

ORIGINAL ARTICLE

나무재, 바이오차 및 비드 첨가가 우분의 특성에 미치는 영향

김규태¹⁾ · 김성훈¹⁾ · 최우현¹⁾ · 최부길²⁾ · 백창현²⁾ · 허태웅¹⁾ · 김삼철^{1,2)*}

¹⁾경상국립대학교 축산과학부

²⁾경상국립대학교 응용생명과학부(BK21Four, 농업생명과학연구원)

Effects of Wood Ash, Biochar, and Bead Additions on of Cattle Manure Characteristics

Gyu-Tae Kim¹⁾, Sung-Hoon Kim¹⁾, Woo-Hyeon Choi¹⁾, Bu-Gil Choi²⁾, Chang-Hyun Baeg²⁾,
Tae-Woong Hur¹⁾, Sam-Churl Kim^{1,2)*}

¹⁾Division of Animal Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

²⁾Division of Applied Life Science (BK21Four, Institute of Agriculture and Life Science), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Abstract

Livestock odor, driven largely by ammonia emitted from cattle manure, has become a growing source of complaints as residential areas expand toward farms. Wood ash and biochar are waste-derived materials with odor-adsorbing potential, but in powder form they generate dust and are difficult to recover after use, which limits their practical application. Forming these powders into alginate-based beads can overcome these limitations; however, the effects of such beads on cattle manure and their field applicability remain poorly understood. In this study, we investigated the effects of adding wood ash, biochar, and alginate-based beads containing wood ash and biochar to cattle manure over a specific period and assessed how these additives influenced the characteristics of the manure. The goal of the study was to demonstrate the environmental reuse of these waste resources while providing foundational data that can be used to address ongoing environmental challenges in the domestic livestock industry, such as odor-related complaints. Seven treatments—a control (manure only), two wood ash levels, two biochar levels, and two bead formulations—were applied to cattle manure and incubated for 15 days, with moisture content, pH, and ammonia emissions measured at 5-day intervals. The treatment groups exhibited decreasing moisture content over time compared with the control group. On day 15, the Bead 1 and Bead 2 treatment groups had the lowest moisture contents among all groups. No distinct pH variation patterns were observed, and all treatment groups maintained similar pH levels throughout the study. Ammonia emissions decreased gradually over time across all treatments. On day 15, ammonia emissions from the Bead 1 and Bead 2 groups were lower than those from the control group, whereas emissions from the other treatment groups were slightly higher than those from the control group. These findings indicate that the Bead 1 and Bead 2 groups are highly promising materials that could be used to promote environmental sustainability by reusing waste resources, to improve livestock management practices. More broadly, converting waste residues such as wood ash and biochar into stable beads offers a practical route to valorize waste while mitigating livestock odor, supporting both a circular economy and more sustainable livestock production.

Key words : Ammonia, Bead, Biochar, Moisture, Cattle manure, pH, Wood ash

Received 29 May, 2026; Revised 1 July, 2026;

Accepted 13 July, 2026

*Corresponding author : Sam-Churl Kim, Division of Applied Life Science (BK21Four, Institute of Agriculture and Life Science), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea
Phone : +82-55-772-1947
E-mail : kimsch@gnu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

