044

(b) 뉴질랜드

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	- 사료 생산에 필요한 작물 면적, 비료 질소, 인, 칼륨, 석회 고려	뉴질랜드 DB	ISO 14040/14044
자재 수송	수송			
사육	장내 발효	- 2017/18년 뉴질랜드 평균 농장의 농장 시스템 데이터 사용	뉴질랜드 DB	ISO 14040/14044 IPCC 2013
	분뇨 처리	- 뉴질랜드 평균 농장은 2017/18년에 Beef+Lamb New Zealand(B+LNZ)가 뉴질랜드 전역에서 조사한 484개 농장의 가중 평균		
	에너지 생산			
	에너지 사용			
수송	수송	- 농장에서 도살장까지의 거리는 B+LNZ 조사에서 얻은 평균 운반차 거리(65km) - 운송에 사용된 뉴질랜드 고유의 배출 계수는 28t 트럭 사용을 기준	-	ISO 14040/14044
	물 생산	시스템 경계 제외	-	-
도축	에너지 생산	- 7개의 쇠고기 전용 가공업자의 설문조사를 통해 데이터 확보	-	IPCC 2013
	에너지 사용	- 석탄 단독에서 천연가스 단독 또는 LPG와 폐수 처리 방법을 혼합한 형태	-	
	폐기물 처리	- 소모품(청소 제품, 앞치마, 장갑 등), 포장재(플라스틱, 판지 등), 냉매 사용, 폐수, 고형 폐기물 및 동물 수에 대한 데이터를 얻기 위해 설문조사를 통해 데이터 확보	-	ISO 14040/14044
	물 생산	시스템 경계 제외	-	-
가공	에너지 생산	- 7개의 쇠고기 전용 가공업자의 설문조사를 통해 데이터 확보	-	IPCC 2013
	에너지 사용	- 석탄 단독에서 천연가스 단독 또는 LPG와 폐수 처리 방법을 혼합한 형태	-	
	폐기물 처리	- 소모품(청소 제품, 앞치마, 장갑 등), 포장재(플라스틱, 판지 등), 냉매 사용, 폐수, 고형 폐기물 및 동물 수에 대한 데이터를 얻기 위해 설문조사를 통해 데이터 확보	-	ISO 14040/14044

단계	고려 사항	LCI DB	적용 방법론
유통 수송	<ul style="list-style-type: none"> - 도축장에서 뉴질랜드 항구까지 100km의 뉴질랜드 수출 쇠고기 또는 양고기에 대한 가중 평균 거리가 사용 - 제품이 골판지 상자에 포장되고 냉동 및 냉장체인 모두를 위해 복합 운송 20피트 냉장 컨테이너 (리퍼)에 적재되는 것으로 가정 - 해외 항만, 물류센터, 유통업체 보관시간은 업계 평균 추정치 기준임 - 전문 식당이나 패스트푸드 매장에서의 보관은 워크인 냉각기 에서 2일로 가정 	-	ISO 14040/ 14044
소비 에너지 생산 및 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 제품을 집에서 소비하는 경우 냉장고에 7일 동안 보관하는 것으로 가정 	-	-
폐기 폐기	<ul style="list-style-type: none"> - 각 제품을 감싸는 배송 판지 상자와 플라스틱 수축 랩 전체에서 모든 포장 폐기를 고려 - 국가별로 대표적인 폐기물 관리 시스템을 사용 - PEFCR(2018) 값 에 따르면 육류의 4%는 유통 단계(운송, 보관 및 소매)에서 손실되고 11%는 소비자 단계에서 손실 	PEFCR (2018)	ISO 14040/ 14044

(c) 일본

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	- 사료 제조를 위해 옥수수, 밀, 건초, 볏짚 등이 사용됨 - 소사료는 영양요구량과 육우-송아지 생산관리 매뉴얼을 토대로 설계되었다(일본축산협회, 1976)	일본 DB	ISO 14040/14044
자재 수송	수송	- 사료 운송으로 인한 환경 부하는 단위 배출에 사료 중량과 운송 거리를 곱하여 결정되었습니다. 이는 모든 농축물은 미국에서 수입되었고 조사료의 25%(각각 미국산 건초와 중국산 볏짚)를 수입한 것으로 보고된 일본 무역 통계에 기초	-	ISO 14040/14044 IPCC 2013
사육	장내 발효	- 소의 장내 또는 장내 CH ₄ 배출은 Shibata et al.의 2차 회귀 방정식을 사용하여 DMI로부터 계산	LCA 소프트웨어(일본 환경 관리 협회 2000)/SimaPro(Pre Consultants 2003)	ISO 14040/14044 IPCC 2013
	분뇨 처리	- 배설된 대변과 소변의 질소 함량(g/일로 표시)은 MAFF 2000을 토대로 산정		
사육	에너지 생산	시스템 경계로 고려하지 않음		
	에너지 사용	- 축사 조명, 사료 준비, 축사 밖으로 분뇨 운반 등이 동물 관리 작업으로 고려되었으며, 작업 시 소비되는 연료 및 전기량으로부터 환경 부하를 계산		
수송	수송	- 살아있는 동물(돼지, 소)은 트럭(10 ton, 적재량 50%, 연료:경유)으로 농가에서 도살장까지 이동하는 것으로 가정	-	ISO 14040/14044
	물 생산	시스템 경계로 고려하지 않음	-	-
도축	에너지 생산	- 사람이 섭취할 수 있는 부분만 보존하고, 도살 과정에서 먹을 수 없는 부분은 제거합니다. 그런 다음 고기를 냉각하고 포장하여 유통을 위해 보관	-	IPCC 2013
	에너지 사용		-	
	폐기물 처리	시스템 경계로 고려하지 않음	-	ISO 14040/14044
가공	물 생산	시스템 경계로 고려하지 않음	-	-
	에너지 생산	시스템 경계로 고려하지 않음	-	IPCC 2013

에너지 사용	- 포장의 환경 부하는 SimaPro LCA 소프트웨어(Ecoinvent Database가 포함된 SimaPro 7.1)를 사용	-	IPCC 2013	
폐기물 처리	- 가축분뇨 소각, 장비 유지관리, 도축장에서 사용되는 화학물질 및 세척제 사용 등을 고려하지 않았다.	-	ISO 14040/14044	
유통	수송	- 육류운송의 경우 도축장-유통센터-슈퍼마켓(즉, 도살장-슈퍼마켓)에서 육류를 운송하기 위해 냉장트럭(10 ton, 적재량 75%)을 사용하는 것으로 가정 - 농가와 도축장 사이의 거리는 7 km로 가정하였다. 도축장-유통센터-슈퍼마켓(즉, 도축장-슈퍼마켓)과 슈퍼마켓-가정으로부터의 평균 거리는 각각 10 km와 5 km로 가정	-	ISO 14040/14044
소비	에너지 생산 및 사용	- 소비자는 1500 ~ 1600 cc의 자가용(연료: 휘발유)을 이용해 고기를 구매한다고 가정	-	-
폐기	폐기	- 조리방법에 따라 다양한 조리기구가 사용되며(Carlsson, 2001, Roy et al., 2009b), 조리되는 고기의 종류에 따라 에너지 소비량도 달라질 수 있으나 본 연구에서는 조리 에너지 소비되는 에너지량을 가정	-	ISO 14040/14044

4.3. 국내의 쇠고기의 탄소발자국 비교

<표 3.152>는 1 kg 기준 국내외 쇠고기의 탄소발자국 산정 결과를 나타낸 것이다. 선행연구 및 비교 대상 국가들의 기능단위는 국내와의 비교를 위하여 생체중 1 kg에서 쇠고기 1 kg으로 환산하였다. 비교를 위한 기능 단위로 쇠고기 1 kg을 설정한 이유는, 해외 연구들의 경우 쇠고기 1 kg을 기능 단위로 연구 결과가 나타나 있기 때문이다.

선행연구는 도체중 1 kg의 온실가스 배출량인 13.01 kg CO₂ eq.에 유엔식량농업기구(FAO)의 5년간(2017~2021년)의 통계자료를 바탕으로 산정한 평균도체중인 457.07 kg/두를 곱한 후 본 연구에서의 생체중인 650 kg를 단순히 나누는 형태로 산정하였다.

상호 공통 단계를 추려내어 비교 분석을 수행한 결과, 국내의 경우, 사육(사료생산 및 사육 단계)에서의 온실가스 배출량은 29.0726 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg으로 미국(35.9300 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 80.9%, 뉴질랜드(48.3453 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 60.1%, 일본(34.3000 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 84.8% 수준에서 배출량을 보였다. 도축/가공에서의 온실가스 배출량은 0.6456 kg CO₂ eq.로 미국(7.2100 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 9.0%, 뉴질랜드(1.2755 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 50.4% 수준에서 온실가스 배출량을 보였으나, 일본(0.0400 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)보다는 약 16배 온실가스 배출량이 많은 것으로 나타났다. 유통 단계에서 국내산의 온실가스 배출량은 0.0292 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg로 미국(0.4600 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 9.0%, 일본(0.6700 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 4.4% 수준에서 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다.

종합적으로, 국내산 쇠고기의 전과정 온실가스 배출량은 29.7474 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg로 산정되었으며, 이는, 미국(45.6100 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 65.2%, 뉴질랜드(50.5038 ~ 51.2396 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 58.1% ~ 58.8% 수준, 일본(35.2500 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 83.6% 수준으로 나타났다. 또한, 각 국가별 쇠고기의 전과정 온실가스 배출량 결과에 국내까지의 수송 배출량을 고려할 경우, 국내산 쇠고기의 온실가스 배출량은 해외에서 생산된 쇠고기 대비 미국(48.53 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 61.3%, 뉴질랜드(50.55~51.29 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 58.9%~58.0%, 일본(35.2500 kg

CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 84.4% 수준으로 나타났다. 각 국가별 항구로부터 부산 항까지의 거리는 미국(샌디에고) 10,193.41 km, 뉴질랜드(오네훙가) 5,057.40 km, 일본(히메카와) 938.21 km이며, 선적 거리를 바탕으로 산정한 온실가스 배출량은 각각 미국 0.0919 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg, 뉴질랜드 0.0456 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg, 일본 0.0085 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg이다.

이와 같은 국내외 쇠고기의 탄소발자국 비교 분석 결과는 각 국가별 소의 품종 및 사육 방식의 특성에서 기인하는 차이가 매우 큰 것으로 볼 수 있다. 해외 국가들의 소 사육 특성을 살펴보면 미국은 방목형으로 사육 기간 16개월, 출하체중 581 kg, 사료량 1.7 ton이며, 뉴질랜드 또한 방목형으로 사육 기간 28.5개월, 출하체중 544 kg, 사료량 소량으로 국내의 소 사육 환경과는 다소 차이를 보이는 반면, 일본은 사육 기간 25개월, 출하체중 722 kg, 사료량 9.7 ton, 비방목을 특징으로 하고 있어 국내와 유사한 사육 환경이 유사한 것으로 볼 수 있다 (<표 3.152>).

<표 3.152> 해외 소 사육 단계 정보

구분	사육 정보			
	국내산	미국	뉴질랜드	일본
사육기간	30개월	16개월	28.5개월	약 25개월
출하체중	650 kg	581 kg	544 kg	722 kg
사료량	4.3 ton	1.7 ton	소량	6.7 ton
사육 시스템	비방목	방목	방목	비방목

방목형/비방목형 사육 방식의 차이는 온실가스 배출량 측면에서 결과적으로 상당한 차이를 가져온다. 미국 쇠고기의 온실가스 배출량 산정 결과의 경우 소의 방목 사육 과정에서 주변 목초지를 유지하기 위해 투입하는 비료·살충제의 영향과 이를 조달하기 위한 자재 수송에 따른 온실가스 간접 배출량을 포함한다. 이는 사료 생산 부분에서 식별이 가능한데, 미국산 쇠고기는 16개월령의 581 kg 소를 사육하기 위해 소모되는 목초지에서의 풀 급여량, 그리고 약 1.7 ton의 사료 급여에 대한 온실가스 배출량을 산정하지만⁶³⁾, 국내산의 경우, 비방

목 시스템이므로 30개월령의 650 kg⁶⁴⁾ 소 사육을 위해 약 4.3 ton의 사료 급여를 온실가스 배출량으로 산정한다⁶⁵⁾. 따라서, 국내산(9.64 kg CO₂ eq.)이 미국산(7.42 kg CO₂ eq.)보다 사료 생산으로 인한 환경영향은 높다. 반면, 미국산 쇠고기의 도축 및 가공 단계는 유틸리티 및 용수 사용을 비롯하여 소 사육을 위한 원부자재 및 살아있는 소의 수송을 모두 포함⁶⁶⁾하기 때문에 국내보다 11배 이상 온실가스 배출량이 높게 산정되는 것으로 나타났다. 도축/가공 단계에서의 차량 수송 온실가스 간접 배출량은 본 연구에 시스템 경계에서 포함하지 않고 있다. 이는 국내 축산 농가에서 도축장까지의 원부자재 및 출하되는 비육우의 중량 대비 화석연료 사용량이 차지하는 비중이 미미할뿐더러, 휘발유, 경유 등의 화석연료가 생산단계에서 일부분 포함되어 있고, 소규모 축산농가 현장에서 개별적으로 적용되는 수송 동선을 정확하게 파악하는 것은 국내 축산업 여건 상 불가능하기 때문이다. 뉴질랜드 쇠고기 또한 28.5개월령의 544 kg 소를 사육하는데 대부분 목초지에서 급여가 이루어진다⁶⁷⁾. 따라서, 뉴질랜드산 쇠고기의 경우 소에게 먹일 풀을 직접 재배하기 위해 사용되는 종자, 비료, 살충제, 에너지 및 관개 시설에 대한 환경영향과 더불어 토지 이용 및 토지 피복 변화, 특히 산림을 목초지 지역으로 개간하면서 손실되는 온실가스 흡수량에 대한 환경영향을 포함하므로 자재 생산 및 사육단계에서 국내산 쇠고기보다 온실가스 배출량이 높게 산정된 것으로 판단된다. 한편, 국내산 쇠고기와 국외산(일본) 쇠고기를 비교할 시, 소를 사육하는 환경이 가장 비슷하기에 온실가스 배출량도 가장 유사하게 산정되었다. 사료 생산 및 사육 단계에서 국외산(일본)은 약 25개월령의 722 kg 소를 도축하는데 국내산보다 생체 중량이 큰 소를 도축한다는 점에서 사료 사용량이 많이 사용된다고 판단되어, 사료 생산 및 사육 단계에서 온실가스 배출량이 더 높게 산정된 것으로 사료된다. 일본과 국내는 일반적으로 사육 단계에서 사료에 크게 의존하는 비방목 사육 시스템이다⁶⁸⁾. 배합사료 제조 시

63) C. A. Rotz. 2013. A simulation-based approach for evaluating and comparing the environmental footprints of beef production systems

64) 출하시기 및 출하체중은 우종별로 상이하나 농가 인터뷰 자료에 근거, 축산농가에서 일반적으로 통용되는 수치인 출하시기 30개월, 출하체중 650 kg를 본 연구의 가정사항으로 적용

65) 농촌진흥청. 2021. 농업기술길잡이 한우

66) Senorpe Asem-Hiablie. 2018. A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in the USA

67) Andre M. Mazzetto. 2022. Carbon footprint of New Zealand beef and sheep meat exported to different markets

68) Michio Tsutsumi. 2017. Life-cycle impact assessment of organic and non-organic grass-fed beef production in Japan

다른 국가에서 원자재를 수입하는 경우가 많아 운송 등으로 인한 환경영향이 크게 반영되어 있다.

또한, 국내의 경우 소의 부산물은 대부분 100% 상품화가 이루어진다는 특징이 있다. 이는, 가공 단계 이후 발생한 소의 부산물을 대부분 폐기하는 해외와의 쇠고기 기준 온실가스 배출량 비교에 있어 편차의 범위를 크게 만드는 원인이기도 하다. 따라서, 본 연구에서는 쇠고기 1 kg 기준 온실가스 배출량 비교·분석과 더불어 생체중 1 kg 기준의 온실가스 배출량 비교·분석도 함께 수행하였다. 비교·분석은 앞서 수행한 쇠고기 1 kg 기준 온실가스 배출량 비교·분석과 마찬가지로 상호 공통 단계를 추려내어 비교·분석을 수행하였다. 분석 결과, 국내의 경우, 사육(사료 생산 및 사육 단계)에서의 온실가스 배출량은 11.8527 kg CO₂ eq./생체중 1 kg으로 미국(14.6484 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)의 80.9%, 뉴질랜드(19.7100 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)의 50.6%, 일본(13.9838 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)의 84.8% 수준에서 배출량을 보였다. 도축/가공에서의 온실가스 배출량은 0.2632 kg CO₂ eq.로 미국(2.9395 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)의 9.0%, 뉴질랜드(0.5200 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)의 50.4% 수준에서 온실가스 배출량을 보였으나, 일본(0.0163 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)보다는 약 16배 온실가스 배출량이 많은 것으로 나타났다. 유통 단계에서 국내산의 온실가스 배출량은 0.0119 kg CO₂ eq./생체중 1 kg로 미국(0.1875 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)의 6.3%, 일본(0.2732 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)의 4.4% 수준에서 온실가스가 배출되는 것으로 나타났다.

종합적으로, 국내산 쇠고기의 전과정 온실가스 배출량은 12.1278 kg CO₂ eq./생체중 1 kg로 산정되었으며, 이는, 미국(18.5948 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)의 65.2%, 뉴질랜드(20.5900 ~ 20.8900 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)의 58.1% ~ 58.9% 수준, 일본(14.3722 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)의 84.8% 수준으로 나타났다. 또한, 각 국가별 쇠고기의 전과정 온실가스 배출량 결과에 국내까지의 수송 배출량을 고려할 경우, 국내산 쇠고기의 온실가스 배출량은 해외에서 생산된 쇠고기 대비 미국(19.6323 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)의 61.8%, 뉴질랜드(20.6086 ~ 20.9086 kg CO₂ eq./생체중 1 kg)의 58.0%~58.8%, 일본(14.3722 kg CO₂ eq./쇠고기 1 kg)의 84.4% 수준으로 나타났다. 각 국가별 항구로부터 부산항까지의 거리는 미국(샌디에고) 10,193.41 km, 뉴질랜드(오네훙가) 5,057.40 km,

일본(히메카와) 938.21 km이며, 선적 거리를 바탕으로 산정한 온실가스 배출량은 각각 미국 0.0375 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg, 뉴질랜드 0.0186 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg, 일본 0.0035 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg이다.

본 연구와 선행연구 그리고 해외 문헌에서의 쇠고기 생산에 따른 온실가스 배출량 비교가 시사하는 점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 쇠고기 생산 과정에서는 국내·외 전반에 걸쳐 소를 사육하는 과정에서 차지하는 온실가스 배출량 비중이 가장 크다. 본 연구에서의 소 사육 시 발생하는 온실가스 배출량은 19.43 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg로 전체 배출량인 29.75 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg의 65.3%를 차지하였다. 선행연구는 연구 범위를 소를 사육하는 단계에 한하여 온실가스 배출량을 산정하였고, 온실가스 배출량은 <표 3.5>와 같이 본 연구 기준으로 환산한 결과, 22.40 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg로 나타나 본 연구와 비슷한 결과를 보여주었다. 미국도 유사하게 전체 배출량 48.44 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg에서 사육단계에서 발생하는 배출량은 28.51 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg로 58.9%를 차지하였다. 그 외 뉴질랜드와 일본의 경우는 사료 생산 단계가 사육단계에 포함되어 있어 사육단계만 별도로 계산할 수 없었지만, 전체 온실가스 배출량에서 사료 생산 및 사육단계에서 차지하는 비중이 각각 95.7%, 96.4% 정도로 많은 비중을 차지하였다. 이는 국내·외를 막론하고 쇠고기 생산 과정 중 사육 과정에서 발생하는 온실가스가 상당함을 의미한다.

둘째, 사육 단계에서 온실가스 배출량은 사육 시스템에 따라 차이가 있음을 확인하였다. 미국과 뉴질랜드의 경우 방목형 초지에서 풀을 먹여 소를 사육하는 시스템을 운영하고 있으며, 초지 점유를 통해 가축에게 먹이는 사료를 직접 재배하기 위해 사용되는 종자, 비료, 살충제, 에너지 및 관개 시설에 대한 환경영향을 포함하는 동시에 토지 이용 및 토지 피복 변화, 특히 산림을 목초지 지역으로 개간하는 것에 대한 환경영향이 포함되어 있어 국내와 일본과 같이 사료에 크게 의존하는 비방목 사육 시스템을 운영하는 나라 대비 온실가스 배출량이 많은 것으로 추정된다. 그리고 이는 방목형·비방목형 사육 시스템 구분에 초점을 맞춘 후속연구의 필요성을 시사한다고 볼 수 있다. 본 연구를 통해 비방목 시스템의 경우 배합사료 제조 시 다른 국가에서 원자재를 수입하는 경우가 많아 운송 등으로 인한 환경영향이 크게 반영되어 있음을 확인하였다.

셋째, 해외에서의 운송을 고려하더라도 단위 중량 당 수송 과정에서의 온실가스 배출량은 전체 배출량에서 차지하는 비중이 미미하였다. 가장 비중이 큰 미국의 경우 수송에서의 온실가스 배출량(0.0919 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg)이 전체 배출량(48.5319 kg CO₂ eq./쇠고기-1 kg)의 0.19%를 차지하였으나, 뉴질랜드는 0.09%, 일본은 0.02%로 나타났다. 수송 단계에서의 온실가스 배출량은 거리에 비례하여 증가하나, 전체 배출량에서 차지하는 비중은 적어 온실가스 배출 측면에 있어 주요 단계로 보기에는 어렵다는 것이다.

넷째, 쇠고기의 국가 간 비교는 수율이 적용된 쇠고기 1 kg이 아닌 수율을 적용하지 않은 생체중 1 kg이 비교·분석에 보다 적합할 수 있다는 점이다. 전술한 바와 같이 소는 국가별로 도축 후 사용하는 부산물의 양이 천차만별이다. (우리나라는 부산물을 거의 전량 사용함. 따라서 살코기쇠고기만을 단순 비교하는 것은 무리가 있음) 따라서, 국내·외 소의 온실가스 배출량에 대한 면밀한 비교를 위하여서는 쇠고기 1 kg보다 생체중 1 kg이 보다 적합한 기능단위로 보여지며, 이는 쇠고기를 비롯한 각 부위별 경제적 할당 등 온실가스 배출량 산정의 기능단위를 보다 정교히 설계하는 등 후속연구의 필요성을 시사한다.

<표 3.153> 국내외 쇠고기의 전과정 온실가스 배출량(kg CO₂ eq./beef)

구분		온실가스 배출량 (ton CO ₂ eq./소 1 두, kg CO ₂ eq./kg 쇠고기) ⁵⁾				
		국내 (본연구) 쇠고기 1 kg 기준	국내 (선행연구) 쇠고기 ⁴⁾ 1 kg 기준	미국 쇠고기 ⁴⁾ 1 kg 기준	뉴질랜드 쇠고기 ⁴⁾ 1 kg 기준	일본 쇠고기 ⁴⁾ 1 kg 기준
사육 (사료 생산 및 사육)	1두	7.7042 (2.5557, 5.1483)	6.3926 (0, 6.3926)	8.5107 (1.7576, 6.7531)	10.7222	10.0963
	쇠고기 1 kg	29.0726 (9.6442, 19.4284)	22.4000 (0,22.4000)	35.93 (7.4200 ¹⁾ , 28.5100)	48.3453	34.3000
도축/가공	1두	0.1711	-	1.7078	0.2829	0.0118
	쇠고기 1 kg	0.6456	-	7.2100	1.2755	0.0400
유통	1두	0.0077	-	0.1090		0.1972
	쇠고기 1 kg	0.0292	-	0.4600	1두: 195.8400~359 .0400 ²⁾	0.6700
소비	1두	-	-	0.4761	(10.1184) ³⁾	0.0706
	쇠고기 1 kg	-	-	2.0100		0.2400
수송(해외 → 부산항)	1두	-	-	(0.0218) ³⁾	kg: 0.88~1.62 ²⁾	(0.0025) ³⁾
	쇠고기 1 kg	-	-	(0.0919) ³⁾	(0.0456) ³⁾	(0.0085) ³⁾
합계	1두	7.8831	6.3926	10.8036 ¹⁾ (10.8254)	11.2010 ~ 11.3642 ²⁾ (11.2111 ~ 11.374 ³⁾)	10.3759 (10.3784)
	쇠고기 1 kg	29.7474	22.4000	45.6100 ¹⁾ (46.2803)	50.5038 ~ 51.2396 ²⁾ (50.5494 ~ 51.2852)	35.2500 (35.2585)

- 1) 자재 수송 포함
- 2) 뉴질랜드 항구에서 다른 국가 항구까지의 수송 포함
- 3) 해외 항구에서 부산항까지의 거리에 대한 온실가스 배출량 산정(미국(샌디에고) 10,193.41 km, 뉴질랜드(오네훙가) 5,057.40 km, 일본(히메카와) 938.21 km)
- 4) 각 연구별 생체중에 본 연구에서의 수율(40.77%) 적용

<표 3.154> 국내외 쇠고기의 전과정 온실가스 배출량(kg CO₂ eq./LW)

구분		온실가스 배출량 (ton CO ₂ eq./소 1 두, kg CO ₂ eq./kg LW)				
		국내 (본연구)	국내 (선행연구)	미국	뉴질랜드	일본
		생체중 1 kg 기준 ⁴⁾	생체중 1 kg 기준 ⁵⁾	생체중 1 kg 기준 ⁶⁾	생체중 1 kg 기준 ⁷⁾	생체중 1 kg 기준 ⁸⁾
사육 (사료 생산 및 사육)	1두	7.7042 (2.5557, 5.1483)	6.3926 (0, 6.3926)	8.5107 (1.7576, 6.7531)	10.7222	10.0963
	생체중 1 kg	11.8527 (3.9319, 7.9208)	9.1323 (0,91323)	14.6484 (3.0251 ¹⁾ , 11.6233)	19.7100	13.9838
도축/가공	1두	0.1711	-	1.7078	0.2829	0.0118
	생체중 1 kg	0.2632	-	2.9395	0.5200	0.0163
유통	1두	0.0077	-	0.1090		0.1972
	생체중 1 kg	0.0119	-	0.1875	1두: 0.1958 ~ 0.3590 ²⁾	0.2732
소비	1두	-	-	0.4761	(10.1184 km) ³⁾	0.0706
	생체중 1 kg	-	-	0.8195		0.0978
수송(해외→ 부산항)	1두	-	-	(0.0218) ³⁾	kg: 0.3600 ~ 0.6600 ²⁾	(0.0025) ³⁾
	생체중 1 kg	-	-	(0.0375) ³⁾	(0.0186 km) ³⁾	(0.0035) ³⁾
합계	1두	7.8831	6.3926	10.8036 ¹⁾ (10.8254)	11.2010 ~ 11.3642 ²⁾ (11.2111 ~ 11.374 ³⁾	10.3759 (10.3784)
	생체중 1 kg	12.1278	9.1323	18.5948 ¹⁾ (19.6323)	20.5900 ~ 20.8900 ²⁾ (20.6086 ~ 20.9086)	14.3722 (14.3757)

- 1) 자재 수송 포함
- 2) 뉴질랜드 항구에서 다른 국가 항구까지의 수송 포함
- 3) 해외 항구에서 부산항까지의 거리에 대한 온실가스 배출량 산정(미국(샌디에고) 10,193.41 km, 뉴질랜드(오네훙가) 5,057.40 km, 일본(히메카와) 938.21 km)
- 4) 국내산 소의 평균 출하체중은 650 kg
- 5) 선행연구에서는 650 kg ~750 kg 사이라고 언급하여 평균 700 kg으로 산정
- 6) 미국 소의 평균 출하체중은 581 kg
- 7) 뉴질랜드 소의 평균 출하체중은 544 kg
- 8) 일본 소의 평균 출하체중은 722 kg

본 연구에서 설정한 시스템 경계와 해외 문헌 자료의 산정 방식은 연구 목적 차이에 따른 시스템 경계의 상이함으로 인하여 비교분석에 있어 일정 부분 한계를 지닌다. 예를 들어, 미국·뉴질랜드·일본 문헌에서 다루고 있는 쇠고기 생산 단계 이후의 소비·폐기단계의 경우, 본 연구에서는 Cut-off 기준⁶⁹⁾에 해당하므로 시스템 경계에서 제외하였다.

한편, 비교 가능한 범위 내에서의 시스템 경계 구분 및 합산, 기능단위의 환산(생체중 1 kg → 쇠고기 1 kg) 등 별도의 통계적 처리 통해 본 연구에서 설정한 시스템 경계 내에서는 단순 비교가 가능한 수준으로 결과 분석을 수행하였으며, 이를 바탕으로 국내외 쇠고기 전과정에서 발생하는 온실가스 배출량의 정량화·가시화를 통한 단계별 비교가 가능하다.

69) 환경영향이 미미하거나 중요도가 낮아 연구 목적에 맞게 시스템 경계에서 제외할 단위 공정 또는 제품 시스템과 관련된 물질, 에너지 흐름량에 대한 기준. 일반적으로 전체 물질 수지의 5% 미만을 차지하는 양은 Cut-off가 가능한 것으로 간주(ISO(2022). ISO 14044:2006)

5. 돼지고기의 탄소발자국 산정

5.1. 국내 돼지고기의 탄소발자국

5.1.1. 목적 및 범위 정의

■ 목적 정의

전과정평가 수행 목적은 “국내외 돼지고기의 탄소발자국을 비교”하기 위함이다.

■ 범위 정의

▶ 기능단위

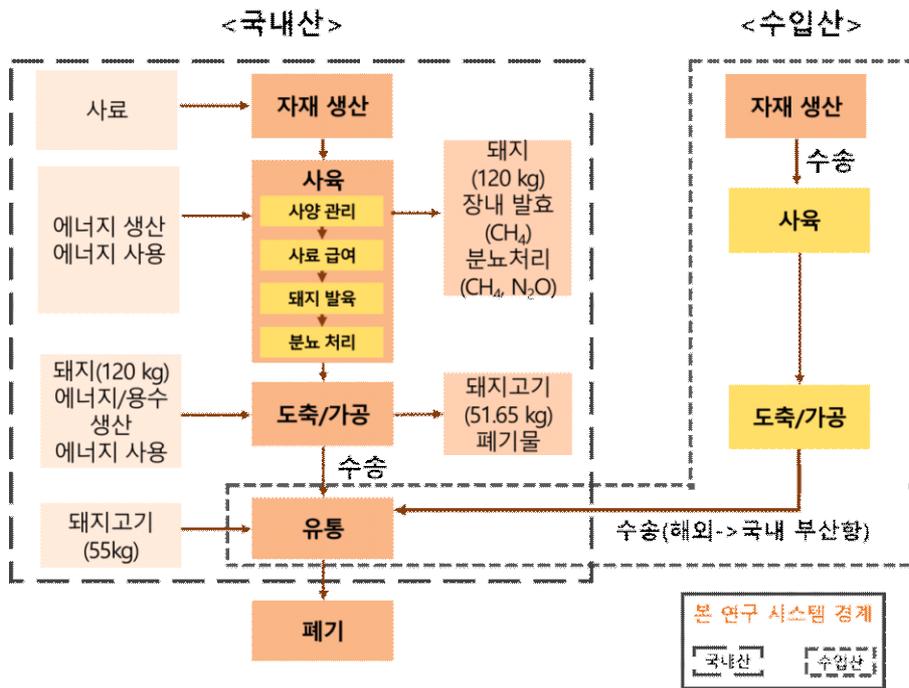
돼지고기는 돼지를 도축 후 가공한 축산물이다. <표 3.155>는 본 연구에서의 돼지고기의 탄소발자국을 산정하기 위한 기능, 기능단위, 기준흐름을 정의하였다. 기능은 식용으로 사용하기 위한 돼지 도축 후 가공한 돼지고기로 선정하였다. 기능단위는 돼지고기의 단위중량인 “돼지고기 1 kg”으로 선정하였다. 기준흐름도 동일하게 “돼지고기 1 kg”으로 선정하였다.

<표 3.155> 돼지고기 단계별 적용 방법론 및 산정식

구분	내 용
기능	• 식용으로 사용하기 위한 돼지 도축 후 가공한 돼지고기
기능단위	• 돼지고기 1 kg
기준흐름	• 돼지고기 1 kg

▶ 시스템 경계

돼지고기의 전과정은 [그림 3.67]에 나타난 자재 생산단계, 사육단계, 도축/가공단계, 유통단계, 소비단계, 폐기단계로 구성되며, 단계별 수송으로 구성된다. 본 연구에서는 국내산 돼지고기의 시스템 경계는 자재 생산, 돼지 사육, 돼지 도축 및 돼지고기 가공, 유통단계까지로 한정하였으며, 수입산의 시스템 경계는 해외에서 자재 생산, 돼지 사육, 돼지 도축 및 돼지고기 가공 후 국내 항구로 수송되는 과정까지 포함하였다. 수송은 자재 생산단계에서 사육단계, 사육단계에서 도축단계를 제외하고, 유통단계만 고려하였다. 사육 돼지의 중량은 120 kg/두이며 이중 돼지고기는 74.93 kg/두로 나타났다. 이를 돼지고기 1 kg로 환산하였다.



[그림 3.67] 돼지고기의 시스템 경계

<표 3.156>은 본 연구에서 시스템 경계로 선정한 공정별 개요를 나타내었다.

<표 3.156> 돼지고기의 공정별 상세 설명

공정	공정 설명	
사료 생산	• 돼지를 사육하기 위해 사용되는 사료를 생산하는 과정	
사육	사육 관리	• 돼지 종별로 특징을 파악하여 건강관리 및 사료 관리를 하는 과정
	사료 급여	• 고급육 생산을 위해 조사료 종류, 급여 수준 및 급여 방법 등을 고려하는 돼지에게 사료를 주는 과정
	돼지 발육	• 육성, 비육돈 및 모돈에 알맞은 사육 방식으로 발육하는 과정으로, 주로 체지방이 축적되는 단계로 육질이 개선되며 비육이 마무리되는 기간
	분뇨 처리	• 돼지의 분뇨가 자원화 시설에서 퇴비 원료로 사용하는 과정
도축/가공	도축	• 돼지를 도축하는 과정
	가공	• 도축한 돼지를 부위별로 제품화하기 위해 절단하는 과정
유통	수송	• 가공한 돼지고기를 각 지역으로 수송하는 과정

▶ 데이터 범주

<표 3.157>은 본 연구에서의 데이터 범주를 나타낸 것이다. 데이터 범주는 원료, 보조물질, 에너지, 제품, 대기 배출물로 구분하였다.

<표 3.157> 돼지고기의 생산 및 도축/가공 공정의 데이터 범주

공정	세부 데이터	
생산	원료	유돈
	투입물	보조물질 사료
	에너지	전력, 경유, 휘발유, 등유
산출물	제품	돼지
	대기배출물	CH ₄ , N ₂ O
도축/가공	원료	돼지
	투입물	에너지 전력, 용수, 냉매
	산출물	제품 폐기물
		돼지고기 일반 폐기물

▶ 데이터 품질요건

<표 3.158>은 본 연구에서의 데이터 품질요건을 나타낸 것이다. 데이터는 현장 데이터와 문헌 데이터로 구분한다. 데이터는 현장 데이터를 수집하여 이용하는 것을 원칙으로 하나, 현장 데이터를 수집하기 어려운 경우에는 관련 문헌 데이터를 수집하였다. 문헌 데이터를 국가 또는 해외 LCI 데이터베이스로 연결되어 대상의 상위 및 하위 흐름에 대한 환경부하를 모두 고려하였다. 여기에서의 상위 흐름은 자재, 에너지 생산 등에 대한 흐름이며, 하위 흐름은 폐기물 등의 처리에 대한 흐름을 의미한다.

<표 3.158> 돼지고기의 데이터 품질요건

구 분	상/하위 흐름	생산/도축단계
시간적 범위	10년 이내 데이터	2022년
지역적 범위	해당 지역 데이터	현장 및 문헌 데이터
기술적 범위	-	돼지고기 생산 및 도축을 위한 최신 기술

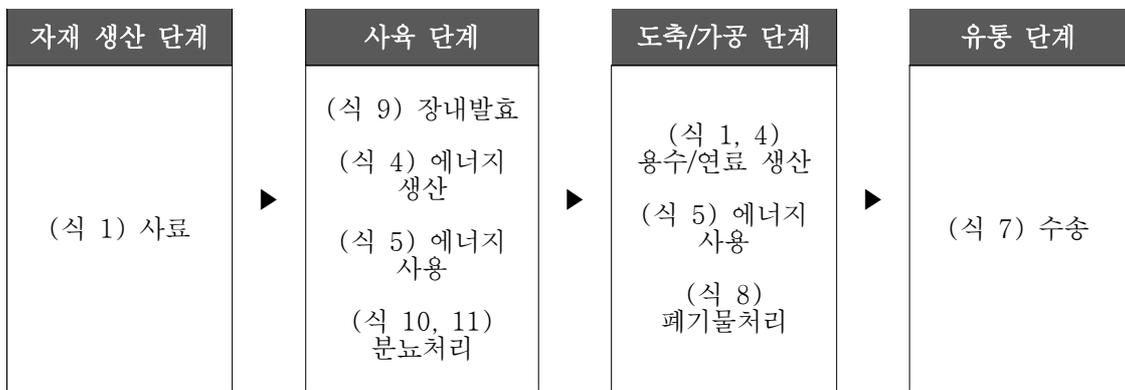
▶ 할당

할당은 다양한 축산물을 동시에 생산할 시 투입물과 배출물을 배분하기 위해 수행된다. 본 연구에서는 도축 및 가공하는 기업에서 소와 돼지를 동시에 도축 및 가공하고 있어 생산량 비율로 할당하였다.

▶ 적용 방법론

본 연구에서는 <표 3.159>에 단계별로 나타낸 ISO 14044의 방법론과 국가 인벤토리 보고서에서 적용한 IPCC 방법론을 적용하였다.

<표 3.159> 돼지고기의 단계별 적용 방법론 및 산정식



단계	온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
자재 생산 사료 생산	(식 1) 사료 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{사료 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg})$	ISO 14040/ 14044
장내 발효	(식 9) 장내 발효 탄소배출량(CH ₄) $CH_4 \text{ Emissions} = E_T \times \left[\frac{N_T}{10^6} \right] \times GWP_{CH_4}$ E _T =축종별 배출계수, kg CH ₄ /두·년 N _T =T가축 종의 두수 GWP _{CH₄} =25	IPCC 1996 (계산식) IPCC 2006 (GWP)
사육 에너지 생산	(식 4) 에너지 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg. L})$	ISO 14040/ 14044
에너지 사용	(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg, L}) + \sum \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kWh})$	IPCC 1996 (계산식) IPCC 2006 (GWP)

단계	온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
	<p>(식 10) 분뇨처리 시 탄소배출량(CH₄)</p> $CH_4 Emissions = \frac{(E_T \times N_T)}{10^6} \times GWP_{CH_4}$ <p>E_T=축종별 배출계수, kg CH₄/두·년 N_T=T가축 종의 두수 GWP_{CH₄}=25</p>	
분뇨 처리	<p>(식 11) 분뇨처리 시 탄소배출량(N₂O)</p> $N_2O Emissions = (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)} \times EF_{3(S)} \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}$ <p>N_(T)=종의 두수 Nex_(T)=T 가축 종의 연평균 질소 배출량, kg H/두수/년 MS_(T)=T 가축 종의 S 분뇨관리시스템 비율 EF_{3(S)}=S 분뇨시스템의 N₂O-N 배출계수, kg N₂O-N/kg N S : 분뇨시스템 T: 가축 종 44/28: N₂O-N를 N₂O로 전환 GWP_{N₂O}=298</p>	IPCC 1996 (계산식) IPCC 2006 (GWP)
용수 생산	<p>(식 1) 용수 생산 시 탄소배출량</p> $\sum \text{용수 사용량} \times \text{탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg)}$	
에너지 생산	<p>(식 4) 연료 생산 시 탄소배출량</p> $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg. L)}$	ISO 14040/14044
에너지 소비	<p>(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량*</p> $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수(kgCO}_2\text{-eq./kg, L)} + \sum \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kWh)}$	
도축	<p>(식 12) 폐수 처리 시 탄소배출량</p> $CH_4 Emission = \sum_i [(TOW_i - S_i)EF_i - R_i]$ <p>CH₄Emissions = CH₄ 배출량, kg CH₄/yr TOW_i = 산업 폐수에서의 총 유기 분해 가능 물질 i = 산업 분야 S_i = 슬러지로 제거된 유기 성분 EF_i = 배출계수, kg CH₄/kg COD R_i = 회수된 CH₄양</p>	IPCC 2006 (GWP)
폐기물 처리	<p>(식 8) 폐기물 처리 시 탄소배출량</p> $\sum \text{폐기물의 양} \times \text{폐기물 처리 방법별 탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg)}$	ISO 14040/14044

단계	온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
에너지 생산	(식 4) 연료 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg. L)}$	
가공	(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수(kgCO}_2\text{-eq./kg, L)} + \sum \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kWh)}$	ISO 14040/ 14044
유통	(식 7) 수송 시 탄소배출량 $\sum \text{수송량} \times \text{수송 거리} \times \text{수송 탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./ton}\cdot\text{km)}$	ISO 14040/ 14044

* 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서(2006 IPCC GL)

▶ 가정 및 제한사항

돼지를 도축하기까지의 사육 기간은 6개월로 가정하였으며⁷⁰⁾, 도축 및 가공하는 “H” 기업 자료를 이용하여 돼지 6월령 1두의 중량은 120 kg, 도축 후 돼지 고기의 중량은 국내 돼지 도축 수율 자료를 통해 74.93 kg으로 가정하였다⁷¹⁾. 사료 요구량은 사육 기간 내 돼지가 성장함에 따라 달라진다. 따라서 현장 및 문헌 데이터⁷²⁾를 참고하여 사육 동안 총 244.44 kg을 섭취하는 것으로 가정하였다. 사료의 생산, 가공 및 운송을 포함한 사료, 전기 및 연료 생산, 운송, 음식물류 폐기물에 대한 기초자료는 환경부, 산업통상자원부, 농촌진흥청, Ecoinvent에서 제시한 탄소배출계수를 적용하였다. 사육단계에서 발생하는 분뇨의 처리는 가장 많이 사용되는 퇴비화 시설로 처리되는 것으로 가정하였다⁷³⁾. 유통단계에서는 각 도축 및 가공 후 유통자료를 파악하기 어려워, 기업의 자료를 이용하여 산정하였다. 도축/가공단계에서 락스, 세제에 의한 탄소배출계수는 국내 데이터를 수집하기 어려워 해외 문헌 자료에서 제시된 값을 적용하였다⁷⁴⁾. 폐수의 경우 생물학적 수처리를 통해 처리되며 이때 사용되는 용수, 전기는 투입물에 포함되어 있다. 그러나 폐수 처리 과정에서 발생하는 탄소배출량은 현장 데이터를

70) 국립축산과학원. 2017. 축종별 100문 100답(<https://www.nias.go.kr/>)

71) 국립축산과학원. 2021. 돼지도체수율

72) 김용석. 2015. Cage Test 를 통한 양돈폐수 발생원단위 설정

73) 농림축산식품부. 2023. 가축분뇨 문제? 맞춤형 처방으로 해결 나선다(<https://www.mafra.go.kr/>)

74) Asem-Hiablie, S. 2019. A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in the USA

수집하기 어려워 국내 문헌 자료⁷⁵⁾와 환경부에서 제시한 탄소배출계수를 적용하였다⁷⁶⁾.

수입산 돼지고기의 수송 거리는 국내 돼지고기 수입국 1위인 미국에서 수입하는 것으로 가정하였다⁷⁷⁾.

5.1.2. 전과정 목록 분석

▶ 데이터 수집 및 계산

시스템 경계로 설정한 단계별 데이터를 수집하여 계산하였다.

본 연구에서는 부록 2에 나타난 설문서를 이용하여 1개 농가에서 사용된 전기, 사료 등의 양과 사육두수, 생산량을 파악하였다. <표 3.160>은 수집한 자료를 합한 값을 나타낸 것이다. 돼지 6월령 1두의 중량은 120 kg으로, 도축 후 돼지고기는 74.93 kg으로 가정하였으며, 돼지고기 1 kg 기준으로 투입·산출물을 환산하였다.

<표 3.160> 돼지의 사육정보

구분	단위	값	값 (돼지 120 kg 기준)	값 (돼지고기 1 kg 기준)
투입물	전기	kWh	60,000	12.50000
	사료	kg	1,173,312	244.4400
산출물	돼지	두	4,800	120.0000
				1.6015*

* 국립축산과학원. 2021. 돼지도체수율 참고

▶ 자재 생산단계

자재 생산단계에서는 사료 생산에 대한 자료를 수집하였다. 돼지고기 1 kg 기준의 사료 사용량은 <표 3.161>에 나타난 자료를 이용하였다.

75) 김희준. 2019. 도축장 폐수의 수질오염원이 물벼룩에 미치는 생태독성 평가 연구

76) 환경부. 2022. 2021년 승인 국가 온실가스 배출·흡수계수

77) 농림축산식품부. 2023. 2022 농림축산식품 수출입동향 및 통계

<표 3.161> 돼지고기의 자재 생산단계의 정보

구 분	단위	값 (돼지고기 1 kg 기준)	
투입물	배합사료	kg	3.2622

자재 생산 공정의 자료는 현장 데이터를 이용하는 것이 가장 바람직하나, 본 연구에서는 현장 데이터 수집이 어려워 <표 3.162>에 나타낸 탄소배출계수를 이용하였다. 배합사료의 탄소배출계수는 2022년에 한국전과정평가학회 추계 학술대회에서 발표한 ‘돼지 부위별 할당계수 산정 및 돼지와 육계 사료 배출계수 산정 연구’ 자료를 이용하였다. 이 탄소배출계수는 2015년에서 2019년까지의 국내에서 사용되는 수입산과 국내산 사료 자료를 이용하여 산정한 계수이며, 사료 생산, 가공, 수송을 포함하고 있다.

<표 3.162> 자재 생산단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보			
	단위	탄소배출계수	출처	
투입물	배합 사료 (돼지)	kg CO ₂ eq./kg	1.45E+00	농촌진흥청

▶ 사육단계

돼지의 사육단계는 <표 3.160>에 나타낸 돼지의 사육정보를 이용하였다.

본 연구에서는 돼지 사육 시 사료 사용으로 인한 장내 발효에 따른 CH₄ 배출 정보, 돼지 사육 시 분뇨처리 시 CH₄ 배출 및 N₂O 배출, 전기 생산 및 사용으로 인한 자료를 수집하여 산정하였다. 장내 발효 및 분뇨처리에 의한 정보는 <표 3.163>에 나타내었다. 돼지 1 두 기준 사육 기간인 6개월을 곱한 후, 12개월로 나누면 값은 0.50 head·yr이다.

<표 3.163> 돼지 사육 시 장내 발효 및 분뇨처리에 따른 정보

돼지 중량(두)	사육기간(월)	값(head·year)
1	6	0.50

전기에 대한 정보를 <표 3.164>에 나타내었다.

<표 3.164> 돼지 사육 시 에너지 생산 및 사용 정보

구 분	단위	값 (돼지고기 1 kg 기준)
전기 생산	kWh	0.1668

사육단계에서 사용하는 탄소배출계수는 <표 3.165>에 나타내었다. 돼지 사육 시 사용되는 연료에 의한 탄소배출계수는 환경부에서 개발한 계수를 이용하였으며, 사료 사용으로 인한 장내 발효의 CH₄ 배출에 의한 탄소배출계수, 돼지 사육 시 분뇨처리에 의한 CH₄ 배출계수, 분뇨 내 연평균 질소량, 분뇨 퇴비화 시설의 N₂O 자료는 국가 온실가스 인벤토리 보고서에서 제시하고 있는 계수를 이용하였다.

<표 3.165> 돼지 사육단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보		
	단위	탄소배출계수	개발기관
전기	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상자원부
장내발효의 사용	kg CH ₄ /head/yr	1.50E+00	IPCC (선진국) 1996
분뇨처리의 CH ₄	kg CH ₄ /head/yr	3.00E+00	IPCC (서유럽) 1996
분뇨내 연평균 질소량	kg N/head/yr	2.00E+01	IPCC (서유럽) 1996
퇴비화시설 N ₂ O	kg N ₂ O-N/kg N	2.00E-2	IPCC 1996

▶ 도축/가공단계

도축 및 가공단계는 사육한 돼지를 도축장에서 도축한 후, 절단기로 돼지고기로 가공하는 단계이다. 도축 및 가공단계에서는 현장 데이터를 이용하였다. 국내에서 가공업체로 생산비율이 가장 높은 “H” 기업의 2022년 연간 자료를 수집하였다. 도축 및 가공정보는 <표 3.166>과 <표 3.167>에, 도축/가공단계에서 사용한 탄소배출계수는 <표 3.168>에 나타내었다. 돼지의 중량은 1 두 기준으로

120 kg이며, 가공 후 돼지고기의 중량은 74.93 kg으로 나타났다. “H” 기업은 돼지 1 두를 기준으로 자료를 취합하고 있으며, 돼지고기 74.93 kg으로 나누어 돼지고기 1 kg 기준의 값을 산정하였다.

<표 3.166> 돼지 도축단계의 정보

구 분	단위	값 (돼지 1두 기준)	값 (돼지고기 1 kg 기준)	비고	
	돼지	kg	돼지 1두	1.6015	
	공업용수	ton	0.3673	0.0049	
	전기	kWh	18.0000	0.2402	
투입물	LPG(생산)	Nm ³	1.2090	0.0161	
	LPG(사용)	kg	0.7000	0.0093	
	락스	kg	0.0075	0.0001	
	주방세제	kg	0.0034	0.0000	4.54E-05
	냉매	kg	0.0034	0.0000	4.54E-05
	돼지고기	kg	1.0000	1.0000	
산출물	폐수	ton	0.3782	0.0050	BOD 2,500mg/L*
	폐기물	kg	68.3500	0.6015	

* 김희준. 2019. 도축장 폐수의 수질오염원이 물벼룩에 미치는 생태독성 평가 연구

<표 3.167> 돼지 가공단계의 정보

구 분	단위	값 (돼지 1두 기준)	값 (돼지고기 1 kg 기준)	비고
투입물	전기	kWh	15.7956	0.2108
산출물	돼지고기	kg	돼지 1/6두	1.0000

<표 3.168> 돼지 도축단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보		
	단위	탄소배출계수	출처
공업용수	kg CO ₂ eq./kg	2.11E-04	환경부
전기	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상자원부
LPG 생산	kg CO ₂ eq./kg	3.94E-01	환경부
LPG(고정) 연소	kg CO ₂ eq./Nm ³	3.65E+01	산업통상자원부
락스 생산(NaClO)	kg CO ₂ eq./kg	2.12E-04	BASF*
주방세제 생산(Alkyl)	kg CO ₂ eq./kg	1.28E-05	BASF*
냉매(R-22) 생산	kg CO ₂ eq./kg	7.51E-01	환경부
냉매(R-22)(GWP)	kg CO ₂ eq./kg	1.81E+03	IPCC
폐수(생물학적처리)	kg CO ₂ eq./kg BOD	5.61E-01	환경부**
음식물쓰레기 재활용	kg CO ₂ eq./kg	1.12E-02	환경부

* Asem-Hiablie, S. 2019. A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef system in the USA

** 환경부. 2022. 2021년 승인 국가 온실가스 배출·흡수계수 공고

▶ 유통단계

“H” 기업의 가공 후 각 지역으로 유통되는 생산량과 생산비율을 수집하였다. 권역별로 수도권, 충청권, 경상권, 전라권으로 구분하여 수집하였으며, 환경성적표지인증지침에서 제시하고 있는 권력별 거리를 적용하여 ton·km로 산정하였다. 수송거리와 수송량은 <표 3.169>에 나타내었다. 국내산 돼지고기의 <표 3.164>에 나타낸 2,441,014 ton·km로 분석되었으며, 이를 돼지고기 유통량 합계인 1,217,076 kg로 나누면 돼지고기 1 kg 기준의 수송량은 0.1261 ton·km로 나타났다.

<표 3.169> 유통 정보(“H” 기업→각 지역)

지역	유통량 (kg-돼지고기)	수송거리(km)	수송량(ton·km)
서울	13,160,818	138	1,816,193
충청	3,642,629	38	138,420
경상	1,126,797	220.5	248,459
전라	1,424,803	167	237,942
합계	19,355,046		2,441,014
수송량(돼지고기 1 kg 기준)			0.1261

수입산은 수입국 1위인 미국에서 생산 후 국내 부산항으로 오는 수송거리를 고려하였다. 수입산 돼지고기 1 kg를 기준으로 국내 부산항까지의 수송거리를 <https://www.searates.com/services/distances-time/>에서 수집하였다. 수송량은 10.3829 ton·km로 나타났다(<표 3.170>).

<표 3.170> 수송(미국→부산항) 정보

수입산(미국) 돼지고기(kg)	수송거리(km)	수송량(ton·km)
1	10,382.85	10.3829

수송 시의 탄소배출계수는 <표 3.171>에 나타난 육로수송과 외항선(컨테이너선)의 탄소배출계수를 이용하였다.

