

바이오차에 대한 인식 및 대체 시용 의사 분석: 강원도 쌀 재배 농가를 중심으로

이경한^{1†}, 이혜원¹, 조용빈^{1†}, 황윤미¹, 이지용^{2*}

¹강원대학교 농업자원경제학과 학부생, ²강원대학교 농업자원경제학과 조교수

Perception and Willingness of Gangwon Rice Farmers to use Bio-Char as a Substitute to Lime Manure

Gyeong-Han Lee^{1†}, Hye-Won Lee¹, Yong-Been Jo^{1†}, Yun-Mi Hwang¹, Ji-Yong Lee^{2*}

¹Undergraduate Student, Department of Agricultural and Resource Economics, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Assistant Professor, Department of Agricultural and Resource Economics, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

*Corresponding author: Ji-Yong Lee (E-mail: jy1003@kangwon.ac.kr)

†These authors contributed equally to the work.

ABSTRACT

Received: 7 June 2022

Revised: 10 July 2022

Accepted: 12 July 2022

While climate change is a major concern globally, carbon reduction is a significant challenge worldwide. South Korea has committed to raising its greenhouse gas reduction target by 2030 (from the current 26.3% reduction to 40% compared to 2018). This study investigated the perception of Gangwon rice farmers regarding to climate change due to carbon emissions and their awareness of Bio-Char. The study also examined whether rice producers are willing to substitute lime manure with Bio-Char upon receiving information regarding Bio-Char. Additionally, the degree of carbon isolation through the use of Bio-Char was examined. Results showed that use of Bio-Char pellets in rice cultivation contributes to approximately 14.3% of the target reduction in carbon emissions in the agricultural sector. The surveyed rice farmers were amenable to the use of Bio-Char for agricultural production. Particularly, the rate of substitution with Bio-Char increased with positive information regarding its application in agricultural production.

Keywords: Agriculture, Bio-Char, Carbon, Sustainability

서론

국제화 시대, 기후변화는 전 세계 모든 국가의 주요 관심사이며, 기후변화 문제의 심각성을 인식하고 이를 해결하기 위한 노력은 국가별 주요 정책 기조가 되었다. 우리나라는 2030년 온실가스 감축 목표(Nationally Determined Contribution)를 현행 2018년 대비 26.3% 감축에서 40% 감축으로 대폭 상향 조정해 추진하기로 하였으며, 이 과정에서 정부는 산업, 수송, 농축수산 등 온실가스가 배출되는 모든 부문에서 감축 노력을 위한 다양한 계획을 제시하였다.



농업 분야의 온실가스 배출량은 2018년 기준 21.2백만 톤 CO₂eq.이며, 이는 국가 총배출량의 2.9%에 해당한다 (Ministry of Environment Greenhouse Gas Inventory and Research Center, 2020). 2019년 기준 농업부문에서 온실가스 감축량 목표는 2019년 기준 683.8천 톤이었으나 실제 감축량은 439.8천 톤으로 감축량 목표 달성률은 64.3%였다. 또한 농업 자발적 온실가스 감축사업 참여 농가는 131농가로 추가 인증이 가능한 GAP인증 농가와 친환경 인증 농가인 전체 대상 157,105농가의 0.08% 수준이다(Jeong, 2021). 아직 농업 현장에서 저탄소 농업 적용은 다소 미흡한 실정이며, 저탄소 농업에 대한 농업인들의 관심 또한 저조한 상황임을 알 수 있다. 농업부문 역시 국가 주요 산업으로서 탄소 저감에 기여할 수 있는 노력이 필요하기에 저탄소 농업 확대를 위한 다양한 감축 수단을 검토할 필요가 있다.

현재 우리나라는 논토양의 산도를 조정하여 산성화를 방지하고, 이를 통해 생산력을 증진하고자 국가 주도하에 석회를 농민들에게 무료로 배포하고 있다. 하지만 석회 사용 시 석회와 토양과의 화학반응으로 온실가스가 배출되고 있으며, 이는 현재 정부에서 추진하고 있는 온실가스 감축 목표와는 상반되는 정책으로 여겨지고 있다.

최근 논토양 산성화 방지와 온실가스 감축을 동시에 달성할 수 있는 수단으로 대두되고 있는 것이 바이오차(Bio-Char)이다(Shin et al., 2017b). 바이오차란 폐기된 목재나 가축 분뇨 등 농업 부산물 폐기물 바이오매스를 산소가 부족하거나 거의 없는 조건하에서 열분해하여 생산되는 고형물로서, 안정한 형태의 탄소를 장기간 저장하는 등 탄소 고정능력이 있어 기존에 사용되고 있는 석회질 비료를 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 기존 농업 온실가스 감축 정책의 경우, 초기 고비용 투자가 이루어진다는 점, 기술 적용에 어려움이 있다는 점 등의 한계가 있었다(Jeong, 2021). 하지만, 지속 가능한 농업을 위한 바이오차 도입 활성화 정책에서는 비교적 적은 비용과 쉬운 방법으로 현 생산성을 유지 및 증가시키면서 농업에서의 탄소 저감에도 긍정적 영향을 미치는 등의 효과가 기대된다.

바이오차를 농업생산에 실질적으로 활용하기 위해서는 사업의 실효성에 관한 연구가 이루어져야 하며, 농업인이 바이오차를 받아들일 수 있는 정책에 대한 고찰이 필요하다.

