

첨가제로서 울피차 부산물과 피마자유가 리기다소나무 및 신갈나무 펠릿의 연료적 특성에 미치는 영향

김현정¹⁾ · 양 인²⁾ · 한규성³⁾*

Effect of Chestnut-shell Tea Waste and Castor Oil as an Additive on Fuel Characteristics of Pellets Fabricated with Pitch Pine and Mongolian Oak

HyeonJeong Kim¹⁾ · In Yang²⁾ · Gyu-Seong Han³⁾*

Received 17 January 2022 Revised 20 May 2022 Accepted 25 May 2022

ABSTRACT This study aimed to determine the optimal conditions for fabricating pitch pine (PCP) and Mongolian oak (MOK) pellets using chestnut-shell tea waste (CSW) and castor oil (CSO) as additives. For pellets fabricated using a pilot-scale flat-die pellet mill, all moisture content (MC) was in line with A1 wood pellet standards for residential and small-scale commercial uses designated by the National Institute of Forest Science at the Republic of Korea (NIFOS), regardless of fabricating conditions; the durability of PCP pellets prepared using PCP particles with 10% MC, and CSW addition also satisfied these criteria. The moisture tolerance of PCP pellets improved with combination of 2 wt% CSW and 2-6 wt% CSO. Overall, use of 20 mesh CSW as an additive, PCP with 10% MC, and MOK with 12% MC was found to be optimal. Moreover, using CSO as an additive, high-quality PCP and MOK pellets can be fabricated by adjusting the particles to 12% MC. However, the durability of PCP and MOK pellets prepared using these conditions did not meet the wood pellet standards for residential and small-scale commercial use. Therefore, further research is needed to improve the durability of these pellets.

Key words Wood pellet(목재 펠릿), Chestnut-shell tea waste(울피차 부산물), Castor oil(피마자유), Pitch pine(리기다소나무), Mongolian oak(신갈나무), Additives(첨가제)

1) Graduate Student, Graduate School of International Agricultural Technology, Seoul National University

2) Research Professor, Institute of Green-Bio Science and Technology, Seoul National University

3) Professor, Department of Wood and Paper Science, College of Agriculture, Life & Environments Sciences, Chungbuk National University

*Corresponding author: wood@chungbuk.ac.kr

Tel: +82-43-261-2807

Fax: +82-43-273-2241

Subscript

PCP : pitch pine

MOK : mongolian oak

CSW : chestnut-shell tea waste

CSO : castor oil

MC : moisture content

1. 서론

온실가스 감축 이행에 대한 국제적인 관심이 고조되고 있는 상황에서 지구온도의 상승을 1.5°C 이내로 억제하기 위하여 2050년까지 탄소 순배출량이 제로가 되는 탄소중립 사회로의 전환이 필요하다. 이를 위한 일환으로 유럽연합 및 북미를 중심으로 산림바이오매스를 활용한 에너지 생산 및 이에 대한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이 가운데 재생가능한 에너지 운반체로 인식되고 있는 목재 펠릿이 가장 큰 비중을 최근까지 차지하고 있다.

우리나라는 최근까지 대부분의 목재펠릿을 수입에 의존하고 있는 상황으로 산림청의 목재펠릿 이용현황 통계에 따르면, 2014년도부터 2018년도까지 우리나라 목재펠릿 자급률은 각각 5.0%, 5.3%, 3.0%, 3.8%, 5.9%에 불과한 실정이다.^[1,2] 이와 같이 국내산 목재펠릿의 공급량이 크게 적은 원인으로 펠릿 생산용 목재원료에 대한 대량 확보의 어려움을 지적하였다.^[3] 또한 국내에서 펠릿 제조를 위한 주요 수종으로 낙엽송 등이 사용되고 있으나, 이에 대한 원료 확보의 어려움으로 국내산 목재펠릿 생산단가의 상승과 함께 순차적으로 판매가의 상승도 목재펠릿의 수입량을 크게 증가시킨 하나의 요인으로 판단된다.^[4] 따라서 목재펠릿의 원료를 저렴하게 대량으로 확보할 수 있는 국내 수종에 대한 다양한 연구가 수행되어야 할 것으로 생각한다.

