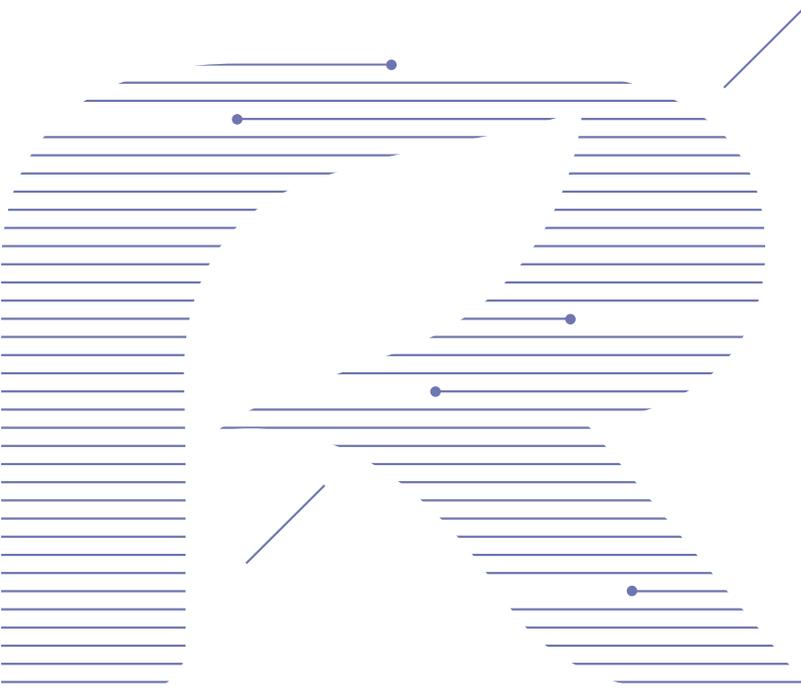


# 주요국 미세먼지 저감농업 정책

정학균 · 박형호 · 임준혁



# 주요국 미세먼지 저감농업 정책

정학균·박형호·임준혁



## 연구 담당

---

정학균 | 연구위원 | 연구 총괄, 제1, 2, 5장 집필

박형호 | 부연구위원 | 제3, 4장 집필

임준혁 | 연구원 | 제2장 집필

R995 연구자료-1

## 주요국 미세먼지 저감농업 정책

---

등 록 | 제6-0007호(1979. 5. 25.)

발 행 | 2023. 12.

발 행 인 | 한두봉

발 행 처 | 한국농촌경제연구원

우) 58321 전라남도 나주시 빛가람로 601

대표전화 1833-5500

인 쇄 처 | (주)에이치에이엔컴퍼니

I S B N | 979-11-6149-680-1 95520

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

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

무단 전재하거나 복사하면 법에 저촉됩니다.

기후 및 환경위기에 대응하여 주요 선진국들은 환경관련 사업에의 집중 투자를 통한 녹색경제로의 전환을 추진하고 있다. 글로벌 녹색경제 전환 움직임을 따라 윤석열 정부는 ‘과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환’이라는 국정과제를 제시했다.

농림업 부문도 녹색경제로의 전환이 매우 시급하다고 할 수 있으며, 저탄소농업, 친환경농업, 미세먼지 저감농업 등 녹색기술 이용을 활성화할 필요가 있다.

이 보고서는 ‘농림업 부문 녹색경제 활성화 방안 연구’의 3차년 과제인 미세먼지 저감농림업 활성화 방안 중 ‘주요국의 미세먼지 저감농림업 정책’을 다룬 연구부속물이다. 여기서는 EU, 미국, 일본의 미세먼지 저감농업 기술들을 상세히 살펴보았다. 그리고 미세먼지 저감농업 기술을 농업인에게 보급하기 위한 정책들을 조사 분석하였다. 마지막으로 조사 결과를 바탕으로 우리나라 미세먼지 저감농림업 활성화를 위한 시사점을 도출하였다. 본 연구가 미세먼지 저감농림업 활성화 방안 도출을 위한 참조자료로 활용되기를 기대한다.

바쁘신 와중에도 미국 사례를 담당해 주신 서울대학교 김창길 교수님과 일본 사례를 담당해 주신 농협경제연구소 조현경 박사께 깊이 감사드린다.

2023. 12.

한국농촌경제연구원장 **한두봉**



## 연구 목적

- EU, 미국, 일본은 대기오염 문제를 일찍부터 다루었고, 대기오염을 감소시켜왔기 때문에 우리나라의 미세먼지 저감농업의 효과적인 추진을 위해 이들 나라의 정책 사례를 벤치마킹할 필요가 있음.
- 주요국 미세먼지 저감농업 사례 조사·분석 결과를 바탕으로 우리농업의 미세먼지 저감정책 활성화에 대한 시사점을 도출하는 데 연구 목적이 있음.

## 연구 방법

- 이 연구는 유관기관과 연구기관 등에서 이루어진 해외 미세먼지 저감 관련 연구를 검토하고 분석함. 또한 EU, 미국, 일본 등의 미세먼지 저감 관련 연구를 검토함.
- 미국 사례 조사를 위해 서울대학교 김창길 교수께 원고위탁을 추진하였으며, 일본 사례 조사를 위해 농협경제연구소 조현경 박사께 원고위탁 추진함. 또한 네덜란드, 덴마크에 현지 조사 출장을 통해 미세먼지 저감 수단 및 정책을 조사함. 원활한 연구수행을 위해 해외 전문가들과 미세먼지·악취 저감농업 활성화라는 주제로 국제심포지엄을 개최함.

## 연구 결과

- EU는 회원국이 모두 협력하여 대기환경 개선을 위한 정책을 시행하였음. 2016년 개정된 국가별 배출량 상한 지침을 보면, 초미세먼지와 암모니아의 경우 기존 배출량 기준보다 30% 이상의 저감을 요구하고 있음.

- 덴마크는 암모니아 배출과 그로 인한 미세먼지 관련 대기오염 문제가 심각했기 때문에 축산환경, 특히 가축분뇨를 관리하는 규제 및 정책을 지속적으로 도입하였음. 덴마크는 대기오염 물질 저감을 위해 자국 대기오염 현안을 대응할 뿐만 아니라 주변국과 함께 대기오염 정책을 수행하여 대기오염 물질의 획기적 저감 성과가 있었음.
  - 네덜란드는 규제 정도가 다른 국가에 비해 높으며, 신규농가는 기존 혹은 평균 농가 배출량과 비교할 때 30%의 배출량 저감 의무를 지니고 있어 더 높은 수준의 의무가 부여됨.
- 미국의 농업 활동에서 발생하는 미세먼지를 줄이기 위해 규제 조치, 기술 발전, 인센티브 등의 여러 가지 정책방안이 수립되어 추진됨.
- 미세먼지 대응책은 크게 규제조치로 배출 기준(emission standards), 배출 모니터링(emission monitoring), 허가 및 규정준수(permitting and compliance) 등을 들 수 있음.
  - 미세먼지 대응 기술 발전부문에서는 농작물 잔류물 관리, 배출감소 장비, 첨단 가축 사육 등의 분야에서 최적관리기법(Best Management Practices: BMP)이 제시됨.
  - 인센티브 프로그램으로 재정적 인센티브와 R&D 자금 지원 등을 들 수 있음.
- 일본은 오염물질 배출이 적은데다 암모니아를 제외한 대다수 오염물질의 농업부문 배출 비율이 매우 낮아서 미세먼지 등 대기오염 관점에서의 농업부문 대책 논의는 상대적으로 활발하지 않음.

- 암모니아, 질소산화물과 관련 있는 질소의 저감을 촉진하기 위해 농업부문에서도 J크레딧, 직불금 지급, 세제 혜택 등 다양한 정책이 시행되고 있으며, 중장기적으로 관련 기술 개발도 추진하고 있음.
- 일본은 대기오염 물질의 발생원 정보나 인벤토리 정비에 꾸준한 노력 중임.

## 시사점

- 유럽, 미국, 일본의 농업부문 미세먼지 저감 사례는 우리나라에 적지 않은 시사점을 주고 있음.
- 유럽에서는 암모니아 배출 기준을 설정하고 있으며 기준을 지키지 못하는 경우 강력한 페널티를 부과하거나 퇴출시키고 있음. 우리나라도 이러한 규제 사례를 벤치마킹하여 기술개발과 함께 저감목표를 설정하는 작업이 필요함. 농장 단위별 암모니아 저감 목표를 설정하는 것은 신규 진입 축산 농가의 농장을 우선 고려할 수 있고 여건이 되면 점진적으로 확대하는 방안을 고려할 수 있음. 덴마크는 대기오염 물질 저감을 위해 자국 대기오염 현안을 대응할 뿐만 아니라 주변국과 함께 대기오염 정책을 수행함. 우리나라 또한 주변국으로부터 유입되는 미세먼지를 고려하여, 우리나라에 적합한 지원정책을 수립할 뿐만 아니라 주변국과의 협력을 통해 대기환경 개선 효과성을 증대해야 함.
- 미국과 일본은 데이터를 기반으로 정책을 수립하고 있음. 우리나라도 미국과 일본 사례를 벤치마킹하여 신뢰성 높은 통계자료를 구축하고 이를 정책 방향 설정이나 정책 설계 시 활용할 필요가 있음.

**제1장 서론**

1. 연구의 필요성과 목적 ..... 1

2. 연구 방법 ..... 3

3. 선행연구 검토 및 차별성 ..... 4

**제2장 EU의 미세먼지 저감농업 정책**

1. 농업부문 미세먼지 배출현황 ..... 5

2. 농업부문 미세먼지 저감 정책 ..... 13

3. 시사점 ..... 19

**제3장 미국의 미세먼지 저감농업 정책**

1. 농업부문 미세먼지 관리 및 배출현황 ..... 21

2. 농업부문 미세먼지 감축 수단 및 정책 ..... 25

3. 시사점 ..... 30

**제4장 일본의 미세먼지 저감농업 정책**

1. 농업부문 미세먼지 배출현황 ..... 33

2. 농업부문 미세먼지 감축 수단 및 정책 ..... 38

3. 시사점 ..... 43

**제5장 결론** ..... 45

**참고문헌** ..... 49

**제1장**

〈표 1-1〉 연구 방법 및 내용 ..... 3

**제2장**

〈표 2-1〉 2021년 덴마크 미세먼지 관련 대기오염 물질 배출량과 농업부문 비율 ..... 9

〈표 2-2〉 덴마크 미세먼지 관련 주요 정책 연혁 ..... 15

**제3장**

〈표 3-1〉 미국의 국가 대기질 관리 기준 ..... 22

〈표 3-2〉 미국 농업부문 미세먼지(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 배출 비율 ..... 23

〈표 3-3〉 암모니아 주요 배출원별 연간 배출량(1,000 short tons/year) ..... 25

〈표 3-4〉 미국 농업부문 주요 미세먼지 감축 수단 ..... 26

**제4장**

〈표 4-1〉 주요 대기오염 물질 일본 내 환경기준 ..... 35

〈표 4-2〉 농업부문에서 NH<sub>3</sub>와 NO<sub>x</sub>로 대기 휘산 되는 질소량 ..... 37

〈표 4-3〉 J크레딧 농업 분야 방법론 ..... 41

〈표 4-4〉 환경보전형 농업 직접지불금 지원대상 활동 ..... 42

제2장

<그림 2-1> 1990~2021년 덴마크 이산화황 배출량 추이 ..... 6

<그림 2-2> 1990~2021년 덴마크 질소산화물 배출량 추이 ..... 6

<그림 2-3> 1990~2021년 덴마크 암모니아 배출량 추이 ..... 7

<그림 2-4> 1990~2021년 덴마크 휘발성유기화합물 배출량 추이 ..... 8

<그림 2-5> 1990~2021년 덴마크 초미세먼지 배출량 추이 ..... 9

<그림 2-6> 2021년 덴마크 농업부문 암모니아 배출원 구성 ..... 10

<그림 2-7> 1985~2021년 덴마크 농업부문 암모니아 배출량 추이 ..... 11

<그림 2-8> 네덜란드의 암모니아부문별 배출량 연도별 변화 추이 ..... 12

제3장

<그림 3-1> 1990~2022년 연평균 PM<sub>10</sub> 농도 변화 추이(83개 관측소 평균) 23

<그림 3-2> 2000~2022년 연평균 PM<sub>2.5</sub> 농도 변화 추이  
(361개 측정소 계절가중평균) ..... 24

제4장

<그림 4-1> 일본 PM<sub>2.5</sub> 및 부유입자상물질(PM<sub>7</sub>) 농도의 연평균 추이 ..... 36

# 1

## 서론

### 1. 연구의 필요성과 목적

#### 1.1. 연구 필요성

- 기후 위기와 환경위기에 대응하여 유럽, 미국 등 선진국을 중심으로 환경 관련 사업에의 투자를 통한 녹색경제로의 전환을 가속화하고 있음. 우리나라도 국제적 녹색경제로의 전환 움직임에 따라 환경 관련 사업에의 집중투자를 통한 탈탄소 녹색경제<sup>1)</sup>로의 전환을 제시했음(관계부처 합동, 2020).
- 녹색경제를 보다 구체적으로 얘기하면 화석연료의 사용을 단계적으로 축소하고 녹색기술과 녹색산업을 육성함으로써 국가경쟁력을 강화하고 지속가능 발전을 추구하는 경제를 말함(저탄소 녹색성장 기본법 2020, 제22조). 따라

1) 녹색경제는 경제·사회 전반의 녹색전환을 통해 기후·환경 목표 달성과 함께 국가경쟁력을 강화하기 위한 새로운 공정한 성장전략으로 정의함.

서 녹색기술과 녹색산업을 육성하고, 그 이용을 활성화하는 것이 핵심이라고 할 수 있음(정학균 외, 2021).

