

## 연소촉진제 첨가 및 팽연화 기술 개발을 통한 왕겨의 목재펠릿 사용 가능성 연구

김완배<sup>1,\*</sup> · 오도건<sup>2</sup> · 유재상<sup>3</sup> · 정연훈<sup>4</sup> · 박대원<sup>1,†</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 에너지환경공학과, 박사과정

<sup>2</sup>(주)유니바이오, 대표

<sup>3</sup>한국화학융합시험연구원, 본부장

<sup>4</sup>경기도보건환경연구원, 대기환경팀장

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 에너지환경공학과, 교수

(2020년 10월 16일 접수: 2020년 12월 29일 수정: 2020년 12월 30일 채택)

### A Study on the possibility of using wood pellets of rice husk through the addition combustion improver and development of expansion technology

Wanbae Kim<sup>1</sup> · Doh Gun Oh<sup>2</sup> · Jae Sang Ryu<sup>3</sup> · Yeon-Hoon Jung<sup>4</sup> · Daewon Pak<sup>1,†</sup>

<sup>1</sup>*Department of Environment Energy Engineering, Graduate School of Energy & Environment,  
Seoul National University of Science & Technology*

<sup>2</sup>*Unibio Corporation*

<sup>3</sup>*Korea Testing & Research institute*

<sup>4</sup>*Gyeonggi Institute of Health & Environment*

(Received October 16, 2020; Revised December 29, 2020; Accepted December 30, 2020)

**요약** : 본 논문은 농업부산물인 왕겨를 사용하여 목재펠릿 이용 가능성을 도출하고자 하였으며 왕겨의 낮은 발열량은 팽연화 기술과 연소첨가제를 통해 개선하고자 하였다. 왕겨의 물리·화학적 분석 시 염소 함유량이 0.09%로 목재펠릿 품질 기준에 부합하지 않는 결과를 얻을 수 있었다. 팽연화 기술을 통해 왕겨를 팽연왕겨로 제작 시 염소 함유량이 감소하여 목재펠릿 기준에 준하는 0.02%의 생성물을 얻을 수 있었으며 발열량 역시 기존 3,780 kcal/kg 대비 4,280 kcal/kg로 증가된 생성물을 얻을 수 있었다. 5,000 kcal/kg 이상의 생성물을 얻기 위해 연소촉진제로 붕사, 과산화수소, 수산화나트륨을 사용했지만 발열량 개선은 미비하게 나타났다. 폐자원 바이오매스인 커피찌꺼기를 사용하여 커피유로 전환 후 팽연왕겨에 혼합하여 생성물 분석 시 커피유 15 wt% 혼합 생성물이 4,949 kcal/kg의 발열량을 나타냈다. 농업부산물인 왕겨를 목재펠릿으로 사용할 시 발열량 개선을 위해 폐자원을 사용하는 것이 바람직하다 판단되며, 본 연구의 결과에 따라 커피유를 혼합할 시 왕겨를 목재펠릿으로 충분히 사용 가능할 것이라 사료된다.

**주제어** : 목재펠릿, 왕겨, 연소첨가제, 팽연화, 커피찌꺼기

<sup>†</sup>Corresponding author

(E-mail: daewon@seoultech.ac.kr)

**Abstract :** This study attempted to derive the possibility of using wood pellet using rice husk, which is an agricultural byproduct, and tried to improve the lower calorific value of rice hulls through expansion technology and combustion additives. In the physical and chemical analysis of rice husk, the result was obtained that the chlorine content was 0.09%, which did not meet the wood pellet quality standard of Korea. When making rice hulls into expanded rice husk through the expansion technology, the chlorine content decreased, resulting in a product of 0.02%, which is equivalent to the wood pellet standard of Korea, and the calorific value was also increased to 4,280 kcal/kg compared to the existing 3,780 kcal/kg. To obtain a product of 5,000 kcal/kg or more, borax, hydrogen peroxide, and sodium hydroxide was used as combustion improver. However the improvement in calorific value was insufficient. After conversion to coffee oil path using coffee grounds, which is a waste resource biomass, it is mixed into an expanded rice husk, and when the product is analyzed, the coffee oil 15 wt% mixed product shows an excess of 4,949 kcal/kg. When using rice husk, an agricultural byproduct, as wood pellets, it is considered desirable to use waste resources to improve the calorific value, and according to the results of this study, when mixing coffee oil, rice husk can be sufficiently used as wooden pellets.