참나무류, 소나무, 리기다소나무는 국내에서 안정적인 원료 확보가 가능하나, 까다로운 성형조건으로 이를 이용하여 제조한 목재펠릿의 품질이 낮은 것으로 보고되었다.^[5] 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 첨가제로서 울피차 부산물과 피마자유를 사용하여 품질이 향상된 리기다소나무 및 신갈나무 펠릿을 제조함으로써 안정적인 원료 확보와 함께 국내산 목재펠릿의 생산량을 증가시키는 방안을 검토하게 되었다.

일반적으로 첨가제의 사용 목적은 내구성을 포함한 목재 펠릿의 품질 향상을 위하여 사용되는데 저렴한 첨가제의 안정적인 확보가 이루어진다면 이의 사용으로 인한 연료적 특성의 향상이 가능할 것으로 판단된다.^[6] 따라서 리기다소나무와 신갈나무 목분에 첨가제로서 울피차 부산물과 피마자유를 사용한 후, 피스톤 및 평다이 성형기를 이용하여 다양한 조건에서 펠릿으로 제조하였다. 이렇게 제조한 리

기다소나무 및 신갈나무 펠릿의 연료적 특성 측정결과를 통하여 최적의 펠릿 성형조건을 제시하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서 펠릿 제조를 위하여 주원료로 사용된 리기다소나무 및 신갈나무 목분은 산림조합중앙회 중부목재유통센터(경기, 여주)에서 공급받았다. 이 목분은 각 원목을 5 mm 및 7 mm 폭의 초경날이 부착된 초프밀(YM-450BM, (주)유림기계, 경북 경산)로 파쇄한 후, 건조한 것으로 리기다소나무와 신갈나무 목분의 함수율은 각각 6.1%와 13.1%로 측정되었다. 이 목분을 4 mesh(<4.75 mm) 표준체로 선별하여 펠릿 제조용 원료로 사용하였으며, 펠릿 제조에 앞서 각 목분의 함수율을 조습과 건조를 통하여 10% 및 12%로 조절하였다.^[5]

첨가제의 사용량은 목분의 전건무게를 기준으로 2 또는 4 wt%로 조정하여 펠릿을 제조하였다. 첨가제로 사용된 울피차 부산물은 사용된 티백에 들어있는 것을 일정기간 기건시킨 후, 가정용 믹서로 파쇄한 것을 사용하였다. 이렇게 파쇄된 울피차 부산물은 추가적으로 $6 \pm 1\%$ 의 함수율까지 오븐에서 건조하였으며, 함수율이 조절된 울피차 부산물을 20 mesh(<1.27 mm) 및 40 mesh(<0.635 mm) 표준체로 선별하여 각각을 펠릿 제조를 위한 첨가제로 사용하였다. 피마자유의 경우, 일반적으로 피마자 종자 내에서 약 45% 함유된 것을 압착법으로 채유하여 얻는다. 본 연구에서는 이와 같은 방법으로 채유한 인도산 피마자유를 코리아씨밀락-윌터엔터프라이즈(경기, 하남)에서 리터당 600 원에 구입하여 사용하였다.

2.2 펠릿제조

피스톤식 펠릿 성형기를 이용한 펠릿 제조는 첨가제의 종류와 사용량, 목분의 함수율에 따른 품질 측정값의 오차를 최소화하기 위하여 목분과 바인더의 총 무게를 1.2 g으로 조절하여 성형기 투입구에 주입하였다. 목분과 첨가제의 혼합은 울피차 부산물의 경우 목분이 들어있는 50 리터

의 플라스틱 통에 10회에 걸쳐 넣으면서 충분히 교반하였으며, 피마자유는 측정된 일정 중량과 약 1 cm의 높이로 분포시킨 목분 tray를 저울에 올려놓고 피마자유를 분무기로 정해진 양만큼 분사하여 적용하였다. 이렇게 바인더가 적용된 목분을 압력 1,500 kgf/cm²와 온도 180°C에서 3분간 성형하였다. 제조된 펠릿의 평균 직경과 길이는 7.4~7.5 mm와 17.5~18.0 mm로 측정되었다.