- 농업부문에서도 녹색기술 이용 활성화를 통한 녹색경제로의 전환이 요구되는 가운데 최근 미세먼지 저감농업에 대한 필요성이 대두되었음. 대기환경개선 종합계획을 보면, 농업부문과 직접적으로 연관된 대기오염물질에 대한 감축목표가 설정되어 있고 목표를 달성하기 위한 대책들이 제시됨.
  - 제3차 대기환경개선 종합계획에 따르면 암모니아를 2021년 배출량에 비해 2032년에 12.5% 감축해야 함.
  - 농업부문은 암모니아를 포함한 오염물질 감축을 위해 저공해 및 무공해 농업기계 보급, 경유 사용 농업기계 조기 폐차, 영농잔재물 관리, 불법소각 방지, 농경 및 가축사육 방식 개선, 가축분뇨 퇴·액비 관리 강화, 가축분뇨 에너지화 확대, 농업·축산 등 암모니아 배출·감축 연구 확대 등의 대책을 제시함.
  
- 대기환경개선 종합계획에 나타난 대기오염물질 감축목표를 효과적으로 달성하기 위해 미세먼지 저감농업 활성화 방안을 도출하는 연구가 필요함. 특히 해외 사례 조사를 통해 농업부문의 미세먼지 저감 수단과 관련 정책을 조사하고 우리 농업부문에 적용 가능한 시사점을 도출할 필요가 있음.

## 1.2. 연구 목적

- EU, 미국, 일본 등 주요국의 농업부문의 미세먼지 저감 수단과 관련 정책 현황을 조사·분석함. EU, 미국, 일본은 대기오염 문제를 일찍부터 다루었고, 대기오염을 감소시켜왔기 때문에 우리나라의 미세먼지 저감농업의 효과적인

추진을 위해 이들 나라의 정책 사례를 벤치마킹할 필요가 있음.

- 주요국 미세먼지 저감농업 사례 조사·분석 결과를 바탕으로 우리농업의 미세먼지 저감정책 활성화에 대한 시사점을 도출함.

## 2. 연구 방법

- 본 연구에서 적용한 주요 연구 방법 및 내용은 아래의 <표1-1>로 구성하여 제시함.

<표 1-1> 연구 방법 및 내용

연구 방법	내용
1. 문헌 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유관기관과 연구기관 등에서 이루어진 미세먼지 저감 관련 연구</li> <li>• EU, 미국, 일본 등의 미세먼지 저감 관련 연구</li> <li>• 정책 및 제도의 체계를 파악하기 위해 관련 기관의 서술과 관련법의 내용을 비교·분석</li> </ul>
2. 전문가 위탁원고 추진	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국 사례 조사를 위해 서울대학교 김창길 교수께 원고위탁 추진</li> <li>• 일본 사례 조사를 위해 농협경제연구소 조현경 박사께 원고위탁 추진</li> </ul>
3. 현지 조사 출장	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 네덜란드, 덴마크 사례 조사를 위해 현지 출장조사 추진</li> <li>- 일시: 2023년 6월</li> <li>- 출장지: 네덜란드, 덴마크 주요 관련 기관 등</li> </ul>
4. 국제심포지엄 개최	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일시 및 장소</li> <li>- 일시: 2023년 8월 30일(수)</li> <li>- 장소: 한국농촌경제연구원(온/오프라인)</li> <li>• 주제: 미세먼지·악취 저감농업 활성화</li> </ul>

자료: 저자 작성.

### 3. 선행연구 검토 및 차별성

#### □ 문헌 연구

○ 이승민 외(2020)는 해외 고농도 미세먼지 대응 사례를 조사 연구함으로써 다음의 결론을 도출함.

- 우리나라의 고농도 미세먼지 대응 조치 발령 기준과 교통부문의 미세먼지 조치 내용은 유럽의 기준 및 조치와 비교할 때 완화된 편임. 유럽은 PM보다 전구물질인 NO<sub>x</sub> 문제가 보다 심각하여 NO<sub>x</sub>를 많이 배출하는 자동차 부문에 제도의 초점이 맞춰져 있는 편임. 유럽은 국제 협약 하에서 제시된 지침에 의거하여 구속력 있는 규제(regulations) 기준(standard)을 마련하고 있음.
- 중국의 비상대응조치를 국내 미세먼지 비상 대응조치 제도와 비교하면 대체로 유사함. 다만, 산업부문의 경우 등급 분류 제도를 이용하여 차별화된 조치 시행하고 있음. 지역·도시별로도 대기질의 수준에 따라서 차별화된 미세먼지 저감 목표를 수립함. 또한, 만들어진 제도의 이행 및 점검에 힘쓰고 있음. 이행 관리를 위한 여러 가지 온/오프라인 수단을 강구하고 있으며, 지역 센터를 설립하여 수집된 환경정보를 통합 관리하고 있음.

#### ○ 선행연구와의 차별성

- 이 연구는 농업부문에 초점을 맞추어 미세먼지 배출현황과 저감 수단 그리고 관련 정책을 조사 분석함으로써 우리나라의 저감 기술 및 정책에 시사점을 제시한다는 점에서 선행연구와 차별화됨.

# 2

## EU의 미세먼지 저감농업 정책<sup>2)</sup>

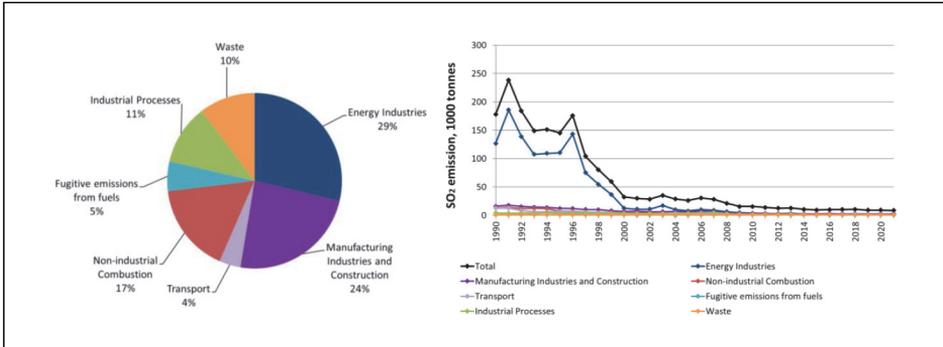
### 1. 농업부문 미세먼지 배출현황

#### 1.1. 덴마크

- 덴마크 이산화황의 대부분은 생산, 에너지 산업, 난방시설에서 사용하는 화석 연료 연소에서 발생하였음. 이산화황 배출량은 1990년부터 2021년까지 95%가 감소하였는데, 이는 배출량 비율이 높은 에너지 산업부문에서 1990년 이후 발전 연료를 황 함량이 낮은 연료로 대체하는 등 저감 노력이 큰 효과를 나타낸 결과임.

2) 《농림업 부문 녹색경제 활성화방안 연구》의 3년 차(2023년) 보고서의 내용을 인용하였음을 밝힌다.

〈그림 2-1〉 1990~2021년 덴마크 이산화황 배출량 추이

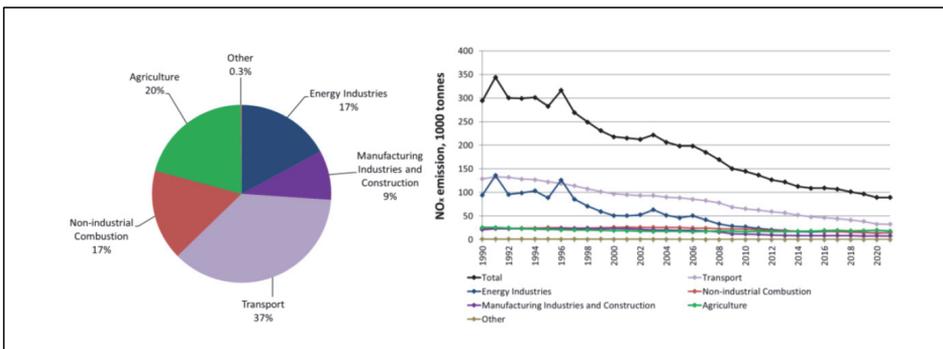


자료: DCE(2023).

○ 질소산화물의 최대 배출원은 운송부문(37%)이었고 농업, 비산업부문, 에너지부문 배출량도 많았음(2021년 기준).

- 질소산화물 배출량은 1990년에서 2021년까지 배출량이 약 70%가 감소하였음. 같은 기간 에너지 산업부문 배출량이 84% 감소하여 전체 질소산화물 배출량 저감을 이끈 것으로 나타남.
- 에너지 산업부문에서는 발전소 및 지역난방 시설 오염물질 정화 장치 설치 등 저감 정책이 효과가 있는 것으로 나타났고 운송부문에서 자동차 오염물질 저감장치(촉매전환기) 설치가 효과가 있는 것으로 나타남.

〈그림 2-2〉 1990~2021년 덴마크 질소산화물 배출량 추이

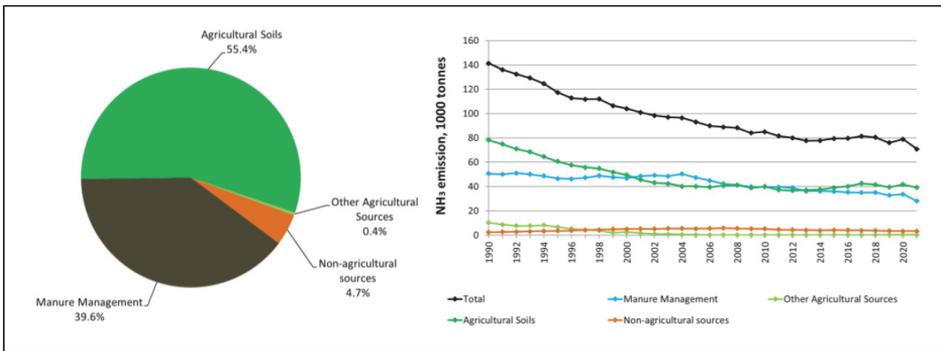


자료: DCE(2023).

○ 덴마크 암모니아 배출의 대부분은 농업부문(95%)에서 발생하였고 비농업부  
 문 발생량은 4% 수준이었음. 농업부문에서 발생하는 암모니아(전체의 95%)  
 중 경종농업 비율이 55.4%, 축산업 비율이 39.6%으로 경종농업 비율이 더  
 높은 것으로 나타남.

- 덴마크는 수생 환경에 대한 실행계획(The Aquatic Environment Action  
 Plan), 암모니아 실행계획(The Ammonia Action Plan) 등 암모니아 저  
 감 관련 정책의 효과로 암모니아 배출량이 1990년부터 2021년까지 약  
 50%가 감소하였음.

〈그림 2-3〉 1990~2021년 덴마크 암모니아 배출량 추이



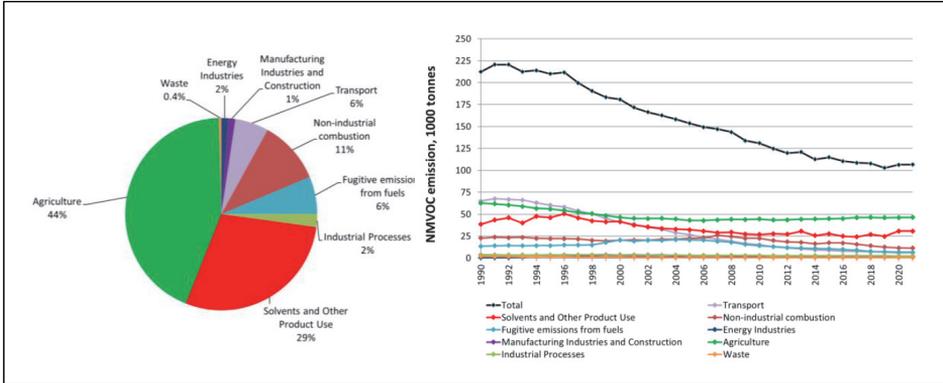
자료: DCE(2023).

○ 휘발성유기화합물(NMVOc)의 배출은 여러 다양한 배출원에서 비롯되며, 크  
 게 불완전 연소와 증발로 나눌 수 있음. 난방용 목재 조각과 같이 소규모 설비  
 는 연소로 인한 휘발성유기화합물(NMVOc) 배출의 주요 배출원임. 교통부  
 문도 주요 배출원으로 분류할 수 있음.

- 1990년 이후 차량에서 나오는 휘발성유기화합물(NMVOc)은 자동차 오  
 염물질 정화장치의 도입으로 인해 감소했음. 증발성 배출은 주로 농업부  
 문, 산업부문의 용매 사용, 석유 및 천연가스의 추출·처리 및 저장 과정에서  
 발생함.

- 휘발성유기화합물 배출량은 1990년 이후 50% 감소했는데, 주로 자동차 오염물질 정화장치 설치 증가 및 용매 사용에서의 배출 감소의 효과로 분석됨.

〈그림 2-4〉 1990~2021년 덴마크 휘발성유기화합물 배출량 추이

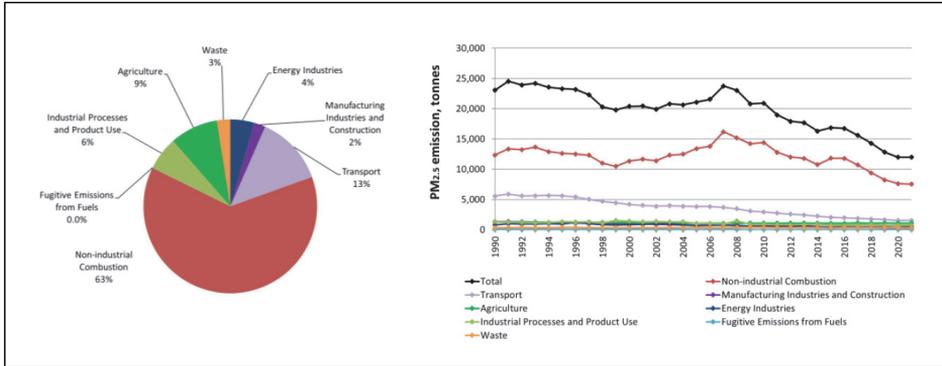


자료: DCE(2023).

