

폐열에너지를 활용한 친환경건조시스템 개발*1

권 구 중*2 · 권 성 민*2 · 장 재 혁*2 · 황 원 중*3 · 김 남 훈*2†

Development of Green Drying System Using Waste Heat from Charcoal Kiln*1

Gu-Joong Kwon*2 · Sung-Min Kwon*2 · Jae-Hyeok Jang*2 ·
Won-Joung Hwang*3 · Nam-Hun Kim*2†

요 약

본 연구에서는 탄화과정 중에 탄화로에서 발생하는 폐열을 활용하기 위해서 친환경건조시스템을 개발하여 그 특성을 검토하였다. 친환경건조시스템은 화석연료를 전혀 이용하고 있지 않고, 버려지는 폐열을 이용하기 때문에 환경친화적이다. 친환경건조시스템의 열원으로 이용되는 열수는 3개의 탄화로에 서로 연결되어 폐열을 회수하고 있고, 지속적인 열원의 공급으로 건조기내의 온도와 습도변화는 크지 않았다. 친환경건조시스템 설치가 목탄의 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 고정탄소, 정련도, 경도, 발열량, pH, 단위중량당 발열량, 수탄율을 분석하였다. 그 결과로부터 친환경건조시스템 설치가 목탄의 특성에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 따라서 버려지는 폐열을 회수하여 에너지로 이용하는 친환경건조시스템은 에너지절감과 농산물의 건조품질을 향상시켜 농가의 수익을 극대화할 수 있는 효과가 있을 것으로 생각된다.

ABSTRACT

This study was preformed to investigate the characteristics of the green drying system for utilizing heat wasted during carbonization process. The green drying system utilizing waste heat is one of environment-friendly equipments because it needs no other energies from fossil fuel and etc. In this study, waste heat from three kilns was collected by stainless connection pipe, and

*1 접수 2011년 10월 27일, 채택 2011년 11월 17일

*2 강원대학교 산림환경과학대학. College of Forest & Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

*3 국립산림과학원 녹색자원이용부 환경소재공학과. Div. of Environmental Wooden Material Engineering. Dept. of Green Resources Utilization, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-172, Korea.

† 교신저자(corresponding author) : 김남훈(e-mail: kimnh@kangwon.ac.kr)

in the green drying system the temperature and humidity was hardly changed. Charcoal characteristics as fixed carbon, refining degree, hardness, pH, calorific value, and charcoal yield were analyzed to investigate kiln performance due to installation of green drying system. As a result, the green dry system installation hardly affected the characteristics of charcoal. In conclusion, the green drying system can be applied to maximize the profit of the farm household income and contribute to reduce fossil energy.

Keywords: waste heat, klin, charcoal, green drying system

1. 서 론

2003년 이후 국제 원유가격의 상승세가 가속화 되고 있으며, 우리나라가 주로 의존하고 있는 Dubai 원유의 가격이 2007년부터 배럴당 60달러를 넘어 2008년 2/4분기에는 110달러를 넘어서 사상 초유의 고유가 사태가 나타났다. 이후, 약 3년이 흐른 지금, 국제유가는 다시 상승하고 있다.

최근의 유가 상승은 전쟁 등에 의한 정치적 원인이 아닌 석유시장의 구조적인 변화를 그 배경으로 하고 있어 단기적인 유가상승이 아닌 장기적인 추세로 이어질 가능성 확대됨에 따라 그 문제의 심각성이 더욱 크다(김, 2009). 이에 세계 각국은 고유가, 석유자원 고갈 및 기후변화의 대응책으로 적극적으로 추진되고 있는 신재생에너지 기술 개발 및 이용, 보급에 박차를 가하고 있다.