<표 3.171> 수송단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보		
	단위	탄소배출계수	출처
육로수송	kg CO ₂ eq./ton·km	1.92E-01	환경부
해양수송 (외항선(컨테이너))	kg CO ₂ eq./ton·km	2.11E-03	환경부

▶ 목록분석 결과 및 탄소배출계수 정보

<표 3.172>는 본 연구에서 산정한 돼지고기 1 kg 기준의 공정별 목록분석 결과와 수집한 탄소배출계수를 정리하였다.

<표 3.172> 돼지고기 1 kg 기준의 공정별 목록분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보

공정	구분	단위	값 (돼지고기 1 kg 기준)	사용 탄소배출계수 정보					
				물질	단위	탄소배출 계수	출처		
자재생산	투입물질	사료	kg	3.2622	배합사료 (돼지)	kg CO ₂ eq./kg	1.45E+00	농촌진흥청	
		전기	kWh	0.1668	전기 생산	kg CO ₂ eq. /kWh	4.95E-01	산업통상 자원부	
		장내 발효	head · year	0.5000	장내발효의 사용	kg CH ₄ /head/yr	1.5	IPCC (선진국) 1996	
사육	산출물질				분뇨처리의 CH ₄	kg CH ₄ /head/yr	3	IPCC (서유럽) 1996	
			분뇨 처리	head · year	0.5000	분뇨 내 연평균 질소량	kg N/head/yr	20	IPCC (서유럽) 1996
						퇴비화시설 N ₂ O	kg N ₂ O-N/kg N	0.002	IPCC 1996
도축	투입물질	공업 용수	ton	0.0049	공업용수 생산	kg CO ₂ eq./kg	2.11E-04	환경부	
		전기	kWh	0.2402	전기 생산	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상 자원부	
		LPG	kg	0.0093	LPG 생산	kg CO ₂ eq./kg	3.94E-01	환경부	
		LPG	Nm ³	0.0161	LPG(고정) 연소	kg CO ₂ eq./Nm ³	3.65E+01	산업통상 자원부	

공정	구분	단위	값 (돼지고기 1 kg 기준)	사용 탄소배출계수 정보				
				물질	단위	탄소배출 계수	출처	
	락스	kg	0.0001	락스 생산(NaCl O)	kg CO ₂ eq./kg	2.12E-04	BASF*78)	
	주방 세제	kg	0.0000	주방세제 생산(Alkyl)	kg CO ₂ eq./kg	1.28E-05	BASF*	
	냉매	kg	0.0000	냉매(R-22) 생산	kg CO ₂ eq./kg	7.51E-01	환경부	
				냉매(R-22) (GWP)	kg CO ₂ eq./kg	1,810	IPCC	
	산출물 폐수	ton	0.0050	생물학적처 리	kg CO ₂ eq./kg BOD	5.61E-01	환경부	
		폐기물	kg	0.6015	음식물 쓰레기 재활용	kg CO ₂ eq./kg	1.12E-02	환경부
가공	투입물 전기	kWh	0.2108	전기 생산	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상 자원부	
	유통	국내 수송 (국내 산)	ton· km	0.1261	해양 수송 (외항선 (컨테이너))	kg CO ₂ eq./ton·km	1.92E-01	환경부
		해외 수송	ton· km	10.3829	해양 수송 (외항선 (컨테이너))	kg CO ₂ eq./ton·km	2.11E-03	환경부

* BASF 데이터 소스는 Ecoinvent 2.2 LCI 목록 데이터베이스 활용(Asem-Hiablie, S 2018)

78) Asem-Hiablie, S., Battagliese, T., Stackhouse-Lawson, K. R., Alan Rotz, C. 2019. A life cycle assessment of the environmental impacts of a beef

5.1.3. 탄소배출량 산정

수집한 데이터를 이용하여 각 단계별 탄소배출량을 산정하였다.

▶ 자재 생산단계

자재 생산단계에서의 온실가스 배출량은 <표 3.159>에 나타난 식 1을 이용하여 <표 3.172>에 나타난 돼지고기 1 kg 기준의 사료 사용량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. <표 3.173>은 사료 생산 시 온실가스 배출량을 나타낸 것으로, 산정 결과는 돼지고기 1 kg 기준으로 4.7303 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.173> 돼지 사육 시 자재 생산단계의 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (돼지고기 1 kg 기준)	탄소배출계수	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./ kg-돼지고기)
사료	kg	3.2622	1.45E+00	4.7303

▶ 사육단계

돼지 사육단계에서의 온실가스 배출량은 크게 4가지로 구분할 수 있다. 장내 발효에 의한 CH₄ 배출로 인한 온실가스 배출량, 분뇨 처리에 의한 CH₄ 및 N₂O 배출로 인한 온실가스 배출량, 에너지 생산 및 사용에 따른 온실가스 배출량으로 구분할 수 있다.

장내 발효에 의한 온실가스 배출량은 <표 3.159>에 나타난 식 9를 이용하여 <표 3.174>에 나타내었다. 온실가스 배출량은 <표 3.172>에 나타난 돼지 1두 기준의 장내 발효 정보와 장내 발효의 배출계수, CH₄의 GWP를 곱한 후, 돼지 1두당 중량 120 kg으로 나누고 돼지고기 1 kg 기준의 돼지의 중량인 1.6015 kg을 곱하여 산정하였으며, 산정결과 돼지고기 1 kg 기준으로 0.2502 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.174> 돼지 사육 시 장내 발효에 따른 온실가스 배출량

값 (두/yr)	탄소배출계수 (kg CH ₄ / 두/yr)	GWP	돼지 중량 (kg/두)	환산 값(kg-돼지/kg -돼지고기)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-돼지고기)
0.50	1.5	25	120	1.6015	0.2502

분뇨 처리에 의한 온실가스는 CH₄ 배출과 N₂O 배출로 발생한다.

분뇨 처리 시 CH₄ 배출로 인한 온실가스 배출량은 <표 3.172>에 나타난 정보를 이용하여 <표 3.159>에 나타난 식 10을 이용하였으며, 산정결과는 <표 3.175>에 나타내었다. 온실가스 배출량은 <표 3.163>에 나타난 돼지 1 두 기준의 분뇨 처리 정보와 분뇨 처리 시 CH₄의 배출계수, CH₄의 GWP를 곱한 후, 돼지 1 두당 중량 120 kg으로 나누고 돼지고기 1 kg 기준의 돼지의 중량인 1.6015 kg을 곱하여 산정하였으며, 산정결과는 돼지고기 1 kg 기준으로 0.5005 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.175> 돼지 사육 시 분뇨 처리에 CH₄에 의한 온실가스 배출량

값 (두/yr)	탄소배출계수 (kg CH ₄ / 두/yr)	GWP	돼지 중량 (kg/두)	환산값 (kg-돼지/ kg-돼지고기)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./ kg-돼지고기)
0.50	3	25	120	1.6015	0.5005

N₂O 배출로 인한 온실가스 배출량은 <표 3.172>에 나타난 정보를 이용하여 <표 3.159>에 나타난 식 11을 이용하였으며, 산정결과는 <표 3.171>에 나타내었다. 온실가스 배출량은 <표 3.172>에 나타난 돼지 1 두 기준의 분뇨 처리 정보와 분뇨 처리 시 탄소배출계수, 돼지 분뇨 내 연평균 질소량, 분뇨 퇴비화 시설 N₂O 발생량, 퇴비화 분뇨처리시설 이용비율, N₂O/N 비율을 곱한 후, N₂O의 GWP와 돼지 1 두 중량 120 kg로 나누고 돼지고기 1 kg 기준의 양인 1.6015 kg을 곱하여 산정하였으며, 산정결과는 돼지고기 1 kg 기준으로 1.2499 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.176> 분뇨 처리에 N₂O에 의한 온실가스 배출량

값 (두/yr)	탄소배출 계수 (kg N/두/yr)	GWP	퇴비화 분뇨처리 시설 이용비율	분뇨처리 시설 아산화질소 배출계수 (kg N ₂ O-N/ kg N)	N ₂ O/N 비율	돼지 중량 (kg/ 두)	환산값 (kg-돼지/ kg-돼지 고기)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./ kg-돼지 고기)
0.50	70	298	1	0.02	44/28	120	1.6015	1.2499

돼지 사육 시 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출량은 <표 3.159>에 나타난 식 5를 이용하여 산정한 결과를 <표 3.177>에 나타냈으며, 돼지고기 1 kg 기준으로 0.0826 kg CO₂ eq.로 분석되었다.

<표 3.177> 돼지 사육 시 에너지 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (돼지고기 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq. /kWh, L, kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-돼지고기)
전기 생산	kWh	0.1668	4.95E-01	0.0826

돼지 사육단계의 온실가스 배출량은 <표 3.178>에 정리하였다. 사육단계에서의 온실가스 배출량은 돼지고기 1 kg 기준으로 2.0832 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.178> 돼지 사육단계의 온실가스 배출량

장내 발효	분뇨 처리	에너지 사용	합계
0.2502	1.7504	0.0826	2.0832

▶ 도축/가공단계

도축 및 가공단계의 온실가스 배출량은 도축/가공하면서 사용하는 전력, LPG, 용수, 냉매로 인한 것이다. 도축과 가공단계의 온실가스 배출량은 <표 3.166>, <표 3.167>에 나타난 정보를 이용하여 산정한 결과를 <표 3.179>와 <표 3.180>에 나타내었다.

도축/가공단계의 온실가스 배출량은 돼지고기 1 kg 기준으로 0.2794 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.179> 돼지 도축/가공단계의 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (돼지고기 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./kWh, Nm ³ , kg, BOD)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-돼지고기)
공업용수	ton	0.0049	2.11E-04	0.0010
전기	kWh	0.2402	4.95E-01	0.1189
LPG(생산)	kg	0.0093	3.94E-01	0.0037
LPG(연소)	Nm ³	0.0161	3.65E+01	0.0589
락스	kg	0.0001	2.12E-04	0.0000
주방세제	kg	0.0000	1.28E-05	0.0000
냉매	kg	0.0000	7.51E-01	0.0000
냉매	kg	0.0000	1,810	0.0831
폐수	ton	0.0050	5.61E-01	0.0071
폐기물	kg	0.6015	1.12E-02	0.0067
합계				0.2794

<표 3.180> 가공단계 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (돼지고기 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq. /kWh, L, kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-돼지고기)
전기 생산	kWh	0.2108	4.95E-01	0.1043

▶ 유통단계

유통단계의 온실가스 배출량은 “H”기업에서 판매하기 위해 권역별로 판매비율을 적용하였으며, 환경부의 환경성적표지인증지침의 권역별 수송거리를 고려하여 산정하였다. <표 3.135>에 나타난 정보를 이용하여 <표 3.159>의 나타난 식 7를 이용하여 산정하였으며, 산정결과는 <표 3.181>에 나타내었다. 산정한 결과 돼지고기 1 kg 기준으로 0.0242 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.181> 국내산 돼지고기의 유통에 의한 온실가스 배출량

수송량(ton·km)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./ton·km)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-돼지고기)
0.1261	1.92E-01	0.0242

수입산 돼지고기는 해외에서 가공 이후 국내로 수송되는 과정에서 온실가스 배출량이 발생한다. 수송과정에서의 온실가스 배출량은 <표 3.154>에 나타낸 식 7을 이용하여 <표 3.172>에 나타낸 돼지고기 1 kg 기준의 수송량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. <표 3.182>에 나타낸 산정결과는 돼지고기 1 kg 기준으로 0.0937 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.182> 수입산(미국) 돼지고기의 수송(미국→부산항)에 의한 온실가스 배출량

수송량(ton·km)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./ton·km)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-돼지고기)
10.3829	9.02E-03	0.0937

▶ 전과정 온실가스 배출량

국내산 돼지고기에 대해 전과정에 걸쳐 온실가스 배출량을 <표 3.183>에 나타내었다. 돼지고기 1 kg 기준, 온실가스 배출량은 7.2215 kg CO₂ eq.로 나타났으며, 사료 생산으로 구성된 자재 생산단계에서 4.7303 kg CO₂ eq.으로 전체 배출량의 65.50%로 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 그 외에 사육단계, 도축/가공단계, 유통단계 순으로 구분되어 비중을 차지하였다. 사육단계에 의한 온실가스 배출량은 2.0832 kg CO₂ eq.로 전체 온실가스 배출량의 28.85%를 차지하였으며, 이 중 분뇨처리가 1.7504 kg CO₂ eq.로 24.24%로 가장 많은 비중을 차지하였고, 장내 발효, 에너지 생산 및 사용은 각각 0.2502 kg CO₂ eq., 0.0826 kg CO₂ eq.로 3.47%, 1.14%의 낮은 비중을 차지하였다. 한편, 국내산 돼지고기를 다른 지역으로 유통할 때 온실가스 발생량은 0.0242 kg CO₂ eq.로 전체 배출량의 0.34%를 차지하였는데, 수입산을 국내에서 유통하기 위한 수송단계에서는 0.1578 kg CO₂ eq.로, 이는 국내산 돼지고기 전과정 온실가스 배출량의 2.19%

수준으로 많은 비중을 차지하고 있지는 않다. 그러나 국내산과 수입산의 유통단계에서 배출량 차이가 약 6.5배이므로, 제품 생산량이 많아질수록 유통에 의한 돼지고기 온실가스 배출량의 편차는 크게 증가될 것으로 사료된다.

돼지고기의 경우 선행연구가 없어 비교 분석은 불가능하나, 농가 설문조사 및 계수 적용 등을 통해 도출된 결과값을 설명하고자 <표 3.184>에 단계별·항목별로 계산 과정을 정리하였다.

<표 3.183> 국내산 돼지고기의 전과정 온실가스 배출량

구분	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-돼지고기)		비율(%)		비고	
자재 생산	사료 생산	4.7303	4.7303	65.50	65.50	-
	장내 발효	0.2502		3.47		
사육	분뇨 처리	1.7504	2.0832	24.24	28.85	-
	에너지 생산 및 사용	0.0826		1.14		
도축 가공	도축	0.2794		3.87		
	가공	0.1043	0.3838		5.31	-
	유통	0.0242	0.0242		0.34	수입산 0.1578 kg CO ₂ eq./kg -돼지고기→부산물 ¹⁾
합계			7.2215	100.00		-

1) 해외 사례의 국가인 미국, 스페인, 오스트리아, 네덜란드, 덴마크, 프랑스의 수송 배출량 평균값

<표 3.184> 돼지고기의 온실가스 배출량 계산과정
(단위 : kg CO₂/돼지고기-1 kg)

구분		본 연구	결과값	
자재 생산	사료 생산	3.2622 (사용량) * 1.45 (배출계수)	4.7303	
	자재 생산 과정 중 CO ₂ 배출량 합계		4.7303	
사육	장내발효	0.50 (headyear) * 1.5 (발생량) / 120 (생체중) * 1.6015 (도체중) * 25 (GWP)	0.2502	
	분뇨처리(CH ₄)	0.50 (headyear) * 3 (발생량) / 120 (생체중) * 1.6015 (도체중) * 25 (GWP)	0.5005	
	분뇨처리(N ₂ O)	0.50 (headyear) * 20 (발생량) / 120 (생체중) * 1.6015 (도체중) * 0.019 kg (N ₂ /N 비율) * 1.5714 (N ₂ O/N ₂ 비율) * 298 (GWP)	1.2499	
	에너지 사용 (전력)	0.1668 (사용량) * 4.95E-01 (배출계수)	0.0826	
	사육단계 과정 중 CO₂ 배출량 합계		2.0832	
도축/ 가공	용수 생산	4.9 (사용량) * 2.11E-04 (배출계수)	0.0010	
	에너지 소비	(전력)0.2402 (사용량) * 4.95E-01kg (배출계수)	0.1189	
	LPG(생산)	0.0093 (사용량, 0.0161 m ³) * 0.394 (배출계수)	0.0037	
	LPG(사용)	0.0161 (사용량) * 3.65 (배출계수)	0.0589	
	락스	0.0001 (사용량) * 2.12E-04 (배출계수)	0.0000	
	주방 세제	0.00005 (사용량) * 1.28E-05 (배출계수)	0.0000	
	냉매	0.00005 (사용량) * 1810 (배출계수)	0.0831	
	도축가공 과정 중 CO₂ 배출량 합계		0.2656	
	폐기	폐수	0.0050 (발생량) * 0.561 (배출계수)	0.0071
		폐기물	0.6015 (발생량) * 0.0112 (배출계수)	0.0067
전기		0.2108 (사용량) * 0.495 (배출계수)	0.1043	
유통 과정 중 CO₂ 배출량 합계		0.1181		
유통	수송	0.1261 ton·km/kg 돼지고기 * 0.192 kg CO ₂ -eq./ton·km	0.0242	
	유통 과정 중 CO ₂ 배출량 합계		0.0242	
돼지고기 생산 전과정 CO₂ 배출량 합계			7.2215	

*출처: 2006 IPCC Guidelines CH₄ GWP: 25 kg CO₂ eq./kg, N₂O GWP: 298 kg CO₂ eq./kg

5.2. 해외 돼지고기의 탄소발자국

5.2.1. 온실가스 배출량 산정식

<표 3.185>는 각 국가에서 돼지고기의 전과정에 걸쳐 온실가스 배출량을 산정하기 위한 식을 나타내었다. 단계별 온실가스 배출량 산정식은 <표 3.159>에 나타낸 식을 이용하였다. 돼지고기의 전과정은 돼지를 사육하고 생산하기 위한 자재 생산, 수송, 돼지 사육, 사육한 돼지를 도축하고 돼지고기로 만드는 도축/가공, 돼지고기의 유통, 소비를 거쳐 폐기된다. 주로 해외에서 돼지고기의 시스템 경계는 돼지고기의 전과정 또는 돼지를 사육하기 위한 자재 생산, 수송, 사육까지로 하는 등 다양하게 설정하였다. 사료 생산, 수송, 에너지 생산, 물질 생산, 폐기물 처리 시의 온실가스 배출량은 ISO 14040와 14044의 방법론을 적용하였으며, 장내 발효에 의한 메탄 발생, 분뇨처리에 의한 메탄 및 아산화질소 발생, 에너지 사용에 의한 온실가스 배출량은 IPCC 방법론을 적용하되, 지구온난화지수는 <표 3.73>에 나타낸 IPCC 2006을 적용하였다.

<표 3.185> 돼지고기의 온실가스 배출량 산정식

단계		온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	(식 1) 사료 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{사료 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg})$	ISO 14040/ 14044
	수송	(식 7) 수송 시 탄소배출량 $\sum \text{운송량} \times \text{운송거리} \times \text{운송 탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./ton}\cdot\text{km})$	ISO 14040/ 14044
사육	장내 발효	(식 9) 장내 발효 탄소배출량(CH_4) $\text{CH}_4 \text{ Emissions} = E_T \times \left[\frac{N_T}{10^6} \right] \times \text{GWP}_{\text{CH}_4}$ $E_T = \text{축종별 배출계수, kg CH}_4/\text{두}\cdot\text{년}$ $N_T = T\text{가축 종의 두수}$ $\text{GWP}_{\text{CH}_4} = 25$	IPCC 2006
	에너지 생산	(식 4) 연료 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg, L})$	ISO 14040/ 14044
	에너지 소비	(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수} (\text{kgCO}_2\text{-eq./kg, L}) + \sum \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kWh})$	IPCC 2006
분뇨 처리	(식 10) 분뇨처리 시 탄소배출량(CH_4) $\text{CH}_4 \text{ Emissions} = \frac{(E_T \times N_T)}{10^6} \times \text{GWP}_{\text{CH}_4}$ $E_T = \text{축종별 배출계수, kg CH}_4/\text{두}\cdot\text{년}$ $N_T = T\text{가축 종의 두수}$ $\text{GWP}_{\text{CH}_4} = 25$	IPCC 2006	

단계		온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
		(식 11) 분뇨처리 시 탄소배출량(N ₂ O) $N_2O\ Emissions = (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)} \times EF_{3(S)} \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O})$ N _(T) =종의 두수 Nex _(T) =T가축 종의 연평균 질소 배출량, kg H/두수/년 MS _(T) =T가축 종의 S분뇨관리시스템 비율 EF _{3(S)} =S분뇨시스템의 N ₂ O-N 배출계수, kg N ₂ O-N/kg N S : 분뇨시스템 T : 가축 종 44/28: N ₂ O-N를 N ₂ O로 전환 GWP _{N₂O} =298	
수송	수송	(식 2) 이용	ISO 14040/ 14044
도축	물질 생산	(식 1) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 생산	(식 4) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 사용	(식 5) 이용	IPCC 2006
	폐기물 처리	(식 8) 폐기물 처리 시 탄소배출량 $\sum \text{폐기물의 양} \times \text{폐기물 처리 방법별 탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg)}$	ISO 14040/ 14044
가공	물 생산	(식 1) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 생산	(식 4) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 사용	(식 5) 이용	IPCC 2006
	폐기물 처리	(식 8) 이용	ISO 14040/ 14044
유통	수송	(식 7) 이용	ISO 14040/ 14044
소비	에너지 생산	(식 4) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 사용	(식 5) 이용	IPCC 2006
폐기	폐기물 처리	(식 8) 이용	ISO 14040/ 14044

5.2.2. 해외 돼지고기의 탄소발자국 비교 분석

<표 3.186>은 국가별 온실가스 배출량을 조사하여 정리하였다. 표에서 제시된 것처럼 국가별 기능단위와 시스템 경계가 상이하여 도축 전 단계까지를 비교 분석하였다. 적용 방법론은 ISO 14040/14044와 IPCC 방법론을 적용하였다. 국가별 사용된 연료, 탄소 함량, 에너지 함량 등의 데이터에 배출량 산정 시 배출계수에서 차이가 있으나, 지구온난화지수는 모든 국가가 동일하게 IPCC 2006을 이용한 해외 사례로 비교하였다. 이를 통해 배출량을 확인한 결과, 모든 국가에서 사료 등의 자재 생산단계가 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 사료의 종류는 옥수수, 콩, 소맥 등 국가마다 상이한 것으로 나타났다. 도축 전 돼지를 기준으로 미국, 덴마크, 네덜란드는 스페인과 프랑스보다 온실가스 배출량이 낮은 것으로 나타났다. 미국 사례의 경우 대두맥, 옥수수 등을 사료로 이용하고 있으나 소맥 등으로 대체하는 시나리오에서는 탄소배출량이 30%까지 감소하는 것으로 나타났다⁷⁹⁾. 덴마크의 경우 분뇨 재활용을 통해 질소 비료를 생산, 자재 생산 및 사육단계에서 해당 재활용분만큼 배출량에서 차감하였다⁸⁰⁾. 네덜란드의 경우 비교 사례 중 가장 배출량이 낮은 것으로 나타났으며, 이는 덴마크의 사례와 유사하게 바이오 연료나 가스를 생산을 통해 대체한 화석연료만큼을 배출량에서 차감하였기 때문이다⁸¹⁾. 오스트리아 또한 경우 분뇨를 재활용하여 비료로 사용하여 이를 배출량에서 차감하였다⁸²⁾. 스페인의 경우 돼지 사료의 대부분을 스페인 자국에서 생산하였으나, 대두유는 브라질에서 수입하였고, 온실가스 배출량이 상대적으로 높은 해바라기유를 혼합하여 타국에 비해 상대적으로 배출량이 높은 것으로 나타났다⁸³⁾. 프랑스의 경우 밀, 콩 등의 사료 구성의 차이에 따라 배출량이 상이한 것으로 나타났다⁸⁴⁾. 일본의 경우 국내와 유사하게 미국, 브라질, 캐나다 등에서 사료를 수입하여 이용하는 것으로 나타났다⁸⁵⁾.

79) Greg T. 2015. A Life Cycle Analysis of Land Use in US Pork Production

80) Dorca-Preda, T. 2021. Environmental impact of Danish pork at slaughterhouse gate—a life cycle assessment following biological and technological changes over a 10-year period

81) Rougoor, C. 2015. LCA of Dutch pork—assessment of three pork production systems in the Netherlands. Global and Local Food Assessment: A Multidimensional Performance-Based Approach

82) Thomas, W. 2016. From farm to fork e A life cycle assessment of fresh Austrian pork

83) Javier, G, G. 2020. Life Cycle Assessment of Iberian Traditional Pig Production System in Spain

84) Claudine Basset-Mens. 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France

85) Ogino, A. 2013. Life cycle assessment of Japanese pig farming using low-protein diet supplemented with amino acids. Soil science and plant nutrition

<표 3.186> 돼지고기의 해외 탄소 발자국 비교 분석

품 목	국가	기능 단위	시스템 경계	탄소발자국 (kg CO ₂ eq.)	출처	지원 부처	적용 방법론
	미국	kg of Live weight (125 kg/두)	자재 생산→ 수송→사육(분뇨 처리, 에너지)	2.87	Greg Thoma(2015)	-	IPCC, 2006
	스페인	1 kg of meat LW	자재 생산→ 수송→사육	4.36	Javier Garcia-Gudino (2020)	National Institute for Agricultural and Food Research and Technology (INIA)	IPCC, 2006
	네덜란드	1 kg of non-processed meat	자재 생산→ 수송→사육	2.79	Carin Rougoor(2015)		IPCC, 2006
	덴마크	1 kg of meat LW	자재 생산→ 수송→사육	2.65	Teodora Dorca-Preda (2021)	Ministry of food, Agriculture and Fisheries of Denmark	IPCC, 2006
돼지 고기	오스트리아	1 kg of carcass weight (94 kg/두) (120 kg/두-LW)	생산→수송→가 공-유통-소비	4.751	Thomas Winkler(2016)	-	IPCC, 2006
		1,930 kg of fattened pig		4.08			
		1,980 kg of fattened pig		3.43			
	프랑스 Nouvelle - Aquitaine 지역	1,729 kg of fattened pig	사료 생산 →수송 및 보관→ 사육(장내 발효, 분뇨 관리)	3.99	the CASDAR project	French agency for ecological transition (ADEME)	IPCC, 2006 ISO 14040/14044
		2,286 kg of fattened pig		3.66	ProtéAB(2020)		
		1,641 kg of fattened pig		4.82			
	일본	1kg of meat LW (115kg/두)	자재 생산→ 사육 (분뇨 관리)	7.70	Akifumi OGINO (2013)		IPCC, 2006

<표 3.187> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항

(a) 미국

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 양돈 사료 원료 생산에 사용되는 비료에서 원료까지 돼지 농장 인프라의 구성 요소에 포함 - 살충제 및 비료 생산 시설과 관련된 토지 요건 포함 - 사료 배급에 사용되는 모든 작물은 매년 특정 토지에서 재배되는 유일한 작물로 고려 	Ecoinvent	ISO 14040/14044
자재 수송	수송	<ul style="list-style-type: none"> - 사료 및 기타 건물 자재를 사육장으로 운송 포함 	-	ISO 14040/14044
사육	장내 발효	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 	-	-
	분뇨 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 분뇨 관리 시스템은 온실가스 배출량이 더 많은 깊은 구덩이가 아닌 바닥과 석호로 모델링 됨 - 토지 점유 발자국이 분뇨 관리 시스템의 선택에 의한 영향을 받지 않는 것으로 나타남 - 분뇨에 대한 시스템 경계는 농장 경계에 포함되지 않고 분뇨가 적용될 수 있는 농작물까지 확정되지 않음 	-	IPCC, 2006
	에너지 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 환경 영향을 최소화하는 토지, 물, 에너지 사용 	Ecoinvent	ISO 14040/14044
	에너지 사용		-	IPCC 2006
수송	수송	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 		
도축	물 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 		
	에너지 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 		
	에너지 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 		
	폐기물 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 		
가공	물 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 		
	에너지 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 		
	에너지 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 		
	폐기물 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 		
유통	운송	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 		
소비	에너지 생산 및 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 		
폐기	폐기	<ul style="list-style-type: none"> - 시스템 경계 제외 		

(b) 스페인

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 생산지 당 한 종류의 작물 생산하며 수확률은 스페인 농수산물식품부(MAPA) 자료에 따라 보정 - 사료 생산 부산물(기름 등)은 경제적 가치에 따라 할당 	Ecoinvent	IPCC 2006
자재 수송	수송	<ul style="list-style-type: none"> - 작물 수송 거리는 스페인 농수산물식품부 자료 활용하여 지역별 작물 생산 차이 고려 - 콩은 브라질에서 수입되는 것으로 산정되며, 그 외 사료는 스페인에서 생산 	-	ISO 14040/14044
사육	장내 발효 및 분뇨 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 비육돈, 모돈의 영향은 고려되지 않음 - 장내 발효 및 가축 관리 시 배출량은 IPCC 방법론 및 문헌 데이터 활용* 	-	IPCC 2006
	에너지 생산 및 사용	Ecoinvent v3.1 DB 이용	Ecoinvent	
수송	수송	시스템 경계 제외		
도축	물 생산	시스템 경계 제외		
	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
가공	물 생산	시스템 경계 제외		
	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
유통	수송	시스템 경계 제외		
소비	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

* Rigolot, C. 2010. . Modelling of manure production by pigs and NH3, N2O and CH4 emissions. Part I: Animal excretion and enteric CH 4, effect of feeding and performance

(c) 네덜란드

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 양돈 사료 원료 생산에 사용되는 비료에서 원료까지 돼지 농장 인프라의 구성 요소에 포함 - 축사에 사용되는 짚 등의 자재 생산 포함 - 사료는 건조, 혼합, 펠릿화 공정으로 구분 - 일, 줄기 등 돼지 사육에 필요하지 않은 부산물은 제외 	Ecoinvent	ISO 14040/14044
자재 수송	수송	- Blonk et al. 2008 참고	-	ISO 14040/14044
사육	장내 발효	- Kool et al. 2009 참고되어 Tier 2 방법론으로 산정됨	-	ISO 14040/14044
	분뇨 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 분해율 및 사료 성상 고려 배출량 산정 - 분뇨는 탄소배출량 국가 통계 보고서 활용 	-	ISO 14040/14044
	에너지 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 환경 영향을 최소화하는 토지, 물, 에너지 사용 - 바이오매스를 이용하여 화석연료 대체 	Ecoinvent	ISO 14040/14044
	에너지 사용	- Vellinga and Blonk, 2012 참고	-	IPCC 2006
수송	수송	- 수송 거리는 Blonk et al. 2008 참고	-	ISO 14040/14044
도축	물 생산		-	ISO 14040/14044
	에너지 생산 및 사용	- 모든 돼지는 동일한 방식으로 도축	-	ISO 14040/14044
	폐기물 처리	시스템 경계 제외	-	-
가공	물 생산		-	ISO 14040/14044
	에너지 생산 및 사용	- 가공 후 보관 고려	-	ISO 14040/14044
	폐기물 처리	시스템 경계 제외	-	-
유통	운송	- 냉동으로 인해 연료 소모가 20% 더 소모되는 것으로 가정	-	ISO 14040/14044
소비	에너지 생산 및 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 소비자에 의한 운송, 보관, 조리 준비 등 포함 - 관련 데이터는 연구 기업(CLM) 자료 활용 	-	ISO 14040/14044
폐기	폐기	시스템 경계 제외	-	-

(d) 덴마크

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 양돈 사료 원료 생산에 사용되는 비료에서 원료 까지 돼지 농장 인프라의 구성 요소에 포함 - 비료 사용 및 사료 관련 토지 사용 고려 - 사료 배급에 사용되는 모든 작물은 매년 특정 토지에서 재배되는 유일한 작물로 고려 	-	ISO 14040/14044
자재 수송	수송	<ul style="list-style-type: none"> - 사료 운송 포함 - 거리는 72km로 산정되었으며 Euro 차량의 배기 가스 배출 표준에 따라 수송 시 배출량은 Euro 4 10%, Euro 5 60%, Euro 6 30%로 간주함 	-	ISO 14040/14044
	장내 발효	시스템 경계 제외	-	-
사육	분뇨 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 혐기성 공정을 통해 분뇨 처리 - 처리된 분뇨는 질소, 인, 칼륨 성분 비료로 사용되어 폐기물로 고려되지 않음 	-	IPCC 2006
	에너지 생산 및 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 에너지의 일부는 가축 부산물을 이용한 바이오가스, 바이오디젤을 이용하여 생산됨 - Jensen et al. (2007) 참고 	- Ecoinvent	ISO 14040/14044 IPCC 2006
수송	수송	- 2016년 덴마크 돼지 사육두수와 농가 및 사육장 간의 거리를 고려하여 왕복 거리로 산정됨	-	ISO 14040/14044
	물 생산		-	
도축	에너지 생산 및 사용		Ecoinvent	
	폐기물 처리		Ecoinvent	
	폐기물 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 기업 데이터 활용(익명, 2018년 데이터) - 에너지는 1.1% 석유, 6.3% 천연가스, 24.6% 석탄, 65.6% 신재생 에너지(풍력, 바이오매스) 	-	IPCC 2006
가공	에너지 생산 및 사용		Ecoinvent	
	폐기물 처리		Ecoinvent	
유통	운송	시스템 경계 제외	-	-
소비	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외	-	-

(e) 오스트리아

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	- 대두박 해외 운송은 유럽으로의 선박, 기차 및 트럭 운송을 포함하는 것으로 간주	AGT (2009)	ISO 14040/14044
자재 수송	수송	- 항구에서 오스트리아 농장으로의 대두박 운송도 고려하여 농장까지 약 1,000 km의 운송 거리를 가정	현장 데이터	ISO 14040/14044
사육	장내 발효	- 국제 기후 변화 패널(IPCC, 2006)에서 개발한 "Tier 1-Method"를 오스트리아(Anderl et al., 2013) 의 동물에 적용	현장 데이터	IPCC 2006
	분뇨 처리	- 분뇨 저장 및 돼지 생산에 대한 적용과 관련된 모든 환경적 영향(거름이 시비된 밭에서 생산된 작물 대신)을 할당했으며 특히 합성 비료의 회피와 관련된 환경적 영향의 감소를 설명 - 계산은 2008년 슬러리 형태로 동물이 배설한 총 분뇨량을 기반으로 했으며(Pöllinger et al., 2011), 기능 단위당 10.3 kg의 동물 외 슬러리를 추정 - 건물 및 휘발성 고형물 함량뿐만 아니라 포함된 배출(N, P, K, CH ₄ , NH ₃ , 직접 및 간접 N ₂ O) 에 대한 추가 추정치가 제공	현장 데이터	IPCC 2006
	에너지 생산	시스템 경계 제외		
	에너지 사용	- 난방 시설에서 사육하는 돼지는 열 소모와 환기 및 조명을 위한 전기 소비를 초래 - 분뇨 관리 시스템의 일부로 미처리 하수를 공장으로 펌핑하는 데 에너지가 필요	KTBL (2005)	IPCC 2006
수송	수송	- 농업 및 육가공 사업체의 위치를 고려하여 20톤 용량의 트럭으로 돼지를 운송해야 한다는 점을 고려하여 50km의 거리를 가정 - 냉장과 관련된 에너지 비용을 추가로 설명하기 위해 Nguyen 등이 발표한 내용을 기반으로 증분 계수 10.4%를 사용	현장 데이터	ISO 14040/14044
	물 생산	- Nguyen 등을 참조	-	ISO 14040/14044
도축	에너지 생산	- 도축에 필요한 전기 에너지 사용	-	ISO 14040/14044
	에너지 사용	- 염지 또는 분쇄와 같은 추가 가공 단계는 고려하지 않음 - 발포 폴리스티렌 (EPS), 고밀도 폴리에틸렌 (HDPE), 폴리프로필렌 (PP), 포장지 및 골판지 등 다양한 포장재를 고려	KTBL (2005)	IPCC 2006

단계	고려 사항	LCI DB	적용 방법론
폐기물 처리	- 폐기물/폐수 처리와 관련된 배출량이나 인프라 구축으로 인한 배출량은 포함되지 않음 - 자본재의 제공, 유지 및 처분은 고려하지 않음		ISO 14040/ 14044
물 생산			
가공	에너지 생산	시스템 경계 제외	
	에너지 사용		
	폐기물 처리		
유통	수송	- 상점의 고기가 개방형 냉장 장치에서 제공된다는 가정하에 수행	BMVIT (2007)
			ISO 14040/ 14044
소비	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외	
폐기	폐기	시스템 경계 제외	

(f) 프랑스

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	- 작물 생산을 위한 투입물(비료, 살충제, 트랙터 연료 및 기계)의 생산 및 전달과 관련된 자원 사용 및 배출에 관한 데이터는 Nemecek 및 Heil(2001)에 따라 도출	Bretagne 사료 데이터	ISO 14040/14044
		- 토양에 대한 Cd, Cu, Ni, Pb 및 Zn의 배출량은 합성 및 유기 비료에 의한 입력과 수확된 농산물을 통한 출력을 고려하여 균형 접근 방식에 따라 계산		
자재 수송	수송	- 도로 및 해상 운송용 에너지 운반선에 대한 데이터는 BUWAL 250 데이터베이스(BUWAL, 1996)에서 가져옴	World Ports (2000)	ISO 14040/14044
		- Bretagne에서 생산된 재료(밀, 보리, 라이밀, 귀리, 옥수수 및 완두콩)의 경우 작물이 재배된 밭과 사료 공장 사이, 사료 공장과 돼지 농장 사이의 거리가 모두 100km		
사육	장내 발효	- 내 발효 및 축사 유형으로 인한 CH4 배출 포함	-	IPCC 2006
	분뇨 처리	- 배설물에서 NH3 및 N2O 배출은 IPCC(1996) 및 UNECE(1999)에 따름	UNECE (1999)	IPCC 2006
		- 각 시스템의 배설물 생산량은 CORPEN(2003)에 따라 사료 대 획득 비율과 사료의 단백질 함량을 기반으로 정량화		
	에너지 생산	시스템 경계 제외		
에너지 사용	- 에너지 사용량은 SimaPro 1.1 방법 (PRé Consultants, 1997)에서 제안된 낮은 발열량을 사용하여 계산	ITP (2001)	IPCC 2006	
수송	수송	시스템 경계 제외		
도축	물 생산	시스템 경계 제외		
	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
가공	물 생산	시스템 경계 제외		
	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
유통	수송	시스템 경계 제외		
소비	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

(g) 일본

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	- 옥수수(미국 100%), 대두(미국 81.4%, 브라질 11%) 등의 수입 사료는 중량, 운송 거리를 통해 환경영향 산정	JEMAI (2005), NIES (2002)	ISO 14040/14044
자재 수송	수송	- 주요 국가 대상 수입 점유율이 100%가 되도록 환산	JEMAI (2005), NIES (2002)	ISO 14040/14044
	장내 발효	시스템 경계 제외		
사육	분뇨 처리	- CMETEL(composting and wastewater treatment obtained using the model of the environmental evaluation program for pigmanure management, 2005) 기반 산정	JEMAI (2005), NIES (2002)	IPCC 2006
	에너지 생산	시스템 경계 제외		
	에너지 사용	- 분뇨 처리 시 주 에너지 사용	JEMAI (2005), NIES (2002)	IPCC 2006
수송	수송	시스템 경계 제외		
	물 생산	시스템 경계 제외		
도축	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
	물 생산	시스템 경계 제외		
가공	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
유통	수송	시스템 경계 제외		
소비	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

5.3. 국내의 돼지고기의 탄소발자국 비교

<표 3.188>은 1 kg 기준 국내외 돼지고기의 탄소발자국 산정 결과이다.

상호 공통 단계를 추려내어 비교 분석을 수행한 결과, 국내의 경우, 자재 생산 및 사육단계에서의 온실가스 배출량은 6.8134 kg CO₂ eq.로 미국(4.6000 kg CO₂ eq.)의 148.1%, 스페인(5.4500 ~ 6.9800 kg CO₂ eq.)의 102.4% ~ 125.0%, 네덜란드(2.6400 kg CO₂ eq.)의 258.1%, 덴마크(3.6800 kg CO₂ eq.)의 185.1%, 오스트리아(4.3800 kg CO₂-eq.)의 155.6%, 프랑스(3.6800 ~ 6.3600 kg CO₂ eq.) 107.1%~185.1%, 일본의 55.2% 수준으로 일본을 제외한 모든 사례보다 높은 것으로 나타났다. 또한 도축/가공 단계에서는 0.3838 kg CO₂ eq.인 국내산과 달리 네덜란드(0.0600 kg CO₂-eq.), 덴마크(0.3200 kg CO₂ eq.), 오스트리아(0.1400 kg CO₂ eq.)는 각각 639.7%, 119.9%, 274.1%로 덴마크를 제외한 사례에서 큰 폭으로 편차가 발생하였다. 유통단계에서는 국내산(0.0242 kg CO₂ eq.)은 국가 면적이 비슷한 네덜란드, 오스트리아(0.0100 kg CO₂ eq.)보다 약 2.4배 높지만 상대적으로 면적이 넓은 미국의 경우 0.1500 kg CO₂ eq.으로 나타나 국내산보다 약 6.2배 높은 것으로 나타났다. 각 국가별 항구로부터 부산항까지의 거리는 미국(샌디에고) 10,193.41 km, 스페인(바르셀로나) 16,910.61 km, 네덜란드(로테르담) 20,023.82 km, 덴마크(코펜하겐) 20,579.83 km, 오스트리아(함부르크) 20,496.08, 프랑스(마르세유) 16,769.86 km, 일본(가고시마) 575.97 km, 선적 거리를 바탕으로 산정한 온실가스 배출량은 각각 미국 0.0919 kg CO₂ eq./돼지고기-1 kg, 스페인 0.1525 kg CO₂ eq./돼지고기-1 kg, 오스트리아 0.1849 kg CO₂ eq./돼지고기-1 kg, 네덜란드 0.1806 kg CO₂ eq./돼지고기-1 kg, 덴마크 0.1856 kg CO₂ eq./돼지고기-1 kg, 프랑스 0.1513 kg CO₂ eq./돼지고기-1 kg, 일본 0.0052 kg CO₂ eq./돼지고기-1 kg이다.

종합적으로, 국내산 돼지고기의 전과정 온실가스 배출량은 7.22 kg CO₂ eq.로 산정되었으며, 이는, 미국(4.84 kg CO₂ eq.)의 149.2%, 스페인(5.60~7.13 kg CO₂ eq.)의 101.3~129.0%, 네덜란드(2.96 kg CO₂ eq.)의 244.0%, 덴마크(4.19 kg CO₂ eq.)의 172.3%, 오스트리아(4.93 kg CO₂ eq.)의 146.5%, 프랑스(3.83~6.51)의 110.9%~188.5%, 일본(12.35 kg CO₂ eq.)의 58.5% 수준으로 나타났다.

이러한 국내외 돼지고기의 탄소발자국 비교 분석 결과, 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

첫째, 사료를 포함한 자재 생산단계에서 가장 큰 온실가스 배출량을 차지하고 있으며, 이는 사료로 사용되는 대두박, 옥수수 등의 곡물 생산 및 해당 국가로의 운송이 포함되어 높게 배출된다. 특히 일본의 경우 자재 생산단계에서 가장 높은 배출량을 보이고 있으며 국내와 마찬가지로 대부분의 사료를 수입하고 있으며 사용량이 많기 때문에 높게 산정되는 것으로 사료된다. 그러나 미국, 덴마크, 프랑스 등 자국 내 사료를 생산하거나 인근 국가에서 수입하는 경우, 자재 생산단계에서 상대적으로 낮은 배출량을 보이며, 덴마크와 같이 사육단계에서 발생하는 분뇨를 다시 비료로 사용하거나, 네덜란드와 같이 타피오카 등 일반적인 곡물류보다 온실가스 배출을 적게 하는 사료를 사용하여 국내산보다 낮은 온실가스 배출량을 보이는 것으로 사료된다.

일반적으로 제품의 수송 단계에서 발생하는 온실가스 배출량은 제품의 전과정에서 발생하는 온실가스 배출량에 비하여 차지하는 비중이 미미하다. 축산물 또한, 사료 급여 자체에서 발생하는 온실가스 배출량이 사료를 축산 농가까지 수송해 오는 과정에서 발생하는 온실가스 배출량 보다 훨씬 클 것임을 유추해볼 수 있다. 우리나라 축산업에서 쓰이는 사료의 경우, 대부분이 전량 수입에 의존하는 경향이 있다. 본 연구에서 적용한 사료 사용 배출 계수 또한 수입산 사료 이용을 전제하므로, 수입산 사료 이용에 따른 온실가스 배출량은 보다 면밀하게 해당 지점에 초점을 맞춘 분석이 필요할 것으로 사료된다.

둘째, 도축 후 유통단계는 국가의 면적에 따라 상이하나, 네덜란드, 오스트리아와 비교했을 때 국내산이 상대적으로 높게 나타난다. 이는 수송데이터에 따라 달라지는 것이므로 직접적인 비교는 어려우나, 상대적으로 자국내 수송거리가 길어지는 미국의 경우와 같이 국가 면적에 따라 높아지는 경향이 있다.

즉, 돼지고기의 경우, 사료 사용량, 운송량 등 데이터에 따라 일정 부분 결과 값에 편차가 존재하나, 모든 국가에서 자재 생산 및 사육 단계가 가장 높은 비중을 차지하고 있기에, 온실가스 배출량 저감을 위해서는 해당 단계에 집중한 면밀한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

<표 3.188> 국내외 돼지고기의 전과정 온실가스 배출량(kg CO₂ eq./pork)

구분		온실가스 배출량 ((ton CO ₂ eq./돼지고기 1 두, ton ton CO ₂ eq./pig, kg CO ₂ eq./pork)							
		국내산	미국	스페인	네덜란드	덴마크	오스트리아	프랑스	일본
자재 생산 및 사육 (자재생산, 사육)	1두	0.5110 (0.3548, 0.1562)	0.5750	0.5614~ 0.7189	0.2429 (0.1675, 0.0754)	0.32021)	0.4117 ¹⁾ (0.0160) ²⁾	0.4306~ 0.7441 ¹⁾	0.9872 ¹⁾
	돼지고기 1 kg	6.8134 (4.7302, 2.0832)	4.6000	5.4500~ 6.9800	2.6400 (1.8200, 0.8200)	3.6800	4.3800 (0.1700)	3.6800~ 6.3600	12.3400
도축/가공	1두	0.0288	-	-	0.0055	0.0278	0.0132	-	-
	돼지고기 1 kg	0.3838	-	-	0.0600	0.3200	0.1400	-	-
유통 (자국내)	1두	0.0018	0.0188	-	0.0009	-	0.0009	-	-
	돼지고기 1 kg	0.0242	0.1500	-	0.0100	-	0.0100	-	-
소비	1두	-	-	-	0.0064	-	0.0047	-	-
	돼지고기 1 kg	-	-	-	0.0700	-	0.0500	-	-
유통 ³⁾ (국외 → 부산항)	1두	-	(0.0112)	(0.0155)	(0.0166)	(0.0165)	(0.0169) ⁴⁾	(0.0176)	(0.0008)
	돼지고기 1 kg	-	(0.0900)	(0.1500)	(0.1800)	(0.1900)	(0.1800)	(0.1500)	(0.0100)
합계		0.5416	0.5938 (0.6050)	0.5614~ 0.7189 (0.5768~ 0.7344)	0.2558 (0.2723)	0.3480 (0.3645)	0.4465 (0.4634)	0.4306~ 0.7441 (0.4481~ 0.7617)	0.9872 (0.9880)
		7.2214	4.7500 (4.8400)	5.4500~ 6.9800 (5.6000~ 7.1300)	2.7800 (2.9600)	4.0000 (4.1900)	4.7500 (4.9300)	3.6800~ 6.3600 (3.8300~ 6.5100)	12.3400 (12.3500)

1) 각 연구별 생체중을 본 연구에서의 수율(62.4%) 적용

2) 자재 수송 및 도축/가공, 가공에서 유통 단계 포함

3) 해외 항구에서 부산항까지의 거리는 미국(샌디에고) 10,193.41 km, 스페인(바르셀로나) 16,910.61 km, 네덜란드(로테르담) 20,023.82 km, 덴마크(코펜하겐) 20579.83 km, 오스트리아(함부르크) 20496.08 km, 프랑스(마르세유) 16769.86 km, 일본(가고시마) 575.97 km

4) 한국보건산업진흥원, 오스트리아 통관 및 운송 자료를 참고하여 오스트리아의 돼지고기는 독일 함부르크에서 부산항으로 유통

<표 3.189> 국내의 돼지고기의 전과정 온실가스 배출량(kg CO₂ eq./LW)

구분	온실가스 배출량 (ton CO ₂ eq./돼지고기 1 두, ton CO ₂ eq./pig, kg CO ₂ eq./LW)								
	국내산 ⁵⁾	미국 ⁶⁾	스페인 ⁷⁾	네덜란드 ⁸⁾	덴마크 ⁹⁾	오스트리아 ¹⁰⁾	프랑스 ¹¹⁾	일본 ¹²⁾	
자재 생산 및 사육 (자재생산, 사육)	1두	0.5110 (0.3548, 0.1562)	0.5750	0.5614~ 0.7189	0.2429 (0.1675, 0.0754)	0.3202 ¹⁾	0.41171 (0.0160) ²⁾	0.4306~ 0.7441 ¹⁾	0.9872 ¹⁾
	생체중 1 kg	4.2544 (2.9536, 1.3008)	2.8723	3.4031~ 4.3584	1.6485 (1.1364, 0.5121)	2.2978	2.7349 (0.1062)	2.2978~ 3.9713	7.7053
도축/가공	1두	0.0288	-	-	0.0055	0.0278 ¹⁾	0.0132	-	-
	생체중 1 kg	0.2397	-	-	0.0375	0.1998	0.0874	-	-
유통 (자국내)	1두	0.0018	0.0188	-	0.0009	-	0.0009	-	-
	생체중 1 kg	0.0151	0.0937	-	0.0062	-	0.0062	-	-
소비	1두	-	-	-	0.0064	-	0.0047	-	-
	생체중 1 kg	-	-	-	0.0437	-	0.0312	-	-
유통 ³⁾ (해외 →부산향)	1두	-	(0.0112)	(0.0155)	(0.0166)	(0.0165)	(0.0169) ⁴⁾	(0.0176)	(0.0008)
	생체중 1 kg	-	(0.0562)	(0.0937)	(0.1124)	(0.1186)	(0.1124)	(0.0937)	(0.0062)
합계		0.5416	0.5938 (0.6050)	0.5614 ~ 0.7189 (0.5768 ~ 0.7344)	0.2558 (0.2723)	0.3480 (0.3645)	0.4465 (0.4634)	0.4306 ~ 0.7441 (0.4481 ~ 0.7617)	0.9872 (0.9880)
		4.5091	2.9660 (3.0222)	3.4031 ~ 4.3584 (3.4967 ~ 4.4521)	1.7359 (1.8483)	2.4977 (2.6163)	2.9660 (3.0784)	2.2978 ~ 3.9713 (2.3915 ~ 4.0649)	7.7053 (7.7115)

- 1) 각 연구별 생체중을 본 연구에서의 수율(62.4%) 적용
- 2) 자재 수송 및 도축/가공, 가공에서 유통 단계 포함
- 3) 해외 항구에서 부산항까지의 거리는 미국(샌디에고) 10,193.41 km, 스페인(바르셀로나) 16,910.61 km, 네덜란드(로테르담) 20,023.82 km, 덴마크(코펜하겐) 20579.83 km, 오스트리아(함부르크) 20496.08 km, 프랑스(마르세유) 16769.86 km, 일본(가고시마) 575.97 km
- 4) 한국보건산업진흥원, 오스트리아 통관 및 운송 자료를 참고하여 오스트리아의 돼지고기는 독일 함부르크에서 부산항으로 유통
- 5) 국내산 돼지의 평균출하체중은 75 kg
- 6) 미국 돼지의 평균출하체중은 125 kg
- 7) 스페인 돼지의 평균출하체중은 103 kg
- 8) 네덜란드 돼지의 평균출하체중은 92 kg
- 9) 덴마크 돼지의 평균출하체중은 87 kg
- 10) 오스트리아 돼지의 평균출하체중은 94 kg
- 11) 프랑스 돼지의 평균출하체중은 117 kg
- 12) 일본 돼지의 평균출하체중은 80 kg

6. 닭고기의 탄소발자국 산정

6.1. 국내 닭고기의 탄소발자국

6.1.1. 목적 및 범위 정의

■ 목적 정의

전과정평가 수행 목적은 “국내외 닭고기의 탄소발자국을 비교”하기 위함이다.

■ 범위 정의

▶ 기능단위

닭고기는 닭을 도계 후 가공한 축산물이다. <표 3.190>는 본 연구에서 닭고기의 탄소발자국을 산정하기 위한 기능, 기능단위, 기준 흐름을 정의하였다. 기능은 식용으로 사용하기 위해 닭 도계 후 가공한 닭고기로 선정하였다. 기능단위는 닭고기의 단위중량인 “닭고기 1 kg”로 선정하였다. 기준 흐름도 동일하게 “닭고기 1 kg”로 선정하였다.