본 연구의 목적은 1) 바이오차를 통한 탄소 격리 정도를 알아보고, 해당 수치가 우리나라의 탄소 감축 목표에 기여 정도를 확인하는 것이다. 이를 위해 선행 연구자료를 바탕으로 벼 재배 시 바이오차 펠렛 사용 수준에 따른 농업 환경 영향을 조사하고, 바이오차 사용 시 기존 벼 재배 대비 탄소 감축량을 환산하여 대한민국 온실가스 감축에 기여할 수 있는 비율을 산출한다. 2) 실질적 행동주체인 농가의 바이오차 수용 의사를 조사하여 바이오차 활성화를 위한 정책을 제안하는 것이다. 특히, 바이오차 적용 관련 정보효과(Information effect)의 중요성을 확인하고 바이오차 활성화 방안을 검토한다. 바이오차 적용이 농업생산 유지와 온실가스 감축에 실효성이 있다고 하여도 실질적으로 바이오차를 적용할 농가들의 의향조사는 필수이다. 따라서 본 연구는 강원도 쌀 농가를 대상으로 의견조사를 시행하여 탄소 배출로 인한 기후변화에 관한 농민들의 인지 정도와 농민들의 바이오차 인식 실태를 조사하고, 석회 시비와 비교하여 바이오차 수용(대체) 의사 결과를 제시한다. 또한, 바이오차 활성화 방안 및 방향성을 제시하여 해당 연구가 바이오차 활성화에 기여되기를 기대한다.

재료 및 방법

바이오차 적용 가능성 검토

바이오차 펠릿을 벼 재배에 적용 시 작물 생산량을 비롯한 경제적 측면과 탄소 격리량을 비롯한 환경적 측면에 어떠한 영향을 미치는지 과거 선행 연구를 통해 분석을 진행하였다. Shin et al. (2020)의 연구에서는 돈분 퇴비와 개량한 왕겨 바이오차를 각각 6:4로 혼합한 펠릿 형태로 이용하였다. 해당 연구에 따르면, 토양 중 암모늄태 질소(이하 NH_4-N) 농도는 이양 초기에 대조구에 비해 낮게 나타났다. 하지만 시간이 지남에 따라 바이오차 처리구에서 NH_4-N 농도는 점차 높아졌다. 이는 바이오차 펠릿이 벼 생육에 도움을 주는 NH_4-N 성분을 지속적으로 공급한다고 해석할 수 있다. 바이오차 펠릿 처리구에서는 NH_4-N 을 흡착하고 있기 때문에 이양 초기에 용출량이 적다가 시간이 지나며 용출량이 증가한 것으로 예측하고 있다.

바이오차 펠릿 사용에 따른 이양 직후와 수확 후의 총 탄소 함량은 모두 대조구가 가장 높았으며, 바이오차 펠릿 60% 처리구가 가장 낮았다. 하지만 순 탄소 증가율을 본다면, 대조구에서 약 89% 증가할 때, 바이오차 펠릿 처리구에서는 40% N에서 123%, 60% N (0.07M MgO)에서 170%, 60% N에서 152% 가량 각각 증가하며 대조구 대비 약 34%에서 81% 가량 높게 나타났다. 경제적 측면과 관련된 벼의 증수량은 유의한 차이를 보이지 않았다. 다만, 위와 마찬가지로 왕겨 바이오차 펠릿을 사용한 상추 생육 반응 실험에서 상추의 생육은 바이오차 펠릿의 혼합비율 8:2 (바이오차:돈분)로 처리한 구에서 무처리구보다 1.33배 높게 나타났다. 또한, 총 탄소 함량은 무처리구와 비교하여 비슷한 수준을 유지하였으나, 총질소 함량은 무처리구와 비교하여 바이오차 펠릿 처리구에서 약 1.14배 더 높게 나타났다(Choi and Shin, 2016). 위 연구를 근거로 볼 때 바이오차가 토양 탄소 격리와 농작물 생육 환경 개선에 모두 도움이 된다는 것을 알 수 있다.

바이오차 펠릿의 벼 재배 시 사용은 환경적 측면에서 볼 때, 논 표면수 및 토양에서 탄소 격리를 비롯하여 지속 가능한 농업을 달성할 수 있는 수단으로 적합하다. 또한, 토양 탄소 격리 측면에서도 바이오차 펠릿 처리에 따라 탄소 격리량이 증가하였다. 이에 지속 가능한 농업을 위한 탄소 절감에 유의한 영향을 줄 것으로 예측된다.

바이오차 시비 후 벼의 증수량에서는 유의한 차이를 두지 못했다. 하지만 생산량이 유지되었으며, 탄소 저감이라는 결과를 얻을 수 있었기에 바이오차 도입은 경제적, 환경적으로 효과적인 정책이 될 것으로 사료된다. 위 결과와 더불어, 바이오차를 현장에 원활히 공급하는 방안과 투입 시 발생하는 미세분진에 따른 살포 어려움 등의 문제점을 개선한다면 논 농가에서의 바이오차 활용 및 활성화를 이룰 수 있을 것으로 판단된다.