그러나 농업분야에서는 각 나라의 지역적 환경에 적합한 자연에너지를 활용하는데 집중되어 있으므로 연구 및 보급정책에 많은 차이가 있다. 우리나라의 경우에는 어떤 특정한 분야의 신재생 에너지로 석유를 대신하기에는 어려움이 많기 때문에 각 지역의 지역특성을 고려해 다양한 자연에너지와 농업부산물로부터 에너지를 얻는 바이오에너지를 복합적으로 이용하는 독립자가발전 마을을 구상하고 있다. 또한, 신재생에너지 정책에 부응하고자 “폐열활용 그린에너지”가 추진되고 있고, 국내 다수의 연구자들은 폐열을 회수하여 활용하고자 하는 연구를 수행하고 있다. 정 등(2010)은 고온용 폐열회수 열발전시스템에 관하여 연구하였고, 이 등(2005)은 폐 바이오매스로부터 발효에 의한 폐열을 회수하기 위한 발효열 교환

기를 제작하여 에너지 화수 장치로서의 가능성을 평가 분석하였다. 박(1992)은 폐기물을 소각 처리할 때 발생하는 소각폐열을 회수하여 폐열이용현황, 소각 폐열발생량 및 이용가능 폐열량을 측정하여 미활용 소각폐열량 및 미활용 소각폐열의 활용방안에 대해 검토하였고, 김 등(2000)은 온풍난방기의 배기열을 회수하여 온수로 변환하여 이용한 결과 배기열의 63%를 회수 할 수 있다고 보고하였다. 이처럼 소각로 및 발효시 발생하는 폐열 등을 다양한 방법으로 회수하여 활용하기 위해 많은 노력하고 있으나, 목탄 제조용 탄화로에서 발생하는 폐열에너지를 효율적으로 집적하고 사용하는 방법에 대해서는 충분한 연구가 진행되지 않고 있다.

현재 농가에서는 장기간 보관이나 운송의 편의 등을 위해 널리 사용되고 있는 식품의 보관 방법 중 하나인 농산물 건조를 과거에는 태양열 및 바람 등을 이용한 자연건조로 수행하였으나, 등유를 사용한 열풍건조가 농·임산물 건조에 일반적으로 사용되고 있다. 열풍건조기는 연중 사용기간이 대략 50일 정도이다. 가격대비 짧은 사용기간에도 불구하고 대부분의 농가들은 값비싼 건조기를 구입하여 이용하고 있어 농가 경영비를 증가시키고 있다. 따라서 신재생 에너지를 복합적으로 활용할 수 있는 기술의 개발을 각 분야 전문가와 에너지 활용 기술에 대해 지속적인 연구를 수행하여 유가상승으로 인한 농·임업인들의 경제적 부담을 덜어 주어야 할 것이다.

본 연구에서는 제탄과정 중에 탄화로에서 발생하는 폐열을 회수하여 농산물 건조의 에너지원으로 활용하기 위한 친환경건조시스템의 특성에 대해서 검토하고, 친환경건조시스템 설치가 목탄의 특성에 미

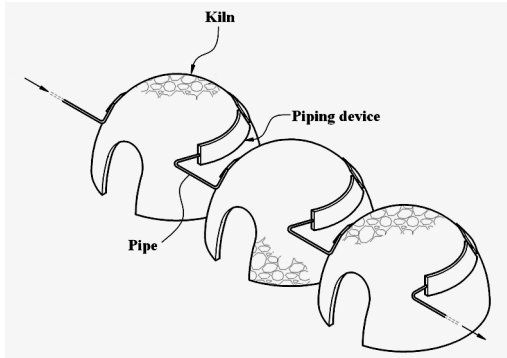


Fig. 1. The accumulation system of the waste heat.

치는 영향에 대해서 조사하였다.

2. 실험 및 방법

본 실험에는 강원도 홍천군 화촌면 소재 (주)홍천 참숯에서 백탄을 주로 제탄하고 있는 개량형 탄화로를 이용하였다.

2.1. 실험장치

본 연구에서 이용되어진 친환경건조시스템은 폐열을 건조기의 열에너지원으로 이용하기 위한 폐열회수시스템과 농·임산물을 화석연료를 에너지원으로 활용하지 않는 친환경적으로 건조할 수 있는 건조기로 구성되어 있다.