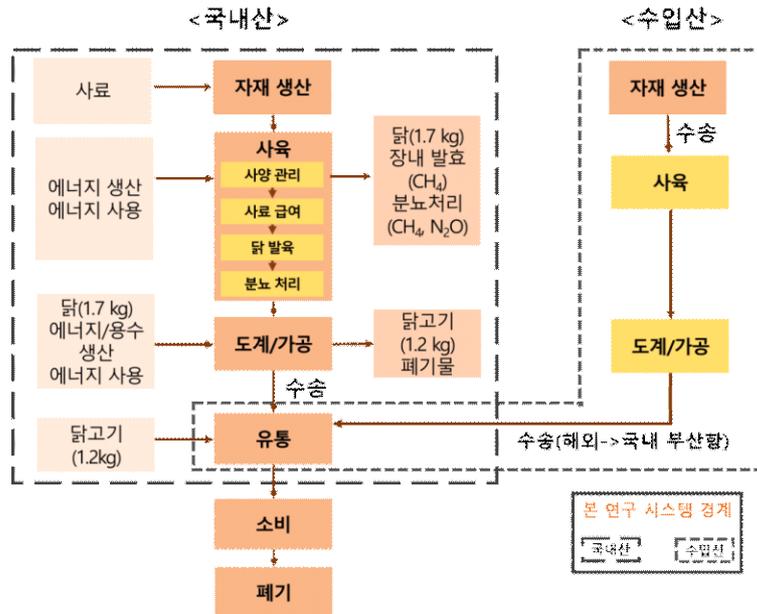
<표 3.190> 닭고기 단계별 적용 방법론 및 산정식

구분	내 용
기능	식용으로 사용하기 위한 닭 도계 후 가공한 닭고기
기능단위	닭고기 1kg
기준흐름	닭고기 1kg

▶ 시스템 경계

닭고기의 전과정은 [그림 3.68]에 나타낸 자재 생산단계, 사육단계, 도계/가공 단계, 유통단계, 소비단계, 폐기단계로 구성되며, 각각의 단계별 수송으로 구성된다. 본 연구에서 국내산 닭고기의 시스템 경계는 자재 생산, 닭 사육, 닭 도계 및 닭고기 가공, 유통단계까지로 한정하였으며, 수입산의 시스템 경계는 해외에서 자재 생산, 닭 사육, 닭 도계 및 닭고기 가공 후 국내 항구로 수송되는 과정까지 포함하였다. 수송은 자재 생산단계에서 사육단계, 사육단계에서 도계단계를

제외하고, 유통단계만 고려하였다. 사육 닭의 중량은 국내에서 닭을 도계하고 가공하는 기업 중 생산량이 가장 많은 “H” 기업의 자료를 이용하여 1.7 kg/두이며, 닭고기는 1.2 kg/두로 나타났다. 이를 닭고기 1 kg로 환산하였다.



[그림 3.68] 닭고기의 시스템 경계

<표 3.191>은 본 연구에서 시스템 경계로 선정한 공정별 개요를 나타내었다.

<표 3.191> 닭고기의 공정별 상세 설명

공정	공정 설명	
사료 생산	• 닭을 사육하기 위해 사용되는 사료를 생산하는 과정	
사육	사양 관리	• 닭 종별로 특징을 파악하여 건강관리 및 사료 관리를 하는 과정
	사료 급여	• 닭 성장을 위해 사료 종류, 급여 수준 및 급여 방법 등을 고려하여 닭에게 사료를 주는 과정
	닭 발육	• 병아리의 골격, 내부 장기와 근육량이 증가하며 성장하는 과정
	분뇨 처리	• 닭의 분뇨가 자원화시설에서 퇴비 원료로 사용하는 과정
도계/가공	도계	• 닭을 도계하는 과정
	가공	• 도계한 닭을 부위별로 포장하는 과정
유통	수송	• 가공한 닭고기를 각 지역으로 수송하는 과정

▶ 데이터 범주

<표 3.192>은 본 연구에서의 데이터 범주를 나타낸 것이다. 데이터 범주는 원료, 보조물질, 에너지, 제품, 대기 배출물로 구분하였다.

<표 3.192> 닭고기의 생산 및 도계/가공 공정의 데이터 범주

공정	세부 데이터		
생산	원료	병아리	
	투입물	보조물질	사료
		에너지	전력, 경유, 휘발유, 등유
산출물	제품	닭	
	대기배출물	CH ₄ , N ₂ O	
도계/가공	원료	닭	
	투입물	에너지	전력, 용수, 냉매
	산출물	제품	닭고기
	폐기물	일반 폐기물	

▶ 데이터 품질요건

<표 3.193>는 본 연구에서의 데이터 품질 요건을 나타낸 것이다. 데이터는 현장 데이터와 문헌데이터로 구분한다. 데이터는 현장 데이터를 수집하여 이용하는 것을 원칙으로 하나, 현장 데이터를 수집하기 어려운 경우에는 관련 문헌 데이터를 수집하였다. 문헌 데이터를 국가 또는 해외 LCI 데이터베이스로 연결되어 대상의 상위 및 하위 흐름에 대한 환경부하를 모두 고려하였다. 여기에서의 상위 흐름은 자재, 에너지 생산 등에 대한 흐름이며, 하위 흐름은 폐기물 등의 처리에 대한 흐름을 의미한다.

<표 3.193> 닭고기의 데이터 품질 요건

구 분	상/하위 흐름	생산/도계단계
시간적 범위	10년 이내 데이터	2022년
지역적 범위	해당 지역 데이터	현장 및 문헌 데이터
기술적 범위	-	닭고기 생산 및 도계하기 위한 최신 기술

▶ 할당

할당은 다양한 농산물을 동시에 생산할 시 투입물과 배출물을 배분하기 위해 수행된다. 본 연구에서는 닭만 사육하고, 닭고기만을 생산하고 있으므로 할당을 적용하지 않았다.

▶ 적용 방법론

본 연구에서는 <표 3.194>에 각각의 단계별로 나타낸 ISO 14044의 방법론과 국가 인벤토리 보고서에서 적용한 IPCC 방법론을 적용하였다.

<표 3.194> 닭고기의 단계별 적용 방법론 및 산정식



단계	온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
자재 생산 사료 생산	(식 1) 사료 생산 시 탄소 배출량 $\Sigma \text{사료 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg})$	ISO 14040/ 14044
장내 발효	(식 9) 장내 발효 탄소 배출량(CH ₄) $CH_4 \text{ Emissions} = E_T \times \left[\frac{N_T}{10^6} \right] \times GWP_{CH_4}$ E _T =축종별 배출계수, kg CH ₄ /두·년 N _T =T가축 종의 두수 GWP _{CH₄} =25	IPCC 1996 (산식) IPCC 2006 (GWP)
에너지 생산	(식 4) 에너지 생산 시 탄소 배출량 $\Sigma \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg, L})$	ISO 14040/ 14044
사육 에너지 사용	(식 5) 에너지 소비량 탄소 배출량 $\Sigma \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수} (\text{kgCO}_2\text{-eq./kg, L}) + \Sigma \text{전력 사용량} \times \text{간접배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kWh})$	IPCC 1996 (산식) IPCC 2006 (GWP)
분뇨 처리	(식 10) 분뇨처리 시 탄소 배출량(CH ₄) $CH_4 \text{ Emissions} = \frac{(E_T \times N_T)}{10^6} \times GWP_{CH_4}$ E _T =축종별 배출계수, kg CH ₄ /두·년 N _T =T가축 종의 두수 GWP _{CH₄} =25	IPCC 1996 (산식) IPCC 2006 (GWP)

(식 11) 분뇨처리 시 탄소 배출량(N₂O)
 $N_2O Emissions =$

$$(N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)} \times EF_{3(S)} \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O})$$

$N_{(T)}$ = 종의 두수
 $Nex_{(T)}$ = T 가축 종의 연평균 질소 배출량, kg
H/두수/년
 $MS_{(T)}$ = T 가축 종의 S 분뇨관리 시스템 비율
 $EF_{3(S)}$ = S 분뇨 시스템의 N₂O-N 배출계수, kg
N₂O-N/kg N
S : 분뇨 시스템
T : 가축 종
44/28: N₂O-N를 N₂O로 전환
 GWP_{N_2O} = 298

용수 생산	(식 1) 용수 생산 시 탄소 배출량 $\sum \text{용수 사용량} \times \text{탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg)}$	ISO 14040/ 14044
에너지 생산	(식 4) 연료 생산 시 탄소 배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg. L)}$	
도계		
에너지 소비	(식 5) 에너지 소비량 탄소 배출량 ¹⁾ $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수(kgCO}_2\text{-eq./kg. L)} + \sum \text{전력 사용량} \times \text{간접배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kWh)}$	ISO 14040/ 14044
폐기물 처리	(식 8) 폐기물 처리 시 탄소 배출량 $\sum \text{폐기물의 양} \times \text{폐기물 처리 방법별 탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg)}$	ISO 14040/ 14044
용수 생산	(식 1) 용수 생산 시 탄소 배출량 $\sum \text{용수 사용량} \times \text{탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg)}$	ISO 14040/ 14044
에너지 생산	(식 4) 연료 생산 시 탄소 배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg. L)}$	
가공		
에너지 사용	(식 5) 에너지 소비량 탄소 배출량 ¹⁾ $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수(kgCO}_2\text{-eq./kg. L)} + \sum \text{전력 사용량} \times \text{간접배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kWh)}$	ISO 14040/ 14044
폐기물 처리	(식 8) 폐기물 처리 시 탄소 배출량 $\sum \text{폐기물의 양} \times \text{폐기물 처리 방법별 탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./kg)}$	ISO 14040/ 14044
유통		
수송	(식 7) 수송 시 탄소 배출량 $\sum \text{수송량} \times \text{수송 거리} \times \text{수송 탄소배출계수(kg CO}_2\text{-eq./ton·km)}$	ISO 14040/ 14044

1) 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서(2006 IPCC GL)

▶ 가정 및 제한사항

닭을 도계하기까지의 사육 기간은 30일로 가정하였으며(농촌진흥청, 2021)⁸⁶⁾, 닭 30일령 1 두의 중량은 도계 및 가공하는 기업의 자료를 이용하여 1.7 kg로 가정하여 도계 후 닭고기의 중량은 1.2 kg로 가정하였다.

사료 사용으로 인한 장내 발효의 CH₄ 배출에 의한 탄소배출계수는 개발되지 않아 수집하지 못하여 온실가스 배출량 산정 시 제외하였다.

사료의 생산, 가공 및 운송을 포함한 사료, 전기 및 연료 생산, 운송, 음식물류 폐기물에 대한 자료는 현장 데이터를 수집하기 어려워 환경부, 산업통상자원부, 농촌진흥청, Ecoinvent 에서 제시한 탄소배출계수를 적용하였다.

닭 사육단계의 온실가스 계산 시 해외 연구 별로 준용하는 IPCC 기준이 다르다. 국내와 동일하게 브라질과 프랑스는 IPCC 2006 기준으로 산정되었고, 중국은 2023년도에 이루어진 연구이기에 최신버전인 IPCC 2021을 사용하였다. GWP값은 이산화탄소에 비해 얼마나 강력한 온실가스 효과를 가졌는지 보여주는 지표로 이산화탄소에 대한 상대적인 온실효과를 나타낸다. 본 연구에서는 사육단계에서 발생하는 메탄(CH₄)과 아산화질소(N₂O)의 GWP값이 IPCC 2006과 IPCC 2021에서 서로 다르기에 온실가스 배출량 비교 시 한계가 있다. IPCC 2006에서 메탄(CH₄)과 아산화질소(N₂O)의 GWP 값은 각각 25, 298이다(IPCC, 2006)⁸⁷⁾. IPCC 2021에서 메탄(CH₄)과 아산화질소(N₂O)의 GWP값은 각각 29.8, 273이다(IPCC, 2021)⁸⁸⁾. 따라서, 중국 연구의 경우 메탄(CH₄) 적용 부분은 타 해외 연구에 비해 온실가스 배출량이 높게 산정되었고, 아산화질소(N₂O) 적용 부분은 타 해외 연구에 비해 온실가스 배출량이 낮게 산정되었다.

사육단계에서 닭에게 투입되는 사료의 양은 현장 데이터와 문헌조사⁸⁹⁾를 통하여 1두당 출하 전까지 약 2.33 kg로 가정하였다(농촌진흥청, 2021).

수입산 닭고기 경우, 국내로 수입할 경우의 수송 거리는 닭고기 가공 후, 수입국 1위인 브라질에서 수입하는 것⁹⁰⁾으로 가정하였다.

수송은 자재 생산지에서 축산 농가까지의 거리와 축산 농가에서 도축장까지의 차량 수송에서 발생하는 온실가스 간접 배출량을 의미한다. 전과정 관점에서 보

86) 농촌진흥청, 2021, 농업기술길잡이 양계

87) IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

88) IPCC. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel On Climate Change

89) 농촌진흥청, 2021, 농업기술길잡이 양계

90) 한국농촌경제연구원, .2023, .FTA 체결국 농축산물 수출입 동향

왔을 때 해당 단계에서의 배출량은 ① 출하되는 상품의 중량 대비 차지하는 비중이 미미할뿐더러, ② 휘발유, 경유 등의 화석연료가 생산단계에서의 사용량으로서 일정 부분 포함되어 있으며, ③ 현장의 동선을 정확하게 파악하는 것이 어려워 산정 과정에서 제외하였다.

유통단계는 닭고기 유통 전문기업 “H社”의 자료를 이용하였다.

6.1.2. 전과정 목록 분석

▶ 데이터 수집 및 계산

본 연구에서는 앞서 설정한 시스템 경계에서의 각 단계의 데이터 수집을 위하여 부록 2에 나타낸 설문서를 이용, 1개 농가에서 사용된 전기, 경유, 휘발유, 등유 등 연료, 사료 등의 양과 사육두수, 생산량을 파악하였다. <표 3.195>는 수집한 자료를 합한 값을 나타낸 것이다. 본 연구에서의 기능단위인 닭고기 1 kg는 닭 30일령 1 두의 중량은 평균 출하체중 1.7 kg인 닭에서 도계 후 얻게 되는 닭고기는 중량을 수율 70.59%를 적용하여 1.2 kg로 산정하였고, 이를 닭고기 1 kg 기준으로 환산하였다. 수율 정보는 도계 및 가공하는 국내 “H”기업의 자료를 이용하여 계산하였다.

<표 3.195> 닭의 사육정보

구 분	단위	값	값 (닭 1두 기준)	값 (닭고기 1 kg 기준)	비고
투입물	전기	kWh	400,000	1.3333	1.1111
	사료	kg	699,000	2.3300	1.9417*
산출물	닭	두	300,000	1.7000	1.4167

* 농촌진흥청, 2021, 농업기술길잡이 양계

▶ 자재 생산단계

자재 생산단계에서는 사료 생산에 대한 자료를 수집하였다. 닭고기 1 kg 기준의 사료 사용량은 <표 3.196>에 나타낸 자료를 이용하였다.

<표 3.196> 닭고기의 자재 생산단계의 정보

구 분	단위	값 (닭고기 1 kg 기준)	
투입물	배합 사료	kg	1.9417

자재 생산과정의 자료는 현장 데이터를 이용하는 것이 가장 바람직하나, 본 연구에서는 현장 데이터 수집이 어려워 <표 3.197>에 나타낸 탄소배출계수를 이용하였다. 배합 사료의 탄소배출계수는 2022년에 한국전과정평가학회 추계 학술대회에서 발표한 ‘닭 부위별 할당계수 산정 및 닭과 육계 사료 배출계수 산정 연구’자료⁹¹⁾를 이용하였다. 이 탄소배출계수는 2015년에서 2019년까지의 사료 단위 중량당 배출계수인 1.19E-01kg CO₂ eq./kg을 활용하였고, 가축용 사료에 대한 온실가스 배출량 산정 시 시스템 경계는 각 사료원의 생산과정, 운송, 최종 가공과정을 포함하였고, 우리나라는 해외에서 사료원을 수입하는 구조이기에 수입 시 해상 운송 부분도 포함되었다(농촌진흥청, 2022).

<표 3.197> 자재 생산단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보			
	단위	탄소배출계수	출처	
투입물	배합 사료 (닭)	kg CO ₂ eq./kg	1.19E+00	농촌진흥청

▶ 사육단계

본 연구에서는 닭 사육 시 사료 사용으로 인한 장내 발효에 따른 CH₄ 배출 정보, 닭 사육 과정에서 분뇨처리 시 CH₄ 및 N₂O 배출, 전기 생산 및 사용으로 인한 자료를 수집하여 산정하였다.

장내 발효 및 분뇨처리에 의한 정보는 <표 3.198>에 나타내었다. 닭 1 두 기준으로 사육 기간이 30일 곱한 후, 365일로 나누면 값은 0.08 head·yr이다.

91) 연성모, 2022, 저탄소 농축산물 인증제 기술요소 등록 및 전과정평가목록 구축

<표 3.198> 닭 사육 시 장내 발효 및 분뇨처리에 따른 정보

닭 중량(두)	사육기간(월)	값(head·year)
1	0.99	0.08

분뇨 처리시설은 가장 많이 사용되는 퇴비화시설로 가정하였으며, 해당 시설에서 소비하는 전기 사용량 정보를 <표 3.199>에 나타내었다.

<표 3.199> 닭 사육 시 에너지 생산 및 사용 정보

구 분	단위	값 (닭고기 1 kg 기준)
전기 생산	kWh	1.1111

사육단계에서 사용하는 탄소배출계수는 <표 3.200>에 나타내었다. 닭 사육 시 사용되는 전기 사용으로 인한 탄소배출계수는 환경부에서 개발한 계수를 이용하였으며, 사육 시 분뇨처리에 의한 CH₄ 배출계수, 분뇨 내 연평균 질소량, 분뇨 퇴비화시설의 N₂O자료는 국가 온실가스 인벤토리 보고서에서 제시⁹²⁾하고 있는 계수를 이용하였다(농촌진흥청, 2016). 단, 사료 사용으로 인한 장내 발효의 CH₄ 배출에 의한 탄소배출계수는 개발되지 않아 온실가스 배출량 산정 시 제외하였다.

<표 3.200> 닭 사육단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보		
	단위	탄소배출계수	개발기관
전기	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상자원부
장내발효의 사용	kg CH ₄ /head/yr	개발되지 않음	-
분뇨처리의 CH ₄	kg CH ₄ /head/yr	0.078	IPCC (선진국) 1996
분뇨내 연평균 질소량	kg N/head/yr	0.6	IPCC (서유럽) 1996
퇴비화시설 N ₂ O	kg N ₂ O-N/kg N	0.002	IPCC 1996

92) 이진모, 2016, 축산부문 CH₄ 및 N₂O 배출량 산정방식 및 산정도구 개발

▶ 도계/가공단계

도계 및 가공단계는 사육한 닭을 도계장에서 도계한 후, 닭고기로 가공하는 단계이다. 도계 및 가공단계에서는 현장 데이터를 이용하였다. 국내에서 가공업체로 생산 비율이 가장 높은 “H”기업의 2022년 연간 자료를 수집하였다. 도계 및 가공정보는 <표 3.201>과 <표 3.202>에, 도계/가공단계에서 사용한 탄소배출계수는 <표 3.203>에 나타내었다. 닭의 중량은 1 두 기준으로 1.7 kg이며, 가공 후 닭고기의 중량은 1.2 kg로 나타났다. 닭 도계 및 가공단계의 자료는 연간 데이터를 수집한 후, 닭고기 1 kg 기준으로 산정하였다.

<표 3.201> 닭 도계단계의 정보

구 분	단 위	값 (연간 기준)	값 (닭고기 1 kg 기준)	비 고
투입물	공업용수	ton	165,787	0.0013
	전기	kWh	45,857,482	0.3484
산출물	닭고기	kg	131,625,194	1.0000
	폐기물	kg	38,713,292	0.2941

<표 3.202> 닭 가공단계의 정보

구 분	단 위	값 (연간 기준)	값 (닭고기 1 kg 기준)	비 고
투입물	공업용수	ton	165,787	0.0077
	전기	kWh	20,667,356	0.9573
산출물	닭고기	kg	21,588,891	1.0000

<표 3.203> 닭 도계/가공단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보		
	단 위	탄소배출계수	출 처
공업용수	kg CO ₂ eq./kg	2.11E-04	환경부
전기	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상자원부
음식물쓰레기 재활용	kg CO ₂ eq./kg	1.12E-02	환경부

▶ 유통단계

“H”기업의 가공 후 각 지역으로 유통되는 닭고기 판매량과 판매 비율을 수집하였다. “H”기업의 공장은 전북 익산에 위치하고 있으며, 권역별로 경기도, 대구, 부산, 전주, 광주로 구분하여 수집하였으며, 환경성적표지인증지침에서 제시하고 있는 권역별 거리를 적용하여 ton·km로 산정하였다. 수송량은 <표 3.204>에 나타내었다. 국내산 닭고기의 <표 3.204>에 나타낸 4,134,445 ton·km로 분석되었으며, 이를 닭고기 유통량 합계인 21,351,414 kg로 나누면 닭고기 1 kg 기준의 수송량은 0.1936 ton·km로 나타났다.

<표 3.204> 유통 정보(“H”기업→각 지역)

지역	유통량 (kg-닭고기)	수송 거리(km)	수송량(ton·km)
경기	13,903,246	212	2,947,488
대구	1,316,922	190	250,215
부산	2,310,011	254	586,743
전주	410,189	30	12,306
광주	3,411,045	99	337,693
합계	21,351,414	-	4,134,445
수송량(닭고기 1 kg 기준)			0.1936

수입산은 수입국 1위인 브라질⁹³⁾에서 생산 후 국내 부산항으로 오는 수송 거리를 고려하였다(한국농촌경제연구원, 2023). 수입산 닭고기 1 kg를 기준으로 국내 부산항까지의 수송거리를 <https://www.searates.com/services/distances-time/> 에서 수집하였다. <표 3.205>에 나타낸 수송량은 20.6379 ton·km로 분석되었다.

<표 3.205> 수송(브라질→부산항) 정보

수입산(미국) 닭고기(kg)	수송 거리(km)	수송량(ton·km)
1	20,637.94	20.6379

93) 한국농촌경제연구원.2023.FTA 체결국 농축산물 수출입 동향

수송 시의 탄소배출계수는 <표 3.206>에 나타난 육로 수송과 외항선(컨테이너선)의 탄소배출계수를 이용하였다.

<표 3.206> 수송단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보		
	단위	탄소배출계수	출처
육로수송	kg CO ₂ eq./ton·km	1.92E-01	환경부
해양수송 (외항선(컨테이너))	kg CO ₂ eq./ton·km	2.11E-03	환경부

▶ 목록 분석 결과 및 탄소배출계수 정보

<표 3.207>은 본 연구에서 산정한 닭고기 1 kg 기준의 각각의 공정별 목록 분석 결과와 수집한 탄소배출계수를 정리하였다.

<표 3.207> 닭고기 1 kg 기준의 공정별 목록 분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보

공정	구 분	단위	값 (닭고기 1 kg 기준)	물질	사용 탄소배출계수 정보			
					단위	탄소배출 계수	출처	
자 재 생 산	투 입 물 질	사료	kg	1.9417	배합 사료 (닭)	kg CO ₂ eq./kg	1.19E+00	농촌진흥청
		전기	kWh	1.1111	전기 생산	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상 자원부
사 육	사 출 물 질	장내 발효	head · year	0.12	장내발효의 사용	kg CH ₄ /head/yr	개발되지 않음	-
		분 뇨 처 리	head · year	0.12	분뇨처리의 CH ₄	kg CH ₄ /head/yr	0.078	IPCC (선진국) 1996
					분뇨내 연평균 질소량	kg N/head/yr	0.6	IPCC (서유럽) 1996
					퇴비화시설 N ₂ O	kg N ₂ O-N/kg N	0.002	IPCC 1996

공정	구분	단위	값 (닭고기 1 kg 기준)	물질	사용 탄소배출계수 정보			
					단위	탄소배출 계수	출처	
도 계	투입 물질	공업용수	ton	0.0013	공업용수 생산	kg CO ₂ eq./kg	2.11E-04	환경부
		전기	kWh	0.3484	전기 생산	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상 자원부
	산출 물질	폐기물	kg	0.2941	음식물 쓰레기 재활용	kg CO ₂ eq./kg	1.12E-02	환경부
가 공	투입 물질	공업용수	ton	0.0077	전기 생산	kg CO ₂ eq./kWh	4.95E-01	산업통상 자원부
		전기	kWh	0.9573	LDPE	kg CO ₂ eq./kg	1.86E+00	산업통상 자원부
유 통		국내 수송 (국내산)	ton· km	0.1936	해양 수송 (외항선 (컨테이너))	kg CO ₂ eq./ton·km	1.92E-01	환경부
		해외 수송	ton· km	20.6379	해양 수송 (외항선 (컨테이너))	kg CO ₂ eq./ton·km	2.11E-03	환경부

6.1.3. 탄소 배출량 산정

수집한 데이터를 이용하여 각각의 단계별 탄소 배출량을 산정하였다.

▶ 자재 생산단계

자재 생산단계에서의 온실가스 배출량은 <표 3.194>에 나타난 식 1을 이용하여 <표 3.207>에 나타난 닭고기 1 kg 기준의 사료 사용량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. <표 3.208>은 사료 생산 시 온실가스 배출량을 나타낸 것으로, 산정 결과는 닭고기 1 kg 기준으로 2.3106 kg CO₂ eq.으로 나타났다.

<표 3.208> 닭 사육 시 자재 생산단계의 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (닭고기 1kg 기준)	탄소배출계수	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./ kg-닭고기)
사료	kg	1.9417	1.19E+00	2.3106

▶ 사육단계

닭 사육단계에서의 온실가스 배출량은 크게 4가지로 구분할 수 있다. 장내 발효에 의한 CH₄ 배출로 인한 온실가스 배출량, 분뇨처리에 의한 CH₄ 및 N₂O 배출로 인한 온실가스 배출량, 에너지 생산 및 사용에 따른 온실가스 배출량으로 구분할 수 있다.

장내 발효에 의한 온실가스 배출량은 탄소배출계수가 없으므로 온실가스 배출량을 산정할 수 없어서 제외하였다.

분뇨처리에 의한 온실가스는 CH₄ 배출과 N₂O 배출로 발생한다.

분뇨처리 시 CH₄ 배출로 인한 온실가스 배출량은 <표 3.207>에 나타난 정보를 이용하여 <표 3.194>에 나타난 식 10을 이용하였으며, 산정 결과는 <표 3.209>에 나타내었다. 온실가스 배출량은 <표 3.209>에 나타난 닭 1 두 기준의 분뇨처리 정보와 분뇨처리 시 CH₄의 배출계수, CH₄의 GWP를 곱한 후, 닭 1두 당 중량 1.7 kg로 나누고 닭고기 1 kg 기준의 닭의 중량인 1.4167 kg을 곱하여 산정하였으며, 산정 결과는 닭고기 1 kg 기준으로 0.1336 kg CO₂ eq.로 나타냈다.

<표 3.209> 닭 사육 시 분뇨 처리에 CH₄에 의한 온실가스 배출량

값 (두·yr)	탄소배출계수 (kg CH ₄ / 두/yr)	GWP	닭 중량 (kg/두)	환산값 (kg-닭/ kg-닭고기)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./ kg-닭고기)
0.12	0.078	25	1.7	1.4167	0.1336

N₂O 배출로 인한 온실가스 배출량은 <표 3.207>에 나타난 정보를 이용하여 <표 3.194>에 나타난 식 11을 이용하였으며, 산정 결과는 <표 3.210>에 나타내었다. 온실가스 배출량은 <표 3.207>에 나타난 닭 1 두 기준의 분뇨처리 정

보와 분뇨처리 시 탄소배출계수, 닭 분뇨 내 연평균 질소량, 분뇨 퇴비화시설 N₂O 발생량, 퇴비화 분뇨처리시설 이용 비율, N₂O/N 비율을 곱한 후, N₂O의 GWP와 닭 1 두 중량 1.7 kg로 나누고 닭고기 1 kg 기준의 양인 1.4167 kg을 곱하여 산정하였으며, 산정 결과는 닭고기 1 kg 기준으로 0.3849 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.210> 분뇨처리에 따른 온실가스 배출량

값 (두/yr)	탄소배출 계수 (kg N/두/yr)	GWP	퇴비화 분뇨처리 시설 이용비율	분뇨처리 시설 아산화질소 배출계수 (kg N ₂ O-N/ kg N)	N ₂ O/N 비율	닭 중량 (kg/ 두)	환산값 (kg-닭/ kg-닭고기)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./ kg-닭고기)
0.12	0.6	298	1	0.02	44/28	1.7	1.4167	0.3849

닭 사육 시 에너지 사용으로 인한 온실가스 배출량은 <표 3.194>에 나타난 식 5를 이용하여 산정한 결과를 <표 3.211>에 나타냈으며, 닭고기 1 kg 기준으로 0.5500 kg CO₂ eq.로 분석되었다.

<표 3.211> 닭 사육 시 에너지 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (닭고기 1kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq. /kWh, L, kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-닭고기)
전기 생산	kWh	1.1111	4.95E-01	0.5500

닭 사육단계의 온실가스 배출량은 <표 3.212>에 정리하였다. 닭 사육단계의 온실가스 배출량은 닭고기 1 kg 기준으로 1.0684 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.212> 닭 사육단계의 온실가스 배출량

장내 발효	분뇨처리	에너지 사용	합계
산정 제외	0.5184	0.5500	1.0684

▶ 도계/가공 단계

도계 및 가공단계의 온실가스 배출량은 도계/가공하면서 사용하는 전력, 용수로 인한 것이다. 도계와 가공단계의 온실가스 배출량은 <표 3.194>에 나타난 정보를 이용하여 산정한 결과를 <표 3.213>와 <표 3.214>에 나타내었다.

도계단계의 온실가스 배출량은 닭고기 1 kg 기준으로 0.1760 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.213> 닭 도계단계의 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (닭고기 1kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./kWh, Nm ³ , kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-닭고기)
공업용수	ton	0.0013	2.11E-04	0.0003
전기	kWh	0.3484	4.95E-01	0.1725
폐기물	kg	0.2941	1.12E-02	0.0032
합계				0.1760

가공단계의 온실가스 배출량은 닭고기 1 kg 기준으로 0.4755 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.214> 닭고기 가공단계의 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (닭고기 1kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./kWh, L, kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-닭고기)
공업용수	ton	0.0077	2.11E-04	0.0016
전기	kWh	0.9573	4.95E-01	0.4739
합계				0.4755

▶ 유통단계

유통단계의 온실가스 배출량은 “H”기업에서 판매하기 위해 각각의 권역별로 판매 비율을 적용하였으며, 환경부의 환경성적표지인증지침의 권역별 수송 거리를 고려하여 산정하였다. <표 3.207>에 나타난 정보와 <표 3.194>에 나타난 식 7을 이용하여 산정하였으며, 산정 결과는 <표 3.215>에 나타내었다. 산정한 결과 닭고기 1 kg 기준으로 0.0372 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.215> 국내산 닭고기의 유통에 의한 온실가스 배출량

수송량(ton·km)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./ton·km)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-닭고기)
0.1936	1.92E-01	0.0372

수입산 닭고기는 해외에서 가공 이후 국내로 수송되는 과정에서 온실가스 배출량이 발생한다. 수송과정에서의 온실가스 배출량은 <표 3.194>에 나타낸 식 7을 이용하여 <표 3.207>에 나타낸 닭고기 1 kg 기준의 수송량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. <표 3.216>에 나타낸 산정 결과는 닭고기 1 kg 기준으로 0.1862 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.216> 수입산(브라질) 닭고기의 수송(브라질→부산항)에 의한 온실가스 배출량

수송량(ton·km)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./ton·km)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-닭고기)
20.6379	9.02E-03	0.1862

▶ 전과정 온실가스 배출량

국내산에 대해 전과정에 걸쳐 산정한 온실가스 배출량은 <표 3.217>에 나타내었다. 닭고기 1 kg 기준으로 국내산은 4.0677 kg CO₂ eq.로 나타났으며, 닭사육을 위한 자재 생산이 56.80%로 가장 높으며, 다음으로 사육단계, 도계/가공단계, 유통단계 순으로 나타났다. 세부적으로 살펴보면, 사육단계는 분뇨처리로 인한 온실가스 배출량이 12.75%로 나타났으며, 에너지 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량이 13.52%를 차지하는 것으로 분석되었다. 다음으로 가공단계는 16.02%로 나타났다. 따라서, 닭고기의 전과정 중에서 온실가스 배출량을 개선할 필요가 있는 분야는 사료 생산 및 가축 사육 분야이다. 한편, 도계 후 국내 유통단계에서는 0.0372 kg CO₂ eq.를 배출하는 것으로 나타났지만, 수입산은 각 나라에서 해상 운송을 통해 수입될 시 평균 0.0583 kg CO₂ eq.를 배출되는 것으로 분석되었다. 이는 국내외 닭고기 생산단계에서 발생하는 온실가스 배출량이 차이가 없는 경우, 시스템 경계를 유통까지 확장 시 운송에서 발생하는 온실

가스 배출량 차이로 수입산의 온실가스 배출량이 더 높게 산정될 것으로 사료된다.

닭고기의 경우 선행연구가 없어 비교 분석은 불가능하나, 농가 설문조사 및 계수 적용 등을 통해 도출된 결과값을 설명하고자 <표 3.218>에 단계별·항목별로 계산 과정을 정리하였다.

<표 3.217> 국내산 닭고기의 전과정 온실가스 배출량

구분	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./ kg-닭고기)	비율(%)		비고		
		국내산	수입산			
자재 생산	사료 생산	2.3106	0.0050	56.80	56.80	-
	장내 발효	-	-	0.00	-	-
사육	분뇨 처리	0.5184	1.0684	12.75	26.27	-
	에너지 생산 및 사용	0.5500	-	13.52	-	-
도계 가공	도계	0.1760	-	4.33	-	-
	가공	0.4755	0.6515	11.69	16.02	-
유통	0.0372	0.0372	-	0.91	-	수입산(평균) 0.0583 kg CO ₂ eq./ kg-닭고기
합계	4.0677	4.0677	100.00	100.00	100.00	-

<표 3.218> 닭고기의 온실가스 배출량 계산과정 (단위 : kg CO₂/닭고기 1 kg)

구분		본 연구	결과값
자재 생산	사료 생산	2.33kg(사용량)*1.19E+00kg CO ₂ eq./kg(배출계수)/1.2kg(도체중)	2.3106
	자재 생산 과정 중 CO₂ 배출량 합계		2.3106
사육	분뇨처리(CH ₄)	0.08(headyear)*7.80E-02kg CH ₄ /head/year(배출계수)*25(GWP) ¹⁾ /1.2kg(도체중)	0.1336
	분뇨처리(N ₂ O)	0.08(headyear)*6.00E-01kg N/두/yr(배출계수)*0.02kg N ₂ O-N/kg N(퇴비화 배출계수)*298(GWP) ¹⁾ *1.5714(N ₂ O/N ₂)/1.2kg(도체중)	0.3849
	에너지 사용(전력)	1.1111kWh(사용량)*4.95E-01kg CO ₂ eq./kWh(배출계수)	0.5500
		사육단계 과정 중 CO₂ 배출량 합계	1.0684
도축	용수 생산	0.0013톤(사용량)*2.11E-04kgCO ₂ /kg(배출계수)	0.0003
	에너지 소비	(전력)0.3484kWh(사용량)*4.95E-01kg CO ₂ eq./kWh(배출계수)	0.1725
	폐기물 처리	0.2941kg(사용량)*1.12E-02kg CO ₂ eq./kg(배출계수)	0.0033
		도축 과정 중 CO₂ 배출량 합계	0.1760
가공	용수	0.0077톤(사용량)*2.11E-04kgCO ₂ /kg(배출계수)	0.0016
	에너지 사용	0.9573kWh(사용량)*4.95E-01kg CO ₂ eq./kWh(배출계수)	0.4739
		가공 과정 중 CO₂ 배출량 합계	0.4755
유통	수송	0.1936ton·km*1.92E-01kgCO ₂ eq./ton·km(배출계수)	0.00372
	유통 과정 중 CO₂ 배출량 합계		0.00372
		닭고기 생산 전과정 CO₂ 배출량 합계	4.0677

1) 2006 IPCC Guidelines CH₄ GWP: 25 kg CO₂ eq./kg, N₂O GWP: 298 kg CO₂ eq./kg

6.2. 해외 닭고기의 탄소발자국

6.2.1. 온실가스 배출량 산정식

<표 3.219>은 각 국가에서 닭고기의 전과정에 걸쳐 온실가스 배출량을 산정하기 위한 식을 나타내었다. 각각의 단계별 온실가스 배출량 산정식은 <표 3.194>에 나타낸 식을 이용하였다. 닭고기의 전과정은 닭을 사육하고 생산하기 위한 자재 생산, 수송, 닭 사육, 사육한 닭을 도계하고 닭고기로 만드는 도계/가공, 닭고기의 유통, 소비를 거쳐 폐기된다. 주로 해외에서 닭고기의 시스템 경계는 닭고기의 전과정 또는 닭을 사육하기 위한 자재 생산, 수송, 사육까지로 하는 등 다양하게 설정하였다. 사료 생산, 수송, 에너지 생산, 물질 생산, 폐기물처리시의 온실가스 배출량은 ISO 14040와 14044의 방법론을 적용하였으며, 장내 발효에 의한 메탄 발생, 분뇨처리에 의한 메탄 및 아산화질소 발생, 에너지 사용에 의한 온실가스 배출량은 IPCC 방법론을 적용하되, 지구온난화지수는 <표 3.73>에 나타낸 IPCC 2006 또는 2021을 적용하였다.

<표 3.219> 닭고기의 온실가스 배출량 산정식

단계	온실가스 배출량 산정식		적용 방법론
자재 생산	사료 생산	(식 1) 사료 생산 시 탄소 배출량 $\sum \text{사료 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg})$	ISO 14040/ 14044
자재 수송	수송	(식 7) 수송 시 탄소 배출량 $\sum \text{운송량} \times \text{운송거리} \times \text{운송 탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./ton}\cdot\text{km})$	ISO 14040/ 14044
	장내 발효	(식 9) 장내 발효 탄소 배출량(CH_4) $\text{CH}_4 \text{ Emissions} = E_T \times \left[\frac{N_T}{10^6} \right] \times \text{GWP}_{\text{CH}_4}$ $E_T = \text{축종별 배출계수, kg CH}_4/\text{두}\cdot\text{년}$ $N_T = \text{T가축 종의 두수}$ $\text{GWP}_{\text{CH}_4} = 25$	IPCC 2006
사육	에너지 생산	(식 4) 연료 생산 시 탄소 배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg, L})$	ISO 14040/ 14044
	에너지 소비	(식 5) 에너지 소비량 탄소 배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수} (\text{kgCO}_2\text{-eq./kg, L}) + \sum \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kWh})$	IPCC 2006
	분뇨 처리	(식 10) 분뇨처리 시 탄소 배출량(CH_4) $\text{CH}_4 \text{ Emissions} = \frac{(E_T \times N_T)}{10^6} \times \text{GWP}_{\text{CH}_4}$ $E_T = \text{축종별 배출계수, kg CH}_4/\text{두}\cdot\text{년}$	IPCC 2006

단계		온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
		$N_T = T \text{가축 종의 두수}$ $GWP_{CH_4} = 25$	
		(식 11) 분뇨처리 시 탄소 배출량(N_2O) $N_2O \text{ Emissions} =$ $(N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)} \times EF_{3(S)} \times \frac{44}{28}) \times GWP_{N_2O}$	
		$N_{(T)}$ = 종의 두수 $Nex_{(T)}$ = T가축 종의 연평균 질소 배출량, kg H/두수/년 $MS_{(T)}$ = T가축 종의 S분뇨관리시스템 비율 $EF_{3(S)}$ = S분뇨시스템의 N_2O-N 배출계수, kg $N_2O-N/kg N$ S : 분뇨시스템 T : 가축 종 $44/28$: N_2O-N 를 N_2O 로 전환 $GWP_{N_2O} = 298$	
수송	수송	(식 2) 이용	ISO 14040/ 14044
	물질 생산	(식 1) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 생산	(식 4) 이용	ISO 14040/ 14044
도계	에너지 사용	(식 5) 이용	IPCC 2006
	폐기물 처리	(식 8) 폐기물 처리 시 탄소 배출량 Σ 폐기물의 양 \times 폐기물 처리 방법별 탄소배출계수(kg CO_2 -eq./kg)	ISO 14040/ 14044
	물 생산	(식 1) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 생산	(식 4) 이용	ISO 14040/ 14044
가공	에너지 사용	(식 5) 이용	IPCC 2006
	폐기물 처리	(식 8) 이용	ISO 14040/ 14044
유통	수송	(식 7) 이용	ISO 14040/ 14044
	에너지 생산	(식 4) 이용	ISO 14040/ 14044
소비	에너지 사용	(식 5) 이용	IPCC 2006
폐기	폐기물 처리	(식 8) 이용	ISO 14040/ 14044

6.2.2. 해외 닭고기의 탄소발자국 비교분석

<표 3.220>는 각각의 국가별 온실가스 배출량을 조사하여 정리하였다. 국가별로 기능단위와 시스템 경계가 조금씩 상이하지만, 적용 방법론은 ISO 14040/14044와 IPCC 방법론을 적용하였다. 지구온난화지수는 IPCC 2006 또는 2021을 이용하고 있다. <표 3.220>는 국가별 기능단위 및 시스템 경계가 상이하여 각 단계별로 국가별 차이를 보이는 이유를 비교 및 분석하였다.

해외 국가별로 기능단위가 다르기에, 국내 온실가스 배출량 산정 시 적용한 기능단위인 닭고기 1 kg를 기준으로 국외 닭(고기)의 온실가스 배출량을 환산하였다. 닭고기 1 kg 기준으로 국가별 온실가스 배출량은 브라질은 3.83 kg CO₂ eq.를 배출하였고⁹⁴⁾, 태국은 5.51 kg CO₂ eq.⁹⁵⁾ 중국은 4.42 kg CO₂ eq.⁹⁶⁾ 프랑스는 3.15 kg CO₂ eq.⁹⁷⁾를 배출하였다. 대부분 닭을 사육하기 위한 사료를 생산하는 단계에서 가장 많은 온실가스를 배출하는 것으로 분석되었고, 예외적으로 브라질은 사육단계에서 가장 많은 온실가스를 배출하는 것으로 나타났다. 이는 사육단계에서 깔짚을 사용하는데 깔짚 분뇨에서 배출되는 N₂O의 영향으로 높게 산정된 것으로 나타났다⁹⁸⁾. 그리고 도계/가공 단계에서는 닭고기 1 kg 생산 시 발생하는 온실가스 배출량에서 상대적으로 작은 비중을 차지하고 있다고 분석되었다. 한편, 브라질과 프랑스를 비교했을 때, 브라질은 출하 전 닭의 무게가 2.841 kg로 사료 섭취량이 5.346 kg인 반면에 프랑스는 출하 전 닭의 무게가 1.92 kg로 사료 섭취량이 3.5904 kg이다⁹⁹⁾. 이는 브라질에서 닭을 사육하는 과정에서 닭이 섭취하는 사료량이 상대적으로 많아 온실가스 배출량이 높게 산정된 것으로 사료 된다.

94) Nilsa Duarte da Silva Lima. 2019. Environmental impact of Brazilian broiler production process: Evaluation using life cycle assessment

95) Warit Jawjit. 2020. Life Cycle Greenhouse Gases Emissions of Processed Frozen Chicken

96) Ying Wei. 2023. Greenhouse gas emissions of meat products in China: A provincial-level quantification

97) Vamilson Prudêncio da Silva. 2014. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach

98) Nilsa Duarte da Silva Lima. 2019. Environmental impact of Brazilian broiler production process: Evaluation using life cycle assessment

99) Vamilson Prudêncio da Silva. 2014. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach

<표 3.220> 닭고기의 해외 탄소 발자국 비교 분석

품 목	국가	기능 단위	시스템 경계	탄소발자국 (kg CO ₂ eq./LW)	탄소발자국 (kg CO ₂ eq./chicken)	출처	지원 부처	적용 방법론
	브라질	1 kg of live weight	자재 생산-수송→ 사육(분뇨처리, 에너지)	2.7	3.38	Nilsa Duarte da Silva Lima (2019)	-	IPCC, 2006
	태국	1 kg of frozen processing chicken meat	자재 생산→ 사육→도계→ 가공	3.89	5.51	Warit Jawjit(2020)	Department of Food Technology, Institute of Agricultural Technology	ISO 14040
닭고기	중국	1 kg carcass weight	자재 생산→ 사육(장내 발효, 분뇨처리, 에너지) →도계→가공	3.12	4.42	Ying Wei(2023)	the Beijing Philosophy and Social Science Planning Program (No. 20GLC033)	IPCC 2021
	프랑스	1 kg of live weight	자재 생산→수송 및 보관→ 사육(장내 발효, 분뇨 처리)→도계	2.22	3.15	Vamilson Prud êncio da Silva (2013)	French National Research Agency (ANR)	IPCC, 2006 ISO 14040/14044

* 국내 "H" 기업의 현장데이터에서 수율 (70.59%) 적용

(a) 브라질 <표 3.221> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 사료 생산을 위한 전기, 디젤, 물사용의 환경영향 포함 - 옥수수, 대두박, 통기름, 탄산 수소 나트륨, 프리믹스 비타민, DL-메타오닌, 염화나트륨, 효소 등 사용 	Ecoinvent	ISO 14040/14044
자재 수송	수송	<ul style="list-style-type: none"> - 사료 배급 및 하루 된 병아리 관련 운송 포함 - 운송에 사용되는 단위는 1 km 당 1 ton (tkm) - 포함되지 않은 운송은 사료 생산을 위한 곡물 운송과 근로자 운송 	Ecoinvent	ISO 14040/14044
	장내 발효	시스템 경계 제외	-	-
사육	분뇨 처리	<ul style="list-style-type: none"> - N₂O와 CH₄의 직간접적 배출이 발생하며, N₂O 배출은 질산암모늄의 질산화 과정을 통해 발생 - 먼저 배설물을 추정하고, 보다 구체적으로 연구 현장에서 수집된 데이터를 사용하여 배설물에서 배설된 휘발성 고형물(VS) 질량과 질소(N)를 추정 	-	IPCC 2006
	에너지 생산 및 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 물 소비량, 공급량, 에너지, 연료 및 생성된 고형 폐기물에 대한 값을 기록 - 농장용 전기, 디젤, 휘발유, 물 포함 	Ecoinvent	ISO 14040/14044 IPCC 2006
수송	수송	시스템 경계 제외		
	물 생산	시스템 경계 제외		
도계	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
	물 생산	시스템 경계 제외		
가공	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
유통	운송	시스템 경계 제외		
소비	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

(b) 태국

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 사료 공장 연구 동물 사료 공장은 대두박, 펠릿 감자, 옥수수의 3가지 주요 원료를 사용 - 연령과 목적에 따라 필요한 닭 사료의 공식까지 대부분의 원료는 국산이지만 일부 보충제는 해외에서 수입 	태국 온실가스 관리 가구(TGO)	ISO 14040/14044
자재 수송	수송	사료 수송 시스템 경계에 포함	현장 데이터	ISO 14040/14044
	장내 발효	시스템 경계 제외		
	분뇨 처리	시스템 경계 제외		
사육	에너지 생산 및 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 병아리 농장, 부화장 농장, 육계 농장에서 에너지 사용 - 닭을 키울 때 조명과 보온을 위해 휘발유와 전기 사용 	태국 온실가스 관리 가구(TGO)	ISO 14040/14044 SO 14040/14044
수송	수송	시스템 경계 제외		
	물 생산	시스템 경계 제외		
도계	에너지 생산 및 사용	- 닭 도계장은 닭을 받는 것부터 시작하여 도계하고, 깃털을 뽑고, 내장을 제거 후 깨끗이 씻어 신선한 닭고기를 얻음.	태국 온실가스 관리 가구(TGO)	ISO 14040/14044 SO 14040/14044
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
	물 생산	시스템 경계 제외		
가공	에너지 생산 및 사용	<ul style="list-style-type: none"> - 환경 관리 연구 보고서에서 온실가스 배출, 자원 및 에너지 사용량 확인 - 냉동 닭고기 가공업 관련 산업폐기물 배출은 설문 조사 및 1차 자료 수집 - 기본 데이터 수집은 조 공정 방문을 통해 진행 - 냉동육계종합가공업체 담당자와의 설문 및 인터뷰를 통해 자료 수집 	태국 온실가스 관리 가구(TGO)	ISO 14040/14044 SO 14040/14044
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
유통	수송	시스템 경계 제외		
소비	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

(c) 중국

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	- 축산에 사용되는 농축사료는 주로 옥수수, 대두박, 밀기울로 구성되어 있으며 각 사료성분별 온실가스 배출량은 사료성분과 온실가스 배출계수를 기준으로 산정	NDRC, 2019	ISO 14040/14044
자재 수송	수송	시스템 경계 제외		
	장내 발효	- 가축 장내 발효의 온실가스 배출량을 산정 시 지방 온실가스 인벤토리 가이드라인(NDRC, 2011)에서 제공하는 배출계수 및 정량화 방법을 채택	NDRC, 2011	IPCC 2021
사육	분뇨 처리	- 분뇨 관리 배출은 주로 가축분뇨의 축적 및 저장 중에 배출되는 CH ₄ 및 N ₂ O를 의미	현장 데이터	ISO 14040/14044
	에너지 생산	- 에너지 생산에 의해 생성된 배출(공급망 배출) 및 에너지 연소 중에 생성된 배출(공정 배출)포함	NDRC, 2019	ISO 14040/14044
	에너지 사용	- 중국의 석탄 및 디젤의 내재된 GHG 계수는 CLCD에서 얻었고, 중국의 7개 그리드에서 전기 공급의 2018년 크래들-투-와이어 GHG 효율 참조	CLCD	IPCC 2021
수송	수송	시스템 경계 제외		
	물 생산	시스템 경계 제외		
도제	에너지 생산	- 닭고기의 도제 및 가공은 중국의 데이터 부족으로 인해 Poore and Nemecek(2018) 이 계산한 온실가스 배출 계수를 본 연구에 사용	-	ISO 14040/14044
	에너지 사용	- 중국의 석탄 및 디젤의 내재된 GHG 계수는 CLCD에서 얻었고, 중국의 7개 그리드에서 전기 공급의 2018년 크래들-투-와이어 GHG 효율 참조	CLCD	IPCC 2021
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
	물 생산	시스템 경계 제외		
가공	에너지 생산	- 닭고기의 도제 및 가공은 중국의 데이터 부족으로 인해 Poore and Nemecek(2018) 이 계산한 온실가스 배출 계수를 본 연구에 사용	-	ISO 14040/14044
	에너지 사용	- 중국의 석탄 및 디젤의 내재된 GHG 계수는 CLCD에서 얻었고, 중국의 7개 그리드에서 전기 공급의 2018년 크래들-투-와이어 GHG 효율 참조	CLCD	IPCC 2021
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
유통	수송	시스템 경계 제외		
소비	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

(d) 프랑스

단계	고려 사항	LCI DB	적용 방법론	
자재 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 대두는 브라질에서 수입되어 작물 생산 단계에서 배출 - 프랑스 작물(옥수수, 밀, 유채)의 경우 질산염 침출은 작물 생산을 위해 국가 평균 시나리오를 사용 - 인 배출은 프랑스 작물(Fr-ST 및 Fr-LR 시스템 모두)의 경우 서유럽의 완만한 경사면에 유효한 평균값(0.24 t/ha/yr)을 사용 - N₂O 배출은 IPCC 2006에 따라 휘발, 침출 및 관리된 토양으로의 N 입력 유출과 관련된 간접 N₂O 배출 추정 	Maïsadour	ISO 14040/14044	
자재 수송	<ul style="list-style-type: none"> - 투입물에 대한 운송 포함 	현장 데이터 (INRA UMR SAS)	ISO 14040/14044	
	장내 발효	시스템 경계 제외		
사육	<ul style="list-style-type: none"> - 닭장 의 깔짚 분뇨 배출, 저장 중 깔짚 분뇨의 배출 및 닭장 외부 깔짚 분뇨의 배출 포함 	현장 데이터 (Gac et al., 2007)	IPCC 2007	
	에너지 생산	시스템 경계 제외		
	에너지 사용	시스템 경계 제외		
수송	<ul style="list-style-type: none"> - 도계장까지 거리는 95 km로 가정 	현장 데이터 (INRA UMR SAS)	ISO 14040/14044	
	물 생산	시스템 경계 제외		
	에너지 생산	시스템 경계 제외		
도계	<ul style="list-style-type: none"> - 도계과정에서 발생하는 전기 사용량과 천연가스 사용량 포함 - 하나의 도계장 데이터 수집(도축 시스템 간 차이가 적다고 가정) 	현장 데이터 (INRA UMR SAS)	ISO 14040/14044	
	폐기물 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 포장재는 플라스틱(폴리에틸렌), 종이, 판지로 구분 - 닭을 플라스틱 랩과 개별 라벨로 덮은 개별 트레이에 포장 후 2차 포장은 골판지 상자로 구성 - 주요 배출원은 부유 물질, 유기 물질 및 처리용 하수로 구분 	현장 데이터 (INRA UMR SAS)	ISO 14040/14044

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
	물 생산	시스템 경계 제외		
가공	에너지 생산	시스템 경계 제외		
	에너지 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
유통	수송	시스템 경계 제외		
소비	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

6.3. 국내의 닭고기의 탄소발자국 비교

<표 3.224>은 1 kg 기준 국내의 닭고기의 탄소발자국 산정 결과를 나타낸 것이다. 비교 대상 국가들의 기능단위는 국내와의 비교를 위하여 생체중 1 kg에서 닭고기 1 kg으로 환산하였다.