국내 한우 산업의 대규모화와 도시의 확장으로 실주 거지와 축산 농가 간의 거리가 좁혀짐에 따라 축산 악취로 인한 민원이 증가되는 추세에 있다. 이는 한우의 안락한 사육 환경과 동물 복지를 위해 바닥에 왕겨나 톱밥 등의 깔집과 환기가 용이한 개방형 구조로 운영되는 경우가 많아 근본적인 악취 제어가 어렵고, 사용가능한 악취 저감 기술도 제한적이다. 그래서 깔집 및 팽화제(bulking agents) 소재의 역할이 매우 중요하다. 환경부의 통계에 따르면, 2022년 기준 국내에서 발생한 전체 연소재 폐기물은 약 1,367만 톤에 달하는 것으로 보고되었다(KE and KEC, 2023). 특히 신재생에너지 보급이 확대되면서 목재 펠릿을 활용한 바이오매스 발전소가 증가함에 따라 발생하는 목질계 연소재(wood ash) 또한 꾸준히 늘어나고 있다. 그러나 이는 탄소 함량이 낮아 단독으로 높은 흡착능을 발휘하기 어려운 제한점이 있다. 반면, 바이오차(biochar)는 넓은 비표면적과 다양한 기공 구조를 가진 대표적인 다공성 탄소 소재이다. 따라서 바이오차 표면의 산성 산소 작용기를 통해 기체 상태의 암모니아(NH_3)와 황화수소(H_2S)가 흡착되며, 그 효율은 상업용 활성탄에 필적한다고 알려져 있다(Ahmad et al., 2014; Ro et al., 2015; Meiirkhanuly et al., 2020). 다른 연구에서도 국내 축사 환경에서 발생하는 복합 악취를 저감하는 데에도 뛰어난 효과를 보였다고 하였다(Hwang et al., 2018). 그러므로 나무재를 바이오차와 혼합하면, 물리화학적 한계를 보완하여 우수한 악취 흡착제로서의 잠재력과 친환경적인 고부가 가치를 제공할 것으로 기대할 수 있다. 그러나 이러한 분말 형태의 소재들은 벌크 밀도가 낮아 사용 시 분진 발생과 흡착 이후에 오염물질과 흡착제의 분리에서 어려운 점 등이 있어 실제 환경 개선 공정에서의 활용 사례는 제한적이다. 이러한 물리적 한계를 극복하기 위한 최적방안으로 알지네이트(alginate)를 가교제로 하여 다공성 입자들을 구형 형태로 성형하는 방법이다. 알지네이트는 Ca^{2+} , Mg^{2+} 등 2가 양이온과 카르복실기(carboxylate group)가 이온 결합하여 견고한 3차원 젤(gel) 타입의 그물구조로 되어 분말 흡착제를 안정적으로 담지하여 분진 발생을 억제할 뿐만 아니라 나무재와 바이오차의 뭉침을 방지하여 가스 분자의 이동 통로를 효과적으로 확보해 준다(Yang et al., 2011; Zhao et al., 2025). 특히 알지네이트 자체에 풍부하게

포함된 카르복실기($-\text{COOH}$)는 단순히 형태의 안정화를 넘어 염기성 악취가스와 반응하여 추가적인 화학적 결합 기회를 제공한다(Eltaweil et al., 2022). 이는 비드(bead)의 다공성 구조에 의해 물리적으로 가스를 포획하는 기능과 혼합 소재의 표면에서 이루어지는 화학적 중화 반응이 서로 상호작용하며 악취 가스 흡착에 뛰어난 시너지 효과를 낼 수 있음을 의미한다.

따라서 본 연구에서는 나무재, 바이오차 및 비드를 우분(우분)에 첨가하여 일정기간 동안 우분의 특성에 미치는 영향 조사 및 이들 폐자원의 재활용 가능성에 대한 현장 적용과 축산 경영의 악취 문제를 해결하기 위한 기초자료를 제공하는 데 목적을 두었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료와 처리구 준비

본 연구에 사용된 나무재는 경상남도 함천군의 화목 보일러에서 발생한 연소 잔여물을 채취하여 사용하였다. 바이오차는 농업회사법인 세경팜(주)의 시판 제품을 구매하여 활용하였고, 왕겨 또한 시장에서 구매하여 준비하였다. 비드를 만들기 위해 결합제인 알긴산나트륨과 결합 보조제인 전분 및 카르복시메틸셀룰로오스 나트륨 FH1000 (cmc)는 시판되는 식품첨가물 등급의 제품을 사용하였다. 그리고 겔화 유도제인 염화칼슘은 HS Science사에서 제조한 식품첨가물 등급 제품을 사용하였다. 비드 제조과정에서는 물 1.5 L에 CMC 6 g을 첨가한 뒤 교반기를 이용해 천천히 교반한 후(120 rpm, 30분), 먼저 50°C로 유지된 20% 전분물 50 mL에 알긴산나트륨 15 g을 녹여 기초 혼합액을 조제하였다. 여기에 나무재(135 g/127.5 g)와 바이오차(15 g/22.5 g)를 각각 순차 투입하며 각 단계마다 3분씩 교반하였다. 이후 물 450 mL와 왕겨 250 g을 첨가하고 5분간 섞어 슬러리 상태로 만들었다. 성형 단계에서는 4% 염화칼슘 수용액을 10 rpm으로 교반하며 수면 위 2 cm 높이에서 슬러리를 떨어뜨려 비드를 형성하였다. 제조된 비드는 55°C 드라이오븐에서 24시간 건조 후 실험에 사용하였다. 모든 재료는 건조 및 분쇄 과정을 거친 후, 1 mm 체로 걸러내어 실험에 이용하였다. 그리고 본 연구에 사용된 재료와 비율은 Fig. 1과 Table 1에 제시하였다.