파일럿 규모의 평다이 펠릿 성형기를 이용한 펠릿 제조를 위하여 먼저 사용된 첨가제의 양은 목분의 전건무게를 기준으로 2 wt%로 조절하였으며, 이를 평다이 펠릿 성형기(㈜해표산업, 전남 담양군)에 넣고 펠릿을 제조하였다. 펠릿성형기는 다이 내에서 192개 홀의 길이/직경(L/D)비를 5.0으로 그리고 원료 투입량은 72 kg/h로 맞추었다. 이렇게 제조된 펠릿의 품질 평가는 30분간 생산된 펠릿을 10분 단위로 분리하여 모은 후, 무작위로 선정하여 측정하였다.

2.3 품질평가

각 펠릿성형기에서 제조된 펠릿은 실험실 내에서 최소 24시간의 자연건조를 실시한 후, 국립산림과학원 고시 “목재펠릿 품질규격”에 기술된 방법에 따라 함수율, 발열량, 회분 함량, 내구성, 겉보기밀도를 측정하였다.^[7] 한편 제조된 목재펠릿의 내습성을 조사하기 위하여 무게가 측정된 펠릿을 25°C와 90%의 상대습도가 유지되는 항온항습기에 넣고, 3시간 후에 꺼내어 무게를 측정하였으며, 항온항습 전후의 펠릿 무게를 이용하여 내습성을 구하였다. 모든 품질 항목의 측정값은 3회 반복의 평균값으로 표시하였다.

2.4 실험설계 및 통계학적 분석

목재 펠릿의 각 품질에 대한 개별 인자들의 영향은 분산 분석을 통하여 조사하였으며, 통계학적으로 $p < 0.05$ 수준에서 영향을 받았을 경우 Fisher's LSD(least significant different: 최소유의차) 검정을 위하여 다중비교 방법 중에 가장 많이 사용되는 Student t-test에 의해 각 평균값 간의 차이가 유의한지 추가적으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 목분과 첨가제의 회분 함량 및 발열량

본 연구에서 펠릿 제조를 위하여 주원료로 사용된 리기다소나무(이하 PCP)와 신갈나무(이하 MOK)는 각각 0.4%와 0.9%의 회분을 함유한 것으로 측정되었다. MOK는 박피의 어려움으로 목분 내에 많은 양의 수피가 존재하는 것을 육안으로 확인하였다. 따라서 MOK의 높은 회분함량은 수피에서 기인한 것으로 생각한다. 발열량의 경우, PCP(20.6 MJ/kg)가 MOK(19.1 MJ/kg)보다 높았는데 이는 PCP가 발열량이 높은 리그닌 및 휘발성 추출물을 MOK보다 많이 함유하고 있는 관계로 나타난 결과라 생각한다.^[8]

첨가제로 사용된 울피차 부산물(이하 CSW)과 피마자유(이하 CSO)의 회분함량과 발열량은 각각 1.9%, 16.4 MJ/kg 및 <0.1%, 34.8 MJ/kg으로 분석되었다. CSO의 높은 발열량은 많은 양의 지방/오일의 함유에서 비롯된 결과라 생각한다.

3.2 피스톤식 펠릿성형기로 제조한 펠릿의 연료적 특성

3.2.1 첨가제의 영향

첨가제와 함께 제조된 PCP 및 MOK 펠릿의 회분 함량과 발열량을 측정한 결과, PCP에 CSW 또는 CSO를 첨가제로 사용하여 제조한 펠릿의 회분 함량과 발열량은 각각 0.4%, 20.4 MJ/kg 및 0.5%, 20.2 MJ/kg로 측정되어 첨가제의 사용에 따른 영향은 크지 않았다. 한편 MOK 목분에 CSW 또는 CSO를 첨가제로 사용하여 제조한 펠릿의 회분함량과 발열량은 각각 1.0%, 19.4 MJ/kg 및 0.9%, 19.9 MJ/kg로 측정되었다. CSO와 함께 제조한 MOK 펠릿의 발열량 증가는 저발열량 MOK 목분에 고발열량의 CSO를 첨가함으로써 나타난 결과라 생각한다. MOK 목분과 CSO로 제조한 펠릿의 발열량을 제외하고, 첨가제의 사용에 의한 영향은 없었는데 이는 첨가제의 사용량이 목분의 전건중량 기준 2 wt%를 첨가한 관계로 나타난 결과라 판단된다. 이 결과를 종합하면, PCP 및 MOK 펠릿의 발열량과 PCP 펠릿의 회분함량은 국립산림과학원 주거용·소규모 상업용 목재펠릿 A1 기준을 상회하였으나, MOK 펠릿의 회분함량은 MOK 목분 자체의 높은 회분 함량으로 A2 기준을 만족하