상호 공통 단계를 추려내어 비교 분석을 수행한 결과, 국내의 경우, 자재 생산 단계에서의 온실가스 배출량은 2.31 kg CO₂ eq.로 브라질(1.07 kg CO₂ eq.)의 215.9%, 태국(2.75 kg CO₂ eq.)의 84.0%, 중국(3.05 kg CO₂ eq.)의 75.7%, 프랑스(2.29 kg CO₂ eq.)의 100.9% 수준으로 나타났다. 사육단계에서의 온실가스 배출량은 1.07 kg CO₂ eq.로 브라질(2.77 kg CO₂ eq.)의 38.6%, 태국(1.43 kg CO₂ eq.)의 74.8%, 중국(0.97 kg CO₂ eq.)의 110.3%, 프랑스(0.80 kg CO₂ eq.)의 133.8% 수준으로 나타났다. 또한, 도계/가공 단계에서의 국내 온실가스 배출량은 0.65 kg CO₂ eq.로 태국(1.32 kg CO₂ eq.)의 49.2%, 중국(0.40 kg CO₂ eq.)의 162.5%, 프랑스(0.07 kg CO₂ eq.)의 928.6% 수준으로 나타났다.

종합적으로, 국내산 쇠고기의 전과정 온실가스 배출량은 4.07 kg CO₂ eq.로 산정되었으며, 이는, 브라질(4.03 kg CO₂ eq.)의 101.0%, 태국(5.54 kg CO₂ eq.)의 73.5%, 중국(4.44 kg CO₂ eq.)의 91.7%, 프랑스(3.35 kg CO₂ eq.)의 121.5% 수준으로 나타났다¹⁰⁰⁾. 또한, 각 국가별 닭고기의 전과정 온실가스 배출량 결과에 국내까지의 수송 배출량을 고려할 경우, 국내산 닭고기의 온실가스 배출량은 해외에서 생산된 닭고기 대비 브라질(4.13 kg CO₂ eq.)의 98.5%, 태국(5.56 kg CO₂ eq.)의 73.2%, 중국(4.45 kg CO₂ eq.)의 91.4%, 프랑스(3.35 kg CO₂ eq.)의 118.1% 수준으로 나타났다. 각 국가별 항구로부터 부산항까지의 거리는 브라질(앙그라 도스 레이스) 11,272.12 km, 태국(방콕) 2,535.76 km, 중국(란저우) 1,325.60 km, 프랑스(부르부) 10,712.66 km이며, 선적 거리를 바탕으로 산정한 온실가스 배출량은 각각 브라질 0.1017 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg, 태국 0.0229 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg, 중국 0.0120 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg, 프랑스 0.0966 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg이다.

이와 같은 국내의 닭고기의 탄소발자국 비교 분석 결과는 사료 원료의 원산지 및 급여량의 특성에서 기인하는 차이가 매우 큰 것으로 볼 수 있다. 국내산은

100) 수입산 닭고기의 경우 국내로의 수송 단계까지 적용

1.7 kg 닭을 사육하기 위해 약 2.33 kg의 사료를 급여하지만¹⁰¹⁾, 브라질산은 2.841 kg 닭을 사육하기 위해 5.346 kg의 사료를 급여한다¹⁰²⁾. 이는 사육 단계에서 닭의 크기를 증가시키는데 더 많은 사료를 사용하면서 온실가스 배출량이 높게 산정된 것으로 해석할 수 있다. 자재 생산단계에서 국내산의 온실가스 배출량이 더 높게 산정된 것은 사료 급여에 따른 배출계수의 차이가 가장 큰 요인으로 분석되었다. 태국산은 국내산보다 온실가스 배출량이 더 높게 산정되었는데, 도계 전 닭의 크기와 섭취하는 사료량이 유사하여 자재 생산단계와 사육단계에서는 온실가스 배출량 값의 차이가 크지 않았다. 하지만 도계 및 가공단계에서 태국산은 전기를 비롯한 에너지 사용량이 많아 국내산보다 온실가스 배출량이 높게 산정되었다. 또한, 중국산과 국내산의 비교에서는, 국내산의 경우 1.7 kg 닭을 사육하기 위해 약 2.33 kg의 사료를 급여하지만¹⁰³⁾, 중국산은 2.058 kg 닭을 사육하기 위해 약 3.9 kg의 사료를 급여하는 것으로 나타났다¹⁰⁴⁾. 중국산은 더 큰 닭을 출하하기 위하여 사료의 급여량이 상대적으로 많고 이에 따라서 국내산보다 온실가스 배출량이 더 높게 산정되었다. 그 외 사육단계와 도계 및 가공단계에서는 큰 차이가 없었다. 마지막으로, 프랑스산의 경우 닭고기 1 kg 기준 온실가스 배출량이 가장 낮았다. 프랑스산의 경우 1.92 kg 닭을 사육하기 위해 약 3.59 kg의 사료를 급여¹⁰⁵⁾, 국내산 대비 1.5배 이상의 사료를 급여함에도 자재 생산단계에서 온실가스 배출량에 차이가 없었다. 이는 프랑스산의 경우 대부분의 사료를 자국 내에서 생산된 원료를 이용하여 사료 급여에 따른 배출계수가 국내산보다 낮으며, 수입 시 수송에 의한 환경영향이 제외되었기 때문으로 사료된다¹⁰⁶⁾.

종합적으로, 본 연구와 해외 문헌에서의 닭고기 생산에 따른 온실가스 배출량 비교가 시사하는 점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 닭고기 생산 과정에서는 국내·외 전반에 걸쳐 닭의 먹이인 사료를 생산

101) 농촌진흥청, 2021, 농업기술길잡이 양계

102) Nilsa Duarte da Silva Lima, 2019, Environmental impact of Brazilian broiler production process: Evaluation using life cycle assessment

103) 농촌진흥청, 2021, 농업기술길잡이 양계

104) Ying Wei, 2023, Greenhouse gas emissions of meat products in China: A provincial-level quantification

105) Vamilson Prudêncio da Silva. 2014. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach

106) Vamilson Prudêncio da Silva. 2014. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach

하는 단계에서 차지하는 온실가스 배출량 비중이 가장 크다. 본 연구에서의 사료 생산 시 발생하는 온실가스 배출량은 2.3106 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg로 전체 배출량인 4.0677 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg의 56.8%를 차지하였다. 태국은 유사하게 전체 배출량 5.54 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg에서 사료 생산에서 발생하는 배출량은 2.75 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg로 49.6%를 차지하였다. 중국은 전체 배출량 4.44 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg에서 사료 생산에서 발생하는 배출량은 3.05 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg로 68.7%를 차지하였다. 프랑스는 전체 배출량 3.35 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg에서 사료 생산에서 발생하는 배출량은 2.29 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg로 68.4%를 차지하였다. 브라질은 사육단계에서 가장 많은 온실가스를 배출하는 것으로 나타났으며, 이는 사육단계에서 깔짚을 사용하는데 깔짚 분뇨에서 배출되는 N₂O의 영향으로 높게 산정된 것으로 나타났다.

둘째, 해외에서의 운송을 고려하더라도 단위 중량 당 수송 과정에서의 온실가스 배출량은 전체 배출량에서 차지하는 비중이 미미하였다. 가장 비중이 큰 프랑스의 경우 수송에서의 온실가스 배출량(0.0966 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg)이 전체 배출량(3.4466 kg CO₂ eq./닭고기-1 kg)의 2.88%를 차지하였으나, 브라질은 2.52%, 태국은 0.41%, 중국은 0.27%로 나타났다. 수송 단계에서의 온실가스 배출량은 거리에 비례하여 증가하나, 전체 배출량에서 차지하는 비중은 적어 온실가스 배출 측면에 있어 주요 단계로 보기에 어려움의 의미를 의미한다. 그리고 이는 돼지고기와 마찬가지로 사료 급여 자체에서 발생하는 온실가스 배출량이 사료를 축산 농가까지 수송해 오는 과정에서 발생하는 온실가스 배출량 보다 훨씬 클 것임을 유추해볼 수 있으며, 본 연구에서 적용한 닭의 사료 사용 배출 계수 또한 수입산 사료 이용을 전제하므로, 수입산 사료 이용에 따른 온실가스 배출량은 보다 면밀하게 해당 지점에 초점을 맞춘 분석이 필요할 것으로 사료된다.

<표 3.222> 해외 닭고기 사육단계 정보

구분	사육정보				
	국내산	브라질	태국	중국	프랑스
도계 체중(kg)	1.70	2.841	2.00(추정)	2.058	1.92
사료 섭취량(kg)	2.33	5.346	2.11	3.9	3.5904

<표 3.223> 국내외 닭고기의 전과정 온실가스 배출량(kg CO₂ eq./chicken)

구분		온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq.) ⁴⁾				
		국내산	브라질	태국	중국	프랑스
		닭고기 1 kg 기준	닭고기 ³⁾ 1 kg 기준	닭고기 ³⁾ 1 kg 기준	닭고기 ³⁾ 1 kg 기준	닭고기 ³⁾ 1 kg 기준
자재 생산	1두	2.7743	2.1308	3.8868	4.4308	3.0912
	닭고기 1 kg	1.9593	1.5049	2.7451	3.1293	2.1832
사육	1두	1.2828	5.5400	2.0191	1.4091	1.0752
	닭고기 1 kg	0.9060	3.9126	1.4260	0.9952	0.7594
도계/가공	1두	0.7822	-	1.8677	0.5811	0.0960
	닭고기 1 kg	0.5524	-	1.3191	0.4104	0.0678
유통 ¹⁾	1두	0.0447	0.3693	0.0600	0.0206	0.2496
	닭고기 1 kg	0.0316	0.2608	0.0424	0.0145	0.1763
수송(해외→ 부산항)	1두	-	(0.2040) ²⁾	(0.0322) ²⁾	(0.0173) ²⁾	(0.1309) ²⁾
	닭고기 1 kg	-	(0.1441) ²⁾	(0.0227) ²⁾	(0.0122) ²⁾	(0.0924) ²⁾
합계	1두	4.8840	8.0401 (8.2440)	7.8336 (7.8658)	6.4416 (6.4589)	4.5120 (4.6429)
	닭고기 1 kg	3.4493	5.6783 (5.8224)	5.5325 (5.5552)	4.5494 (4.5616)	3.1866 (3.2790)

- 1) 유통은 브라질 기준 프랑스는 같은 값, 태국 1/5, 중국 1/10을 적용
- 2) 해외 항구에서 부산항까지의 거리에 대한 온실가스 배출량 산정(브라질(앙그라 도스 레이스) 11,272.12 km, 태국(방콕) 2,535.76 km, 중국(란저우) 1,325.60 km, 프랑스(부르부) 10,712.66 km)
- 3) 각 연구별 생체중에 본 연구에서의 수율(83.29%) 적용

<표 3.224> 국내외 닭고기의 전과정 온실가스 배출량(kg CO₂ eq./LW)

구분	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq.)					
	국내산	브라질	태국	중국	프랑스	
	생체중 1 kg 기준 ³⁾	생체중 1 kg 기준 ⁴⁾	생체중 1 kg 기준 ⁵⁾	생체중 1 kg 기준 ⁶⁾	생체중 1 kg 기준 ⁷⁾	
자재 생산	1두	2.7743	2.1308	3.8868	4.4308	3.0912
	생체중 1 kg	1.6319	0.7500	1.9434	2.1530	1.6100
사육	1두	1.2828	5.540	2.0191	1.4091	1.0752
	생체중 1 kg	0.7546	1.9500	1.0096	0.6847	0.5600
도계/가공	1두	0.7822	-	1.8677	0.5811	0.0960
	생체중 1 kg	0.4601	-	0.9339	0.2824	0.0500
유통 ¹⁾	1두	0.0447	0.3693	0.0600	0.0206	0.2496
	생체중 1 kg	0.0263	0.1300	0.0300	0.0100	0.1300
수송(해외 → 부산항)	1두	-	(0.2040) ²⁾	(0.0322) ²⁾	(0.0173) ²⁾	(0.1309) ²⁾
	생체중 1 kg	-	(0.0718) ²⁾	(0.0161) ²⁾	(0.0084) ²⁾	(0.0682) ²⁾
합계	1두	4.8840	8.0401 (8.2440)	7.8336 (7.8658)	6.4416 (6.4589)	4.5120 (4.6429)
	생체중 1 kg	2.8729	2.8300 (2.9018)	3.9168 (3.9329)	3.1300 (3.1384)	2.3500 (2.4182)

- 1) 유통은 브라질 기준 프랑스는 같은 값, 태국 1/5, 중국 1/10을 적용
- 2) 해외 항구에서 부산항까지의 거리에 대한 온실가스 배출량 산정(브라질(앙그라 도스 레이스) 11,272.12 km, 태국(방콕) 2,535.76 km, 중국(란저우) 1,325.60 km, 프랑스(부르부) 10,712.66 km)
- 3) 국내산 닭의 평균 출하체중은 1.7 kg
- 4) 브라질 닭의 평균 출하체중은 2.841 kg
- 5) 태국 닭의 평균 출하체중은 2.00 kg
- 6) 중국 닭의 평균 출하체중은 2.058 kg
- 7) 프랑스 닭의 평균 출하체중은 1.92 kg

본 연구에서 설정한 시스템 경계와 해외 문헌 자료의 산정 방식은 연구 목적 차이에 따른 시스템 경계의 상이함으로 인하여 비교분석에 있어 일정 부분 한계를 지닌다. 그러나, 기능단위의 환산(생체중 1 kg → 닭고기 1 kg) 등 별도의 통계적 처리 통해 본 연구에서 설정한 시스템 경계 내에서는 단순 비교가 가능한 수준으로 결과 분석을 수행하였으며, 국내외 닭고기 전과정에서 발생하는 온실가스 배출량의 정량화·가시화가 이루어졌다.

7. 우유의 탄소발자국 산정

7.1. 국내 우유의 탄소발자국

7.1.1. 목적 및 범위 정의

■ 목적 정의

전과정평가 수행 목적은 “국내의 우유의 탄소발자국을 비교”하기 위함이다.

■ 범위 정의

▶ 기능단위

우유는 젖소에서 원유를 착유 후 가공한 식품이다. <표 3.225>는 본 연구에서 우유의 탄소발자국을 산정하기 위한 기능, 기능단위, 기준 흐름을 정의하였다. 기능은 젖소에서 착유한 원유를 가공하여 생산한 우유로 설정하였다. 기능단위는 우유의 단위중량인 “우유 1 kg”으로 설정하였다. 기준흐름도 동일하게 “우유 1 kg”으로 설정하였다.

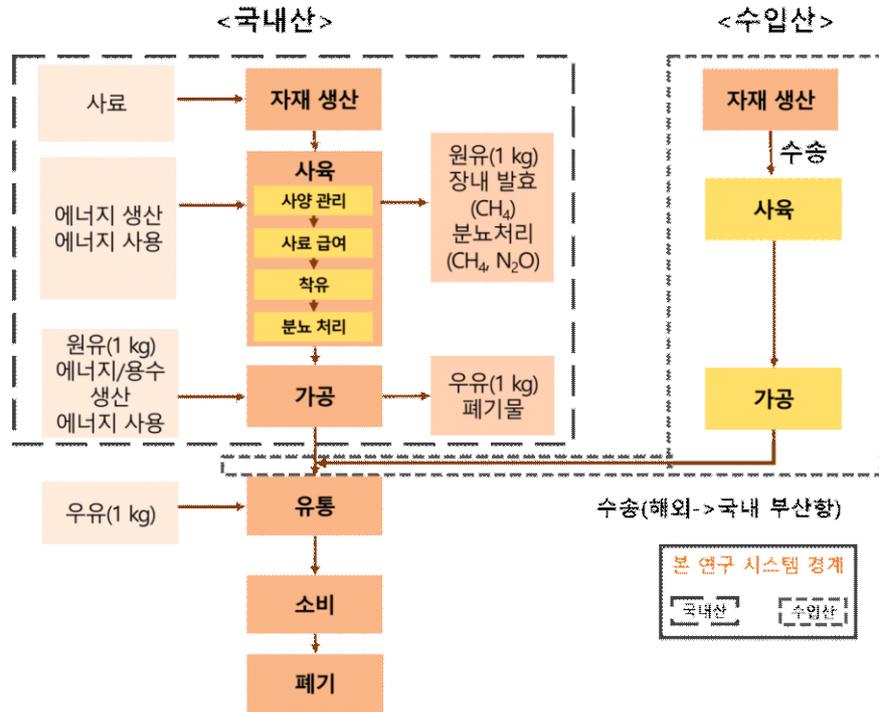
<표 3.225> 우유 단계별 적용 방법론 및 산정식

구분	내 용
기능	• 젖소에서 착유한 원유를 가공하여 생산한 우유
기능단위	• 우유 1 kg
기준흐름	• 우유 1 kg

▶ 시스템경계

우유의 전과정은 [그림 3.69]에 나타낸 자재 생산단계, 사육단계, 생산단계, 유통단계, 소비단계, 폐기단계로 구성되며, 단계별 수송으로 구성된다. 본 연구에서 국내산 우유의 시스템 경계는 자재 생산, 젖소 사육, 우유 생산단계까지로 한정하였으며, 수송은 자재 생산에서 사육단계, 사육단계에서 생산단계, 생산단계에서 유통단계까지의 경로가 다양하여 제외하였다. 수입산의 시스템 경계는 해외에서 자재 생산, 젖소 사육, 우유 생산 후 국내 항구로 수송되는 과정까지 포함하였다. 수송은 자재 생산단계에서 사육단계, 사육단계에서 생산단계를 제외하

였다. 우유 생산량이 가장 높은 “S” 기업의 자료를 이용하여 1.7 kg/두이며, 우유는 1.2 kg/두로 나타났다. 이를 우유 1 kg로 환산하였다.



[그림 3.69] 우유의 시스템 경계

<표 3.226>는 본 연구에서 시스템 경계로 선정한 공정별 개요를 나타내었다.

<표 3.226> 우유의 공정별 상세 설명

공정	공정 설명	
사료 생산	• 젖소를 사육하기 위해 사용되는 사료를 생산하는 과정	
사육	사육 관리	• 젖소 종별로 특징을 파악하여 건강 관리 및 사료 관리를 하는 과정
	사료 급여	• 젖소 성장을 위해 사료 종류, 급여 수준 및 급여 방법 등을 고려하여 젖소에게 사료를 주는 과정
	착유	• 젖소에서 원유를 짜는 과정
	분뇨 처리	• 젖소의 분뇨가 자원화시설에서 퇴비 원료로 사용되는 과정
생산	생산	• 원유에서 세균 등을 제거한 후 우유로 생산하는 과정
수송	해외 수송	• 수입산 우유를 국내 항구로 수송하는 과정

▶ 데이터 범주

<표 3.227>, <표 3.228>은 본 연구에서의 데이터 범주를 나타낸 것이다. 데이터 범주는 원료, 보조물질, 에너지, 제품, 대기 배출물로 구분하였다. 사육 공정의 데이터는 수집하기 어려워, 농촌진흥청의 “저탄소 농축산물 인증제 참여를 위한 반추가축 축산물 LCI DB 기반 구축¹⁰⁷⁾” 연구에서 수행한 원유 1 kg 기준의 온실가스 배출량 자료를 이용하였다. 우유 생산의 데이터는 수집하기 어려워, 환경정보공개시스템¹⁰⁸⁾에 등록된 국내에서 우유 생산량이 가장 높은 S사의 A공장의 2020년 원유 사용량, 온실가스 배출량, 용수 사용량, 수질오염물질 배출량 자료를 이용하였다.

<표 3.227> 젖소의 사육 공정 데이터 범주

공정		세부 데이터	
사육	투입물	원료	젖소
		보조물질	사료
	산출물	에너지	전력, 경유, 휘발유, 등유
		제품	원유
		대기배출물	CH ₄ , N ₂ O

<표 3.228> 우유 생산 공정의 데이터 범주

공정		세부 데이터	
우유 생산	투입물	원료	원유
		에너지	전력, 용수 등
	산출물	제품	우유
		폐기물	폐수

- 1) 우유 생산 자료를 “저탄소 농축산물 인증제 참여를 위한 반추가축 축산물 LCI DB 기반 구축” 연구의 온실가스 배출량 이용
- 2) 환경정보공개시스템에 등록된 S사의 A공장 2020년 원유 사용량, 온실가스 배출량, 용수 사용량, 수질오염물질 배출량 이용

▶ 데이터 품질요건

<표 3.229>은 본 연구에서의 데이터 품질요건을 나타낸 것이다. 데이터는 현장데이터와 문헌 데이터로 구분한다. 데이터는 현장데이터를 수집하여 이용하는

107) 농촌진흥청. 2020. 저탄소 농축산물 인증제 참여를 위한 반추가축 축산물 LCI DB 기반 구축

108) 한국환경산업기술원 환경정보공개시스템

것을 원칙으로 하나, 현장 데이터를 수집하기 어려운 경우에는 관련 문헌 데이터를 수집하였다. 문헌 데이터를 국가 또는 해외 LCI 데이터베이스로 연결되어 대상의 상위 및 하위 흐름에 대한 환경부하를 모두 고려하였다. 여기에서의 상위 흐름은 자재, 에너지 생산 등에 대한 흐름이며, 하위 흐름은 폐기물 등의 처리에 대한 흐름을 의미한다.

<표 3.229> 우유의 데이터 품질요건

구 분	상/하위 흐름	생산/도계단계
시간적 범위	10년 이내 데이터	2020년
지역적 범위	해당 지역 데이터	현장 및 문헌 데이터
기술적 범위	-	젖소 사육 및 우유 생산하기 위한 최신 기술

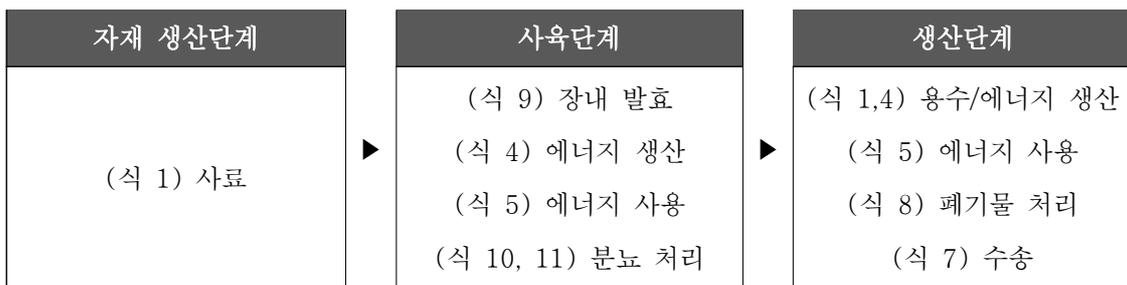
▶ 할당

할당은 다양한 축산물을 동시에 생산할 시 투입물과 배출물을 배분하기 위해 수행된다. 본 연구에서는 사육단계에서는 해당 연구에서 수행한 젖소의 사육과 원유 생산에 관해 해당 연구에서 적용한 할당이 수행된 온실가스 배출량을 이용하였으며, 우유 생산단계에서는 원유를 이용하여 우유만을 생산하고 있으므로 할당을 적용하지 않았다.

▶ 적용 방법론

본 연구에서는 <표 3.230>에 단계별로 나타낸 ISO 14044의 방법론과 국가 인벤토리 보고서에서 적용한 IPCC 방법론을 적용하였다.

<표 3.230> 우유의 단계별 적용 방법론 및 산정식



단계	온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
자재 생산	(식 1) 사료 생산 시 탄소배출량 $\Sigma \text{사료 사용량} \times \text{탄소배출계수}(\text{kg CO}_2\text{-eq./kg})$	ISO 14040/ 14044
장내 발효	(식 9) 장내 발효 탄소배출량(CH ₄) $CH_4 \text{ Emissions} = E_T \times \left[\frac{N_T}{10^6} \right] \times GWP_{CH_4}$ E _T =축종별 배출계수, kg CH ₄ /두·년 N _T =T가축 종의 두수 GWP _{CH₄} =25	IPCC 1996 (산식) IPCC 2006 (GWP)
에너지 생산	(식 4) 에너지 생산 시 탄소배출량 $\Sigma \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수}(\text{kg CO}_2\text{-eq./kg, L})$	ISO 14040/ 14044
에너지 사용	(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량 $\Sigma \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수}(\text{kgCO}_2\text{-eq./kg, L}) + \Sigma \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수}(\text{kg CO}_2\text{-eq./kWh})$	IPCC 1996 (산식) IPCC 2006 (GWP)
사육	(식 10) 분뇨처리 시 탄소배출량(CH ₄) $CH_4 \text{ Emissions} = \frac{(E_T \times N_T)}{10^6} \times GWP_{CH_4}$ E _T =축종별 배출계수, kg CH ₄ /두·년 N _T =T가축 종의 두수 GWP _{CH₄} =25	
분뇨 처리	(식 11) 분뇨처리 시 탄소배출량(N ₂ O) $N_2O \text{ Emissions} = (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)} \times EF_{3(S)} \times \frac{44}{28}) \times GWP_{N_2O}$ N _(T) =종의 두수 Nex _(T) =T가축 종의 연평균 질소 배출량, kg H/두수/년 MS _(T) =T가축 종의 S분뇨관리시스템 비율 EF _{3(S)} =S분뇨시스템의 N ₂ O-N 배출계수, kg N ₂ O-N/kg N S : 분뇨시스템 T: 가축 종 44/28: N ₂ O-N를 N ₂ O로 전환 GWP _{N₂O} =298	IPCC 1996 (산식) IPCC 2006 (GWP)
용수 생산	(식 1) 용수 생산 시 탄소배출량 $\Sigma \text{용수 사용량} \times \text{탄소배출계수}(\text{kg CO}_2\text{-eq./kg})$	
생산	(식 4) 연료 생산 시 탄소배출량 $\Sigma \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수}(\text{kg CO}_2\text{-eq./kg, L})$	ISO 14040/ 14044
	(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량 ¹⁾ $\Sigma \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수}(\text{kgCO}_2\text{-eq./kg, L}) + \Sigma \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수}(\text{kg CO}_2\text{-eq./kWh})$	ISO 14040/ 14044

단계	온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
폐수 처리	<p>(식 12) 폐수처리 시 탄소배출량</p> $CH_4 = Emission = \sum_i [(TOW_i - S_i)EF_i - R_i]$ <p>CH₄Emissions = CH₄ 배출량, kg CH₄/yr TOW_i = 산업 폐수에서의 총 유기 분해 가능 물질 i = 산업 분야 S_i = 슬러지로 제거된 유기 성분 EF_i = 배출계수, kg CH₄/kg COD R_i = 회수된 CH₄ 양</p>	ISO 14040/ 14044
폐기물 처리	<p>(식 8) 폐기물 처리 시 탄소배출량</p> $\sum \text{폐기물의 양} \times \text{폐기물 처리 방법별 탄소배출계수 (kg CO}_2\text{-eq./kg)}$	ISO 14040/ 14044
수송 해외 수송 (수입)	<p>(식 7) 수송 시 탄소배출량</p> $\sum \text{수송량} \times \text{수송거리} \times \text{수송 탄소배출계수 (kg CO}_2\text{-eq./ton}\cdot\text{km)}$	ISO 14040/ 14044

1) 2022 국가 온실가스 인벤토리 보고서(2006 IPCC GL)

▶ 가정 및 제한사항

사육 공정의 데이터는 수집하기 어려워, 농촌진흥청의 “축산부문 CH₄ 및 N₂O 배출량 산정방식 및 산정도구 개발¹⁰⁹⁾” 연구에서 수행한 원유 1 kg 기준의 온실가스 배출량 자료를 이용하였다.

우유 생산의 데이터는 수집하기 어려워, 환경정보공개시스템¹¹⁰⁾에 등록된 국내에서 우유 생산량이 가장 높은 S사의 A공장의 2020년 원유 사용량, 온실가스 배출량, 용수 사용량, 수질오염물질 배출량 자료를 이용하였다.

폐수처리 시의 온실가스 배출량을 산정하기 위해선 우유 폐수처리 시 나오는 BOD 값에 우유량, 배출계수 등을 곱해 산정하는 것이 더욱 정확하다. 1999년 유동층 생물반응기를 이용한 우유폐수처리에 관한 연구에서 우유 생산폐수 처리 시 나오는 BOD 값은 산정이 되어 있었지만, 오래된 자료라 판단하여 환경정보 공개시스템의 2020년 수질오염물질 배출량 중 BOD 배출량과 2021년 승인 국가 온실가스 배출·흡수계수 공고 중 BOD의 배출계수를 곱하여 산정하였다.

109) 농촌진흥청. 2015. 축산부문 CH₄ 및 N₂O 배출량 산정방식 및 산정도구 개발

110) 한국환경산업기술원. 환경정보공개시스템

국내산 우유의 수송은 자재 생산에서 사육단계, 사육단계에서 생산단계, 생산 단계에서 유통단계까지의 경로가 다양하여 제외하였다.

사료의 생산, 가공 및 운송을 포함한 사료, 전기 및 연료 생산, 운송, 음식물류 폐기물에 대한 자료는 현장 데이터를 수집하기 어려워 환경부, 산업통상자원부, 농촌진흥청, Ecoinvent에서 제시한 탄소배출계수를 적용하였다.

수입산 우유 경우, 수입할 때의 수송거리는 우유 가공 후, 수입국 1위인 이탈리아에서 수입하는 것으로 가정하였다.

낙농 시스템의 지역별 특성을 고려하여 비교할수록 정확한 결과를 얻을 수 있다. 대표적으로 소 사료의 생산은 국가, 지역 및 작물 재배, 여름의 기간 등 여러 가지를 고려해야 한다. 하지만 모든 유형의 데이터를 수집하는 데 어려움이 있어 해당 부분에 대한 한계점이 존재한다.

7.1.2. 전과정 목록 분석

▶ 자재 생산단계 및 사육단계

본 연구에서는 부록 2에 나타난 설문서를 이용하여 조사하였으나, 데이터 수집이 어려워 박유성·이건모·양승학(2015)의 연구¹¹¹⁾에 수록된 온실가스 배출량 자료를 이용하였다.

<표 3.231> 젖소의 자재 생산단계 및 사육단계의 사용 온실가스 배출량

구 분	단위	온실가스 배출량			합계	출처
		자재 생산/사육	장내발효/ 에너지 생산 및 사용	분뇨 처리		
원유	kg CO ₂ eq./kg	0.3891	0.8170	0.1650	1.3711	농촌진흥청

▶ 생산단계

생산단계는 원유를 우유로 만드는 단계로, 본 연구에서는 국내에서 우유 생산량이 가장 높은 “S”사의 A공장의 자료를 환경정보공개시스템¹¹²⁾에서 공개된

111) 박유성·이건모·양승학(2015). 국내 낙농우(젖소)로부터의 우유생산에 대한 전과정평가, 대한환경공학회지, Vol. 37, No. 1, pp.52-59. <http://dx.doi.org/10.4491/KSEE.2015.37.1.52>

112) 한국환경산업기술원. 환경정보공개시스템

2020년 우유 생산정보, 온실가스 배출량, 용수 사용량을 수집하였다.

<표 3.232> 우유 생산 공정 정보

구 분	단위	값 (우유 2020년)	값 (우유 1 kg 기준)
원유	ton	275,194	1.0000
용수	ton	928,535	3.3741
에너지로 인한 온실가스 배출량	ton CO ₂ eq.	22,257	0.0809
폐수처리	kg BOD	3566	0.0130
우유	ton	275,194	1.0000

▶ 수송단계

수입산은 수입국 1위인 이탈리아에서 생산 후 국내 부산항으로 오는 수송거리를 고려하였다. 수입산 우유 1 kg를 기준으로 국내 부산항까지의 수송거리를 <https://www.searates.com/services/distances-time/>¹¹³⁾에서 수집하였다. (표 3.233>에 나타낸 수송량은 16.4034 ton·km로 분석되었다.

<표 3.233> 수송(이탈리아→부산항) 정보

우유(kg)	수송거리(km)	수송량(ton·km)
1	16,403.37	16.4034

우유 생산 시와 수송 시의 탄소배출계수는 <표 3.234>에 나타낸 탄소배출계수를 이용하였다.

<표 3.234> 수송단계의 사용 탄소배출계수

구 분	탄소배출계수 정보		
	단위	탄소배출계수	출처
해양수송 (외항선(컨테이너))	kg CO ₂ eq./ton·km	9.02E-03	환경부

113) Searates 홈페이지

▶ 목록분석 결과 및 탄소배출계수 정보

본 연구에서 산정한 우유 1 kg 기준의 각 공정별 목록분석 결과와 수집한 탄소배출계수를 <표 3.235>에 정리하였다.

<표 3.235> 우유 1 kg 기준의 공정별 목록분석 결과 및 사용 탄소배출계수 정보

공정	구분	단위	값 (우유 1 kg 기준)	사용 탄소배출계수 정보			
				물질	단위	탄소배출계수	출처
자재 생산	투입물	사료	kg				
		농약	kg				
사육	투입물	전기	kWh				
		경유	kg				
		휘발유	kg				
		등유	kg				
	산출물	경유	L				
휘발유		L					
등유		L					
		장내 발효	kg				
		분뇨 처리	kg				
수송	해외 수송	ton·km	16.4034	해양 수송 (외항선 (컨테이너))	kg CO ₂ eq./ton·km	9.020E-03	환경부
생산	투입물	에너지	-	데이터 수집의 한계로 미수집하였으며, "S"사 A공장의 환경정보공개시스템의 온실가스 배출량 자료 이용			
		용수	kg	3.3741	공업용수 생산	kg CO ₂ eq./kg	2.11E-04
산출물	폐수	kg BOD	0.0130	폐수	kg CO ₂ /kg BOD	5.61E-01	환경부

7.1.3. 탄소배출량 산정

▶ 생산단계

우유 생산단계의 온실가스 배출량은 <표 3.235>에 나타난 “S”사 A공장의 환경정보공개시스템¹¹⁴⁾에서 제공하는 자료를 이용하여 데이터를 이용하여 산정하였으며, 용수에 의한 온실가스 배출량은 <표 3.230>에 나타난 식 1을 이용하여 산정한 결과는 <표 3.236>에 나타내었다. 산정 결과, 우유 1 kg 기준으로 온실가스 배출량은 0.0889 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.236> 생산단계의 온실가스 배출량

구 분	단위	값 (우유 1 kg 기준)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./kg)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-우유)
용수	kg	3.3741	2.11E-04	0.0007
에너지로 인한 온실가스 배출량	kg CO ₂ eq.	0.0809	-	0.0809
폐수처리	kg BOD	0.0130	5.61E-01 ¹¹⁵⁾	0.0073
합계				0.0889

수입산 우유는 해외에서 가공 이후 국내로 수송되는 과정에서 온실가스 배출량이 발생한다. 수송과정에서의 온실가스 배출량은 <표 3.230>에 나타난 식 7을 이용하여 <표 3.235>에 나타난 우유 1 kg 기준의 수송량과 탄소배출계수를 곱하여 산정하였다. <표 3.237>에 나타난 산정 결과는 우유 1 kg 기준으로 0.1480 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.237> 수입산(이탈리아) 우유의 수송(이탈리아→부산항)에 의한 온실가스 배출량

수송량(ton·km)	탄소배출계수 (kg CO ₂ eq./ton·km)	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-우유)
16.4034	9.02E-03	0.1480

114) 한국환경산업기술원. 환경정보공개시스템

115) 환경부, 2022. 2021년 승인 국가 온실가스 배출·흡수계수 공고

▶ 전과정 온실가스 배출량

국내산에 대해 전과정에 걸쳐 산정한 온실가스 배출량은 <표 3.238>에 나타내었다. 우유 1 kg 기준으로 국내산은 1.460 kg CO₂-eq.로 나타났으며, 젖소 사육단계의 온실가스 배출량이 67.26%로 가장 높으며, 다음으로 자재 생산단계, 우유 생산단계 순으로 나타났다. 세부적으로 살펴보면, 사육단계는 장내 발효/에너지 생산 및 사용으로 인한 온실가스 배출량이 56.96%로 높았으며, 분뇨 처리에 의한 온실가스 배출량이 11.30%를 차지하는 것으로 분석되었다. 자재 생산단계의 온실가스 배출량은 26.78%로 나타났으며, 우유 생산단계는 6.09%로 낮게 나타났다. 또한, 우유의 전과정 중에서 온실가스 배출량을 개선할 필요가 있는 단계는 사육단계로 사료와 에너지에 의한 영향이 높은 것으로 나타났다. 이에 따라 장내 발효 저감 방안 또는 분뇨 재활용에 의한 기술 개발이 필요하다.

한편, 수입산을 국내에서 유통하기 위한 수송단계에서는 0.1745 kg CO₂-eq.가 발생하여, 우유 생산단계, 분뇨 처리단계보다 높고, 장내 발효/에너지 생산 및 사용단계에 의한 온실가스 배출량보다 낮은 것으로 나타났다.

우유의 경우 선행연구가 없어 비교 분석은 불가능하나, 농가 설문조사 및 계수 적용 등을 통해 도출된 결과값을 설명하고자 <표 3.239>에 단계별·항목별로 계산 과정을 정리하였다.

<표 3.238> 국내산 우유의 전과정 온실가스 배출량

구분		온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./ kg-우유)		비율(%)		비고
자재 생산	사료 생산	0.3891	0.3891	26.65	26.65	-
사육	장내 발효/ 에너지 생산 및 사용	0.8170	0.9820	55.96	67.26	-
	분뇨 처리	0.1650		11.30		
생산	생산	0.0889	0.0889	6.09	6.09	수입산 0.1745 kg CO ₂ eq./kg-우유 ¹⁾
합계		1.460		100.00		-

1) 우리나라 최대 우유 수입 국가인 독일, 프랑스, 이탈리아에서의 수입량에 대한 경제적 할당을 수행하여 평균 값을 산출액에 비례하여 온실가스 배출량을 산정

<표 3.239> 우유의 온실가스 배출량 계산과정 (단위 : (kg CO₂/우유 1 kg))

구분	본 연구	결과값	
자재 생산	사료생산	데이터 수집의 한계로 미수집 “축산부분 CH ₄ 및 N ₂ O 배출량 산정방식 및 산정도구 개발” 연구의 온실가스 배출량 자료 이용	0.3891
	농약		
자재 생산 과정 중 CO ₂ 배출량 합계		0.3891	
장내발효			
에너지 사용(전력)			
사육	경유	데이터 수집의 한계로 미수집 “축산부분 CH ₄ 및 N ₂ O 배출량 산정방식 및 산정도구 개발” 연구의 온실가스 배출량 자료 이용	0.8170
	휘발유		
	등유		
분뇨처리		0.1650	
사육 과정 중 CO ₂ 배출량 합계		0.9820	
생산	용수	928,535ton(용수 사용량)/275,194ton(원유 사용량)*0.000211kg CO ₂ /kg(배출계수)	0.0007119
	에너지	22,256.674tCO ₂ (에너지 사용량)/275,194ton(원유 사용량)	0.08087
	폐수처리	3,566kg BOD(폐수처리량)/275,194ton(원유 사용량)*0.561kg CO ₂ /kg BOD	0.007269
생산 과정 중 CO ₂ 배출량 합계		0.08886	
우유 생산 전과정 CO ₂ 배출량 합계		1.460	

7.2. 해외 우유의 탄소발자국

7.2.1. 온실가스 배출량 산정식

<표 3.240>는 각 국가에서 우유의 전과정에 걸쳐 온실가스 배출량을 산정하기 위한 식을 나타내었다. 단계별 온실가스 배출량 산정식은 <표 3.230>에 나타낸 식을 이용하였다. 우유의 전과정은 젖소를 사육하고 생산하기 위한 자재 생산, 수송, 젖소 사육, 우유 생산, 우유의 유통, 소비를 거쳐 폐기된다. 주로 해외에서 우유의 시스템 경계는 젖소를 사육하기 위한 자재 생산, 수송, 사육까지로 설정하였다. 사료 생산, 수송, 에너지 생산, 물질 생산, 폐기물 처리 시의 온실가스 배출량은 ISO 14040와 14044의 방법론을 적용하였으며, 장내 발효에 의한 메탄 발생, 분뇨 처리에 의한 메탄 및 아산화질소 발생, 에너지 사용에 의한 온실가스 배출량은 IPCC 방법론¹¹⁶⁾을 적용하되, 지구온난화지수는 <표 3.73>에 나타낸 IPCC 2006를 적용하였다.

<표 3.240> 우유의 온실가스 배출량 산정식

단계		온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	(식 1) 사료 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{사료 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg})$	ISO 14040/ 14044
자재 수송	수송	(식 7) 수송 시 탄소배출량 $\sum \text{운송량} \times \text{운송거리} \times \text{운송 탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./ton}\cdot\text{km})$	ISO 14040/ 14044
	장내 발효	(식 9) 장내 발효 탄소배출량(CH ₄) $CH_4 \text{ Emissions} = E_T \times \left[\frac{N_T}{10^6} \right] \times GWP_{CH_4}$ $E_T = \text{축종별 배출계수, kg CH}_4/\text{두}\cdot\text{년}$ $N_T = \text{T가축 종의 두수}$ $GWP_{CH_4} = 25$	IPCC 2006
사육	에너지 생산	(식 4) 연료 생산 시 탄소배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 사용량} \times \text{탄소배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kg, L})$	ISO 14040/ 14044
	에너지 소비	(식 5) 에너지 소비량 탄소배출량 $\sum \text{연료(경유, 휘발유 등) 소비량} \times \text{직접배출계수} (\text{kgCO}_2\text{-eq./kg, L}) + \sum \text{전력사용량} \times \text{간접배출계수} (\text{kg CO}_2\text{-eq./kWh})$	IPCC 2006

116) IPCC, 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

단계	온실가스 배출량 산정식	적용 방법론
	(식 10) 분뇨 처리 시 탄소배출량(CH ₄) $CH_4 Emissions = \frac{(E_T \times N_T)}{10^6} \times GWP_{CH_4}$ E _T =축종별 배출계수, kg CH ₄ /두·년 N _T =T가축 중의 두수 GWP _{CH₄} =25	
분뇨 처리	(식 11) 분뇨 처리 시 탄소배출량(N ₂ O) $N_2O Emissions = (N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)} \times EF_{3(S)} \times \frac{44}{28}) \times GWP_{N_2O}$ N _(T) =중의 두수 Nex _(T) =T가축 중의 연평균 질소 배출량, kg H/두수/년 MS _(T) =T가축 중의 S분뇨관리시스템 비율 EF _{3(S)} =S분뇨시스템의 N ₂ O-N 배출계수, kg N ₂ O-N/kg N S : 분뇨시스템 T: 가축 중 44/28: N ₂ O-N를 N ₂ O로 전환 GWP _{N₂O} =298	IPCC 2006

7.2.2. 해외 우유의 탄소발자국 비교 분석

<표 3.241>은 국가별 온실가스 배출량을 조사하여 정리하였다. 국가별로 기능단위와 시스템경계가 조금씩 상이하나, 적용 방법론은 ISO 14040/14044와 IPCC 방법론을 적용하였다. 지구온난화지수는 IPCC 2006을 이용하고 있다. 이탈리아, 프랑스, 독일 모두 우유 1 kg 기준으로 사료 생산, 수송, 사육까지 설정하였다.

국가별 온실가스 배출량은 우유 1 kg 기준으로 산정하였으며, 독일과 일부 프랑스가 사료 사용량이 적어 이탈리아보다 온실가스 배출량이 낮은 것으로 나타났다. 이는 소 한 마리당 우유 생산량이 감소할수록 온실가스 배출량이 높게 나타날 수 있으므로, 정확한 비교를 위해서는 젖소의 사육환경, 우유 생산 환경 등의 추가적인 문헌 조사 및 국가별 현장 데이터, 국가통계 등의 조사(젖소 한 마리당 우유 생산 수율 등)가 필요하다. 문헌을 통해 해외의 생산 환경을 살펴본 결과, 북미와 유럽과 같은 산업화 지역에서는 집약적 낙농장이 널리 퍼져 있으며, 사료 소화율에 대한 최적화가 높은 수준으로 진행되어 온실가스 배출량 감소에 대한 가능성은 다른 지역보다 제한적일 수 있다고 판단된다.¹¹⁷⁾

117) Arthur Gross. 2022. The carbon footprint of milk during the conversion from conventional to organic production on a dairy farm in central Germany

<표 3.241> 우유의 해외 탄소 발자국 비교 분석

품 목	국가	기능 단위	시스템 경계	탄소발자국 (kg CO ₂ eq.)	출처	지원 부처	적용 방법론
	이탈리아	kg of raw milk	자재 생산→수송 →사육(장내 발효, 분뇨 처리, 에너지 생산 및 사용)	1.99	Dalla Riva(2015)	Soligo Cooperative Dairy Factory	IPCC, 2006 ISO 14044
		kg of milk (Auvergne-Lozère지역, 3,300 L production per ha of forage)		1.01			
		kg of milk (Est지역, 3,400 L production per ha of forage)		1.05			
우유	프랑스	kg of milk (Orne지역, 4,350 L production per ha of forage)	자재 생산→수송 →사육(장내 발효, 분뇨 처리, 에너지 생산 및 사용)	0.95	the CASDAR project ProtéAB(2020)	French agency for ecological transition (ADEME)	IPCC, 2006 ISO 14040/14044
		kg of milk (Pays de la Loire지역, 4,850 L production per ha of forage)		0.87			
		kg of milk (Bretagne지역, 6,000 L production per ha of forage)		0.99			
	독일	kg of milk	자재 생산→수송 →사육(장내 발효, 분뇨 처리, 에너지 생산 및 사용)	1.08	Arthur Gross(2022)	Martin Luther University Halle-Wittenberg	IPCC, 2006 ISO 14040/14044

<표 3.242> 국가별 적용 LCI DB 출처 및 고려사항
 (a) 이탈리아

단계	고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산 - 화학 물질, 살충제, 사료 생산 및 비료 시비 시 방출되는 배출량 고려	-	ISO 14040/14044
자재 수송	수송 - 농장 투입물에 대한 운송 포함	Ecoinvent	ISO 14040/14044
사육	장내 발효 - 장내 발효로 인한 CH ₄ 및 N ₂ O 배출량 계산	-	IPCC 2006
	분뇨 처리 - 분뇨 관리로 인한 CH ₄ 및 N ₂ O 배출량 계산 - 짚 사용으로 인한 CH ₄ 배출량 포함	-	IPCC 2006
	에너지 생산 및 사용 - 토지, 물, 전기, 연료(디젤 및 LPG) 사용 포함	- Ecoinvent	ISO 14040/14044 IPCC 2006
수송	수송	시스템 경계 제외	
생산	물 생산	시스템 경계 제외	
	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외	
	폐기물 처리	시스템 경계 제외	
유통	운송	시스템 경계 제외	
소비	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외	
폐기	폐기	시스템 경계 제외	

(b) 프랑스

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	- 화학 물질, 살충제, 사료 생산 및 비료 시비 시 방출되는 배출량 고려	-	ISO 14040/14044
자재 수송	수송	- 농장 투입물에 대한 운송 포함	-	ISO 14040/14044
사육	장내 발효	- 장내 발효로 인한 CH ₄ 및 N ₂ O 배출량 계산	-	IPCC 2006
	분뇨 처리	- 분뇨 관리로 인한 CH ₄ 및 N ₂ O 배출량 계산 - 짚 사용으로 인한 CH ₄ 배출량 포함	-	IPCC 2006
	에너지 생산 및 사용	- 토지, 물, 전기, 연료(디젤 및 LPG) 사용 포함	-	ISO 14040/14044 IPCC 2006
수송	수송	시스템 경계 제외		
생산	물 생산	시스템 경계 제외		
	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외 시스템 경계 제외		
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
유통	운송	시스템 경계 제외		
소비	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

(c) 독일

단계		고려 사항	LCI DB	적용 방법론
자재 생산	사료 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 사료량의 상당 부분이 농장 내에서 또는 농장 네트워크 내에서 생산 - 연구 농장에서 축적된 거름은 농장 네트워크 내에서 유기 비료로 사용 - 거름 살포를 통해 토양에 추가된 N, P 및 K의 양을 계산하기 위해 상업 실험실에서 연구 농장을 위해 작성된 2017년과 2018년의 거름 분석 보고서를 사용 - 사료 재배를 위한 연료 투입량은 낙농농장에서만 사용할 수 있었기 때문에 면적 가중 평균을 기반으로 다른 네트워크 농장의 연료 투입량을 근사화 - 외부에서 생산된 각 사료의 총 질량에 기준 생산을 나타내는 해당 배출계수 곱하여 계산 - 합성 비료의 생산 및 사용으로 인한 배출량을 추정하기 위해 적용된 각 비료의 양에 해당 배출계수를 곱하여 계산 	LLG 2019b	ISO 14040/14044
		<ul style="list-style-type: none"> - 원료를 사료 공장으로 운송하고 가공된 사료(사료 공장에서)를 연구 농장으로 운송하기 위해 독일에서 트럭으로 평균 운송 거리 84 km(European Comission 2018)를 사용 	European Comission 2018	ISO 14040/14044
사육	장내 발효	<ul style="list-style-type: none"> - 장내 발효로 인한 CH₄ 및 N₂O 배출량 계산 	-	IPCC 2006
	분뇨 처리	<ul style="list-style-type: none"> - 모든 분뇨는 유기 비료로 농장 네트워크 토양에 시용되었기 때문에 휘발 및 침출 손실로 인한 간접 N₂O 배출을 축산 시설에 기인하지 않음 - 간접 배출은 추가 	-	IPCC 2006
	에너지 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 헛간 장비 작동을 위한 전력 소비량을 포함 	-	ISO 14040/14044
	에너지 사용		Ecoinvent	IPCC 2006
수송	수송	시스템 경계 제외		
생산	물 생산	시스템 경계 제외		
	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
	폐기물 처리	시스템 경계 제외		
유통	운송	시스템 경계 제외		
소비	에너지 생산 및 사용	시스템 경계 제외		
폐기	폐기	시스템 경계 제외		

7.3. 국내의 우유의 탄소발자국 비교

<표 3.243>는 1 kg 기준 국내외 우유의 탄소발자국 산정 결과이다.

상호 공통 단계를 추려내어 비교 분석을 수행한 결과, 국내의 경우, 사육(자재 생산 및 사육)단계에서의 온실가스 배출량은 1.37 kg CO₂-eq.로 이탈리아(1.80 ~ 2.19 kg CO₂-eq.)의 76.1% ~ 62.6%, 프랑스(0.87 ~ 1.05 kg CO₂-eq.)의 130.5% ~ 157.5%, 독일(1.08 kg CO₂-eq.)의 126.9% 수준으로 나타났다.

종합적으로, 국내산 우유의 전과정 온실가스 배출량은 1.46 kg CO₂ eq.로 산정되었으며, 이는, 이탈리아(1.9443 ~ 2.3343 kg CO₂-eq.)의 62.5% ~ 75.1%, 프랑스(1.049 ~ 1.229 kg CO₂-eq.)의 118.8% ~ 139.2% 수준, 독일(1.2644 kg CO₂-eq.)의 115.5% 수준으로 나타났다.

이와 같은 국내외 우유의 탄소발자국 비교 분석 결과는 각 국가별 데이터베이스 수집 범위 차이에서 기인하는 것으로 보여진다.

국내산 우유의 온실가스 배출량과 이탈리아산, 프랑스산, 독일산의 배출량을 비교하면, 국내산은 독일산과 프랑스 일부 지역에서 생산된 우유보다 온실가스를 적게 배출하는 것으로 나타났다. 이러한 결과의 공통된 원인으로는 배출량 산정 시 사용하는 국가별 LCI 데이터베이스의 정확도 및 해당 단계에 대한 수집 데이터의 범위 차이에서 기인하는 것으로 사료된다. 국가별로 살펴보면 독일산의 경우 사료의 급여량이 국내보다 적어, 온실가스 배출량이 적게 산정되는 것으로 나타났다. 반면, 이탈리아산의 온실가스 배출량은 사료 급여량이 국내산보다 많아 배출량 또한 많게 산정되었다. 이탈리아의 경우 수집이 어려운 데이터 및 중요성이 낮은 건물, 의약품 및 냉매 가스 등을 제외하고 데이터를 토지, 물, 전기, 연료(디젤 및 LPG), 플라스틱(PP, HDPE, LDPE), 포장 관련 폐기물, 비료, 살충제, 사료 등의 데이터를 수집하여 다른 국가들보다 상대적으로 많은 온실가스 배출량을 나타낸 것으로도 판단된다. 한편, 독일산 우유를 가공 후 국내로 수입하는 경우 유통으로 인한 온실가스 배출량은 0.1844 kg CO₂ eq.로 나타났으며, 프랑스의 경우 0.1790 kg CO₂ eq., 이탈리아의 경우 0.1443 kg CO₂ eq.로 나타났다. 각 국가의 온실가스 배출량을 2022년 국가 수출입 통계의 수입액에 비례(각각 49%, 30%, 21%)하여 계산한 유통으로 인한 온실가스 배출량 평균값은 0.1745 kg CO₂ eq.로 나타났다.