**Keywords :** *Combustion improver, Coffee grounds, Rice hulls, Swelling technology, Wood pellet*

## 1. 서론

세계 1차 에너지는 글로벌 경제성장과 함께 꾸준히 증가하고 있으며, 이 중 석유가 약 32%로 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 이러한 현실에서 우리나라는 에너지의 약 97%를 수입에 의존하고 있으며, 총 소비 에너지의 약 36%를 차지하는 석유의 경우 국제유가의 변동은 즉각적인 국내 경제적 변화를 야기하기 때문에 에너지 안보 측면에서도 매우 취약한 상태이다. 이러한 에너지 자급률 증대와 기후변화 대응을 위해서는 폐자원 및 신·재생 에너지율을 높여야 하나, 국내 신·재생에너지의 1 차에너지 공급량은 전체 에너지 공급량의 약 5% 수준이며, 발전에 있어서도 신·재생에너지 발전 비율은 7%에 불과한 실정이다. 우리나라 바이오에너지 잠재량은 총 14.1천만 Gcal/년으로 추산되고 있으며, 이 중 농업부산물은 6백만 Gcal/년으로 농업 부분 바이오에너지개발 및 이용에 있어 중요한 비중을 차지하고 있다 [1]. 농업부산물로 대표되는 왕겨는 전 세계 주요 식량자원 중 하나인 벼의 길쭉질이며, 도정 시 벼의 무게비로 20-25%를 차지하고 있다. 쌀을 주식으로 하는 국가의 인구는 현재 총 30억명 이상이며, 음식문화의 다각화로 인해 매년 증가되는 추세를 보이고있다. UN 식량 농업기구(FAO: Food and Agriculture Organization of the

United nations)에 따르면 전세계 왕겨의 연간 발생량은 약 1.5억 톤이며, 국내의 경우 매년 100만톤 이상이 발생되고 있다[2-4]. 국내의 경우 전국적으로 배치된 RPC(Rice Processing Complex)에서 도정작업이 진행됨에 따라 발생량이 연중 균일하고 수급에 있어 유리한 조건을 갖는다[5-6]. 따라서 왕겨를 효과적으로 사용할 수 있는 공정 개발 시 바이오에너지 확보가 가능할 것이라 판단되지만, 현재 가공기술의 한계로 인해 산업화와 상용화의 어려움을 겪고 있으며 부가가치가 낮은 축산시설 깔개 및 퇴비 혹은 상토, 보온재 등으로 사용되고 있는 실정이다[6-11]. 커피는 세계에서 가장 인기있는 음료로 전세계 약 80여개국에서 재배되고 있다. 커피 한 잔을 마실 경우 커피원두의 0.2%만을 사용하고 나머지 99.8%의 원두는 커피찌꺼기로 버려지고 있는 실정이다. 하지만 커피찌꺼기는 일반폐기물로 분류되어 100% 매립되거나 소각된 채 버려지고 있다 [12-16]. 이러한 커피찌꺼기를 바이오고형연료로 생산 시 압출과정 등을 통해 부산물인 커피유가 생성되게 된다. 본 연구는 커피찌꺼기 및 산소방출제, 가소제 등으로 조성된 액상의 연소촉진제 조성물을 개발하여 흡수율이 낮고 혼합이 어려운 왕겨의 특성을 개선하기 위해 팽연화 기술을 접목 후 제작된 펠릿을 평가하여 목재펠릿으로의 사용 가능성을 도출하고자 한다.

## 2. 실험

본 연구는 왕겨를 사용하여 팽연화 기술을 통해 목재펠릿으로의 사용 가능성을 도출하고자 하였으며, 왕겨의 낮은 발열량 개선을 위해 연소촉진제를 개발하여 첨가하고자 하였다. 팽연화 기술이란 Fig. 1과 같이 외피가 규소로 피복되어 있고 조직이 치밀하여 연소촉진제의 흡수율이 낮고 혼합이 어려운 왕겨의 특성을 개선하기 위하여 왕겨를 고온고압에서 압축 후 급격히 상압으로 되돌려 물을 순간적으로 증발시킴으로써 다공질상으로 부피를 팽창시켜 흡수성을 제고하는 기술을 말한다. 본 실험에 사용된 왕겨는 화성시에 위치한 'N'미곡처리장에서 발생한 친들벼 품종 왕겨를 구입하여 사용하였으며 저장기간 중 수분 재흡수 및 변성을 방지하기 위해 함수율 10% 내외로 건조 후 밀봉하여 5°C 냉장보관을 실시하였으며 왕겨의 물리·화학적 특성을 분석하였다.