는 것으로 나타나 MOK 목분은 고등급 펠릿 제조를 위한 주원료로 부적합할 것으로 생각한다.^[7]

3.2.2 목분 함수율의 영향

PCP 및 MOK 목분에 CSW 및 CSO를 첨가제로 사용하여 제조한 펠릿의 함수율 및 내구성을 측정된 결과는 Fig. 1과 같다. CSW와 함께 제조한 펠릿의 함수율은 수종과 목분 함수율에 영향을 받지 않았다(PCP-10%: $p = 0.37$; PCP-12%: $p = 0.18$; MOK-10%: $p = 0.12$; MOK-12%: $p = 0.20$). 그러나 CSO와 함께 제조한 펠릿의 함수율은 첨가제없이 제조한 펠릿의 함수율보다 낮았는데 이는 소수성의 성질을 가진 CSO의 사용에서 기인한 결과라 생각한다.

한편 10%의 목분 함수율에서 CSW와 함께 제조한 PCP 및 MOK 펠릿의 내구성은 첨가제없이 제조한 펠릿의 내구성과 통계학적으로 차이가 없었으나(PCP: $p = 0.11$; MOK: $p = 0.14$), CSO와 함께 제조한 PCP 및 MOK 펠릿의 내구성보다 높았다. 반면, 12%의 목분 함수율에서 제조한 PCP 펠릿의 내구성은 첨가제의 사용에 따른 영향은 없었으나, MOK 펠릿에서는 첨가제의 사용이 내구성 증가에 긍정적인 영향을 미쳤다.

펠릿 함수율과 내구성 결과를 종합하면, 목분 함수율과 상관없이 PCP 목분에 첨가제로 CSW의 첨가가 내구성 향

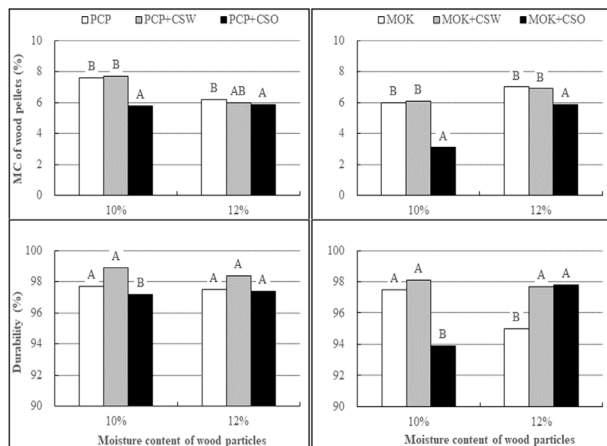


Fig. 1. Comparison of moisture content (top) and durability (bottom) of pitch pine (left, PCP) and Mongolian oak (right, MOK) pellets fabricated with chestnut shell-tea waste (CSW) and castor oil (CSO) as an additive using a piston-type pellet mill. Same letters above a column bar do not differ significantly at the 5% level (Student's t-test)

상을 위하여 적당할 것으로 생각한다. 이 조건에서 제조한 펠릿은 국립산림과학원 목재펠릿 품질규격 주거용·소규모 상업용 A1 기준을 모두 만족하였다.^[7]

3.2.3 율피차 부산물의 입도 크기의 영향

CSW의 입도 크기가 PCP 및 MOK 펠릿의 함수율 및 내구성에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 2와 같다. 펠릿 함수율은 첨가제의 입도 크기에 영향을 받았으나, 모든 조건에서 국립산림과학원의 목재펠릿 주거용·소규모 상업용 A1 기준을 만족하여 CSW의 파쇄 시에 소요되는 동력, 파쇄된 CSW의 선별 과정에서의 수율 및 이를 이용하여 제조된 펠릿의 내구성을 고려하여 첨가제로서 20 mesh CSW의 사용이 40 mesh CSW보다 적합할 것으로 생각한다.^[9]