<표 3.243> 국내외 우유의 전과정 온실가스 배출량

구분	온실가스 배출량(ton CO ₂ eq./젖소 1 두의 연간 생산량, kg CO ₂ eq./우유)				
	국내산	이탈리아	프랑스	독일	
자재 생산	1두	3.344			
	우유 1 kg	0.39	15.923~19,373 (1두)	6.517~7.866 (1두)	8.955 (1두)
사육	1두	8.403			
	우유 1 kg	0.98			
생산	1두	0.772	1.80~2.19 (우유 1 kg)	0.87~1.05 (우유 1 kg)	1.08 (우유 1 kg)
	우유 1 kg	0.09			
유통 ¹⁾	1두	-	1.276	1.341	1.529
	우유 1 kg	-	0.1443	0.1790	0.1844
소비	1두	-	-	-	-
	우유 1 kg	-	-	-	-
합계	1두	12.518	17.119~20.649	7.858~9.206	10.484
	우유 1 kg	1.46	1.9443~2.3343	1.049~1.229	1.2644

- 1) 해외 항구에서 부산항까지의 거리에 대한 온실가스 배출량 산정(이탈리아(파우미치노) 16,000.01km, 프랑스(부르쥬) 19,839.83km, 독일(잘츠키터) 20,440.14km)
- 2) 1두당 연간 우유 생산량: 본 연구 8574 kg(한국낙농육우협회), 이탈리아 8,846 kg³⁾, 프랑스 7,491 kg, 독일 8292 kg
- 3) Matteo Guerri. Effect of farming strategies on environmental impact of intensive dairy farms in Italy. 2013

제4장 농가 대상 온실가스 감축 인센티브 설계 연구

1. 해외 주요국 직불제 현황

1.1. 일본의 직불제

1.1.1. 일본 직불제의 구성

일본의 농업 분야 직불제는 크게 경영안정형과 공익형으로 구분할 수 있다. 첫 번째 유형인 경영안정형은 「밭작물 직불」과 「수입 감소 영향 완화대책」, 「논활용 직불」, 「수입 보험」 등이 해당된다. 이 중 첫 번째인 「밭작물 직불」은 외국과 생산 조건의 격차가 있는 품목을 대상으로 판매 가격과 생산비의 차액을 지급하여 지속적인 생산을 지원하는 것을 목적으로 한다. 또한, 품질 고급화를 유도하기 위해 품질에 따라 단가에 차등을 두고 있으며 밀, 맥류, 대두, 메밀, 유채, 사탕무, 전분용 감자가 대상품목에 해당한다. 두 번째인 「수입감소 영향 완화대책」은 농가가 생산하는 주요 농산물(주식용 쌀, 맥류, 대두, 사탕무, 전분용 감자)의 수입 합계를 기준으로 하여 소득을 보전하는 농가 경영 안정 대책이다. 농가의 주요품목 수입 합계가 평년수입 합계(과거 5년 평균) 보다 낮으면 차액의 90%를 보전한다. 세 번째로 「논활용 직불」은 주식용 쌀과의 소득격차를 보전하여 쌀 이외 타작물로의 전작 지원을 목적으로 한다. 전작 작물별 지원 단가는 10 a 기준 콩·사료작물·맥류의 경우 3.5만엔, 가공용 쌀은 2만엔, 총체벼 8만엔, 사료용 쌀·쌀가루용 쌀은 5.5만 엔에서 10.5만엔 사이이다. 특히, 사료용 쌀·가루용 쌀의 지원 단가는 규모가 증가할수록 지원 단가가 상승하도록 설계되어 농가의 규모 증대를 통한 가격경쟁력 강화를 유도하고 있다. 네 번째로 수입보험 제도는 농업경영체의 수입(收入) 전체를 대상으로 2019년부터 도입되었으며 도입 배경은, 기존의 경영안정제도가 특정 품목에 한정되어 있으며, 자유로운 품목 선택의 제약 요인으로 작용한다는 지적에 대한 발로로 도입된 제도이다.

두 번째 유형인 공익형 직불제는 ‘일본형직불(本型直接支拂)’로 통칭되는데, 다원적 기능 직불(농지 유지 직불, 자원 향상 직불), 환경 보전형 농업직불, 중산간 지역 등 직불로 구성된다. 이 중 첫 번째인 다원적 기능 직불은 농업의 다원적 기능 유지 및 발휘를 위하여 지역 활동과 영농활동에 대해 지원하는 제도이다. 농지 유지 직불과 자원 향상 직불은 잡초 제거, 농수로 관리 및 보수, 논

독 정리와 같은 일상적 농업 활동이 대상이 되며 농업인뿐만 아니라 지역주민도 지원 대상에 포함된 것이 특징적이다. 두 번째인 환경 보전형 농업직불은 자연 환경 보전에 이바지하는 농업생산활동을 실시하는데 추가적으로 소요되는 비용을 지원하는 것을 목적으로 한다. 세 번째인 중산간 지역 등 직불은 경작포기지 등의 증가에 의해 다원적 기능 저하가 특별히 우려되는 중산간 지역 등에 대해 농업생산을 유지하고, 다원적 기능을 확보하는 것이 목적이다.

<표 3.244> 일본형 직불제 개요

	지원단가 (엔/10a)	이행조건	모니터링	비고
농지 유지 직불	아래의 표 참조	- 잡초 제거, 농수로·농도 관리 및 보수, 논둑·밭둑 정리 등 일상적 농업 활동	지급 대상자 중 일부에 대하여 현장 점검	모니터링 결과에 따라 지원금의 일부 또는 전액을 환급하는 조치 가능
자원 향상 직불				
중산간 지역 등 직불	아래의 표 참조	- 주변 임지 관리, 경관작물 재배 - 사업계획서, 금전출납부, 영 수증, 활동일지를 구비		
환경 보전형 농업직불	<ul style="list-style-type: none"> • 풋거름작물: 8,000 엔 / 10 a • 퇴비: 4,400 엔 / 10 a • 유기농업: 8,000 엔 / 10 a 	<ul style="list-style-type: none"> - 농가는 Eco Farmer* 인증을 획득하고 화학비료·화학합성농약 사용량을 해당 광역자치단체 내 관행적인 영농활동 수준의 50% 이하로 저감 - 풋거름(녹비작물 재배, 퇴비 시비 등의 활동도 함께 실시 - 매년 비료 시비 및 농약 살포 내역 등을 지자체장에게 서면으로 제출 		

* 재배작물별로 농지 조성 기술, 화학비료·화학합성농약 저감기술 등을 활용하여 친환경적인 농업을 실시하겠다는 구체적인 계획을 지자체에 제출하여 인증을 받은 농가

** 김태훈 외(2017). p.152-153의 내용 등을 토대로 재구성

일본형 직불을 도입된 시기별로 나누면 중산간 지역 등 직불이 2000년에 처음 도입된 이후 환경 보전형 농업 직불(2010년), 자원 향상 직불(2010년), 농지 유지 직불(2014년)이 차례로 도입되었다.

<표 3.245> 일본형 직불제의 지급단가

	① 농지유지직불	② 자원향상직불 (공동)	①+②	③ 자원향상직불 (장수명화)	①+②+③
논	3,000	2,400	5,400	4,400	9,200
밭 (과수원 포함)	2,000	1,440	3,440	2,000	5,080
초지	250	240	490	400	830

주1: 위의 단가는 중앙정부와 지자체의 보조 비율이 각각 50%, 50%

주2: 위의 단가는 홋카이도(북해도)를 제외한 지역의 단가이며 홋카이도의 단가는 이보다 약간 낮게 형성

주3: ② 자원향상직불(공동)은 지역자원의 질적 향상을 도모하는 공동활동을 의미하며, 농지유지직불과 함께 실시하는 것을 전제

주4: ③ 자원향상직불(장수명화, 長壽命化)은 수로나 농로 등의 시설 보수 및 갱신을 실시하는 것

주5: 위의 ①+②+③ 활동을 한꺼번에 실시하는 경우, ② 자원향상직불(공동)의 단가를 75% 수준으로 지급

자료: 일본 농림수산성(2018), 『多面的機能支払い交付金のあらし』

1.1.2. 일본 직불제 중점방향의 변화양상

▶ 주요 식량작물을 중심으로 한 농가단위 소득안정 제도 도입

직불제를 포함한 일본 농업의 경영안정대책은 개별품목에 대한 가격지지정책에서 ‘주요품목을 중심으로 한 농가단위 소득정책(품목 횡단적 경영 안정 대책)’으로 크게 변경되었다. 특히, 2007년 도입된 ‘수입 감소 영향 완화 대책’은 기존에 쌀을 중심으로 특정 품목들의 가격을 지지하던 정책에서, 농가의 주요품목 수입 합계를 기준으로 하여 소득을 보전하는 방향으로 정책 방향을 크게 전환한 대표적인 예다. 쌀 또한 수입 감소 영향 완화 대책의 대상 품목이 되면서 소득 보전의 기준이 쌀 한 품목의 수입이 아닌, 쌀을 포함한 5개 품목의 수입 합계가 기준이 되었다는 점은 변화의 큰 특징으로 볼 수 있다. 이 과정에서 쌀에 대한 지원 수준이 크게 약화된 것은 아니나, 쌀에 한정된 지원 형태가 아닌, 쌀도 주요품목 중 하나로 그 중요도가 상대적으로 낮아진 것이라고 할 수 있다.

▶ 대다수 농가를 대상으로 생산비를 보전하는 호별 소득 보상제 도입

2007년의 ‘품목 횡단적 경영 안정 대책’은 대상이 되는 규모의 조건이 개별농가의 경우 4 ha 이상, 집락 영농의 20 ha 이상으로, 대상 농가가 일본 전체 농

가의 10%에도 채 미치지 못하여 농가들로부터 다수의 농가들이 정책대상에서 제외된다는 비판에 직면하였다. 2010년 기준 4 ha 이상의 농업경영체는 전체의 7.4%에 불과하였다. 이에, 2011년에는 기존의 ‘품목 횡단적 경영 안정 대책’보다 보전 수준을 강화하고 지급대상자를 대폭 확대한 ‘호별 소득 보상제’가 쌀과 주요 밭작물(맥류, 대두, 사탕무, 전분용 감자)을 대상으로 실시되었고 이는 2013년까지 지속되었다. 이 중, 쌀직불제는 고정직불과 변동직불로 나뉘며, 고정직불은 생산비를 보전하는 것이고, 변동 직불은 갑작스러운 가격 하락에 대비해 평년 수준의 판매가격을 보장하기 위한 것이었다. 쌀직불제의 대상농가는 판매농가(경지면적 30 a 이상 혹은 연간 농산물 판매금액 50만 엔 이상)까지 확대되었다. 이처럼 호별소득보상제를 통해 보전수준 및 지급대상자를 확대한 데에는 농업종사자의 고령화, 농촌의 과소화 등이 배경으로 지적되는데, 이와 함께 기존의 품목 횡단적 경영 안정 대책이 소수의 규모화된 농가만을 대상으로 하여 다수의 소규모 농가로부터 비판을 받았기 때문인 것으로 판단된다.

호별소득보상제는 막대한 예산 투입에 따른 타산업 및 타작물 종사자와의 형평성 문제, 고령자 등의 경영 이양을 오히려 저해하는 등 농지 유통화에 역행하는 점 등이 꾸준히 문제점으로 지적되었다. 예산을 살펴보면, 호별소득보상제 관련 예산은 2011년에 8,003억 엔에 달하였으며, 이는 당해 농림수산성 총예산의 35% 수준에 육박하는 수준이다. 호별소득보상제는 대상 품목 중, 특히 쌀에 대한 지원 비중이 매우 컸는데, 2011년의 경우, 쌀 직불 관련 예산은 3,068억 엔에 달하였으며, 이는 전체 호별 소득 보상제 예산 중 절반을 초과하는 수준이었으며, 농림수산성 총예산에 대비하여도 12.5%에 달하는 수준이었다. 또한, 호별소득보상제 시행 이전까지 정부는 ‘후계농업자를 중심으로 한 규모화’를 구조조정 정책의 주된 목표로 삼았으나, 쌀 직불제를 포함한 호별 소득 보상제는 지급대상이 대부분의 농가로 확대되어 구조조정 정책 방향에 역행한다는 지적이 꾸준히 제기되었던 바 있다.

▶ 호별소득보상제 폐지 및 공익형 직불 강화 통한 소득 보전

호별소득보상제에 대한 지적이 계속됨에 따라 일본 정부는 2014년부터 호별소득보상제를 폐지하되, 수요가 늘어날 것으로 전망되는 사료용 쌀 등의 전략작물

에 대한 지원을 강화하는 방향으로 개편되었다. 다만, 쌀직불제는 2018년까지 단계적으로 폐지하는 것으로 결정되었다.

쌀직불제(고정직불, 변동직불) 중 변동직불제는 2014년산부터 폐지하되, 고정직불은 2018년까지 단계적으로 폐지하여 논농업 작물 중 쌀로 생산이 집중되는 것을 완화하고 이를 통해 쌀 공급과잉 구조를 개선하려는 의도도 있었다.

일본은 생산조정제를 도입한 초기부터 '논활용 직불'과 같은 직불금을 통해 쌀 이외의 타작물로 전작하는 것을 지원하고 있다. 콩, 사료작물, 맥류를 중심으로 한 지원체계를 1976년부터 지속하고 있으며, 2014년부터 사료용 쌀, 쌀가루용 쌀 등을 중심으로 직불금 단가를 인상하여 이들 품목의 증산을 유도하고 있다.

또한 수요가 늘어날 것으로 전망되는 사료용 쌀, 쌀가루용 쌀의 직불금을 기존의 8만 엔/10 a에서 최대 2만 5천 엔/10 a으로 인상하였다.

사료용 쌀 재배면적이 2013년 21,802 ha에서 2017년 91,510 ha이내로 4.2배 수준으로 증가하면서 정책의 성과가 나타나고 있다. 다만, 사료용 쌀 지원단가가 시장가격 대비 11배 이상 높게 설정되어 있어 재정부담으로 작용하고 있다.

2014년의 쌀직불제 단계적 폐지 결정은 큰 정책 변화이긴 하나, 기존의 농정 방향과 배치되는 측면, 재정 부담 등으로 어느 정도 예견된 것이었다.

쌀직불제는 '07년 이후 확립된 농정방향인 '특정 품목에 대한 가격정책에서 농가 단위의 경영 안정 대책'과 배치되는 정책이었다. 쌀직불제를 신설하면서 필요 재원을 추가로 조달한 것이 아니라 기존 사업(토지개량사업 등)의 예산을 삭감하면서 도입되었다.

일본은 쌀 고정직불이 폐지되는 2018년부터 정부 주도의 생산조정제를 개편하여 민간이 자율적으로 생산조정을 실시하는 체제로 전환하였다. 생산조정제 참여하는 농가에게 쌀직불금을 지급하고 있으므로, 쌀직불제가 완전히 폐지되는 2018년 이후에는 쌀농가 입장에서 생산 조정에 참여해야 하는 인센티브가 크게 약화되어 정부 주도의 생산조정이 현실적으로 어려워진 점도 민간 자율적 생산조정으로 이행한 요인이었다.

일본 정부는 2018년 이후에도 전국의 쌀 수급 관련 정보 및 광역단체인 현의 판매 및 재고상황, 가격정보 등을 상세하게 제공하여 민간이 자율적으로 적정 규모의 쌀을 생산하도록 유도하고 있다.

쌀 직불페 폐지 등에 따른 농가소득 감소를 보전하고, 농업의 공익적 기능 강화를 촉진하기 위해 2014년을 기점으로 농지유지직불을 신설하는 등 공익형 직불제를 강화하였다.

1.2. EU의 직불제

1.2.1. EU의 직불제 구성(2014-2020)

공동농업정책 1축의 직불금은 경작지 면적을 기초로 농민들에게 지급하는 기본소득 지원 형태의 ‘기본직불제(Basic payment scheme)’ 외에 특수목적 또는 특정유형의 농가들을 지원하기 위한 보완적 수단의 직불금이 있다.

‘녹색직불’은 기후와 환경에 이로운 농업활동을 지원하며, ‘청년직불’은 40세 이하 청년 창업농을 지원(2축의 청년영농정책 지원과 별개임)하는 직불금이다. ‘재분배직불’은 중소농에 대한 직불금의 분배형평성 개선을 위한 직불이며, ‘소농직불’은 소농들을 위해 단순화된 상호준수의무가 적용되는 단순직불이다. ‘자연 제약지원직불’은 산악지역 등 농업활동이 어려운 지역을 위한 지원(2축의 조건 불리지역 지원과 별개임) 직불이다.

‘생산연계직불’은 특별히 어려운 상황에 놓여 있거나, 해당 품목이 경제적, 사회적, 환경적으로 지역에 중요한 의미가 있는 경우 생산연계방식의 직불 지원(면적, 생산량, 사육두수 등에 비례해 적용)이다.

기본직불, 녹색직불, 청년직불은 EU의 모든 회원국들이 의무적으로 시행해야 하는 ‘의무 직불제’인 반면, 재분배직불, 자연제약지원직불 및 생산연계 직불은 회원국이 자신의 농업여건 등을 고려하여 자국에 할당된 공동농업 정책 예산한도 범위 내에서 선택해 실시할 수 있는 ‘선택 직불제’이다.

▶ 기본직불(Basic payment)

기본직불은 농민 기본소득을 뒷받침하기 위한 것으로서 회원국별로 선택에 따라 공동농업정책에서 차지하는 예산 비중이 다르다. 국가별로 할당된 공동농업 정책 예산에서 기본직불이 차지하는 비중은 12%에서 68%를 나타내고 있다.

기본직불제(Basic Payment Scheme: BPS)는 농민들이 보유한 직불수급권(Payment entitle mens)을 활성화하는 것에 기초하고 있으며, 직불수급권은 농민들이 신고한 직불 적격 농지면적에 비례해 산출된다. 직불금 수혜 자격을 갖춘 농민에게 직불수급권이 부여되며, 일반적으로 직불수급권은 직불 대상 농지 1 ha당 한 개의 수급권을 부여한다. (일부 국가는 직불수급권 할당량에 제한을 두고 있다) 직불수급권은 동일한 가치를 지니는 것이 원칙이나, 회원국의 선택에 따라서는 직불수급권의 가치가 농민에 따라 차이가 있을 수 있다.

2013년 개혁은 직불제의 분배형평성 개선을 위해 ha당 직불수급권의 회원국 간 또는 회원국 내의 지역 간 차이를 점진적으로 줄여나가는 데 동의했으며, 2019년 평균 또는 평균에 가깝게 직불수급권의 가치를 조정해 가기로 합의했다.

▶ 녹색직불(Green direct payment)

공동농업정책은 직불정책을 상호의무준수와 연계시킴으로써 환경과 기후에 대한 농업활동의 기여를 촉진해왔으나, 2013년 개혁을 통해 도입된 녹색 직불은 공동농업정책의 이와 같은 방향성과 내용을 한층 강화했다. EU 회원국들은 의무적으로 자국의 직불예산 중 30%를 녹색직불에 할당해야 하며, 이는 환경과 기후 이슈에 대응하기 위한 공동농업정책의 새로운 수단(Greening, 녹색화 수단)이다. 공동농업정책은 환경과 기후 이슈에 대응하기 위해 상호의무준수를 도입한 데 이어 공동농업정책 2축인 농촌개발프로그램의 농업환경기후시책(Agri - environment - climate measures)을 강화해왔다.

농업 부문은 EU 온실가스 배출량의 약 10%를 차지하고 있는데, 녹색직불은 토양보호, 생물다양성, 탄소격리와 같은 환경과 기후를 위한 유럽 농민들의 노력에 대한 대가로 지불하는 것이다. 2015년에 처음으로 도입된 녹색직불(Greening)은 EU 전체 농지의 70% 이상이 대상이다.

유럽 농민들이 기본직불금 외에 녹색직불금을 추가로 받으려면 세 가지 분야에서 환경(특히, 토양과 생물다양성)과 기후에 유익한 활동을 의무적으로 수행해야 한다.

첫 번째 분야는 ‘재배작물 다각화’(Crop diversification)이다. 다양한 품종의 작물재배 농업활동은 토양과 생태계 회복에 도움이 되는데, 토양의 질 저하와

침식을 방지하고 토지의 농업생산 역량을 증대시킨다. ‘재배작물 다각화’ 의무의 구체적인 내용은 10ha 이상의 경작지를 보유한 농민은 최소 두 개 이상의 작물을 재배해야 하며, 30ha 이상의 경작지를 보유한 농민은 최소 세 개 이상의 작물을 재배해야 한다는 것이다. 재배작목 중 주작목의 경우 전체 경작면적의 75%를 초과할 수 없으나, 주작목이 초지인 경우 예외가 적용되는데 초지는 그 자체로 환경과 기후에 대한 기여가 크기 때문이다.

두 번째는 ‘영구초지의 유지’(Maintenance of permanent grassland)이다.

영구초지는 탄소배출을 억제하는 데 매우 유효한 수단이며, 지구온난화를 완화하는 데 크게 기여하고 있다. 환경적으로 민감한 초지를 보호하는 것은 토양 내에 탄소를 저장하는 것이며, 초지 내의 다양한 동물 서식지를 보호하는 것이다. 농지 중 유지해야 할 영구초지 비중은 회원국별로 정해지며, 회원국 내 지역별 편차는 5% 이내에서 탄력적으로 정해진다. 농민들은 ‘환경민감구역’으로 지정된 곳에 위치한 영구초지에 대해 쟁기질을 하거나 다른 용도로 이용할 수 없다. EU 농지의 1/3 이상이 영구초지이며, 영구초지에 대해서는 이와 같은 탄소격리 목적의 보호의무가 적용된다. 영구초지의 1/5은 생물다양성 보호 및 탄소저장 목적을 가지는 ‘환경민감구역’으로 지정되고 있다.

세 번째는 ‘생태초점구역(Ecological focus areas)의 관리’이다.

15 ha를 초과하는 경작지를 보유한 농민들은 최소한 자신의 토지의 5%를 ‘생태초점구역’으로 지정하고, 농장 내의 생물다양성 보호와 개선을 위한 목적으로 이를 관리해야 한다. 생태초점구역은 예를 들어 휴경지, 경관 특성지, 조림지, 계단식 농지, 생울타리, 숲이 우거진 조각난 땅, 혹은 토양 유기물질을 개선하는데 도움을 주는 클로버와 알팔파 등 질소고정작물의 재배지 등이 해당된다. 울타리, 나무, 연못, 도랑, 계단식 농지, 암벽 등 경관적 특성을 갖는 것들도 조류나 다른 종의 동물들에게 중요한 서식환경을 제공하며, 꽃가루 매개자를 포함하여 생물다양성 보호에 도움을 주는 것들이다.

녹색직불에 부과되는 이러한 의무 활동들은 유럽 농업시스템과 환경의 다양성을 고려하여 ‘등가(Equivalence)’ 개념의 대안활동으로 대신할 수 있다. 회원국들은 녹색직불 대상 농민들에게 세 가지 녹색의무 활동 중 하나 또는 그 이상에 대해 등가의 활동(대안활동)을 대신하게 할 수 있다. 이들 등가의 대안활동은

녹색의무 활동과 비슷하거나 보다 높은 수준의 환경과 기후에 이로운 효과를 가지는 활동들이며, 농업환경기후시책(Agri-environment-climate measures) 혹은 인증제도(Certification scheme) 를 포함하고 있다.

▶ 청년직불(Payment to young farmers)

유럽 농업이 고령화되고 있는 현실을 고려하면 유럽 농업과 농촌의 미래를 위해 청년들이 농업 부문에 진입하는 것이 매우 중요하다. 2013년에 35세 이하의 농민 한명에 대해 55세 이상 농민은 9명에 달했다. 55세 이상 농민은 전체의 절반을 웃돌고 있으며, 35세 미만은 6.9%에 불과하다. 청년들에게 기본직불에 가산해서 지급하는 청년직불은 모든 회원국이 의무적으로 시행해야 하며, 회원국은 자국에 할당된 직불예산의 2% 한도 내에서 청년직불금을 지급할 수 있다. 청년직불금은 농업경영인으로서 영농활동에 진입한 때로부터 최대 5년간 지급된다.

기본직불제(BPS)를 시행하는 회원국의 경우 영농에 정착한 청년농업인은 직불수급권 배분에서 우선권을 부여해야 하며, 청년농업인이 직불시스템에 접근할 수 있도록 배려해야 한다.

한편, 이와는 별도로 공동농업정책 2축의 청년영농정착지원제도를 통하여 농업활동에 진입하는 청년농업인들에게 영농정착금을 지원하고 있다.

▶ 재분배직불(Redistributive payment)

재분배직불은 중소농들에게 보다 많은 직불금을 분배하기 위한 것으로서 회원국들은 자국에 할당된 직불예산의 30% 범위 이내에서 재분배직불을 사용할 수 있다. 재분배직불은 기본직불에 가산해 지급하는 직불금이며, 일반적으로 전국 평균 경지면적 규모 이하의 농지에 대해 ha당 재분배 직불 단가를 정해 지급한다. 재분배직불 대상 농지의 상한 면적은 국가마다 다르며 보통 30 ha이거나 회원국의 농가 평균 경지면적을 기준으로 한다. ha당 재분배직불 단가는 대상이 되는 모든 농민들에게 동일하며, ha당 직불금 평균액의 65%를 초과할 수 없다.

대부분의 EU 회원국들은 재분배직불을 선택하고 있으며, ha당 재분배직불 금

액은 나라마다 상이하다. 2015년 프랑스는 ha당 재분배 직불금이 25유로인 반면, 벨기에의 왈로니아 (Wallonia) 지역은 127유로에 달한다.

▶ 소농직불(Small farmers scheme)

EU 농가의 3/4 이상이 10 ha 이하의 소농이며, 이 중에서도 5 ha 이하가 매우 광범위하게 분포하고 있다. 이들 소규모 농가의 특별한 상황을 고려하여 EU는 회원국들이 소농직불제(SFS, Small farmers scheme)를 신청할 수 있도록 하고 있는데, 소농직불은 농민들에게 일시불 형태로 일정금액을 지급하는 단순화된 형태의 직불이다. 회원국별로 소농직불 상한액을 정하나, 1,250 유로를 초과할 수 없다. 소농직불금을 받는 농민들은 일반 직불보다 훨씬 단순화된 행정절차를 밟게 되며, 녹색의무나 상호준수의무와 관련된 벌칙이나 감독대상에서 제외된다.

EU 회원국 중 소농직불제를 채택하고 있는 나라는 15개국으로 구체적으로는 오스트리아, 불가리아, 크로아티아, 에스토니아, 그리스, 독일, 헝가리, 이탈리아, 라트비아, 몰타, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 스페인, 슬로베니아가 이에 해당한다. 이들 국가에서 소농직불금이 전체 직불금에서 차지하는 비중은 2015년의 경우 5% 이상이나, 국가별로 편차가 크다. 몰타의 경우는 30% 이상이며, 불가리아, 독일, 슬로베니아는 1% 이하이다. 소농직불 수혜 농민은 몰타의 경우에는 직불금 수혜농민의 90% 이상이며, 루마니아는 80% 이상, 반면 슬로베니아는 3.2%, 폴란드는 55.6%이다.

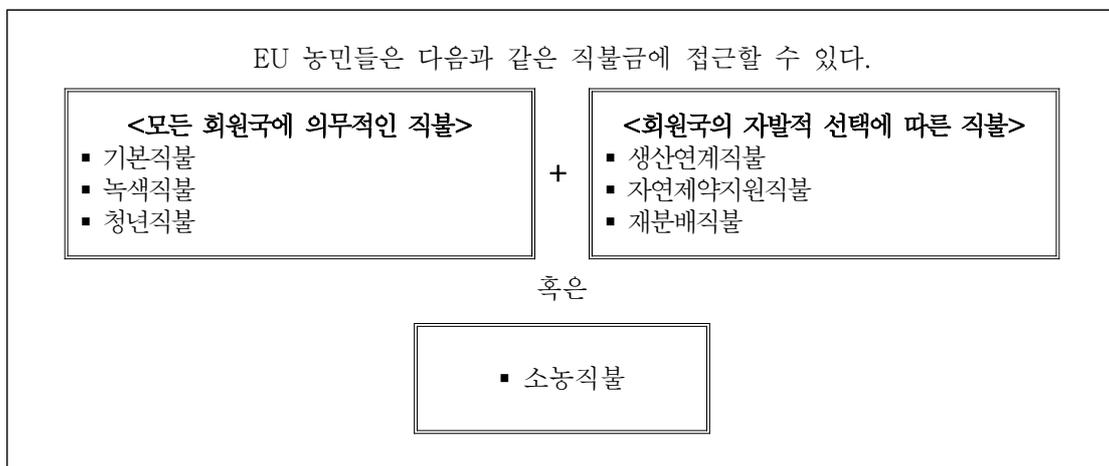
▶ 자연제약지원 직불(Payments for areas with natural constraints)

자연제약구역(Areas with natural constraints: ANCs)은 자연적 조건이나 기타 특수한 제약으로 인해 농업활동이 불리한 지역이다. 자연제약구역은 경사도와 같은 생물·물리학적 기준을 바탕으로 회원국이 정하는 구역으로서 산악지역이 전형적으로 해당되나 반드시 그렇지만은 않다. 회원국별로 배정된 직불예산의 최대 5% 이내에서 자연제약구역 내 농민들에게 가산직불 형태로 지급할 수 있다. 현재까지 자연제약구역직불을 신청한 나라는 2015년에 덴마크가 유일하며, 2017년에 슬로베니아가 추가로 신청했다. 자연적인 제약으로 인해 불리한

여건에 있는 농업활동을 지원하기 위한 프로그램은 공동농업정책 2축의 ‘자연조건불리보상’에서도 가능하며, 이 분야에 대한 지원시책의 주류를 이루고 있다.

▶ 자발적 생산연계지원(Voluntary coupled support)

디커플링과 상호준수의무로 대표되는 2003년 공동농업정책 개혁에서 생산과 연계되지 않는 방식의 직불제가 추진되었으나, 회원국의 자발적 선택에 따라서는 특정 작목에 대해 제한된 규모의 생산연계직불제를 운영할 수 있다. 특정 품목의 생산 활동 유지가 해당 지역과 분야에서 경제적, 사회적, 환경적 이유로 특별한 의미를 가지고 있는 경우 생산연계직불제를 선택적으로 운영할 수 있다. 독일을 제외하고 대부분의 회원국들이 이러한 생산연계직불제를 운영하고 있으며, 나라마다 생산연계직불금의 규모와 대상작물이 매우 다양하다. 회원국들은 비록 예외가 있긴 하나 대체로 자국에 배정된 직불예산의 8% 이내에서 생산연계직불제를 운용하고 있다. 생산연계직불이 적용되는 품목은 쇠고기와 송아지고기가 전체 생산연계 직불금의 41%로 가장 많고, 우유 및 유가공품 20%, 염소와 양고기 12%, 단백질 식물 12%, 과일과 채소 5% 순이다.



[그림 3.70] EU 공동농업정책의 직불제 구조(2014-2020)

▶ 직불금 수혜 자격과 직불금 신청

EU 대부분의 농민들은 직불금을 지급받고 있으며, 2015년에 직불금을 수혜 받은 농민 수는 약 700만 명에 달했다. 직불제가 적용되는 농지면적은 전체농지

의 약 90%인 1억 5,600만 ha에 달한다. EU 농민들은 매년 직불금을 신청하는데 직불금 수혜를 위해서는 다음 자격 요건을 충족해야 한다.

첫 번째는 ‘최소 규모 요건’을 갖추어야 한다. 직불금 총액 또는 직불금 적용 농지면적이 과소한 농민에 대해서는 일반적으로 직불제가 적용되지 않는다. 회원국마다 직불정책을 담당하는 기관이 최소 규모에 대한 기준을 설정해 국가마다 기준이 상이하나, 일반적으로 직불금 총액 기준으로는 100 유로에서 500 유로 사이이고, 경지면적 기준으로는 0.3 ha와 5 ha 사이에서 설정되고 있다.

두 번째는 ‘활동적’(Active) 농민이어야 한다. EU 내의 농지에서 농업활동을 수행하는 농민만이 직불금을 수령할 수 있다. 농지를 보유하고 있으나 농업활동이 없거나 매우 제한적인 개인 또는 회사(공항, 부동산서비스, 운동경기장 등)는 직불금 지원대상이 아니다.

세 번째는 ‘농업 활동 목적의 농지 이용과 농지 상태를 유지하는 것’이다. 일반적으로 농업생산에 적합한 토지를 농업구역으로 간주하며, 산림구역은 직불제 적용 대상이 아니다. 농업구역은 경작용 토지, 영구작물(Permanent crops)용 토지, 영구초지 등을 포함한다. 직불금을 수령하기 위해 농민들은 매년 자신이 보유한 모든 농지들을 필지별로 신고하고, 해당되는 직불금을 신청해야 한다.

▶ 직불금 수혜 농민들의 상호준수의무 이행

EU 공동농업정책의 직불정책은 EU의 다른 법적 규정들과 상호 연계되어 있으며, 이러한 연계를 상호준수의무(Cross-compliance)라고 한다. 직불금 수혜 농민들은 이러한 법적 의무사항들을 이행해야 할 의무가 있다. 상호준수의무는 식품안전, 동물건강, 식물건강, 기후, 환경, 수자원 보호, 동물복지에 관한 EU 규정을 담고 있다. 직불금별로 정해진 지원금액을 100% 수령하려면 농민들은 상호준수의무이행을 100% 이행해야 하며, 의무사항을 이행하지 못하거나 변칙적으로 행한 경우에는 직불금액을 감축하거나 지급을 제한받는다. 감축 규모는 농민들이 의무이행을 어느 정도나 위반했는지 여부에 따라 정해진다.

상호준수의무는 두 개의 서로 다른 범주로 구성된다.

첫 번째는 ‘법적관리요건’(Statutory Management Requirements: SMRs)으로서 EU가 법률로 정하고 있는 공중보건, 동물 및 식물건강, 동물의 식별과 등록,

환경, 동물복지 영역에 관한 13개 법적 의무사항들이다.

두 번째는 ‘농업환경우수조건’(Good agricultural and environmental conditions: GAECs)이라 불리는 것으로서 EU의 법률이 아닌 회원국 차원에서 기준들을 정하고 있는 의무사항들이다. 직불금을 지급받는 EU 농민들은 자신의 토지를 농업환경우수조건에 맞게 관리해야 할 의무를 지니며, 침식으로부터 토양을 보호하고, 토양의 유기물 성분과 토양구조를 유지하며, 야생동물의 서식지 파괴를 피하고, 수자원 관리 및 경관 보호 활동을 수행해야 한다.

1.2.2. EU의 직불제 중점방향 변화양상

▶ 공동농업정책과 직불제의 변천

1992년 공동농업정책 개혁을 통해 도입된 직불제는 공동농업정책의 가장 중요한 정책수단으로 부상했다. 1992년 개혁 이전까지만 하더라도 유럽 공동농업 정책은 가격지지, 수출 보조 등 시장개입 분야가 전체 예산지출의 90% 이상을 차지할 정도로 가장 중요한 정책수단이었으나, 현재에는 그 비중이 5% 이하로 대폭 축소됐다. 반면, 직불제는 예산비중이 크게 확대되어 2014~2020년에 전체 공동농업정책 예산의 72%를 차지할 정도로 공동농업정책의 목표 실현을 위한 가장 중요한 정책수단으로 부상했다. 이후 직불제는 1999년과 2003년, 2013년에 이루어진 공동농업정책 개혁과정을 거치면서 단순한 소득보전 차원을 넘어서 농업활동의 공익적 기능에 대한 사회적 보상체계로서의 위상을 강화해 나갔다.

직불제는 환경과 기후에 대한 농민들의 농업활동을 통한 기여(경관, 생물다양성, 기후안정성)에 대해 보상함으로써 유럽사회가 지향하는 지속가능한 사회를 실현하기 중요한 정책수단으로 등장했다. 직불제 지원방식도 2003년에는 농업생산과 연계하지 않은 디커플링(Decoupling) 방식이 도입되어 현재에는 직불금의 94%가 이러한 방식으로 지급되고 있다. 2013년 개혁에서는 직불제의 녹색화(Greening)를 추진해 환경과 기후변화에 대한 농업활동의 기여를 한층 촉진하고 있다.

▶ 1999년 개혁과 직불제: 2000~2006

‘Agenda 2000’이라 불리는 1999년 개혁은 공동농업정책의 구조를 개편해 기

존의 시장정책과 소득보전직불 분야를 제1축으로 하고, 신설된 농촌개발프로그램을 제2축으로 하는 7년 단위(2000~2006)의 중기 정책프로그램이다.

1999년 개혁은 1992년 개혁의 연장선에서 역내 농산물 가격지지 수준을 점진적으로 인하해 국제가격 수준에 접근시키는 한편, 조방적 농업활동을 전제로 소득보전직불을 확대했다. 품목에 따라 지지가격을 15~20% 정도 인하하는 대신 소득 보전을 위해 곡물 및 경종작물에 대해서는 면적비례직불금, 우유 및 유제품은 생산량 비례장려금, 육우의 경우는 사육 두당 장려금을 지급했다. 경종농업에 대한 면적비례직불금 규모는 특정 연도의 기준 수확고를 적용했기 때문에 회원국 간은 물론 회원국 내 지역 간에도 큰 차이가 발생했다.

EU 규정 1259/99는 농촌개발 부문을 제외하고 가격지지 인하에 따라 시행되는 모든 소득보전직불에 대해 '수평적 수단'을 마련하고, 환경보호와 관련된 의무이행사항들을 소득보전직불에 대한 이행조건으로 부과했다.

▶ 2003년 개혁과 직불제: 2007~2013

2003년 개혁은 디커플링(Decoupling)과 상호준수의무(Cross compliance)를 특징으로 한다. 농민들에게 지급되는 직불금이 시장기능을 왜곡시키지 않도록 생산중립적인 방식으로 지급(단일직불제)하는 한편, 직불금에 대한 반대급부로 환경보호, 농산물의 안전성과 품질, 지속가능발전을 위해 농업활동에 대한 환경의무이행을 강제했다. 직불금은 재배면적이나 사육두수, 생산량과 같이 생산과 연계되는 지표와 연계시키지 않고, 환경, 동물복지, 식품안전 분야 등의 19개 EU 관련 규정을 의무적으로 준수하는 것을 전제로 지급하도록 했다.

EU는 2003년 공동농업정책 개혁에서 모든 소득보전직불에 대해 완전한 디커플링을 추진했으나, 회원국 간에 이견이 커 최종 합의 과정에서 두 개의 직불유형(생산연계직불과 생산비연계직불)이 공존할 수 있도록 결정했다. EU는 회원국 별로 할당된 공동농업정책 예산 범위 내에서 회원국이 어느 정도 자율성을 가지고 두 개의 직불유형을 조절할 수 있도록 허용했다.

<표 3.246> 2003년 개혁의 직불제 주요 내용

구분	주요내용												
직불제	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 디커플링 단일직불제 도입 <ul style="list-style-type: none"> - 상호준수의무 이행을 통한 농업부문 지원의 정당성 확보 - 디커플링 모델리티 및 시행시기에 관한 회원국의 자율성 존중 ▪ 농촌개발정책 강화 <ul style="list-style-type: none"> - 직불예산 조정과 모듈레이션을 통한 농촌개발정책 강화 												
상호준수의무이행	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 공동농업정책의 모든 직불정책에 적용 <ul style="list-style-type: none"> - 1축: 생산연계직불, 생산비연계직불, 포도생산 전환직불 - 2축: 자연조건불리지역, 농업환경시책(MAE), 농지의 산림화 지원, 산림환경직불 등 ▪ 세 가지 차원의 EU 환경 관련 규정 준수 <ul style="list-style-type: none"> - 환경, 동물복지, 식품안전에 관한 19개 EU 규정과 지침 - EU 차원에서 공동으로 정한 농업환경우호조건(GAEC) - 영구초지의 유지와 관련된 EU 규정과 지침 												
상호준수의무감독 영역 기초/추가	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 상호준수 기초의무 <ul style="list-style-type: none"> - 공동농업정책의 모든 직불에 대해 적용 - 5개의 감독영역으로 구성: 환경, 농업환경우호조건(GAEC), 건강-식물생산, 건강-동물생산, 동물복지 등 ▪ 상호준수 추가의무 <ul style="list-style-type: none"> - 공동농업정책 2축의 농업환경시책(MAE)을 신청한 농가에 적용 - 비료와 농약 사용에 관해 추가 의무사항 부과 - 기초의무 5개 감독영역 가운데 '환경', '건강-식물생산 영역'과 함께 감독초지의 유지와 관련된 EU 규정과 지침 <table border="1" data-bbox="475 1167 1385 1921" style="margin-left: 20px; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th data-bbox="475 1167 635 1211">감독영역</th> <th data-bbox="635 1167 1385 1211">하위 감독 영역</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="475 1211 635 1375">환경 (4개)</td> <td data-bbox="635 1211 1385 1375"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 환경1 (야생조류 및 서식지 보호에 관한 사항) ▪ 환경2(지하수 오염보호) ▪ 환경3(농업퇴적물의 살포) ▪ 환경4(화학비료에 의한 수질오염보호) (2축)농업환경시책(MAE) 신청자에 대한 추가의무사항 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1375 635 1570">농업환경 우수조건 (GAEC) (6개)</td> <td data-bbox="635 1375 1385 1570"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ GAEC 1(최소면적에 관한 사항) ▪ GAEC 2(불로 태우는 것과 관련된 사항) ▪ GAEC 3(운작체계의 다양성에 관한 사항) ▪ GAEC 4(관개에 관한 사항) ▪ GAEC 5(토지의 최소 관리에 관한 사항) ▪ GAEC 6(초지 상태로 토지를 유지하는 것에 관한 사항) </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1570 635 1682">건강-식물 생산 (2개)</td> <td data-bbox="635 1570 1385 1682"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 건강-식물생산 1(농약 사용에 관한 사항) ▪ 건강-식물생산 2(식물위생에 관한) (2축)농업환경시책(MAE) 신청자에 대한 추가의무사항 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1682 635 1845">건강-동물 생산 (5개)</td> <td data-bbox="635 1682 1385 1845"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 건강-동물생산 1(동물생산 위생에 관한 사항) ▪ 건강-동물생산 2(특정물질 투입금지에 관한 사항) ▪ 건강-동물생산 3(가축병 예방에 관한 사항) ▪ 건강-동물생산 4(광우병 예방에 관한 사항) ▪ 건강-동물생산 5(가축등록 및 식별에 관한 사항) </td> </tr> <tr> <td data-bbox="475 1845 635 1921">동물복지 (1개)</td> <td data-bbox="635 1845 1385 1921"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 동물복지 1 </td> </tr> </tbody> </table>	감독영역	하위 감독 영역	환경 (4개)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 환경1 (야생조류 및 서식지 보호에 관한 사항) ▪ 환경2(지하수 오염보호) ▪ 환경3(농업퇴적물의 살포) ▪ 환경4(화학비료에 의한 수질오염보호) (2축)농업환경시책(MAE) 신청자에 대한 추가의무사항	농업환경 우수조건 (GAEC) (6개)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GAEC 1(최소면적에 관한 사항) ▪ GAEC 2(불로 태우는 것과 관련된 사항) ▪ GAEC 3(운작체계의 다양성에 관한 사항) ▪ GAEC 4(관개에 관한 사항) ▪ GAEC 5(토지의 최소 관리에 관한 사항) ▪ GAEC 6(초지 상태로 토지를 유지하는 것에 관한 사항) 	건강-식물 생산 (2개)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건강-식물생산 1(농약 사용에 관한 사항) ▪ 건강-식물생산 2(식물위생에 관한) (2축)농업환경시책(MAE) 신청자에 대한 추가의무사항	건강-동물 생산 (5개)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건강-동물생산 1(동물생산 위생에 관한 사항) ▪ 건강-동물생산 2(특정물질 투입금지에 관한 사항) ▪ 건강-동물생산 3(가축병 예방에 관한 사항) ▪ 건강-동물생산 4(광우병 예방에 관한 사항) ▪ 건강-동물생산 5(가축등록 및 식별에 관한 사항) 	동물복지 (1개)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 동물복지 1
감독영역	하위 감독 영역												
환경 (4개)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 환경1 (야생조류 및 서식지 보호에 관한 사항) ▪ 환경2(지하수 오염보호) ▪ 환경3(농업퇴적물의 살포) ▪ 환경4(화학비료에 의한 수질오염보호) (2축)농업환경시책(MAE) 신청자에 대한 추가의무사항												
농업환경 우수조건 (GAEC) (6개)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GAEC 1(최소면적에 관한 사항) ▪ GAEC 2(불로 태우는 것과 관련된 사항) ▪ GAEC 3(운작체계의 다양성에 관한 사항) ▪ GAEC 4(관개에 관한 사항) ▪ GAEC 5(토지의 최소 관리에 관한 사항) ▪ GAEC 6(초지 상태로 토지를 유지하는 것에 관한 사항) 												
건강-식물 생산 (2개)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건강-식물생산 1(농약 사용에 관한 사항) ▪ 건강-식물생산 2(식물위생에 관한) (2축)농업환경시책(MAE) 신청자에 대한 추가의무사항												
건강-동물 생산 (5개)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건강-동물생산 1(동물생산 위생에 관한 사항) ▪ 건강-동물생산 2(특정물질 투입금지에 관한 사항) ▪ 건강-동물생산 3(가축병 예방에 관한 사항) ▪ 건강-동물생산 4(광우병 예방에 관한 사항) ▪ 건강-동물생산 5(가축등록 및 식별에 관한 사항) 												
동물복지 (1개)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 동물복지 1 												

▶ 2013년 개혁과 직불제: 2014~2020

EU의 직불제는 정책목표의 불명확성과 정책의 효율성 및 형평성, 시행의 복잡성 등으로 인해 과도한 행정비용을 초래한다는 비판을 꾸준히 받아왔다. 기후변화, 녹색성장 등을 중시하는 회원국(농업의 경제적 비중이 1% 미만으로 떨어진 북유럽 회원국)들과 환경단체들은 공동농업정책의 친환경 의무를 더욱 강조하는 (Greening) 반면, 유럽농민연합(Copa-Cogeca) 등 농민단체들과 남유럽 회원국들은 추가적인 환경의무 부과는 결과적으로 유럽농업의 경쟁력을 약화시킬 것이라고 반대하는 입장을 취해왔다. 이러한 배경 속에서 EU의 직불금을 소득보조직불과 추가적 환경 기능 수행에 대한 보상직불로 구분하자는 직불체계의 이원화 방안이 꾸준히 제기되어 왔다. 이 밖에도 농가 간, 지역 간, 회원국 간 직불금 분배의 형평성을 제고하기 위해 지급상한제 도입, 기준단가 차이 완화(지역 간, 회원국 간 평균치를 중심으로 한 균형화 조치) 등에 대한 요구가 지속해서 제기되었다. EU는 2009년부터 차기(2014~2020) 공동농업정책을 위한 논의에 착수해, 2010년 11월 '2020년을 향한 공동농업정책' 구상을 발표하였는데, 이 정책 구상에서 유럽 농업이 식량안보, 환경과 기후변화, 지역균형발전이라는 세 가지 도전과제에 직면하고 있다고 진단하고, 공동농업정책 개혁의 필요성과 방향을 제시하였다. 공동농업정책의 가장 중요한 정책수단인 직불제를 분배형평성 개선, 녹색화(Greening)를 통한 목적성 개선, 그리고 행정의 단순화를 추진하는 방향으로 개편하는 안을 마련했다. 이를 위해 기존 단일직불제를 기본직불과 녹색직불, 소농직불로 3원화하고, 소농 및 청년직불을 통해 직불제가 농촌지역에서 가지는 고용효과와 지역균형발전 효과를 촉진하는 한편, 농가에 부과하는 상호준수의무도 예전보다 단순화하였다.

<표 3.247> 2013년 개혁의 직불제 내용

구분	주요 내용
직불제	<ul style="list-style-type: none"> ■ 녹색화 및 분배형평성 개선을 위한 단일직불의 3원화: 기본직불, 녹색직불, 소농직불 <ul style="list-style-type: none"> - 기본직불(Basic Payment Scheme): 지역 간, 농민 간에 직불금의 분배형평성을 개선하기 위해 편차가 큰 단위면적당 지불단가를 균등화하는 방향으로 조정하는 한편, 소득세와 유사한 형태의 누진적 감액제 (Capping)를 도입하기로 함 - 녹색직불(Green Pyament): 기본직불에 추가해서 기후와 환경에 기여하는 활동에 대해 추가 지급하는 직불금으로 면적당 일정액을 가산 지급함. EU 회원국들은 공동농업정책 1축 예산의 30%를 녹색직불 프 프로그램에 할당해야 함 - 소농 단순직불(simplified scheme): 소농을 배려하기 위한 직불로서 면적과 무관하게 연간 500-1.250 유로 범위 내에서 정액지불금을 지급하고, 단순화된 형태의 상호준수의무를 부과함 ■ 고용효과 및 지역균형발전 촉진을 위한 청년직불과 자연계약지원직불 도입, 회원국 별로 배정된 직불예산의 2% 이내에서 40세 이하 청년창업농에 대해 가산 직불금 지급(2축의 청년영농정착 지원과 별도) <ul style="list-style-type: none"> - 지역균형발전 촉진을 위해 직불예산의 5% 이내에서 산악이나 기타 자연 계약을 가진 지역의 농업활동 지원(2축의 조건불리지역 지원과 별도)
상호준수의무 이행	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기본직불 <ul style="list-style-type: none"> - 단일직불보다 완화된 상호준수의무 부과 - 기존의 18개 법적의무와 15개 농업환경우수조건(GAEC) 의무를 각각 13개와 7개로 단순화함 ■ 녹색직불: 작물다양화, 영구초지 유지, 생태초점구역(ecological focus area) 관리 등 세 가지 사항을 이 행하는 조건으로 기본직불에 가산하여 지급하는 직불 <ul style="list-style-type: none"> - 재배작물 세 가지 이상 다양화: 유럽 농업의 단작화 방지, 환경친화적이고 지속가능한 농업 환경 유지 - 초지의 용도 전환 금지 등 영구초지의 유지: 영구초지는 생물다양성, 역사적 관점, 경관, 기후변화, 자원 보호 측면에서 중요한 자원임 - 생태초점구역을 위한 농지의 이용: 기본직불 대상 농지의 최소 7%를 휴경지, 계단식 농지, 경관 중시 토지이용, 완충대帶 buffer strip), 조림(林) 등 생태초점구역 용도로 활용할 경우, 가산 직불금을 지급 ■ 소농 단순직불: 단순화된 내용의 상호준수의무를 부과

▶ EU의 2018년 CAP 개편

EU 농업·농촌 정책의 핵심은 1962년 도입한 공동농업정책(CAP)이다. EU는 CAP를 5~7년마다 개편하며 여건 변화에 대응해왔다. 정책을 처음 선보일 당시엔 소비자에게 적정 가격에 먹거리를 안정적으로 공급하는 것이 최우선 목표였다. 제2차 세계대전 여파로 식량부족 문제가 심각했기 때문이다. 하지만 점차 환경 등 지속가능성을 강조하기 시작하면서 기후변화 대응까지 영역을 넓혔다. 직불제를 처음 도입한 건 1992년 개편 때다. 시장가격 지지를 소득 지지 방식으로 전환했다. 가격보조를 줄이는 대신 직불금을 지급해 농가소득을 안정시키고 환경친화적인 방식으로 농사를 짓게 한 것이다. 2003년엔 당해 연도 생산량과 무

관하게 직불금을 책정하는 이른바 ‘생산비연계(Decoupled)’ 방식을 도입했고 ‘준수사항(Cross compliance)’을 의무화했다.

2018년 6월1일 EU 집행위원회는 2021~2027년 시행할 CAP안을 발표했고, 6월25일 EU 이사회와 의회 사이 합의가 이뤄지면서 새로운 CAP가 2년의 유예기간을 거쳐 2023년 1월1일 시행된다.

새로운 CAP 뼈대는 ‘기후환경성 강화’, ‘공정·형평성 강화’, ‘성과 중심 체계로의 전환’ 세 가지다. 우선 기존 ‘녹색화 직불금’의 환경보전활동은 기본 준수사항에 추가하고, 의무 준수사항 이상으로 활동을 실천할 때만 인센티브를 지급하도록 했다. 이를 ‘생태제도(Eco scheme)’라고 하는데 EU 각 회원국은 직불금 예산 가운데 최소 25%를 생태제도에 할애해야 한다. 생태제도를 적용하는 영역은 유기농업·혼림농업·탄수흡수농법 같은 환경·기후 친화적 농법을 사용하고, 동물 복지를 향상하는 것이다. 새로운 CAP는 기본직불금을 받고자 하는 농민이 지킬 준수사항을 3개 추가해 10개로 했고, 모든 농가는 경작지 가운데 3%를 생물다양성과 농업생산 이외 용도에 활용하도록 했다.

개별 국가 주도 직불제 설계(기존엔 EU가 제시한 목록을 보고 회원국이 정책적 수단을 선택하게 했다)에서 내년부터는 회원국이 먼저 정책 목표를 설정한 뒤 EU 승인을 받도록 했다. 이행 점검도 회원국과 EU가 함께하도록 했다. 개별 회원국 여건을 고려하고 해당 국가의 책임성을 강조하는 방향으로 바뀌었다.

‘재분배 직불’과 ‘청년농직불’을 강화한 점도 특징이다. ‘재분배 직불’은 2013년 CAP 개편 때 도입한 것으로, 소농을 우대하는 직불금이다. 재분배 직불 도입 여부는 회원국 선택사항이었다. 하지만 새 CAP에선 이를 의무화했고, 재분배 직불제 예산을 전체 직불제 예산의 10% 이상이 되도록 했다. 또한 EU 농업인구 가운데 40세 미만 비중이 11%라는 점을 고려해 회원국은 직불제 예산 가운데 청년농 지원 예산 비중을 현재 ‘최소 2%’에서 ‘최소 3%’로 높여야 한다.

