산림 바이오매스 건조공정에서 새로운 함수율 측정방법에 대한 연구

박영규, 김형준, 최재영, 홍석재, 손영득
한국기술교육대학교 기계설비제어공학과
e-mail: pyg11052003@koreatech.ac.kr, kim21c2@koreatech.ac.kr,
choi1448@koreatech.ac.kr, sjplorer@koreatech.ac.k, ydson@koreatech.ac.kr

A Study on a Novel water content measurement method in the forest biomass drying process

Young-Gyu Park, Hyong-Joon Kim, Jae-Young Choi, Seok-Jae Hong, Yung-Deug Son
Dept. of Mechanical Facility Control Engineering, KOREATECH

요 약

지구온난화는 국제사회는 물론 우리나라에서도 탄소중립의 이행이 가장 중요한 정책과제중 하나가 되었다. 2021년 기준으로 국내 발전용량의 27.9%가 석탄을 연료로 하고 있다. 우리나라는 전석탄발전이 아닌 목재펠렛 혼소발전을 지속적으로 확대 하고 있으나 수입펠렛으로 대체하고 있어 우리나라 자체의 생산성을 높이는 것이 중요한 부분이다. 펠렛 제조 공정에서 원료톱밥의 함수량을 일정하게 유지하는 것이 펠렛 생산의 불량률을 낮추어 생산성을 높여 가격경쟁력을 높이는 중요한 요소이다. 현재 펠렛 제조 공정에서는 전건조 방법으로 함수량을 측정하고 있지만 전건조 방법의 특성상 측정시간이 상대적으로 많이 소용되어 새로운 측정방법의 제시가 필요하다. 본 연구에서는 톱밥의 전기저항을 측정하여 함수량과 전기자항과의 관계를 데이터화 하였으며 펠렛의 제조 공정중 건조공정의 열풍기의 온도조절을 전기저항법으로 측정된 함수량을 피드백하여 제어 할 수 있는 방법을 제시한다.

1. 서론

기후변화협약이나 유엔 산하 정부간협의체에서는 목재를 탄소중립 연료임을 인정하고 화석연료 대체에너지로 권고 하고 있다.[1] 그러나 미이용(폐기처리용) 산림 바이오매스(펠렛)를 원형대로 원료로 사용하기는 어려우며, 건조나 고밀화 과정을 통해 가공하여 사용하게 된다. 펠렛은 소나무톱밥과 낙엽송을 8:2 비율로 혼합하여 제조하게 된다. 펠렛 성형공정에서 건조 톱밥의 함수율에 따라 품질에 지대한 영향을 미치게 된다. 또한, 펠렛 성형은 톱밥의 함수율 11%에서 가장 이상적인 성형이 이루어지며 함수율이 13%이상 또는 9% 이하일 경우 펠렛의 성형 품질이 저하되어 재가공에 따른 물적 및 인적 손실이 발생된다[2]. 따라서 건조공정 후 함수율 측정 및 측정 후 열풍기 온도 보정 작업은 건조공정에서 가장 중요한 작업이다. 가장 쉬운 함수율 측정 방법은 전건조 방법으로 현재 가장 많이 쓰이고 있다. 그러나 이러한 전건조 방법은 건조시간에 따른 열풍기 온도 보정시간이 걸리게 되어 있다. 따라서 본 연구에서는 톱밥의 전기저항을 이용하여 함수율을 보다 빠르게 측정하는데 목적이 있다.[3]