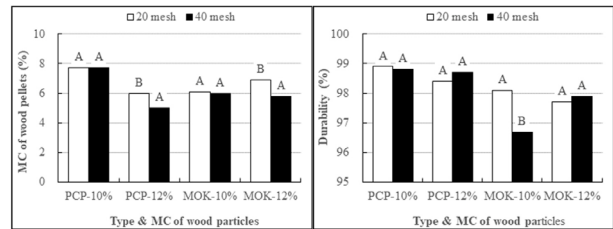


Fig. 2. Effect of particle size of chestnut shell-tea waste on the moisture content (left) and durability (right) of pitch pine and Mongolian oak pellets. Same letters above a column bar do not differ significantly at the 5% level (Student's t-test)

3.2.4 첨가제 사용량의 영향

첨가제로 20 mesh 크기의 CSW를 사용하여 제조한 PCP 및 MOK 펠릿의 함수율 및 내구성에 CSW 첨가량이 미치는 영향을 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. 펠릿 함수율의 경우, 2 wt%의 첨가량에서는 첨가제의 사용없이 제조한 펠릿과 차이가 없었으나, 4 wt%까지 첨가량을 증가시켰을 때 감소하는 경향을 보였다. 내구성의 경우, CSW의 첨가 여부 및 첨가량의 증가는 각 목분 함수율에서 영향을 미치지 않았다.

CSO를 첨가제로 사용하여 제조한 펠릿의 함수율 및 내구성에 첨가량이 미치는 영향을 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 10%의 MOK 목분 함수율에서 CSO의 첨가량이 2 wt%인 경우를 제외하고 모든 펠릿 함수율은 CSO의 첨가량 증

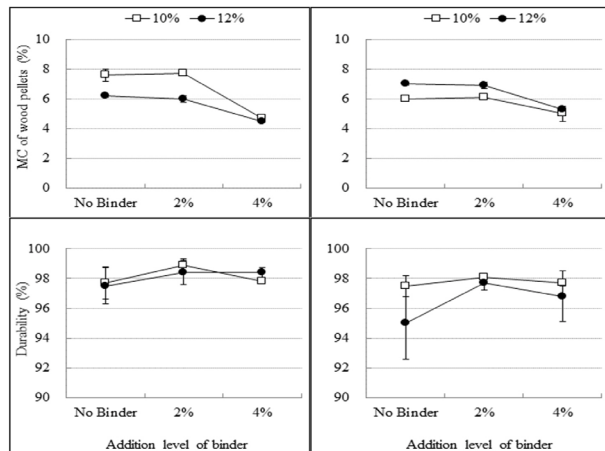


Fig. 3. Effect of addition level of chestnut shell-tea waste on the moisture content (top) and durability (bottom) of pitch pine (left) and Mongolian oak (right) pellets

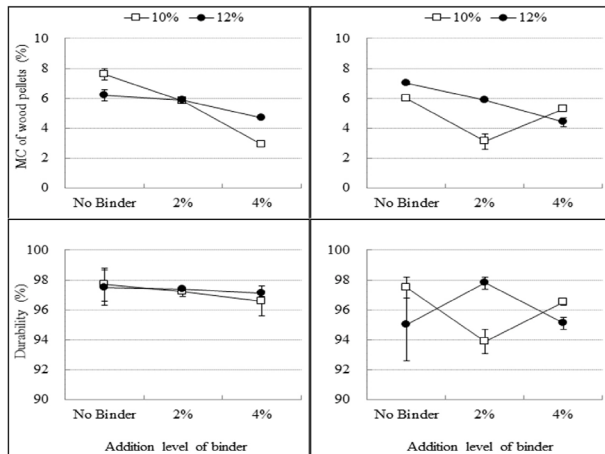


Fig. 4. Effect of addition level of castor oil on the moisture content (top) and durability (bottom) of pitch pine (left) and Mongolian oak (right) pellets

가와 함께 감소하는 경향을 보였다. 이는 상기에서 언급한 바와 같이 소수성 성질을 가진 CSO의 첨가량의 증가가 함수율 감소에 영향을 미친 것으로 생각한다. 한편, 10% MOK 목분의 함수율에서 첨가량 2 wt%로 제조한 펠릿의 낮은 함수율은 실험적 오차에서 기인한 것으로 추정된다. 내구성의 경우, PCP 펠릿은 CSO의 첨가량 증가에 영향을 받지 않았다. 그러나 MOK 펠릿의 내구성은 2 wt% CSO 첨가량의 경우 10% 목분 함수율에서 감소, 12% 목분 함수율에서 증가하였으나, 4 wt% 첨가량에서는 반대로 각각 증가 및 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 MOK 펠릿의 내구성에 첨가제로서 CSO의 첨가량과 MOK 목분의 함수