○ 초미세먼지의 주요 배출원은 가정용 난방 연소를 포함하는 비산업 연소부문 (63%), 교통부문(13%), 농업부문(9%)으로 나타남. 초미세먼지 배출량은 1990년부터 2007년까지 증감을 반복했고 2007년 이후에는 지속적으로 감소하였음.

- 1990년 배출량 대비 2021년 배출량은 약 48%p 감소하였는데, 이는 같은 기간 초미세먼지 주요 배출원인 비산업 연소부문의 초미세먼지 저감의 효과로 분석됨.

〈그림 2-5〉 1990~2021년 덴마크 초미세먼지 배출량 추이



자료: DCE(2023).

○ 미세먼지 관련 대기오염 물질 중 암모니아, 미세먼지, 휘발성유기화합물, 질소산화물은 전체 배출량 중 농업부문이 차지하는 비율이 높았음.

- 암모니아는 전체 덴마크 배출량의 95%가 농업부문에서 배출되고 있었고, 전체 휘발성유기화합물의 44%, 미세먼지의 37%, 질소산화물의 21%가 농업부문에서 배출되었음. 덴마크 전체 초미세먼지 배출량 중 농업부문 비율은 9% 수준이었음.

〈표 2-1〉 2021년 덴마크 미세먼지 관련 대기오염 물질 배출량과 농업부문 비율

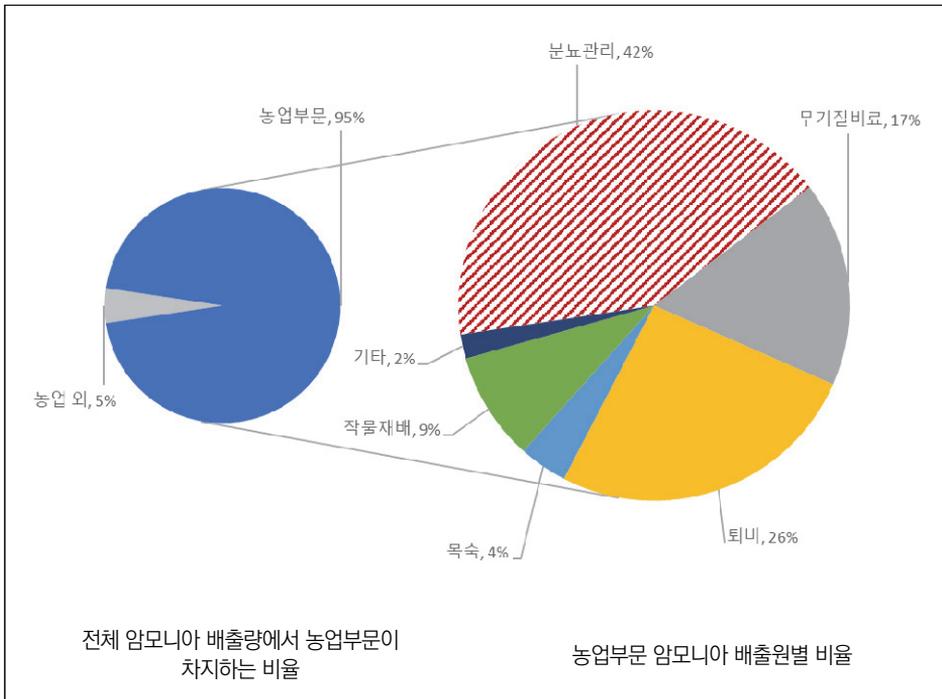
구분	질소산화물	휘발성유기화합물	황산화물	암모니아	미세먼지	초미세먼지
전체 배출량	89kt	107kt	9kt	71kt	22kt	12kt
농업부문 배출량	18kt	46kt	1kt 이하	66kt	8kt	1kt
농업부문 비율	21%	44%	1% 이하	95%	37%	9%

자료: DCE(2023).

○ 덴마크 암모니아 배출량의 95%는 농업부문에서 배출되고 있고 교통·운송 및 기타부문 배출량은 약 5% 수준임. 농업부문 암모니아 배출량 중에서는 가축분뇨 관리 및 처리 과정(42%)에서 발생하는 암모니아 비율이 가장 높았고, 다음으로 가축퇴비 사용(26%), 무기질비료(17%), 작물재배(9%) 순이었음.

- 전체 암모니아 배출량 중 경종농업이 차지하는 비율이 55.4%, 축산업이 차지하는 비율이 39.6으로 경종농업의 비율이 더 높은 것으로 나타났지만 가축퇴비 사용 과정에서 발생하는 암모니아를 가축퇴비로 분류할 경우 축산업의 암모니아 배출량 비율은 더 증가할 수 있음.

〈그림 2-6〉 2021년 덴마크 농업부문 암모니아 배출원 구성



자료: DCE(2023).

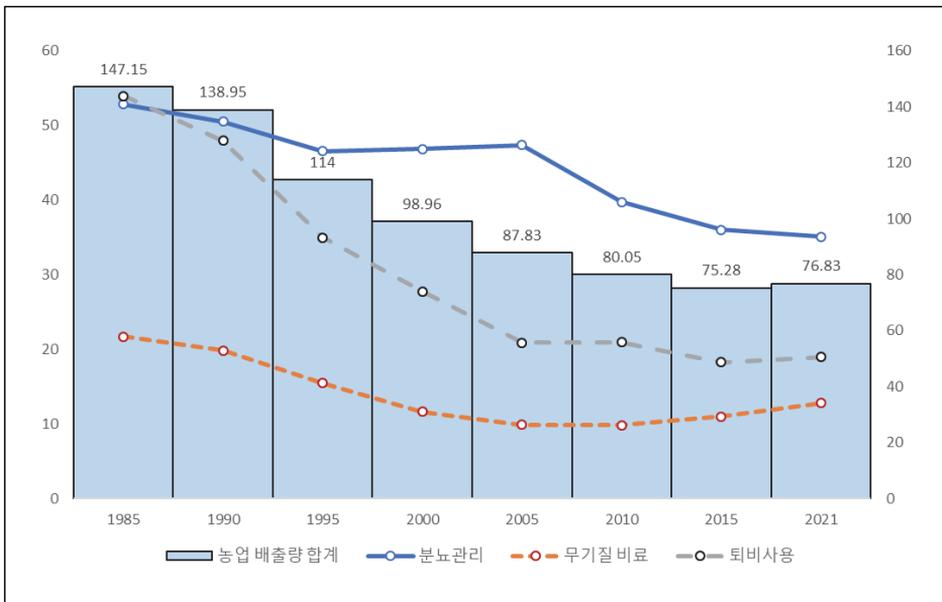
○ 농업부문 암모니아 배출량은 1985년 147.15kt에서 2021년 76.83kt으로 47.8% 감소하였음. 1985~2021년 기간 동안 주요 배출원 중에서는 퇴비사용이 34.99kt로 가장 감소량이 많았고 다음으로 분뇨관리(17.79kt), 무기질 비료(8.93kt) 순이었음.

○ 농업부문 암모니아 주요 배출원인 분뇨관리, 무기질 비료, 퇴비사용에서 발생

하는 암모니아는 1985~2021년 기간 동안 각각 33.7%, 41.1%, 64.9% 감소하였는데, 이는 미세먼지와 암모니아를 포함한 덴마크 정부의 대기오염 저감 정책의 효과로 분석됨.

- 예를 들어 같은 기간 돼지 사육두수는 1,480만 마리에서 2,050만 마리로 증가하였음에도 불구하고 돼지 사육 관련 암모니아 배출량은 55% 감소하였는데, 이는 사료 개선을 통한 효율성 증가와 암모니아 배출량 저감 효과로 볼 수 있음.

〈그림 2-7〉 1985~2021년 덴마크 농업부문 암모니아 배출량 추이



자료: DCE(2023).

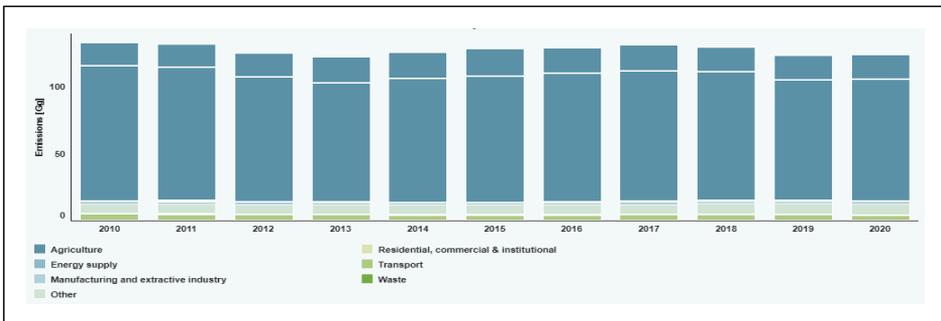
- 2021년 농업부문에서의 발생하는 총 부유먼지(TSP)는 국가 전체 총부유먼지(TSP) 배출의 77%를 차지하며, 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 및 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)의 배출 비율은 각각 37% 및 9% 수준임. 대부분의 총 부유먼지(TSP) 배출은 경작 과정에서 발생하는데, 이는 2021년에 배출량의 88%를 차지함.

- 반면 축산부문 배출은 12% 수준이며, 농업 잔여물의 소각에서 발생하는 총 부유먼지(TSP)는 2021년 기준 농업 배출의 1% 미만 수준임.

## 1.2. 네덜란드

- <그림 6-1>은 네덜란드의 암모니아부문별 배출량 추이이며, 농업부문이 대부분을 차지하고 있음. 전체 암모니아 배출량을 보면, 2010년에 133.37Gg 이었는데 2020년에 124.37Gg로 6.7% 감소한 것으로 나타났음.
- 농업부문 암모니아 배출량은 2010년에 118.0Gg(경종분야 16.8 + 축산분야 101.2)으로 88.47%(경종분야 12.57%+축산분야 75.85%)의 비율을 차지했고, 2020년 기준으로는 108.7Gg(경종분야 17.7Gg + 축산분야 91.0Gg), 87.47%(경종분야 14.27%+축산분야 73.2%)로 비율이 소폭 축소되었음. 2010년과 2020년의 분야별 배출현황을 보면, 경종 분야는 늘어난 데 비해 축산은 다소 감소하였음. 그 결과 2020년에 배출 비율이 과거에 비해 경종은 확대되었고 축산은 축소되었다. 이는 축산부문에서의 감축 노력이 있었음을 시사함.

<그림 2-8> 네덜란드의 암모니아부문별 배출량 연도별 변화 추이



자료: 유럽환경청(<https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2022-country-fact-sheets/netherlands-air-pollution-country>), 검색일: 2023. 7. 20.

## 2. 농업부문 미세먼지 저감 정책

- EU는 2001년도에 대기질 개선을 목적으로 하는 ‘국가별 배출량 상한 지침’을 처음 채택함. 2019년까지 배출 감축량을 설정하였는바 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NM VOCs, NH<sub>3</sub>가 대상이었으며 국가별로 저감 목표를 배분함.
- 2016년에 EU가 국가별 배출량 상한 지침을 개정함에 따라 2020년부터는 바뀐 기준을 적용하게 되었음. 바뀐 핵심 부분은 PM<sub>2.5</sub>가 추가된 것이다. EU는 또 국가 배출감축 약속을 수립했는데, 이는 PM<sub>2.5</sub>를 포함하는 것과 함께 암모니아 등의 감축 목표를 상향 조정함으로써 대기질을 2030년까지 큰 폭으로 개선 시키고자 했음. 2016년 개정된 ‘국가별 배출량 상한 지침’ 중 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, 휘발성유기화합물 등의 미세먼지 전구물질 감축 목표는 변화가 없는데 반해, 초미세먼지와 암모니아의 경우는 기존 기준에 비교하여 30% 이상의 저감을 요구하고 있음.
- 유럽지역은 EU 수준에서 먼저 규제를 하고 각 국가는 EU 기준을 충족하는 수준에서 각 국가의 여건에 맞는 규제를 적용하는 방식을 따름. 따라서 개별 농가의 경우 규제에 관하여 항의 및 조정을 할 수는 있음. 하지만 규제 강제성이 높음. 환경규제를 준수하지 않는 농가는 두 번까지 벌금이 부과되고 세 번째는 퇴출되므로 강제성이 높다고 할 수 있음. EU지역은 공동경제운영체의 성격을 가지므로 특정 국가만의 지원책을 임의로 추진할 수 없음. 만약 어느 특정 국가 농업인이 정부로부터 지원을 받는다면 다른 국가 농업인의 경쟁력이 떨어지므로 허용되지 않음.

## 2.1. 덴마크

### 2.1.1. 미세먼지 관련 정책

- 덴마크의 미세먼지, 초미세먼지 관련 정책은 1974년 도입된 환경보호법으로 볼 수 있음.
  - 덴마크는 1974년 환경보호법을 도입하여 산업 및 발전소에서 발생하는 대기오염물질을 규제하였는데, 환경보호법에 미세먼지를 직접 제한하지 않았지만 대기오염물질을 제한하며 부수적인 효과로 미세먼지 또한 규제하는 효과가 있는 것으로 평가됨.
- 덴마크는 1990년 본격적으로 미세먼지 관련 규정을 도입하였음. 덴마크는 1990년 최초로 총 부유먼지(TSP) 측정을 시작하였음.
  - 1980년대 후반부터 EU는 대기오염 문제의 심각성을 인지하고 대기오염 대응 정책을 적극적으로 시행하였음. 덴마크 또한 EU의 대기오염 대응 정책에 참여하였음.
- 2000년대에는 미세먼지 영향에 대한 심각성을 인지하여 미세먼지 저감 및 대응을 위한 정책을 도입하기 시작함.
  - 덴마크는 2000년 처음으로 미세먼지 측정을 시작하였음. 다음해인 2001년에는 0.1 $\mu$ m 이하 극미세먼지 측정을 시작함.
  - 2007년에는 초미세먼지 측정을 시작하였음.
- 2008년부터는 덴마크 미세먼지 주요 배출원인 장작 난로 관련 정책을 도입·시행하였음.
  - 2008년에는 1980년 이전 설치된 노후 목재난로 시설을 폐기·교체하는 정책을 시행하여 약 5,000개의 노후 보일러를 폐기하였음.