2.1.1. 폐열회수시스템

본 연구에서 실시한 개량형 전통식 탄화로에서 발생하는 폐열회수시스템은 저자들이 보유하고 있는 특허(제10-0920741호 “탄화로의 폐열 에너지를 이용한 열교환장치”)기술로 제작하였다. 본 기술은 Fig. 1에 나타난 것과 같이 경제적으로 저렴하고 수급이 용이하며, 뛰어난 열회수율을 얻을 수 있는 물을 이용하여 탄화로의 벽면을 따라 설치된 배관장치를 통해 탄화과정에서 발생하는 폐열과 내부를 흐르는 유체간의 열교환을 가능하게 하는 원리이다. 이 때 폐열

회수용 열원인 물의 저장탱크에는 3,000 ℓ의 용량을 유지하도록 설계하였다. 폐열회수용 배관장치에 사용된 재질은 고내식성 스테인리스강으로 두께 3.0 mm, 높이 300 mm, 폭 10 mm, 길이 244 mm로 제작하여 탄화로의 둘레를 따라 일정간격으로 배치하였으며 각각의 배관장치는 연결 파이프를 통해 연속적으로 고온의 유체를 회수 가능하게 제작하였다. 배관장치는 이전의 연구(권, 2011)에서 제탄과정에서 발생된 열에너지가 제탄후에도 탄화로 천장과 내벽에 상당한 양의 열에너지가 존재하고 있는 것으로 보고한 결과를 근거로 하여, 탄화로 천장 부위를 지지하고 있는 탄화로 벽 부분의 외측에 설치하였고, 그 바깥쪽은 흙으로 덮었다. 폐열 회수를 위한 배관장치는 탄화로의 벽 주위를 둘러싸는 형태로 설치되었다. 열교환기를 통해 배출되는 유체의 온도를 측정하기 위해 열전대를 열교환기 입구와 출구에 부착하였다.

2.1.2. 친환경건조기

Fig. 2와 3은 본 연구에서 개발한 개량형 탄화로에서 발생하는 폐열 에너지를 이용한 친환경 건조시스템이다. 이것은 가로 4,000 cm, 세로 3,000 cm, 높이 2,800 cm의 선반식 건조기로서 벽면은 외기 온도에 따른 건조기내의 온도변화를 최소화하도록 하기 위해 우레탄으로 충전하고 두께 15 cm의 판넬을 사용하였다.

건조기 내에는 농·임산물을 건조 할 수 있는 8단의 건조틀을 설치하였고, 열풍을 균일하게 유동되도록 하기 위해 다공성 채반을 이용하였다. 또한, 제한된 공간에서 작업능률향상을 위해 채반을 슬라이드 방식으로 운영하도록 설계하였다(Fig. 3). 건조효율을 최대한 높이기 위해 열전달성능이 우수한 Heat pipe (Figs. 3, 4)를 사용하였다. 이것은 건조기의 바닥에 일정간격을 두고 굴곡시켜 건조기 내에 열을 순환시킬 수 있도록 건조기 바닥에서 50 mm 정도 밑의 공간에 설치하였다.

배관장치와 건조장치 사이에는 고온의 폐열회수 유체순환을 위하여 배관의 유입측에 순환 펌프를 설치하였다. 이때 순환 펌프는 컨트롤러에 의해 동작이 제어될 수 있도록 제작하였다(Figs. 3, 4).

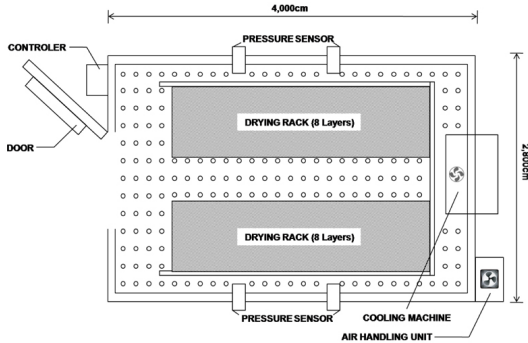


Fig. 2. Sectional view of the green dryer using waste heat.

