

커피박과 낙엽송 목분을 이용한 펠릿 제조 및 이에 대한 상용화 검토¹

양 인² · 한 규 성² · 오 승 원^{3,†}

Larch Pellets Fabricated with Coffee Waste and the Commercializing Potential of the Pellets¹

In Yang² · Gyu Seong Han² · Seung Won Oh^{3,†}

요 약

본 연구는 커피 생산 폐기물인 커피박의 효율적인 처리 및 재자원화 방안의 일환으로 목분과 혼합하여 고체 바이오 연료인 펠릿을 제조하고자 수행하였다. 먼저 펠릿 제조에 사용된 커피박의 화학적 조성과 연료적 특성을 조사하여 커피박의 펠릿 원료화 가능성을 조사하였다. 또한 다양한 조건에서 낙엽송 목분과 함께 펠릿을 제조한 후, 최적 펠릿 제조조건을 제시하였다. 커피박은 전섬유소, 단백질, 지방/오일로 구성되어 있으며, 0.7% 정도의 회분을 함유하고 있었다. 회분에 대한 정성분석 결과, 칼슘, 나트륨, 칼륨, 마그네슘 순으로 조사되었다. 커피박의 용이한 건조 특성으로 인한 낮은 함수율과 높은 발열량 그리고 커피박/낙엽송 펠릿의 연료적 특성(함수율, 회분 함량, 결보기밀도, 내구성)이 국립 산림과학원에서 고시한 목재펠릿 품질기준의 1급을 상회하여 커피박의 펠릿 원료화 가능성을 확인할 수 있었다. 그러나 원소분석 결과, 커피박의 높은 질소 및 유황 함량으로 고등급의 펠릿 제조용 원료보다는 NO_x 및 SO_x를 효과적으로 제거할 수 있는 포집장치를 보유한 열병합발전소용 펠릿 원료로 적당할 것으로 생각한다. 그러나 커피박 및 낙엽송을 이용하여 1급 기준을 만족하는 펠릿을 제조하기 위하여 91 wt%의 낙엽송 목분과 9 wt%의 커피박이 필요할 것으로 추산된다. 이 조건에서 제조한 펠릿의 질소함량은 0.298% 그리고 유황 함량은 0.03%로 1급 기준을 만족하며 나머지 펠릿의 품질 항목에서도 모두 1급 기준을 상회할 것으로 예상된다. 마지막으로 커피박과 낙엽송의 구매가 및 각 등급의 목재펠릿 수요에 따라 펠릿 내의 커피박과 낙엽송 목분 양을 적절히 조절하여 펠릿을 제조할 경우, 생산비용의 절감 외에 폐기물의 이용에 따른 재자원화와 쓰레기 감량을 통한 환경부담 완화에도 일조할 것으로 생각한다.

ABSTRACT

This study was conducted to suggest the effective management and recycling processes of coffee waste, which can be easily obtained from coffee shops and coffee-related products industries. Prior to the fabrication of pellets, the

¹ Date Received November 29, 2017, Date Accepted December 29, 2017

² 충북대학교 농업생명환경대학 목재종이과학과. Department of Wood and Paper Science, College of Agriculture, Life & Environments Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Republic of Korea

³ 전북대학교 농업생명과학대학 목재응용과학과. Department of Wood Science & Technology, College of Agricultural Life Science, Chonbuk National University, Chonju 54896, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 오승원(e-mail: ohsw@jbnu.ac.kr, ORCID: 0000-0002-6601-9789)

potential of coffee waste as a raw material of pellet was investigated through the examination of its chemical compositions and fuel characteristics. Major gradient included in coffee waste was holocellulose, followed by fat/oil and protein. Coffee waste contained a small quantity of ash (0.7%), such as calcium, sodium, potassium and magnesium. Interestingly, coffee waste was easily dried probably due to its porous structure. Pellets fabricated with coffee waste and larch sawdust showed good fuel characteristics, such as moisture content, ash content, density and durability. The pellets exceed greatly the minimum requirements of 1st-grade wood pellet standard designated by National Institute of Forest Science (NIFOS). Particularly, the high calorific value of coffee waste showed the potential as a raw material of pellet. However, owing to high nitrogen and sulfur contents, coffee waste is like to be used as a raw material of wood pellet for combined heat and power plants equipped with a reduction system of NO_x and SO_x gases. On the other hand, 91 wt% larch sawdust and 9 wt% coffee waste are required to fabricate the 1st-grade wood pellets designated by NIFOS. Pellets fabricated with the conditions are estimated to have nitrogen content of 0.298% and sulfur content of 0.03%. Lastly, if amounts of coffee waste and sawdust in the production of wood pellets are adequately adjusted according to its purchasing price, the manufacturing cost of pellet can effectively be reduced. In addition, it is expected to prepare the effective recycling process of waste and to relieve the environmental burden with the reduction of waste from the commercialization of coffee waste/larch pellets.

Keywords : coffee waste, larch, pellet, durability, higher heating value

1. 서 론

급속한 인구증가와 함께 중국과 인도의 산업화로 인하여 화석연료의 사용이 기하급수적으로 증가하고 있으며, 이에 따른 이산화탄소 배출량의 증가는 지구 온난화를 심화시키고 있는 상황이다. 따라서 범지구적 차원의 파리협약을 통하여 지구 온난화를 심화시키는 가스의 배출을 규제하고 있으며, 각국에서는 화석연료를 대체할 수 있는 새로운 에너지원에 대한 개발이 활발히 진행되고 있다. 대부분의 에너지원을 수입에 의존하고 있는 우리나라에서도 에너지 소비의 급증과 자동차의 급격한 보급으로 화석연료의 사용량이 매년 급증하고 있어 지구 온난화가스의 배출 규제를 피할 수 없는 현실이 다가오고 있다(KEA, 2017; KAMA, 2017). 결과적으로 화석연료를 대체하기 위한 태양열, 풍력, 조력, 바이오매스 등과 같은 신재생에너지에 대한 연구, 개발과 보급 정책을 추진해오고 있으나(IWMG, 2010), 과다한 초기 투자라는 장애요인으로 국내에서 신재생에너지의 상용화에는 아직 해결해야 될 많은 문제점을 보유하고 있다.