- 2015년에는 1990년 이전 노후 목재난로 시설을 대상으로 시설 폐기 및 교체를 시행하여 약 20,000개의 시설을 폐기함.
  - 2019년에는 1995년 이전 노후 목재난로 시설을 교체 및 폐기하여 약 19,000개의 시설을 폐기하였음.
  - 2020년에는 목재 보일러 및 난방 시설에 대한 규제를 EU 수준으로 강화하였음(EU 기준 덴마크 국내 도입).
- 2022년에는 지역난방이 가능한 지역을 대상으로 2008년 이전 목재 장작 난로를 금지할 수 있는 법안을 제정하여 지자체 자체 판단에 따라 시설사용을 금지할 수 있도록 하였음.

〈표 2-2〉 덴마크 미세먼지 관련 주요 정책 연혁

<p><b>1974 - 최초의 환경보호법이 제정되어 산업 및 발전소 미세먼지 규정 도입</b></p> <p><b>1990 - 총부유먼지(TSP) 측정 시작</b> 1990 - 발전소에서 먼지 배출을 제한 규정 1997 - 폐기물 소각장의 먼지 배출 제한 도입</p> <p><b>2001 - 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 측정 시작</b></p> <p><b>2002 - 극미세먼지(PM<sub>0.1</sub>) 측정 시작</b> 2002-3 폐기물 소각장 및 발전소의 먼지 제한에 대한 규정강화(EU 지침)</p> <p>2006 - 미세먼지 저배출 구역 지정 법률 도입</p> <p><b>2007 - 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 측정 시작</b> 2008 - 300kW 미만의 소형 연소 설비에 대한 미세먼지 기준 도입</p> <p><b>2008 - 노후 목재 보일러에 대한 폐기 계획(1980년 생산 약 5,000개의 오래된 보일러 폐기)</b> 2008 - 코펜하겐과 프레데릭스베르에 미세먼지 저배출 구역 설정</p> <p>2009 - 올보르그 지역에 미세먼지 저배출 구역 도입 2009 - 택시에 대한 환경 및 에너지 규정 도입 2010 - 옌센세와 오르후스에 미세먼지 저배출 구역 설정</p> <p>2015 - 발트해와 북해의 황(S) 배출 통제 구역(해상 저배출 구역) 설정</p> <p><b>2015 - 목재 장작 난로 미세먼지 기준 강화</b> 2015 - 덴마크 에코 라벨링 기준 강화</p>	<p><b>2015 - 노후 장작 난로 폐기 계획(1990년 이전 생산된 장작 난로 약 20,000개 폐기).</b> 2017 - 목재 장작 난로 규정 강화 2017 - 덴마크 에코 라벨링 기준 강화 2017 - 발전소에 BAT 원칙 적용 2017 - 중형 연소 설비의 미세먼지 배출 기준 설정(EU 지침). 2018 - 개인 연소 시설의 석유 사용 금지.</p> <p><b>2019 - 오래된 장작 난로 폐기 계획(1995년 이전 생산된 장작 난로 약 19,000개 폐기).</b></p> <p><b>2020 - 목재 보일러 규정. 새로운 장작 보일러, 펠릿 스토브 등에 대해 EU 수준에서 도입된 미세먼지 기준 적용(덴마크 규정을 EU 규정으로 대체)</b></p> <p>2021 - 주택 매매 등 부동산 소유권이 변경되는 경우 <b>2003년 이전 설치된 노후 목재 장작 난로를 교체의무 도입</b> 2022 - 농촌 지역에 설치된 짚 이용 난방시설에 미세먼지 기준 도입</p> <p><b>2022 - 목재 난로에 대해 EU 수준에서 도입된 미세먼지 기준 적용(덴마크 규정을 EU 규정으로 대체)</b></p> <p><b>2022 - 지역난방이 가능한 지역에서 2008년 이전 설치된 노후 목재 장작 난로를 금지할 수 있는 지방자치단체의 기획에 관한 법률 도입(자자체 자율 결정)</b> 2020~2023 - 디젤 자동차 미세먼지 저배출 구역 확대 및 강화.</p>
--	---

자료: Ministry of Environment of Denmark(2023).

### 2.1.1. 암모니아 관련 정책

○ 덴마크의 암모니아 대부분은 경종농업과 축산에서 배출되고 있음. 따라서 덴마크 정부는 암모니아 저감을 위해 농업부문의 다양한 정책을 시행하고 있음. 덴마크에서 시행되고 있는 농업부문 주요 암모니아 저감 정책은 다음과 같음.

- 수생환경을 위한 실행계획(Action Plan for the Aquatic Environment 1, 2, 3; 1987, 1998, 2004): 하천과 해양 환경보호를 목적으로 가축분뇨와 비료 이용 및 배출 규제
- 암모니아 실행계획(Ammonia Action Plan 2001): 암모니아처리에 관한 규제로 구성됨. 예) 가축분뇨 관리 시설 덮개 의무, 가축분뇨 처리에 관한 규정
- 축산에 대한 환경승인제도(Act on environmental approval for livestock 2007): 축사 신축 및 운영 시 환경기준을 제시하여 축산 환경을 개선하기 위한 규제. 예를 들어 사육두수 75마리 이상 축산농가는 축사의 신축, 변경, 확장 시 환경 승인을 받아야 하고 암모니아 저감량 기준을 충족해야 함.
- 질소 실행계획(Nitrate action plan 2012): 농지에 대한 질소 농도 기준 적용(1ha당 170kg 이하)
- BAT 적용 기준 강화(2017)
- 비료 사용량 규제 강화(2019)

○ 덴마크는 2007년 시행된 환경승인제도에 의하여 규제대상 축산농가가 신규 축사 설치 및 축사 증축·개조 시 환경기준을 충족해야 하고 환경승인을 받아야 함.

- 환경승인의무는 암모니아 배출량이 750kg를 초과하는 축산농가를 대상으

로 규정함. 덴마크 정부는 해당 농가의 여건을 고려하여 암모니아 저감을 위한 최적적합기술(BAT)을 평가·처방하고 최적적합기술(BAT)를 적용했을 때 배출량 기준을 설정함.

- 농가는 정부가 처방한 최적적합기술(BAT)을 사용하고 배출량 기준을 충족해야 하는데 미충족 시 제재를 받음. 2018년 기준 덴마크 축산농가의 절반은 환경승인의무 대상 농가로 암모니아 저감 의무를 이행하고 있음. 환경승인제도는 신규축사뿐만 아니라 기존 농가의 축사 변경 시에도 적용되므로 향후 더 많은 농가의 참여가 예상됨.

- 덴마크는 경종분야에서 퇴비사용 시 발생하는 암모니아 문제도 미세먼지 관련 주요 오염원으로 인지하고 있음. 따라서 퇴비 살포 관련 규정, 축산농가 구분노를 퇴비로 전환 시 규정 등 경종분야 비료 관련 여러 규정을 통해 암모니아 저감 노력을 수행하고 있음.

## 2.2. 네덜란드

### □ 암모니아 저감 정책

- 네덜란드는 축산업 비율 높은 가운데 암모니아 배출 저감이 축산업의 큰 이슈임. 네덜란드는 배출 수준이 높은 농업인이 휴농을 하도록 정부보조금을 지급하여 유도하고 있으나 휴농 정책 이행이 어려움.
- 네덜란드는 인센티브 지급 방식보다는 강한 규제를 통해 환경보전 활동을 이행하는 방식을 선호함. 따라서 지원정책이 있지만 일반적이지 않은 가운데 지원금(subsidy) 지급보다는 주로 세금을 감면해 주는 혜택을 줌. 네덜란드는 규제 정도가 다른 국가에 비해 높으며, 따라서 대부분의 축사에 오염물질 저

감 조치를 취해야 함. 신규농가의 경우는 더 높은 수준의 환경보전 활동 의무가 부여되는데 기존 혹은 평균 농가가 배출하는 양 대비 30%의 저감 의무가 있음. 기존 농가도 각 환경규제 기준을 충족해야 하는데 예를 들어 PM<sub>2.5</sub>, 암모니아 등 각 항목별로 기준이 마련되어 있고 이러한 기준을 충족해야 축산 운영이 가능함.

- 네덜란드는 농장 기반의 암모니아 감축목표를 가지고 있음. 이 감축목표는 가축 카테고리별 가축 사육장소 수(the number of animal places)를 기준으로 설정됨. 가축 카테고리별 사육장소 수에 특정 배출 한도를 곱하여 총(농장별) 배출 한도가 계산됨. 허가 절차에서는 가장 적합한 기술(BAT) 목록의 어떤 주택 유형이 적용될 것인지도 설명해야 하며 이는 공사가 완료된 후에 제어됨<글상자 1>. 즉 네덜란드는 농가에 맞는 최적 기술 적용을 통해 농가가 암모니아를 감축할 수 있도록 도와주고 있음. 덴마크의 경우도 암모니아 배출량이 750kg을 넘을 경우 해당 농가에 가장 적합한 암모니아 저감 기술(BAT)의 기준을 충족해야 함. 덴마크 정부는 BAT가 무엇인지에 관하여 평가해주고 BAT를 적용하였을 경우의 허용 배출량을 설정해 줌.

**<글상자 1> BOX: 네덜란드 농장별 암모니아 감축목표 설정**

- 네덜란드는 농가는 농장 기반의 암모니아 감축목표를 가지고 있음. 농장 기반 감축목표는 가축 카테고리별 가축 사육장소 수(the number of animal places)를 기준으로 설정됨.
- 모든 농장은 지방자치단체의 허가가 필요함. 허가 신청서에는 총 사육장소 수를 자세히 기재해야 함. 예를 들어 돼지농장에는 임신돈, 분만돈, 양육돈, 새끼돼지, 수돼지, 비육돈을 위한 사육장소를 정해야 하며, 각 유형의 장소에는 자체 암모니아 배출 한도가 있음. 가축 카테고리별 사육장소 수에 특정 배출 한도를 곱하여 총(농장별)배출한도가 계산됨. 허가 절차에서는 BAT 목록의 어떤 축사 유형이 적용될 것인지도 설명해야 하며 이는 건설이 완료된 후에 통제됨.

(계속)

**<붙임자 표 1> 암모니아 배출 법안인 BAT 목록 사례: 번식 및 임신한 암태지**

코드 번호	BAT 목록	배출량(kgNH <sub>3</sub> /장소/연)
D1.3.1	금속 삼각형 슬레이트 바닥과 하수 시스템을 갖춘 좁고 얇은 분뇨 통로	2.4
D1.3.6	생물학적 공기 세척 시스템: 배출 70% 감소	1.3
D1.3.7	화학적 공기 세척 시스템: 배출 70% 감소	1.3
D1.3.12.1	복합 공기 세척 시스템 화학 스크러버(루버 필터) 및 물 스크러버를 통한 배출 85% 감소	0.63
D1.3.12.2	결합된 공기 스크러버 시스템 물 스크러버, 화학 스크러버 및 바이오 필터를 사용하여 배출물 70% 감소	1.3

주: 배출량은 연간 가축 장소별 마리당 배출량을 나타냄.  
자료: Overheid.nl(<https://wetten.overheid.nl/BWBR0013629/2023-04-01>), 검색일: 2023. 10. 30.

- 배출 한도는 또한 돼지 축사가 건설된 연도에 따라 달라짐. 즉 2015년 6월 30일 이전에 건축된 건물(A열), 최신 건물(B열), 대규모 농장의 새 건물(C열) 등에 따라 다름. 예를 들어 비육돈(2015년 6월 30일 이전에 건축된 건물)의 배출 한도는 1.6kgNH<sub>3</sub>/(마리) 암모니아(A열)임.

자료: 저자 작성.

### 3. 시사점

- EU는 1990년대 초반 대기오염의 심각성을 인지하고 EU 회원국이 모두 협력하여 대기환경 개선을 위한 정책을 시행하였음. EU는 2001년 대기질 개선을 목적으로 ‘국가별 배출량 상한 지침’을 처음으로 채택함. 2016년 개정된 국가별 배출량 상한 지침 가운데 주요 2차 미세먼지 전구물질의 감축목표는 그대로인데, 초미세먼지와 암모니아의 경우 기존 배출량 기준보다 30% 이상의 저감을 요구하고 있음. 유럽지역은 EU 차원에서 먼저 규제를 한 다음 각 국가에 EU 기준을 충족하는 정도에서 해당 국가 여건에 맞게끔 규제를 적용하는 방식을 사용함. 규제를 지키지 않을 경우 농가는 두 번까지 벌금이 부과되고 세 번째에는 퇴출되므로 강제성 높다고 할 수 있음.

- 덴마크는 암모니아 배출과 그로 인한 미세먼지 관련 대기오염 문제가 심각했기 때문에 축산환경, 특히 가축분뇨를 관리하는 규제 및 정책을 지속적으로 도입하였음. 또한 경종농업에서 비료사용으로 인해 발생하는 질소와 암모니아, 그로 인한 초미세먼지 생성 문제를 인지하고 미세먼지 저감 측면에서 비료 사용을 관리하였음. 덴마크 오르후스대학의 연구 결과, 덴마크 미세먼지의 70%는 외부에서 유입된 것으로 나타났음. 따라서 덴마크는 대기오염 물질 저감을 위해 자국 대기오염 현안을 대응할 뿐만 아니라 주변국과 함께 대기오염 정책을 수행하여 대기오염 물질의 획기적 저감 성과가 있었음.
- 네덜란드는 규제 정도가 다른 국가에 비해 높은 가운데 대부분의 축사에 오염물질 저감조치를 취해야만 축산업을 할 수 있고, 신규농가는 기존 혹은 평균 농가 배출량과 비교할 때 30%의 배출량 저감 의무를 지니고 있어 더 높은 수준의 의무가 부여됨. 기존 농가도 각 환경규제 기준을 충족해야만 축산 운영이 가능함.
- 유럽은 EU 회원국과 비회원국을 포함하여 유럽지역을 포괄하는 대기오염저감 정책을 시행하고 있음. 따라서 유럽 각국은 EU 기준을 충족하기 위한 정책을 시행하는 동시에 각 국가별 중점적으로 해결해야 하는 분야 혹은 문제에 적합한 정책 또한 수립하여 시행함.
- 우리나라 또한 주변국으로부터 유입되는 미세먼지를 고려하여, 우리나라에 적합한 지원정책을 수립할 뿐만 아니라 주변국과의 협력을 통해 대기환경 개선 효과성을 증대해야 함.