2. 본론

2.1 펠렛자동화공정의 흐름과 함수율 측정

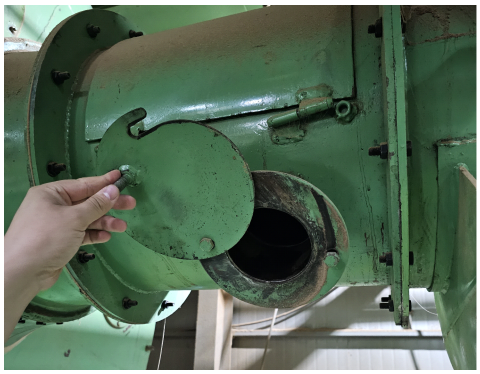
기존 펠렛자동화공정은 그림 1과 같이 원목공급 및 파쇄 작업 후 호그칩 및 톱밥을 건조로에 공급하여 일정 시간 후 건조된 톱밥을 이송 후 재 분쇄한다. 그 후 링다이 시스템을 통하여 펠렛을 성형 한 후 냉각 시킨다. 냉각된 펠렛은 펠렛 불량 선별기를 통해 불량품을 선별한 후 자동 포장된다[4]. 이때, 펠렛이 성형된 후 불량품을 선별에 의해 불량품 발생의 경우 성형된 펠렛을 파쇄 해야 한다. 첫 번째 작업으로 원목공급 및 파쇄작업의 과정을 거쳐야 하므로 생산성이 매우 떨어지게 된다. 따라서 성형불량을 최소화를 위해 건조로 통과 후 톱밥의 함수량을 측정하여 함수율에 따라 건조로의 열풍기 온도를 조절하여 불량 펠렛 발생을 최소화가 필요하다.. 이때 함수율은 식 (1)과 같이 정의 된다[5].

$$u = \frac{(W - W_0)}{W_0} \times 100\ (\%) \tag{1}$$

여기서 u는 함수율을 나타내며, W는 수분을 함유한 상태에서의 목재의 무게, W_0는 수분이 제거된 목재의 무게이다.

[그림 1] 펠렛 자동화 공정 순서도

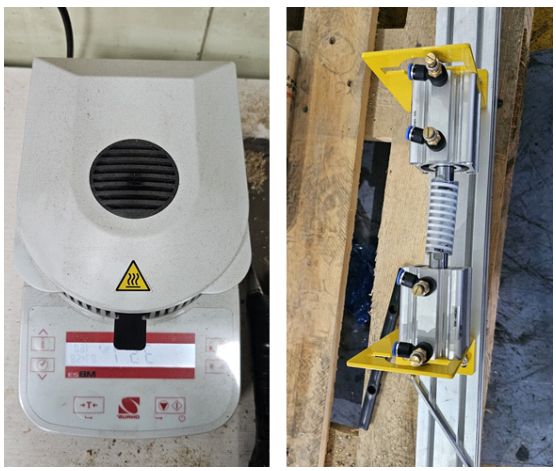
목재의 함수율측정 방법에는 전기, 마이크로웨이브, 초음파, 컴퓨터 단층 촬영, 적외선, 방사선등을 이용한 다양한 건조 방법들이 사용되고 있다. 그러나 이러한 방법들은 가열건조 방법으로 측정결과를 얻는데 장시간이 소요되는 단점이 있다. 일반적인 전건조 방법의 함수율 별 톱밥의 전기저항을 분석하면 선형변화가 감지되므로 톱밥의 전기저항에 따른 함수율 측정 방법을 제안한다.



[그림 2] 건조로-파쇄기 By-Pass

2.2 전건조 함수량 측정 및 전기저항 측정 시스템 구성

함수율에 따른 전기저항을 측정하기 위해 그림 2와 같이 건조로에서 건조 후 파쇄기로 이동하는 건조 톱밥들을 By-Pass시켜 취득 할 수 있게 하였다. 함수량 측정 및 저항 측정은 그림 3의 OHAUS MB23 정밀 전건조 함수량 측정기와 전기저항측정을 위해 실린더를 이용하여 톱밥을 압축하는 장비를 사용하였다. OHAUS MB23 함수량 측정기는 할로겐 가열을 통하여 톱밥을 건조시키는 방법이며 측정을 위해 톱밥 1g을 사용하였다. 압축하는 공압의 압력은 5bar로 고정 하였으며 압축하는 톱밥의 질량을 동일하게 맞추기 위하여 정밀저울을 이용하여 실험하였다.