이러한 신재생에너지 가운데 고체 바이오연료를 이용하여 열 또는 전기를 생산하는 바이오매스가 1990년대부터 관심을 받기 시작하여 최근까지 괄목

할만한 성장을 거듭하고 있다. 예를 들면, 2009년 8,527 톤에 불과하던 국내 목재펠릿 생산량은 2016년 52,575 톤으로 크게 성장하였다(KFS, 2017). 한편 목재펠릿의 국내 수요량 증가와 함께 국외산 목재펠릿 수입량도 급속히 증가하고 있으며, 2016년 베트남, 말레이시아, 인도네시아 등에서 약 172만 톤의 목재펠릿이 수입되어 유통되었다(FBEA, 2017). 이렇게 수입산 목재펠릿에 비하여 적은 양의 국내산 목재펠릿이 유통되는 이유는 펠릿 생산을 위한 원료 확보의 어려움으로 국내산 목재펠릿의 생산단가가 상승하고 순차적으로 판매가를 상승시킨 것이 하나의 요인으로 작용한 것으로 생각한다. 예를 들면, 국내산 및 수입산 1등급 목재펠릿의 평균 판매가격은 각각 33만 원/톤과 29만 원/톤으로 국내 목재펠릿 생산업의 활성화를 위하여 목재펠릿 생산단가를 낮추는 방안이 시급히 필요한 상황이다(Han, 2012).

한편 펠릿 제조에 사용되고 있는 원료는 원목을 포함하여 중남부 지방에서 발생하는 간벌재 및 숲가꾸기를 통하여 얻어지는 저급의 목질 자원 등을 이용하고 있어 원료 수급의 안정성을 일정한 수준으로 유지하고 있으나, 향후 목재펠릿 사용량의 증가와 함께 국내에서 원료 확보의 어려움이 발생할 것으로 예상된다(Lee, 2017). 결과적으로 향후 목재펠릿 생

산을 위한 원료 구입비용이 상승함으로써 수입산 목재펠릿에 대한 가격 경쟁력 확보는 더욱 어려울 것으로 판단된다. 따라서 목재펠릿의 생산단가를 낮추기 위한 다양한 연구 및 시도가 국내외적으로 진행되고 있다. 예를 들면, 원료 및 제조 조건, 펠릿성형기의 특성이 목재펠릿의 연료적 특성에 미치는 영향에 대한 연구 결과가 해외에서 보고되었다(Li와 Liu, 2000; Obernberger와 Thek, 2004; Lehtikangas, 2001; Bergström 등, 2008; Stakl 등, 2004; Lee 등, 2013; Ahn 등, 2014). 국내의 경우, 목재펠릿 생산에 있어 안정적인 원료 공급을 위하여 다양한 국내 자생 저이용 산림바이오매스와 농업부산물의 이용 가능성 및 이를 이용한 펠릿 제조에 대한 연구 결과도 발표되었다(Yang 등, 2015; Kim 등, 2015; Yang 등, 2014; Yang 등, 2016; Han 등, 2012). 그러나 저이용 산림바이오매스 자원은 수집 및 운송에 추가적인 비용이 소요될 것으로 예상되며, 농업부산물은 낮은 발열량과 연소 후 발생하는 과다한 회분으로 펠릿 제조를 위한 원료로 사용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단된다. 따라서 국내에서 대량으로 확보가 가능하고, 수집 및 운송이 용이한 원료에 대한 탐색 및 이를 이용한 목재펠릿 원료화에 대한 연구 및 생산이 시급히 필요한 실정이다.

이러한 상황에서 매년 10만 톤 이상이 수입되고 있는 커피콩을 인스턴트 또는 원두 커피로 생산하고 부산물로 발생하는 커피박을 목재펠릿 생산용 원료로 사용하는 방안을 검토하게 되었다(Kim, 2011). 커피박은 1 톤의 커피콩으로부터 인스턴트커피를 생산하는 과정에서 약 480 kg이 발생하는 부산물로서 탈취제, 유기비료, 사료로 일부 사용하고 있으며, 대부분은 쓰레기로 폐기되고 있다(Yang 등, 2013). 그러나 커피의 대량소비에 따른 부산물의 발생은 심각한 환경문제를 발생시키는 것으로 보고되고 있으며(Mussatto 등, 2011), 부산물의 많은 양이 소각 또는 매립되고 있는 실정에서 커피박을 이용한 다양한 연구 및 시도가 국내외적으로 진행되고 있다. 예를 들면, 커피박을 흡착제(Ahn, 2015; Yang 등, 2013; Baqueroa 등, 2003; Boonamnuyvitaya 등, 2004) 및 접착제(Khan과 Ashraf, 2005)의 원료로 적용한 실험

결과가 보고되었으며, 이 외에도 커피박을 이용한 다양한 기술 개발이 계속 시도되고 있다. 한편 커피박은 일정한 양의 오일을 함유하고 있어 연료로 사용될 경우 높은 발열량을 나타내며(Yang 등, 2013), 따라서 이를 펠릿용 원료로 사용하는 기술개발과 상용화가 국내에서 시도되었다(Lee 등, 2011; Jeong, 2016). 그러나 현재까지 보고된 기술은 주로 커피박의 연료화에 치중하였으며, 커피박에 대한 기초적인 성질과 이를 이용하여 제조된 펠릿의 연료적 특성에 대한 결과는 발표되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 먼저 커피박의 구성원소, 화학적 조성 및 회분 함유량을 정성/정량적으로 분석하였다. 다음으로 커피박과 국내에서 목재펠릿 생산용 원료로 가장 많이 사용되고 있는 낙엽송 목분으로 펠릿을 제조한 후, 이에 대한 발열량, 내구성, 걸보기밀도 등을 측정된 결과를 목재펠릿과 비교함으로써 커피박의 펠릿 원료화 가능성을 평가하고, 커피박/낙엽송 펠릿의 상용화 조건과 용도를 제시하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

본 연구에서 공시재료로 사용된 커피박은 (주)한국네슬레(충북 청주시)와 충북대학교 인근 커피전문점에서 무상으로 공급받은 것으로 펠릿의 원료로 사용하기에 앞서 실험실에서 24시간 동안 상온에서 그리고 60℃로 조절된 오븐에서 2시간 동안 건조를 실시하였다. 이를 성분 및 원소분석에 이용하였으며, 펠릿 제조를 위한 원료는 (주)한국네슬레에서 공급받은 커피박을 사용하였다. 또한 커피 생두는 시중에서 판매되고 있는 것을 구입하여 화학적 조성의 비교에 사용하였다.