축분은 경상국립대학교 부속농장의 비육우 축사에서 2개의 우방을 선택하여 한 우방당 4구역으로 나누어

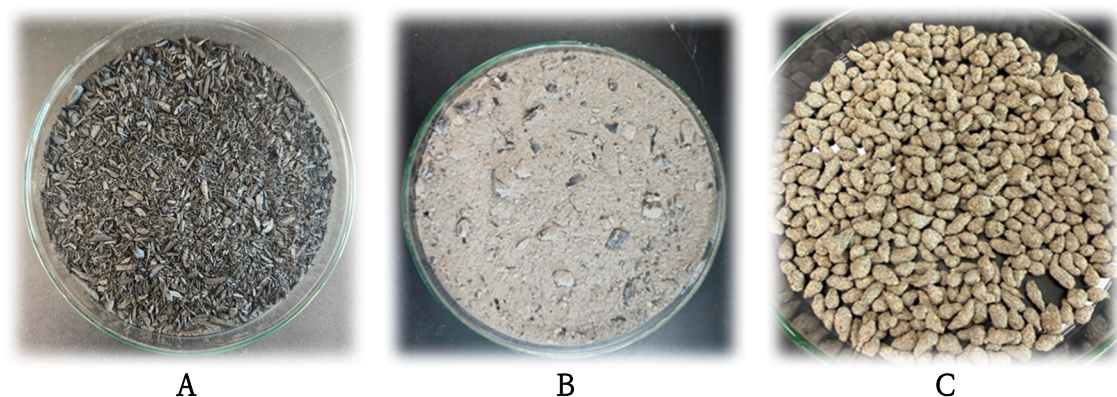


Fig. 1. Materials utilized in this experiment: A) biochar, B) wood ash, and C) bead.

Table 1. Mixing ratio for bead production based on wood ash and biochar content

Item	Wood ash	Biochar	Rice husk	Starch	CMC	Sodium alginate	Water
Bead 1	135 g	15 g	250 g	10 g	6 g	15 g	2 L
Bead 2	127.5 g	22.5 g	250 g	10 g	6 g	15 g	2 L

(총 8구역) 구역별로 2 kg씩 총 16 kg을 채취하였다. 처리구는 Table 2의 내용을 기준으로 설정되었으며, 우분은 대조구로 사용하였다. Bead 1은 WA 1 및 BC 1 처리구에서 제시한 나무재 또는 바이오차 함량만큼 첨가하였고, 동일한 방식으로 Bead 2는 WA 2 및 BC 2 처리구의 함량에 맞춰 첨가하였다.

2.2. 샘플 처리 및 분석

지퍼백에 축분을 500 g씩 배분하여 Table 2에서 제시한 첨가 비율과 같이 나무재와 바이오차를 첨가하여 교반 후, 직경 1 cm의 구멍을 만들어 실온(약 20°C)에서 15일간 보관하였다. 비드 처리구는 실제 축사 환경에서 가축의 답압에 의해 비드가 파손되는 현상을 모사하기 위해 총 투입량의 1/3을 인위적으로 거칠게 파쇄하여 사용하였다. 수분은 각 처리구를 3개씩 5 g ~ 10 g을 채취하여 건조기 105°C에서 24시간 건조 후 무게 변화를 측정하여 계산하였다. pH는 처리구 별 시료를 20 g씩 채취하여 증류수 180 ml를 섞어 교반한 후, 즉시 pH meter를 사용해 3반복으로 측정하였다. 암모니아는 측정 2시간 전 지퍼백의 입구를 닫아 밀봉한 후

GASTEC pump (GV-100S; GASTEC Corp., Ayase, Japan)와 NH₃ detector tube (3L; GASTEC Corp., Ayase, Japan)을 이용하여 측정하였다.