율 간에 상호작용이 있는 것을 의미한다. 그러나 이와 같은 상호작용은 본 연구에서 펠릿제조에 사용된 실험실 규모의 소형 피스톤식 펠릿성형기에 의하여 나타난 결과일 가능성을 배제할 수 없어 파일럿 또는 산업용 규모의 다양한 펠릿 성형기를 이용한 펠릿제조를 통하여 상호작용에 대한 검증이 필요할 것으로 판단된다.

3.3 평다이 펠릿 성형기로 제조한 펠릿의 연료적 특성

파일럿 규모의 평다이 펠릿성형기를 이용하여 PCP 또는 MOK 목분에 첨가제로 CSW 및 CSO를 목분의 전건무게를 기준으로 2 wt% 첨가하여 펠릿을 제조하였으며, 이렇게 제조한 펠릿의 연료적 특성 측정결과는 Table 1과 같다. 본 연구에서 평다이 펠릿 성형기로 제조한 모든 펠릿의 함수율은 수중, 목분 함수율 그리고 첨가제의 사용 여부와 상관없이 모두 국립산림과학원 목재펠릿 주거용·소규모 상업용 A1 기준을 만족하였다.^[7]

내구성의 경우, PCP 목분으로 제조한 펠릿에서는 전반적으로 첨가제의 사용과 함께 증가하는 경향을 보였으며, 특히 10%의 PCP 목분 함수율에서 CSW를 첨가하여 제조한 펠릿은 국립산림과학원 목재펠릿 주거용·소규모 상업용 A1 기준을 만족하였다.^[7] 그러나 나머지 조건에서는 산업용 I2 또는 I3 기준을 만족하는 것으로 조사되었다. MOK 펠릿의 내구성은 10% 목분 함수율에서 첨가제의 사용에 따라 감소하거나 차이가 없었으나, 12% 목분 함수율에서는 증가하는 경향을 보였다. 특히 12% MOK 목분 함수율에서 CSW를 첨가하여 제조한 펠릿의 내구성은 A1 기준을 만족하였다. 이 결과로부터 MOK 목분을 이용한 펠릿 제조시 목분의 함수율을 12%로 조절하는 것이 필요할 것으로 생각한다.

한편 PCP 펠릿의 겉보기밀도는 10%의 목분 함수율에서 첨가제의 사용으로 증가하거나 차이가 없었으나, 12%의 목분 함수율에서 크게 감소하였다(Table 1). 이 결과는 PCP 목분에 함유되어 있는 추출물 성분이 목분 내의 수분 증발에 부정적인 영향을 미쳐 과열현상이 발생하였고, 결과적으로 압밀화 정도가 감소되어 나타난 결과라 생각한다. 이 추론은 12%의 목분 함수율에서 제조한 PCP 펠릿의 높은 함수율에서 추정된 것이다. MOK 펠릿의 겉보기밀도는 10%

Table 1. Moisture content, durability and bulk density of pitch pine and Mongolian oak pellets produced with chestnut shell-tea waste and castor oil as a binder using a pilot-scale flat-die pelletizer

Production conditions			Moisture content of pellets (%)	Durability (%)	Bulk density (kg/m ³)
Type of sawdust	Moisture content of sawdust	Additive type			
Pitch pine	10%	No addition	9.3	97.6	693
	12%		7.6	93.3	617
	10%	Chestnut shell-tea waste	6.6	98.0	716
	12%		7.7	96.1	530
	10%	Castor oil	7.0	97.1	691
	12%		7.2	96.6	537
Mongolian oak	10%	No addition	5.6	94.0	712
	12%		7.7	96.8	645
	10%	Chestnut shell-tea waste	6.1	92.4	688
	12%		4.1	98.4	689
	10%	Castor oil	6.4	94.8	686
	12%		7.1	97.3	660
NIFOS A1 standard for residential and small-scale commercial uses ¹			≤ 10	≥ 97.5	≥ 600
NIFOS A2 standard for residential and small-scale commercial uses ¹			≤ 10	≥ 97.5	≥ 600
NIFOS B standard for residential and small-scale commercial uses ¹			≤ 10	≥ 97.5	≥ 600
NIFOS I1 standard for industrial use ¹			≤ 10	≥ 97.5	≥ 600
NIFOS I2 standard for industrial use ¹			≤ 10	≥ 96.5	≥ 550
NIFOS I3 standard for industrial use ¹			≤ 10	≥ 95.0	≥ 500

¹ Specification of wood pellets designated by the National Institute of Forest Science at the Republic of Korea.