커피박과 함께 펠릿 제조용 원료로 사용된 낙엽송(*Larix kaempferi* C.) 목분은 산림조합중앙회 중부목재유통센터(경기, 여주)에서 공급받아 사용하였으며, 그 목분의 함수율은 약 17% 정도인 것으로 조사되었다. 한편, 산림조합중앙회 중부목재유통센터와 (주)신영이앤피(충북 청주시)에서 생산되어 현재 판

매되고 있는 두 종류의 낙엽송 펠릿 및 충북대학교에서 특별한 백합나무(*Liriodendron tulipifera L.*)의 제재과정을 통하여 얻은 목분을 대조구로 사용하였다. 이 대조구 시편의 원소 및 발열량 분석은 가정용 믹서로 분쇄한 후, 60 mesh 표준체를 통과하는 미세 목분을 사용하여 수행하였다.

2.2. 화학적 조성

공시재료의 pH는 100 ml의 증류수에 믹서로 분쇄된 커피 생두와 커피박 10 g를 넣고 5분간 교반한 후, Fisher Scientific사(Pittsburgh, USA)의 ACCUMET Model, 1600 pH meter로 측정하였다. 함수율과 회분 함량은 ASTM D 4442-07과 국립산림과학원 고시 목재제품의 규격과 품질기준의 목재펠릿(이하 목재펠릿 품질규격)을 위한 방법에 의거하여 각각 측정하였다(ASTM 2005; NIFOS, 2016).

단백질 함량은 킨달법(Kjedahl)에 따라 분쇄 및 선별된 시료 1 g을 Micro Kjeldahl flask에 넣고 1.1 g의 K₂SO₄와 진한 H₂SO₄ 10 ml를 순차적으로 첨가한 후, 약 2시간 동안 95℃에서 가열하고 증류수로 희석하였다. 이렇게 희석된 액을 단백질/질소 자동분석기(Kjeltec Auto 2400/8400 system, Foss Tecator AB, Sweden)를 이용하여 질소 함량을 측정 후, 이 질소 함량 값에 6.25를 곱하여 단백질 함량을 구하였다(Garcia와 Phillips, 2009).

지방/오일 함량은 무게가 측정된 시료를 n-hexane에 1 : 50 (W/V)의 비율로 2시간을 침지시킨 후, 상층액의 지방/오일을 분리하여 제거하였다. 지방/오일이 제거된 시료를 증류수로 3-4회 세척하고 건조한 후, 무게를 측정하여 지방/오일 제거 전후의 무게 차이로 함량을 측정하였다(Tokimoto 등, 2005).

전섬유소 함량은 탈지시킨 시료 2.5 g을 250 ml 삼각플라스크에 넣고 증류수 150 ml와 아염소산나트륨 1 g을 첨가하였다. 여기에 마이크로 피펫을 이용하여 빙초산 0.2 ml를 넣고, 100 ml 삼각플라스크를 마개로 뒤집어서 덮었다. 70-80℃로 유지되는 항온수조에서 1시간 가온한 후, 아염소산나트륨 1 g과 빙초산 0.2 ml를 넣고 3회 반복하여 처리하였다.

용해되지 않은 잔사를 칭량한 glass filter에 넣고, 500 ml의 증류수로 세척한 후, 진공을 걸어 acetone 50 ml로 충분히 흡입시켰다. 칭량병에 glass filter를 넣고 건조기에서 24시간 동안 건조시킨 후, 데시케이터에서 1시간을 냉각시키고 칭량하여 전섬유소 함량을 구하였다.

2.3. 회분 및 원소 분석

각 공시재료의 원소 분석은 시료를 1,014℃의 온도에서 연소시켜 석영관의 구리층을 통과시키면서 조성 원소별로 분석에 용이한 기체분자(CO₂, N₂, H₂O, SO₂)로 전환하였다. 이 혼합가스들을 gas chromatography column에 통과시키면서 각각 분리한 후, 열전도검출기에 의하여 전기신호로 정량적으로 변환하였다. 표준시료를 이용하여 검량곡선을 작성한 후, 각 시료별 질소, 탄소, 수소, 유황의 함유량을 측정하였다(Flash 2000 Organic Elemental Analyzer, Thermo Fisher Scientific, Waltham, USA). 염소 함량의 경우, Inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy (ICP-AES, Optima 4300 DV, Perkin Elmer, Waltham, USA)를 이용하여 측정하였다. 각 원소 분석의 결과는 3회 반복의 평균값으로 표시하였다.

회분에 대한 정성분석은 국립산림과학원의 목재펠릿 품질규격에서 고시한 방법에 의거하여 분쇄 및 선별된 시료를 65%의 질산용액으로 회분을 제외한 모든 성분을 제거한 후, 증류수로 희석하고 이 용액을 glass filter (1G4)를 이용하여 분리하였다. 용해되지 않은 부분에 포함된 chromium, lead, nickel과 zinc의 함량은 ICP-AES에 의하여, arsenic, cadmium, mercury와 copper의 함량은 ICP-mass spectroscopy를 이용하여 구하였다. 한편 공시재료 내에 함유된 회분의 정확한 비교를 위하여 대조구로 낙엽송 및 백합나무 목분 외에 밀짚, 보리짚에 대한 정성분석도 수행하였다. 이를 위하여 각 시료를 가정용 믹서로 분쇄한 후, 60 mesh 표준체를 통과한 미세분말을 사용하였다.