벼 재배 시 바이오차 사용으로 인한 온실가스 배출량 변화 분석

대한민국 농업 분야에서 발생하는 온실가스 총배출량은 2018년 기준 21.1백만 톤 $CO_2eq.$ 이다. 그중 벼 재배 시 발생하는 온실가스 배출량은 2018년 기준 6.3백만 톤 $CO_2eq.$ 이고, 농작물 중 가장 큰 29.7%의 비중을 차지한다. 벼 경지면적이 지속적으로 감소함에 따라, 온실가스 배출량 역시 감소하고 있지만, 여전히 높은 온실가스 배출 비율을 차지하고 있다. 또한, 농업 분야는 다른 분야에 비해 전년 대비 온실가스 총배출량 증감 기여도가 0.03%로 현저히 낮다 (Ministry of Environment Greenhouse Gas Inventory and Research Center, 2020).

Table 1은 벼재배 시 바이오차 펠릿 사용시 탄소격리효과를 나타낸다. 선행 연구에 따르면 벼 재배에서 바이오차 펠릿 사용 시 1 ha당 1,470.4 kg $CO_2eq.$ 의 토양 탄소 격리 효과가 있다(Shin et al., 2017a). 따라서 2018년 기준 논 경

Table 1. Carbon sequestration and potential benefits

	Carbon emissions (The case of growing rice)	Carbon sequestration in typical rice cultivation (A) (1ha per 999.6 CO ₂ eq.)	Carbon sequestration in Bio-Char applications (B) (1ha per 1,470.4 CO ₂ eq.)
Rice cultivation area in 2018 (844,265 ha)	6.3 million tons CO ₂ eq.	843,927,294 kg CO ₂ eq. (843,927.294 T CO ₂ eq.)	1,241,407,256 kg CO ₂ eq. (1,241,407.256 T CO ₂ eq.)
Rice cultivation area in 2020 (823,895 ha)		823,565,442 kg CO ₂ eq. (823,565.442 T CO ₂ eq.)	1,211,455,208 kg CO ₂ eq. (1,211,455.208 T CO ₂ eq.)
Profit (1 T CO ₂ = KAU20 23,000 KRW (2020.12.31.)		18,942,005,166 KRW	27,863,469,784 KRW
Potential profit (B-A)			8,921,464,618 KRW*

*During the calculation, the cost of conversion from the existing farming practice to the Bio-Char farming practice is not considered.

지면적인 844,265 ha (KOSTAT, 2019; KOSTAT, 2021)에 탄소 격리량을 환산하면 1,241,407,256 kg CO₂eq. 즉, 약 1.2백만 톤 CO₂eq.의 탄소를 토양에 격리할 수 있고, 이는 벼 재배 시 탄소 배출량 중 약 19.7%의 비중을 해당하는 셈이다. 우리나라는 2030년 온실가스 감축 목표를 2018년 대비 40% (2050 Carbon Neutrality Committee, 2021)로 상향 조정할 시점에서 벼 재배 시 바이오차 펠릿 사용은 전체 감축 목표의 약 0.4% 정도 기여할 수 있다. 또한, 농업 분야에서 온실가스 배출량을 40% 감축하기 위해서는 약 8.4백만 톤을 감축해야 하는데, 벼 재배 시 바이오차 펠릿 사용은 농업 분야 감축 목표량 대비 14.3% 기여할 수 있다.

세계적으로 온실가스 저감을 위해 노력하는 가운데 배출권거래제는 직접 규제에 비해 효율적이기 때문에 높게 평가되고 있다. 배출권거래제는 온실가스 감축 의무가 있는 기업들에 할당량을 주고, 과부족분을 기업들이 거래할 수 있도록 한 제도이다. 벼 재배 시 바이오차를 사용하게 된다면 정부에서 할당한 배출권(KAU, Korean Allowance Unit)의 잠재적인 이익을 얻을 수 있고 식(1)과 같이 산출할 수 있다.

$$PBB = (CSB \times KRF20) \times KAU20 - (CSR \times KRF20) \times KAU20 \quad (1)$$

여기서, PBB: Potential benefits of using biochar

CSB: Carbon sequestration when biochar is applied per unit area

CSR: Carbon sequestration of rice cultivation per unit area

KRF20: South Korea's 2020 rice fields

KAU20: Korean Allowance Unit 2020

2020년 기준 바이오차 펠릿 사용으로 인한 탄소 격리량을 환산하면 1,211,455.208T CO₂eq이고, 일반적으로 벼 재배 시에도 탄소 격리는 이루어지기 때문에 이를 환산하면 823,565,442T CO₂eq.이다. 같은 시기 KAU20의 총가는 23,000원이다(2020.12.31.)(KRX, 2020). 그 결과 KAU20의 가격에 대해 바이오차 펠릿 사용으로 인한 잠재적인 이익은 약 8,921,464,618원 정도로 예상된다.

바이오차 사용 농가의견조사

본 연구는 강원도 쌀 농가 대상 설문을 이용하여 농민들의 기후변화 인식, 바이오차에 대한 인식 및 바이오차 사용과 관련한 활용 의사를 조사하였다. 표본 표집은 비확률표집방법 중 편의 표집 방식을 채택하여 진행하였다. 본 설문은 유효응답에 해당하는 표본 93 농가에 대하여 2021년 11월 9일부터 19일까지 11일간, 강원도 화천, 홍천, 횡성, 양구, 춘천, 철원의 논 농가 농업인을 대상으로 직접 방문하여 실시하였다. 설문결과 분석을 위한 통계 패키지는 SPSS, STATA를 활용하였으며, 분석방법은 기초통계량을 활용한 빈도분석, 독립표본 t-검정, 대응표본 t-검정, 로지스틱 회귀분석을 이용하였다.