2.3. 통계분석

본 시험에서 얻어진 결과는 SAS program (ver. 9.4 program; SAS, 2013)을 이용하여 ANOVA (analysis of variance) 통계분석을 실시하였다. 우분의 pH, 수분 및 암모니아를 분석한 결과에 대한 각 처리구간 유의성은 Tukey's test로 $p < 0.05$ 에서 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 3은 나무재, 바이오차 및 비드가 우분 내 수분 함량에 미치는 영향을 요약하였다. 모든 결과는 처리구와 시간 경과에 따라 수분 함량 변화가 유의미한 것으로 확인되었다($p < 0.05$). 그러나 시간의 경우 10일에서의 결과와 처리구 중 BC 1, WA 1, WA 2, Bead 1, Bead 2는 수분 함량에 유의미한 변화를 보이지 않았다

Table 2. The experimental treatments based on wood ash and biochar content

Treatment	Wood ash	Biochar
CON	-	-
WA 1	16.19 g	
WA 2	15.65 g	
BC 1		1.74 g
BC 2		2.86 g
Bead 1	16.19 g	1.74 g
Bead 2	15.65 g	2.86 g

CON: Control, BC: Biochar, WA: Wood ash

Table 3. Effect of wood ash, biochar, and bead additives on the moisture content (%) of cow manure as a function of time

Item	Treatment ¹							SEM
	CON	BC 1	BC 2	WA 1	WA 2	Bead 1	Bead 2	
0 day	68.8 ^{ab}	68.6 ^a	69.3 ^{aBC}	68.9 ^a	68.6 ^a	68.1 ^{ab}	66.9 ^b	0.25
5 day	72.8 ^{aA}	69.0 ^b	68.3 ^{bC}	68.3 ^b	69.0 ^b	66.9 ^{bc}	65.1 ^c	0.56
10 day	72.9 ^A	69.3	70.1 ^{AB}	69.5	69.4	68.2	70.6	1.71
15 day	74.0 ^{aA}	70.5 ^b	70.6 ^{bA}	69.5 ^b	70.1 ^b	68.4 ^b	68.6 ^b	0.44
SEM	0.50	0.44	0.23	0.57	2.17	0.47	1.55	

^{a-c} Means within a row with different lowercase superscripts differ significantly ($p < 0.05$)^{A-C} Means within a column with different uppercase superscripts differ significantly ($p < 0.05$)¹BC 1: Biochar 15 g, BC 2: Biochar 22.5 g, WA 1: Wood ash 135 g, WA 2: Wood ash 127.5 g, Bead 1: Wood ash 135 g + Biochar 15 g, Bead 2: Wood Ash 127.5 g + Biochar 22.5 g

CON : Control, BC: Biochar, WA: Wood ash

SEM : Standard error of the means

($p > 0.05$). 전반적인 수분 함량은 실험 0일에 Bead 2를 제외하고 대부분의 처리구에서 평균적으로 약 68%로 유사한 수준이었다. 시간이 경과함에 따라(5일~15일) 모든 처리구는 수분 함량이 증가하는 경향을 보였지만, 대조구와 비교하면 나머지 처리구는 감소하는 경향을 나타냈다. 이 중에서 Bead 1과 Bead 2 처리구는 대조구와 비교했을 때 가장 낮은 수분 함량을 기록하였다. 이는 Bead 1과 Bead 2 처리 과정에서 나무재와 바이오차 등 다양한 재료들이 첨가되어 효과적으로 상호 반영된 결과로 해석된다. 바이오차의 경우, 축분에 첨가될 경우와 마찬가지로 토양에 적용시에는 미세 공극(0.02~0.002 mm)이 수분과 물질을 지속적으로 흡착하는데 기여한다. 특히, 소공극(0.2~0.02 mm)은 액체 및 고체 간 흡착과 탈착 과정을 매개한다. 또한 대공극(> 0.2 mm)은 통기성을 개선하고, 수분 이동 및 뿌