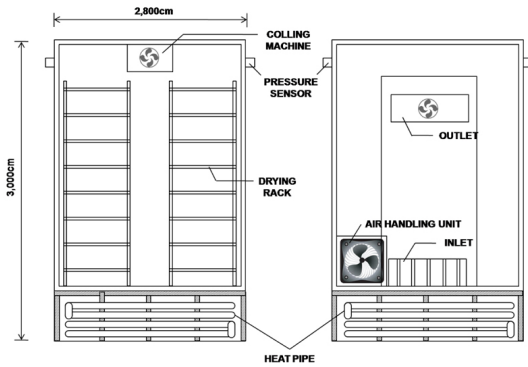


Fig. 3. Front and rear view the green dryer using waste heat.

온도제어장치는 고온유체 배관의 유입측에 설치된 전자개폐밸브와 전기적으로 연결되도록 하였다. 따라서 건조기 내의 온도 조절은 온도제어장치에 의해 전자개폐밸브의 개폐 또는 배관으로 폐열에너지 집적장치에서 유입되는 고온 유체 양을 조절함으로써 가능해지도록 설계하였다.

또한 건조기에는 열기 순환용 송풍기가 설치되어 있어 송풍작용에 의해 건조기내의 공기를 끌고루 순환시켜줌으로써 건조기의 내부 전체 온도 분포를 균일하게 유지할 수 있게 제작되었다.

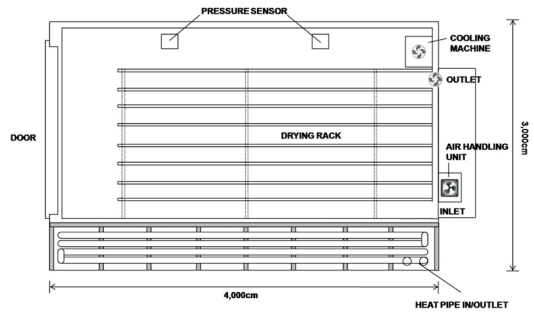


Fig. 4. Side view of the green dryer using waste heat.

2.2. 친환경 건조시스템 설치 전·후 목탄의 특성 분석

2.2.1. 공시재료

본 연구에서는 (주)홍천참숯에서 굴참나무(*Quercus variabilis* BLUME)를 사용하여 제단된 백탄을 공시재료로 하였다.

2.2.2. 목탄의 특성 조사

2.2.2.1. 공업분석

목탄을 각각 60mesh 정도의 시료로 제작하여 목탄에 함유된 수분(KS E ISO589 무연탄-총 수분 함량의 측정 참조), 회분(KS E ISO1171 고품광물 연료-재 함량 측정 참조), 휘발분(KS E ISO562 무연탄과 코크스-휘발성 물질의 결정 참조), 고정탄소를 중량비율로 측정하였다.

2.2.2.2. pH 측정

목탄 1g을 삼각 플라스크에 넣어서 증류수 100 ml 을 가한 후 5분간 자비시켜 증발한 양의 증류수를 가해 냉각 후 pH meter로 측정하였다.

2.2.2.3. 정련도 측정

정련도는 목탄정련계(三陽電機製作所製)를 이용해서 측정하였다. $10^0 \sim 10^8 \Omega/cm$ 의 전기 저항을 측정하여 그 지수 0~8의 정련도로 그 이상의 것은 정련도 9로 나타낸다.

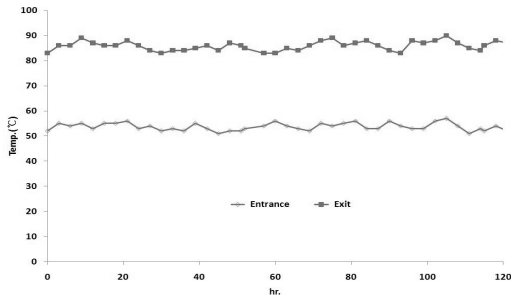


Fig. 5. Temperature variation of recovery waste heat from kiln during.

2.2.2.4. 경도측정

목탄의 경도는 목탄경도계로 이용하여 측정하였다. 경도계는 납, 안티몬, 동, 아연, 주석, 강철 등을 소정 배합한 것으로, 경도의 차이로 20종류의 금속편이 이용되며 가장 무른 납만으로 된 금속편이 1번이고, 가장 단단한 강철의 금속편은 20번이다.