변수는 피설문자의 정확한 표본 표집을 위한 물음인 농가 소유 여부 및 인구통계학적 특성인 성별, 연령, 최종학력, 영농 논 면적, 농업 종사지역, 농업 종사경력, 영농 참여 인원, 월평균 농가소득, 수익-위험 추구성향에 따라 구분하였다.

설문지는 세 집단으로 분류하여 바이오차와 관련한 정보의 양과 성향에 차이를 설정했다. 세 집단으로 분류한 설문의 정보 처치 방법은 기본적으로 간단한 정보만 제공한 집단(이하 기본문), 기본문의 정보와 바이오차의 장점을 함께 제공한 집단(이하 긍정문), 기본문의 정보와 바이오차의 단점을 함께 제공한 집단(이하 부정문)으로 분류하였으며, 이때 정보효과는 집단별 무작위로 제공하였다. 피설문자에게 제공되는 정보량의 크기와 바이오차에 긍정적이거나 부정적인 정보를 추가적으로 제공할 때에 따른 대체 사용 의향의 변화 분석을 위해 세 집단으로 분류하여 구성하였으며, 피설문자들의 설문에 대한 이해를 돕기 위해 바이오차의 간단한 정보가 모든 집단에 공통적으로 제공되었다. Table 2는 본 연구에서 제공한 정보효과를 나타낸다.

이를 통해 처치 정보 및 처치 정보량의 차이에 따른 바이오차 대체 사용 의향의 변화, 그리고 정부의 바이오차 가격 지원 여부에 따른 바이오차 대체 사용 의향의 변화를 확인하고자 하였다. 추가적으로 논 농가의 바이오차 인식 실태, 석회질 비료 시비 시 탄소 발생에 대한 사전 지식, 농가의 기후변화 대응 태도 등을 조사 및 분석하고자 하였다.

설문지는 세 집단으로 분류하여 바이오차와 관련한 정보의 양과 성향에 차이를 설정했다. 세 집단으로 분류한 설문의 정보 처치 방법은 기본적으로 간단한 정보만 제공한 집단(이하 기본문), 기본문의 정보와 바이오차의 장점을 함께 제공한 집단(이하 긍정문), 기본문의 정보와 바이오차의 단점을 함께 제공한 집단(이하 부정문)으로 분류하였으며, 이때 정보효과는 집단별 무작위로 제공하였다. 피설문자에게 제공되는 정보량의 크기와 바이오차에 긍정적이거나 부정적인 정보를 추가적으로 제공할 때에 따른 대체 사용 의향의 변화 분석을 위해 세 집단으로 분류하여 구성하였으며, 피설문자들의 설문에 대한 이해를 돕기 위해 바이오차의 간단한 정보가 모든 집단에 공통적으로 제공되었다.

이를 통해 처치 정보 및 처치 정보량의 차이에 따른 바이오차 대체 사용 의향의 변화, 그리고 정부의 바이오차 가격 지원 여부에 따른 바이오차 대체 사용 의향의 변화에 집중하였다. 추가적으로 논 농가의 바이오차 인식 실태, 석회질 비료 시비 시 탄소 발생에 대한 사전 지식, 농가의 기후변화 대응 태도 등을 조사 및 분석하고자 하였다.

Table 2. Details of information treatments

Type	Bio-Char information provided for each treatment
Basic information	The basic definition of Bio-Char, The environmental impact of carbon
Positive information	Information provided in the basic information treatment, Positive information on the application of Bio-Char such as soil pH neutralization and carbon isolation
Negative information	Information provided in the basic information treatment, Negative information on the application of Bio-Char such as low price competitiveness compared to other practices

Table 3. Demographic characteristics of respondents

		Frequency	Composition ratio (%)			Frequency	Composition ratio (%)		
Treatment information	Negative information	32	34.4	Agricultural career	Less than 10 years	9	9.7		
	Basic information	28	30.1		Less than 10 years to 20 years	13	14.1		
	Positive information	33	35.5		Less than 20 years to 30 years	16	17.2		
	Total	93	100.0		Less than 30 years to 40 years	18	18.3		
Gender	Male	71	76.3	Profit-Risk seeking propensity	Less than 40 years to 50 years	16	17.1		
	Female	22	23.7		Less than 50 years to 60 years	8	8.6		
	Total	93	100.0		More than 60 years	13	14		
The area of farming rice paddies (per 3.3 m ²)	Less than 5,000	52	55.9	Number of farming participants	Total	93	100.0		
	Less than 5,000 to 10,000	16	17.1		1	21	22.6		
	Less than 10,000 to 15,000	12	12.9		2	48	51.6		
	Less than 15,000 to 20,000	6	6.5		3	12	12.9		
	Less than 20,000 to 25,000	2	2.1		4	9	9.7		
	Less than 25,000 to 30,000	2	2.2		5	3	3.2		
	More than 30,000	3	3.3		Total	93	100.0		
Age	Total	93	100.0	Ownership	Owner	78	83.9		
	30 – 39	5	5.4		Owner's family	15	16.1		
	40 – 49	6	6.3			Total	93	100.0	
	50 – 59	18	19.6			Monthly average farm income (Unit: 10,000 KRW)	0 – 99	31	33.3
	60 – 69	42	45.1				100 – 299	33	35.5
	70 – 79	13	13.9				300 – 499	22	23.7
	80 – 89	9	9.7				500 –	7	7.5
Total	93	100.0	Total	93			100.0		
Agricultural region	Hwacheon	20	21.5	Education	Middle school graduation or less		44	47.3	
	Hongcheon	15	16.1		High school graduation		37	39.8	
	Hoengseong	11	11.9		University graduation	9	9.7		
	Yanggu	12	12.9		Graduate school graduation	3	3.2		
	Chuncheon	20	21.5		Total	93	100.0		
	Cheorwon	15	16.1						
	Total	93	100.0						