# 3

## 미국의 미세먼지 저감농업 정책<sup>3)</sup>

### 1. 농업부문 미세먼지 관리 및 배출현황

#### 1.1. 농업부문 미세먼지 관리

○ 1970년대 총 부유분진(Total Suspended Particles: TSP) 관리를 시작으로 1990년 청정대기법(Clean Air Act: CAA) 개정을 전후로 각각 PM<sub>10</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 배출 한도를 공표하며 대기환경기준 관리체계를 확립함.

- 환경보호청(Environmental Protection Agency: EPA): 청정대기법에 포함된 대기환경 관리체계, 측정, 배출량, 배출허가권 및 준법 감시, 국제 협력 등에 관하여 국가 단위의 정책을 총괄함.
- 주 정부(State Government): 주 단위 시행계획(State Implementation Plan: SIP)을 수립하고, 국가 단위 관리제도의 실제 집행을 EPA로부터 위

3) 《농림업 부문 녹색경제 활성화방안 연구》의 3년 차(2023년) 보고서의 내용을 인용하였음을 밝힌다.

임받아 시행함.

- 미국은 국민들의 건강을 위한 주요(Primary) 기준과 공공후생을 보호하기 위한 2차(Secondary) 기준으로 나누어 대기질을 관리하며, 최근 과학적 연구들을 기반으로 관리 기준 강화 입법예고를 2023년 1월 6일 발표함<표 3-1>.
  - PM<sub>10</sub>: 아리조나 주 등 사막이나 황무지 인접 지역을 제외하면 별다른 환경적 문제가 없어 연평균 24시간 농도 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 현행기준을 유지함.
  - PM<sub>2.5</sub>: 국민 건강에 직접적 위협이 되는 PM<sub>2.5</sub>의 배출 한도 주요(Primary) 기준을 현행 12.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 9~10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화할 예정임.

<표 3-1> 미국의 국가 대기질 관리 기준

Indicator	Averaging time	Primary/Secondary	Level ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Form	Review
PM <sub>2.5</sub>	Annual	Primary	12.0	3년 주기, 연간 농도 산술평균	9~10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화 예정
		Secondary	15.0		현행 유지
	24-hour	Primary and Secondary	35.0	3년 주기, 24시간 농도의 98-분위 평균	현행 유지
PM <sub>10</sub>	24-hour	Primary and Secondary	150	3년 주기, 24시간 농도 연간 1회 이상 한도 초과 금지	현행 유지

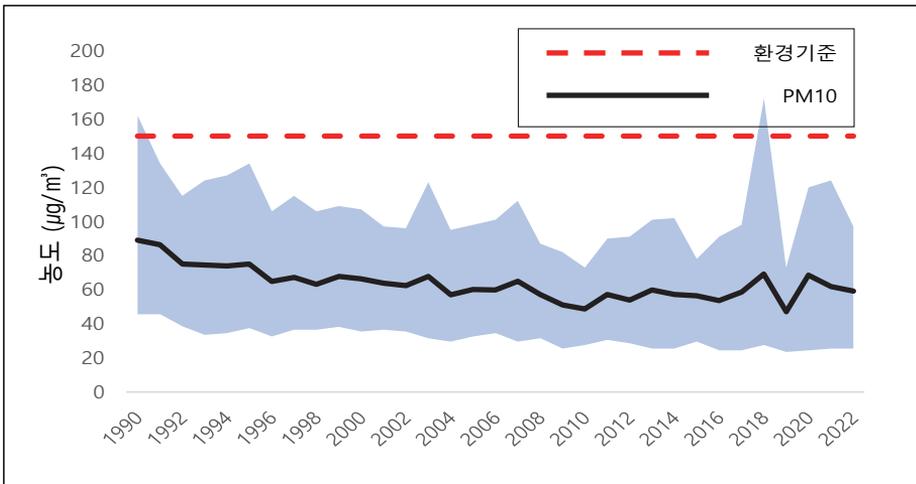
자료: US EPA(<https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-01/PM%20NAAQS%202022%20-%20Standards%20-%20Fact%20Sheet.pdf>), 검색일: 2023. 11. 30.

## 1.2. 농업부문 미세먼지 배출현황

- 1990년부터 2022년 동안 미국의 연평균 PM<sub>10</sub> 농도는 89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 34%p 감소함<그림 3-1>.4)

- 1990년과 2018년도를 제외하면 90분위 값까지 기준치를 충족하여 환경적 문제가 미미함(그림 3-1).
- PM<sub>10</sub> 총 배출량에서 농업이 차지하는 비율은 2014년 24%에서 2020년 21.9%로 낮아짐(표 3-2).

〈그림 3-1〉 1990~2022년 연평균 PM<sub>10</sub> 농도 변화 추이(83개 관측소 평균)



자료: US EPA(<https://www.epa.gov/air-trends/particulate-matter-pm10-trends>), 검색일: 2023. 11. 30.

〈표 3-2〉 미국 농업부문 미세먼지(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) 배출 비율

단위: 1,000ton/year

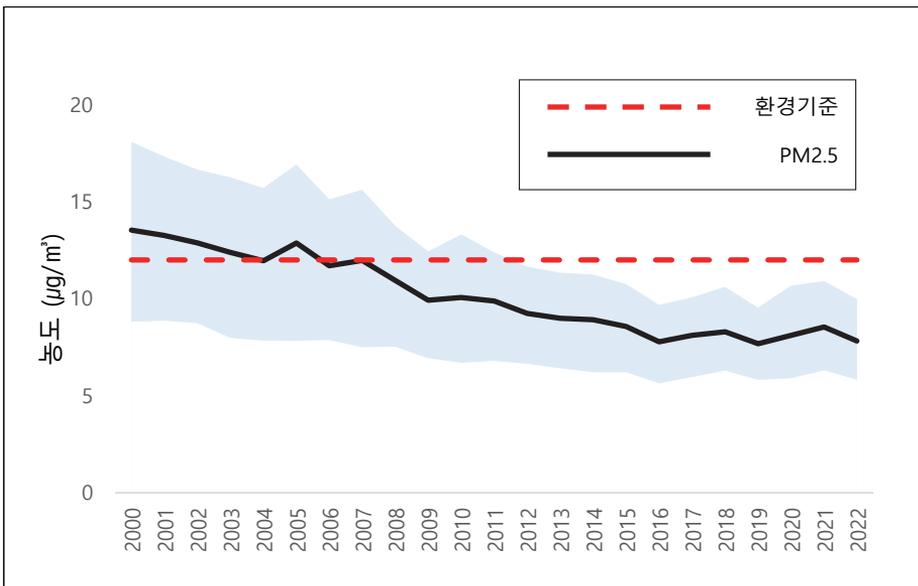
Year	PMs	Crop & Livestock Dust	Livestock Waste	Total	Ag Share(%)
2014	PM <sub>10</sub>	5,842	34	24,532	23.95
	PM <sub>2.5</sub>	1,162	9.73	6,248	18.75
2017	PM <sub>10</sub>	4,034	0.12	17,063	23.64
	PM <sub>2.5</sub>	794	0.04	5,707	13.91
2020	PM <sub>10</sub>	3,669	0.09	16,784	21.86
	PM <sub>2.5</sub>	719	0.04	5,823	12.35

자료: US EPA(2017, 2020, 2023).

4) 그림의 검은 실선은 연평균치, 붉은 점선은 대기질 기준, 음영은 10분위에서 90분위 값의 영역을 나타내며, 자료는 US EPA 홈페이지를 참조함(US EPA(<https://www.epa.gov/air-trends/particulate-matter-pm10-trends>), 검색일: 2023. 11. 30.).

- 2000년부터 2022년 동안 미국의 연평균  $PM_{2.5}$  농도는  $13.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서  $7.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 42% 감소함<그림 3-2>.<sup>5)</sup>
  - 2000년대 초반까지는 초미세먼지 대기질 기준에 부합하지 못했으나, 2006년 이후 현재까지 지속적으로 대기질 기준을 충족함.
  - 대기질 기준을  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화한다고 하여도 2022년 기준 90분위 값이  $9.97\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 대부분의 지역이 대기질 기준에 부합할 것으로 예측됨.
  - 초미세먼지 총배출량 대비 농업부문의 비율도 2014년 18.8%에서 2020년 12.3%로 낮아짐.

<그림 3-2> 2000~2022년 연평균  $PM_{2.5}$  농도 변화 추이(361개 측정소 계절가중평균)



자료: US EPA(<https://www.epa.gov/air-trends/particulate-matter-pm25-trends>), 검색일: 2023. 11. 30

<sup>5)</sup> 그림의 검은 실선은 연평균치, 붉은 점선은 대기질 기준, 음영은 10분위에서 90분위 값의 영역을 나타내며, 자료는 US EPA 홈페이지를 참조함(US EPA(<https://www.epa.gov/air-trends/particulate-matter-pm25-trends>), 검색일: 2023. 11. 30).

○ 이렇듯 전체적인 미세먼지와 초미세먼지 배출이 심각하지 않으며, 농업부문의 비율도 각각 22%와 12% 수준으로 높지 않아 별다른 규제 논의는 이뤄지지 않고 있음.

○ 그러나, 암모니아의 경우 2014년 389.1만 톤에서 2020년 548.5만 톤으로 41%의 증가를 기록함<표 3-3>.

- 이 중, 농업의 시비활동과 가축분뇨가 각각 2014년에는 26%와 55%, 2020년에는 33%와 49%를 차지하며 그 비율이 변하였으나, 이 둘의 합은 조사기간 동안 80% 이상을 차지함.

<표 3-3> 암모니아 주요 배출원별 연간 배출량(1,000 short tons/year)

구분	2014	2017	2020
비료	1,016	926	1,834
가축 분뇨	2,157	2,569	2,696
총 암모니아	3,891	4,320	5,485

자료: US EPA(<https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2020-national-emissions-inventory-nei-technical-support-document-tds>), 검색일: 2023. 11. 30.

## 2. 농업부문 미세먼지 감축 수단 및 정책

### 2.1. 농업부문 미세먼지 감축 수단

○ 미국의 농업부문 미세먼지 감축 수단은 경종부문과 축산부문에 나누어 살펴볼 수 있으며, <표 3-4>에 대표적 감축 수단을 정리하였음.

- 경종부문에는 토양표면 피복 유지, 필드 통과 횡수 감소, 토양 컨디셔닝 및 작업 시기 조정, 비포장도로 및 기타 지역 관리, 바람 장벽, 기구 조정, 화재

및 연기로 구분하여 감축 수단을 홍보하고 있음.

- 축산부문에서는 영양 및 사료 관리, 가축 감금, 분뇨 관리, 농경지 적용, 목초지 및 방목장 관리, 기타 보전 관행으로 구분하여 감축 수단을 알리고 있음.

○ 경종부문의 필드 통과 횟수 감소를 살펴보면, 필드 작업 횟수 감소로 인해 토양 마모와 토양 응집체의 분해를 줄이고, 차량 바퀴 등에서 발생하는 미세먼지의 직접적인 부유를 줄이며, 엔진 배출(질소산화물 및 미세먼지)을 줄일 수 있는 장점이 있음.

- 필드 작업 횟수를 줄이기 위해서는 운영 효율성 개선이 필요한데, 그 방법으로는 보전 경작 적용, 장비 효율성 제고, 현장 공간 최적화, 두 가지 이상의 작업을 결합하여 수행하는 등이 존재함.

〈표 3-4〉 미국 농업부문 주요 미세먼지 감축 수단

구분	주요 감축 방법	대표적 감축 방안
경종	토양 표면 피복 유지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 잔류물 및 경운 관리와 멀칭</li> <li>• 피복작물 및 기타 식생 표면 덮기</li> <li>• 다년생 작물 및 기타 식생 덮기</li> </ul>
	필드 통과 횟수 감소	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작업 조정</li> <li>• 관개/농약/비료 통합 살포</li> </ul>
	토양 컨디셔닝 및 작업 시기 조정	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토양 컨디셔닝</li> <li>• 작업 시간대 조정</li> </ul>
	비포장도로 및 기타 지역 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 먼지 억제제 살포</li> <li>• 농기계 속도 및 경로 조정</li> <li>• 바람 및 먼지 억제용 식생 장벽</li> </ul>
	바람 장벽	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 식물 장벽을 통한 풍속 감소</li> <li>• 대기 중 미세먼지 및 가스 제거 장벽</li> </ul>
	기구 조정	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오래된 연소 농기계 교체</li> <li>• 비연소 농기계 교체</li> </ul>
	화재 및 연기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연기 관리</li> <li>• 산림 관리 대체</li> <li>• 처방된 화재</li> </ul>

(계속)

구분	주요 감축 방법	대표적 감축 방안
축산	영양 및 사료 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 그룹 및 단계별 급이</li> <li>• 영양분 최적 배합</li> <li>• 사료 보충제를 통한 영양분 흡수력 증진</li> <li>• 사료 생산, 저장 및 유통 개선</li> </ul>
	가축 감금	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분뇨 처리, 물/유류 살포, 바이오필터, 바람 장벽 등이 설치된 축사</li> <li>• 방목지의 분뇨 관리 및 바람 장벽 설치</li> </ul>
	분뇨 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고체-액체 분리, 분뇨 저장소 덮개, 바이오필터, 분뇨 처리 기술 등을 활용한 신속 관리</li> <li>• 액체 분뇨 산소화, 화학 및 생물 첨가제, 퇴비화 등을 이용한 저장 분뇨 처리</li> </ul>
	농경지 적용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 관련 토지 적용 조치, 주입, 통합, 밴딩, 저압 관개 시스템 및 점적 관개</li> </ul>
	목초지 및 방목장 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적합한 초지 품종 관리</li> <li>• 축사 주변 토지 집중 관리</li> </ul>

자료: USDA NRCS(2012).

