

# 벼 유기재배 자발적 온실가스 감축 실천기술 접목 실증

김현우\* / 생태환경농업연구소장

정 원 / 생태환경농업연구소 연구팀장

권자영 / 생태환경농업연구소 연구원

김경호 / 이슬촌생명영농조합 대표

## I. 서론

### 1. 연구 필요성

지구 온난화로 인한 기후변화로 농작물 재배에 피해가 발생하거나 생산량이 급감하는 등 농업 분야의 피해가 점차 심각해지고 있다.

농업 분야의 온실가스 총배출 비중은 3.1%로 미미한 수준으로 보이지만, 우리나라 6대 온실가스 중 하나인 메탄 배출량의 약 44%는 농업 분야에서 발생하고 있다(환경부, 2022). 메탄은 대기 중 농도가 이산화탄소보다 200분의 1 이하로 낮지만, 지구 기온을 약 0.5°C 상승시키는 등 전체 지구 온난화의 약 30%에 영향을 미치는 주요 물질로 알려져 있다(기후솔루션, 2025).

정부에서는 2050년 탄소중립 달성을 위한 온실가스 배출량을 2018년 대비 40%

\* 김현우(kim0hw@naver.com): 전남 나주시 노안면 이슬촌 소재 생태환경농업연구소에서 기후변화와 농업 농촌의 생태환경 극복을 위한 연구와 지역 활성화 활동을 하고 있다.

를 감축하는 2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC: Nationally Determined Contribution)를 설정했으며(탄소중립녹색성장위원회, 2023), 농축산 분야도 2030년까지 온실가스 배출량을 2018년 대비 27.1% 이상 18백만 톤을 목표로 감축하기 위한 노력을 해야 한다(탄소중립녹색성장위원회, 2023).

기후 위기 극복을 위한 다양한 온실가스 감축 방안(한국농업기술진흥원, 2013)들이 농업부문에서 제시되고 있으나, 현장 농업인 측면에서 보면 제시된 방안들에 대한 기술적인 이해가 약하고, 지속적인 실천의 어려움, 더 나아가 부가적인 인센티브 등이 충분하게 보장되지 못하고 있어서 외면되는 실정이다.

따라서 농업부문에서 지구 온난화의 주된 원인인 메탄이 많이 배출되는 벼 재배 현장을 대상으로, 재배유형별 온실가스 감축할 수 있는 실용 기술을 종합 투입하여 실증한다. 그 과정을 참여 농업인들과 함께 진행함으로써 투입기술들에 대한 활용 요령과 온실가스 감축 효과 및 작물의 생산성 결과를 공유하여 현장 농업인들의 자발적인 온실가스 동참을 이끌어 가고자 한다.

## 2. 선행연구검토 및 차별성

국가 온실가스 인벤토리 산정 기준이 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC) 1996년 지침에서 2006년 지침으로 갱신되면서 2022년 국내 메탄 총배출량이 30% 늘어났다(기후솔루션, 2025)고 한다.

정부에서 펼치는 농업 부문의 온실가스 감축 수단(한국농업기술진흥원, 2013)은 영농 현장에서 외면되고 있으며, 근본적인 문제해결을 위한 접근보다는 이상기후에 따른 작물 생산 조건의 악화와 피해 측면에서 접근하고 있다.

연구 방향도 배출량에만 맞추어져 온난화에 일정 부문 가속화된다는 관점에서만 평가(정현철 등, 2010; 최은정 등, 2018; 이창규 등, 2021) 되고 있다. 그러나 농작물을 재배하면 온난화의 주요인인 대기 중의 CO<sub>2</sub>를 연간 1,400만톤을 흡수하고, 약 천만 톤의 산소를 방출하는 정화 기능이 있으며(정필균, 2002), CO<sub>2</sub> 총고정량의 50%는 지상부에, 30%는 뿌리에 남아 토양 중에 유기물 형태로 보존되며 나머지는 호흡작용으로 이용된다(김경규 등, 2018)는 결과도 있다. 또 토양은 식물과 함께 탄소를 흡수하여 탄소중립을 실현하는 데 핵심적 기능을 하고 있으며 이론적으로 토

양의 유기물 함량을 0.4% 높이면 전 세계 화석연료 연소를 통해 배출되는 온실가스를 모두 제거할 수 있다(김필주, 2021)는 결과도 있다.

벼 재배 전 과정에 걸쳐 친환경 재배를 하면 관행보다 온실가스 배출량이 현저히 낮았고(유종희 등, 2012), 유기질 비료를 사용하면 아산화질소의 배출량이 감소(양상호 등, 2011)된다고 했다.

본 연구에 참여할 농가의 벼 재배포장은 수년간 유기자재를 이용하여 질소 위주의 양분관리를 해왔고, 토양 인산과 칼리가 낮아져 생산성은 60~70%에 못 미치는 실정이었다. 벼 재배유형별로 온실가스 배출량과 흡수량을 종합적으로 검토한 결과, 기존의 배출량 기준의 주장과는 다르게 벼 유기재배 전과정의 탄소수지 측면에서 긍정적인 결과를 얻었다(김현우 등, 2023).

따라서 본 연구는 생태환경 회복을 위해 지난 20여 년간 유기재배를 지속해 온 나주시 노안면 18농가와 함께 수행되었다. 연구에서는 유기 벼 재배 시 양분 관리와 재배관리 측면에서 온실가스 배출량 감축 기술을 투입하여 실증 재배를 진행하였다. 이 과정에서 온실가스의 배출량과 흡수·고정량을 측정하고 조사하여, 탄소 흡수와 배출 수지를 산출하고자 하였다.