Table 3은 응답 농가의 인구통계학적 특성을 나타낸다. 처치 정보는 바이오차 관련 정보 차이에 따른 피설문자들의 바이오차 사용 의사 변화에 미치는 영향을 탐구하는 데 목적이 있다. 처치 정보는 최대한 동일한 비율의 응답을 구성했으나, 유효하지 않은 응답을 제외함에 따라 응답 비율의 차이가 다소 발생하였다. 응답자 중 남성이 76.3% 다수를 차지하였고, 연령층은 60대가 45.1%로 절반에 가까운 비율을 차지하였다. 대학 미진학자가 총 87.1%로 대다수로 나타났다. 영농 논 면적은 3.3 m²당 5,000 미만이 55.9%, 농업 종사지역은 6개 지역에서 비교적 고르게 분포하였다. 농업 종사경력은 20 - 50년이 총 66.7%, 영농 참여 인원은 2인이라는 응답이 51.6%로 나타났다. 월평균 농가소득은 500만 원 미만이라는 응답이 총 92.5%로 조사되었으며, 수익-위험 추구 성향 수치는 값이 작을수록 위험 회피적인 성향을 나타내며, 값이 클수록 위험 추구적인 성향을 나타낸다. 수익-위험 추구 성향은 1부터 6까지 비슷하게 분포되어 있고, 7 이상이라고 응답한 비율은 높지 않았다.

결과 및 고찰

농가의견 조사결과

Table 4는 농가의 바이오차에 대한 인식조사를 보여준다. 바이오차를 설문 이전에 알고 있었다는 응답은 전체 조사 농가 중 35.5%로, 바이오차를 인식한다는 응답이 그렇지 못하다는 응답의 약 절반 수준으로 나타났다. 바이오차 인식에 대한 수준은 전혀 모른다는 응답이 전체의 절반가량인 46.2%로 나타났으며, 바이오차의 기능이나 역할을 잘 알지 못하지만 존재는 인식하고 있다는 응답은 37.6%로 나타났다. 일정 수준 이상 바이오차에 대하여 인식하고 있는 경우 (“보통이다” 응답 + “잘 알고 있다” 응답)는 16.2%로 나타났다. 논에 석회질 비료를 시비할 때 탄소가 발생한다는 사실을 알고 있었다는 응답 비율은 28%로, 그렇지 않다는 응답에 비해 2배 이상 낮게 조사되었다.

Table 5는 바이오차로 대체할 의향이 있거나 혹은 대체하지 않는다고 하는 결정에 영향을 준 요인을 나타낸다. 석회질 비료를 대체하여 바이오차를 사용할 의향이 있다는 응답은 전체의 76.3%로, 그렇지 않다는 응답 대비 약 3배가량 높게 나타났다. 바이오차로 대체하여 사용하겠다는 응답을 한 요인으로는 환경적 문제에 관한 개선을 기대한다는 의견이 전체 응답의 44.1%로 대체 영향 요인 중 가장 높게 나타났다. 다른 요인으로는 영양적 기능 효과를 기대한다는 응답이 17.2%, 현재 사용 중인 비료 효과의 미비가 7.5%, 새로운 비료에 대한 시도가 6.5%, 비교적 긴 시비 주기가 1.1%로 나타났다.

Table 4. Knowledge about Bio-Char and environmental perception of rice farms

Sortation	Frequency	Percent (%)	
Prior knowledge of Bio-Char	Yes	33	35.5
	No	60	64.6
	Total	93	100.0
Prior knowledge level for Bio-Char	Never heard	43	46.2
	Have heard	35	37.6
	Normal	9	9.7
	Highly knowledgeable	6	6.5
	Total	93	100.0
Prior perception of carbon generation in calcareous fertilizers	Yes	26	28.0
	No	67	72.0
	Total	93	100.0

Table 5. Factors influencing the intent to use Bio-Char as a replacement

		Frequency	Percent (%)
Factors influencing Bio-Char replacement decisions	Ineffectiveness of fertilizer currently in use	7	7.5
	Anticipating improvement of environmental problems by using eco-friendly materials	41	44.1
	Expectation of functional effects such as nutrient supply	16	17.2
	Relatively long fertilizer cycle	1	1.1
	Attempt at new fertilizers	6	6.5
	Total (a)	71	76.3
Factors influencing Bio-Char non-replacement decisions	Anticipating the low environmental effects	2	2.2
	Lack of necessity to switch to Bio-Char	10	10.8
	Lack of information on Bio-Char	8	8.6
	Problem of navigating a supplier	2	2.2
	Total (b)	22	23.7
Total (a + b)		93	100.0