본 연구 진행 시 왕겨의 팽연화 조건에 따른 생성물 특성분석을 위해 반응온도 차이를 두어 생성물을 제작하였으며 각 생성물의 발열량 비교를 통해 펠릿 사용 가능성을 도출하고자 하였다. 왕겨를 펠릿으로 사용 시 낮은 발열량의 문제가

야기된다. 이를 개선하기 위해 연소촉진제를 사용하였으며, 사용된 연소촉진제는 붕사, 과산화수소, 수산화나트륨, 커피유를 사용하였다. 커피유는 커피찌꺼기 바이오고형연료 생산 시 발생하는 부산물을 사용하였다. 연료촉진제의 특성은 Table 1과 같다.

### 2.1. 실험방법

#### 2.1.1. 왕겨를 사용한 팽연화 최적조건 도출

팽연화 최적조건을 도출하기 위해 왕겨의 함수율을 30, 50, 70%로 차이를 두어 팽연화 반응을 진행하였다. 또한 반응온도를 80, 100, 120°C로 조절하여 생성물을 제작하였으며, 생성물 제작 후 발열량 분석을 통해 펠릿으로의 사용 가능성을 도출하여 왕겨를 팽연화 반응을 통해 펠릿으로 사용 시 최적조건을 도출하고자 하였다.

#### 2.1.2. 연소촉진제 첨가를 통한 통한 생성물 제작

왕겨를 펠릿으로 사용할 시 낮은 발열량의 제약을 받게된다. 따라서 발열량 개선이 필요하며 이를 개선하기 위해 연소촉진제를 혼합하여 왕겨의 발열량을 증대시키고자 하였다. 사용된 첨가제



Fig. 1. Changes in the organization of rice hulls due to expansion.

Table 1. The characteristics of combustion improver

Composition	Characteristic	Remarks
Oxygen release agent	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Complete combustion of unburned metal components</li> <li>- Reduction of unburnt in the combustor and improvement of calorific value</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Alkali metal compound [Ba(OH)<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, KOH 및 NaOH]</li> <li>·Sodum borate</li> </ul>
Coffee oil	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ignition temperature and calorific value improved</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Rice husk ignition temperature around 300°C</li> <li>·Coffee oil ignition temperature 206°C</li> <li>·Rice husk calorie 4,192 kcal/kg</li> <li>·Coffee oil calorie 9,166 kcal/kg</li> </ul>

는 붕사, 과산화수소, 수산화나트륨을 사용하였으며 붕사, 수산화나트륨 첨가 시 건조된 왕겨 대비 1, 2, 3, 4 wt%를 첨가하여 생성물을 제작하였다. 과산화수소 첨가 시 1, 2, 3, 4 vol%의 첨가제를 추가하여 생성물을 제작하였으며 발열량 측정을 통해 분석을 진행하였다.

**2.1.3. 커피유 첨가제 혼합을 통한 생성물 제작**  
 왕겨의 발열량 개선을 위해 커피찌꺼기를 바이오오일연료로 제작 시 사용되는 가열압착식 엑스페라착유기(Etemalwin, DGP-200)를 이용하여 커피유를 추출하였다. 커피유는 커피찌꺼기를 바이오오일연료로 제작 시 생성되는 부산물이며, 이를 통해 왕겨의 발열량을 개선할 수 있을 것이라 판단하였다. 실험에 사용된 커피찌꺼기는 Jardin 수거 커피추출잔사를 사용하였으며 5°C 냉장보관을 통해 함수율을 10% 미만으로 유지하여 사용하였다. 제작된 커피유를 사용하여 팽연화 된 왕겨와 5, 10, 15, 20, 25 wt%로 혼합하여 시료를 제작하였다. 생성된 시료는 발열량 측정을 통해 분석하였으며 혼합비에 따른 발열량 개선점을 도

출하고자 하였다.

**3. 결과 및 고찰**

**3.1. 왕겨의 물리·화학적 분석**

본 실험에 사용된 친들벼 품종의 왕겨의 물리·화학적 분석은 Table 2와 같다.