리 활착을 지원하며 토양의 용적 밀도를 조절하는 역할을 한다(Sun and Lu, 2014). 나무재는 연소를 통해 대부분의 수분이 제거되면서 매우 건조한 분말 상태가 되는데, 이는 축분과 혼합될 경우 높은 흡수력을 나타낸다는 점에서 이러한 결과를 뒷받침한다.

Table 4는 나무재, 바이오차, 그리고 비드를 우분에 첨가한 후 일정 기간 동안 pH 변화에 대한 결과를 제시하였다. 시간의 경과와 처리구 간의 pH 변화는 통계적으로 유의미한 차이를 나타냈으며($p < 0.05$), 그러나 10일 및 15일에 측정된 pH 값은 모든 처리구에서 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았다($p > 0.05$). 각 처리구의 pH는 실험 초기(0일)부터 10일까지 감소하는 양상을 보였으나, 15일에는 다시 증가하는 경향이었다. 전체적인 pH 변화는 모든 처리구 간에 명확한 패턴을 보이지 않고 비슷한 수준으로 관측되었다. 일반적으로

Table 4. Effect of wood ash, biochar, and bead additives on the pH of cow manure as a function of time

Item	Treatment ¹							SEM
	CON	BC 1	BC 2	WA 1	WA 2	Bead 1	Bead 2	
0 day	8.80 ^{bA}	8.84 ^{bA}	8.79 ^{bA}	9.05 ^{aA}	9.07 ^{aA}	8.78 ^{bA}	8.81 ^{bA}	0.02
5 day	8.58 ^{bB}	8.72 ^{abAB}	8.69 ^{abAB}	8.69 ^{abB}	8.78 ^{aB}	8.60 ^{abAB}	8.69 ^{abA}	0.03
10 day	8.41 ^B	8.48 ^C	8.48 ^C	8.63 ^B	8.52 ^C	8.50 ^B	8.39 ^B	0.04
15 day	8.56 ^B	8.62 ^{BC}	8.53 ^{BC}	8.71 ^B	8.68 ^{BC}	8.48 ^B	8.63 ^A	0.04
SEM	0.04	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.05	

^{a-c} Means within a row with different lowercase superscripts differ significantly ($p < 0.05$)

^{A-C} Means within a column with different uppercase superscripts differ significantly ($p < 0.05$)

¹BC 1 : Biochar 15 g, BC 2: Biochar 22.5 g, WA 1: Wood ash 135 g, WA 2: Wood ash 127.5 g, Bead 1: Wood ash 135 g + Biochar 15 g, Bead 2: Wood Ash 127.5 g + Biochar 22.5 g

CON : Control, BC: Biochar, WA: Wood ash

SEM : Standard error of the means

Table 5. Effect of wood ash, biochar, and bead additives on ammonia emissions (ppm) of cow manure as a function of time

Item	Treatment ¹							SEM
	CON	BC 1	BC 2	WA 1	WA 2	Bead 1	Bead 2	
0 day	45.1 ^{bA}	23.3 ^{cA}	33.4 ^{bca}	78.0 ^{aA}	73.7 ^{aA}	39.0 ^{bcA}	26.9 ^{cA}	3.18
5 day	8.33 ^{abB}	8.33 ^{abC}	7.67 ^{abcB}	7.33 ^{abcB}	9.67 ^{abC}	4.33 ^{cC}	5.00 ^{bcB}	0.71
10 day	12.3 ^{aB}	5.33 ^{bcC}	4.67 ^{bcB}	8.00 ^{bB}	7.33 ^{bcC}	3.33 ^{cC}	4.00 ^{bcB}	0.75
15 day	10.7 ^{bB}	15.7 ^{abB}	13.3 ^{abB}	15.0 ^{abB}	22.5 ^{aB}	8.67 ^{bB}	8.33 ^{bB}	1.79
SEM	2.66	0.97	2.34	1.70	2.47	0.54	2.82	