Table 1. Chemical Composition of Green Bean and Coffee Waste (Unit: %)

	Moisture	Holocellulose	Protein	Fat/oil	Ash	Others
Green bean	9.8	36.0	11.2	12.9	3.8	26.3
Coffee waste I ¹	2.3	31.1	10.6	11.0	0.7	44.3
Coffee waste II ²	3.5	30.7	9.8	10.7	0.5	44.8

¹ It was obtained from coffee shops near the Chungbuk National University.

² It was obtained from Nestle Korea Ltd. (Cheongju, South Korea).

2.4. 펠릿의 제조 및 연료적 특성 조사

펠릿 제조에 앞서 원료의 크기 및 함수율에 따라 제조된 펠릿의 연료적 특성에 대한 오차를 최소화하기 위하여 2 mesh (1.27 cm) 표준체를 통과하고 4 mesh (0.64 cm) 표준체 위에 남은 목분과 커피박을 펠릿 제조용 원료로 사용하였다. 다음으로 선별된 목분과 커피박의 함수율을 10%로 조절하였는데, 이를 위하여 60℃ 조건의 건조건조기에 넣고 시간을 조절하면서 건조를 하거나, 함수율이 측정된 원료를 tray에 얇은 층으로 올리고 이 tray를 저울에 다시 올려 10%의 함수율까지 수분을 분무기로 분사하여 조습하면서 조절하였다.

펠릿의 제조는 커피박과 낙엽송 목분을 전건무게 기준으로 0 : 100, 10 : 90, 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 비율로 조절하여 180℃의 온도에서 1,500 kgf/cm²의 압력으로 3분간 압축하여 피스톤형 펠릿 성형기로 제조하였다. 제조된 펠릿의 연료적 특성 조사에 있어 원료 양에 따른 오차를 최소화하기 위하여 1.2 g의 낙엽송 목분 그리고/또는 커피박을 사용하여 펠릿을 제조하였으며, 펠릿의 평균치수는 약 7 mm의 지름과 20 mm의 길이를 보유한 것으로 조사되었다.

펠릿의 함수율, 회분함량, 발열량, 겉보기밀도와 내구성은 국립산림과학원에서 고시한 목재펠릿 품질 규격에 기술된 방법에 의거하여 측정하였다(NIFOS, 2016). 특히 내구성 측정은 제조된 펠릿 50 g을 8 mesh (3.15 mm)의 표준체로 걸러낸 후, 0.01 g의 수준까지 무게를 측정하였다. 이렇게 무게가 측정된 펠릿을 내구성 시험기에 넣고 분당 50회전으로 10분간 총 500회의 텀블링을 실시하였다. 텀블링을 종료시

킨 후, 다시 8 mesh의 표준체로 걸러내고, 표준체에 잔류하는 펠릿 무게를 측정하였다. 텀블링 전후의 무게차를 이용하여 내구성을 구하였으며, 실험적 오차의 최소화를 위하여 3회 반복실험을 실시하였다.

발열량의 경우, 커피박과 낙엽송 목분 양과 상관관계를 확인하기 위하여 커피박과 목분의 양을 전건무게 기준으로 100 : 0, 75 : 25, 50 : 50, 25 : 75, 0 : 100으로 조절하여 펠릿을 제조하였으며, 이에 대한 발열량을 측정하였다. 각 펠릿의 발열량은 믹서로 분쇄하고 선별한 시료 1 g을 열량계(6400 Automatic Isoperibol calorimeter, Parr Instrument Inc., Moline, Illinois)에 넣고 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 커피박의 이화학적 성질

본 연구에서 공시재료로 사용된 커피박과 생두의 pH는 약산성(5.6~6.4)으로 조사되었다. 한편 상온 및 60℃의 오븐에서 건조시킨 두 종류의 커피박 함수율은 2.3%와 3.5%로 매우 낮았는데(Table 1), 높은 함수율을 가진 것으로 측정된 커피박(44-61%)을 온화한 조건에서 건조했음에도 불구하고 함수율이 크게 낮아진 이유는 커피박의 다공성 구조에서 기인한 것으로 생각한다(Ahn, 2015). 이와 같은 커피박의 용이한 건조특성은 펠릿 제조에 있어 일정한 부분을 차지하는 원료의 건조 비용을 절감시킴으로써 펠릿 생산단가를 낮출 수 있을 것으로 예상된다.

커피박의 화학적 조성을 보면, 전건무게 기준으로 전섬유소, 지방/오일, 단백질 순으로 나타났으며, 이외에 카페인, 탄닌, 다양한 가용성 물질을 함유하고

Table 2. Elemental Composition of Wood Pellets, Wood Sawdust and Coffee Waste

	N (%)	C (%)	H (%)	S (%)	Cl (%)
Larch pellet I ¹	0.1	47.58	5.92	ND	ND
Larch pellet II ²	0.1	47.19	6.23	ND	ND
Yellow poplar sawdust ³	< 0.1	46.91	5.77	0.02	ND
Larch sawdust ⁴	0.1	44.94	5.77	0.01	ND
Coffee waste	2.3	42.07	6.18	0.25	< 0.01
1 st -grade pellet ⁵	< 0.3	-	-	< 0.05	< 0.05
2 nd -grade pellet ⁵	< 0.5	-	-	< 0.05	< 0.05
3 rd -grade pellet ⁵	< 0.7	-	-	< 0.05	< 0.05
4 th -grade pellet ⁵	< 1.0	-	-	< 0.05	< 0.05

¹ It was obtained from SYENP Co. Ltd. (Cheongju, South Korea).

² It was obtained from National Forestry Cooperative Federation (Yeoju, South Korea).

³ *Liriodendron tulipifera* L.

⁴ *Larix kaempferi* C.

⁵ Minimum requirements of wood pellet standard designated by National Institute of Forest Science.