○ 축산부문의 가축감금을 살펴보면, 가축 감금 시스템은 생산자가 동물의 건강과 복지를 모니터링하고 보장하며, 동물의 영양 요구사항을 충족하기 위해 사료를 관리하고, 저장 및 처리를 위해 분뇨를 수거하는 것을 더 쉽게 할 수 있도록 도와주는 장점이 있음.

- 대표적인 보전조치로는 깔짚 개량제 및 분뇨 첨가제, 기름 살포, 물 뿌리기, 바이오 필터, 습식 스크러버, 바람막이/보호대 등이 있음.

## 2.2. 농업부문 미세먼지 감축 정책

○ 미국은 농업 활동에서 발생하는 미세먼지 배출을 관리하고 줄이기 위한 포괄적인 대응책으로 규제 조치, 기술 발전, 인센티브, 이해관계자 협력 및 역량 강화 등의 여러 가지 정책 방안이 수립되어 추진 중임.

- 대표적으로 자연자원보호청(NRCS)에서 운영하는 환경질 인센티브 프로그램(Environmental Quality Incentives Program: EQIP), 보전 책무 프로그램(Conservation Stewardship Program: CSP), 지역 보전 파트너십 프로그램(Regional Conservation Partnership Program: RCPP), 보전 혁신 보조금(Conservation Innovation Grant: CIG) 등이 있음.
- 환경질 인센티브 프로그램은 농업, 생산, 산림 관리 등의 분야에서 사업의 지속가능성과 환경질 향상의 양립 가능한 목표로 삼고, 환경 혜택을 최적화하고, 농업인과 목장주가 연방, 주, 부족, 지방의 환경 규정을 준수하도록 지원하는 역할을 담당함.
- 자발적 가입형 환경 보전 프로그램으로 현재 보전 계획에 따라 승인된 보전 관행에 대한 기술적, 재정적 지원을 제공함.
  - 예로, 척박한 텍사스 주 서부의 경우 먼지 관리를 위해 보전 덮개, 피복 작물 재배, 작물 잔류물 및 경운 관리 등을 활용하여 토양의 침식 및 미세먼지 관리를 실시할 경우 지원을 받을 수 있음.
- 보전 책무 프로그램은 미국에서 가장 큰 규모의 보전 프로그램으로, 생산자들로 하여금 한 단계 더 높은 보전 노력을 시행할 수 있는 기술 및 재정 지원을 제공함.
- 토지 기반으로 시작한 이 프로그램은 약 7,000만 ac가 등록되어 있으며, 2018년 농업법안(Farm Bill)을 기점으로 달러 기반 프로그램으로 전환되어 연간 10억 달러 규모의 편당을 지원함.
  - 예로, 캔자스 중부의 한 농가는 CSP 가입을 통해 무경운, 피복 작물 재배를 활용하여 보조금뿐만 아니라 생산성 향상, 토지 비옥도 증대, 먼지 절감 등의 효과를 봄.

- 지역 보전 파트너십 프로그램은 각 지역별 보전 목표 달성을 위해 민·관 협업을 통해 농민들로 하여금 보전 농법을 실시할 수 있도록 재정적, 기술적 지원을 제공함.
  - 타 프로그램과는 달리 농민이 직접 신청서를 제출하지 않고, 협업 단체가 제안서를 제출 후, NRCS에 의해 선정이 되면, 그 후 농민들이 참가 신청을 하는 방식으로 운영됨.
  - 2018년 농업법안을 기점으로 펀드의 50%는 8개의 선정된 주요 보전 지역 프로그램에 배당되고 나머지 반은 지역별 프로그램에 배당함. 바이든 정부는 최근 5억 달러 규모의 펀드를 준비함.
  
- 보전 혁신 보조금은 혁신적 보전 기술의 개발과 발전, 그리고 이의 신속한 현장 투입을 촉진하기 위해 시행됨.
  - 혁신적 보전 기술을 현장에 적용하는 농민들에게도 보조금이 지원되지만, 이러한 보전 기술을 개발/연구하는 협업 단체에도 제공됨.
  - 2004년 처음 시행된 이래 현재까지 약 730개 프로젝트에 3억 달러 이상 지원함.

## 〈글상자 2〉 저분진 너트 수확 장비 교체 프로그램

- 아몬드와 호두 등 견과류 수확에는 흔들기, 쓸기, 줍기 세 가지 단계가 적용되며, 수확된 견과류를 먼지 및 부스러기와 분리하는 과정에서 큰 먼지기동이 발생함.
- 보전혁신보조금(CIG)과 샌 호아킨 밸리 대기 지역구의 지원을 받아 견과류 수확 시 먼지 배출 감소를 할 수 있는 수확기를 Texas A&M 대학교에서 개발했으며, 이는 입자 물질 배출을 최소 30% 감소하는 것으로 나타남.
- 이러한 먼지 배출 감소 효과를 바탕으로, 구형 재래식 수확기 또는 스유퍼를 신규 장비로 교체하는데 필요한 자금을 지원하고 있으며, 이 인센티브 자금은 트랙터 교체 자금과 패키지로 제공되어 수확 장비를 견인하는데 필요한 트랙터를 업그레이드 할 수도 있음.
- 장려금 지급은 재배자가 해당 장비를 구입/대여하거나 이를 사용하는 운영자를 고용하는 경우에 적용되며, 표준 옵션으로 해당 장비 비용의 50%, 최대 인센티브는 대당 150,000달러로 책정되며, 자금 지원의 경우 신청자 1인당 최대 5대의 장비로 제한됨.

자료: California Almond(2017).

- 또한, 농업 대기질 연구 태스크포스를 운영하며, 농업 대기질 정책 수립에 대한 자문을 담당하고, 대기질 보전 관행의 경제성 여부를 검토하는 임무를 수행함.
  - 농업부문 대기질 규제 및 미세먼지 저감 분야 연구를 최우선으로 하도록 권고했으며, 농업 활동으로 인한 정확한 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> 배출계수 산출, 정확성과 신뢰성을 보장하기 위한 통계 절차 개발, 테스트 및 모니터링 장비 개발 등의 연구를 예로 제시함.

### 3. 시사점

- 미국의 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>의 농도는 지속적으로 개선되었으며, 대기질 기준에 부합하고 있고, 농업부문(작물 및 가축 생산)에서 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> 배출물의 22%, 12%를 차지하는 것으로 추정되어 대기질 문제의 주요 원인으로 간주되지 않아 별다른 규제 논의가 이뤄지지 않고 있는 실정임.
- 미국의 농업 활동에서 발생하는 미세먼지 배출을 관리하고 줄이기 위한 포괄적인 대응책으로 규제 조치, 기술 발전, 인센티브, 이해관계자 협력 및 역량강화 등의 여러 가지 정책방안이 수립되어 추진됨.
- 미세먼지 대응책은 크게 규제조치로 배출 기준(emission standards), 배출 모니터링(emission monitoring), 허가 및 규정준수(permitting and compliance) 등을 들 수 있음.
  - 배출 기준: 작물 유형, 가축 밀도, 지리적 위치 등의 요인을 고려하여 다양한 농업 활동에 대한 PM 배출 기준을 설정하여 배출량이 허용 한도 이내로

유지되도록 함.

- 배출 모니터링: 첨단 모니터링 기술과 원격 감지 도구를 사용하여 농업 활동에서 발생하는 미세먼지 배출을 정기적으로 모니터링하고 보고토록 함.
- 허가 및 규정 준수: PM 배출 가능성이 있는 일정규모 이상의 대규모 농업 운영에 대한 허가를 요구하고, 배출 한도 초과에 대한 벌금 및 벌칙을 통해 규정 준수를 강제토록 함.

○ 미세먼지 대응 기술 발전부문에서는 농작물 잔류물 관리, 배출감소 장비, 첨단 가축 사육 등의 분야에서 최적관리기법(best management practices: BMP)이 제시됨.

- 농작물 잔류물 관리: 밭 태우기 및 경작으로 인한 미세먼지 배출을 최소화하기 위해 잔재물 통합, 피복 작물, 무경운 농법 등 지속 가능한 농작물 잔재물 관리 관행에 대한 인센티브를 제공함.
- 배출 감소 장비: 저먼지 가축 사료 공급기, 먼지 억제제, 토양 교란을 최소화하는 정밀농업 기법과 같은 배출저감 기술 채택을 장려토록 함.
- 첨단가축사육: 감금 작업으로 인한 먼지 배출을 줄이기 위해 개선된 축사 및 환기 시스템 사용을 장려함.

○ 인센티브 프로그램으로 재정적 인센티브와 R&D 자금 지원 등을 들 수 있음.

- 재정적 인센티브: 미세먼지 저감 관행과 기술을 채택하는 농가에 보조금, 세금 감면 혜택을 제공함.
- 연구 및 개발 자금: 개선된 사료 배합, 첨단 먼지 억제 방법, 효율적인 잔류물 관리 기법 등 PM 배출을 줄이기 위한 혁신적인 솔루션을 개발하기 위한 R&D에 지원토록 함.

- 이해관계자 협업으로 농업인, 관련업계, 정부기관, 연구기관 등의 적절한 역할 분담을 수행토록 함.
  - 농업인과 농업 관련산업계: PM 배출 감소를 위한 모범 사례를 개발하고 구현하기 위해 농부 및 산업 이해관계자와 협력토록 함.
  - 정부 기관: 효과적인 정책 구현, 모니터링 및 집행을 보장하기 위해 연방, 주 및 지방 기관 간의 노력을 조정토록 함.
  - 연구 기관: 연구 기관과 농업 이해관계자 간의 지식 교환 및 협력을 촉진하여 PM 감소 전략의 혁신을 주도하도록 함.
  
- 모니터링 및 평가와 관련 데이터의 수집과 적응형 관리 등을 들 수 있음.
  - 데이터 수집: 정책 조치의 효과를 평가하기 위해 농업 활동에서 발생하는 미세먼지 배출량에 대한 데이터를 지속적으로 수집하고 분석토록 함.
  - 적응형 관리: 피드백 루프를 사용하여 실시간 모니터링 및 평가 결과를 기반으로 정책 조치를 개선토록 함.
  
- 미국은 지속가능한 농업을 장려하는 동시에 강화되는 대기질 기준을 충족하는 균형적 목표 달성을 위해 과학에 기반한 정확한 데이터를 제공하고 규제정책 조치, 기술 발전, 인센티브 프로그램, 이해관계자 협력 및 대중 인식 노력 등을 통합적으로 추진함.

# 4

## 일본의 미세먼지 저감농업 정책<sup>6)</sup>

### 1. 농업부문 미세먼지 배출현황

#### 1.1. 농업부문 미세먼지 관리

- 1960년대 경제 성장과 더불어 나타난 대기오염을 해결하기 위해 1968년 제정된 대기오염방지법과 2001년 자동차 NO<sub>x</sub>·PM법에 의해 관리되고 있으며, 2009년 9월 설정된 미세먼지에 대한 대기환경기준과 2013년 미세먼지에 대한 포괄적인 종합대책을 마련하고 추진하면서 관리 중임.
- 전국적 대기오염 관리는 환경성, 중앙환경심의회, 환경재생보전기구를 통해 수행되며, 환경청이 대기오염 관련 국가 정책을, 중앙환경심의회는 정책에 대한 자문 및 심의과정을 수행함.

<sup>6)</sup> 《농림업 부문 녹색경제 활성화방안 연구》의 3년 차(2023년) 보고서의 내용을 인용하였음을 밝힌다.

- 미세먼지 관련 내용은 중앙환경심의회의 대기·소음진동부회에 속해 있는 ‘미세 입자상 물질 등 전문위원회’에서 다룸.
  - 미세 입자상 물질 등 전문위원회는 발생원 정보의 정비, 미세 입자상 물질 인벤토리 정비, 이전 시책 평가 등을 담당함.
- 일본은 2013년에 국민의 안전·안심 확보, 환경기준의 달성, 아시아 지역의 청정한 대기 공유를 정책 목표로 하는 ‘PM<sub>2.5</sub>에 관한 종합대책(정책 패키지)’를 발표함.
- 원칙적으로 일본은 환경기본법에 근거하여 대기오염 물질에 대해 일정 수준 이하의 배출량을 목표로 설정함으로써 대기오염 물질을 관리하고 있음<표 4-1>.
- PM<sub>2.5</sub>: 연평균 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하 일평균 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 미국 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , WHO 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  대비 다소 높은 편임.
  - SPM(PM<sub>7</sub>): 일본은 부유입자상 물질의 기준 입경을 7 $\mu\text{g}$ 로 하고 있어 이는 PM7이라고 볼 수 있으며, 이 기준은 시간당 일 평균 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 시간당 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 규정하고 있음.
  - 암모니아: 악취방지법에서 규제 기준이 설정되어 있으며, 지역에 따라 1~5ppm 범위의 농도로 규제하고 있음.