^{a-c} Means within a row with different lowercase superscripts differ significantly ($p < 0.05$)

^{A-C} Means within a column with different uppercase superscripts differ significantly ($p < 0.05$)

¹BC 1 : Biochar 15 g, BC 2: Biochar 22.5 g, WA 1: Wood ash 135 g, WA 2: Wood ash 127.5 g, Bead 1: Wood ash 135 g + Biochar 15 g, Bead 2: Wood Ash 127.5 g + Biochar 22.5 g

CON : Control, BC: Biochar, WA: Wood ash

SEM : Standard error of the means

나무재와 바이오차는 산성 토양의 개량에 중요한 역할을 할 수 있는 물질로 알려져 있다. 이들이 유기물인 우분에 첨가될 경우, 알칼리 염이 분리·배출되면서 pH가 상승한다는 점이 보고된 바 있다(Shinogi and Kanri, 2003; Park et al., 2021). 추가적으로 비드의 경우에도 나무재와 바이오차가 혼합되어 있어 pH가 알칼리성을 띠는 경향을 나타낸 것으로 해석할 수 있다.

나무재, 바이오차, 그리고 비드를 우분에 첨가하여 측정한 암모니아 발생량에 대한 결과는 Table 5와 같다. 본 연구에서는 암모니아 발생량에 대해 시간과 모든 처리구 간의 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었다($p < 0.05$). 실험 0일차에는 모든 처리구에서 암모니아

발생량이 비교적 높은 수준을 보였는데, 특히 WA 1 처리구와 WA 2 처리구에서 각각 78.0 ppm과 73.7 ppm으로 다른 처리구에 비해 높았다. 시간이 경과함에 따라 모든 처리구에서 암모니아 배출량이 점진적으로 감소하는 양상이 나타났다. 15일차에는 대조구와 대비하여 Bead 1과 Bead 2 처리구에서 암모니아가 감소한 반면, 다른 처리구에서는 약간의 증가 되는 것으로 관찰되었다. 일반적으로 암모니아 발생은 pH 값이 8 이상일 경우 증가하는 것으로 알려져 있다(Hristov et al., 2011). 그러나 본 연구에서 Bead 1과 Bead 2 처리구에서 암모니아가 감소된 이유는 단순히 pH 변화의 영향보다 나무재와 바이오차의 암모니아 흡착 기능이 결

함되어 축분에서 상호작용 효과를 발휘했기 때문이다. 즉 나무재와 바이오차는 각각 독립적으로 암모니아 배출량 감소에 기여하지만, 본 연구에서는 이들의 조합이 단독 사용보다 더 뛰어난 결과를 도출했음을 시사한다.

4. 결론

본 연구는 나무재, 바이오차 및 비드를 첨가하여 일정기간 동안 우분의 특성에 미치는 영향을 조사하고, 이들 폐자원의 재활용 가능성의 입증과 축산 경영의 악취 문제를 해결하기 위한 기초자료를 제공하는 데 목적을 두었다. 수분의 경우, 시간이 경과함에 따라 처리구에서 감소하는 경향을 나타냈다. 특히 Bead 1과 Bead 2 처리구는 다른 처리구보다 수분 함량이 가장 낮았다. pH 변화는 모든 처리구 간에 명확한 패턴을 보이지 않고 비슷한 수준으로 관측되었다. 암모니아 발생량은 시간이 경과함에 따라 모든 처리구에서 점진적으로 감소하였고, Bead 1과 Bead 2에서 가장 낮았다. 그러나 15 일차에는 대조구와 처리구 모두 크게 증가하였지만 Bead 1과 Bead 2 처리구의 암모니아 발생량이 감소하는 것으로 나타났다. 결과적으로 이들 폐자원의 친환경적인 재활용과 동시에 축산 경영현장에서 적용할 수 있는 효과적인 깔집 재료는 Bead 1과 Bead 2임을 시사한다.

감사의 글

본 논문은 교육부와 경상남도의 재원으로 지원을 받아 수행된 경상남도 지역 혁신중심 대학지원체계(RISE)의 연구 결과입니다.