왕겨를 사용하여 펠릿으로서의 이용 가능성을 도출하기 위해 Fig. 2와 같이 TGA 분석을 실시하였다.

분석결과 67.18°C, 320.61°C, 339.81°C, 502.99°C에서 peak를 관찰할 수 있었으며 320-340°C 구간에서 가장 활발히 연소되는 특징을 알 수 있었다. 낙엽송으로 제조된 시판 목재펠릿과 비교할 시 왕겨의 발열량은 상대적으로 낮으나 연소지속성은 우수한 것을 알 수 있었다. 펠릿으로 사용 시 염소와 중금속 배출 여부를 알기 위해 ICP-MS 분석을 실시하였다. 실험결과 친들벼 왕겨가 함유하고 있는 염소의 함유량은 0.09%로

Table 2. Physical and chemical analysis of rice husk

Division	Elemental composition(%)				Ash (wt%)	Moisture content (wt%)	Calorific value (kcal/kg)	
	C	H	N	S				
Rice husk	43.4	5.5	0.3	0.04	14.5	10.7	3,780	
Wood pellet standard	A1	-	-	≤ 0.3	≤ 0.04	≤ 0.7	≤ 10	≥ 3,940
	A2	-	-	≤ 0.5	≤ 0.05	≤ 1.2	≤ 10	≥ 3,940
	B	-	-	≤ 0.7	≤ 0.05	≤ 2.0	≤ 10	≥ 3,940

\*Wood pellet standard is the quality standard for residential and small commercial wood pellets

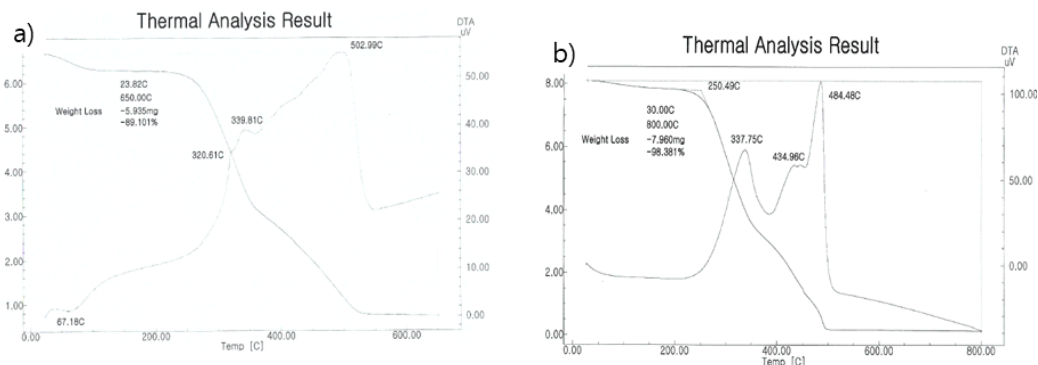


Fig. 2. Results of thermogravimetric analysis(TGA) a) rice husk, b) wood pellet.

분석되었으며, 중금속 성분은 Cr 0.15 mg/kg, Pb 0.77 mg/kg, Hg 0.003 mg/kg, Ni 0.15 mg/kg, Zn 17.48 mg/kg이 함유되어 있는 것을 알 수 있었다. 하지만 왕겨의 염소 함유량은 0.09%로 목재펠릿품질규격인  $\leq 0.02$ 에 충족하지 못하는 결과를 나타내었다. 따라서 팽연화 반응 시 반응조건별 생성물의 염소 함유량 변화 추이를 분석하여 개선 여부를 측정하였다.

**3.2. 왕겨를 사용한 팽연화 최적조건 도출**

왕겨의 함수율 변화에 따른 팽연화 왕겨의 발열량 변화를 분석하기 위해 실험 초기 왕겨의 함수율 30, 50, 70% 샘플을 제작하여 생성물을 제작하였다. 생성물 제작 결과 함수율 30%의 경우 팽연화 기기의 stock 현상이 야기되어 팽연화가 불가능 하였으며, 함수율 50%, 70% 생성물 분석 시 발열량은 각각 4,280 kcal/kg, 4,287 kcal/kg을 나타내었다. 따라서 발열량 제고를 위한 팽연화 생성물 제작 시 가수량이 적은 50% 팽연화 처리가 적절할 것으로 판단하였으며, 생성물 제작 시 50% 함수율을 통해 실험을 진행하였다. 팽연화 온도 변화에 따른 팽연화왕겨의 발열량 변화

를 분석한 결과는 Fig. 3의 a)와 같다.