2.2.2.5. 발열량 측정

발열량은 시료 0.5 g을 열량계(Parr 6300 calorimeter)에 넣고 산소를 충전하고 점화하여 연소전후의 온도변화로부터 열량을 계산하였다.

2.2.2.6. 수탄율 측정

수탄율은 탄화로에서 실제로 탄재가 탄화되어 목탄이 생산되는 양을 나타내는 것으로서 1기의 탄화로에서 생산되는 목탄의 총량을 원료 탄재에 대한 중량 백분율로 나타냈다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 탄화과정동안 폐열회수용 유체의 온도변화

Fig. 5는 목탄 제탄과정동안 폐열회수용 유체의 온도변화를 경시적으로 측정된 결과이다. 본 연구에서 이용된 폐열회수용 유체보관용 탱크용량은 3,000 ℓ이다. Fig. 5에서 입구온도는 유체가 폐열회수시스템에 들어가기 전의 온도를 말하며, 출구 온도는 유체

가 폐열회수시스템을 통해 순환되어 친환경 건조기에 들어갈 때의 온도를 의미한다. 유체의 온도가 폐열회수시스템에 들어가기 전에 높은 이유는 폐열회수로 보관된 유체를 재이용하기 때문이다. 전체적으로 탄화과정동안 회수되는 유체의 온도변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 이것은 본 연구의 폐열회수시스템은 각각 다른 제탄시간으로 운영되고 있는 3기의 탄화로에 연결되어 있는 상태에서 지속적으로 유체에 의해 폐열을 회수하기 때문에 폐열회수시스템 내의 유체 온도변화의 폭은 크지 않은 것으로 판단된다.

폐열회수시스템을 통해 상승하는 유체의 온도가 다소 편차가 있기 때문에 평균 25°C정도 가정해서, 열용량을 계산하였다. 열용량공식 $Q = mc\Delta T$ 식에서 $Q = 3,000 \text{ kg} \times 4,190 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times 25^\circ\text{C} = 314,250,000 \text{ J}$ (75,420 kcal)의 폐열회수효과를 얻을 수 있었다.

본 연구의 폐열에너지를 에너지를 활용한 친환경 건조시스템은 제탄공정에서 발생하는 폐열을 회수하여 농·임산물의 건조를 위한 에너지 자원으로 활용하기 때문에 연료비에 대한 부담이 적어 고유가시대에 폐열을 이용한 연료비 절감으로 농가경영비를 줄여 농가소득증대에 크게 기여하는 것으로 생각된다. 또한 폐열을 고온의 유체로 변환하여 건조하기 때문에 건조기간 동안 유해물질이 전혀 발생하지 않고 등유나 전기 등에 의한 화재의 위험성이 없으므로 건조된 농산물 등에 대한 안전성을 확보할 수 있는 큰 이점을 지니고 있다.

3.2. 폐열회수시스템을 활용한 친환경 건조기 내의 온·습도 변화 측정

일반적으로 열풍건조는 건조소요에너지가 많고, 고온일 경우 건조농산물의 품질이 저하되는 것으로 알려져 있다. 친환경건조기 내의 온·습도 변화 측정은 건조농산물의 품질을 높이기 위해 일반적인 농산물 열풍건조기(55~60°C)에 비해 낮은 온도로 설정하였다. 이에 목표온도 50, 40°C, 목표습도 30, 40%로 각각 설정하였다. 처음 건조기를 가동시켜 목표온도까지 도달되는 시간은 약 15시간이 소요되었으며 각 설정온도에 따른 도달시간의 차이는 나타나지 않