또한, 농한기에는 우리밀을 재배하여 벼 재배 시 녹비작물로서 대체효과를 검토하고, 이를 종합적으로 판단하여 마을공동체의 실천 지침으로 제시하고자 한다.

## II. 연구방법 및 내용

### 1. 벼 재배 형태별 온실가스 감축기술 투입효과 실증 및 탄소수지 평가

논에서 벼를 재배하는 형태별로 온실가스 감축기술 투입 효과를 평가하기 위해, 전남 나주시 노안면에 위치한 벼 유기재배 포장에서 실험을 수행하였다. 시험 품종은 녹비작물(금강밀+헤어리베치, 청풍보라)과 벼(전남6호)로 선정하였으며, <표 2-1>과 같이 재배 관리를 하였다.

〈표 2-1〉 녹비와 벼 재배 시비량

녹비파종일 벼 이앙일	재배 방법	시비량(kg/10a)				비고
		N	P	K	퇴비	
'23.11.12	산파	8.1	0.5	0.9	계분1톤	(금강밀+청풍보라) 15kg/10a
'24. 6.10	기계이앙	10.8	4.5	5.7	퇴비2톤	이앙 20일 전 녹비 토양환원

처리 내용은 화학비료와 합성농약을 사용하는 관행재배, 관행재배에서 녹비를 활용하여 양분 관리와 물관리를 추가한 기술투입, 그리고 유기질 비료를 위주로 하는 유기재배, 세 가지로 구분하였다.

각 처리구에서는 벼를 재배하면서 온실가스 배출량, 감축기술 투입 효과, 탄소수지 평가에 필요한 조사를 병행하였다.

〈표 2-2〉 재배 형태별 처리 내용

구분	시기 및 비종별 시비량(kg/10a)			특이사항
	기비	추비	수비	
관행재배	용성인비 25 미라클K 30	참편한 60	참편한 30	화학비료+합성농약
기술투입	용성인비 25 미라클K 30	참편한 60	참편한 30	이앙전 녹비(밀+헤어리베치) 혼작 재배 후 토양환원 물관리
유기재배	참편한 90	-	참편한 30	18농가 재배, 친환경 방제

주: 참편한[(주)누보], 친환경자재 공시번호 2-3-550

물관리는 국립식량과학원에서 개발한 논물관리 자동물꼬 시스템 활용하였다. 이앙 후 35일까지는 논에 물을 담수해 5cm 수위를 유지하게 하였고, 그 이후에는 20일 간격으로 간단 관개를 계획하여 물꼬의 인입라인을 차단한 뒤, 논바닥이 마르면 물꼬를 다시 열어 5cm 수위까지 물을 채우는 과정을 총 3차례 반복하고자 하였다. 다만 물관개 두 번째 시기에는 장마로 인하여 논이 건조되지 않아 시험 재배 기간에는 총 2회(1차: 7.25~8.5, 2차: 9.6~9.16)를 실시하였다.

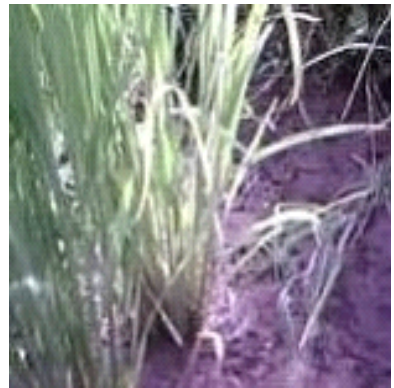
〈그림 2-1〉 논물관리 자동물꼬 이행 장치



장치 전면



장치 후면



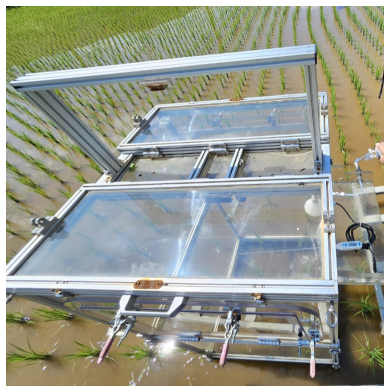
논 건조 상태(장치 촬영 사진)

온실가스 포집 및 분석을 위해, 이앙 후 챔버(Chamber)를 설치한 후 온실가스 배출이 가장 활발한 오전 10시부터 정오까지 30분 간격으로 60ml 주사기(syringe)를 활용해 시료를 채취하였다. 분석은 가스크로마토그래피(GC)(Agilent 8890, USA)를 이용하였다. 시료 채취 횟수는 벼 재배기간 중 이앙초기 주 5회, 물관리 기간에는 주 3~4회 하였다. 분석에 사용한 컬럼은 Porapak Q 80~100mesh이며, 오븐 온도는 70℃, 검출기(Detector) 온도는 250℃로 설정하였다. 분석된 시료의 농도로부터 농경지 온실가스의 단위시간당 CH<sub>4</sub>배출량은 (식 1)에 따라 구하였다.

$$F = p \times 273 / (273 + \text{채취 전 온도} + \text{채취 후 온도} / 2) \times H \times \Delta C / h \dots\dots\dots (\text{식 1})$$

- F*: 단위시간당 CH<sub>4</sub>배출량(mgCH<sub>4</sub>m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>), *p*: 밀도(0.714 mg cm<sup>-3</sup>)
- H*: 챔버높이(cm),  $\Delta C$ : 시료채취 전후의 농도차(ppm), *h*: 시료채취 시간

〈그림 2-2〉 가스 포집챔버 설치 및 가스 포집



가스 포집챔버 설치



가스 포집



GC 가스분석

## 2. 우리밀(새싹+통밀)과 이모작 벼 유기재배 생산성 비교

농한기에 우리밀을 재배하고 그 수확 잔재물을 녹비 자원으로 토양에 환원하였을 때, 이모작 벼의 생산성과 녹비작물로서의 대체효과를 검토하기 위하여 <표 2-3>과 같이 실험을 진행하였다. 재배관리 및 조사는 과제1과 동일한 방법으로 수행하였다.