분석결과 팽연화 반응온도 100°C에서 4,280 kcal/kg으로 가장 높은 발열량을 나타내는 생성물을 얻을 수 있었다. 또한 Fig. 3 b)에서 보이듯 100°C로 팽연화 진행 시 0.02%의 염소를 함유하는 생성물을 얻을 수 있었다. 이를 통해 왕겨를 사용하여 팽연화 진행 시 반응온도는 100°C로 고정하여 진행하는 것이 바람직하다 판단하였다.

**3.3. 첨가제 혼합 생성물 분석**

왕겨를 펠릿으로 사용 시 낮은 발열량의 제약을 받게 된다. 발열량 개선을 위해 연소촉진제를 혼합하여 생성물을 제작하였다. 연료촉진제 선정 시 대한민국등록특허 10-1415544, 10-0544568 등에 명시되어 있는 방법으로 ‘과산화수소와 수산화나트륨 및 붕사 등으로 조성된 연료첨가제를 일정비율 첨가하는 경우 화석연료의 연소 효율이 개선된다’라는 결과에 따라 혼합물을 선정하였다.

**3.3.1. 붕사 혼합 생성물 분석**

석탄연소촉진제에 반드시 첨가되는 성분인 붕사를 사용하여 왕겨의 발열량을 증대시키고자 하

Table 3. Analysis of heavy metals in rice husk

Division		Cl	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni	Zn
Rice husk		0.09	-	-	0.15	0.77	0.003	0.15	17.48
Wood pellet standard	A1	$\leq 0.02$	$\leq 1$	$\leq 0.5$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 10$	$\leq 100$
	A2	$\leq 0.02$	$\leq 1$	$\leq 0.5$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 10$	$\leq 100$
	B	$\leq 0.03$	$\leq 1$	$\leq 0.5$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 0.1$	$\leq 10$	$\leq 100$

Unit: mg/kg

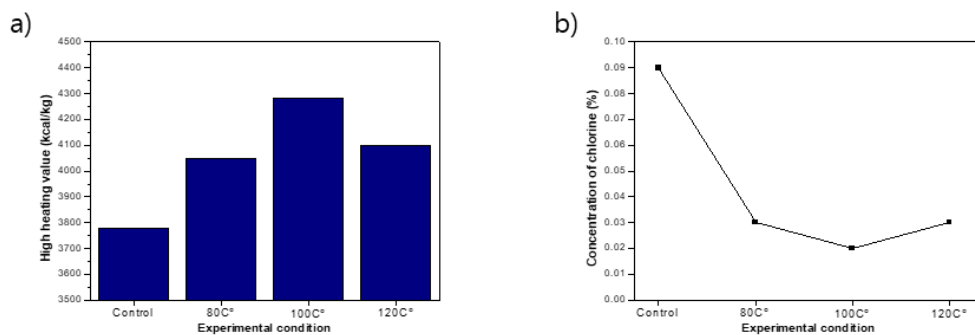


Fig. 3. Changes in calorific value of rice husk according to the change of expansion temperature a) calorific value, b) chlorine content.

였다. 혼합 시 전건된 왕겨에 중량기준 1, 2, 3, 4 wt%의 붕사(99.9%, OCI)를 첨가하여 각 시료를 제조하였으며 혼합 시 10 wt%의 붕사 용액을 조성하여 붕사분말 첨가량이 각 중량에 부합하도록 왕겨에 첨가 후 혼합기(SMKA-4000)를 사용하여 3,000 rpm으로 1분 교반 하였다. 각 조건별 생성물의 발열량 값은 Fig. 4와 같다.

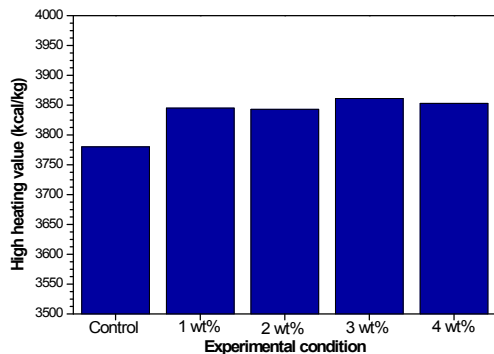


Fig. 4. Trend of calorific value of product by addition of borax.