Table 1. Proximate analysis results before and after installing green dryer

	No.	Moisture content (%)	Ash (%)	Volatile matter (%)	Fix carbon (%)
Before installing green dryer	1	3.27	2.25	15.34	79.14
	2	2.29	2.70	8.95	86.06
	3	3.97	3.01	9.95	83.07
	4	3.37	2.22	7.29	87.12
	5	3.56	2.59	12.25	81.60
	Avg.		3.29 ± 0.56	2.55 ± 0.29	10.76 ± 2.80
After installing green dryer	1	3.25	3.12	13.26	80.37
	2	3.66	2.55	15.21	78.58
	3	3.58	2.21	8.59	85.62
	4	3.95	2.65	9.98	83.42
	5	2.26	2.59	12.11	83.04
	Avg.		3.34 ± 0.58	2.62 ± 0.29	11.83 ± 2.34

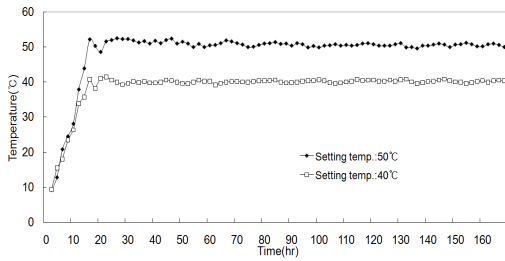


Fig. 6. Variation of temperature with the elapsed time in the dryer using waste heat.

았다. 또한 목표습도 도달시간은 약 24시간이 소요되었다. 설정온·습도 도달후, 건조기 내의 온도 및 습도의 변화폭은 목표 온·습도의 ± 2°C가 유지되는 것으로 조사되어 건조기내의 열손실이 거의 없고 열교환효율이 우수한 것으로 판단되었다(Figs. 6, 7). 건조기가 가동되는 동안 건조기 내의 온·습도가 꾸준히 유지되는 이유는 폐열회수시스템이 1기의 탄화로에서 회수하지 않고 3기의 탄화로에 연결되어 있고, 각 탄화로의 다른 제탄일정에 의해 지속적으로 열에너지 공급이 가능하기 때문이다. 따라서 친환경 건조시스템은 지속적으로 공급되는 열원과 건조기에 설치된 온도제어장치, 열기 순환용 송풍기에 의한 제어로 건조되기 때문에 고수분 함유 농·임산물 건조

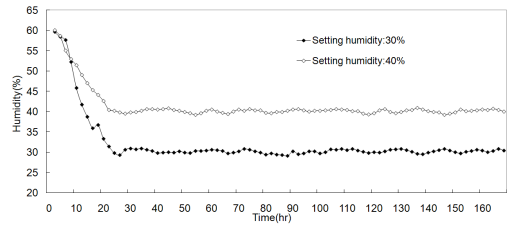


Fig. 7. Variation of humidity with the elapsed time in the dryer using waste heat.

시 수분증발로 건조소요시간이 길어지는 문제를 해결할 수 있으며, 또한 설정온도에서 균일하게 건조되기 때문에 건조농·임산물의 품질을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

3.3. 목탄의 특성 분석

3.3.1. 목탄의 공업분석

Table 1은 친환경 건조시스템 설치 전과 설치 후 탄화로에서 제탄된 목탄을 5회에 걸쳐 측정된 공업 분석결과로서 수분, 회분, 휘발분, 고정탄소를 중량 비율로 측정하였다. Abe (1988)에 의하면 목탄의 공업분석은 탄화온도의 추정과 품질평가에 중요한 분석수단이라고 하였다. 친환경 건조시스템 설치 전 공

Table 2. Basic properties of charcoal before and after installing green dryer

	No.	Refining degree	Hardness	Heating value (kcal/kg)	pH	Quantity of heat per unit area (cal/cm ²)	Density (g/cm ³)
Before installing green dryer	1	1	12	7330	9.4	5330	0.83
	2	1	12	7515	9.0	5256	0.84
	3	1	12	7296	9.2	5450	0.83
	4	1	12	7320	9.5	5259	0.85
	5	1	12	7334	9.9	5582	0.80
	Avg.	1 ± 0.0	12 ± 0.0	7359 ± 79	9.4 ± 0.3	5375 ± 125	0.83 ± 0.02
After installing green dryer	1	1	12	7321	9.8	5204	0.80
	2	1	12	7695	9.8	5395	0.85
	3	1	12	7254	9.7	5294	0.82
	4	1	12	7325	9.5	5362	0.82
	5	1	12	7298	9.8	5232	0.84
	Avg.	1 ± 0.0	12 ± 0.0	7378 ± 160	9.7 ± 0.1	5297 ± 73	0.83 ± 0.02