<표 2-3> 우리밀 및 후작 벼 재배 시비량

밀(파종/수확) 벼 이앙일	재배 방법	시비량(kg/10a)				비고
		N	P	K	퇴비	
23.11.12 ~ 24. 6. 3	산파	10.8	0.6	1.2	계분1톤	파종량: 권장량 1.5배
24. 6.10.	기계이앙	9.0	4.5	5.7	퇴비2톤	

처리 내용은 우리밀과 벼를 유기재배(중간물떼기+논물 얇게 걸러대기)하였고, 재배방법은 이상민(2023)의 벼 유기재배법을 기준으로 하였다.

<그림 2-3> 밀 새싹과 통밀 수확



밀 새싹 수확(2024년 3월)



통밀 수확(2024년 3월)

### III. 연구결과

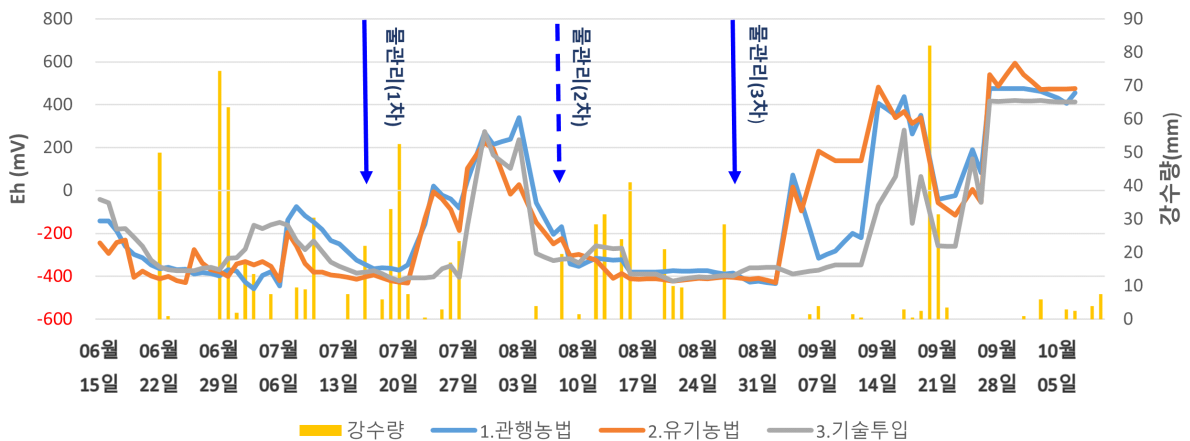
#### 1. 벼 재배형태별 온실가스 감축기술 투입효과 실증 및 탄소수지 평가

##### 1.1. 토양의 산화환원전위(Eh)의 경시적인 변화

벼 재배 형태, 즉 물관리와 유기물 처리에 따른 토양 유기물 분해 패턴과 온실가스 배출 정도를 나타내는 지표로서, 토양 중 산화환원전위(Eh) 값의 시간에 따른적인 변화를 <그림 3-1>에서 확인할 수 있다.

벼 재배 특성상 이앙 직후 담수상태로 인해 대기로부터 산소 공급이 원활하지 않아 토양 내 유기물이 혐기적으로 분해되며, 이때 산화환원전위는 음(-)값을 나타낸다. 중간물떼기로 논물이 말라 건조해진 상태에서는 산소 공급이 원활해져 토양이 호기적 상태로 전환되며, 산화환원전위는 양(+)값을 나타냈다.

<그림 3-1> 벼 재배형태별 토양 산화환원전위(Eh, mV)값의 경시적인 변화



실험 결과, 물관리가 제대로 진행된 1차와 3차 시기에는 처리 전후의 전위값 변화가 뚜렷하게 나타났으나, 2차 시기에는 잦은 강우로 인해 산화상태로의 전환이 제대로 이루어지지 않아 경계가 불분명하였다.

또한 재배형태 간에는 관행재배보다 유기재배, 특히 기술 투입에서 산화값은 더 높고 환원값은 더 낮게 나타났으며, 이는 CH<sub>4</sub>의 생성 및 배출량에도 영향을 미쳤을 것으로 판단(김건엽 등, 2012)할 수 있다.

이와 같은 결과를 요약하면 논을 담수할 경우 산소 공급이 차단되어 메탄 생성 미생물의 활성이 촉진되고 메탄 배출이 증가하는 반면, 논을 건조시키면 산소가 공급되어 메탄 발생 미생물의 활성이 급격히 저하되어 메탄 배출량이 감소하는 것으로 해석할 수 있다.