1.3. 프랑스의 직불제

1.3.1. 프랑스 직불제의 구성

▶ 상호준수의무를 부과하는 지원시책들

프랑스의 농업경영체에 대한 직접지원 시책들은 공동농업정책 1축의 직불 정책 외에도 2축에도 농업환경기후시책 등 여러 시책들이 있다. 1축의 직불정책은 예산의 100%를 EU로부터 지원받고 있으며, 2축의 지원시책들은 EU와 회원국인 프랑스, 민간이 재원을 분담한다.

농업경영체에 대한 직접 지원 시책들에 대해서는 직불(Paiement), 지원(Aide), 보상(Indemnité) 등 여러 용어들이 사용되고 있다.

상호준수의무가 적용되는 공동농업정책 지원시책에는 다음과 같은 것들이 있다.

첫 번째는 ‘공동농업정책 1축의 지원시책’이다. 생산비연계 직불 중 기본직불, 재분배직불, 녹색직불, 청년지원(직불)과 생산연계직불 중 동물 및 식물생산 분야 지원시책들이 포함된다.

두 번째는 ‘공동농업정책 2축(농촌개발)의 일부 지원시책’이다. ‘자연조건불리 보상’(ICHN), ‘농업환경기후시책(MAEC)과 2015~2020 유기농 프로그램 지원’, ‘농지의 산림화 지원’, ‘농업-산림시스템 지원(Agroforestiers)’이 포함된다.

상기의 지원시책 중 하나 이상을 신청한 농민들은 상호준수의무를 이행해야 하며, 1축의 녹색직불과 2축의 농업환경기후시책을 신청한 경우에는 추가로 환경의무가 부과된다.

1축의 녹색지불 수혜 농민들은 ‘재배작물 다각화(윤작)’, ‘영구초지 유지’, ‘생태초점구역 관리’ 등 세 가지 분야의 ‘녹색의무’가 추가된다. 2축의 농업환경기후시책(MAEC)을 신청하는 농민들은 농가가 속한 해당 지역(Region)에서 특별히 요구하는 환경적 요구사항을 추가로 이행해야 한다.

<표 3.248> 프랑스의 농업경영체에 대한 직접 지원 시책

농업경영체에 대한 직접지원시책		상호준수의무
■ 공동농업정책 1축		
생산비 연계	▪ 기본직불(Paiement)	○
	▪ 녹색직불(Paiement)	○ + 녹색의무
	▪ 청년지원(Aide)	○
	▪ 암소지원(Aide)	○
	▪ 젖소지원(Aide)	○
생산 연계	▪ 암소 슬하의 송아지와 유기농 송아지 지원(Aide)	○
	▪ 염소 및 양 지원(Aide)	○
	▪ 식물생산지원(감자, 대마)(Aide)	○
	▪ 식물성단백질지원(Aide)	○
■ 공동농업정책 2축		
▪ 수확보험		
▪ 농업환경기후시책(MAEC)		○ + 지역별환경요구
▪ 유기농업		○
▪ 자연조건불리보상(ICHN)		○
▪ 농지의 산림화 지원		○
▪ 농업-산림시스템지원(agroforestiers)		○

▶ 2축의 농업환경기후시책(MAEC)에 추가되는 환경의무

공동농업정책 2축의 농업환경시책(Measures Agro-Environnementales: MAE)은 2014년 경과연도 이후 2015년부터 농업환경기후시책(Measures Agro-Environnemental et Climatique: MAEC)이란 명칭으로 시행되고 있다. 농업환경시책은 지역단위(Région)의 환경적 이슈와 요구사항들을 농업 활동에 반영하기 위한 정책프로그램이다.

농업환경시책은 지역 내 농업 또는 환경관련 기관들이 특정 지역의 환경적 이슈에 대응하기 위해 해당 지역에서 농업활동을 수행하는 농민들과 협의하여 농업환경기후프로젝트(Projet agro-environnemental et climatique: PAEC)를 구상하고, 이를 바탕으로 지역의 환경적 이슈를 해결하는 정책프로그램이다.

‘PAEC’는 농민들에게 환경 이슈 해결에 도움이 되는 농업활동을 수행하도록

역할을 부여하는 대신 농민들에게 그로 인한 비용 증가분이나 소득 감소분을 보상하는 내용을 담고 있다.

광역정부인 레지옹(Région)은 관내 농업 및 환경 관련 기관들에게 각 기관이 담당하고 있는 분야에서 다루어야 할 환경적 이슈와 관련된 PAEC를 제출하도록 요구하는 한편, 각 기관은 농민들과 참여방안 등을 협의한 내용을 토대로 환경적 이슈를 해결하기 위한 정책 프로그램인 MAEC를 제안할 수 있다. 예를 들어 농업회의소는 지역 내 특정 구역에서의 축산활동 유지와 관련된 MAEC를 제안할 수 있으며, 수질관리기관은 특정 지역의 수질개선을 위한 MAEC를, 국립자연공원은 Natura 2000을 위한 생물다양성 유지를 위한 MAEC를 제안할 수 있다.

MAEC은 5년 단위의 중기 프로그램으로서 농민들에게 해당 지역에서 경제적 역량과 환경적 역량을 조화시킬 수 있는 일종의 합의된 의무인 농업활동을 수행하도록 요구하는 한편, 그로 인한 초과비용 발생분이나 소득 감소분을 보상하는 내용을 담고 있다. 보상금은 ha당 연간 지원금을 책정해 지급하며, 일종의 계약명세서 (cahier des charges) 형태로 의무활동의 내용을 정의하고 있다.

1.3.2. 프랑스 직불제의 이행점검체계

직불제는 EU와 28개 회원국들이 공동으로 운영하는 정책으로서 회원국의 직불제 담당기관이 자국 내 직불제 시행과 관련해 관리운영 및 감독에 대한 책임을 진다. 직불제에 관한 규정은 EU 차원에서 마련되나, ‘공유관리(sharede management)’라는 원리하에 각국의 직불정책 담당기관이 관리운영 및 감독에 대한 책임 주체로서 기능하고 있으며, 각국의 농업 여건이 다른 점을 고려해 회원국들이 어느 정도 융통성을 갖고 운영할 수 있도록 하고 있다. 회원국들은 직불제를 효율적으로 운영하기 위해 ‘통합행정감독시스템(an Integrated Administration and Control System: IACS)’을 도입하고 있으며, 이와 같은 전자시스템을 통해 농민들의 직불금 신청서류와 관련 데이터를 수취하고, 직불 신청 내용을 처리하기 위해 상호 연결된 데이터베이스 네트워크를 구축하고 있다. 이 시스템은 농민 개개인과 농민 개개인이 신고한 각각의 필지에 고유 식별번호를 부여하고 있으며, 필요할 경우 가축에도 식별번호를 부여한다.

토지식별은 ‘토지필지식별시스템’(Land Parcel Identification System: LPIS)

을 통해 이뤄지며, 이 시스템은 직불지원금 신청을 처리하는 일도 담당한다. IACS는 공인된 직불정책 담당기관이 운용하며, 공동농업정책 1축의 모든 직불금은 물론 공동농업정책 2축의 일부 농촌개발시책도 담당한다. IACS는 직불금지급 업무 외에도 상호준수의무가 제대로 준수되고 있는지를 감독하는 일을 총괄한다.

▶ 상호준수의무의 감독 영역과 세부명세서

상호준수의무는 ‘환경, 기후변화, 우수농업토양조건’, ‘공중보건, 동물건강, 식물건강’, ‘동물복지’ 세 가지 영역으로 구분된다. 각 영역 및 하위영역에는 분야별로 세부적인 상호준수의무사항들을 규정하고 있는 세부명세서(Fiche)가 마련되어 있다. 세부명세서는 EU의 관련규정에 따른 상호준수의무사항의 세부 내용들과 감독관들이 현장에서 수행하는 감독활동 포인트, 변칙행위의 유형, 사전 경고 대상 행위 여부와 조정기간, 위반 시 지원금 감축률 등을 담고 있다.

▶ 상호준수의무에 대한 감독 활동 수행 체계

상호준수의무에 대한 감독 활동은 프랑스 농업인들이 매년 수령하는 연간 약 90억 유로에 달하는 지원금에 대해 이뤄지는데, 감독 활동의 규모와 성격 등은 EU의 관련 규정에서 정해지며 모든 회원국에게 공통으로 적용된다. 프랑스 또한 EU의 관련 기구에 의해 감독을 받으며, EU의 농업지원금을 EU의 요구에 맞게 제대로 사용했는지를 입증하지 못할 경우 프랑스는 EU로부터 재정적 제재(회계 감사의 거부)를 받게 된다.

공동농업정책 1축의 지원금과 연계된 감독 활동과 공동농업정책 2축과 관련된 감독 활동, 여타 지원금에 따르는 상호준수의무와 연계된 감독 활동 등은 농업인들의 지원금 신청의 합법성과 적합성을 담보하기 위한 것이며, 신청인들의 의무사항 이행을 담보하기 위한 것이다. 이들 감독 활동들은 환경, 농업환경우수조건, 공중보건 및 건강, 동물보호 등에 관한 EU 규정을 농업인들이 준수하도록 하기 위한 것이며, 이를 통해 유럽의 지속가능한 농업을 뒷받침하고, 유럽시민들이 공동농업정책에 대해 보다 우호적인 태도를 갖게 하는 데 필요한 것이다. 농업경영체들의 상호준수의무에 대한 현장 감독 활동은 전문영역별(영역 또는 하

위영역)로 한 개 또는 두 개의 관련 규정 전문기관이 담당한다. 상호준수의무 감독 활동에 대한 총괄관리는 도 지역국(DDT)이 담당하는데, DDT는 최근 행정 개편을 통해 농림, 건설, 환경관련 부서들이 도(데파르트망, Département) 단위에 통합한 중앙부처의 도 사무국이다. DDT는 도 내 여러 기관들의 감독활동을 조율하며 감독 활동의 대상이 되는 농업경영체의 수를 정한다. 또한 동일한 농업경영체에 대한 여러 기관의 감독 활동들을 그룹화하거나 적정 시간대에 배정하는 역할을 담당한다.

상호준수의무 각 영역별 감독 활동 수행기관은 다음과 같다.

‘환경’영역은 각 도의 지역국(DDT)이 담당하며, 해외 영토의 경우에는 농업식품산림국(DDAF)이 감독활동을 수행하나, 감독활동의 실현권한은 각 도의 인구보호국(Direction Départementale en charge de la Protection des Populations: DDPP)이 가진다.

‘농업환경우수조건(GAEC)’영역에 대한 감독활동은 프랑스 지불청(ASP)의 지역사무국(Direction Régionale de l’Agence de Services et de Paiement: DR ASP)이 담당한다.

‘건강-식물생산’영역에 대한 감독활동은 광역 단위인 지역(Région)별로 설치된 지역농업식품산림국(DRAAF) 또는 인구보호국(DDPP)이 수행한다. ‘건강-동물생산’영역에 대한 감독활동은 인구보호국(DDPP)이 담당하는데, 소와 양·염소에 대한 가축식별 관련 감독활동 권한은 지역 지불청 (DR ASP)에 있다.

‘동물복지’영역은 인구보호국(DDPP)이 감독활동을 수행한다.

1.4. 미국

1.4.1. 미국의 직불제 구성

미국은 전통적으로 농가소득의 핵심이 되는 기초 농산물에 대한 직접적인 가격과 소득지지정책을 추진해 왔다. 이는 미국 농업의 중심이 되는 기초농산물에 대해 가격 및 소득지지를 통해 농가소득 및 경영을 안정시키기 위한 것이다. 이러한 기초농산물에 대한 가격 및 소득지원정책은 1933년부터 농업조정법에 의해 시행되어 왔으며 시대별 국내외 여건 변화에 따라 수정 및 보완되어 왔다. 예컨대 2014년 농업법 이전 미국 농정의 근간이 되어 온 2008년 농업법은 고정직불제도(Direct Payment: DP), 유통지원융자제도(Marketing assistance Loan: ML), 가격보전직불제도(Counter Cyclical Payment: CCP), 그리고 수입보전직불제도(Average Crop Revenue Election program: ACRE) 등 크게 4대 핵심제도를 통해 주요 기초 농산물 생산농가의 소득 및 경영안정을 도모해 왔다. 2014년 농업법은 높은 농산물 가격과 상대적으로 호전된 농가경제 여건을 반영하여 고정직불제는 폐지하는 대신 기존 유통융자지원제도(ML)는 존치시켰고, 기존 가격보전직불제도(CCP)와 수입보전직불제도(ACRE)를 폐지하는 대신 유사한 형태의 가격손실보상(Price Loss Coverage: PLC)과 수입손실보상(Agriculture Risk Coverage: ARC) 정책을 새롭게 도입하였다.

1.4.2. 미국의 농업 자원 및 환경보전정책의 특징

▶ 농가의 환경보전 의무준수와 연계한 농업정책의 시행

미국 정부는 농가 지원정책의 수혜 조건과 관련하여 환경보전 의무준수(Conservation compliance) 조항을 두고 경작지보호(Sodbuster)와 습지보호(Swampbuster)를 의무화하고 있다. 1985년 농업법 이후 농가는 정부의 대표적 농업지원정책인 마케팅론(Marketing loan), 가격 및 수입보상 직불금, 작물보험료 보조를 받기 위해서는 침식 가능성이 높은 토지보전과 습지보전 의무를 준수해야 한다. 이는 농업에 대한 막대한 재정 지원에 대한 국민적 공감대 형성과 함께 기초적인 환경 보전을 통해 농가 지원의 정당성을 확보하기 위한 것이다.

▶ 포트폴리오 접근(Portfolio approach)에 따른 보전정책의 강화

미국은 농업자원 및 환경의 보전문제와 관련하여 농지은퇴제도, 경작농지제도, 보전기술지원, 긴급재해지원 등 다양한 메뉴 방식을 통해 농가에게 상당한 신축성을 부여하고 있다. 대부분의 생산자는 자신들의 영농 여건에 따라 다양한 보전정책 중 본인의 상황에 맞는 보전정책을 선택할 수 있는 권리를 가짐. 즉 자발적인 선택에 따라 메뉴 방식의 지원을 받는 포트폴리오 접근방식(Portfolio approach)을 활용하고 있다.

▶ 미국에서 자발적 환경보전 프로그램사업의 선정은 기본적으로 경쟁베이스(Bidding process)를 통해 시행

보전유보제도(Conservation Reserve Program: CRP)는 미국의 가장 큰 자발적 환경보전정책이다. CRP는 환경적으로 민감한 토지를 보유한 농업생산자가 상업적 농축산 활동을 하지 않기로 정부와 계약하고, 일반적으로 10년 내지 15년간 초지나 나무 식재 등을 통한 보전계획 이행을 통해 토양 침식 방지, 수질개선, 야생서식지 개발 등 환경적 편익을 제공할 경우 연방정부가 연간 임대료와 비용의 일부를 지원하는 프로그램이다. 대부분의 경우 신청 자격이 되는 농가가 자신이 하고자 하는 농지보호 및 환경보전 적용 방식을 구체화하여 제안서를 제출하고, 경우에 따라서는 정부로부터 받고자 하는 지원 금액을 함께 제시한 후, 잠재적인 환경편익을 평가하여 선정한다. 우선 적은 비용에 높은 환경편익을 창출할 수 있는 사업 제안을 선정하기 위해 환경편익지수(Environmental Benefits Index: EBI)를 사용하여 순위를 매긴 후 선정한다. FSA는 자발적 환경프로그램에 참가하고자 토지소유자가 제출한 사업계획안을 기초로 EBI 요인별로 해당 토지에 대한 데이터를 수집하여 EBI 각 요인별로 점수를 매기고, 순위를 결정한다. 환경편익지수(EBI)는 환경보전 프로그램 시행을 통해 발생하는 다양한 환경생태학적 편익에 대한 종합 점수로서 크게 야생서식지 품질 향상, 수질 향상, 농장개선노력, 환경생태편익의 지속성, 공기 질 향상, 비용 효율성 등을 종합하여 평가된다.

환경편익지수(EBI)를 활용한 자발적 환경보전프로그램 농지에 대한 환경생태학적 편익에 대한 평가는 1990년 이후 USDA의 FSA가 보전유보제도(CRP) 농

지 등록의 우선순위를 매기기 위한 평가지표 목적으로 만들어졌다. 환경생태 평가 점수가 높고, 정부가 지불하는 비용 효율성(1달러당 발생하는 편익의 수치)이 높을수록 우선 선정될 가능성이 높다. FSA는 모든 신청자의 순위를 매기고, 농무부 장관은 최종적으로 사업예산을 고려하여 프로그램 혜택을 받는 발동 수준의 점수를 결정함으로써 사업수혜 대상을 선정한다.

1.4.3. 미국 농가의 보전규정 준수 의무의 주요 내용 및 점검체계

▶ 보전규정 준수 의무(Conservation Compliance)

1985년 농업법(Food Security Act of 1985) 개정 이후부터 본격적으로 미국 정부의 농업정책 수혜를 받기 위해 농가가 반드시 이행해야 하는 환경 및 농업 자원 보전관련 의무(Conservation compliance) 규정을 만들어 적용해 오고 있다.

미국에서 보전규정 준수 의무(Conservation compliance)란 농무부(USDA)가 시행하는 주요 정책대상 품목에 대한 최저가격보장 제도, 목표가격 및 수입보전 직불, 긴급농업재해지원, 작물보험료 지원 등 정책 수혜를 받기 위해서 농가가 반드시 지켜야 하는 의무준수사항을 의미하며 크게 토양보전(Sodbuster)과 습지보전(Swampbuster) 의무로 구분된다. 미국 농무부가 시행하는 정책 수혜를 받고자 하는 모든 농가는 USDA 농가지원국(FSA)에 침식 가능성이 높은 토양보전(HELIC, 일명 sodbuster)과 습지보전(WC, 일명 swampbuster)을 위한 증명서(AD-1026) 제출을 통해 보전 계획이나 보전시스템 없이 침식성 높은 토지에 농산물을 생산하지 않을 것이고, 전환된 습지에 농작물을 생산하지 않으며, 습지를 농업생산을 위해 전환하지 않을 것임에 동의하고, 검증을 받아야 한다. 만일 농업생산자가 토양보전과 습지보전 의무 이행을 위반하는 경우 위반 내용의 경중에 따라 다양한 벌칙이 부과되는데, 위반사항을 수정할 수 있는 시간을 부여하는 잠정적 유예(temporary exemption)부터 지금까지 수혜 받은 금액을 상환하고, 정부의 정책 수혜를 앞으로 받지 못하는 경우까지 있다.

한편 2014년 농업법은 1985년부터 시행되어온 토양보전과 습지보전 이외에 초지보호 조항을 신설하여 특정 지역(미네소타, 아이오아, 노스다코다, 사우스다코다, 몬태나, 네브라스카)에 시행 중이다. 초지보호 의무는 대상 지역의 천연초

지에 농작물을 재배할 때 보험대상작물의 경우 보험료 지원을 50%포인트 삭감하고, 비보험작물을 재배하는 경우 비보험작물재해지원제도(NAP) 등록비용을 더 많이 징수하고 있다.

미국 천연자원보전국(NRCS)에 따르면 미국의 침식 가능 경작지 면적은 1억 110만 에이커로 전체 농경지 면적의 28%가량을 차지하고 있다. 토양 침식은 자연적 혹은 인공적인 다양한 원인에 의해 발생하는데, 토양의 깊이(Soil depth)와 경사도(Slope) 등에 따라 토양 유형과 주변 여건을 감안하여 해당 지역에 대한 수용 가능한 침식률(일명 T-factor, 혹은 토양 손실 감내율(Soil loss tolerance rate)을 평가한다. 즉 T 값은 해당 지역의 최대 허용 가능한 토양손실률 사전결정 지표이며, 실제 해당 연평균 토양손실률과 T지표를 활용하여 토양침식지수를 산정하고, 이것이 1보다 큰 경우 보전 의무가 작동된다. 일반적인 농가의 농경지 보전의무는 토양 침식을 줄이는 보전계획과 시스템 적용, 테라스 설치, 등고선 설치, 풀로 덮여진 수로 설치, 침전물 관리 등이다.

농가의 보전관련 의무(Conservation compliance) 규정 위반 시 연방정부의 혜택이 상실되는 주요 정책프로그램은 다음과 같다.

- 가격지지 및 관련 직불제(*price support and related payments*)
- 농가저장 시설 용자지원, 작물보험, 재해지원, 침식가능토지의 침식을 유발하는 농장용자지원, 상품신용공사(CCC) 수매농산물의 농가비축 지원금

2014년 농업법은 1996년 농업법 이후부터 지금까지 보전의무를 준수하지 않아도 혜택이 주어졌던 작물보험의 경우 정부의 보험료 지원을 받기 위해서는 침식성이 높은 경작지보호, 습지보존과 토양보존을 의무화하였다.

미국 정부는 농업정책 수혜의 대가로 수행해야 하는 최소한의 농업 및 환경 자원 보전관련 의무 이외에 전통적으로 농가 스스로 자발적으로 환경 및 농업자원 보전을 위한 활동을 전개하는 경우 다양한 프로그램을 통해 사업 타당성을 평가하여 인센티브(사업비 지원, 비용분담, 기술 지원 등)를 제공해 오고 있다.

▶ 보전의무준수(Conservation compliance) 관련 집행 및 점검

보전의무는 미국 농무부의 농업프로그램의 하나로 농가지원국(Farm Service Agency: FSA)과 천연자원보호국(Natural Resources Conservation Service: NRCS)이 공동 책임 집행 및 점검 기관이다. 농가지원국(FSA)은 보전의무 관련 생산자의 적격성 판정에 대한 주 책임기관이고, 천연자원보호국(NRCS)은 보전 관련 기술적 결정에 책임을 가진다. 특히 토양 및 습지 보전의 기술적 특성상 보전의무 이행 관련 점검은 NRCS가 주로 담당하고 있다. NRCS는 미국 정부(USDA)의 수혜를 받는 농장과 목장의 토지에 대해 보전의무가 발생하는지를 검토하고, 보전의무가 필요한 토지의 경우 규정이행 준수 상황을 정기적으로 점검한다. NRCS는 FSA로부터 제공받은 데이터를 바탕으로 매년 무작위로 샘플을 추출하여 미국 농무부의 농가지원 프로그램의 수혜자가 보전준수의무를 잘 이행하고 있는지를 조사한다. 또한 농무부(USDA) 관련 기관의 요청, 혹은 보전의무를 위반했다는 고발이 있는 지역, 잠재적 보전의무 위반가능 농목장의 경우 수시로 조사하고 있다. 원칙적으로 보전의무 이행에 대한 조사는 3년에 1회 이상 하도록 하고 있다.

NRCS는 기술적 점검과정에서 보전의무 이행 위반이 의심될 경우 현장 점검을 실시하며, 권한 남용을 방지하기 위해 자격 있는 NRCS 소속 직원만이 보전의무 위반을 공식적으로 보고할 수 있도록 하고 있다. 다만 보전의무 이행 위반에 대한 최종적 결정과 벌칙은 FSA에 의해 이루어진다. 보전의무 이행 위반에 대한 벌칙은 농가의 의도하지 않은 낮은 수준의 위반의 경우 1년간 유예를 주고 위반을 시정하도록 하는 조치(일명 Good faith)부터 정부의 정책 수혜자격 박탈, 그리고 올해 혹은 이전에 수혜 받은 모든 금액의 반환 등 다양한 유형이 있다.

2. 해외 주요국 탄소은행 현황

2.1. 미국 탄소은행

미국은 백악관에 기후변화 대응을 위해 제시한 부서별 권고사항인 기후 21 프로젝트를 통해 농업 분야 탄소중립 전략을 추진하고 있다. 미국 농무부(USDA, United State Department of Agriculture)는 기후 21 프로젝트를 통해 농업과 산림업 분야의 탄소 배출량을 줄여 미국 탄소 배출량의 10 ~ 20%를 감축하고, 2050 탄소중립에 기여하려는 전략을 시행 중이다. 기후 21 프로젝트의 농업 부문 주요 권장 사항은 크게 기후변화 및 농촌투자 관련 장관 명령 발행, 관련 투자 및 기후 친화적 관행 장려, 산불 및 산림 복원, 농촌 에너지 탈탄소화, 농촌 연구과학 분야 재건 등 5개 부분으로 구성되어 있다.

권장사항을 실천하기 위한 목표 중 탄소은행의 설립이 있다.

이는 USDA 산하 상품신용공사(CCC, Commodity Credit Corporation)가 탄소은행을 설립하여 기후 친화적 농업을 실천한 농민을 대상으로 감축된 탄소 배출량만큼 신용을 공여해주는 방식이다. CCC가 보유한 연간 10억달러의 자금을 이용하여, 농민에게 탄소 1 ton당 20달러의 신용 공여를 제공해준다. 현재, 본격적인 탄소은행 추진에 앞서 사업체계 및 운영·작동 방식 등을 검토하기 위한 의견수렴 및 시범사업 중으로, 과학적으로 측정·보고·검증(MRV) 가능하며 장기적으로 지속가능한 감축량 확보, 거래비용 최소화 및 보고 절차 마련, 기 참여 농가의 감축량 인정 및 보상 방안, 농업인·목장주·임업인·임차인 등 공평한 참여기회 보장 등 모색하고 있다.

체계이행방안은 생산자 지불, 감축량 직접 구매, 재정지원의 3가지로 구분된다.

생산자 지불방식은 소규모 농가, 임차인 등 자발적 탄소시장에 참여가 어려운 생산자에 추가로 지불하거나, 제3자 감축 프로젝트 추진 조건부 생산자에게 지불하는 방식이다.

감축량 직접 구매방식은 USDA가 계약한 최소 조건을 만족하는 제3자 감축 프로젝트를 통해 발생한 탄소 감축량을 USDA가 직접 구매하는 방식이다.

재정 지원방식은 구매하거나 개발자에게 토지 소유자와 협력할 수 있는 자본

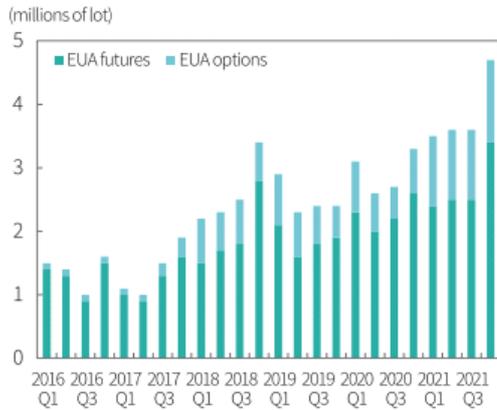
을 확보할 수 있도록 대출 및 채권 보증을 제공하여 크레딧 가격 하한선을 설정함으로써 탄소 배출권을 지원하는 방식이다.

정부가 구매를 보장하는 최저가격 설정하거나, 프로젝트 추진자에 대한 용자를 해주거나 채권을 보증하는 방식이다.

3. 해외 탄소배출권거래제

3.1. EU의 ETS

유럽연합(EU)은 온실가스 배출을 최소비용으로 줄이기 위하여 2005년도에 EU 배출권거래제를 시작하였다. EU ETS는 EU의 온실가스 감축 목표 이행과 2050 탄소중립 달성을 위해 2021년부터 2030년까지의 Phase 4에 진입하였고 현재 탄소배출권 거래 금액은 2023년 3월 24일 기준으로 1 ton당 85.4 Euro로 119,469원으로, 국내와 차이가 큰 것으로 나타났다. EU ETS의 글로벌 확장성과 탄소중립의 글로벌 확산을 위해 탄소국경조정제도(Carbon Border Adjustment Mechanism: CBAM) 라는 제도를 도입하면서 ETS와 연계하였다. NDC 강화에 따른 탄소 누출 방지와 탄소비용의 공정한 분담원칙에 따라 국적에 상관없이 탄소비용을 지불하도록 하여 유상할당을 늘리고 무상할당을 단계적으로 폐지할 예정이다.



[그림 3.71] EU ETS 거래량(출처: ICE,ISDA)



[그림 3.72] EUA futures 가격(출처: icap)

3.2. 미국

미국은 연방정부 차원에서 탄소시장 도입을 위해 청정에너지 및 안전보장법을 제정하고자 했으나 금융 위기 이후 경제적인 여건 악화와 더불어 온실가스 감축 비용 증가로 인하여 재정 악화 우려로 인하여 관련 법안의 상원의회 통과에 실패 후 주정부 차원에서 온실가스 감축을 위한 노력이 시작되었다. 미국 지역 단위 배출권거래제는 2009년부터 시작되었고 북동부 지역의 온실가스 감축협약인

RGGI(Regional Greenhouse Gas Initiative)가 대표적이다. 이는 10개 주가 참여하는 탄소시장으로 총량 거래방식을 채택한 미국 최초의 의무성이 부과된 배출권거래제시장이다. ETS를 시행한 RGGI 지역 내 발전 부문은 이산화탄소 배출량은 RGGI 도입 이전과 비교하였을 때 RGGI 3기 마지막 연도인 2017년 기준 2018년에 63% 감축률을 나타냈다. 또한 경매 수익금을 활용하여 청정에너지, 이산화탄소 감축 기술 개발에 투자하여 29억 달러 규모의 경제적 가치를 창출하였다.

3.3. 중국

중국의 배출권거래제는 2013년 선전 지역부터 시작하여 상하이, 베이징, 광둥, 톈진, 후베이, 충칭에서 순차적으로 실시되었고 국가개발개혁위원회의 승인을 받아서 배출권거래제도를 시행했다. 이는 대상 주체에 대해 온실가스 배출 상한을 두고 배출권을 할당하는 총량거래방식이며 감축 대상은 이산화탄소이다. 2013년부터 2017년까지 시범지역 7곳에서 총 2억 ton 규모의 배출권이 거래되었고, 상하이의 경우 거래 이전보다 이산화탄소 배출량이 약 12%가량 줄어들었다. 중국은 지역별로 운영해오던 ETS를 2017년 전국 단위 ETS를 도입하였다.

4. 국내 현황 조사

4.1. 농업·농촌 공익기능 증진 직접지불제도

농업·농촌 공익기능 증진 직접지불제도는 농업·농촌 공익기능 증진 직접지불제도 운영에 관한 법률에 명시하고 있으며, 기본형 공익직접지불제도(이하 '기본직접지불제도')와 선택형 공익직접지불제도(이하 '선택직접지불제도')로 구분하고 있다.

4.1.1. 기본형 공익직접지불제도

농업·농촌의 공익기능 증진과 농업인 등의 소득안정을 위하여 농업인 등에게 기본직접지불제도에 따른 기본형공익직접지불금(이하'기본직접지불금')을 지급하고 있다. 기본직접지불금은 크게 2가지로 소규모농가를 대상으로 지급하는 소규모농가직접지불금(이하 '소농직접지불금')과 그 밖의 농업인 등에게 지급하는 면적직접지불금으로 구분한다. 소농직접지불금의 대상은 경작면적이 0.5 ha 이하인 소규모 농가를 대상으로 한다. 면적직접지불금의 대상은 농업 외 종합소득금액의 합이 3,700만원 미만이어야 한다.

<표 3.241>은 기본직접지불금에 대해 나타낸 것이다. 소농직접지불금은 농가당 120만원을 지급하고 있으며, 면적직접지불금은 논농업, 밭농업의 가능 농지여부와 2 ha 이하(이하 '1구간'), 2 ha 초과 ~ 6 ha 이하(이하 '2구간'), 6 ha 초과(이하 '3구간') 등의 면적에 따라 구분하고 있다. 농촌진흥지역내의 논농업과 밭농업에 모두 이용된 농지는 면적에 따라 189만원/ha에서 205만원/ha, 농촌진흥지역외의 논농업에 이용된 농지는 162만원/ha에서 178만원/ha, 농촌진흥지역외의 밭농업에 이용된 농지는 100만원/ha에서 134만원/ha가 지불된다. 최대 지급면적은 농업인은 30 ha, 농업법인은 50 ha까지이다.

<표 3.249> 기본직접지불금

구 분		금액		
소농직접지불금		농가당 120만원		
	형태	농촌진흥지역 내 논밭	농촌진흥지역 밖 논	농촌진흥지역 밖 밭
면적직접 지불금	2ha 이하(1구간)	205만원/ha	178만원/ha	134만원/ha
	2ha 초과 6ha 이하 (2구간)	197만원/ha	170만원/ha	117만원/ha
	6ha 초과(3구간)	189만원/ha	162만원/ha	100만원/ha

대상 농가는 화학비료 사용기준 준수, 가축분뇨 퇴비·액비화 및 살포기준 준수, 비료 적정 보관·관리, 공공수역 농약 및 가축분뇨 배출 금지, 하천수 이용기준 준수, 지하수 이용기준을 준수해야 한다.

4.1.2. 선택형 공익직접지불제도

선택직접지불제도는 친환경농업직불제도, 친환경안전축산물직불제도, 경관보전직접지불제도, 전락작물직불제도가 구분되고 있다. <표 3.250>은 선택직접지불금에 대해 나타낸 것이다.

<표 3.250> 선택직접지불금

구 분		금액			
지불금 유형	형태	유기	무농약	유기지속	
친환경 농업직 불금	논	700천원/ha	500천원/ha	350천원/ha	
	밭	과수	1,400천원/ha	1,200천원/ha	700천원/ha
		기타 (채소 특작)	1,300천원/ha	1,100천원/ha	650천원/ha
친환경 안전 축산물 직불금	한우		30만원/마리	육우는 한우의 50%	
	젓소(우유)		100원/L	우유 1L는 1.03kg	
	산양(산양유)		13,000원/마리(산양유 240원/L)		
	돼지		25,000원/마리		

구 분		금액		
	육계	440원/마리	토종닭은 30% 증액	
	산란계(계란)	13원/개		
	오리	560원/마리		
	오리알	24원/개		
경관보전 직불금		경관작물	준 경관작물	준경관초지
	작물	갯, 구절초, 국화류, 꽃양귀비, 꿀풀(하고초), 달맞이꽃, 라벤더, 메밀, 유채, 자운영, 코스모스, 해바라기, 헤어리베치, 감국, 안개초, 끈끈이대나му, 백일홍, 설악초 등	밀, 보리(겉보리, 쌀보리, 맥주보리, 청보리 등), 연꽃, 이탈리아라이그라스, 호밀 등	경관, 준 경관 작물 중 사료작물로 활용이 가능한 작물 및 목초
	금액	170만원/ha	100만원/ha	45만원/ha
	구분	대상품목		금액
전략작물 직불금	단작	동계	밀, 보리, 감자 등 동계 식량 작물	50만원/ha
			청보리, 라이그라스 등 동계 조사료	50만원/ha
		하계	가루쌀, 콩	100만원/ha
			하계 조사료	430만원/ha
	인센티브 대상	밀, 가루쌀, 밀, 논콩	250만원/ha	
		동계 조사료, 가루쌀, 동계 조사료-논콩	250만원/ha	
	이모작	가타 동계작물, 콩 또는 가루쌀	150만원/ha	
		인센티브 없음	보리, 일반벼	50만원/ha
	밀-하계조사료, 동계조사료, 하계조사료	480만원/ha		

4.2. 농업환경보전프로그램

농업환경보전프로그램은 영농과정에서 발생하는 수질·토양·생태계 등의 오염이 최소화될 수 있도록, 농업인 등을 대상으로 농업환경보전 인식 제고 및 환경보전형 영농활동 컨설팅·실천 등을 지원하는 프로그램이다. 이 프로그램은 친환경 농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률 제9조(농어업으로 인한 환경오염 방지), 제10조(농어업 자원 보전 및 환경 개선), 제11조(농어업 자원과 농어업 환경의 실태조사 및 평가) 등에 근거하고 있다.

주요 내용은 농업환경보전을 위한 토양·용수·생태·경관 등 다양한 환경보전활동에 소요되는 개인별 활동과 공동활동 이행 비용 등의 주민활동비, 농업환경진

단, 마을주민 대상 교육·컨설팅, 사업시행계획 수립 등에 필요한 비용 등의 사업 관리·운영비, 사업 성과관리, 교육, 선정평가 지원 등에 필요한 비용인 전문지원 조직 운영비로 구성되어 있다. 지원 내용은 참여마을 당 5년간 6.5억원을 지원 하며, 재원은 국고와 지방비 각각 50%로 구성되어 있다. 2022년까지 총 133억 원이 지원되었다. 사업 대상지역은 농촌 지역 마을단위로 참여농경지는 최소 20 ha 이상이어야 한다.

이 프로그램에 참여할 경우, 수행하여야 하는 활동은 <표 3.251>에 나타내었다. 개인활동은 3개 분야, 6개 과제, 16개 세부 활동으로 구분되어 있으며, 공동 활동은 5개 분야, 6개 과제, 14개 세부 활동으로 구분되어 있다. 개인 활동은 완 효성 비료 사용하기, 농사 후 남은 농업부산물 잘라 논·밭에 환원, 휴경기 녹비 작물 재배 및 토양 환원, 경사진 밭 끝에 침사구 설치하기, 제초제 없이 잡초 제 거하기 등 5개의 필수 활동이 포함되어 있으며, 공동활동은 영농폐기물 공동수 거 및 분리배출의 1개 의무 활동과 오염된 하천·저수지 청소 및 수생식물 식재, 논 배수물꼬 설치 및 물 관리, 생태계에 유해한 생물 제거, 둌병(물웅덩이) 조성 및 관리, 농경지 이용 멸종위기종 조류 먹이 공급 등 5개 필수활동이 포함되어 있다. 일부는 기본형 및 선택형 직불금과 연계되어 있다고 볼 수 있다.

<표 3.251> 농업환경보전프로그램의 활동

구분	분야	단위과제	금액	
개인 활동	1.적정양분 투입	①완효성 비료 사용하기	<u>필수</u>	
		②농사 후 남은 농업부산물 잘라 논·밭에 환원	<u>필수</u>	
	2.외부양분 투입 감축	②휴경기 녹비작물 재배 및 토양환원	<u>필수</u>	
		①벼짚 등 농업부산물로 경사진 밭 덮기	선택	
	3.토양침식 및 양분유출 방지	②경사진 밭 들레에 빗물이 돌아가는 이랑 만들기	선택	
		③경사진 밭 끝에 초생대 설치하기	선택	
		④경사진 밭 끝에 침사구 설치하기	<u>필수</u>	
		①천적으로 해충 방지하기	선택	
	2.농약사용 저감	②제초제 없이 잡초 제거하기	<u>필수</u>	
		③과수원에서 초생 재배하기	선택	
		④태양열로 토양 소독하기	선택	
		⑤시설하우스에 방충망 설치하기	선택	
		2.농업생태계 보호	①둌병(물웅덩이) 조성 및 관리('22 신규)	선택

구분	분야	단위과제	금액	
	대기	1.온실가스 감축	①경운 최소화 ②바이오차 투입('22 신규)	선택 선택
		2.축산악취 저감	①축산악취 저감을 위한 미생물 제제 사용하기	선택
	용수	1.농업용수 수질개선	①오염된 하천 저수지 청소 및 수생식물 식재	<u>필수</u>
		2.양분유출 방지 등	①논 배수물꼬 설치 및 물관리	<u>필수</u>
	생활	1.생활환경 개선 * 농촌비점 발생 최소화	①영농폐기물 공동수거 및 분리배출 ②생활폐기물 공동수거 및 분리배출	<u>의무</u> 선택
		생태	1.농업생태계 보호	①생태계에 유해한 생물 제거
②뚝명(물웅덩이) 조성 및 관리**	<u>필수</u>			
③농경지 이용 멸종위기종 조류 먹이공급	<u>필수</u>			
공동 활동	경관	1.농촌경관 개선	①공동공간 관리 및 청소	선택
			②공동공간에 꽃과 나무 심기 ③빈집 및 불량시설 경관 정비	선택 선택
	유산	1.농업유산 보전	①농경의례 및 공동체문화 전승	선택
			②전통적 농업기술의 유지 및 계승	선택
			③전통적 토지이용 경관의 보전	선택
			④전통적 수리관개시설의 활용 및 보전	선택

4.3. 농업·농촌 온실가스 자발적 감축사업

농업·농촌 온실가스 자발적 감축사업은 농업인이 기존 영농활동으로 인해 발생하는 온실가스를 추가적인 활동(저탄소 농업기술)을 통해 감축하여, 감축량만큼 인센티브를 지원하는 사업이다. 이 사업의 방법론은 <표 3.252>에 나타내었다. 에너지 이용 효율화, 신재생 에너지, 합성비료 절감, 농축산 부산물 등 바이오매스 활용, 기타 감축사업 등 총 16가지로 구분하고 있다. 지원금은 ton당 1만원을 지급하고 있다.

<표 3.252> 농업·농촌 온실가스 자발적 감축사업 방법론

구분	사업분야	방법론명
1		미활용 에너지를 이용한 농업시설의 온실가스 감축 방법론
2	에너지 이용 효율화 사업 (A01)	순환식 수막재배를 이용한 화석연료 사용량 절감 방법론
3		LED 조명기기 설치를 통한 농업시설의 전기 사용량 절감 방법론
4		고효율 보온자재를 이용한 농업시설의 난방용 에너지 사용량 감축 방법론
5	신재생 에너지 사업 (A02)	지열에너지를 이용한 농업시설의 화석연료 사용량 절감 방법론
6		재생에너지(태양광, 태양열, 수력, 풍력) 방법론
7	합성비료 절감사업 (A03)	녹비작물을 이용한 질소질비료 사용저감 방법론
8		완효성 비료를 이용한 질소질비료 사용저감 방법론
9		부산물 비료를 이용한 질소질비료 사용 저감 방법론
10	농축산 부산물 등 바이오매스 활용사업 (A04)	목질바이오매스를 이용한 농업시설의 화석연료 사용량 절감 방법론
11		바이오가스 플랜트를 통한 온실가스 감축 방법론
12		왕겨를 이용한 RPC 곡물건조 열원대체 방법론
13		보존경운에 따른 온실가스 감축 방법론
14	기타 감축사업 (A05)	논벼 재배 시 물관리를 통한 온실가스 감축 방법론
15		토지의 이용방법 전환을 통한 온실가스 감축 방법론
16		바이오차(Biochar)를 이용한 농경지 탄소고정에 따른 온실가스 감축 방법론

4.4. 국내 탄소배출권거래제

4.4.1 온실가스 목표관리제

목표관리제는 온실가스를 일정 기준 이상 배출하는 업체를 매년 관리대상 업체로 지정하여 목표를 설정하고 설정된 목표범위 이내로 온실가스 배출량을 줄이도록 관리함으로써 국가온실가스 감축에 기여하는 제도이다. 정부와 관리업체가 상호 협의하여 온실가스 배출량 목표를 정하고 정부는 인센티브와 패널티를 통해 목표달성을 유도하며 관리업체는 목표 달성을 위한 이행계획과 이를 뒷받침하는 관리체계 등을 수립하여 목표를 효율적으로 달성하는 것을 목적으로 한다.

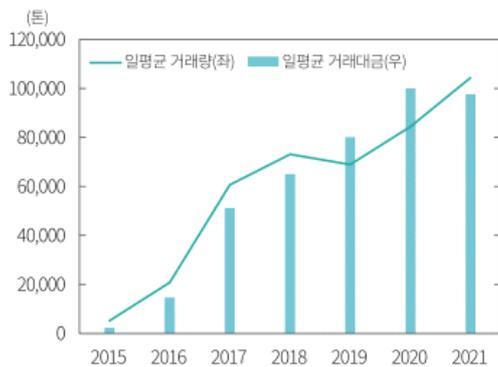
온실가스 목표 설정 및 관리 대상인 관리업체는 업체 단위와 사업장 단위로 구분하여 연차적으로 적용을 확대한다. 이전에 에너지도 포함하여 관리업체를 지정했다면 현재는 에너지 기준이 삭제되고 최근 3년간 연평균 온실가스 배출총량이 5만이산화탄소상당량톤($t\ CO_2\text{-eq.}$) 이상인 업체이거나 연평균 온실가스 배출량이 1만5천이산화탄소상당량톤($t\ CO_2\text{-eq.}$) 이상인 사업장을 하나 이상 보유하고 있는 업체를 말한다. 제도총괄 및 조정기능은 환경부에서 진행하여 목표 설정 및 관리는 각 부문별 관장기관이 담당한다. 보고 대상은 6대 온실가스이며 운영 경계는 직접배출(Scope 1)과 간접 배출(Scope 2)이다. 온실가스 100 $t\ CO_2\text{-eq.}$ 미만의 소규모 배출시설의 경우 사업장 총량에 포함하여 보고한다.

4.4.2 K-ETS

국내 탄소배출권거래제는 온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률 제정에 따라 거래 메커니즘을 구체화하였으며, 한국거래소를 배출권거래소로 지정하여 운영되고 있다. 배출권거래제법 시행에 따라 '15년부터 배출권거래제 1차 계획기간('15 ~ '17)을 시작하여 현재 3차 이행년도 시행 중이다. 적용 대상으로는 계획기간 4년 전부터 3년간 온실가스 배출량 연평균 총량이 125,000 ton 이상 업체 또는 25,000 ton 이상 사업장의 해당업체이고 관리대상물질은 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 수소불화탄소(HFCS), 과불화탄소(PFCS), 육불화황(SF_6)이 있다. 할당의 경우 과거배출량 기반 할당(GF, Grandfathering)과 과거 활동자료 기반 할당(BM, Benchmark)으로 구분된다. 1

차 계획기간의 배출권 할당은 100%, 2차 계획 기간은 97%, 3차 계획기간은 90% 무상할당을 시행하고 있다. 2020년도 기준 할당 업체는 636개였으며, 온실 가스 배출량은 전년보다 5.7% 감소한 5억 5,440만 ton으로 나타났다. 탄소배출권 거래금액은 2023년 3월 24일 KAU 기준으로 1 ton 기준 12,800원이고 2020년도 인증배출량 감소는 코로나19의 영향으로 국내 미세먼지 대책시행, 할당대상업체의 감축노력 등에 의한 것으로 확인되었다.

국내 배출권거래제는 2015년도에 개설되어 매년 거래 규모가 증가하고 있고, 높은 가격 변동성을 보인다. 제 1·2차 동안 전체 배출권 거래량은 1억 9,800만 톤, 거래대금은 4조 7,340억원이며 일평균 거래대금과 거래량 모두 증가세를 나타냈다. 배출량이 높은 업종으로는 발전·에너지, 철강, 석유화학 순으로 경기에 민감하게 반응한다.



[그림 3.73] 일평균 거래량과 거래대금(출처: 환경부)



[그림 3.74] KAU 가격(출처:한국거래소)

5. 농축산업 종사자 요구 분석

5.1. 농업 종사자 요구 분석

농업에서의 온실가스 배출량 산정 및 적정 인센티브 수준 조사분석을 위해 사전조사(Field Test)와 본조사를 거쳐 자료 수집을 수행하였다. 자료 수집에 이용된 설문은 구조화된 설문(Structured Questionnaire)을 기반으로 하며 인센티브의 적정 수준을 묻는 항목에서는 비구조화된 인터뷰(Unstructured Interview)를 병행하였다. 우선, 사전조사 대상자 선정을 위해 경기도 이천시 소재 '성원영농조합법인'과 경기도 연천군 소재 '대광리 마을회관'에 설문 응답 의향이 있는 10개 농가를 임의 추출하여 사전조사를 수행하였다.

해당 대상자에 대한 개방형 인터뷰 질문지 내의 구술 내용을 바탕으로 본조사를 위한 반구조화 형태의 1차 설문지를 설계하였다. 1차 설문지는 5명의 탄소발자국 산정 및 인센티브 설계 수행 경험 전문가들이 참여하여 해당 질문에 대한 검수를 진행하였으며, 이와 같은 절차를 통해 완성된 설문지는 완전 구조화되었다. 또한, 본조사의 대상자는 경기도 이천시 소재 '성원영농조합법인'과 경기도 연천군 소재 '대광리 마을회관', 인천광역시 강화군 소재 '강화섬쌀연구회(주)' 경기도 김포시 소재 '쇄암리 마을회관' 등 7개 영농·축산 단체로부터 설문 대상을 추천받아 총 38명의 설문 대상을 선정하였다.

이들에 대한 본격적인 설문조사는 2월 1일부터 6월 30일까지 총 4개월에 걸쳐 방문·전화를 통해 실시되었다. 설문 내용은 농업 분야에서의 온실가스 배출량 산정을 위한 기초자료 수집을 목적으로 할 뿐만 아니라 농업 분야에서의 온실가스 배출 감축을 위한 인센티브 제도 전반에 대한 인식 함께 묻는 형태로 구성되었다. 설문 대상에 대한 주요 조사 내용은 다음과 같다.

<표 3.253> PART A. 농산물 생산 관련 조사

구분	내용	비고
인구통계학적설문	SQ1. 농업 종사 여부 SQ2. 거주지 SQ3. 연령 SQ4. 성별 SQ5. 농업경력(년) SQ6. 연간소득	
전력 및 유류 투입량	Q01-1. 전기(투입량, 지출금액) Q01-2. 면세경유(투입량, 지출금액) Q01-3. 면세휘발유(투입량, 지출금액) Q01-4. 면세등유(투입량, 지출금액)	
경작면적	Q02-1. 벼 경작면적 Q02-2. 밀 경작면적 Q02-3. 옥수수 경작면적	
온실가스 배출량 산정을 위한 기초자료	농산물 생산량 Q03-1. 벼 생산량 Q03-2. 밀 생산량 Q03-3. 옥수수 생산량	
농산물 판매소득	Q04-1. 벼 판매 소득 Q04-2. 밀 판매 소득 Q04-3. 옥수수 판매 소득	
비료 종류 및 사용량	Q05. 벼(비료 이름, 비료 가격, 비료 사용량) Q06. 밀(비료 이름, 비료 가격, 비료 사용량) Q07. 옥수수(비료 이름, 비료 가격, 비료 사용량)	
농약 종류 및 사용량	Q08. 벼(농약 이름, 농약 가격, 농약 사용량) Q09. 밀(농약 이름, 농약 가격, 농약 사용량) Q10. 옥수수(농약 이름, 농약 가격, 농약 사용량)	

<표 3.254> PART B Q11. 적정 수준의 농업 인센티브 규모(적정 직불금 단가)

구분		지급금액			적정 지급 단가
소농직접직불금		농가당 120만원			
면적직접 직불금	형태	농촌진흥지역내 논밭	농촌진흥지역 밖 논	농촌진흥지역 밖 밭	
	2 ha 이하 (1구간)	205만원/ha	178만원/ha	134만원/ha	
	2ha 초과 6ha 이하 (2구간)	197만원/ha	170만원/ha	117만원/ha	
	6 ha 초과(3구간)	189만원/ha	162만원/ha	100만원/ha	
친환경농업 직불금	형태	유기	무농약	유기지속	
	논	700천원/ha	500천원/ha	350천원/ha	
	과수	1,400천원/ha	1,200천원/ha	700천원/ha	
	밭 기타(채소, 특작)	1,300천원/ha	1,100천원/ha	650천원/ha	
경관보전 직불금	작물	경관작물 갯, 구절초, 국화류, 꽃양귀비, 꿀풀 등	준 경관작물 밀, 보리, 호밀 등	준경관초지 준 경관 작물 중 사료작물 활용 가능 작물 및 목초	
	금액	170만원/ha	100만원/ha	45만원/ha	
	구분	대상품목		금액	
전략작물 직불금	단작	동계		50만원/ha	
		청보리, 라이그라스 등		50만원/ha	
	하계	가루쌀, 콩		100원/ha	
		하계 조사료		43만원/ha	
	인센티브 대상	동계 조사료, -가루쌀		250만원/ha	
		동계 조사료-논콩		250만원/ha	
	이모작	기타 동계작물, 콩 또는 가루쌀		150만원/ha	
		인센티브 없음	보리, 일반벼		50만원/ha
		밀-하계조사료, 동계조사료		48만원/ha	

<표 3.255> PART B Q12. 적정 수준의 농업 인센티브
규모(농업환경보전프로그램)

구분	분야	단위과제	내 용	필요여부 (O, X)
개인활동	토양	1. 적정양분 투입	① 완효성 비료 사용하기	<u>필수</u>
		2. 외부양분 투입 감축	① 농사 후 남은 농업부산물 잘라 논·밭에 환원	<u>필수</u>
			② 휴경기 녹비작물 재배 및 토양환원	<u>필수</u>
	3. 토양침식 및 양분유출 방지	① 벚짚 등 농업부산물로 경사진 밭 덮기	선택	
		② 경사진 밭 둘레에 빗물이 돌아가는 이랑 만들기	선택	
		③ 경사진 밭 끝에 초생대 설치하기	선택	
		④ 경사진 밭 끝에 침사구 설치하기	<u>필수</u>	
	생태	1. 농약사용 저감	① 천적으로 해충 방지하기	선택
			② 제초제 없이 잡초 제거하기	<u>필수</u>
			③ 과수원에서 초생 재배하기	선택
④ 태양열로 토양 소독하기			선택	
⑤ 시설하우스에 방충망 설치하기			선택	
2. 농업생태계 보호	① 둠병(물웅덩이) 조성 및 관리('22 신규)	선택		
대기	1. 온실가스 감축	① 경운 최소화	선택	
		② 바이오차 투입('22 신규)	선택	
	2. 축산악취 저감	① 축산악취 저감을 위한 미생물 제제 사용하기	선택	
		1. 농업용수 수질개선	① 오염된 하천·저수지 청소 및 수생식물 식재	<u>필수</u>
지역공동활동	용수	2. 양분유출 방지 등	① 논 배수물꼬 설치 및 물관리	<u>필수</u>
		생활	1. 생활환경 개선	① 영농폐기물 공동수거 및 분리배출
	* 농촌비점 발생 최소화		② 생활폐기물 공동수거 및 분리배출	선택
	생태		1. 농업생태계 보호	① 생태계에 유해한 생물 제거
		② 둠병(물웅덩이) 조성 및 관리**		<u>필수</u>
③ 농경지 이용 멸종위기종 조류 먹이공급		<u>필수</u>		

구분	분야	단위과제	내 용	필요여부 (O, X)
	경관	1. 농촌경관 개선	① 공동공간 관리 및 청소	선택
			② 공동공간에 꽃과 나무 심기	선택
			③ 빈집 및 불량시설 경관 정비	선택
	유산	1. 농업유산 보전	① 농경의례 및 공동체문화 전승	선택
			② 전통적 농업기술의 유지 및 계승	선택
			③ 전통적 토지이용 경관의 보전	선택
			④ 전통적 수리관개시설의 활용 및 보전	선택

질문의 항목은 크게 3개 유형으로 구분할 수 있다. 첫 번째 유형은 성별과 연령, 경력 등에 대한 인구통계학적 설문이다. 두 번째 유형은 온실가스 배출량 산정을 위한 기초자료 수집으로 각 농가의 규모 대비 투입물 자료를 수집하여 농업에서 발생하는 온실가스 발생량 파악을 목적으로 설계하였다. 세 번째 유형은 농가 대상 온실가스 감축 연관 활동에 대한 인센티브 소개와 적정 수준 파악이다. 해당 항목은 임영아·조원주(2017)의 「농업환경보전 프로그램 도입방안 연구」에 수록된 설문항목 중 온실가스 배출과 직접적으로 연관이 있는 항목들을 추출하여 농가에서 적정한 수준으로 판단하는 인센티브 금액의 수준을 조사하고자 설계하였다. 또한, 농업환경보전프로그램과 농업·농촌 온실가스 자발적 감축 사업 방법론과 관련된 단위과제를 나열하여 필요 여부를 확인하였고, 농민들을 대상으로 인센티브 제도에서 가장 시급하게 개선되어야 할 부분이 무엇인지 확인하였다.