있었다(Table 1). 이 결과를 커피 생두와 비교한 결과, 전섬유소, 지방/오일, 단백질 함량은 감소하였으며 기타 성분은 크게 증가하였다. 이는 생두를 roasting하는 과정에서 전섬유소, 지방/오일, 단백질 등이 분해 또는 변성되어 나타난 결과라 사료된다. 커피박의 회분 함량은 0.5% 및 0.7%로 펠릿의 원료로 주로 사용되는 목분의 회분 함량보다 약간 높은 것으로 나타났다. 한편 커피박 내에 함유된 회분의 함량은 생두와 비교하여 크게 낮았는데, 이는 원두를 분쇄하고 이를 이용한 커피추출 과정에서 무기물이 함께 용출되어 나타난 결과라 추정된다. 그러나 이 추정의 확인을 위하여 다양한 용매 및 추출조건에 대한 추가 실험이 필요한 것으로 생각한다.

3.2. 원소 및 회분 분석

커피박, 목재펠릿 그리고 목분의 원소분석 결과는 Table 2와 같다. 커피박의 탄소 함량은 42.07%로 본 연구에서 원소분석 결과를 비교하기 위하여 측정된 목재펠릿 및 목분과 비교하여 낮았으나, 수소 함량은 높은 것으로 조사되었다. 한편 커피박에서 염소의 함유량은 매우 낮았으나, 2.3%의 질소와 0.25%의 유황을 함유하고 있었다. 이러한 질소와 유황의 검출은 커피박에 약 10%가 함유된 단백질의 아미노산에서

기인한 것으로 추측된다(Table 1). 커피박의 원소 분석결과를 종합하면, 질소 및 유황 함량이 국립산림과학원에서 고시한 목재펠릿 품질규격의 4급 펠릿 기준치보다 높아 가정용 펠릿의 제조를 위한 원료로서 부적합한 것으로 조사되었다.

Table 3는 커피박 회분의 정성분석 결과로 칼슘의 함량이 가장 높았으며, 다음으로 나트륨, 칼륨 마그네슘을 순으로 함유되어 있는 것으로 나타났다. 커피박 회분의 정성분석 결과를 목분과 비교했을 때 나트륨을 제외하고 상대적으로 적은 양을 함유하고 있었다. 또한 아그로펠릿 제조용 원료로서 최근 연구가 활발히 진행되고 있는 농업폐기물인 보리짚 및 밀짚과 비교하여 대부분의 무기물의 양이 크게 낮은 것으로 나타나 커피박을 펠릿의 원료로 이용할 경우, 연소 후 펠릿 보일러 또는 스토브의 열 교환부분에 부착되어 열 교환효율을 크게 낮추는 클링커 현상이 크게 줄고(Holt 등, 2006), 결과적으로 보일러 또는 스토브에 존재하는 회분을 자주 청소 또는 제거해야 하는 불편함 등의 문제를 일으키지 않을 것으로 판단된다(Codero 등, 2001).

칼륨, 칼슘, 나트륨 마그네슘, 외에 커피박에 함유된 무기성분 또는 중금속의 분석 결과는 Table 3과 같다. 아연과 구리를 제외하고 커피박에 함유되어 있는 무기성분 및 중금속 함량은 목분 및 농업부산물

Table 3. Contents of Metals and Heavy Metals Contained in Wood Sawdust, Coffee Waste and Agricultural Residues (Unit: mg/kg)

	Yellow poplar	Larch	Coffee waste	Barley straw	Wheat straw	1 st -grade pellet ¹
Ca	621	471	297	6,434	10,307	-
K	216	115	38	12,646	12,536	-
Na	52	66	121	296	60	-
Mg	109	84	36	764	760	-
As	< 0.1	0.2	ND	ND	ND	≤ 1.0
Pb	ND	ND	ND	ND	ND	≤ 10
Ni	2	< 1	2	< 1	< 1	≤ 10
Hg	ND	ND	ND	ND	ND	≤ 0.05
Cd	ND	ND	< 0.1	ND	< 0.1	≤ 0.5
Cr	ND	< 1	< 1	1	4	≤ 10
Zn	11	2	12	2	9	≤ 100
Cu	3	2	8	7	5	≤ 10

¹ Minimum requirements of wood pellet standard designated by National Institute of Forest Science.

의 함량과 차이가 없거나 낮았다. 이 함량 측정 결과를 국립산림과학원의 목재펠릿 품질규격과 비교한 결과, 모든 항목에서 1급 기준을 만족시켰다.

3.3. 펠릿의 연료적 특성

Fig. 1은 커피박과 낙엽송 목분을 이용하여 피스톤식 펠릿성형기로 제조한 펠릿의 형상을 보여주고 있다. 펠릿 제조에 있어 커피박의 첨가량 증가와 함께 흑색화 정도가 심화되는 것을 제외하고 외형상 목질 펠릿과 매우 유사한 것으로 나타났으며, 따라서 펠릿 성형성에 대한 문제는 전혀 발생하지 않을 것으로 생각한다.

커피박과 낙엽송 목분으로 제조한 펠릿의 연료적 특성을 측정한 결과는 Table 4와 같다. 먼저 본 연구에서 제조된 커피박/낙엽송 펠릿의 함수율은 모두 10% 미만으로 국립산림과학원 목재펠릿 1급 품질기준을 모두 만족하였으며, 펠릿 내에서 차지하는 커피박 양의 증가는 펠릿 함수율에 영향을 미치지 않았다. 이는 커피박과 낙엽송 목분의 함수율을 10%로 조절하여 펠릿을 제조하여 나타난 결과라 생각한다. 한편 대조구로서 현재 판매되고 있는 낙엽송 펠릿

중에서 한 종류의 펠릿 함수율이 10%를 상회하였는데 이는 계절적 요인으로 습도가 높은 곳에서 장기간 보관한 펠릿의 함수율을 측정한 것에서 기인한 결과라 생각한다.