목분 함수율에서 첨가제의 사용과 함께 감소하였으나, 12%의 목분 함수율에서는 증가하였다. 이러한 결과는 MOK의 비중이 높아 펠릿 성형과정에서 목분의 충분한 압밀화를 위하여 일정 수준 이상의 수분 첨가가 필요하다는 것을 의미한다.

평다이 펠릿성형기로 제조한 펠릿의 연료적 특성을 측정 한 결과를 종합하면, PCP 및 MOK 펠릿은 20 mesh 크기의 CSW를 첨가제로 사용하고, 목분의 함수율은 각각 10% 및 12%로 조절하는 것이 최적의 펠릿 제조 조건이라 생각한다. 한편, CSO를 첨가제로 사용할 경우, 목분의 함수율은 12%로 적용시키는 것이 고품질의 펠릿을 얻을 수 있는 조건이지만, 내구성 측면에서 국립산림과학원 목재펠릿 주 거용·소규모 상업용 기준을 만족하지 못하여 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다 판단된다.^[7]

3.4 리기다소나무 펠릿의 내습성과 연료적 특성

파일럿 규모의 평다이 펠릿성형기를 이용하여 제조한 PCP 펠릿의 연료적 특성 분석 결과를 토대로 목분의 함수율을 10%로 고정하고 목분의 전건무게를 기준으로 2 wt%의 CSW와 추가적으로 CSO를 첨가제로 사용하여 펠릿을 제조하였으며, 이에 대한 내습성과 연료적 특성을 측정하였다.

첨가제로 CSW만을 사용하여 제조한 펠릿을 항온항습기 (상대습도 90%, 온도 25°C)에 3시간 동안 보관한 후, 측정 한 무게는 8.2%가 증가하였다. 한편 2, 4, 6, 8 wt%의 CSO를 추가적으로 첨가하여 제조한 펠릿의 무게 증가율은 각각 6.4%, 6.0%, 7.9%, 10.9%로 측정되어 2, 4, 6 wt%에서는 내습성이 증가하였으나, 8 wt%에서는 내습성이 감소하였다. 이와 같이 8 wt%의 CSO 첨가량에서 내습성이 감소하는 이유는 CSO에 존재하는 친수성의 hydroxyl기에 수분이 결합하여 발생한 것이라 추정된다.^[10] 한편, 각 조건

에서 제조한 펠릿의 연료적 특성(함수율, 겉보기 밀도, 회분함량, 발열량 등)은 큰 변화가 없었다. 이 결과를 토대로 10% 함수율의 PCP 목분을 이용한 펠릿 제조에 있어 목분의 전건무게 기준으로 2 wt%의 CSW(크기: <20 mesh)와 2~6 wt%의 CSO를 첨가제로 사용하여 펠릿을 제조하는 것이 최적의 펠릿 제조 조건이라 생각한다.