붕사첨가량에 따른 발열량 분석 시 1 wt%를 첨가한 생성물의 경우 발열량은 3,845 kcal/kg, 2 wt% 3,843 kcal/kg, 3 wt% 3,861 kcal/kg, 4 wt% 3,853 kcal/kg으로 각각 나타났다. 붕사 첨가로 인한 발열량 개선은 미비한 것으로 판단된다.

### 3.3.2. 과산화수소 혼합 생성물 분석

과산화수소는 산소발생에 의해 석탄 연소를 촉진하는 첨가제로 알려져 있으며, 이를 통해 왕겨의 발열량 개선을 도모하고자 하였다. 왕겨와 과산화수소 혼합 시 과산화수소(35%, Dukcan chemical)에 과수안정제(비규산계, NEO BIL-03)를 0.6 wt%를 첨가한 과산화수소 조성액을 제작하여 첨가하였다. 첨가 시 1-4 wt%를 제작하였으며 1 wt%씩 차이를 두어 생성물을 제작하였다. 각 조건별 생성물의 발열량 값은 Fig. 5와 같다.

왕겨 시료에 과산화수소 첨가율을 첨가할 시 발열량 값은 1% 첨가 시 3,760 kcal/kg, 2% 첨가 시 3,730 kcal/kg, 3% 첨가 시 3,690 kcal/kg, 4% 첨가 시 3,670 kcal/kg으로 나타났다. 과산화수소의 첨가량이 증가할수록 발열량은 낮아지는 결과를 보였는데 이는 과산화수소에 혼

합된 수분 및 과수안정제 등의 성분이 산소발생량을 상쇄해 발열량 값이 낮아진 것이라 판단된다.

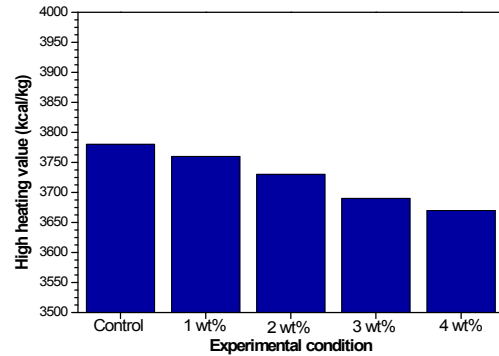


Fig. 5. Trend of calorific value of product by addition of hydrogen peroxide.

### 3.3.3. 수산화나트륨 혼합 생성물 분석

석탄연소촉진제에 반드시 첨가되는 성분인 수산화나트륨을 첨가하여 생성물을 제작하였다. 왕겨와 혼합 시 전건된 왕겨 중량 대비 1, 2, 3, 4 wt%를 첨가하여 각 시료를 제조하였고, 생성물의 발열량 값은 Fig. 6과 같다.

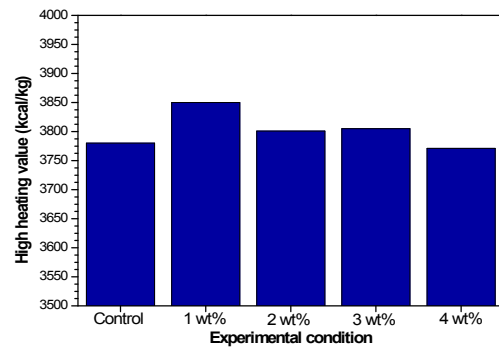


Fig. 6. Changes in calorific value of product by adding sodium hydroxide.

생성물의 발열량 분석결과 1 wt% 첨가군 3,894 kcal/kg, 2 wt% 첨가군 3,878 kcal/kg, 3 wt% 첨가군 3,786 kcal/kg, 4 wt% 첨가군 3,803 kcal/kg으로 고위발열량 값이 나타났다. 3, 4 wt% 첨가군 대비 1, 2 wt%첨가군의 발열량 개선이 나타났지만 발열량 제고효과는 미비한 것으로 나타났다.