회분 함량은 펠릿 내의 커피박 함량과 상관없이 0.3-0.4%로 조사되었는데(Table 4), 이는 펠릿 제조에 원료로 사용된 낙엽송 목분(0.3%)과 커피박(0.5%)의 회분 함량에서 비롯된 것이다. 한편 이 측정치는 현재 판매되고 있는 낙엽송 펠릿과 차이가 없었으며, 모든 조건에서 국립산림과학원의 목재펠릿 1급 기준을 모두 만족시켰다.

발열량의 경우, 펠릿 내에서 커피박 함량의 증가와 함께 증가하는 경향을 보였다(Table 4). Cordero 등(2001)의 원소 조성과 발열량과의 관계에 대한 연구 결과를 보면, 바이오매스의 발열량은 일반적으로 탄소 및 리그닌 함량에 비례한다고 하였는데, 커피박의 낮은 탄소함량에 불구하고 커피박의 함량 증가와 함께 발열량이 증가하는 이유는 커피박에 함유되어 있는 지방/오일, 휘발성 유기화합물 등에서 기인한 것으로 생각한다. 이 추론을 확인하기 위하여 탈지한 커피박의 발열량을 측정한 결과 18.2 MJ/kg로 조사되어 커피박 내에 함유되어 있는 지방/오일 성분이







Composition (wt%)		Fabricated Pellets	Composition (wt%)		Fabricated Pellets
Larch	Coffee waste		Larch	Coffee waste	
100	0		70	30	
90	10		60	40	
80	20		50	50	

Fig. 1. Images of pellets made by larch sawdust and coffee waste. Amount of larch and coffee waste used for the fabrication of pellets were based on the its oven-dry weight.

발열량과 밀접한 관계가 있다는 것을 확인할 수 있었다(Ahn 등, 2013; Ahn 등, 2014). 이러한 상관관계를 정확히 조사하기 위하여 커피박과 낙엽송 목분의 전건 중량비를 다양하게 조절하여 제조한 펠릿의 발열량을 측정된 결과는 Fig. 2와 같은데, 펠릿 내에 존재하는 커피박 함량의 증가가 발열량 향상에 직접적으로 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다. 한편 커피박/낙엽송 펠릿의 발열량은 국립산림과학원의 목재펠릿 1급 기준을 모두 상회하는 것으로 조사되었다.

커피박/낙엽송 펠릿의 겉보기밀도와 내구성은 673-679 kg/m³ 및 98.3-98.8% 범위로 펠릿 내의 커피박 함량과 상관없이 일정한 값을 유지하였으며, 그 측정치는 국립산림과학원의 1급 기준을 모두 만족하였다(Table 4). 그러나 현재 판매되고 있는 낙엽송 펠릿과의 비교에서 겉보기밀도는 크게 낮았으며 내구성도 일부에서 낮았는데, 이는 피스톤형 펠릿성형

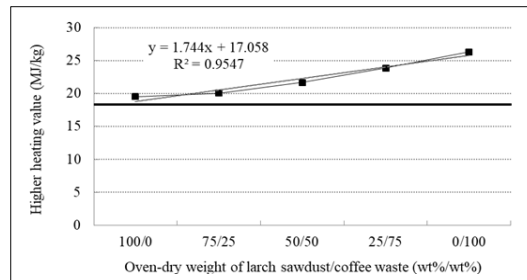


Fig. 2. Effect of the oven-dry weight ratio of larch sawdust and coffee waste on the higher heating value of the pellets. Bold line means the minimum requirement of higher heating value for the standard of 1st-grade wood pellet designated by National Institute of Forest Science.

기로 펠릿 제조시 적용되는 낮은 압력에서 기인한 결과라 생각한다.

본 연구를 통하여 조사된 커피박/낙엽송 펠릿의

Table 4. Fuel Characteristics of Commercial Wood Pellets and Coffee Waste-based Pellets

Type ¹	Moisture content (%)	Ash content (%)	Higher Heating value (MJ/Kg)	Bulk density (kg/m ³)	Durability (%)
Larch pellet I ²	8.7	0.5	18.6	789	98.0
Larch pellet II ³	11.9	0.3	18.5	844	99.5
W : CW = 100 : 0	7.2	0.3	19.0	679	98.8
W : CW = 90 : 10	6.8	0.4	19.4	675	98.7
W : CW = 80 : 20	7.2	0.4	19.7	673	98.7
W : CW = 70 : 30	7.7	0.4	20.4	674	98.6
W : CW = 60 : 40	6.1	0.4	21.0	674	98.3
W : CW = 50 : 50	6.5	0.4	21.7	677	98.5
1 st -grade pellet ⁴	≤ 10	≤ 0.7	≥ 18.0	≥ 640	≥ 97.5
2 nd -grade pellet ⁴	≤ 10	≤ 1.5	≥ 18.0	≥ 600	≥ 97.5
3 rd -grade pellet ⁴	≤ 15	≤ 3.0	≥ 16.9	≥ 550	≥ 95.0
4 th -grade pellet ⁴	≤ 15	≤ 6.0	≥ 16.9	≥ 500	≥ 95.0

¹ W and CW in the column mean larch sawdust and coffee waste, respectively.

² It was obtained from SYENP Co. Ltd. (Cheongju, South Korea).

³ It was obtained from National Forestry Cooperative Federation (Yeoju, South Korea).

⁴ Minimum requirements of wood pellet standard designated by National Institute of Forest Science.

원소, 회분의 정성분석 및 연료적 특성의 측정결과를 종합하면, 질소 및 유황함량을 제외하고 펠릿 내에서 차지하는 커피박의 양과 상관없이 모든 항목에서 국립산림과학원의 목재펠릿 1급 기준을 만족하였다. 그러나 커피박의 높은 질소 및 유황 함량으로 고등급의 펠릿 제조용 원료보다는 NO_x 및 SO_x를 효과적으로 제거할 수 있는 포집장치를 보유한 열병합발전소용 펠릿 원료로 적당할 것으로 생각한다. 그러나 커피박 및 낙엽송을 이용하여 1급 기준을 만족하는 펠릿을 제조하기 위하여 91 wt%의 낙엽송 목분과 9 wt%의 커피박이 필요할 것으로 추산된다. 이 조건에서 제조한 펠릿의 질소함량은 0.298% 그리고 유황함량은 0.03%로 1급 기준을 만족하며 나머지 펠릿의 품질 항목에서도 모두 1급 기준을 상회할 것으로 예상된다. 마지막으로 커피박과 낙엽송의 구매가 및 각 등급의 목재펠릿 수요에 따라 펠릿 내의 커피박과 낙엽송 목분의 양을 적절히 조절하여 펠릿을 제조할 경우, 생산비용의 절감 외에 폐기물의 이용에 따른 재자원화와 쓰레기 감량을 통한 환경 부담 완화에도 일조할 것으로 생각한다.