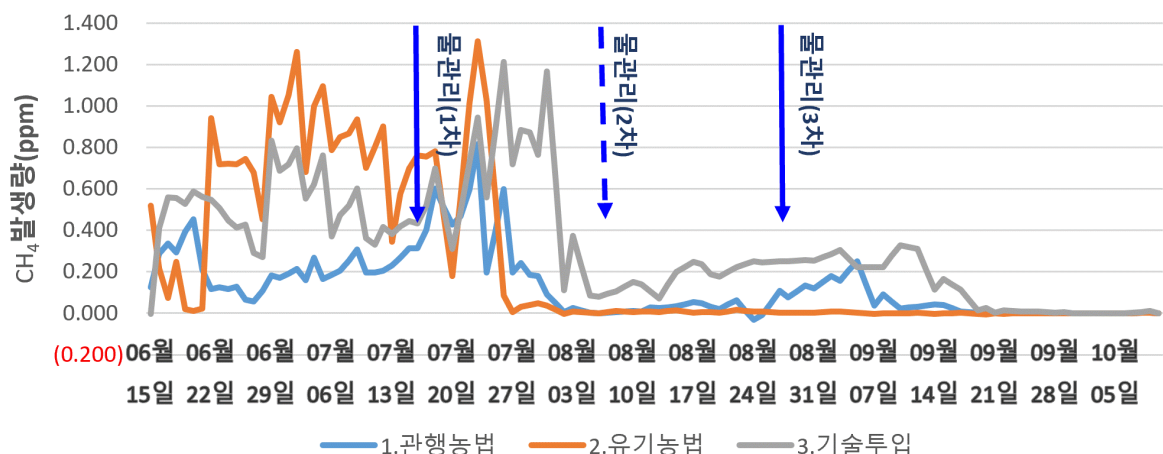
### 1.2. 재배형태별 온실가스 배출량의 경시적인 변화

논에서 벼 재배형태, 즉 투입되는 유기물과 물관리 차이에 따른 토양으로부터 분해되어 배출되는 CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> 배출량의 경시적인 변화를 <그림 3-2>부터 <그림 3-4>까지 보면 벼 재배전과정 중의 **메탄(CH<sub>4</sub>) 배출량**은 이앙 초기에 많았으며, 물관리가 시작된 이앙 후 45일이 지난 7월 15일부터 급격하게 감소되는 특성을 보였다.

처리별로는 유기물 투입량이 낮았던 관행재배(0.28kg/10a/day)에서 가장 낮았고 유기재배(0.69kg/10a/day)에서 가장 높았으며 기술 투입(0.56kg/10a/day)시 배출량이 감소된 특성을 보였다. 재배형태 별로는 초기와 비슷한 경향이었으나 기술투입 재배시 늦게까지 배출이 지속되는 결과를 얻었다. 이것은 투입된 유기물의 형태나 토양 중의 잔존 함량에 따른 분해 과정의 차이에 따른 결과로 해석되며, 시비한 유기질 자재가 물에 쉽게 용해되는 형태에서 비롯된 것으로 판단된다.

<그림 3-2> 벼 이앙 후 재배형태별 CH<sub>4</sub> 배출량의 경시적인 변화

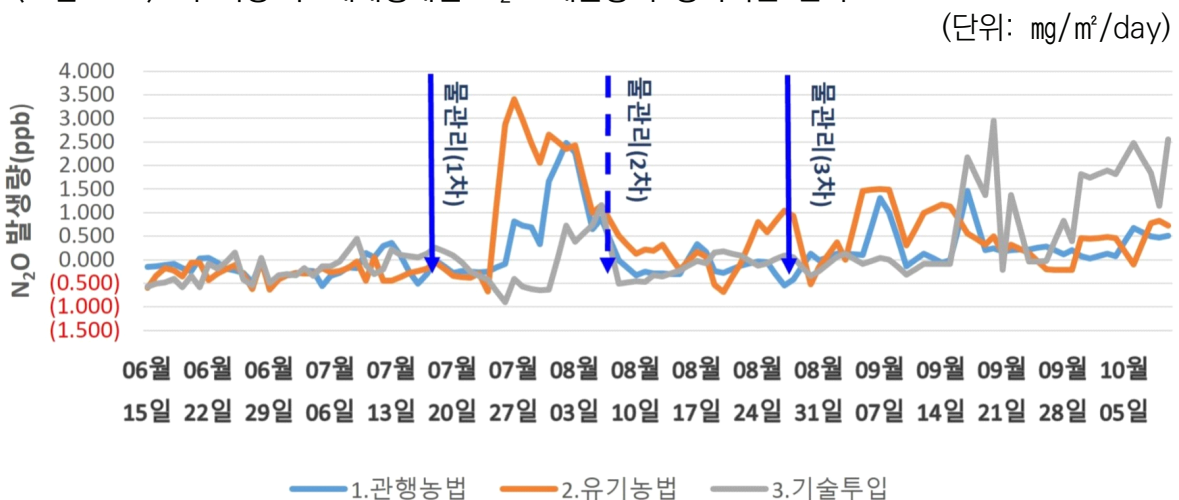
(단위: g/m<sup>2</sup>/day)



이와 같은 결과는 벼 재배시 토양 중에 유기물을 투입하였을 때 담수 조건하에서 혐기적인 분해가 초기에 급격하게 일어나며 축적되는 토양 탄소량에도 증감이 있다는 결과(서명철 등, 2014)와 일치하며 의미 있는 것으로 해석된다.