4. 결론

본 연구는 PCP 및 MOK 목분을 이용한 펠릿 제조에 있어 첨가제로서 사용한 CSW와 CSO가 펠릿의 연료적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. MOK는 박피의 어려움으로 펠릿제조에 사용된 목분 내에서 일정량의 수피가 존재함에 따라 회분함량이 높았으며, 이를 펠릿 제조용 원료로 사용하기 위하여 원료 공급 측면에서 수피를 분리 및 제거하는 공정의 추가가 필요할 것으로 판단된다. 한편 본 연구에서 제조된 모든 펠릿의 함수율은 조사된 제조조건과 상관없이 10% 미만으로 나타나 대량 생산공정에서 동일한 조건을 적용할 경우 목재펠릿의 가정/소규모 상업용 A1 함수율 기준 ($\leq 10\%$)을 만족할 것으로 예상된다. 첨가제의 사용량에 따른 펠릿 내구성의 경우, 피스톤식 소형 펠릿성형기로 제조한 MOK 펠릿에서 목분의 함수율과 CSO 첨가량 간에 상호작용이 있는 것을 나타냈으며, 파일럿 규모의 평다이 펠릿 성형기로 제조한 펠릿에서도 유사한 경향을 보였다. 따라서 CSO를 첨가제로 사용한 MOK 펠릿 제조시 목분의 함수율은 12% 그리고 CSO 첨가량은 2 wt%로 조절하는 것이 목재펠릿의 가정/소규모 상업용 A1 내구성 기준 ($\geq 97.5\%$)을 만족하는 최적의 제조조건이라 생각한다. 평다이 펠릿 성형기로 제조한 펠릿의 경우, 20 mesh 크기의 CSW를 첨가제로 사용하고, PCP 및 MOK목분의 함수율을 각각 10% 및 12%로 조절하는 것이 펠릿의 연료적 특성과 경제적인 측면을 고려하여 최적의 펠릿 제조조건이라 생각한다. 목재펠릿의 가장 큰 문제점인 수분 흡착에 의한 품질저하를 최소화하기 위하여 조사한 PCP 펠릿의 내습성은 10% 함수율의 목분과 목분의 전건무게 기준 2 wt%의 CSW(크기: <20 mesh) 그리고 2 wt%의 CSO를 첨가제로 사용하는 것이 최적의 펠릿 제조 조건으로 도출되었다.

감사의 글

본 연구는 2016년 한국연구재단 “산학협력 선도대학 육성사업”의 지원과 2017년도 “충북대학교 연구년제”의 지원을 받아 수행한 연구입니다. 한편 연구 진행에 도움을 준 (주) 신영이앤피와 산림조합 중부목재유통센터의 관계자분들에게 감사드립니다.

References

- [1] Korea forest service, 2019, “Wood pellets statistical data”, https://www.forest.go.kr/kfswweb/cop/bbs/selectBoardArticle.do?jsessionid=KZWa5qxdpJaaGld0RDYlCa30zylRf0luk2xLcWGAM6K152IHyrnlngogrGM1kJ6v.frswas02_servlet_engine5?nttId=3132691&bbsId=BBSMSTR_1069&pageUnit=10&pageIndex=7&searchTitle=title&searchcont=&searchkey=&searchwriter=&searchWrd=&ctgryLrcls=&ctgryMdcls=&ctgrySmcls=&ntcStartDt=&ntcEndDt=&mn=NKFS_06_09_01&orgId.
- [2] Lee, S.R., and Han, G.S., 2021, “UK case study for sustainable forest biomass policy development of South Korea”, *New. Renew. Energy*, **17**(1), 50-60.
- [3] Han, G.S., 2010, “Research on wood pellet management based on prediction of future supply and demand for wood pellet”, Technical Report of Korea Forest Service.
- [4] Yang, I., Han, G.S., and Oh, S.W., 2018, “Larch pellets fabricated with coffee waste and the commercializing potential of the pellets”, *J. Korean Wood Sci. Technol.*, **46**(1), 48-59.
- [5] Yang, I., Kim, S.H., and 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. Renew. Energy*, **11**(3), 11-20.
- [6] Ahn, B.J., Jang, H.S., Jo, S.T., Han, G.S., and Yang, I., 2013, “Effect of the addition of binders on the fuel characteristics of wood pellets”, *J. Korean Wood Sci. Technol.*, **41**(6), 475-489.
- [7] National Institute of Forest Science, 2020, “Specifications

and quality standards of wood products 2020-3”

- [8] Jang, M.J., Kim, Y.H., Ahn, B.J., Lee, C.E., Lee, J.T., Kim, S.H., Lee, B.G., and Lee, D.H., 2008, “Study an anti-inflammatory and anti-microbial effect of *Pinus rigida* Mill. inner bark extracts as a cosmetic material”, *J. Korean For. Soc.*, **97**(3), 215-220.
- [9] Cha, D.S., Hwang, J.S., and Oh, J.H., 2011, “Power requirement and particle size distribution characteristic by crush condition of wood crusher”, *Proc. Korea Forestry Energy Research Society Conference*, 81-83.
- [10] Mubofu, E.B., 2016, “Castor oil as a potential renewable resource for the production of functional materials”, *Sustain. Chem. Processes.*, **4**(11).