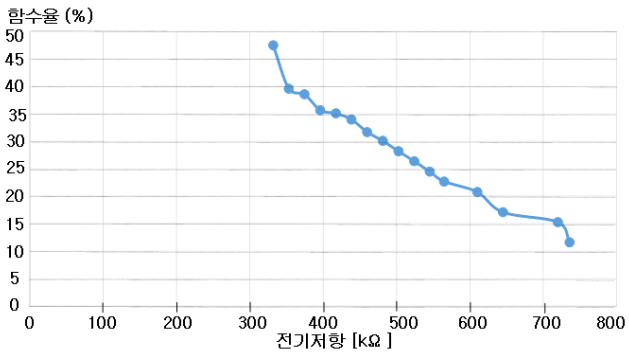


[그림 3] 비교측정용 측정 도구

2.3 전건조 함수량 측정 및 전기저항 측정 시스템 실험 결과

톱밥의 함수량에 따른 전기저항을 측정하기 위해서 그림 4와 같이 10분 간격으로 By-Pass를 통해 샘플 톱밥을 채취하였다. 전건조 측정의 시간을 줄이기 위해 1g의 톱밥을 함수량을 측정하였고 동일 한 샘플로 저울을 이용하여 20g의 톱밥을 고무관에 넣은 후 Air Compressor에서 공급되는 10bar의 압축공기를 레귤레이터를 이용하여 5bar로 조정 한 후 톱밥 압축기 양 실린더에 공급하여 압축 한 후 일정한 깊이로 프로브를 삽입 후 저항을 측정 하였다. 저항 측정은 측정의 오차를 줄이기 위해 5번씩 측정 하여 평균값을 취하였으며 함수량 측정기는 3번을 측정하여 평균값을 취하였다. 평균값에 대해 그림 5와 표 1에 나타내었다.

[그림 4] By-Pass를 통한 톱밥 샘플채취



[그림 5] 함수율과 전기저항의 관계

[표 1] 함수량 및 전기저항 측정값

전기저항	함수율
736	11.6
720	15.3
645	17.1
610	20.8
565	22.7
545.4	24.5
524.1	26.4
502.7	28.2
481.4	30.1
460	31.7
438.6	34
417.3	35.1
395.9	35.7
374.6	38.6
353.2	39.6
331.9	47.5

3. 결론

펠렛 자동화에서 펠렛의 불량률을 낮추기 위해 링다이에 공급되는 톱밥의 함수량이 11%로 일정하게 유지되어야 한다. 또한 열풍기 건조로의 온도조절 또한 함수량 측정을 통해 이루어지는 만큼 작업의 효율성과 비용절감을 위해서는 함수량 측정이 정밀하고 빠르게 이루어 져야 한다. 본 연구에서는 함수량과 전기저항이 선형변화를 가지는 것을 확인하였다. 함수율에 따른 전기저항 차이가 감지되어 전기저항과 높은 상관관계를 가진 함수율 예측모델 구현이 가능하다.

참고문헌

[1] 이민석, 김철환, 이지영, 이창영, 류정헌, “임업 부산물을 이용한 고품질 연료 펠릿 개발 연구”, 한국펄프·종이공학회 학술발표논문집, pp. 49-49, 2021년.

[2] 차은기, 최석환, 이오규, 안병준, 김용식, 조성택, 이수민. “ 펠릿 성형 조건에 따른 목재펠릿 품질 변화”, 한국목재공학회 학술발표논문집, pp. 85-86, 2010년.

[3] 강호양, 박정환, 박병수. “소나무, 잣나무, 낙엽송의 열전도율과 전기저항”, 한국목재공학회 학술발표논문집, pp. 64-165, 2006년.

[4] 이형우. 목재 펠릿 전용 보일러 및 목재펠릿연료 제조설비 실증사업. 서울: 지식경제부, 2008.

[5] 정인직, 배윤경, 소홍민, “목재 수분 측정에 이용되는 전건법의 불확도 평가”, 대한기계학회 춘추학술대회, pp. 1618-1620, 2019년.