벼 재배 전과정에서 배출되는 아산화질소( $N_2O$ )는 ppb 수준으로 메탄 ppm 수준 보다는 극히 낮은 정도였다. 아산화질소 배출량의 경시적인 변화를 보면 생육초기에는 차이를 보이지 않으나 물관리 이후 유기재배에서 배출량이 많았으며, 기술투입 재배에서는 비교적 낮은 결과를 얻었다(그림 3-3). 이는 물관리에 따라 토양이 호기성 조건으로 바뀌면서, 분해된 가스가 배출되기 때문으로 해석된다. 또한 재배형태에 따라 질소 형태가 다른데, 즉 시용된 유기질비료는 토양 중에 쉽게 용해되는 암모니아태 질소 형태이고, 농가재배에서는 유기태 질소 형태의 시비 관리가 이루어진 점도 영향을 준 것으로 보인다.

〈그림 3-3〉 벼 이앙 후 재배형태별  $N_2O$  배출량의 경시적인 변화

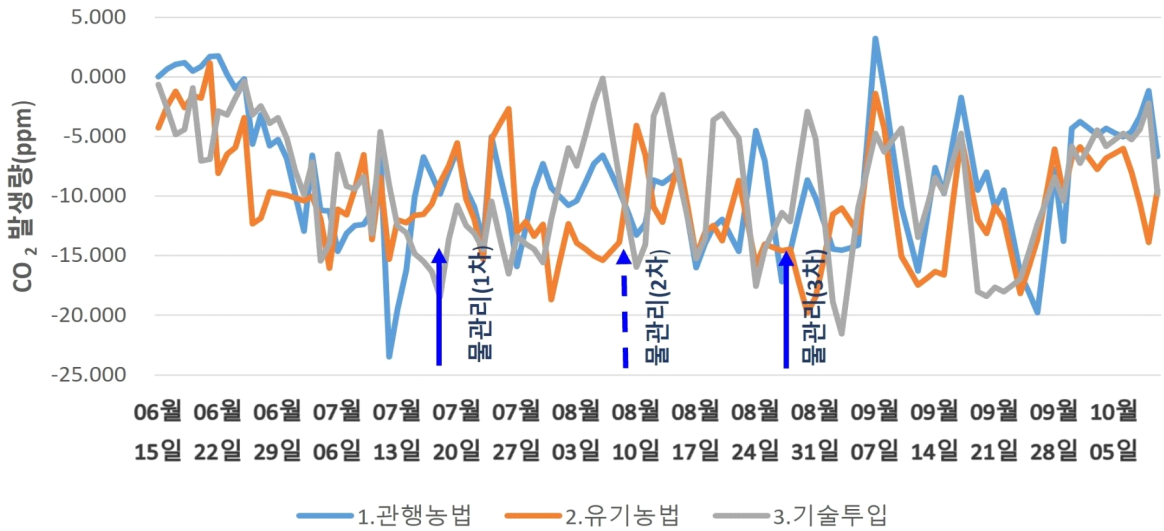


이산화탄소( $CO_2$ )의 흡수패턴을 나타낸 〈그림 3-4〉을 보면, 음(-)의 값을 나타내어 토양에서 배출되는 양보다 작물이 성장해 가면서 대기 중의  $CO_2$ 를 오히려 흡수하는 결과를 나타내었으며, 재배형태별로는 차이를 볼 수 없었다.

이와 같은 결과로써 농작물 재배는 대기 중의  $CO_2$ 를 연간 1,400만톤을 흡수하고, 약 천만 톤의 산소를 방출하는 지구 정화기능(정필균, 2002)이 있고,  $CO_2$  총고정량의 50%는 지상부에, 30%는 뿌리에 남아 토양 중에 유기물 형태로 보존(김경규 등, 2018)한다는 주장을 뒷받침하는 결과라고 생각한다

〈그림 3-4〉 벼 이앙 후 재배형태별 CO<sub>2</sub> 배출량의 경시적인 변화

(단위: g/m<sup>2</sup>/day)



### 1.3. 벼 재배형태별 온실가스 배출 및 흡수결과를 고려한 탄소수지

벼 재배형태별 온실가스과 관련한 탄소수지는 <표 3-1>과 같다. 벼 재배기간 중 온실가스 배출량을 보면 관행재배에서는 464kg/10a, 유기재배는 863kg/10a, 물관리 등 감축 기술투입 재배에서는 1,130kg/10a로 집계되었다. 일반적으로 유기재배를 하면 투입되는 유기물의 양이 많아서 배출량이 많다는 결과들과 일치하는 결과를 얻었다. 반면 작물 지상부와 지하부로 흡수 고정되는 CO<sub>2</sub>양으로 환산한 결과를 근거로 산출한 누적흡수량은 관행재배가 2,147kg/10a, 유기재배는 3,195kg/10a 기술투입은 2,553kg/10a였다. 벼 재배과정 중 이산화탄소 기준의 배출량과 흡수량의 수지 비교 결과 오히려 벼를 재배하면 대기 중의 온실가스를 흡수한다는 결론을 얻을 수 있었다.

다만 재배형태별로는 지상부의 생육과 생산성 및 녹비작물의 종류 등에 따라 상이한 결과를 얻을 수 있다. 지금까지의 온실가스에 대한 연구방향이 IPCC 다자간 국제협약에 따른 대처방안으로써 배출량과 배출계수 산정에 비중이 두고 행해왔다는 점과 흡수 및 고정에 대한 인식은 영구 보존량만을 인정한다는 관점을 극복하고 다각적인 관점에서 농업이 우리에게 주는 공익적인 기능을 긍정적으로 인식하는 연구가 필요하다.