Table 6. Respondents' willingness to use Bio-Char to improve the environment

		The need to respond to climate change by reducing carbon	Agriculture's contribution to the nation's carbon reduction	Intention to application of Bio-Char	Willingness to substitute under government support
The need to respond to climate change by reducing carbon	Pearson correlation	1	.481***	.428***	.273***
	Significance level		< .001	< .001	.008
	N	93	93	93	93
Agriculture's contribution to the nation's carbon reduction	Pearson correlation	.481***	1	.396***	.326***
	Significance level	< .001		< .001	.001
	N	93	93	93	93
Intention to application of Bio-Char	Pearson correlation	.428***	.396***	1	.316***
	Significance level	< .001	< .001		.002
	N	93	93	93	93
Willingness to substitute under government support	Pearson correlation	.273***	.326***	.316***	1
	Significance level	.008	.001	.002	
	N	93	93	93	93

*** indicates statistical significance at the 1% level

한편 석회질 비료를 대체하여 바이오차를 사용할 의향이 없다는 응답은 전체 응답의 23.7%로 나타났다. 이 중 바뀌어 할 필요성을 체감하지 못했다는 응답이 전체 10.8%로 미 대체 영향 요인 중 가장 높게 나타났다. 다른 요인으로는 바이오차에 대한 정보전달의 부족이 8.6%, 공급처 탐색에서의 어려움과 환경에 유의한 도움이 되지 않을 것이라는 응답이 각각 2.2%로 나타났다.

Table 6은 바이오차 대체 사용 의향과 관련하여 환경적 개선 의지를 묻는 문항 간의 상관성 검증 결과이다. 두 가지 경우의 바이오차 대체 의향과 관련된 개인 성향인 환경적 개선 의지를 분석한 결과, 4개의 모든 변수는 각각의 변수끼리 유의확률 1% 수준에서 유의한 상관관계를 나타냈다. 탄소 감축을 통한 기후변화 대응이 필요할수록 우리 농업이 국가 전체의 탄소 감축에 중요한 역할을 맡고 있다는 응답 비율이 높았고, 바이오차 대체 사용 의향이 높게 나타났으

Table 7. Changes in respondents' willingness to use Bio-Char as a substitute with government support

	Government price support	Government price non-support	
Mean	0.95	0.76	
Std. dev.	0.23	0.43	
	Mean Comparison	t-value	Significance level
Willingness to substitute under government support & Willingness to substitute under non-support	0.32	-4.24	< .001

Table 8. Influence of Bio-Char information provision on respondents' willingness to use Bio-char as a substitute

	Basic information	Positive information	Negative information
Mean	0.71	0.79	0.78
Std. dev.	0.46	0.42	0.42
		t-value	Significance level
Basic information - Positive information		0.657	0.514
Basic information - Negative information		0.589	0.558

며, 이와 더불어 정부 지원하에 바이오차 대체 사용 의향이 높게 나타났다.

Table 7은 바이오차 가격에 관한 정부 지원 여부에 따라 변화하는 대체 사용 의향을 나타낸다. 바이오차 가격에 대한 정부의 미지원 시에는 대체 사용할 의향이 있다는 응답이 전체 응답의 76%로 나타났다. 한편 바이오차 가격에 대한 정부 지원 시에는 대체 사용할 의향이 있다는 응답이 95%로 정부 지원 옵션을 추가적으로 제공할 때, 약 19% 바이오차 사용의향이 증가하는 것으로 나타났다. 정부의 바이오차 가격 지원에 따른 대체 사용 의향의 변화를 살펴보기 위하여 가격에 대한 정부 지원 시와 정부 미지원 시의 두 대응표본 t-검정을 실시하였다. 정부 지원 여부에 따른 통계적 유의성을 검증한 결과, t 통계값은 -4.24, p-value는 0.001 이내로 유의수준 1%에서 정부 지원 시 바이오차의 대체 사용 의향이 증가한다고 분석되었다.

Table 8은 정보제공에 따른 바이오차 대체 사용 의향의 변화를 보여준다. 바이오차에 대한 세부적 정보를 제공하지 않은 기본문을 제공하였을 때 바이오차를 대체 사용할 의향이 있다는 응답이 전체 응답의 71%로 나타났다. 바이오차 사용에 대한 긍정적 정보를 추가로 제공한 긍정문을 제공하였을 때 바이오차 대체 사용할 의향이 있다는 응답이 전체 응답의 79%로 나타났으며, 바이오차에 대한 부정적 정보를 추가로 제공한 부정문을 제공하였을 때 바이오차 대체 사용할 의향이 있다는 응답이 전체 응답의 78%로 나타났다.

정보제공에 따른 바이오차 대체 사용 의향 변화를 살펴보기 위하여 기본과 긍정문이 제시된 경우를 토대로 두 독립 표본 t-검정을 실시하였다. t-통계값은 0.657, p-value는 0.514로 유의확률 5%에서 유의하지 않은 것으로 분석되었지만 사용의향이 수치적으로 증가함을 보였다. 기본 문과 부정문이 제시된 경우를 토대로 두 독립표본 t-검정을 실시하였다. t-통계값은 0.589, p-value는 0.558로 유의확률 5%에서 유의하지 않은 것으로 분석되었다.