4. 결 론

본 연구는 커피 생산 폐기물인 커피박의 효율적인 처리 및 재자원화 방안의 일환으로 다양한 조건에서 낙엽송 목분과 함께 펠릿을 제조한 후, 이에 대한 연료적 특성의 조사를 통하여 커피박의 펠릿 원료화 가능성을 확인하고, 커피박과 낙엽송 목분에 대한 최적 펠릿 제조조건을 제시하기 위하여 수행하였다. 먼저 커피박의 다공성 구조로 인하여 목분과 비교하여 건조가 용이하고, 결과적으로 펠릿 원료로 이용할 경우 건조비용 절감에 따른 펠릿 생산가의 절감이 가능할 것으로 예상된다. 커피박은 전섬유소, 단백질, 지방/오일 순으로 구성되어 있었으며, 이 외에 카페인, 탄닌, 가용성 물질을 함유하고 있었다. 커피박의 회분함량은 0.7% 미만으로 칼슘의 함량이 가장 높았으며, 구리와 아연과 같은 무기성분 외에 중금속도 함유하고 있었으나 그 함유량은 국립산림과학원의 목재펠릿 1급 기준을 모두 만족하였다. 한편, 커피박의 원소 분석결과에서 높은 질소 및 유황 함량으로 커피박만을 이용하여 제조한 펠릿은 목재펠릿 4급 기준을 만족시키지 못하는 것으로 나타났다. 한편,

본 연구에서 제조된 커피박/낙엽송 펠릿의 연료적 특성을 조사한 결과, 질소 및 유황 함량을 제외하고 모든 제조 조건에서 국립산림과학원의 목재펠릿 1급 기준을 만족하였으며, 특히 펠릿 내에서 커피박의 중량비가 증가함에 따라 발열량도 증가하는 경향을 나타냈다. 결과를 종합하면, 커피박의 용이한 건조특성, 높은 발열량 그리고 이를 이용하여 낙엽송 목분과 제조한 펠릿의 우수한 연료적 특성 등으로 펠릿 제조용으로 적당한 원료로 생각되나, 높은 질소 및 유황 함량으로 고등급의 펠릿 제조용 원료보다는 NO_x 및 SO_x를 효과적으로 제거할 수 있는 포집장치를 보유한 열병합발전소용 펠릿 원료로 적당할 것으로 생각한다. 그러나 커피박 및 낙엽송을 이용하여 1급 기준을 만족하는 펠릿을 제조하기 위하여 91 wt%의 낙엽송 목분과 9 wt%의 커피박이 필요할 것으로 추산된다. 이 조건에서 제조한 펠릿의 질소함량은 0.298% 그리고 유황 함량은 0.03%로 1급 기준을 만족하며 나머지 펠릿의 품질 항목에서도 모두 1급 기준을 상회할 것으로 예상된다. 한편, 커피박은 현재 환경부 주관품목인 바이오 SRF (Solid Refuse Fuel)인 관계로 첨가제로서 목재펠릿 자체의 전건무계를 기준으로 2% 이상을 첨가할 수 없으며, 따라서 커피박의 고체 바이오연료 생산을 위한 원료화를 위하여 학계, 정부, 관련업체 등의 지속적인 연구, 상용화 방안/관련 정책의 개발 및 상호간 유기적 협력이 필요할 것으로 생각한다. 마지막으로 커피박이 바이오연료 생산을 위한 원료로 사용이 가능해진다면, 각 원료의 구매가와 목재펠릿 수요에 따라 펠릿 내의 커피박과 낙엽송 목분 양을 적절히 조절한 펠릿을 생산할 수 있을 것으로 판단된다. 이 경우 생산비용의 절감 외에 폐기물의 이용에 따른 재자원화와 쓰레기 감량을 통한 환경부담 완화에도 일조할 것으로 생각한다.

사 사

본 연구를 위하여 연구비를 지원한 (주)이라소재의 이석규 사장님 및 이광형 이사님 그리고 원료의 확보에서 펠릿의 제조까지 많은 도움을 준 충북대학

교 목재종이과학과의 여러 학부생들에게 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

REFERENCES

- Ahn, B.J., Chang, H.S., Cho, S.T., Han, G.S., Yang, I. 2013. Effect of the addition of binders on the fuel characteristics of wood pellets. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 41(6): 475-489.
- Ahn, B.J., Chang, H.S., Lee, S.M., Choi, D.H., Cho, S.T., Han, G.S., Yang, I. 2014. Effect of binders on the durability of wood pellets fabricated from *Larix kaempferi* C. and *Liriodendron tulipifera* L. sawdust. *Renewable Energy* 62: 18-23.
- Ahn, S.H. 2015. Effect of heating temperature and time of coffee waste on the adsorptivity of formaldehyde. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 43(3): 390-399.
- American Society for Testing & Materials. 2005. Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood-based materials. ASTM International, West Conshohocken, USA. ASTM D 4442-07.
- Baquero, M.C., Giraldo, L., Moreno, J.C., Suarez-Garcia, F., Martinez-Alonso, A., Tascon, J.M.D. 2003. Activated carbons by pyrolysis of coffee bean husks in presence of phosphoric acid. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 70(2): 779-784.
- Bergström, D., Israelsson, S., Öhman, M., Dahlqvist, S., Gref, R., Boman, C., Wästerlund, I. 2008. Effect of raw material particle size distribution on the characteristics of Scot pine sawdust fuel pellets. *Fuel Processing Technology* 89: 1324-1329.
- Boonamnuayvitaya, V., Sae-ung S., Tanthapanichakoon, W. 2004 Preparation of activated carbons from coffee residues for the adsorption of