5.1.1. 응답자 특성

총 38명의 응답자 중 남자 28명, 여자 10명으로 남자 응답자의 분포가 높은 것으로 나타났고, 연령 평균은 만 63세에 영농 경력은 평균 28년이였다. 각 농가의 연간 소득은 3천만원 ~ 4천만원이 전체의 29.63%로 가장 높은 비중을 차지하였으며, 이어서 5천만원 ~ 7천만원이 25.93%, 2천만원 ~ 3천만원이 22.22%, 1천만원 ~ 2천만원이 22.22%, 7천만원 이상이 7.41%로 나타났다. 1

천만원 미만으로 응답한 농가는 없었다. 이와 같은 농가의 연간 소득은 일반적인 농가의 소득이 낮은 수준에서 형성되어 있음을 의미하며 타 제품군에 비하여 농산물의 가격변동이 심한 점을 고려하면 소득의 안정성은 더욱 떨어질 것으로 예상된다.

5.1.2. 온실가스 배출 감축활동에 따른 농가 대상 적정 인센티브 의견 자료 수집

본 설문조사는 적정 수준의 농업 인센티브 규모에 대한 조사를 진행하였고 기존 직불금 적정 지급액 및 농업환경보전프로그램, 농업·농촌 자발적 온실가스 감축사업 관련 단위과제별 필요 여부를 조사하였다.

직불금 금액에서 친환경농업직불금의 경우 재배유형에 따라 논은 ha당 유기 70만원, 무농약 50만원, 유기지속 35만원이다. 농가에서 취합한 적정 지급액 평균값은 유기 100만원, 무농약 70만원, 유기지속 50만원으로 기존에 지급되고 있는 금액 대비 실제 농민들이 적정 수준으로 판단하는 금액은 1.4배 큰 것으로 나타났다.

전략작물직불금의 경우 단작(하계)에서 가루쌀과 콩은 ha당 100만원을 기준으로 한다. 농가에서 취합한 적정 지급액은 평균 100만원으로 취합되어 기존 직불금과 차이가 없다. 이모작은 인센티브 대상과 인센티브 미대상으로 나뉘고, 인센티브 대상인 밀, 가루쌀, 논콩은 ha당 250만원이다. 농가에서 취합한 적정 지급액 평균값은 200만원으로 기존에 지급되고 있는 금액 대비 실제 농민들이 적정 수준으로 판단하는 금액은 0.2배 적은 것으로 나타났다. 인센티브 미대상인 기타 동계작물, 콩 또는 가루쌀은 ha당 150만원이다. 농가에서 취합한 적정 지급액 평균값은 100만원으로 기존에 지급되고 있는 금액 대비 실제 농민들이 적정 수준으로 판단하는 금액은 약 0.3배 적은 것으로 나타났다. 인센티브 미대상인 보리와 일반 벼의 경우 ha당 50만원이다. 농가에서 취합한 적정 지급액 평균값은 50만원으로 취합되어 기존 직불금과 차이가 없다.

농업환경보전프로그램 관련하여 단위과제 필요여부를 조사한 결과, 설문에 응한 농민들은 단위과제에 대하여 하기 표와 같이 대부분 필요하다고 응답하였다. 그러나 토양 분야에서 적정 양분을 투입하는 과정 중 완효성 비료 사용에 대하

여 필요 여부를 조사한 결과 81% 정도만 긍정적이었다.

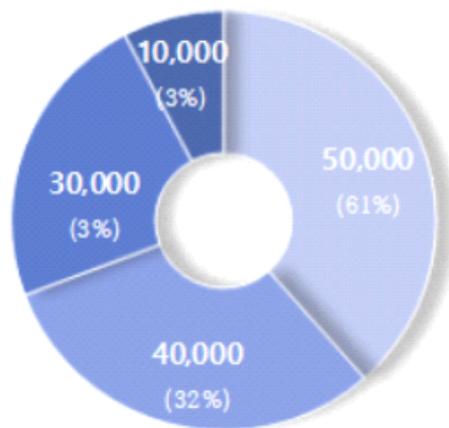
<표 3.256> PART B. 적정 수준의 농업 인센티브
규모(농업환경보전프로그램) 설문 결과

구분	분야	단위과제	내 용		“필요” 응답 비율
개인 활동	토양	1.적정양분 투입	①완효성 비료 사용하기	필수	81%
		2.외부양분 투입 감축	①농사 후 남은 농업부산물 잘라 논.밭에 환원	필수	100%
			②휴경기 녹비작물 재배 및 토양환원	필수	100%
	3.토양침식 및 양분유출 방지	①벗짚 등 농업부산물로 경사진 밭 덮기	선택	100%	
		②경사진 밭 둘레에 빗물이 돌아가는 이랑 만들기	선택	100%	
		③경사진 밭 끝에 초생대 설치하기	선택	100%	
	생태	1.농약사용 저감	④경사진 밭 끝에 침사구 설치하기	필수	100%
			①천적으로 해충 방지하기	선택	100%
			②제초제 없이 잡초 제거하기	필수	100%
			③과수원에서 초생 재배하기	선택	100%
			④태양열로 토양 소독하기	선택	100%
	2.농업생태계 보호	⑤시설하우스에 방충망 설치하기	선택	100%	
		①덤병(물웅덩이) 조성 및 관리('22 신규)	선택	100%	
	대기	1.온실가스 감축	①경운 최소화	선택	100%
		2.축산악취 저감	②바이오차 투입('22 신규)	선택	100%
용수	1.농업용수 수질개선	①축산악취 저감을 위한 미생물 제제 사용하기	선택	100%	
	2.양분유출 방지 등	①오염된 하천 저수지 청소 및 수생식물 식재	필수	100%	
생활	1.생활환경 개선 * 농촌미집 최소화	①논 배수물꼬 설치 및 물관리	필수	100%	
		①영농폐기물 공동수거 및 분리배출	의무	100%	
공동 활동	생태	1.농업생태계 보호	②생활폐기물 공동수거 및 분리배출	선택	100%
		2.농경지 이용 멸종위기종 조류 먹이공급	①생태계에 유해한 생물 제거	필수	100%
			②덤병(물웅덩이) 조성 및 관리**	필수	100%
	경관	1.농촌경관 개선	③농경지 이용 멸종위기종 조류 먹이공급	필수	100%
			①공동공간 관리 및 청소	선택	100%
유산	1.농업유산 보전	②공동공간에 꽃과 나무 심기	선택	100%	
		③빈집 및 불량시설 경관 정비	선택	100%	
		①농경의례 및 공동체문화 전승	선택	100%	
		②전통적 농업기술의 유지 및 계승	선택	100%	
③전통적 토지이용 경관의 보전	선택	100%			
④전통적 수리관개시설의 활용 및 보전	선택	100%			

<표 3.257> PART B. 적정 수준의 농업 인센티브 규모(농업·농촌 온실가스 자발적 감축산업 방법론) 설문 결과

구분	분야	단위과제	“필요” 응답 비율
1		미활용 에너지를 이용한 농업시설의 온실가스 감축 방법론	100%
2	에너지 이용 효율화 사업 (A01)	순환식 수막재배를 이용한 화석연료 사용량 절감 방법론	100%
3		LED 조명기기 설치를 통한 농업시설의 전기 사용량 절감 방법론	81%
4		고효율 보온자재를 이용한 농업시설의 난방용 에너지 사용량 감축 방법론	77%
5		지열에너지를 이용한 농업시설의 화석연료 사용량 절감 방법론	81%
6	신재생에너지 사업 (A02)	재생에너지(태양광, 태양열, 수력, 풍력) 방법론	81%
7	합성비료 절감사업 (A03)	녹비작물을 이용한 질소질비료 사용저감 방법론	84%
8		완효성 비료를 이용한 질소질비료 사용저감 방법론	84%
9		부산물 비료를 이용한 질소질비료 사용 저감 방법론	81%
10	농축산 부산물 등 바이오매스 활용사업 (A04)	목질바이오매스를 이용한 농업시설의 화석연료 사용량 절감 방법론	100%
11		바이오가스 플랜트를 통한 온실가스 감축 방법론	100%
12		왕겨를 이용한 RPC 곡물건조 열원대체 방법론	100%
13	기타 감축사업 (A05)	보존경운에 따른 온실가스 감축 방법론	100%
14		논벼 재배 시 물관리를 통한 온실가스 감축 방법론	100%
15		토지의 이용방법 전환을 통한 온실가스 감축 방법론	81%
16		바이오차(Biochar)를 이용한 농경지 탄소고정에 따른 온실가스 감축 방법론	100%
자발적 감축사업		금액 1만원/ton CO ₂	적정금액(1 ton CO ₂ 기준) 45,000원(평균)

농업·농촌 자발적 온실가스 감축사업에 대한 단위과제별 필요 여부를 조사 결과, 단위과제가 필요하다는 응답률은 상기 표와 같다. 전반적으로 온실가스를 감축하는 단위과제에 대하여 대다수가 필요하다고 답변을 주었다. 특히 농축산 부산물 등 바이오매스 활용 사업과 관련된 단위과제들의 경우 전체 농민이 필요하다고 응답하였다. 자발적 감축사업 연계 시 감축량 1 ton당 인센티브 적정금액은 5만원 61%, 4만원 32%, 3만원 3%, 1만원 3%로 조사되었고 평균 금액은 4만 5천원이다.



[그림 3.75] 농업 분야 자발적 감축사업 연계 시 인센티브 적정 금액(원)

<표 3.258> PART B Q14. 적정 수준의 농업 인센티브 규모(농업 활동 인센티브 제도에서의 개선점) 설문 결과

구분	내용	비율
인센티브제도 개선점	• 농업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에 대한 인식 제고	12.31%
	• 농업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에 대한 교육	13.85%
	• 지역공동체 내 탄소중립 정책기조 대응 협의체 결성 및 재정지원	24.62%
	• 지자체 단체장 등 정책 담당자의 의지	26.15%
	• 인센티브 지급 단가의 현실적 개선	20.00%
	• 기타	3.08%

농업 인센티브제도의 개선점을 조사한 결과 지자체 단체장 등 정책 담당자의 의지에 대한 개선이 필요하다는 답변이 26.15%로 가장 높았다. 이어서 지역공동체 내 탄소중립 정책 기조 대응 협의체 결성 및 재정지원 24.62%, 인센티브 지급 단가의 현실적 개선 20.00%, 농업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에 대한 교육 13.85%, 농업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에 대한 인식 제고 12.31%, 기타 3.08% 순으로 나타났다.

설문조사 과정에서 실시한 비구조화 질문에 대해서는 다음과 같은 추가의견들이 있었다. 평당 감축량으로 인센티브가 산정되는 항목들에 대한 의견은 다음과 같다.

“하천 인근 논에서 경작을 못하게 하려면 해당 면적에서 수확할 수 있는 생산량만큼 보상이 이루어져야 한다. 어차피 농사를 짓기 위해서는 일을 해야하며 하는 김에 강 인근까지 경작을 한다. 경작을 강제로 못하게 하는 것이 아닌 이상 그 정도의 적은 보상을 받기 위해 자발적으로 경작을 하지 않는 농가는 없을 것이다.”

“관에서 응당을 만들어준다면 고맙게 쓸 것이다. 그러나, 농민들에게 해당 금액을 주고 응당을 만들라고 하면 아무도 참여하지 않을 것이다. 금액이 너무 적다.”

“콩의 가격에 따라 참여율이 달라질 것이다. 그러나, 일반적으로 한 해 농사는 할 수 있는 규모를 정하고 시작한다. 보상을 위해 무리해서 농사를 짓고 싶지 않다.”

“경운 없이 농사를 짓는 것은 거의 불가능하다. 대부분의 무경운 농가들은 본인들의 영농철학으로 무경운을 하는 것이지 경제적 이득을 바라고 하는 것이 아니다. 무경운을 이끌어내기에는 인센티브 금액이 터무니없이 적다.”

인건비로 인센티브를 지급하는 항목들에 대한 의견은 다음과 같다.

“농사를 짓지 않는 시기에 식물을 심고 인건비를 받는다면 생활에 도움이 많이 될 것이므로 참여할 의향이 있다.”

“제시된 금액이 다소 적기는 하나 휴경기에는 따로 일감이 없으므로 마을 사람들과 함께 일하면 좋을 것 같다.”

온실가스 감축에 따른 적정금액(원)은 CO₂ 1 ton 기준으로 30,000원에서 50,000원으로 나타났다. 대부분이 자발적 감축사업에서 지급하고 있는 CO₂ 1 ton 기준의 10,000원이 인센티브로 적다는 의견을 나타냈다.

온실가스 배출 감축활동에 따른 농가 대상 적정 인센티브 의견조사의 시사점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

농업 활동에서 온실가스 저감과 연관이 있는 활동들에 대해서 농가의 유인을 이끌어내기 위해서는 천문학적인 비용이 소요될 것으로 사료된다. 선행연구에서 제시한 인센티브 금액을 기준으로 농가에 의견을 물어본 결과 활동에 투입되는 시간과 노력, 그리고 포기해야 할 기회비용 대비 제시된 금액이 지나치게 적으며 간극을 메우기 위해서는 상당한 수준의 재원이 투입되어야 할 것으로 사료된다. 단, 직접적으로 인건비를 지급하는 활동의 경우 인센티브의 효용이 있을 것으로 사료되며, 특히 휴경기에 참여를 크게 독려할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 일반적으로 농가의 경우 소단위 마을 주민들이 힘을 합쳐 영농활동을 영위하는 경우가 많으므로 인건비와 더불어 휴경기 지역민들의 친목 도모를 목적으로 활동을 지원하는 등에 접근 또한 참여를 독려할 수 있을 것으로 사료된다.

5.2. 축산업 종사자 요구 분석

축산업에서의 온실가스 배출량 산정 및 적정 인센티브 수준 조사 분석 또한 농업분야 조사 분석과 동일하게 사전조사(Field Test)와 본조사를 거쳐 자료 수집을 수행하였다. 자료 수집에 이용된 설문은 구조화된 설문(Structured Questionnaire)을 기반으로 하며 인센티브의 적정 수준을 묻는 항목에서는 비구조화된 인터뷰(Unstructured Interview)를 병행하였다. 우선, 사전조사 대상자 선정을 위해 충청북도 청주시 소재 '청원한우마실영농조합'과 강원도 철원군 소재 '철원낙농영농조합법인'에 설문 응답 의향이 있는 6개 농가를 임의 추출하여 사전조사를 수행하였다.

해당 대상자에 대한 개방형 인터뷰 질문지 내의 구술 내용을 바탕으로 본조사를 위한 반구조화 형태의 1차 설문지를 설계하였다. 1차 설문지는 5명의 탄소발자국 산정 및 인센티브 설계 수행 경험 전문가들이 참여하여 해당 질문에 대한 검수를 진행하였으며, 이와 같은 절차를 통해 완성된 설문지는 완전 구조화되었다. 또한, 본조사의 대상자는 충청북도 청주시 소재 '청원한우마실영농조합'과 강원도 철원군 소재 '철원낙농영농조합법인' 등 4개 영농·축산 단체로부터 설문대상을 추천받아 총 25명의 설문 대상을 선정하였다.

이들에 대한 본격적인 설문조사는 2월 1일부터 6월 31일까지 총 4개월에 걸쳐 방문·전화를 통해 실시되었다. 설문 내용은 축산업 분야에서의 온실가스 배출량 산정을 위한 기초자료 수집을 목적으로 할 뿐만 아니라 축산업 분야에서의 온실가스 배출 감축을 위한 인센티브 제도 전반에 대한 인식 함께 묻는 형태로 구성되었다. 설문 대상에 대한 주요 조사 내용은 다음과 같다.

<표 3.259> PART A. 축산물 생산 관련 조사

구분	내용	비고
A. 인구통계학적설문	SQ1. 축산업 종사 여부 SQ2. 거주지 SQ3. 연령 SQ4. 성별 SQ5. 축산업경력(년) SQ6. 연간소득	
전력 및 유류 투입량	Q01-1. 전기(투입량, 지출금액) Q01-2. 면세경유(투입량, 지출금액) Q01-3. 면세휘발유(투입량, 지출금액) Q01-4. 면세등유(투입량, 지출금액)	
축산규모	Q02-1. 소 사육두수 Q02-2. 돼지 사육두수 Q02-3. 닭 사육두수	
B. 온실가스 배출량 산정을 위한 기초자료	축산물 생산량 Q03-1. 소 생산량 Q03-2. 돼지 생산량 Q03-3. 닭 생산량	
축산물 판매소득	Q04-1. 소 판매 소득 Q04-2. 돼지 판매 소득 Q04-3. 닭 판매 소득	
사료 종류 및 사용량	Q05. 소(사료 이름, 사료 가격, 사료 사용량) Q06. 돼지(사료 이름, 사료 가격, 사료 사용량) Q07. 닭(사료 이름, 사료 가격, 사료 사용량)	
화학제품 종류 및 사용량	Q08. 소(약품 이름, 약품 가격, 약품 사용량) Q09. 돼지(약품 이름, 약품 가격, 약품 사용량) Q10. 닭(약품 이름, 약품 가격, 약품 사용량)	

<표 3.260> PART B Q12. 축산에서의 저탄소 농업기술

구분	분야	저탄소 농업기술	필요여부 (O, X)
계량화 기술	1	장내발효	조기출하(출하일령, 도체중)
	2		강제공기공급
	3	가축분뇨 관리	기계교반
	4		위탁처리업체의 처리방식
	5		저탄소 인증자재 사용
	6	에너지 절감기술	빗물 재활용 기술
	7		지열 히트펌프 시스템
	8		태양광 등 신재생에너지 생산량
비계량 기술	1		저메탄 사료 급이
	2		저단백 사료 급이
	3	사양관리	부산물 사료 급이 (조사료를 제외한 건물량 기준 대체율 20% 이상)
	4		생산성 향상 장비 도입 (자동급이기, 사료빈·음수관리기, 안개분무 등)
	5		자가 조사료 면적 확인
	6		분뇨의 비농업계 이용 여부
	7	가축분뇨 관리	깔짚관리(로터리 교반 등)여부
	8		부숙도 검사 후 살포여부
	9	기타	폐사축 처리기 활용 여부(위탁포함)
	10		나무식재
자발적 감축사업 연계 시		적정금액 (1 ton CO ₂ 기준)	
			만원

<표 3.261> PART B Q13. 적정 수준의 축산 활동 인센티브 규모(축업 활동 인센티브 제도에서의 개선점)

구분	내용	비고
인센티브제도 개선점	<ul style="list-style-type: none"> • 축산업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에 대한 인식 제고 • 축산업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에 대한 교육 • 지자체 단체장 등 정책 담당자의 의지 • 인센티브 지급 단가의 현실적 개선 • 기타 	

질문의 항목은 크게 3개 유형으로 구분할 수 있다. 첫 번째 유형은 성별과 연령, 경력 등에 대한 인구통계학적 설문이다. 두 번째 유형은 온실가스 배출량 산정을 위한 기초자료 수집으로 각 축산농가의 규모 대비 투입물 자료를 수집하여 축산업에서 발생하는 온실가스 발생량 파악을 목적으로 설계하였다. 세 번째 유형은 축산농가 대상 온실가스 감축 연관 활동에 대한 인센티브 소개와 적정 수준 파악이다. 해당 항목은 임영아·조원주(2017)의 「농업환경보전 프로그램 도입 방안 연구」에 수록된 설문항목 중 온실가스 배출과 직접적으로 연관이 있는 항목들을 추출하여 축산농가에서 적정한 수준으로 판단하는 인센티브 금액의 수준을 조사하고자 설계하였다. 또한, 농민들을 대상으로 인센티브 제도에서 가장 시급하게 개선되어야 부분이 무엇인지 확인하였다.

5.2.1. 응답자 특성

총 29명의 응답자 중 남자 28명, 여자 1명으로 남자 응답자의 분포가 높은 것으로 나타났고, 연령 평균은 만 52세에 영농·축산 경력은 평균 18년이였다.

각 축산농가의 연간 소득은 5천만원 ~ 7천만원이 전체의 72.41%로 가장 높은 비중을 차지하였으며, 이어서 1천만원 ~ 3천만원이 24.14%, 7천만원 이상이 3.45%로 나타났다. 3천만원 ~ 5천 미만으로 응답한 농가는 없었다. 이와 같은 축산 농가의 연간 소득은 영농농가들에 비하여서는 비교적 높기는 하나 여전히 낮은 수준의 소득에 머물러 있음을 의미하며 축산물 또한 타 제품군에 비하여 가격변동이 심한 점을 고려하면 소득이 안정적일 것으로 보기에 어렵다.

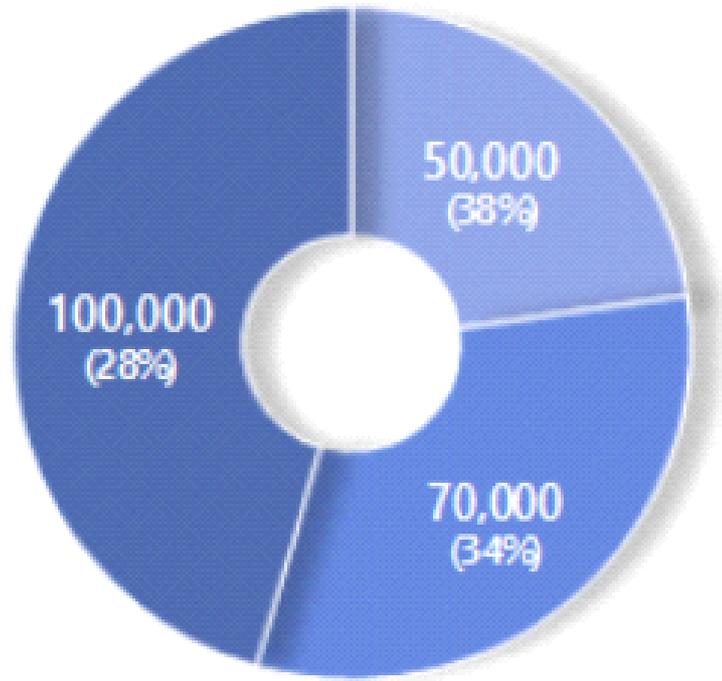
5.2.2. 온실가스 배출 감축활동에 따른 축산농가 대상 적정 인센티브 의견 자료 수집

<표 3.262> PART B. 축산에서의 저탄소 농업기술 설문 결과

구분	분야	저탄소 농업기술	"필요" 응답 비율
계량화 기술	1	장내발효 조기출하(출하일령, 도체중)	0%
		강제공기공급	24%
	3	가축분뇨 관리 기계교반	76%
		위탁처리업체의 처리방식	52%
	5	저탄소 인증자재 사용	0%
	6	에너지 절감기술 빗물 재활용 기술	0%
		7	지열 히트펌프 시스템
	8	태양광 등 신재생에너지 생산량	52%
비계량 기술	1	저메탄 사료 급이	24%
		2	저단백 사료 급이
	3	사양관리 부산물 사료 급이 (조사료를 제외한 건물량 기준 대체율 20%이상)	24%
		4	생산성 향상 장비 도입 (자동급이기, 사료빈·음수관리기, 안개분무 등)
	5	자가 조사료 면적 확인	52%
	6	분뇨의 비농업계 이용 여부	76%
		7	가축분뇨 관리 깔짚관리(로터리 교반 등)여부
	8	부숙도 검사 후 살포여부	76%
	9	기타 폐사축 처리기 활용 여부(위탁포함)	52%
		10	나무식재
자발적 감축사업 연계 시		적정금액 (1 ton CO ₂ 기준)	
			70,690원

저탄소 농업기술 중 계량화 기술 분야에서 장내발효로 인한 온실가스를 줄일 수 있는 기술은 전체적으로 필요하지 않다고 응답하였다. 가축분뇨 관리 분야에서는 강제공기공급 24%, 기계교반 76%, 위탁처리업체의 처리방식 52% 정도 필요하다고 응답하였다. 에너지 절감기술 분야에서는 저탄소 인증자재 사용, 빗물 재활용 기술, 지열 히트펌프 시스템에 대하여 필요하다는 답변은 없었지만 태양광 등 산재생에너지 생산 부분에서는 52% 정도가 필요하다고 답변하였다.

저탄소 농업기술 중 비계량화 기술 분야의 사양관리에서 생산성 향상을 위한 장비 도입은 설문조사에 참여한 전체 농민들이 필요하다고 응답하였다. 더메탄 사료 급이와 부산물 사료 급여는 24% 정도 필요하다고 응답하였고, 저단백 사료 급이 관련하여 긍정적인 답변은 없었다. 가축분뇨 관리의 경우 전반적으로 높은 비율로 필요성이 있음을 나타내었다. 분뇨의 비농업계 이용 여부, 깔짚관리 여부, 부속도 검사 후 살포 여부 부분에서 76% 정도의 농민들이 필요하다고 답변하였다. 그 외 폐사축 처리기 활용 여부는 52%, 나무 식재는 76% 정도 필요하다고 응답하였다. 자발적 감축사업 연계 시 감축량 1 ton 당 적정금액은 5만원 38%, 7만원 34%, 10만원 28%로 조사되었고 평균 금액은 7만원이다.



[그림 3.76] 축산 분야 자발적 감축사업 연계 시 인센티브 적정 금액(원)

<표 3.263> PART B Q14. 적정 수준의 축산 활동 인센티브 규모(축업 활동 인센티브 제도에서의 개선점) 설문 결과

구분	내용	비율
인센티브제도 개선점	• 축산업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에 대한 인식 제고	17.28%
	• 축산업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에 대한 교육	34.57%
	• 지자체 단체장 등 정책 담당자의 의지	25.93%
	• 인센티브 지급 단가의 현실적 개선	17.28%
	• 기타	4.94%

축산업 인센티브제도의 개선점을 조사한 결과 축산업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에 대한 교육 개선이 필요하다는 답변이 34.57%로 가장 높았다. 이어서 지자체 단체장 등 정책 담당자의 의지 25.93%, 인센티브 지급 단가의 현실적 개선 17.28%, 축산업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에 대한 인식 제고 17.28%, 기타 4.94% 순으로 나타났다.

설문조사 과정에서 실시한 비구조화 질문에 대해서는 다음과 같은 추가의견들이 있었다.

개량가축 사육에 대하여 인센티브가 산정되는 항목들에 대한 의견은 다음과 같다.

(양우농가) “육우를 기르는 것도 각 농가마다 세부적인 방식에서 차이가 있다. 품종 또한 평소 기르던 종을 기르려고 하는 경향이 있다. 인센티브 제공이 있다고 하면 시범 삼아 길러볼 수 있을 것 같다.”

(양돈농가) “새로운 품종을 길러볼 의향은 있으나 출하되는 비육돈의 품질이 어느 정도일지를 모르므로 부담이 있다. 거래처에서 좋아할지도 의문이다. 지금의 인센티브는 너무 적다.”

사료에 첨가하는 화학제품 사용 인센티브 산정 항목들에 대한 의견은 다음과 같다.

(양우농가) “급여하는 사료에 따라서 (쇠)고기의 품질이 결정된다. 평소에 쓰지 않았던 사료를 먹이는 것은 농민들 입장에서는 모험이다. 현재의 인센티브는 위험을 부담하기에 너무 적은 수준이다.”

직접적으로 인건비를 지급하는 환경보전 활동 인센티브 산정 항목들에 대한 의견은 다음과 같다.

(양돈농가) “가축분뇨(양돈폐기물 등)은 자체적으로 처리하는 것이 훨씬 수월하다. 인근 농가에 비료로 사용하고자 하는 농민들이 많다. 구태여 시간과 비용을 들여서 집

하장에 양돈폐기물을 가지고 가는 수고를 들이고 싶지 않다.”

축산업의 특성을 반영하여 온실가스 감축에 따른 적정금액(원)은 CO₂ 1 ton 기준으로 50,000원에서 100,000원으로 나타났다. 대부분이 자발적 감축사업에서 지급하고 있는 CO₂ 1 ton 기준의 10,000원이 인센티브로 적다는 의견을 나타냈다.

축산 활동에서 온실가스 저감과 연관이 있는 활동들에 대해서 축산농가의 유인을 이끌어내기 위해서는 영농 활동과 마찬가지로 천문학적인 비용이 소요될 것으로 사료된다. 선행연구에서 제시한 인센티브 금액을 기준으로 축산농가에 의견을 물어본 결과, 특히, 인건비 지급 활동에 대해서는 투입되는 시간과 노력 대비 제시된 금액이 지나치게 적다는 의견이 많았다. 사료에 첨가하는 화학제품 사용에 따른 인센티브 항목의 경우 사료 급여가 육질을 결정하는 중요한 요인이므로 참여 의향은 있으나 전체 사육두수에서 매우 적은 비중만을 시범 적용하려는 의견이 지배적이었다. 개량종 사육의 경우 선행연구에서 제시한 인센티브 금액과 축산농가의 농민들이 적정금액으로 생각하는 인센티브의 편차가 가장 적기는 하였으나 사료 급여 인센티브와 마찬가지로 품종 또한 육질을 결정하는 중요한 요인이므로 참여 의향은 있으나 전체 사육두수에서 매우 적은 비중만을 시범 적용하려는 의견이 많았다.

6. 해외사례 조사 및 종사자 요구 분석의 시사점

탄소배출권거래제와 연계하여 볼 때, EU의 탄소배출권거래제의 거래금액은 CO₂ 1 ton 기준 120,000원으로 2030년에도 유사금액을 유지하기 위해 노력하고 있는 것으로 나타났다. 반면에 국내 탄소배출권거래제의 거래금액은 CO₂ 1 ton 기준 12,000원으로 EU보다 낮은 것으로 나타났다. 하지만, 거래량이 많아지면 높아질 것으로 예상된다. 미국 농무부 산하 CCC에서 운영하고 있는 탄소은행의 CO₂ 1 ton 기준 금액이 20\$인 것으로 나타나, 국내 자발적 감축 사업의 CO₂ 1 ton 기준 10,000원보다는 높은 것으로 나타났다.

한편, 농가 설문결과를 바탕으로 살펴보면 다음과 같다.

농산물 재배농가와 축산농가 모두 현재의 자발적 온실가스 감축 사업에서 지급하고 있는 CO₂ 1 ton 기준 인센티브 10,000원은 적다는 의견을 의견으로, 농산물 재배농가는 30,000원에서 50,000원을 적정하다는 의견이었으며, 축산농가는 사료로 인한 비용이 많이 소요되어, 50,000원에서 100,000원으로 높은 것으로 나타났다.

온실가스 감축 참여 활성화를 위해서는 온실가스 저감을 위한 교육 실시, 사료업체에서의 노력 필요, 인센티브 현실화 등이 필요하다는 의견을 제시하였다.

7. 농·축산물 온실가스 감축 인센티브 설계(안)

온실가스 자발적 감축을 통해 농가에서 추가 획득할 수 있는 인센티브 금액은 온실가스 감축량 1 ton CO₂ eq. 당 1만원에 불과하다. 이는, 현재의 농·축산업 분야에서의 온실가스 배출 저감을 위한 제도를 통한 경제적 이익이 적어 현재의 정책만으로 농가의 자발적 감축 활동을 이끌어내는 것이 어렵다는 것을 의미한다.

본 연구의 제4장, 「5. 농축산업 종사자 요구 분석」 결과는 현재 논의가 이루어지고 있는 수준의 단계에서 농업 종사자들의 온실가스 배출 저감 노력을 자발적으로 이끌어내는 것이 매우 어려움을 단적으로 보여준다. KRX 배출권시장 정보 플랫폼 기준 1 ton CO₂ eq.의 온실가스 배출권 가격 2023년 9월 17일 기준 11,000원으로 설정되어있다. 이는 농업 종사자 요구 분석에서 가장 많은 응답 비율을 차지한 50,000원(61%)의 약 1/5 수준이다. 이마저도 농민들이 적정 금액으로 생각하는 금액의 20% 수준이며, 실질적으로 농가에서 온실가스 감축 노력을 통해 줄일 수 있는 온실가스 배출량의 양은 절대적으로 수치가 작아, 농가에서 인센티브를 통해 얻을 수 있는 경제적 이득 또한 절대적으로 적다. 예를 들어, 물대기 방법 중 가장 많은 온실가스를 배출하는 유기물 시용-상시담수를 물대기의 기준 값으로 볼 수 있는 유기물 시용-천수담(상습가뭄), 유기물 미시용-상시담수로 변경하여 물대기에서 발생하는 온실가스 배출량을 40% 수준으로 줄인다고 하더라도, 벼 1 ton 생산에서 저감할 수 있는 온실가스의 양은 약 1 ton CO₂ eq.이며, 이는 온실가스 배출권 가격으로 환산할 경우 약 1.1만원이다. ha 단위로 환산할 경우(벼 1 ton ≍ 1.8 ha), 온실가스 배출권 가격은 1 ha에 약 6천원 수준이며, 이는 본 연구에서 수집한 기초 자료인 1 ha당 경작 비용 153.6만원에 대비하였을 때 약 0.4% 수준에 불과하다.

축산물의 경우 2023년 현재까지도 명맥을 이어가고 있는 농림축산식품부의 「친환경안전축산물직불제」를 국내 유일의 축산 농가 대상 인센티브 제도로 볼 수 있으나, 이 또한 유기축산물¹¹⁸⁾ 및 무항생제 축산물만을 대상으로 하기 때문에, 축산물 생산과정에서의 온실가스 배출량과 직접적으로 연관이 있다고 보기는 어렵다.

118) 유기축산물의 기준에 맞게 생산된 유기사료(비식용유기가공품)를 급여하면서 일정한 인증기준을 지켜 생산한 축산물(「농림축산식품부 소관 친환경농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률 시행규칙」 별표 3 제3호)

축산업 종사자 요구 분석 결과 또한 현재 단계에서 축산업 종사자들의 온실가스 배출 저감 노력을 자발적으로 이끌어내는 것이 현실적으로 어려움을 보여준다. 온실가스 배출권 가격 11,000원은 축산업 종사자 요구 분석에서의 평균 금액인 70,000원의 약 1/7 수준이며, 실질적으로 축산농가에서 온실가스 감축 노력을 통해 줄일 수 있는 온실가스 배출량의 양 또한 농업 종사자들과 마찬가지로 절대적인 수치가 작아, 축산농가에서 인센티브를 통해 얻을 수 있는 경제적 이득 또한 절대적으로 적다. 예를 들어, 소 생산 과정 중 가장 많은 비중을 차지하는 장내발효를 저메탄사료 이용을 통해 50% 가량 감소시키는 것을 가정하더라도, 소 1 마리 생산에서 저감할 수 있는 온실가스량은 약 5.5 ton CO₂ eq. 이며, 이는 온실가스 배출권 가격으로 환산할 경우 약 6만원이다. 이는 통계청(2023)의 2022년 축산물 생산비조사 결과¹¹⁹⁾의 한우 비육우 생산비 가격인 840만원에 대비하였을 때 0.7% 수준에 불과하다.

<표 3.264> 국내산 7개 농·축산물의 전과정 온실가스 배출량

		구분	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-제품)	비율(%)
벼	자재 생산	비료 생산	0.1274	4.76
		농약 생산	0.1629	6.08
	생산	물 대기	1.6255	60.71
		비료 시비	0.1905	7.12
		에너지 생산 및 사용	0.5245	19.59
		도정	0.0465	1.74
		수송	-	-
합계		2.6772	100.00	
밀	자재 생산 및 생산	비료	0.5125	81.50
		농약	0.0025	0.40
		에너지 생산 및 사용	0.0775	12.33
	제분	0.0363	5.77	
	합계		0.6288	100.00
육수수	자재 생산	비료 생산	0.0336	7.02
		농약 생산	0.0018	0.38
	생산	비료 시비	0.0515	10.76
		에너지 생산 및 사용	0.3917	81.84
	수송	-	-	
합계		0.4786	100.00	

119) 통계청(2023). 2022년 축산물생산비조사 결과.

		구분	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg-제품)	비율(%)
쇠고기	자재 생산	사료 생산	9.6442	32.42
		장내 발효	11.0849	37.26
	사육	분뇨 처리	6.4206	21.58
		에너지 생산 및 사용	1.9229	6.46
	도축가공	도축	0.4686	1.58
		가공	0.1770	0.60
	유통		0.0292	0.10
		합계	29.7474	100.00
돼지고기	자재 생산	사료 생산	4.7303	65.50
		장내 발효	0.2502	3.47
	사육	분뇨 처리	1.7504	24.24
		에너지 생산 및 사용	0.0826	1.14
	도축가공	도축	0.2794	3.87
		가공	0.1043	1.44
	유통		0.0242	0.34
		합계	7.2215	100.00
닭고기	자재 생산	사료 생산	2.3106	56.80
		장내 발효	-	0.00
	사육	분뇨 처리	0.5184	12.75
		에너지 생산 및 사용	0.5500	13.52
	도계가공	도계	0.1760	4.33
		가공	0.4755	11.69
	유통		0.0372	0.91
		합계	4.0677	100.00
우유	자재 생산	사료 생산	0.3891	26.65
		장내 발효/ 에너지 생산 및 사용	0.8170	55.96
	사육	분뇨 처리	0.1650	11.30
		생산	0.0889	6.09
		합계	1.460	100.00

국내 농·축산업과 직접적으로 연관된 온실가스 감축 정책은 상당히 제한적인 범위에서 마련이 되어 있다. 이마저도, 벼와 쇠고기, 우유의 경우, 물 대기와 장내 발효가 상품 생산 전과정에 걸쳐 가장 많은 온실가스를 배출하는 단계임이 명확하고(<표 3.264>), 해당 단계에서의 산정 과정 또한 체계화되어있어 인센티브 제도 설계로의 응용이 용이한 측면이 있다. 반면, 벼와 쇠고기, 우유 이외

품목인 밀, 옥수수, 돼지고기, 닭고기의 경우, 투입 물질 및 에너지 사용에서 특별한 감축 요인을 찾기가 어렵다. 예를 들어, 본 연구에서 밀의 표본 특성은 농가 표본이 모두 소작농이며, 표본 수가 충분하지 않다는 한계가 있다. 이는 다르게 해석을 하자면 본 연구에서의 밀은 소작농가의 특성이 국내 밀 생산을 대표하는 것으로 볼 수 있다. 이러한 표본집단의 한계를 미국과 같이 밀을 대량생산하는 국가와 단위 면적 당 투입물(비료, 농약 등)을 기준으로 비교할 경우, 국내 생산 밀의 단위 면적 당 투입물의 양은 압도적으로 많을 수 밖에 없으며, 이로부터 생산되는 단위 생산량에서 각 투입물질이 차지하는 온실가스 간접배출량이 차지하는 비중 또한 밀을 대량 생산하는 국가의 온실가스 배출량과는 확연한 차이를 보일 수 밖에 없다.

<표 3.265> 국내외 3개 축산물의 전과정 온실가스 배출량

구분	단계	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg 축산물)				
		국내산	미국	일본	프랑스	브라질
쇠고기	사료 생산	9.6442	7.4200	34.3000	-	-
	사육	19.4284	28.5100		-	-
	도축/가공	0.6456	7.2100	0.0400	-	-
	유통	0.0292	0.4600	0.6700	-	-
	소비	-	2.0100	0.2400	-	-
	합계	29.7474	45.6100	35.2500	-	-
돼지고기	자재 생산	4.7303	4.60	12.34	3.68~6.36	-
	사육	2.0832				-
	도축/가공	0.3838	-	-	-	-
	유통	0.0242	0.1500	-	-	-
	소비	-	-	-	-	-
	합계	7.2214	4.7500	12.34	3.68~6.36	-
닭고기	자재 생산	1.9593	1.5049	2.7451	3.1293	2.1832
	사육	0.9060	3.9126	1.4260	0.9952	0.7594
	도축/가공	0.5524	-	1.3191	0.4104	0.0678

구분	단계	온실가스 배출량 (kg CO ₂ eq./kg 축산물)				
		국내산	미국	일본	프랑스	브라질
	유통	0.0316	0.2608	0.0424	0.0145	0.1763
	합계	3.4493	5.6783	5.5325	4.5494	3.1866

돼지고기, 닭고기 또한 유사한 해석이 가능하다. 돼지고기와 닭고기의 경우 사료 생산 단계에서 차지하는 비중이 각각 65.5%, 56.3%를 차지하는데, 이는 해외 육류 전과정과 비교하여서도 크게 차이가 나는 것으로 보기 어렵다. 단, 사료의 주성분인 대두, 밀, 옥수수를 배출계수에서는 전량 해외에서 수입하는 것으로 가정하고 있어 이로 인하여 국내에서의 돼지고기, 닭고기 생산 과정 중 사료 급여에서의 온실가스 배출량이 다른 나라에 비하여서는 상대적으로 높게 산정될 여지가 있으나, 일반적으로 제품의 수송 단계에서 발생하는 온실가스 배출량은 제품의 전과정에서 발생하는 온실가스 배출량에 비하여 차지하는 비중이 미미하므로 수입산 사료 이용에 따른 온실가스 배출량은 후속연구를 통하여 보다 면밀하게 해당 지점에 초점을 맞춘 분석이 필요할 것으로 사료된다.

벼와 쇠고기, 우유 이외 품목인 밀, 옥수수, 돼지고기, 닭고기의 경우 소작농의 특성, 그리고 해외로부터의 전량 사료 원재료 수입 문제로 인하여 국내 생산은 해외 생산물을 소비하는 것에 비하여 단계별 온실가스 배출량 관점에서는 이점이 없는 것으로 해석이 이루어진다. 정리하자면, 온실가스 배출량 감축 측면에서 밀, 옥수수, 돼지고기, 닭고기의 국내 생산은 이점이 없는 것이다.

그러나, 이는 온실가스 배출량 감축이라는 지협적인 측면에서의 해석이므로, 본 관점에서 정책적 효익을 취할 수 있는 영역은 분명히 존재한다. 특히, 벼와 소고기, 우유의 경우가 온실가스 배출량의 관점에서는 정책적 적합성이 있는 항목으로 볼 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 '23년을 기준으로 새로 산정된 7개 대표 농·축산물 중 벼와 소고기, 우유에 집중하여 온실가스 배출량 산정 결과를 바탕으로 연구 대상별 인센티브 안을 제시하고자 한다.

7.1. 논 물대기 차이에 따른 온실가스 인센티브(안) 설계

본 연구에서 구분하고 있는 논 물대기 방법별 온실가스 발생량은 유기물 시용 여부, 답수 형태(① 상시답수, ② 간단관개 1회 후 중간낙수(1주 이상, 2주 미만), ③ 간단관개 2회 이상 후 중간낙수(2주 이상), ④ 천수답(상습가뭄))에 따라 총 8가지로 구분이 가능하며, 구분 기준에 따라 최소 0.4배(유기물 미시용 천수답)에서 최대 2.5배까지의 온실가스 배출량 차이를 보인다(<표 3.266>). 또한, 온실가스 배출량 산정 결과에 따르면 국내 생산 벼의 전과정에서 발생하는 온실가스 배출량 14.9430 ton CO₂ eq./ha 중 물대기에서 발생하는 온실가스 배출량은 9.0726 ton CO₂ eq./ha로 전체 온실가스 배출량의 60.7%를 차지한다.

<표 3.266> 논 물대기 방법별 보정계수 비교표

구분	벼 재배 물관리 보정계수 (A)	유기물 시용 보정계수 (B)	보정계수 합산 (A×B)	재배면적 비중 (%)	
유기물 시용	상시답수	1.00	2.50	2.50	6.4
	간단관개(1회)-중간낙수 (1주이상-2주미만)	0.66	2.50	1.65	25.5
	간단관개(2회 이상)-중간낙수 (2주이상)	0.49	2.50	1.23	21.5
	천수답(상습가뭄)	0.40	2.50	1.00	0.4
유기물 미시용	상시답수	1.00	1.00	1.00	5.9
	간단관개(1회)-중간낙수 (1주이상-2주미만)	0.66	1.00	0.66	21.6
	간단관개(2회 이상)-중간낙수 (2주이상)	0.49	1.00	0.49	18.4
	천수답(상습가뭄)	0.40	1.00	0.40	0.3

이 중, ① 유기물을 시용하는 천수답(상습가뭄)과 ② 유기물을 시용하지 않는 상시답수는 보정계수 합산 값이 1로, 해당 값을 기준으로 ha 당 온실가스 배출량 9.0726 ton CO₂ eq./ha는 인센티브 지급의 기준 지점이 될 수 있다.

그러나, 국내 관행 벼농가 여건 상 ① 유기물을 시용하는 천수답(상습가뭄)과

② 유기물을 시용하지 않는 상시답수는 일반적인 논 물대기 방법이 아니며, 조사 표본 중 2개 간단관개 방법이 87.0%로 가장 많은 비중을 차지하였다.

이러한 근거를 바탕으로 연구진은 다음 3개의 전제를 제안한다. 첫째, 천수답(상습가뭄)을 제외한 유기물 시용의 경우 물대기 방법에 따른 온실가스 감축량 인센티브를 제공받을 수 없다. 둘째, 유기물 시용 간단관개 2회 이상을 기준으로 하였을 때, 유기물을 시용한 천수답과 유기물을 시용하지 않은 상시답수는 18.7%, 유기물을 시용하지 않은 간단관개 1회 및 2회 이상은 각각 46.3%, 60.2%, 유기물을 시용하지 않은 천수답(상습가뭄)은 67.5%이므로 해당 비중만큼을 ha 당 온실가스 발생량에 추가 가산한다(<표 3.267>). 셋째, 온실가스 감축에 따른 인센티브 금액은 KRX 배출권시장 정보플랫폼 가격(2023년 10월 9일 기준, <https://ets.krx.co.kr/main/main.jsp>)인 11,700원 / ton CO₂ eq.를 기준으로 하며, 정책 실행 편의를 위하여 5,000원 단위로 반올림한다. 위 3개 제안 사항을 기준으로 도출한 논 물대기에 따른 인센티브 설계 내용은 <표 3.268>과 같다.

<표 3.267> 논 물대기 방법별 인센티브 지급액 산정 과정

구 분	논 물대기에서의 온실가스 배출량 (t CO ₂ eq./ha)	가중치 적용 온실가스 저감량 (t CO ₂ eq./ha)	인센티브 금액 (원)	
상시답수	22.68	-	-	
유기물 시용	간단관개(1회)-중간낙수 (1주이상-2주미만)	14.97	-	
	간단관개(2회 이상)-중간 낙수(2주이상)	11.16	-	
천수답(상습가뭄)	9.07	1.19	13,888	

상시답수	9.07	1.19	13,888	
유기물 미시용	간단관개(1회)-중간낙수 (1주이상-2주미만)	5.99	4.51	52,801
	간단관개(2회 이상)-중간 낙수(2주이상)	4.44	7.41	86,681
천수답(상습가뭄)	3.63	9.11	106,637	

<표 3.268> 논 물대기 방법별 인센티브 지급액

구 분	인센티브 지급액	
상시답수	-	
유기물 시용	간단관개(1회)-중간낙수 (1주이상-2주미만)	-
	간단관개(2회 이상)-중간낙수 (2주이상)	-
천수답(상습가뭄)	1.5만원 / ha	
<hr/>		
상시답수	1.5만원 / ha	
유기물 미시용	간단관개(1회)-중간낙수 (1주이상-2주미만)	5만원 / ha
	간단관개(2회 이상)-중간낙수 (2주이상)	8.5만원 / ha
천수답(상습가뭄)	10.5만원 / ha	

위 금액은 유기물 미시용 간단관개 2회 이상 기준(8.5만원)으로, 1 ha당 경작 비용 153.6만원에 대비하였을 때 약 5.5% 수준으로 농가의 자발적 참여를 이끌어내기에는 여전히 절대적으로 부족한 금액이다. 하지만, 인센티브 지급액의 기준이 온실가스 배출권 시장 가격에 근거하므로, 시장 변화에 따라서 농가의 관심도 또한 달라질 수 있다. 예를 들어, 유럽의 온실가스 배출권 선물(CFI2Z3) 가격은 2023년 10월 9일 기준 81.7 EUR로 한화로는 11.7만원이다. 즉, 현재보다 약 10배 높은 가격으로 인센티브 지급액이 결정되는 것을 가정하였을 때, 유기물 미시용 간단관개 2회 이상 기준 지급액은 85만원까지 시장 가격 형성이 가능한 것으로 예상할 수 있으며, 이는 경작 비용에 55.3%를 충당할 수 있는 금액이다. 즉, 본 연구에서 제시하는 논 물대기 방법별 인센티브 설계안은 향후 온실가스 배출권 가격 변동에 따라 효익 또한 달라지는 특징이 있는 것으로 볼 수 있다. 또한, 현재의 배출권 가격을 기준으로 인센티브 지급에 필요한 예산을 추정할 경우, 유기물 미시용 간단관개 2회 이상 논 물대기 방법에 따른 인센티브 지급액 8.5만원을 국내 쌀 전업농 경영면적 37.5만 ha¹²⁰⁾에 단순 대입하면 약 320억의 예산이 필요한 것으로 추정할 수 있다.

120) e-나라지표, 쌀 전업농 경영면적 비중,
https://www.index.go.kr/unity/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2704

7.2. 저메탄사료 급여에 따른 온실가스 인센티브(안) 설계

축산물(쇠고기, 돼지고기) 및 우유의 온실가스 배출량 산정결과에 따르면 국내 생산 쇠고기의 전과정에서 발생하는 온실가스 배출량 7.7042 ton CO₂ eq./1 beef cattle 중 사료 생산이 차지하는 온실가스 배출량은 2.4977 ton CO₂ eq./1 beef cattle, 장내 발효는 2.8706 ton CO₂ eq./1 beef cattle, 분뇨 처리는 1.6626 ton CO₂ eq./1 beef cattle로 각각 32.42%, 37.26%, 21.58%를 차지하며 3개 항목이 전체 온실가스 배출량에서 차지하는 비중은 91.16%에 달한다. 또한, 우유의 경우 젖소 한 마리의 연간 우유 생산량을 5 ton으로 가정하면, 전과정에서 발생하는 온실가스 배출량 7.3 ton CO₂ eq./1 dairy cattle 중 사료 생산이 차지하는 온실가스 배출량은 1.95 ton CO₂-eq./1 dairy cattle, 장내 발효는 4.09 ton CO₂ eq./1 dairy cattle, 분뇨 처리는 0.82 ton CO₂ eq./1 dairy cattle로 각각 26.65%, 55.96%, 11.30%를 차지하며 3개 항목이 전체 온실가스 배출량에서 차지하는 비중은 93.91%에 달한다. 돼지고기의 경우에도 생산 과정 전체 온실가스 배출량 0.5416 ton CO₂ eq./1 pig 중 사료 생산이 차지하는 온실가스 배출량은 0.3548 kg CO₂ eq./1 pig, 장내 발효가 차지하는 온실가스 배출량은 0.0188 ton CO₂ eq./1 pig, 분뇨 처리가 차지하는 온실가스 배출량은 0.1313 ton CO₂ eq./1 pig로 각각 65.50%, 3.47%, 24.24%를 차지하며 3개 항목이 전체 온실가스 배출량에서 차지하는 비중은 93.21%에 달한다.

네덜란드의 건강 영양제 전문업체 D社가 개발한 3-NOP(3-Nitrooxy propanol)은 장내 메탄가스를 효과적으로 저감시키는 제품으로 주목받고 있다. Dorian et al.(2019)에 따르면 젖소의 경우 기본 사료에 3-NOP를 소량(기본 사료 1 kg에 약 40 ~ 80 mg) 혼합하여 급여하였을 때 약 21% ~ 23% 가량 메탄가스량이 저감되는 것으로 나타났다¹²¹⁾. Audino et al.(2021)의 연구에서 또한 젖소의 기본 사료에 3-NOP를 60 mg 혼합하여 급여하였을 때 약 26%가량 메탄가스량이 저감되는 것으로 나타났다¹²²⁾.