〈표 4-1〉 주요 대기오염 물질 일본 내 환경기준

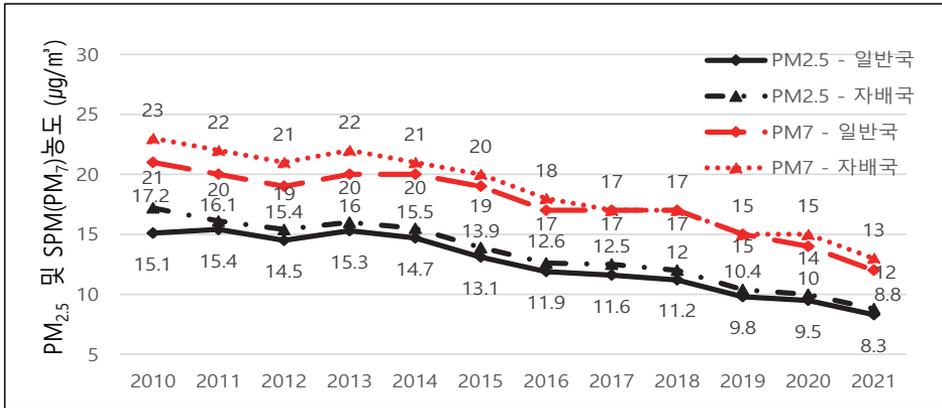
물질	환경기준
이산화황(SO <sub>2</sub> )	시간당 1일 평균치가 0.04ppm 이하이면서 시간당 0.1ppm 이하
일산화탄소(CO)	시간당 1일 평균치가 10ppm 이하이면서 시간당 8시간 평균치가 20ppm 이하
부유입자상물질(SPM: PM <sub>7</sub> )	시간당 1일 평균치가 100 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하이면서 시간당 200 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하
이산화질소(NO <sub>2</sub> )	시간당 1일 평균치가 0.04~0.06ppm 범위이거나 그 이하
광화학 옥시던트(Ox)	시간당 측정치가 0.06ppm 이하
PM <sub>2.5</sub>	연평균치가 15 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하이면서 일평균치가 35 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 이하
암모니아(NH <sub>3</sub> )	지역에 따라 1~5ppm 이하

자료: 환경성(<https://www.env.go.jp/kr>), 검색일: 2023. 7. 25. 자료 바탕으로 저자 가공.

## 1.2. 농업부문 미세먼지 배출현황

- 대기오염 측정국에서의 관측치를 기준으로 환경기준 달성 여부를 판단하며, 이러한 측정국은 일반 주택지에서 관측하는 일반국과 도로 등에서 관측하는 자배국으로 이루어짐.
- 일본은 대기오염에 대한 관리를 일찍부터 시행하여 현재 대기질 상황이 전반적으로 준수한 편임〈그림 4-1〉.
  - PM<sub>2.5</sub>: 2021년 일반국은 연평균 8.3 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 자배국은 8.8 $\mu$ g/m<sup>3</sup>으로 2010년 대비 각각 약 45%, 49%의 감소를 이룸.
  - PM<sub>7</sub>: 2021년 일반국은 연평균 12 $\mu$ g/m<sup>3</sup>, 자배국은 13 $\mu$ g/m<sup>3</sup>로 2010년 대비 모두 약 43%의 감소를 이룸.
  - 초미세먼지의 농도가 환경기준을 넘어 WHO 기준에도 충족되어 이에 대한 저감 대책이 따로 논의될 필요성이 상대적으로 낮음.

〈그림 4-1〉 일본 PM<sub>2.5</sub> 및 부유입자상물질(PM<sub>7</sub>) 농도의 연평균 추이



자료: 저자 작성.

○ 2020년 기준 주요 대기오염 물질인 황산화물, 질소산화물, 매진 등의 배출량이 2002년 대비 각각 33.6%, 47.9%, 38.6% 수준으로 크게 감소함.

- 이들 오염물질의 농업부문 배출 비율은 각각 0.1%, 0.2%, 1.2% 수준으로 매우 미미함.
- 따라서 농업부문의 저감 대책 필요성이 상대적으로 낮음.

○ 암모니아의 경우 배출량 추계가 어려워 Regional Emission Inventory in Asia(REAS) 시뮬레이션 모델에 의한 추정치가 주로 발표됨.

- 2015년 기준 암모니아 총 배출량은 349.0kt로 1990년 451.6kt 대비 77.2% 수준으로 감소함.
- 농업부문에서의 암모니아 배출량 또한 1990년 대비 감소했으나, 여전히 가장 배출 비율이 높음.
- 가축분뇨 관리가 52.3%, 화학비료 및 가축분뇨 비료가 18.9%를 배출하여 전체의 70% 이상을 농업부문이 차지함.

○ 국가 온실가스 인벤토리 보고서의 발생원별 NH<sub>3</sub>와 NO<sub>x</sub>로 휘산되거나 유출되는 질소의 양을 통해 농업 활동에서의 대기오염 물질 배출을 간접적으로 파악할 수 있음.

○ 농업부문의 NH<sub>3</sub>와 NO<sub>x</sub>로 휘산되는 질소량은 2021년 305.7kt로 1990년 400.1kt 대비 76.4% 수준으로 큰 폭의 감소를 이뤘으나, 2015년 이후로는 횡보 중임<표 4-2>.

- 가축분뇨 관리에서는 가금류와 돼지의 배출량 감소가 크나 여전히 각각 54.9%, 20.2%를 차지함.
- 농경지에서 유기비료의 배출량이 70.4%로 가장 비율이 크며 유기비료의 구성요소 중 가축분뇨가 65%로 가장 높음.

<표 4-2> 농업부문에서 NH<sub>3</sub>와 NO<sub>x</sub>로 대기 휘산 되는 질소량

단위: kt(NH<sub>3</sub>-N+NO<sub>x</sub>-N)

구분	가축분뇨 관리 - 대기 휘산						농경지 - 대기 휘산				합계
	젖소	육우	돼지	가금	기타	계	화학비료	유기비료	방목가축분뇨	계	
1990	26.6	22.3	53.1	134.0	0.1	236.1	57.5	103.9	2.7	164.0	400.1
1995	26.1	23.0	46.1	124.4	0.0	219.5	50.1	99.9	2.7	152.6	372.1
2000	24.6	23.0	43.5	111.5	0.0	202.7	46.7	95.6	2.5	144.9	347.6
2005	23.4	22.5	39.2	99.7	0.0	184.8	48.1	86.4	2.3	136.8	321.6
2010	20.5	22.5	37.3	98.1	0.0	178.4	42.3	89.2	2.2	133.8	312.2
2015	19.6	20.2	34.1	89.7	0.0	163.6	40.1	94.3	2.0	136.4	300.0
2016	19.2	20.3	33.9	91.0	0.0	164.4	39.6	93.8	1.9	135.3	299.7
2017	19.3	20.4	34.6	93.6	0.0	167.9	39.6	96.3	1.9	137.8	305.7
2018	19.3	20.2	34.4	92.5	0.0	166.4	39.6	95.6	1.9	137.1	303.5
2019	19.7	20.5	34.8	91.3	0.0	166.4	39.6	92.1	1.9	133.5	299.9
2020	19.8	20.8	34.8	91.0	0.0	166.5	39.6	93.1	1.8	134.5	301.0
2021	20.3	21.0	33.6	91.1	0.0	166.0	39.6	98.3	1.8	139.7	305.7

자료: 환경성(2023)을 참조하여 저자 작성.

## 2. 농업부문 미세먼지 감축 수단 및 정책

### 2.1. 농업부문 미세먼지 감축 수단

- 앞 절에서 살펴본 바와 같이 일본은 대다수의 대기오염 물질이 전반적으로 기준치 이하로 배출되고 있으며, 암모니아를 제외하면 농업부문의 대기오염 물질 배출 비율이 낮아 농업부문에 대한 규제 논의는 활발하지 않음.
- 일본의 농업부문 환경 규제 논의는 지구온난화 대책 관점에서 아산화질소( $N_2O$ ) 저감을 위해 질소 부하 경감 대책이 주로 논의됨.
  - 암모니아나 질소산화물 모두 질소를 공유한다는 점을 고려할 때, 시비, 가축배설물 등 농업부문에서 행해지는 질소부하에 대한 경감은 결과적으로 미세먼지 전구물질인 암모니아 감축 수단과 관련이 깊을 것으로 판단됨.
- 미세먼지 저감과 관련이 높은 대책으로는 ‘농기계 에너지 절약 대책’, ‘농지토양에 관한 온실가스 배출 저감 대책 중 시비에 의한 아산화질소 저감’, ‘농지토양 탄소 흡수원 대책’, ‘축산분야 온실가스 배출 저감 대책’ 등이 있음.
- 농기계 에너지 절약 대책은 자동조타 시스템 도입과 농기계 전력화·수소화 등을 추진하고 있음.
  - 자동조타 시스템 도입 시, 경유 소비량 13% 감소할 수 있을 것으로 예상하며, 효율적 운영으로 분진 발생 역시 감소할 것으로 기대함.
  - 농기계의 전력화·수소화 역시 경유 소비량 감소가 기대되나 이는 현재 연구개발 단계에 불과함.
  - 한편, 농기계는 특정·특수자동차 배출가스 규제 등에 관한 법률에 의해 배

출가스 규제가 이루어지고 있으나, 디젤 기반의 차량에는 적용되지 않고 있는 실정임.

○ 시비에 의한 아산화질소 저감 대책은 시비의 효율성을 제고하기 위한 시기별 적정 시비, 뿌리 부근에의 국소 시비, 완효성비료 보급 등을 추진하고 있음.

- 시비기술의 발달을 통한 효율성 제고 시 비료 사용량 감소 및 유히 질소산화물의 배출을 줄일 수 있을 것으로 기대함.

○ 농지토양 탄소 흡수원 대책은 경축순환, 유기농업 등을 통한 유기물 시용을 추진하고 있음.

- 2020년 12월부터 화학비료 등 보통비료와 퇴비 등 특수비료를 혼합하여 비료를 생산할 수 있도록 함.

○ 축산분야 온실가스 배출 저감 대책은 질소 계열의 아산화질소 저감 대책과 보다 직접적으로 관련 있는 가축배설물 관리 방법 개선, 아미노산 밸런스 개선 사료 급여, 아산화질소를 감축하는 탄소섬유 리액터 연구개발 등을 추진함.

- 가축분뇨 관리 방법 개선에서는 강제발효를 통한 퇴비화 방법의 개발과 보급을 추진함.

- 저단백질 사료 제공으로 가축의 증체에는 영향이 크지 않으면서 가축의 질소 배설량을 감축시킬 수 있는 아미노산 밸런스 개선 사료 급여를 추진함.

- 탄소섬유 표면에 있는 생물막에 의해 가축분뇨 처리 과정 중 질산화 과정에서 나오는  $\text{NO}_x$ 를 탈질화시켜  $\text{N}_2$ 와  $\text{H}_2\text{O}$ 로 반응시키는 탄소섬유 리액터 개발을 추진함.

### 〈글상자 3〉 Rockwool 바이오필터를 이용한 암모니아 저감 시설 개발

- 가축분뇨에서 나오는 질소는 10~70%가 배설 즉시 암모니아로 휘발되는 것으로 알려짐에 따라 일본에서는 락울(Rockwool) 바이오필터를 이용한 가축분뇨처리 시설의 암모니아 저감시설을 개발함.
- 락울(Rockwool)은 토양보다 적은 면적으로 필터링이 가능하며, 가스와 바이오필터의 교차시간 및 표면적 증가를 통해 악취저감 및 암모니아 저감 효율을 높일 수 있음.
- 3주 간격으로 퇴비를 투입하며 실험했으며, 투입구와 출구의 가스를 모니터링한 결과 시기에 따라 투입구의 암모니아 농도는 변화가 있었으나, 출구에서는 암모니아가 검출되지 않아 바이오필터의 내구성 및 필터링 성능이 매우 뛰어남을 확인할 수 있음.
- 그러나 질소 농도가 높은 바이오필터 여과수 처리에 관한 경제성 있는 기술이 개발되지 않아 추가적 연구개발이 필요함.

자료: Tomoko Yasuda(2023).

## 2.2. 농업부문 미세먼지 감축 정책

- 미세먼지 감축 수단에서 언급한 바와 같이 일본에서는 농업부문의 독립적인 미세먼지 감축 정책은 존재하지 않으나, 지구온난화 대책 계획 및 녹색 식량 시스템 전략 추진 종합대책 등을 통해 간접적으로 미세먼지 저감 수단에 대한 지원이 가능함.
- 본 절에서는 배출권 거래 유형의 J크레딧 제도와 더불어 녹색 식량시스템 전략 추진 종합대책의 직불금 등 보조사업을 살펴봄.
  - J크레딧 제도는 친환경에너지 설비를 도입, 재생에너지 활용 등에 의한 온실가스 감축량과 산림 관리를 통한 온실가스 흡수량을 국가가 인증하는 제도로 크레딧을 매매할 수 있는 배출권 거래제의 일환임.
  - 녹색 식량시스템 전략 추진 종합대책과 일본형 직접지불금 중 하나인 환경보전형 농업 직접지불교부금 사업 등도 시행 중임.

○ J크레딧 제도는 에너지 절약, 신재생에너지, 산업공정, 농업, 폐기물, 산림 등 6개 분야에 대해 크레딧을 인정하는데 이 중 농업 분야에 대해서는 <표 4-3> 과 같은 5개의 방법론에 대해 크레딧을 수여함.

- 이 중, 아미노산 균형 개선 사료 급여, 가축배설물 관리 방법의 변경, 질화 억제제가 함유된 화학비료 또는 석회질소를 함유한 복합비료의 시비 등이 질소 부하 경감과 관련되어 있어 간접적으로 미세먼지 감축에도 영향을 미칠 것으로 판단됨.

<표 4-3> J크레딧 농업 분야 방법론

No.	방법론	버전	갱신일
AG-001	소, 돼지, 육계 등에 아미노산 균형 개선 사료 급여	3.0	2022. 8. 10.
AG-002	가축배설물 관리 방법의 변경	1.2	2022. 8. 10.
AG-003	질화 억제제가 함유된 화학비료 또는 석회질소를 함유한 복합비료의 시비	2.2	2022. 3. 9.
AG-004	바이오탄의 농지 시용	1.6	2023. 6. 2.
AG-005	논벼 재배에 중간 물떼기 기간 연장	1.0	2023. 3. 2.

자료: J크레딧(<https://www.japancredit.go.jp>), 검색일: 2023. 7. 25.

○ 녹색 식량시스템 전략 추진 종합대책에는 2022년 보정예산 30억 엔이 배정되었으며, 자재 및 에너지 조달부터 농림수산물의 생산, 유통, 소비 단계에 걸친 환경부하저감 활동, 지속적으로 발전할 수 있는 지역모델지구를 창출, 활동의 시각화 등을 지원함.