〈표 3-1〉 벼 재배기간중 온실가스 흡수량 및 배출량을 고려한 탄소수지 비교

구분	누적 배출량(kg/10a)			누적 흡수량(kg/10a)			수지 (A+B)
	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	소계(A)	지상부	지하부	소계(B)	
관행재배	459	5	464	-2,055	-92	-2,147	-1,683
유기재배	850	13	863	-3,056	-139	-3,195	-2,332
기술투입	1,123	7	1,130	-2,442	-111	-2,553	-1,423

## 2. 녹비작물 대체 우리밀(새싹+통밀)과 이모작 벼 유기재배 생산성 비교

### 2.1. 재배 전·후 토양 특성 변화

농한기에 우리밀과 녹비작물을 재배하고, 이후 벼를 재배한 후 토양 특성의 변화를 〈표 3-2〉에 나타내었다. 우리밀을 녹비로 활용한 토양의 표토, 심토는 유기물 함량이 재배전 13~18g/kg에서 22~23g/kg으로 증가된 특성을 보였다. 그 외 유효 인산 함량은 24~51mg/kg에서 57~140mg/kg로 증가되었으며 치환성 K와 Mg함량은 0.13~0.26cmol+/kg에서 0.20~0.37cmol+/kg로, 1.0~1.2cmol+/kg에서 0.8~1.4cmol+/kg로 2~3배 정도 증가되었으며, 치환성 석회의 함량은 큰 변화는 없었다. 그 결과로 보비력도 7.6~10.6cmol+/kg에서 9.2~11.1cmol+/kg로 다소 증가되어 개선된 경향이였다. 이와 같은 변화는 작물재배에 적합하지 않은 척박한 조건의 시험포장의 양분 상태를 보완하기 위하여 개량제로 계분 퇴비 1톤을 사용한 결과로 해석된다. 따라서 녹비작물로 헤어리베치 대신 밀을 사용하면, 작물의 생리적인 특성상 두과작물보다 화본과작물인 밀의 뿌리가 훨씬 깊고 넓게 뻗기 때문에 토양에 더 많은 뿌리 잔존물이 남아 탄소저장량이 증가하는 것으로 판단된다.

〈표 3-2〉 녹비로써 우리밀과 헤어리베치 재배 전/후 토양 특성변화

구분	pH (1:5)	EC (mS/m)	OM (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성(cmol <sup>+</sup> /kg)				
					加里	석회	고토	보비력	
헤어리베치	전(표토)	5.8	0.33	32	51	0.13	4.9	1.0	7.7
	후(표토)	6.6	0.49	23	100	0.37	7.2	1.4	11.1
	전(심토)	6.7	0.28	18	24	0.13	4.9	1.2	7.6
	후(심토)	5.5	0.32	15	57	0.20	6.5	1.4	10.4
밀	전(표토)	5.9	0.40	18	44	0.26	5.2	1.2	10.6
	후(표토)	5.7	0.36	23	134	0.27	4.6	0.8	9.2
	전(심토)	6.8	0.35	13	40	0.22	6.2	1.0	10.6
	후(심토)	6.0	0.37	22	140	0.26	5.5	0.9	10.0
적정범위	5.5 ~6.5	≤2.0	25 ~30	80 ~120	0.25 ~0.30	5.0 ~6.0	1.5 ~2.0	10.0 ~15.0	

## 2.2. 우리밀의 생육 및 수량 특성

월동 이후 우리밀 새싹이 15cm 정도로 자라났을 때 새싹을 수확하고 그 이후 재배를 계속하여 통밀까지 얻었다. 새싹을 수확하지 않고 우리밀을 수확한 처리구와 비교하여 수확기 때의 생육과 수량성을 〈표 3-3〉에서 나타냈다. 새싹을 수확한 우리밀의 생육은 초장 24cm, 간장 22cm 짧았으며, 주당 수수와 수수당 입수도 적었고, 등숙률도 약 9% 정도 지연되는 경향을 나타냈다. 벼 이모작을 위하여 불가피하게 새싹을 수확한 결과 생산성이 약 27% 감소되었다. 따라서 당초 계획했던 농한기에 밀을 파종하고 새싹 수확과 통밀의 수확을 동시에 하려면, 생산성 향상을 위한 토양 양분 관리와 이모작 벼의 이앙기에 적합한 벼 품종 선택이 필요하다.

〈표 3-3〉 우리밀 재배 생육 및 수량특성 비교

구분	초장 (cm)	간장 (cm)	수수 (개/주)	입수 (립/수수)	등숙률 (%)	천립중 (g)	수량 (kg/10a)	지수
새싹+밀(A)	48	42.8	18.6	14.3	76	37	389	73
밀(B)	72	64.9	31.6	26.9	85	38	535	100
차이(B-A)	24	22.1	13.0	12.6	9	1	146	27

### 2.3. 재배형태에 따른 지상부 수확량의 비교

재배형태별 온실가스 감축을 위한 녹비작물과 물관리기술 투입 이후 벼의 생산성을 검토한 결과는 <표 3-4>에 보는 바와 같다. 관행재배 수량은 465kg/10a, 기술 투입 재배 처리구는 495kg/10a, 유기재배 처리구는 564kg/10a로 관행 대비 각각 6%, 21% 증수되는 결과를 보였다. 이는 기술투입 재배구의 상시 담수처리보다 중간 물관리에 의한 토양 산화와 환원 상태의 교차작용으로 논 토양에서의 건토효과가 발생하였다. 또한 관행재배의 경우 농한기 밀을 재배하여 밀새싹을 수확하고, 벼 이앙 시기와 맞물려 밀을 수확하지 않은 채 녹비자원으로 토양에 환원하였다. 따라서 유기물의 양이 헤어리베치의 투입량이 많았던 결과로 해석되나 더 다양한 관점에서 검토가 필요하다고 판단된다.