REFERENCES

- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S., Ok, Y. S., 2014, Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A Review, *Chemosphere*, 99, 19-33.
- Eltaweil, A. S., Abd El-Monaem, E. M., Elshishini, H. M., El-Aqapa, H. G., Hosny, M., Abdelfatah, A. M., Ahmed, M. S., Hammad, E. N., El-Subruiti, G. M., Fawzy, M., Omer, A. M., 2022, Recent developments in alginate-based adsorbents for removing phosphate ions from wastewater: A Review, *RSC Adv.*, 12(13), 8228-8248.
- Hristov, A. N., Hanigan, M., Cole, A., Todd, R., McAllister, T. A., Ndegwa, P. M., Rotz, A., 2011, Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots, *Can. J. Anim. Sci.*, 91(1), 1-35.
- Hwang, O. H., Lee, S. R., Cho, S. B., Ro, K. S., Spiehs, M., Woodbury, B., Silva, P. J., Han, D. W., Choi, H. C., Kim, K. Y., Jung, M. W., 2018, Efficacy of different biochars in removing odorous volatile organic compounds (VOCs) emitted from swine manure, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 6(11), 14239-14247.
- Meiirkhanuly, Z., Koziel, J. A., Chen, B., Lee, M. S., Wi, J. S., Bakshi, S., 2020, Mitigation of gaseous emissions from swine manure with the surficial application of biochars, *Atmosphere*, 11(11), 1179.
- Ministry of Environment (KE) and Korea Environment Corporation (KEC), 2023, 2022 National waste generation and treatment status, Publication registration No. 11-1480000-001552-10, Sejong, Korea, <https://www.kwaste.or.kr/data/01.php>
- Park, J. H., Kang, S. W., Yun, J. J., Lee, S. G., Kim, S. H., Beak, J. S., Cho, J. S., 2021, Effects of co-application of biochars and composts on lettuce growth, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 54(2), 151-160.
- Ro, K. S., Lima, I. M., Reddy, G. B., Jackson, M. A., Gao, B., 2015, Removing gaseous NH₃ using biochar as an adsorbent, *Agriculture*, 5(4), 991-1002.
- Shinogi, Y., Kanri, Y., 2003, Pyrolysis of plant, animal and human waste: Physical and chemical characterization of the pyrolytic products, *Bioresour. Technol.*, 90(3) 241-247.
- Sun, F., Lu, S., 2014, Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil, *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 177(1), 26-33.
- Yang, J. S., Xie, Y. J., He, W., 2011, Research progress on chemical modification of alginate: A Review, *Carbohydr. Polym.*, 84(1), 33-39.
- Zhao, Y., Wang, C., Han, Q., Fang, Z., Gao, Y., Chen, H., Li, J., Yang, X., Chen, J., Wang, H., 2025, Recent advances in biochar-based hydrogel composites: Preparation, aquatic environmental applications, and adsorption mechanisms, *Processes*, 13(3), 664.

-
- Undergraduate's course. Gyu-Tae Kim
Division of Animal Science, Gyeongsang National University
gtkim0202@gmail.com
 - Undergraduate's course. Sung-Hoon Kim
Division of Animal Science, Gyeongsang National University
munji9827@gmail.com
 - Undergraduate's course. Woo-Hyeon Choi
Division of Animal Science, Gyeongsang National University
a66430691@gmail.com
 - Master's course. Bu-gil Choi
Division of Applied Life Science (BK21Four, Institute of Agriculture and Life Science), Gyeongsang National University
vet00161@gmail.com

-
- Doctor's course. Chang-Hyun Baeg
Division of Applied Life Science (BK21Four, Institute of Agriculture and Life Science), Gyeongsang National University
back5254@naver.com
 - Assistant Professor. Tae-Woong Hur
Division of Animal Science, Gyeongsang National University
hurtw1@gnu.ac.kr
 - Professor. Sam-Churl Kim
Division of Applied Life Science (BK21Four, Institute of Agriculture and Life Science), Gyeongsang National University
kimsc@gnu.ac.kr