### 3.4. 커피유 혼합 생성물 분석

본 실험을 진행하기 위해 커피찌꺼기를 사용하여 가열압착식 엑스페라착유기(Eternalwin, DGP-200)를 이용하여 함수율 8%, 탈지온도 120°C에서 커피유를 추출하였다. 추출된 커피유의 특성은 발열량 9,166 kcal/kg, 인화점 206.5°C, 밀도 955.8 kg/m<sup>3</sup>, 유동점 18°C 전산가 17.8 KOH/g, 황분 13%, 잔류탄소분 3.81%로 분석되었으며, 최적 팽연화 조건으로 도출된 함수율 50%, 팽연화온도 100°C에서 팽연화 시킨 왕겨의 발열량 4,280 kcal/kg, 커피유 발열량 9,166 kcal/kg을 고려했을 시 고휘연료 발열량 기준인 5,000 kcal/kg을 달성하기 위해 이론적으로 15% 이상의 커피유를 팽연화 된 왕겨와 혼합하는 것이 요구된다 판단하였다.

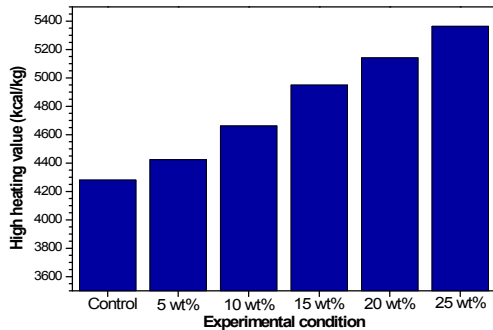


Fig. 7. Calorific value of the product due to the addition of coffee oil.

팽연왕겨와 커피유 혼합 시 혼합기(SMKA-4000)를 이용하여 3,000 rpm으로 1분간 시료를 교반하였으며, 팽연왕겨 대비 5, 10, 15, 20, 25 wt%의 커피유를 혼합하여 시료를 제조하였다. Fig. 7과 같이 제조된 생성물은 5% 커피유 함유 시 4,424 kcal/kg, 10% 4,661 kcal/kg, 15% 4,949 kcal/kg, 20% 5,141 kcal/kg, 25% 5,383

kcal/kg으로 발열량이 나타났으며, 이를 통해 팽연왕겨를 사용하여 펠릿으로 제작 시 커피유를 15% 이상 첨가할 시 5,000 kcal/kg의 발열량을 구현할 수 있을 것이라 판단된다.

## 4. 결론

본 연구는 농업 부산물로 생성되는 왕겨를 사용하여 목재펠릿으로 사용 가능성을 도출하고자 하였으며 왕겨 사용 시 팽연화 공정과 연료첨가제를 추가하여 왕겨의 발열량을 높이고자 하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 왕겨를 목재펠릿으로 사용하기 위해 분석을 진행한 결과 낙엽송으로 제조된 시판 목재펠릿에 비해 연소의 지속성이 높은 것을 알 수 있었지만, 낮은 발열량과 기준치에 비해 높은 염소 함유량으로 인해 발열량과 염소의 개선이 필수적이라 판단된다.
2. 왕겨를 사용하여 팽연화를 통해 목재펠릿 제작 시 가수량이 생성물에 미치는 영향은 미비하다 판단되며, 팽연화 온도가 생성물의 발열량에 중요한 영향을 미치는 것을 알 수 있었고, 팽연화를 통해 생성물 제작 시 염소 함유량이 저감되는 현상을 관찰할 수 있었다. 따라서 왕겨를 사용하여 목재펠릿으로 사용 시 팽연화를 통해 사용하는 것이 바람직하다 판단되지만, 발열량 측면에서 첨가제 혼합이 필요할 것이라 사료된다.
3. 화석연료 개선을 위한 연소촉진제 중 붕사, 과산화수소, 수산화나트륨을 사용하여 왕겨에 혼합 후 생성물 제작 시 발열량 개선이 미비한 것을 알 수 있었다. 연소촉진제 단일 물질 사용은 연소효율 개선에 영향이 미

Table 4. Expected calorific value of expanded rice husk by adding coffee oil

Unit: kcal/kg

Division	Coffee oil addition rate(%)			
	5	10	15	20
Coffee oil	458	917	1,375	1,833
Rice husk	4,066	3,852	3,638	3,424
Total	4,524	4,769	5,013	5,257

비하며 추후 붕사, 과산화수소, 수산화나트륨 혼합비율에 따른 생성물의 발열량 개선 효율 실험이 필요할 것이라 사료된다.