<표 3-4> 재배형태별 벼 생산성 비교

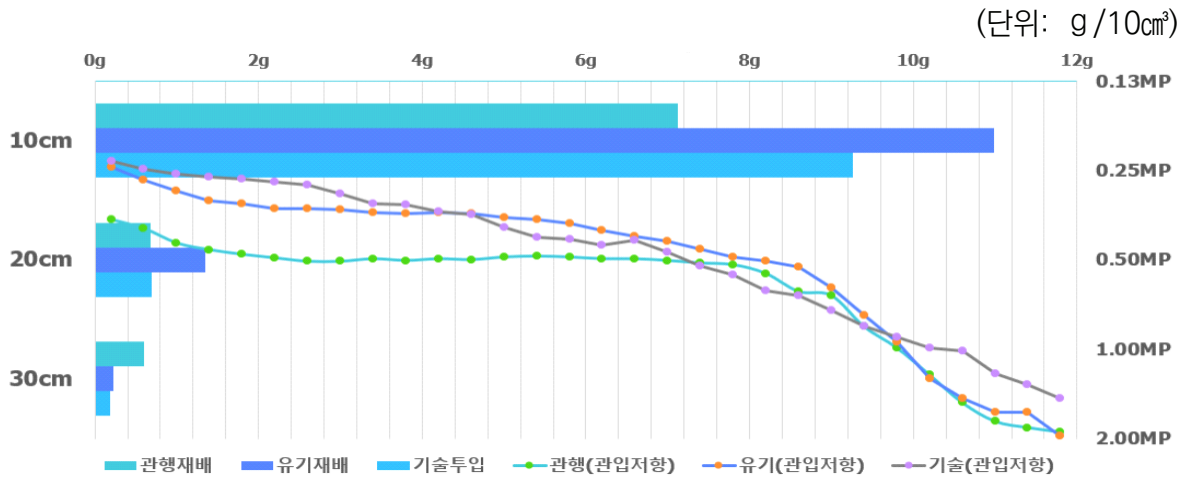
구분	쌀 수량 (kg/10a)	수량지수	비고
관행재배	465	100	-
기술투입	495	106	헤어리베치 토양 환원
유기재배	564	121	밀 토양 환원

### 2.4. 벼 재배형태별 토양 뿌리분포 및 토양밀도의 변화

벼 재배형태에 따른 토양 중의 탄소 축적량 변화를 추론하기 위하여 벼 수확후 토양 중의 토양 밀도값과 깊이별 뿌리 분포량을 조사한 결과는 <그림 3-5>에서 보는 바와 같다.

작물 재배 후의 토양 깊이별 뿌리분포량은 10cm 깊이 표토에서 관행재배에서는 6~8g/cm<sup>3</sup>, 녹비로써 밀을 재배 수확한 후 수확잔재물을 토양 환원처리한 유기재배에서는 10~12g/cm<sup>3</sup>, 녹비작물인 헤어리베치 재배 후 토양처리한 기술투입 재배에서는 8~10g/cm<sup>3</sup>의 분포량을 보였으며 20cm 깊이까지는 심토에서의 분포량은 줄어 들었지만, 재배형태별로는 표토와 비슷한 경향을 보였다.

〈그림 3-5〉 벼 재배형태별 근 분포량 및 관입저항값의 변화



토양 관입저항, 즉 밀도 값은 표토에서 약 20cm 깊이까지는 0.5Mp의 값을 가지나 그 이후로는 1.0Mp의 값을, 30cm 깊이에서는 2.0Mp 값을 보였으며, 처리별로는 관행재배보다 유기재배나 기술투입 재배가 낮은 밀도값을 나타냈다.

이와 같은 결과로 보면 심근성 작물인 밀을 재배하면 천근성 작물인 헤어리베치를 재배하고 토양환원하였을 때보다 토양의 근포량도 증가하고 더 나아가 토양 탄소흡수 축적량도 높이는 데 유리할 것으로 판단된다. 종자비용은 밀이 33,750원/10a, 헤어리베치는 74,500원/10a가 소요되어 헤어리베치보다 밀을 활용하면 약 2배 절감할 수 있다.

## IV. 결론

벼를 유기재배할 때 양분과 재배 관리 과정에서 온실가스 배출량을 감축하는데 실천할 수 있는 기술들을 투입하여 감축 효과를 실증 연구한 결과를 요약하면;

- ① 산화환원전위차(Eh, mV)는 담수상태에서 음(-)의 값을, 건조 상태에서 양(+)  
의 값을 나타냈다. 또한 관행재배보다 유기재배, 특히 기술투입 재배에서 더 높은

산화값과 더 낮은 환원값을 보였다.

② 메탄 배출량은 이앙 초기에서 가장 높았으며, 45일 경과 후 급격히 감소하였다. 처리 간 비교 결과, 관행재배에서 가장 낮고 유기재배에서 가장 높았으며, 기술투입 재배에서는 배출량이 감소하는 특성을 보였다.

③ 아산화질소 배출량은 메탄 배출량(ppm)보다 1,000배 작은 ppb 수준으로 매우 낮게 관찰되었다.

④ 이산화탄소는 배출량보다 작물 성장 과정에서 흡수량이 더 많았으며, 처리 간 유의한 차이나 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다.