- formaldehyde. Separation and Purification Technology 42(2): 159-168.
- Cordero, T., Marquez, F., Rodriguez-Mirasol, J., Rodriguez, J. 2001. Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. Fuel 80: 1567-1571.
- Forest Biomass Energy Association. 2017. Status of wood pellets imported from abroad. <http://www.biomassenergy.kr/>, Cheongju, Republic of Korea.
- Garcia, R.A., Phillips, J.G. 2009. Physical distribution and characteristics of meat and bone meal protein. Journal of the Science of Food and Agriculture 89: 326-336.
- Han, G.S. 2012. Trend and outlook of wood pellet industry. Prospective of Industrial Chemistry 15(6): 54-61.
- Han, G.S., Yang, I., Sagong, M. 2012. Investigation of the basic properties of agricultural residues as a raw material for the production of agropellets and the evaluation of their fuel characteristics. Journal of Korea Society of Waste Management 29(2): 169-179.
- Holt, G.A., Blodgett, T.I., Nakamura, F.S. 2006. Physical and combustion characteristics of pellet fuel from cotton gin by-products produced by select processing treatments. Industrial Crops and Products 24(3): 204-213.
- International Wood Market Groups. 2010. Monthly International Report - Wood Pellets Markets/Trends. http://www.unecfaioifro.lsu.edu/marketing/documents/2010/gme10_03.pdf, Vancouver, Canada.
- Joeng, H.J. 2016. Coffee is Energy. <http://www.womennews.co.kr/news/view.asp?num=97244>, Seoul, Republic of Korea.
- Khan, M.A., Ashraf, S.M. 2005. Development and characterization of a lignin-phenol-formaldehyde wood adhesive using coffee bean shell. Journal of Adhesion Science and Technology 19(6): 493-509.
- Kim, J.H. 2011. Exploratory study on the strategic advantage of strong medium enterprise in Korean take-out coffee market Caffebene story. Korean Academy of High Potential Enterprises 2(1): 37-58.
- Kim, S.H., Yang, I., Han, G.S. 2015. Effect of sawdust moisture content and particle size on the fuel characteristics of wood pellet fabricated with *Quercus mongolica*, *Pinus densiflora* and *Larix kaempferi* sawdust. Journal of the Korean Wood Science and Technology 43(6): 757-767.
- Korea Automobile Manufacturers Association. 2017. Statistics for the number of registered automobiles. <http://www.kama.or.kr/InfoController>, Seoul, Republic of Korea.
- Korea Energy Agency. 2017. Energy Statistics Handbook. KEA, Yongin, Republic of Korea.
- Korea Forest Service. 2017. Production and consumption amounts of wood pellets. https://www.forest.go.kr/newkfsweb/html/HtmlPage.do?pg=/resource/resource_040705.html&mn=KFS_02_01_04_07_05, Daejeon, Republic of Korea.
- Lee, M.H. 2017. Demand of wood pellets, approaching to 8.3 million tons at 2020. <http://www.woodkorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=28794>, Seoul, Republic of Korea.
- Lee, S.G., Lee, K.H., Yang, I., Han, G.S. 2011. A method for making coffee-meal pellets fuel and coffee-meal pellets thereby. Korea Intellectual Property, Registration No. 10-103-3212. Daejeon, Republic of Korea.
- Lee, S.M., Ahn, B.J., Choi, D.H., Han, G.S., Jeong, H.S., Ahn, S.H. Yang, I. 2013. Effects of densification variables on the durability of wood pellets fabricated with *Larix kaempferi* C. and *Liriodendron tulipifera* L. sawdust. Biomass Bioenergy 48: 1-9.
- Lehtikangas, P. 2001. Quality properties of pelletised

- sawdust, logging residues and bark. *Biomass Bioenergy* 20: 351-360.
- Li, Y., Liu, H. 2000. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. *Biomass Bioenergy* 19: 177-186.
- Mussatto, S.I., Ercilia M.S., Martins, M.S., Teixeira. 2011. Production, composition and application of coffee and its industrial residues. *Food and Bioprocess Tech.* 49(5): 661-672.
- National Institute of Forest Science. 2016. Quality Standards for the wood products. NIFOS, Seoul, Republic of Korea. 98-106.
- Obernberger, I., Thek, G. 2004. Physical characterization and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass Bioenergy* 27: 653-669.
- Stakl, M., Granstrom, K., Berghel, J., Renstorm, R. 2004. Industrial process for biomass drying and their effects on the quality properties of wood pellets. *Biomass Bioenergy* 27: 621-628.
- Tokimoto, T., Kawasaki, N., Nakamura, T., Akutagawa, J., Tanada, S. 2005. Removal of lead ions in drinking water by coffee grounds as vegetable biomass. *Journal of Colloid and Interface Science* 281: 56-61.
- Yang, I., Ahn, B.J., Kim, M.Y., Oh, S.C., Ahn, S.H., Choi, I.G., Kim, Y.H. Han, G.S. 2014. Separation of reducing sugars from rape stalk by acid hydrolysis and fabrication of fuel pellets from its residues. *Korean Journal of Plant Resources* 27(1): 60-71.
- Yang, I., Kim, S.H., Han, G.S. 2015. Effects of moisture content and particle size of sawdust and operating time of flat-die pelletizer on the fuel characteristics of wood pellets fabricated with Mongolian oak and Rigida pine sawdust. *New & Renewable Energy* 11(3): 1-10.
- Yang, I., Kim, S.H., Sagong, M., Han, G.S. 2016. Fuel characteristics of agropellets fabricated with rice straw and husk. *Korean Journal of chemical Engineering* 33(3): 851-857.
- Yang, I., Lee, G.H., Oh, S.C. 2013. Manufacture and performance evaluation of medium-density fiberboard made with coffee bean residue-wood fiber. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 41(4): 293-301.