4. 팽연왕겨에 커피유를 혼합하여 생성물 제작 시 커피유 함유량이 증가할수록 발열량이 증가하는 경향을 보였으며, 이론적 발열량 대비 실제 발열량 값의 오차가 나타났는데 이는 커피유에 함유된 수분에 의해 생성물의 발열량 값이 예측 발열량 값과 차이가 나는 것이라 판단된다.

왕겨를 목재펠릿으로 사용 시 염소 저감과 발열량 개선이 필수적으로 요구된다. 팽연화를 통해 염소 저감과 폐자원인 커피찌꺼기를 사용한 커피유 첨가를 통해 발열량 개선이 가능할 것이라 판단되며, 이에 따라 왕겨는 하이브리드 펠릿으로 충분히 사용 가능할 것이라 사료된다.

## References

1. Y. Lee, O. E. Sanjusren, D. Pak, "Feasibility Study on Use of Livestock Manure as Solid Refuse Fuel by Torrefaction Method", *Journal of the Korean Applied Science and Technology*, Vol. 36, No. 2, pp. 560-571, (2019).
2. R. L. Reaño, "Assessment of environmental impact and energy performance of rice husk utilization in various biohydrogen production pathways", *Bioresource Technology*, Vol. 299, 122590, (2020).
3. H. Weldekidan, V. Strezov, G. Town, T. Kan, "Production and analysis of fuels and chemicals obtained from rice husk pyrolysis with concentrated solar radiation", *Fuel*, Vol. 233, pp. 396-403, (2018).
4. M. L. Chitawo, A. F. Chiphango, "A synergetic integration of bioenergy and rice production in rice farms", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 75, pp. 58-67, (2017).
5. Z. Zhang, Q. Wang, L. Li, G. Xu, "Pyrolysis characteristics, kinetics and evolved volatiles determination of rice-husk-based distiller's grains", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 135, 105525, (2020).
6. Y. W. Bandara, P. Gamage, D. S. Gunarathne, "Hot water washing of rice husk for ash removal: The effect of washing temperature, washing time and particle size", *Renewable Energy*, Vol. 153, pp. 646-652, (2020).
7. H. J. Jung, "Development of pretreatment and fractionation process for the integrated utilization", *Master's thesis, Dankook University*, (2020).
8. A. Bazargan, M. Bazargan, G. McKay, "Optimization of rice husk pretreatment for energy production", *Renewable Energy*, Vol. 77, pp. 512-520, (2015).
9. R. Khonde, A. Chaurasia, "Rice husk gasification in a two-stage fixed-bed gasifier: Production of hydrogen rich syngas and kinetics", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 41, No. 21, pp. 8793-8802, (2016).
10. Y. H. Kwon, S. G. Hong, "Feasibility of Korean Rice Husk Ash as Admixture for High Strength Concrete: Particle Size Distribution, Chemical Composition and Absorption Capacity Depending on Calcination Temperature and Milling Process", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, No. 4, pp. 111-117, (2017).
11. H. M. Kim, "Study on the development of organic and inorganic materials from rice husk with bio-refinery process", *Master's thesis, Chungnam National University*, (2018).
12. G. U. Nam, M. S. Kim, J. W. Ahn, "Analyses for Current Research Status for the Coffe By-product and for Status of Coffe Wastes in Seoul", *Journal of Energy Engineering*, Vol. 26, No. 4, pp. 14-22, (2018).
13. R. Burton, X. Fan, G. Austic, "Evaluation of two-step reaction and enzyme catalysis approaches for biodiesel production from



- spent coffee grounds”, *International Journal of Green Energy*, Vol. 7, No. 5, pp. 530–536, (2010).
14. F. R. Malik, S. Ahmed, Y. M. Rizki, “Utilization of lignocellulosic waste for the preparation of nitrogenous biofertilize”, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Vol. 4 No. 10, pp. 1217–1220, (2001).
  15. S. A. Bekalo, H. W. Reinhardt, “Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard”, *Materials and structures*, Vol. 43, No. 8, pp. 1049–1060, (2010).
  16. A. A. Nunes, A. S. Franca, L. S. Oliveira, “Activated carbons from waste biomass: An alternative use for biodiesel production solid residues”, *Bioresource technology*, Vol 100, No. 5, pp. 1786–1792, (2009).