- 녹색 식량시스템 전략 추진 교부금을 창설하여 지역의 특색있는 농림수산업이나 자원을 살린 지속적인 식량시스템의 구축을 지원하고 모델지구를 창출함.
- 토양 진단 등에 의한 화학비료의 저감이나 스마트 농업 기술의 활용 등 산지에 적합한 기술, 녹색 재배 체계로의 전환, 지역자원을 활용한 지역순환

형 에너지 시스템 구축, 유기농업의 단지화 등을 지원함.

- 녹색 식량시스템 전략 실현기술 개발 및 실증사업에도 보정예산 44억 엔을 배정하여 R&D 촉진에 활용하고 있음.

○ 일본형 직접지불금 중 하나인 환경보전형 농업 직접지불교부금은 지구온난화 방지 및 생물 다양성 보전 등에 효과가 높은 생산활동을 지원함.

- 2021년 약 45억 엔이 지급되었으며, 화학비료, 화학농약을 5할 이상 저감하는 활동 등 <표 4-4>에 제시된 활동에 대해 지불금을 지원함.
- 지역특별인정활동에 총 31.3%가 지원이 되었으며, 퇴비 사용, 피복 작물 등에 많은 비율이 할애됨.

<표 4-4> 환경보전형 농업 직접지불금 지원대상 활동

구분	활동	교부단가(엔/10a)
전국 공통 활동	메밀 등 잡곡, 사료작물 이외	12,000
	유기농업 <sup>1)</sup>	- 이 중, 탄소저장효과가 높은 유기농업을 실시하는 경우 <sup>2)</sup> 에 2,000엔 가산
	메밀 등 잡곡, 사료 작물	3,000
	퇴비 사용	4,400
	피복작물 (Cover Crop)	6,000
	리빙 멀칭 (그 중, 소맥·대맥 등)	5,400 (3,200)
	초생재배	5,000
	무경운 파종	3,000
	장기 중간 물떼기	800
	추경(秋耕)	800
지역특별 인정활동	지역환경 및 농업 실태 등에 근거하여 도도부현이 신청하고 국가가 승인한 지역을 한정된 활동 (겨울철 담수(湛水) 관리, 솟 투입 등)	도도부현이 설정

주 1) 국제수준의 유기농업 실시가 요건사항임. 유기JAS인증 취득을 요구하지 않음.

2) 토양진단의 실시와 동시에, 퇴비사용, 피복작물, 리빙멀칭, 초생재배 중 하나를 실시.

자료: 농림수산성(2023), 《환경보전형농업직접지불교부금》.

○ 보조금 외에도 2022년에는 세계개정을 통해 녹색투자촉진 세금공제가 도입되었고, 농업개량자금 등에 무이자 용자, 기계나 자재업체에 대한 저리 용자 등을 확충하고 있음.

### 3. 시사점

- 일본은 이른 경제 성장에 따라 환경오염 문제 발생 시기도 이른 탓에 대기오염 등을 포함한 다양한 환경오염에 대한 관리 역사가 긴 편으로, 대기오염과 관련하여서는 원칙적으로 환경기본법에 근거하여 대기오염물질에 대한 배출 기준치를 설정함으로써 관리함.
  - PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>7</sub> 등 대부분의 오염물질이 기준치 이하로 배출되고 있음.
  - 암모니아의 경우 시뮬레이션 모델에 의해서 배출치가 추계되고 있으며, 아직 관리 차원에서의 목표치만 있을 뿐 대기오염 관리 차원에서의 배출 목표치도 별도로 존재하지 않음.
  
- 오염물질 배출이 적는데다 암모니아를 제외한 대다수 오염물질의 농업부문 배출 비율이 매우 낮아서 미세먼지 등 대기오염 관점에서의 농업부문 대책 논의 상대적으로 활발하지 않음.
  
- 농업부문에서 대기오염물질 발생원으로 지적되는 것은 가축배설물, 시비, 농기계 등으로 요약될 수 있으며, 이들은 질소 부하 저감과 밀접한 관련이 있음.
  
- 따라서, 미세먼지 등 대기오염 관리 차원은 아니지만, 암모니아, 질소산화물과 관련 있는 질소의 저감을 촉진하기 위해 농업부문에서도 J크레딧, 직불금지급, 세제 혜택 등 다양한 정책이 시행되고 있으며, 중장기적으로 관련 기술 개발도 추진하고 있음.
  
- 일본은 대기오염 물질의 발생원 정보나 인벤토리 정비에 꾸준한 노력 중.
  - 데이터를 기반으로 J크레딧 등에 적극 활용하고 있으며, 정책 방향 설정 및

정책 설계에도 데이터를 활용함.

- 또한, 환경 여건이 지역마다 매우 달라서 한 정책의 일률적 적용이 어려워 지역 특이성을 고려함. 배출치 기준에서 일반배출기준과 지역별 기준을 차등하여 적용하기도 하고, 환경보전형 농업 직불금도 지역특별인정활동을 마련함.

○ 농업부문에서 미세먼지 주요 발생원을 고려할 때, 다양한 유관기관 간 협업이 중요할 것으로 보임.

- 가축배설물이나 비료 등에서의 발생은 농림수산성이 주무부처이지만, 농기계는 오프로드법 등으로 관리하는 환경성, 경제산업성, 국토교통성이 주무부처임.
- 폐기물 처리에 관한 법률로 관리되는 야외소각은 환경성을 중심으로 지자체 영향을 많이 받음.

# 5 결론

- EU는 1990년대 초반 대기오염의 심각성을 인지하고 EU 회원국이 모두 협력하여 대기환경 개선을 위한 정책을 시행하였음. 2016년 개정된 국가별 배출량 상한 지침 가운데 주요 2차 미세먼지 전구물질의 감축목표는 그대로인데, 초미세먼지와 암모니아의 경우 기존 배출량 기준보다 30% 이상의 저감을 요구하고 있음.
- 덴마크는 암모니아 배출과 그로 인한 미세먼지 관련 대기오염 문제가 심각했기 때문에 축산환경, 특히 가축분뇨를 관리하는 규제 및 정책을 지속적으로 도입하였음. 또한 경종농업에서 비료사용으로 인해 발생하는 질소와 암모니아, 그로 인한 초미세먼지 생성 문제를 인지하고 미세먼지 저감 측면에서 비료 사용을 관리하였음. 덴마크 오르후스 대학의 연구 결과, 덴마크 미세먼지의 70%는 외부에서 유입된 것으로 나타났음. 따라서 덴마크는 대기오염 물질 저감을 위해 자국 대기오염 현안을 대응할 뿐만 아니라 주변국과 함께 대기오염 정책을 수행하여 대기오염 물질의 획기적 저감 성과가 있었음.

- 네덜란드는 규제 정도가 다른 국가에 비해 높은 가운데 대부분의 축사에 오염물질 저감조치를 취해야만 축산업을 할 수 있고, 신규농가는 기존 혹은 평균 농가 배출량과 비교할 때 30%의 배출량 저감 의무를 지니고 있어 더 높은 수준의 의무가 부여됨. 기존 농가도 각 환경규제 기준을 충족해야만 축산 운영이 가능함.
- 미국의 농업 활동에서 발생하는 미세먼지 배출을 관리하고 줄이기 위한 포괄적인 대응책으로 규제 조치, 기술 발전, 인센티브, 이해관계자 협력 및 역량강화 등의 여러 가지 정책방안이 수립되어 추진됨.
- 미세먼지 대응책은 크게 규제조치로 배출 기준(emission standards), 배출 모니터링(emission monitoring), 허가 및 규정준수(permitting and compliance) 등을 들 수 있음.
  - 미세먼지 대응 기술 발전부문에서는 농작물 잔류물 관리, 배출감소 장비, 첨단 가축 사육 등의 분야에서 최적관리기법(best management practices: BMP)이 제시됨.
  - 인센티브 프로그램으로 재정적 인센티브와 R&D 자금 지원 등을 들 수 있음.
  - 이해관계자 협업으로 농업인, 관련업체, 정부기관, 연구기관 등의 적절한 역할 분담을 수행토록 함.
  - 모니터링 및 평가와 관련 데이터의 수집과 적응형 관리 등을 들 수 있음.
- 일본은 오염물질 배출이 적은데다 암모니아를 제외한 대다수 오염물질의 농업부문 배출 비율이 매우 낮아서 미세먼지 등 대기오염 관점에서의 농업부문 대책 논의는 상대적으로 활발하지 않음. 농업부문에서 대기오염물질 발생원으로 지적되는 것은 가축배설물, 시비, 농기계 등으로 요약될 수 있으며, 이들

은 질소 부하 저감과 밀접한 관련이 있음.

- 미세먼지 등 대기오염 관리 차원은 아니지만, 암모니아, 질소산화물과 관련 있는 질소의 저감을 촉진하기 위해 농업부문에서도 J크레딧, 직불금 지급, 세제 혜택 등 다양한 정책이 시행되고 있으며, 중장기적으로 관련 기술 개발도 추진하고 있음.
- 일본은 대기오염 물질의 발생원 정보나 인벤토리 정비에 꾸준한 노력 중임.

○ 유럽, 미국, 일본의 농업부문 미세먼지 저감 사례는 우리나라에 적지 않은 시사점을 주고 있음.

- 유럽에서는 암모니아 배출 기준을 설정하고 있으며 기준을 지키지 못하는 경우 강력한 페널티를 부과하거나 퇴출시키고 있음. 배출 기준을 도입하게 되면 농업인들이 페널티를 회피하기 위해서라도 적극적으로 암모니아 저감 활동을 추진할 것임. 우리나라도 이러한 규제 사례를 벤치마킹하여 기술개발과 함께 저감목표를 설정하는 작업이 필요함. 농장 단위별 암모니아 저감 목표를 설정하는 것은 신규 진입 축산 농가의 농장을 우선 고려할 수 있고 여건이 되면 점진적으로 확대하는 방안을 고려할 수 있음. 덴마크는 대기오염 물질 저감을 위해 자국 대기오염 현안을 대응할 뿐만 아니라 주변국과 함께 대기오염 정책을 수행함. 우리나라 또한 주변국으로부터 유입되는 미세먼지를 고려하여, 우리나라에 적합한 지원정책을 수립할 뿐만 아니라 주변국과의 협력을 통해 대기환경 개선 효과성을 증대해야 함.
- 미국은 지속적인 데이터 수집과 분석, 이를 바탕으로한 피드백 루프를 사용한 실시간 모니터링 및 평가 결과를 기반으로 정책을 추진하고 있고, 일본도 대기오염 물질의 발생원 정보나 인벤토리 등의 정비에 꾸준한 노력을 기울이고 있음. 데이터를 기반으로 정책 방향을 설정하면서 동시에 보다 치밀하고 정교한 정책을 설계하고 있음. 우리나라도 미국과 일본 사례를

벤치마킹하여 신뢰성 높은 통계자료를 구축하고 이를 정책 방향 설정이나 정책 설계 시 활용할 필요가 있음.

## 참고문헌

- 관계부처 합동(2020), 「한국판 뉴딜」 종합계획.
- 이승민·추장민·한진석·최기철·정예민·나건수·이주희(2020), 《해외 고농도 미세먼지 대응 사례 조사 연구》, 한국환경정책·평가연구원.
- 정학균·이상민·이용건·정선화(2021), 《농림업 부문 녹색경제 활성화방안 연구(1/3차년도)》, 한국농촌경제연구원.
- 정학균·안현진·채광석·임영아·임준혁·박형호·김창길·심창섭·이요한·조현경(2023), 《농림업 부문 녹색경제 활성화방안 연구(3/3차년도)》, 한국농촌경제연구원.
- 농림수산성(2023), 《환경보전형농업직접지불교부금》.
- 환경성(2023), 《National Greenhouse Gas Inventory report of JAPAN》.
- California Almond(2017), San Joaquin Valley Air Pollution District.
- DCE(2023), Annual danish informative inventory report to UNECE.
- Ministry of Environment of Denmark(2023), National Air Pollution Control Programme.
- Tomoko Yasuda(2023), Ammonia and odor treatment in Japanese livestock industry, presented at KREI International symposium, Activation Strategies of Agriculture to Reduce Fine Dust and Odor, 30th of Aug. 2023.
- US EPA(2017), Profile of Version 1 of the 2014 National Emission Inventory.
- \_\_\_\_\_ (2020), Profile of Version 1 of the 2017 National Emission Inventory.
- \_\_\_\_\_ (2023), Profile of Version 1 of the 2020 National Emission Inventory.
- USDA NRCS(2012), Agricultural Air Quality Conservation Measures, Reference Guide for Cropping System and General Land Management.
- 〈온라인 자료〉
- J크레딧(<https://www.japancredit.go.jp>), 검색일: 2023. 7. 25.
- 유럽환경청(<https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2022-country-fact-sheets/netherlands-air-pollution-country>), 네덜란드 대기오염 자료, 검색일: 2023. 7. 20.
- 환경성(<https://www.env.go.jp/kr>), 검색일: 2023. 7. 25.

Overheid.nl(<https://wetten.overheid.nl/BWBR0013629/2023-04-01>), 검색일: 2023. 10. 30.

US EPA(<https://www.epa.gov/system/files/documents/2023-01/PM%20NAAQ%202022%20-%20Standards%20-%20Fact%20Sheet.pdf>), PM NAAQS 2022-Standards-Fact Sheet, 검색일: 2023. 11. 30.

\_\_\_\_\_<https://www.epa.gov/air-trends/particulate-matter-pm10-trends>), 검색일: 2023. 11. 30.

\_\_\_\_\_<https://www.epa.gov/air-trends/particulate-matter-pm25-trends>), 검색일: 2023. 11. 30.

\_\_\_\_\_<https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2020-national-emissions-inventory-nei-technical-support-document-tsd>), 2020 National Emissions Inventory (NEI) Technical Support Document (TSD), 검색일: 2023. 11. 30.

#### <법령>

저탄소 녹색성장 기본법(시행 2022. 3. 25., 법률 제18469호, 2021. 9. 24., 타법폐지) 제22조, 검색일: 2023. 4. 30.

**KREI**

www.krei.re.kr



## 주요국 미세먼지 저감농업 정책

**한국농촌경제연구원**

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



9 791161 496801  
ISBN 979-11-6149-680-1