⑤ 벼 재배 전 과정의 온실가스 배출 수지를 평가한 결과, 관행재배는 2,147kg/10a, 유기재배는 3,195kg/10a, 기술투입 재배는 2,553kg/10a의 흡수 효과를 보였다.

⑥ 우리밀과 녹비작물 재배 후 토양 유기물 함량은 1,318g/kg에서 2,223g/kg으로 증가하였으며, 밀을 도입할 경우 토양 내 뿌리 분포량도 확대되었다.

⑦ 벼 수량은 관행재배 465kg/10a, 기술투입 재배 495kg/10a, 유기재배 564kg/10a로, 관행 대비 각각 6% 및 21% 증가하였다.

⑧ 밀을 녹비작물로 연속 재배할 경우, 헤어리베치보다 토양 내 탄소 흡수·축적량과 근분포 영역이 확대되었으며, 이는 온실가스 배출량 감축뿐만 아니라 무경운 재배의 실현 가능성을 높였다. 또한 종자 비용 측면에서도 밀(33,750원/10a)은 헤어리베치(74,500원/10a) 대비 약 2배 절감 효과를 나타냈다.

따라서, 이상의 결과를 토대로 벼 유기재배 농업인들에게 자발적인 온실가스 배출량 감축을 위한 재배 지침을 제시하고자 한다. 우선, 농한기에 헤어리베치 또는 밀을 재배한 후, 벼 이앙 전에 경운하여 토양에 환원하도록 한다. 특히, 밀의 경우 수확 후 잔재물을 벼 이앙 20일 전까지 경운하여 토양에 투입한다. 물관리는 벼 이앙 후 35일까지는 약 5cm 수심을 유지하고, 이후 논바닥이 드러날 때까지 건조시킨 후 다시 5cm 수심까지 담수하는 과정을 수확기까지 총 3회 반복한다. 기타 관리는 일반적인 유기재배 기준에 따라 실시한다.

## 참고문헌

- 글래스고우(COP26). (2021). “글래스고우 기후협약의 자료.”
- 기후솔루션. (2025). “지구를 데우는 가축분뇨: 지속가능한 농축산을 위한 해결 과제 보고서.”
- 김건엽 외 6명. (2012). “논에서 SRI 물관리 방법을 적용한 온실가스 저감 효과.” 『한국토양비료학회지』, 45(6), 1173-1178.
- 김필주. (2021). “지구온난화 시대 토양 유기물 관리: 도전과 기회.” 『한국토양비료학회 학술발표회 초록집』, 2021(11), 3.
- 권효숙 외 4명. (2019). “벼 논에서 양수분 복합관리에 따른 온실가스 배출 특성 및 수량 변동.” 『한국기후변화학회지』, 10(4), 351-359.
- 농촌진흥청. (2018). “밀 - 농업기술길잡이.” 『농업기술길잡이』, 제44호(개정판), 40-43.
- 대산농촌재단. (2023). “생태농업 실천농가의 온실가스 배출 및 생물다양성 실태조사.” 『농업연구총서』, 12.
- 생태환경농업연구소. (2023). “2023년도 생태환경농업연보.”
- 서명진 외 10명. (2011). “논토양 종류가 메탄 배출에 미치는 영향.” 『한국토양비료학회지』, 44(6), 1220-1225.
- 서명철 외 6명. (2014). “논토양에서 유기물 종류에 따른 토양 형태별 탄소 변동.” 『한국토양비료학회 학술발표회 초록집』, 2014(10), 154-155.
- 이상민 외 15명. (2023). “벼 유기재배.” 농촌진흥청 『농사로』.
- 양상호 외 3명. (2011). “제주도 화산회토 밭에서 투입 비료종류에 따른 아산화질소 배출량 평가.” 『한국토양비료학회 학술발표회 초록집』, 2011(5), 257-358.
- 유종희 외 5명. (2012). “쌀 생산체계에 대한 영농방법별 전과정평가: 관행농·무농약·유기농법별 탄소배출량 비교.” 『한국토양비료학회지』, 45(6), 1157-1163.
- 윤성이, 권혁준. (2011). “전과정평가를 통한 유기농자재의 탄소배출량 산정연구.” 『한국유기농업학회지』, 19(1), 23-38.
- 이창규 외 4명. (2021). “1990년부터 2019년까지 전라북도 농업분야 온실가스 배출량 평가.” 『한국토양비료학회 학술발표회 초록집』, 2021(11), 219.
- 정현철 외 5명. (2010). “1990년부터 2008년까지 우리나라 경종분야 온실가스(메탄) 배출량 평가.” 『한국토양비료학회지』, 43(6), 911-916.
- 정필균. (2002). “농업의 다원적 기능.” 국립농업과학원.
- 조현숙 외 7명. (2012). “녹비작물 종류에 의한 토양 및 벼 탄소량의 변화.” 『한국토양비료학

회지』, 45(6), 1058-1064.

최은정 외. (2018). “2018 농업분야 경종부문 국가 온실가스 배출량 평가 및 개선사항.” 『한국토양비료학회 학술발표회 초록집』, 2018(10), 56.

한국농업기술진흥원. (2013). “농산물 온실가스 배출량 산정을 위한 공통지침.”

현병근 외 9명. (2019). “농업의 다원적 기능 및 토양자원 가치 설정 연구 보고서.” 국립농업과학원.

환경부. (2022). “2021년 국가온실가스 배출량 보도자료.”

탄소중립녹색성장위원회. (2023). “탄소중립 녹색성장 국가전략 및 제1차 국가기본계획: 2030 국가온실가스 감축 목표.”