바이오차 적용관련 긍정적 정보와 부정적 정보 모두 바이오차 적용 의향을 증가시키는 것으로 나타나지만 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

쌀 생산농가의 바이오차 사용의향에 대한 정보처치효과를 보다 면밀하게 분석하기 위하여 조건부 회귀분석(conditional regression analysis)을 수행하였다. 이산형태 종속변수의 특성을 고려하여 로지스틱 회귀분석(logistic regression analysis)을 이용하였다.

Table 9. Effects of information provision and demographic factors on respondents' willingness to use Bio-Char as a substitute

	Coefficient	P > z	odds ratio
Negative information	1.369	0.109	3.931
Positive information	1.281*	0.071	3.601
Age	-0.047	0.104	0.953
Education	1.200**	0.014	3.321
Agricultural career	0.002	0.871	1.002
Number of farming participants	-0.815	0.174	0.442
Monthly average farm income	0.391	0.378	1.478
Gender	0.566	0.344	1.762
Pseudo R-squared		0.281	

*, ** indicate statistical significance at the 10% and 5%, respectively

$$Y_i = \alpha + \beta Positive_i + \gamma Negative_i + \rho' x_i + e_i \quad (2)$$

식 (2)에서 Y_i 는 i 농가의 바이오차 사용의향을 나타내며 사용의향이 있는 경우($Y_i = 1$), 사용의향이 없는 경우($Y_i = 0$)로 나타난다. $Positive_i$ 는 바이오차에 대한 긍정적 정보 습득여부(습득 = 1, 미습득 = 0), $Negative_i$ 는 바이오차에 대한 부정적 정보 습득여부(습득 = 1, 미습득 = 0)를 나타낸다. x_i 는 농가의 이질적인 사회경제학적 특징(연령, 성별, 학력, 농업 종사경력, 영농 참여인원, 월평균 농가소득 등)을 나타낸다.

Table 9은 바이오차에 대체 사용 의향이 정보 처치를 포함한 인구통계학적 특성으로부터 받는 영향에 대한 조건부 검증(Conditional test)을 위하여 로지스틱 회귀분석(Logistic regression analysis)을 진행한 결과이다. 도출된 승산비(승산비란 본 연구 중 대체 사용 의향을 ‘성공’과 ‘실패’로 구분할 때 한 변수가 다른 변수에 비해 ‘성공’이 나올 가능성의 비를 나타낸다)에 따라, 부정적인 정보를 추가적으로 제공하였을 때 그렇지 않은 경우 대비 약 3.93배 대체 사용 의향이 높음을 보였지만 통계적으로 유의하지 않았다. 긍정적인 정보를 추가적으로 제공하였을 때, 그렇지 않은 경우 대비 약 3.6배 대체 사용 의향이 높다고 분석되었으며 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 한편, 최종학력이 높은 경우가 그렇지 않은 경우 대비 약 3.3배 대체 사용 의향이 높은 것으로 나타났으며 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

정보효과 분석결과를 통하여 바이오차로 대체할 의향이 기본 정보가 주어졌을 때 비하여 긍정적인 정보가 추가로 제공된 경우 약 3.6배 높게 나타났다. 이를 통해 바이오차 관련 긍정적인 정보제공이 바이오차 대체 의향을 높일 수 있음을 확인할 수 있다. Table 6, Table 7에 의하면 탄소 감축을 통한 기후 변화 대응의 필요성과 국가 전체 탄소 감축에 대한 농업의 중요 역할에 대하여 인지하고 있을수록 바이오차 대체 사용 의향이 높았다. 농업인의 환경 문제에 대한 중요도 인지와 의식 제고는 바이오차 대체 사용 의향을 높여주므로, 바이오차 활성화를 위하여 필요하다는 점을 알 수 있다. 이는 환경정보 - 환경중요도 - 환경실천의 연결고리가 통계적으로 유의하다는 Ahn et al. (2021)과 유사한 결과이다. 단순한 정보 제공을 넘어 환경 의식 제고로 이어질 수 있도록 향후 환경 상태에 대한 과학적 정보를 체계적으로 구축하여 정보 접근성을 높이고, 환경 교육 프로그램을 효과적으로 활용하여 환경정보 - 환경중요도 - 환경실천 연결고리를 강화하는 정책적 노력이 필요하다.

Table 7에 의하면 정부 지원 시 바이오차의 대체 사용 의향이 약 19% 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 설문 조사

결과 농가들은 평균적으로 바이오차 가격에 대한 정부 지원 비율이 정부 80%, 자부담 20%일 때 적당하다고 응답하였다. 이에 따라, 농가의 가격 부담을 줄이기 위한 정부 지원 정책이 바이오차 활성화를 위한 생산자 인센티브로 작성함을 알 수 있다.

결론

본 연구에서는 지속 가능한 농업생산을 위한 바이오차 사용에 따른 탄소 감축에 기여할 수 있는 정도를 파악하고, 농업 생산자조사를 통해 바이오차에 대한 인식과 바이오차 대체 가능성에 대하여 알아보려고 하였다. 쌀 생산을 대상으로 바이오차를 사용했을 때 기존 벼 재배 대비 탄소 감축량을 환산하고, 바이오차를 실질적으로 사용하게 될 농가들의 인식과 수용 의사를 조사하고 분석하였다.