121) Dorian Van Wesemael, Leen Vandaele, Sophie Huysveld, Ulla Letinois, Sam De Campeneere, Veerle Fievez, Maik Kindermann, Nico Peiren(2019). 3-nitrooxypropanol mitigates enteric methane with a minimal impact on the feedprint, 7th Greenhouse Gas and Animal Agriculture Conference

122) Audino Melgar Moreno, Camila. F. de Asis Lage, Krum Nedelkov, Susanna E., Räisänen, Hannah A. Stefenoni, Molly E. Young, Xianjiang Chen, Joonpyo Oh, Stephane Duval, Maik Kindermann, Nicola D. Walker and Alexander N. Hristov(2021). Enteric gas emissions and lactational performance of dairy cows fed 3-nitrooxypropanol: A meta-analysis, Journal of Dairy Science, Vol. 104, No. 1, pp. 357-366. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18908>

비육우에서는 3-NOP의 저감량이 더욱 증가하였다. Stefan et al.(2019)에 따르면 비육우에 3-NOP를 일일 2.5 g 급여하였을 때 약 52% 가량 메탄가스량이 저감되는 것으로 나타났다¹²³⁾. Alexander and Audino(2019)의 연구에서 또한 비육우의 기본 사료에 3-NOP를 60 mg 혼합하여 급여하였을 때 최대 45%가량 메탄가스량이 저감되는 것으로 나타났다¹²⁴⁾.

그러나, 3-NOP는 아직 상용화 단계에 있는 제품이며, 돼지의 경우 장내발효가 전체 온실가스 배출량에서 차지하는 비중이 적어 젖소, 비육우와 같이 저메탄사료 급여에 대한 온실가스 저감 인센티브 제공의 효익이 없다.

위 근거를 바탕으로 연구진은 저메탄사료의 상용화를 가정하고 다음과 같은 전제를 제안한다.

비육우에 대한 제안 사항은 다음의 3개 전제이다. 첫째, 인센티브 제공의 기능단위는 소 1 두(650 kg)에 수율 40.77%를 적용한 265 kg를 기준으로 하며 이를 토대로 소 1 두(650 kg) 출하 시 생산과정까지의 온실가스 배출량은 8 ton CO₂ eq./1 beef cattle, 장내발효에서 발생하는 온실가스 배출량은 3 ton CO₂ eq./1 beef cattle로 설정한다. 둘째, 저메탄사료 급여에 따른 메탄 저감율은 50%로 설정한다. 셋째, 온실가스 감축에 따른 인센티브 금액은 KRX 배출권시장 정보플랫폼 가격(2023년 10월 9일 기준)인 11,700원 / ton CO₂ eq.를 기준으로 하며, 정책 실행 편의를 위하여 5,000원 단위로 반올림한다.

젖소에 대한 제안 사항은 다음의 2개 전제이다. 첫째, 인센티브 제공의 기능단위를 우유 10 ton으로 설정하고, 장내발효에서 발생하는 온실가스 배출량은 8 ton CO₂ eq./10 ton of milk로 설정한다. 둘째, 저메탄사료 급여에 따른 메탄 저감율은 25%로 설정한다. 셋째, 온실가스 감축에 따른 인센티브 금액은 KRX 배출권시장 정보플랫폼 가격(2023년 10월 9일 기준)인 11,700원 / ton CO₂ eq.를 기준으로 하며, 정책 실행 편의를 위하여 5,000원 단위로 반올림한다.

123) Stefan Muetzel, Katherine Lowe, Peter H. Janssen, David Pacheco, Nathan Bird, Nicola Walker, Olivia Vidoni, Loni Schweikert, Laure Clasadonte and Maik Kindermann(2019). Towards the application of 3-nitrooxypropanol in pastoral farming systems, 7th Greenhouse Gas and Animal Agriculture Conference - August 4th to 8th, Iguassu Falls/Brazil

124) Alexander N. Hristov and Audino Melgar Moreno(2019). Short communication: Relationship of dry matter intake with enteric methane emission measured with the GreenFeed system in dairy cows receiving a diet without or with 3-nitrooxypropanol, *Animal*, Vol 14, Supplement 3, pp. s484-s490, <https://doi.org/10.1017/S1751731120001731>

위 3개 제안 사항을 기준으로 비육우·젖소 저메탄사료 급여에 따른 인센티브 설계 내용은 <표 3.269>과 같다.

<표 3.269> 비육우·젖소 저메탄사료 급여에 따른 인센티브 지급액

구 분	인센티브 지급액
비육우	2.0만원(1.75만원) / 비육우 1두
우유 10 ton	2.0만원(2.34만원) / 우유 10 ton

위 금액은 한우 비육우 생산비 가격인 840만원에 대비하였을 때 0.2% 수준으로 벼의 인센티브 금액과 마찬가지로 축산농가의 자발적 참여를 이끌어내기에는 절대적으로 부족한 금액이다. 하지만, 비육우·젖소의 온실가스 배출 저감 활동 인센티브 지급액 기준 또한 온실가스 배출권 시장 가격에 근거하므로, 시장 변화에 따라서 농가의 관심도 또한 달라질 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 유럽의 온실가스 배출권 선물(CFI2Z3) 가격은 2023년 10월 9일 기준 한화로 약 11.7만원이므로, 현재보다 약 10배 높은 가격으로 인센티브 지급액이 결정되는 것을 가정하였을 때, 저메탄사료 급여에 따른 비육우·우유 10 ton의 인센티브 금액은 각각 17.5만원, 23.5만원까지 시장 가격 형성이 가능한 것으로 예상할 수 있다. 즉, 본 연구에서의 비육우·젖소의 온실가스 배출 저감 활동 인센티브 설계안 또한 온실가스 배출권 가격 변동에 따라 효익 또한 달라지는 것으로 볼 수 있다.

또한, 현재의 배출권 가격을 기준으로 인센티브 지급에 필요한 예산을 추정할 경우, 비육우·젖소 저메탄사료 급여에 따른 인센티브 지급액 2만원/비육우 1 두, 2만원/우유 10 ton을 국내 비육우 사육두수 약 350만 두¹²⁵⁾, 160만 ton/우유¹²⁶⁾에 단순 대입하면 각각 약 700억, 320억의 예산이 필요한 것으로 추정할 수 있다.

125) KOSIS, 한우 시도/사육규모별 농장수 및 마리수,

https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EO221&conn_path=I2

126) 낙농진흥회, 원유생산통계, https://www.dairy.or.kr/kor/sub05/menu_01_3_1.php

비육우 및 젖소에 대한 저메탄사료 급여는 저메탄사료 원료 가격 할인과 같은 형태로도 설계가 가능하다. 이 때, 비육우와 젖소에 대한 공통 전제 사항은 저메탄사료의 기본 화학성분(예, 3-NOP) 일일 급여량을 2.5 g으로 가정하는 것이다. 이를 비육우 및 젖소에 각각 대입하면, 비육우는 출하시까지 2,735.5 g을 소비하며, 젖소는 연간 2마리가 10 ton의 우유를 생산하므로 저메탄사료의 원료는 1,825.0 g을 소비하는 것으로 볼 수 있다. 저메탄사료 가격 할인 인센티브 또한 정책 실행 편의를 위하여 500원 단위로 반올림하여 이를 <표 3.269>의 결과에 대입하면, 비육우용 저메탄사료는 1 kg당 6,500원, 젖소용 저메탄사료는 1 kg당 13,000원 할인된 가격으로 농가에 제공하는 방법을 고안해볼 수 있다<표 3.271>.

<표 3.270> 비육우·젖소 저메탄사료 제공 가격 할인 인센티브 안

구 분	인센티브 지급액
비육우	6,500원(6,397.37원) / 저메탄사료 1 kg
우유 10 ton	13,000원(12,821.92원) / 저메탄사료 1 kg

위 제안 사항 또한 축산농가의 자발적 참여를 이끌어내기에는 절대적으로 부족한 금액으로 보여지나, 비육우 1두 또는 우유 10 ton 당 인센티브 지급 정책과 마찬가지로 비육우·젖소의 온실가스 배출 저감 활동 인센티브 지급액 기준 또한 온실가스 배출권 시장 가격에 근거하므로, 시장 변화에 따라서 농가의 관심도 또한 달라질 수 있다. 또한, 온실가스 배출권 가격 및 저메탄사료의 원료가 되는 화학물질의 가격 변화에 따라 사료 지급액 할인 금액 또한 정책 당국이 유동적으로 설정이 가능하다는 장점이 있다.

7.3. 밀, 옥수수, 돼지고기, 닭고기 생산과정에서의 온실가스 배출량 저감 한계와 인센티브 제도 실효성에 대한 논의

밀의 국내 재배의 경우 다른 국가들과 비교하였을 때, 우리나라의 토양 및 기후가 밀 재배에 적합하지 않아 비료 투입이 많은 경향성을 보이며, 재배면적이 넓은 미국과 호주에 비해 재배면적이 적은 국내의 비료 사용량이 상대적으로 높다. 본 연구에서 또한 국내 밀 생산과정 중 비료에서 발생하는 온실가스 배출량은 0.5125 kg CO₂ eq.로 전체 밀 생산과정에서 발생하는 온실가스 배출량의 81.42%를 차지하였으며, 이는 미국에 비하여서는 3.10배(0.1656 kg CO₂ eq.), 호주에 비하여서는 3.83배(0.1338 kg CO₂ eq.) 많은 수치이다. 즉, 이와 같은 국내 밀 생산 과정 중 비료 시비에서의 온실가스 배출량은 우리나라 농업 환경 특성에서 기인한 불리함으로 볼 수 있다.

옥수수의 경우는 작물 특성상 용도에 따라 온실가스 배출량의 편차가 존재하며, 이를 감안하더라도 국내 옥수수의 온실가스 배출량은 다른 국가들에 비하여 상대적으로 높다는 특징이 있다(최대 2.35배). 즉, 옥수수는 가공단계 이전 생산까지의 온실가스 배출량을 타국과 단순 비교하는 것이 어려우며, 단순 비교를 수행하더라도 밀과 마찬가지로 온실가스 배출량 측면에서는 다소 불리함이 있는 것으로 해석이 된다. 따라서, 본 연구의 3개 분석 대상 농산물 품목인 벼, 밀, 옥수수 중 벼를 제외한 2개 품목의 경우 온실가스 배출량 저감에 대한 인센티브 제도는 효익이 크지 않은 것으로 간주할 수 있다.

같은 맥락에서, 쇠고기를 제외한 돼지고기, 닭고기의 경우, 사료 급여 단계가 전체 배출량의 과반 이상을 차지하며(돼지고기 65.50%, 닭고기 56.80%), 옥수수는 돼지 사료의 41.57%, 육계 사료의 43.80%를 차지할 만큼 가축 사료 성분에서 차지하는 비중이 높은 품목이다. 또한, 본 연구에서 축산물 온실가스 배출량 산정을 위해 활용한 농촌진흥청(2022)의 사료 배출계수(1.45E+00) 또한 계수 활용의 전제로 사료 구성 성분 전체의 원산지를 수입으로 설정하고 있다.

사료 성분 전체를 국내산 원료로 구성할 경우 온실가스 배출이 감소할만한 여지는 있을 수 있으나, 본 연구에서의 밀, 옥수수 온실가스 배출량 산정 결과를 미루어 보았을 때 그 차이는 미미하거나 오히려 더 많은 온실가스 배출량이 산정될 가능성이 존재하며, 이는 밀, 옥수수와 마찬가지로 돼지고기, 닭고기 또한 온실가스 배출량 저감에 따른 인센티브 지급의 효익이 적은 것으로 볼 수 있다.

PART A. 농산물 생산 관련 조사

※ 농업활동은 농업환경에 다양한 영향을 미칩니다. 영농활동을 통한 온실가스 배출, 화학 비료 및 농약의 과다 사용으로 인한 토양 및 수질 오염, 농자재 및 축산 폐기물 등의 환경부하가 발생하기는 하나, 이는 식량생산, 홍수조절, 지하수 함양, 수질정화, 생태계 유지, 농촌 형성, 관광 기능 활성화, 여가 기회 제공 등 다양한 사회적 편익을 창출합니다. 본 설문에서는, 하단의 질문들을 통해 농업활동의 사회적 비용과 편익을 정량화하고자 합니다.

	전력사용량 및 납부요금																								
1. 전기 (한전고지서를 이용하시면 됩니다.)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">만</td> <td style="text-align: center;">천</td> <td style="text-align: center;">백</td> <td style="text-align: center;">십</td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: center;">영점</td> <td style="text-align: center;">영점</td> <td style="text-align: right;">kWh</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: center;">영일</td> <td></td> </tr> </table>									만	천	백	십	일	영점	영점	kWh						일	영일	
만	천	백	십	일	영점	영점	kWh																		
					일	영일																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">백만</td> <td style="text-align: center;">십만</td> <td style="text-align: center;">만</td> <td style="text-align: center;">천</td> <td style="text-align: center;">백</td> <td style="text-align: center;">십</td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: right;">원</td> </tr> </table>									백만	십만	만	천	백	십	일	원									
백만	십만	만	천	백	십	일	원																		
2. 면세경유 (면세유류관리대 장을 이용하시면 됩니다.)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">만</td> <td style="text-align: center;">천</td> <td style="text-align: center;">백</td> <td style="text-align: center;">십</td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: center;">영점</td> <td style="text-align: center;">영점</td> <td style="text-align: right;">L</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: center;">영일</td> <td></td> </tr> </table>									만	천	백	십	일	영점	영점	L						일	영일	
만	천	백	십	일	영점	영점	L																		
					일	영일																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">백만</td> <td style="text-align: center;">십만</td> <td style="text-align: center;">만</td> <td style="text-align: center;">천</td> <td style="text-align: center;">백</td> <td style="text-align: center;">십</td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: right;">원</td> </tr> </table>									백만	십만	만	천	백	십	일	원									
백만	십만	만	천	백	십	일	원																		
3. 면세휘발유 (면세유류관리대 장을 이용하시면 됩니다.)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">만</td> <td style="text-align: center;">천</td> <td style="text-align: center;">백</td> <td style="text-align: center;">십</td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: center;">영점</td> <td style="text-align: center;">영점</td> <td style="text-align: right;">L</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: center;">영일</td> <td></td> </tr> </table>									만	천	백	십	일	영점	영점	L						일	영일	
만	천	백	십	일	영점	영점	L																		
					일	영일																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">백만</td> <td style="text-align: center;">십만</td> <td style="text-align: center;">만</td> <td style="text-align: center;">천</td> <td style="text-align: center;">백</td> <td style="text-align: center;">십</td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: right;">원</td> </tr> </table>									백만	십만	만	천	백	십	일	원									
백만	십만	만	천	백	십	일	원																		
4. 면세등유 (면세유류관리대 장을 이용하시면 됩니다.)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">만</td> <td style="text-align: center;">천</td> <td style="text-align: center;">백</td> <td style="text-align: center;">십</td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: center;">영점</td> <td style="text-align: center;">영점</td> <td style="text-align: right;">L</td> </tr> <tr> <td colspan="5"></td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: center;">영일</td> <td></td> </tr> </table>									만	천	백	십	일	영점	영점	L						일	영일	
만	천	백	십	일	영점	영점	L																		
					일	영일																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">백만</td> <td style="text-align: center;">십만</td> <td style="text-align: center;">만</td> <td style="text-align: center;">천</td> <td style="text-align: center;">백</td> <td style="text-align: center;">십</td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: right;">원</td> </tr> </table>									백만	십만	만	천	백	십	일	원									
백만	십만	만	천	백	십	일	원																		
5. 인건비	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">백만</td> <td style="text-align: center;">십만</td> <td style="text-align: center;">만</td> <td style="text-align: center;">천</td> <td style="text-align: center;">백</td> <td style="text-align: center;">십</td> <td style="text-align: center;">일</td> <td style="text-align: right;">원</td> </tr> </table>									백만	십만	만	천	백	십	일	원								
백만	십만	만	천	백	십	일	원																		

Q02. 귀댁의 작년 농사규모(경작면적)은 어떻게 되십니까? 해당되는 것에만 재배 면적을 적어주십시오. (귀댁 토지 소유와 타인 토지 임대를 포함한 경작 총 면적)

	재배 면적 (임대 포함)																		
1. 벼	<table border="1"> <tr> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>십</td><td>만</td><td>천</td><td>백</td><td>십</td><td>일 평</td> </tr> <tr> <td>만</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>	<input type="text"/>	십	만	천	백	십	일 평	만										
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>														
십	만	천	백	십	일 평														
만																			
2. 밀	<table border="1"> <tr> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>십</td><td>만</td><td>천</td><td>백</td><td>십</td><td>일 평</td> </tr> <tr> <td>만</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>	<input type="text"/>	십	만	천	백	십	일 평	만										
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>														
십	만	천	백	십	일 평														
만																			
3. 옥수수	<table border="1"> <tr> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>십</td><td>만</td><td>천</td><td>백</td><td>십</td><td>일 평</td> </tr> <tr> <td>만</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>	<input type="text"/>	십	만	천	백	십	일 평	만										
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>														
십	만	천	백	십	일 평														
만																			

Q03. 귀댁의 작년 농산물 생산량은 어떻게 되십니까? 해당되는 것에만 생산량을 적어 주십시오. (귀댁 토지 소유와 타인 토지 임대를 포함한 총 생산량)

	생산량 (임대 포함)																					
1. 벼	<table border="1"> <tr> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>만</td><td>천</td><td>백</td><td>십</td><td>일</td> <td>영점</td><td>영점</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>일</td><td>영일 ton</td> </tr> </table>	<input type="text"/>	만	천	백	십	일	영점	영점						일	영일 ton						
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																
만	천	백	십	일	영점	영점																
					일	영일 ton																
2. 밀	<table border="1"> <tr> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>만</td><td>천</td><td>백</td><td>십</td><td>일</td> <td>영점</td><td>영점</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>일</td><td>영일 ton</td> </tr> </table>	<input type="text"/>	만	천	백	십	일	영점	영점						일	영일 ton						
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																
만	천	백	십	일	영점	영점																
					일	영일 ton																
3. 옥수수	<table border="1"> <tr> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td><td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>만</td><td>천</td><td>백</td><td>십</td><td>일</td> <td>영점</td><td>영점</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> <td>일</td><td>영일 ton</td> </tr> </table>	<input type="text"/>	만	천	백	십	일	영점	영점						일	영일 ton						
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																
만	천	백	십	일	영점	영점																
					일	영일 ton																

Q04. 귀덕에서 작년 농산물 생산을 통해 창출하신 소득은 어떻게 되십니까? 해당되는 것에만 판매 소득을 적어주십시오.

판매소득													
1. 벼	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> </tr> <tr> <td>십억</td> <td>일억</td> <td>천만</td> <td>백만</td> <td>십만</td> <td>일만</td> </tr> </table> 원							십억	일억	천만	백만	십만	일만
십억	일억	천만	백만	십만	일만								
2. 밀	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> </tr> <tr> <td>십억</td> <td>일억</td> <td>천만</td> <td>백만</td> <td>십만</td> <td>일만</td> </tr> </table> 원							십억	일억	천만	백만	십만	일만
십억	일억	천만	백만	십만	일만								
3. 옥수수	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> </tr> <tr> <td>십억</td> <td>일억</td> <td>천만</td> <td>백만</td> <td>십만</td> <td>일만</td> </tr> </table> 원							십억	일억	천만	백만	십만	일만
십억	일억	천만	백만	십만	일만								

Q05. 귀덕에서 '22년 벼 생산을 위해 사용하신 비료의 종류와 사용량을 적어주십시오.

* 거래자별상품별매출집계에 나타난 명칭을 기재하시면 됩니다.

(ex. 토토유박, 21-17-17, 그레놀요소 등)

비료 이름	비료 가격	비료 사용량																		
	원	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> </tr> <tr> <td>천</td> <td>백</td> <td>십</td> <td>일</td> <td>영점</td> <td>영점</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>일</td> <td>영일</td> </tr> </table> kg							천	백	십	일	영점	영점					일	영일
천	백	십	일	영점	영점															
				일	영일															
	원	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> </tr> <tr> <td>천</td> <td>백</td> <td>십</td> <td>일</td> <td>영점</td> <td>영점</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>일</td> <td>영일</td> </tr> </table> kg							천	백	십	일	영점	영점					일	영일
천	백	십	일	영점	영점															
				일	영일															
	원	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> </tr> <tr> <td>천</td> <td>백</td> <td>십</td> <td>일</td> <td>영점</td> <td>영점</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>일</td> <td>영일</td> </tr> </table> kg							천	백	십	일	영점	영점					일	영일
천	백	십	일	영점	영점															
				일	영일															
	원	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> </tr> <tr> <td>천</td> <td>백</td> <td>십</td> <td>일</td> <td>영점</td> <td>영점</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>일</td> <td>영일</td> </tr> </table> kg							천	백	십	일	영점	영점					일	영일
천	백	십	일	영점	영점															
				일	영일															
	원	<table border="1" style="display: inline-table; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> </tr> <tr> <td>천</td> <td>백</td> <td>십</td> <td>일</td> <td>영점</td> <td>영점</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>일</td> <td>영일</td> </tr> </table> kg							천	백	십	일	영점	영점					일	영일
천	백	십	일	영점	영점															
				일	영일															

Q06. 귀택에서 작년 밀 생산을 위해 사용하신 비료의 종류와 사용량을 적어주십시오.
 * 거래자별상품별매출집계에 나타난 명칭을 기재하시면 됩니다.

비료 이름	비료 가격	비료 사용량												
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					

Q07. 귀택에서 작년 옥수수 생산을 위해 사용하신 비료의 종류와 사용량을 적어주십시오.
 * 거래자별상품별매출집계에 나타난 명칭을 기재하시면 됩니다.

비료 이름	비료 가격	비료 사용량												
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					

Q08. 귀덕에서 작년 벼 생산을 위해 사용하신 농약의 종류와 사용량을 적어주십시오.
 * 거래자별상품별매출집계에 나타난 명칭을 기재하시면 됩니다.

농약 이름	농약 가격	농약 사용량(kg 또는 ml 중 하나에 V 표시)													
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	일	영일	ml	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	일	영일	kg	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	일	영일	ml	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	일	영일	kg	V

Q09. 귀덕에서 작년 밀 생산을 위해 사용하신 농약의 종류와 사용량을 적어주십시오.
 * 거래자별상품별매출집계에 나타난 명칭을 기재하시면 됩니다.

농약 이름	농약 가격	농약 사용량(kg 또는 ml 중 하나에 V 표시)													
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
						일	영일					일	영일	ml	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
						일	영일					일	영일	ml	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
						일	영일					일	영일	ml	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
						일	영일					일	영일	ml	V

Q10. 귀택에서 작년 옥수수 생산을 위해 사용하신 농약의 종류와 사용량을 적어주십시오.
* 거래자별상품별매출집계에 나타난 명칭을 기재하시면 됩니다.

농약 이름	농약 가격	농약 사용량(kg 또는 ml 중 하나에 V 표시)													
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
						일	영일					일	영일	ml	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
						일	영일					일	영일	ml	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
						일	영일					일	영일	ml	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
						일	영일					일	영일	ml	V

PART B. 적정 수준의 농업 인센티브 규모

※ 농림축산식품부는 농업 활동에서의 온실가스 저감 활동에 대한 인센티브 제도 실행을 계획 중입니다. 아래 다양한 <인센티브 지급 예시> 및 가정사항을 읽어보신 뒤 답변 부탁드립니다.

< 직불금 예시 >

구 분		지급 금액		
소농직접직불금		농가당 120만원		
면적직접 직불금	형태	농촌진흥지역 내 논밭	농촌진흥지역 밖 논	농촌진흥지역 밖 밭
	2 ha 이하(1구간)	205만원/ha	178만원/ha	134만원/ha
	2 ha 초과 6 ha 이하 (2구간)	197만원/ha	170만원/ha	117만원/ha
	6 ha 초과(3구간)	189만원/ha	162만원/ha	100만원/ha
친환경 농업 직불금	형태	유기	무농약	유기지속
	논	700천원/ha	500천원/ha	350천원/ha
	밭	과수	1,400천원/ha	1,200천원/ha
기타 (채소, 특작)		1,300천원/ha	1,100천원/ha	650천원/ha
경관보전 직불금	작물	경관작물	준 경관작물	준경관초지작물
		갯, 구절초, 국화류, 꽃양귀비, 풀썸(하고초), 달맞이꽃, 라벤더, 메밀, 유채, 자운영, 코스모스, 해바라기, 헤어리베치, 감국, 안개초, 끈끈이대나무, 백일홍, 실약초 등	밀, 보리(겉보리, 쌀보리, 맥주보리, 청보리 등), 연꽃, 이탈리아라이그라스, 호밀 등	경관, 준 경관 작물 중 사료작물로 활용이 가능한 작물 및 목초
	금액	170만원/ha	100만원/ha	45만원/ha
전략작물 직불금	구 분		대상품목	금액
	단작	동계	밀, 보리, 감자 등 동계 식량 작물	50만원/ha
			청보리, 라이그라스 등 동계 조사료	50만원/ha
		하계	가루쌀, 콩	100만원/ha
			하계 조사료	430만원/ha
	이모작	인센티브 대상	밀, 가루쌀, 밀, 논콩	250만원/ha
			동계 조사료, 가루쌀, 동계 조사료-논콩	250만원/ha
인센티브 없음		기타 동계작물, 콩 또는 가루쌀	150만원/ha	
	보리, 일반벼	50만원/ha		
	밀-하계조사료, 동계조사료, 하계조사료	48만원/ha		

< 농업환경보전프로그램 >

구분	분야	단위과제	내 용	
개인 활동	토양	1.적정양분 투입	①완효성 비료 사용하기	필수
		2.외부양분 투입 감축	①농사 후 남은 농업부산물 잘라 논.밭에 환원	필수
			②휴경기 녹비작물 재배 및 토양환원	필수
		3.토양침식 및 양분유출 방지	①벗짚 등 농업부산물로 경사진 밭 덮기	선택
	②경사진 밭 둘레에 빗물이 돌아가는 이랑 만들기		선택	
	③경사진 밭 끝에 초생대 설치하기		선택	
	④경사진 밭 끝에 침사구 설치하기		필수	
	생태	1.농약사용 저감	①천적으로 해충 방지하기	선택
			②제초제 없이 잡초 제거하기	필수
			③과수원에서 초생 재배하기	선택
			④태양열로 토양 소독하기	선택
			⑤시설하우스에 방충망 설치하기	선택
	2.농업생태계 보호	①덤병(물웅덩이) 조성 및 관리('22 신규)	선택	
	대기	1.온실가스 감축	①경운 최소화	선택
②바이오차 투입('22 신규)			선택	
2.축산악취 저감		①축산악취 저감을 위한 미생물 제제 사용하기	선택	
공동 활동	용수	1.농업용수 수질개선	①오염된 하천.저수지 청소 및 수생식물 식재	필수
		2.양분유출 방지 등	①논 배수물꼬 설치 및 물관리	필수
	생활	1.생활환경 개선 * 농촌미집 발생 최소화	①영농폐기물 공동수거 및 분리배출	의무
			②생활폐기물 공동수거 및 분리배출	선택
	생태	1.농업생태계 보호	①생태계에 유해한 생물 제거	필수
			②덤병(물웅덩이) 조성 및 관리**	필수
			③농경지 이용 멸종위기종 조류 먹이공급	필수
	경관	1.농촌경관 개선	①공동공간 관리 및 청소	선택
			②공동공간에 꽃과 나무 심기	선택
			③빈집 및 불량시설 경관 정비	선택
유산	1.농업유산 보전	①농경의례 및 공동체문화 전승	선택	
		②전통적 농업기술의 유지 및 계승	선택	
		③전통적 토지이용 경관의 보전	선택	
		④전통적 수리관개시설의 활용 및 보전	선택	

< 농업·농촌 온실가스 자발적 감축사업 방법론 >

* 지원금은 1만원/ton CO₂

구분	분야	단위과제
1	에너지 이용 효율화 사업 (A01)	미활용 에너지를 이용한 농업시설의 온실가스 감축 방법론
2		순환식 수막재배를 이용한 화석연료 사용량 절감 방법론
3		LED 조명기기 설치를 통한 농업시설의 전기 사용량 절감 방법론
4		고효율 보온자재를 이용한 농업시설의 난방용 에너지 사용량 감축 방법론
5	신재생 에너지 사업 (A02)	지열에너지를 이용한 농업시설의 화석연료 사용량 절감 방법론
6		재생에너지(태양광, 태양열, 수력, 풍력) 방법론
7	합성비료 절감사업 (A03)	녹비작물을 이용한 질소질비료 사용저감 방법론
8		완효성 비료를 이용한 질소질비료 사용저감 방법론
9		부산물 비료를 이용한 질소질비료 사용 저감 방법론
10	농축산 부산물 등 바이오매스 활용사업 (A04)	목질바이오매스를 이용한 농업시설의 화석연료 사용량 절감 방법론
11		바이오가스 플랜트를 통한 온실가스 감축 방법론
12		왕겨를 이용한 RPC 곡물건조 열원대체 방법론
13	기타 감축사업 (A05)	보존경운에 따른 온실가스 감축 방법론
14		논벼 재배 시 물관리를 통한 온실가스 감축 방법론
15		토지의 이용방법 전환을 통한 온실가스 감축 방법론
16		바이오차(Biochar)를 이용한 농경지 탄소고정에 따른 온실가스 감축 방법론

※ 다음 설문부터는 농가에 제공될 인센티브의 적정 수준 및 규모에 대하여 의견을 여쭙고자 합니다. 지급 단가는 정부에서 권장하는 각 활동에 대한 인센티브 금액입니다. 이를 참고하시어, 적정 지급 단가에 귀하께서 적정 수준이라 생각하시는 금액을 기입하여 주십시오. 각 활동에 필요한 기반시설(인프라*)은 기관·지자체 등에서 제공된다는 가정 하에 답변을 부탁드립니다.

Q11. 농업 중 직불금

구 분		지급 단가	적정 지급 단가						
소농직접직불금		농가당 120만원	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center;">백</td><td style="text-align: center;">십</td><td style="text-align: center;">일</td></tr></table> 만원				백	십	일
백	십	일							
2 ha 이하 (1구간)	농촌진흥지역내 논밭	205만원/ha	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center;">백</td><td style="text-align: center;">십</td><td style="text-align: center;">일</td></tr></table> 만원				백	십	일
	백	십	일						
농촌진흥지역 밖 논	178만원/ha	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center;">백</td><td style="text-align: center;">십</td><td style="text-align: center;">일</td></tr></table> 만원				백	십	일	
백	십	일							
농촌진흥지역 밖 밭	134만원/ha	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center;">백</td><td style="text-align: center;">십</td><td style="text-align: center;">일</td></tr></table> 만원				백	십	일	
백	십	일							
2 ha 초과 6 ha 이하 (2구간)	농촌진흥지역내 논밭	205만원/ha	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center;">백</td><td style="text-align: center;">십</td><td style="text-align: center;">일</td></tr></table> 만원				백	십	일
	백	십	일						
농촌진흥지역 밖 논	178만원/ha	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center;">백</td><td style="text-align: center;">십</td><td style="text-align: center;">일</td></tr></table> 만원				백	십	일	
백	십	일							
농촌진흥지역 밖 밭	134만원/ha	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center;">백</td><td style="text-align: center;">십</td><td style="text-align: center;">일</td></tr></table> 만원				백	십	일	
백	십	일							
6 ha 초과 (3구간)	농촌진흥지역내 논밭	205만원/ha	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center;">백</td><td style="text-align: center;">십</td><td style="text-align: center;">일</td></tr></table> 만원				백	십	일
	백	십	일						
농촌진흥지역 밖 논	178만원/ha	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center;">백</td><td style="text-align: center;">십</td><td style="text-align: center;">일</td></tr></table> 만원				백	십	일	
백	십	일							
농촌진흥지역 밖 밭	134만원/ha	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td><td style="width: 30px; height: 20px;"></td></tr><tr><td style="text-align: center;">백</td><td style="text-align: center;">십</td><td style="text-align: center;">일</td></tr></table> 만원				백	십	일	
백	십	일							

구 분		지급 단가	적정 지급 단가	
친환경 농업 직불금	논	유기	700천원/ha 백 십 일 만원	
		무농약	500천원/ha 백 십 일 만원	
		유기지속	350천원/ha 백 십 일 만원	
	밭	과수	유기	1,400천원/ha 백 십 일 만원
			무농약	1,200천원/ha 백 십 일 만원
			유기지속	700천원/ha 백 십 일 만원
		기타(채소, 특장)	유기	1,300천원/ha 백 십 일 만원
			무농약	1,100천원/ha 백 십 일 만원
			유기지속	650천원/ha 백 십 일 만원
경관보전 직불금	작물	경관작물 갯, 구절초, 국화류, 꽃양귀비, 꿀풀 등	170만원/ha 백 십 일 만원	
		준 경관작물 밀, 보리, 호밀 등	100만원/ha 백 십 일 만원	
		준경관초지 준 경관 작물 중 사료작물 활용 가능 작물 및 목초	45만원/ha 백 십 일 만원	

구 분			지급 단가	적정 지급 단가	
전략작물 직불금	단작	동계	밀, 보리, 감자 등	50만원/ha	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
			청보리, 라이그라스 등	50만원/ha	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
		하계	가루쌀, 콩	100원/ha	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
			하계 조사료	43만원/ha	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
	이모작	인센티브 대상	밀, 가루쌀, 밀, 논콩	250만원/ha	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
			동계 조사료, -가루쌀, 동계 조사료-논콩	250만원/ha	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
		인센티브 없음	기타 동계작물, 콩 또는 가루쌀	150만원/ha	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
			보리, 일반벼	50만원/ha	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
			밀-하계조사료 , 동계조사료	48만원/ha	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일

Q12. 농업에서의 농업환경보전프로그램 활동

구분	분야	단위과제	내 용	필요여부 (O, X)
개인 활동	토양	1.적정양분 투입	①완효성 비료 사용하기	필수
		2.외부양분 투입 감축	①농사 후 남은 농업부산물 잘라 논·밭에 환원	필수
			②휴경기 녹비작물 재배 및 토양환원	필수
		3.토양침식 및 양분유출 방지	①벗짚 등 농업부산물로 경사진 밭 덮기	선택
			②경사진 밭 돌레에 빗물이 돌아가는 이랑 만들기	선택
			③경사진 밭 끝에 초생대 설치하기	선택
	④경사진 밭 끝에 침사구 설치하기		필수	
	생태	1.농약사용 저감	①천적으로 해충 방지하기	선택
			②제초제 없이 잡초 제거하기	필수
			③과수원에서 초생 재배하기	선택
			④태양열로 토양 소독하기	선택
			⑤시설하우스에 방충망 설치하기	선택
	2.농업생태계 보호	①덤병(물웅덩이) 조성 및 관리('22 신규)	선택	
	대기	1.온실가스 감축	①경운 최소화	선택
		②바이오차 투입('22 신규)	선택	
	2.축산악취 저감	①축산악취 저감을 위한 미생물 제제 사용하기	선택	
	용수	1.농업용수 수질개선	①오염된 하천,저수지 청소 및 수생식물 식재	필수
		2.양분유출 방지 등	①논 배수물꼬 설치 및 물관리	필수
생활	1.생활환경 개선 * 농촌비점 최소화	①영농폐기물 공동수거 및 분리배출	의무	
		②생활폐기물 공동수거 및 분리배출	선택	
생태	1.농업생태계 보호	①생태계에 유해한 생물 제거	필수	
		②덤병(물웅덩이) 조성 및 관리**	필수	
		③농경지 이용 멸종위기종 조류 먹이공급	필수	
경관	1.농촌경관 개선	①공동공간 관리 및 청소	선택	
		②공동공간에 꽃과 나무 심기	선택	
		③빈집 및 불량시설 경관 정비	선택	
유산	1.농업유산 보전	①농경의례 및 공동체문화 전승	선택	
		②전통적 농업기술의 유지 및 계승	선택	
		③전통적 토지이용 경관의 보전	선택	
		④전통적 수리관개시설의 활용 및 보전	선택	

Q13. 농업에서의 온실가스 자발적 감축사업

구분	분야	단위과제	필요여부 (O, X)				
1	에너지 이용 효율화 사업 (A01)	미활용 에너지를 이용한 농업시설의 온실가스 감축 방법론					
2		순환식 수막재배를 이용한 화석연료 사용량 절감 방법론					
3		LED 조명기기 설치를 통한 농업시설의 전기 사용량 절감 방법론					
4		고효율 보온자재를 이용한 농업시설의 난방용 에너지 사용량 감축 방법론					
5	신재생 에너지 사업 (A02)	지열에너지를 이용한 농업시설의 화석연료 사용량 절감 방법론					
6		재생에너지(태양광, 태양열, 수력, 풍력) 방법론					
7	합성비료 절감사업 (A03)	녹비작물을 이용한 질소질비료 사용저감 방법론					
8		완효성 비료를 이용한 질소질비료 사용저감 방법론					
9		부산물 비료를 이용한 질소질비료 사용 저감 방법론					
10	농축산 부산물 등 바이오매스 활용사업 (A04)	목질바이오매스를 이용한 농업시설의 화석연료 사용량 절감 방법론					
11		바이오가스 플랜트를 통한 온실가스 감축 방법론					
12		왕겨를 이용한 RPC 곡물건조 열원대체 방법론					
13	기타 감축사업 (A05)	보존경운에 따른 온실가스 감축 방법론					
14		논벼 재배 시 물관리를 통한 온실가스 감축 방법론					
15		토지의 이용방법 전환을 통한 온실가스 감축 방법론					
16		바이오차(Biochar)를 이용한 농경지 탄소고정에 따른 온실가스 감축 방법론					
자발적 감축사업		금액	적정금액(1 ton CO ₂ 기준)				
		1만원/ton CO ₂	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">백</td> <td style="text-align: center;">십</td> <td style="text-align: center;">일</td> </tr> </table> 만원				백
백	십	일					

Q14. 위와 같은 농업 활동 인센티브 제도에서 가장 시급한 개선점이 무엇이라고
생각하시는지 2가지를 선택하여 주십시오. 1순위() 2순위()

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1) 농업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에
대한 인식 제고 | 2) 농업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에
대한 교육 |
| 3) 지역공동체 내 탄소중립 정책기조 대응
협약체 결성 및 재정지원 | 4) 지자체 단체장 등 정책 담당자의 의지 |
| 5) 인센티브 지급 단가의 현실적 개선 | 6) 기타() |

♣ 귀중한 시간을 내어 응답해 주셔서 감사합니다 ♣

2. 농식품 온실가스 전과정평가 기초자료 조사 설문 (축산)

축산물 온실가스 전과정평가 기초자료 조사

안녕하십니까? 인하대학교는 농식품 온실가스 전과정평가 및 감축 인센티브 설계를 위하여 축산농가 여러분들을 대상으로 설문조사를 하고 있습니다. 농림축산식품부는 육류의 탄소발자국 자료를 기반으로 한 「축산농가 대상 온실가스 감축 인센티브 지급 제도」를 도입하기 위하여 다양한 노력을 기울이고 있습니다. 인하대학교에서는 농림축산식품부의 용역을 받아 인센티브 제도 설계를 위해 축산농가 여러분들께 몇가지 질문을 드리고자 합니다. 귀하의 의견은 농축산업 환경 관련 정책 수립 시 기초 자료로 활용될 것입니다.

본 설문에서 응답해주시는 정보는 법률 제11690호 개인정보보호법 제15조(개인정보 수집/이용), 동법 제21조(개인정보의파기)에 의거 조사 종료 후 파기되오니 안심하시고 원활한 연구 진행이 될 수 있도록 모든 문항을 빠짐없이 응답해 주십사 부탁드립니다.

2023. 03

문의 인하대학교 인하대학교
 사항 연구책임자: 김춘산 교수 (010-2486-8764) 연구조원: 이종효 연구원 (010-9719-1103)

응답자 기본 사항

응답자 성명		연락처(유선)		연락처(핸드폰)	
응답자 주소	() 시/도 () 시/군/구 () 읍/면				
면접 일시	_____ 월 _____ 일 _____ 시				

SQ1	귀하께서는 현재 직접 농사를 지으십니까?	1) 그렇다 2) 아니다	🛑 조사 중단		
SQ2	거주지(주소)	우편번호 () ()			
SQ3	귀하의 연세는 올해 만으로 어떻게 되십니까?	() 세			
SQ4	귀하의 성별은 어떻게 되십니까?	1) 남성 2) 여성			
SQ5	귀하께서는 농업에 종사하신지 몇 년 되셨습니까?	() 년			
SQ6	귀택의 연간 소득은 어느 정도입니까?	1) 1천만원 미만 4) 3천~5천만 미만	2) 1천~2천만 미만 5) 5천~7천만 미만	3) 2천~3천만 미만 6) 7천만원 이상	

PART A. 축산물 생산 관련 조사

* 축산 활동은 지역 환경에 다양한 영향을 미칩니다. 축산 활동을 통한 온실가스 배출, 화학 사료 및 약제의 과다 사용으로 그리고 가축 분뇨 배출로 인한 토양 및 수질 오염, 축산 자재 및 폐기물 등의 환경부하가 발생하기는 하나, 이는 식량생산 측면에서 다양한 사회적 편익을 창출합니다. 본 설문에서는, 하단의 질문들을 통해 축산활동의 사회적 비용과 편익을 정량화하고자 합니다.

Q01. 귀택에서 연간 사용하신 산업용 전력 및 면세유류 어느 정도입니까? 사용량 또는 납부요금을 적어주십시오.

	전력사용량 및 납부요금									
1. 전기 (한전고지서를 이용하시면 됩니다.)	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>						
	만 천 백 십 일	영점 영점	일	영일	kWh					
	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>								
	백만 십만 만 천	백 십 일	원							
2. 면세경유 (면세유류관리대 장을 이용하시면 됩니다.)	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>						
	만 천 백 십 일	영점 영점	일	영일	L					
	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>								
	백만 십만 만 천	백 십 일	원							
3. 면세휘발유 (면세유류관리대 장을 이용하시면 됩니다.)	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>						
	만 천 백 십 일	영점 영점	일	영일	L					
	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>								
	백만 십만 만 천	백 십 일	원							
4. 면세등유 (면세유류관리대 장을 이용하시면 됩니다.)	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/>						
	만 천 백 십 일	영점 영점	일	영일	L					
	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>								
	백만 십만 만 천	백 십 일	원							
5. 인건비	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>								
	백만 십만 만 천	백 십 일	원							

Q02. 귀댁의 축산 규모는 어떻게 되십니까? 해당되는 것에만 규모를 적어주십시오.

	축산 규모					
1. 소(육우, 한우)	<input type="text"/>					
	십 만	만	천	백	십	일 두
2. 돼지(비육돈)	<input type="text"/>					
	십 만	만	천	백	십	일 두
3. 닭(육계)	<input type="text"/>					
	십 만	만	천	백	십	일 두

Q03. 귀댁의 연간 가축 판매량은 어떻게 되십니까? 해당되는 것에만 생산량을 적어 주십시오.

	생산량 (임대 포함)					
1. 소(육우, 한우)	<input type="text"/>					
	십 만	만	천	백	십	일 두
2. 돼지(비육돈)	<input type="text"/>					
	십 만	만	천	백	십	일 두
3. 닭(육계)	<input type="text"/>					
	십 만	만	천	백	십	일 두

Q04. 귀덕에서 작년 가축 판매를 통해 창출하신 소득은 어떻게 되십니까? 해당되는 것에만 판매 소득을 적어주십시오.

생산량 (임대 포함)													
1. 소(육우, 한우)	<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>십억</td><td>일억</td><td>천만</td><td>백만</td><td>십만</td><td>일만</td> </tr> </table> 원							십억	일억	천만	백만	십만	일만
십억	일억	천만	백만	십만	일만								
2. 돼지(비육돈)	<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>십억</td><td>일억</td><td>천만</td><td>백만</td><td>십만</td><td>일만</td> </tr> </table> 원							십억	일억	천만	백만	십만	일만
십억	일억	천만	백만	십만	일만								
3. 닭(육계)	<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>십억</td><td>일억</td><td>천만</td><td>백만</td><td>십만</td><td>일만</td> </tr> </table> 원							십억	일억	천만	백만	십만	일만
십억	일억	천만	백만	십만	일만								

Q05. 귀덕에서 소(육우, 한우) 사육을 위해 사용하신 사료의 종류와 사용량을 적어 주십시오.

* 거래자별상품별매출집계에 나타난 명칭을 기재하시면 됩니다.

사료 이름	사료 가격	사료 사용량																		
	원	<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>천</td><td>백</td><td>십</td><td>일</td><td>영점</td><td>영점</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>일</td><td>영일</td> </tr> </table> kg							천	백	십	일	영점	영점					일	영일
천	백	십	일	영점	영점															
				일	영일															
	원	<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>천</td><td>백</td><td>십</td><td>일</td><td>영점</td><td>영점</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>일</td><td>영일</td> </tr> </table> kg							천	백	십	일	영점	영점					일	영일
천	백	십	일	영점	영점															
				일	영일															
	원	<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>천</td><td>백</td><td>십</td><td>일</td><td>영점</td><td>영점</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>일</td><td>영일</td> </tr> </table> kg							천	백	십	일	영점	영점					일	영일
천	백	십	일	영점	영점															
				일	영일															
	원	<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>천</td><td>백</td><td>십</td><td>일</td><td>영점</td><td>영점</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>일</td><td>영일</td> </tr> </table> kg							천	백	십	일	영점	영점					일	영일
천	백	십	일	영점	영점															
				일	영일															
	원	<table border="1"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td>천</td><td>백</td><td>십</td><td>일</td><td>영점</td><td>영점</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td>일</td><td>영일</td> </tr> </table> kg							천	백	십	일	영점	영점					일	영일
천	백	십	일	영점	영점															
				일	영일															

Q06. 귀택에서 돼지(비육돈) 사육을 위해 사용하신 비료의 종류와 사용량을 적어주십시오.
 * 거래자별상품별매출집계에 나타난 명칭을 기재하시면 됩니다.

사료 이름	사료 가격	사료 사용량												
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					

Q07. 귀택에서 닭(육계) 사육을 위해 사용하신 비료의 종류와 사용량을 적어주십시오.
 * 거래자별상품별매출집계에 나타난 명칭을 기재하시면 됩니다.

사료 이름	사료 가격	사료 사용량												
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					
	원	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg					

Q08. 귀덕에서 소(육우, 한우) 생산을 위해 사용하신 화학 제품의 종류와 사용량을 적어주십시오.

* 거래자별상품별매출집계에 나타난 명칭을 기재하시면 됩니다.

화학제품 이름	화학제품 가격	화학제품 사용량(kg 또는 ml 중 하나에 V 표시)													
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	일	영일	ml	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	일	영일	ml	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	일	영일	ml	V

Q09. 귀덕에서 돼지(비육돈) 생산을 위해 사용하신 농약의 종류와 사용량을 적어 주십시오.

* 거래자별상품별매출집계에 나타난 명칭을 기재하시면 됩니다.

화학제품 이름	화학제품 가격	화학제품 사용량(kg 또는 ml 중 하나에 V 표시)													
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	일	영일	ml	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	일	영일	ml	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	영점	영점	kg	V
	원	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	천	백	십	일	일	영일	ml	V

Q10. 귀덕에서 닭(육계) 생산을 위해 사용하신 농약의 종류와 사용량을 적어주십시오.
 * 거래자별상품별매출집계에 나타난 명칭을 기재하시면 됩니다.

화학제품 이름	화학제품 가격	화학제품 사용량(kg 또는 ml 중 하나에 V 표시)						
	원	□	□	□	□	□	□	
		천	백	십	일	영점	영점	kg ml V V
						일	영일	
	원	□	□	□	□	□	□	
		천	백	십	일	영점	영점	kg ml V V
						일	영일	
	원	□	□	□	□	□	□	
		천	백	십	일	영점	영점	kg ml V V
						일	영일	
	원	□	□	□	□	□	□	
		천	백	십	일	영점	영점	kg ml V V
						일	영일	
	원	□	□	□	□	□	□	
		천	백	십	일	영점	영점	kg ml V V
						일	영일	

PART B. 적정 수준의 축산업 인센티브 규모

※ 농림축산식품부는 농업 활동에서의 온실가스 저감 활동에 대한 인센티브 제도 실행을 계획 중입니다. 아래 <인센티브 지급 예시> 및 가정사항을 읽어보신 뒤 답변 부탁드립니다.

< 직불금 예시 >

구 분		지급 금액	
소농직접직불금		농가당 120만원	
친환경 안전 축산물 직불금 (HACCP인증 및 유기축산물 인증 농업인)	한우	30만원/마리	육우는 한우의 50%
	젖소(우유)	100원/L	우유 1L는 1.03 kg
	산양(산양유)	13,000원/마리(산양유 240원/L)	-
	돼지	25,000원/마리	-
	육계	440원/마리	토종닭은 30% 증액
	산란계(계란)	13원/개	-
	오리	560원/마리	-
	오리알	24원/개	-

< 축산 저탄소 농업 기술 >

구분	분야	저탄소 농업기술	
계량화 기술	1	장내발효 조기출하(출하일령, 도체중)	
	2	가축분뇨 관리	강제공기공급
	3		기계교반
	4		위탁처리업체의 처리방식
	5	에너지 절감기술	저탄소 인증자재 사용
	6		빗물 재활용 기술
	7		지열 히트펌프 시스템
	8		태양광 등 신재생에너지 생산량
비계량 기술	1	사양관리	저메탄 사료 급이
	2		저단백 사료 급이
	3		부산물 사료 급이 (조사료를 제외한 건물량 기준 대체율 20% 이상)
	4		생산성 향상 장비 도입 (자동급이기, 사료빈·음수관리기, 안개분무 등)
	5		자가 조사료 면적 확인
	6	가축분뇨 관리	분뇨의 비농업계 이용 여부
	7		깔짚관리(로터리 교반 등)여부
	8		부숙도 검사 후 살포여부
	9	기타	폐사축 처리기 활용 여부(위탁포함)
	10		나무식재

※ 다음 설문부터는 축산농가에 제공될 인센티브의 적정 수준 및 규모에 대하여 의견을 여쭙고자 합니다. 지급 단가는 정부에서 권장하는 각 활동에 대한 인센티브 금액입니다. 이를 참고하시어, 적정 지급 단가에 귀하께서 적정 수준이라 생각하시는 금액을 기입하여 주십시오. 각 활동에 필요한 기반시설(인프라*)은 기관·지자체 등에서 제공된다는 가정 하에 답변을 부탁드립니다..

* 기반시설의 예: 가축분뇨 자원화시설 등

Q11. 축산업 중 직불금

구 분		지급 단가	적정 지급 단가
소농직접직불금		농가당 120만원	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
친환경안전 축산물 직불금	한우	30만원/마리	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
	젖소(우유)	100원/L	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
	산양(산양유)	13,000원/마리 (산양유 240원/L)	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
	돼지	25,000원/마리	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
	육계 (토종닭은 30% 증액)	440원/마리	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
	산란계(계란)	13원/개	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
	오리	560원/마리	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일
	오리알	24원/개	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> 만원 백 십 일

Q12. 축산에서의 저탄소 축산기술

구분	분야	저탄소 농업기술	필요여부 (O, X)	
계량화 기술	1	장내발효	조기출하(출하일령, 도체중)	
	2	가축분뇨 관리	강제공기공급	
	3		기계교반	
	4		위탁처리업체의 처리방식	
	5	에너지 절감기술	저탄소 인증자재 사용	
	6		빗물 재활용 기술	
	7		지열 히트펌프 시스템	
	8		태양광 등 신재생에너지 생산량	
비계량 기술	1	사양관리	저메탄 사료 급이	
	2		저단백 사료 급이	
	3		부산물 사료 급이 (조사료를 제외한 건물량 기준 대체율 20% 이상)	
	4		생산성 향상 장비 도입 (자동급이기, 사료빈·음수관리기, 안개분무 등)	
	5		자가 조사료 면적 확인	
	6	가축분뇨 관리	분뇨의 비농업계 이용 여부	
	7		깔짚관리(로터리 교반 등)여부	
	8		부숙도 검사 후 살포여부	
	9	기타	폐사축 처리기 활용 여부(위탁포함)	
	10		나무식재	
자발적 감축사업 연계 시		적정금액 (현 농산물 기준 10,000원/ton CO ₂ 기준)		
		<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> <td style="width: 30px; height: 30px;"></td> </tr> </table> 백 십 일 만원		

Q13. 위와 같은 축산 활동 인센티브 제도에서 가장 시급한 개선점이 무엇이라고
생각하시는지 2가지를 선택하여 주십시오. 1순위() 2순위()

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1) 축산업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에
대한 인식 제고 | 2) 축산업에서의 온실가스 저감 활동 중요성에
대한 교육 |
| 3) 지역공동체 내 탄소중립 정책기조 대응
협업체 결성 및 재정지원 | 4) 지자체 단체장 등 정책 담당자의 의지 |
| 5) 인센티브 지급 단가의 현실적 개선 | 6) 기타() |

♣ 귀중한 시간을 내어 응답해 주셔서 감사합니다 ♣