연구 결과를 요약하면 대한민국에서 벼 재배 시 발생하는 온실가스는 2018년 기준 6.3백만 톤 CO₂eq. 이고, 이는 농업 분야에서 가장 큰 29.7%의 비중을 차지한다. 벼 재배에서 바이오차 펠릿 사용 시 1 ha당 1,470.4 kg CO₂eq. 의 토양의 탄소 격리 효과가 있고, 2018년 기준 약 1.2백만 톤 CO₂eq.의 탄소를 격리할 수 있다. 벼 재배에서 바이오차 펠릿 사용에 따른 탄소 격리는 대한민국 2030년 온실가스 감축 목표 40%에서 약 0.4% 정도 기여할 수 있고, 농업 분야에서 온실가스 감축 목표 40% 설정 시 약 14.3% 기여할 수 있는 것으로 분석되었다. 그리고 KAU의 잠재적인 이익은 2020년 12월 31일 종가 기준으로 약 8,921,464,618원 정도로 예측되었다.

농가 대상 설문 조사 결과, 논 농가가 바이오차를 인식하지 못하고 있다는 비율이 64.6%, 석회질 비료 시비가 탄소 발생에 영향을 주는 것을 인식하고 있지 않다는 비율이 72%로 바이오차 인식 및 석회질 비료에 따른 효과에 대한 인식이 상당히 낮은 것으로 확인되었다. 농가의 바이오차 사용에 대한 영향 요인으로는 환경문제 개선에 대한 기대가 44.1%로 가장 높았으며, 미사용 영향 요인으로는 바뀔 필요가 없을 필요성을 체감하지 못한다는 의견이 10.8%로 가장 높았다. 기후변화 대응 필요성과 농업의 탄소 감축 중요도를 높게 여길수록 바이오차 사용 의향 증가가 유의하게 나타났으며, 바이오차에 대한 정부의 가격 지원책이 실시되었을 때, 바이오차 사용의향이 유의적으로 증가하였다. 특히 바이오차에 대한 긍정적인 정보 제시는 바이오차 대체 의향을 증가시키는 것으로 분석되었다. 이는 향후 바이오차 활성화를 위하여 바이오차 적용과 관련한 긍정적인 효과와 관련한 교육 및 홍보가 효과적인 방안으로 검토될 수 있음을 나타낸다.

기후변화에 따른 심각한 문제로 농업에서의 탄소 감축은 지속 가능한 농업생산을 위하여 국민 모두가 관심을 가지고 이루어 내야 할 과제가 되었다. 따라서 탄소 감축의 긍정적 대안으로서 바이오차 사용에 따른 탄소 감축량 기여도를 제시하고 바이오차에 대한 수용 의사 연구를 진행하였다. 연구를 통해 바이오차 사용의 필요성을 확인하였고, 수용 의사 조사를 통하여 바이오차 활용을 위한 방안을 모색하였다. 이 연구를 통하여 국·내외에서 탄소 감축의 필요성 강조와 2030년 온실가스 감축 목표를 달성하기 위해서 바이오차 사용에 관한 적극적인 관심과 논의가 이루어지기를 기대한다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 바이오차 사용으로 인한 온실가스 배출량 변화 예측시 바이오차 사용을 위한 농법 전환으로 발생할 수 있는 추가적인 비용은 포함되어 있지 않다. 향후 연구에서는 정확한 바이오차 사용에 따른 배출량 변화를 환산하기 위하여 이를 고려할 필요가 있다. 둘째, 본 연구는 쌀 주산지인 강원도를 대상으로 연구가 진행되었다. 향후 쌀 주산지를 대상으로 하는 추가적인 연구를 통하여 결과의 강건성을 확인할 필요가 있다.

인용문헌(References)

- 2050 Carbon Neutrality Committee (2021) Nationally Determined Contribution (NDC) in 2030, 6.
- Ahn, S. E., Oh, C. O., Yoon, T. K. (2021) A Synthetic Analysis of Public Survey on Awareness of Korean towards the Environment. *Journal of Environmental Policy and Administration* 29:47-75.
- Choi, Y. S., Shin, J. D. (2016) Lettuce Growth Response to Biochar Pallet Application in Salt accumulated Soil. *Korean Society of Soil Sciences and fertilizer*, 139.
- Jeong, H. G. (2021) Policy issues for the revitalization of low carbon agriculture , Korea Rural Economic Research Institute, 101.
- KRX information data system, The market price of total stocks, KAU20 (2020).
- Ministry of Environment Greenhouse Gas Inventory and Research Center (2020) 2020 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea.
- National Statistical Office (KOSTAT) (2019) 2018 Agricultural Area Statistics, National Statistical Office, Korea.
- National Statistical Office (KOSTAT) (2021) 2020 Agricultural Area Statistics, National Statistical Office, Korea.
- Shin, J. D., Choi, Y. S., Kim, H. W. (2017a) Development of carbon sequestration technology with biochar, Rural Development Administration, Korea.
- Shin, J. D., Choi, Y. S., Kim, H. W. (2017b) Development of carbon sequestration technology with biochar, National Institute of Agricultural Sciences, 40.
- Shin, J. D., Park, D. G., Kim, H. S., Lee, S. I., Hong, S. G. (2020) Evaluation of Agro-Environmental Effect and Soil Carbon Sequestration to different Application Ratios of Supplemented Biochar Pellet in the Paddy during Rice Cultivation, The Korean Society of Environmental Agriculture, Korea.