시 탄화로에서 제탄된 목탄의 평균 수분은 3.29%, 회분 2.55%, 휘발분은 10.76%, 고정탄소 83.40%이었다. 친환경 건조시스템 설치 후 공시 탄화로에서 제탄된 목탄의 평균 수분은 3.34%, 회분 2.62%, 휘발분은 11.83%, 고정탄소 82.21%로 나타났다. 이전에 저자 등(2011)은 보고한 개량형탄화로에서 제탄된 목탄에 대한 공업분석 결과, 수분은 6.34~7.90, 회분 1.63~2.71%, 휘발분은 3.07~3.78, 고정탄소 85.9~89.9%의 결과에 비해 수분과 휘발분의 차이로 고정탄소량이 다소 낮았다. 이것은 계절적 제탄시기에 따른 차이에 기인하는 것으로 생각된다.

그러나 국립산림과학원에서 고시한 목탄의 규격과 품질기준(2007)인 수분 10% 이하, 회분 3.0% 이하의 규정에 준하고 있어 개량형 탄화로에 설치된 친환경 건조시스템은 제탄된 목탄의 특성에 크게 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

3.3.2. 정련도, 경도, pH, 발열량

목탄의 물성은 목탄의 정련도, 경도, 발열량 등으로 분석한다. 목탄의 정련도는 목탄의 탄화 정도를 나타낸 것으로, 친환경 건조시스템 설치 전과 후 목탄의 정련도가 모두 낮은 전기저항 값을 보여주고 있어 탄화가 잘 되어 불순물이 적은 목탄으로 판단되었다. 목탄의 경도는 목탄의 단단한 정도를 나타내는

것으로, 친환경 건조시스템 설치 전과 후 목탄의 경도가 모두 12로 나타나 단단하게 제조된 백탄임을 알 수 있다.

목탄은 고행연료이기 때문에 발열량은 연료평가에 있어서 없어서는 안되는 중요한 변수이다. 국립산림과학원에서 고시한 목탄의 규격과 품질 기준(2007)에서 목탄의 발열량은 5,500 kcal/kg 이상으로 규정하고 있다. 본 연구에서 얻어진 목탄의 발열량은 목탄의 품질 기준보다 다소 낮았다.

목탄은 pH 9.0~9.9의 약 알칼리성인데 목탄의 pH는 제탄온도와 목탄 속에 포함된 회분의 양에 따라 다르게 나타나는데, 일반적으로 저온에서 구운 숯(검탄, 흑탄)은 약산성이지만 높은 온도에서 구운 숯(백탄)은 알칼리성이다(김과 공, 1999) 그린건조시스템 설치 전과 후의 차이는 거의 없었다. 1,000°C에서 제탄된 백탄은 pH 9.0~9.5 정도로 본 실험의 결과와 비슷한 값을 보여주었다.

국립산림과학원에서 고시한 목탄의 품질인증기준(2010)에서 연료용 목탄은 연료용 목탄은 고급과 일반으로 구분하고 있다. 고급은 단위중량당 발열량 7,800 kcal/kg 이상, 일반은 7,000 kcal/kg 이상~7,800 kcal/kg 미만, 7,000 kcal/kg 미만은 등급 외로 규정하고 있다. 친환경 건조시스템 설치 전과 후 목탄의 단위 부피당 열량은 일반목탄의 등급으로 나타났

Table 3. Charcoal yield

(Unit : %)

	Ref. (권 등, 2008)			Ref. (권 등, 2011)	Present work
	A	B	C		
Charcoal yield	11.00 ± 1.25	11.17 ± 0.88	10.75 ± 0.87	128 ± 0.10	126 ± 0.10

으며, 설치 전과 후의 밀도는 평균 0.83 g/cm³였다.

3.3. 수탄율

본 연구에서 얻어진 백탄의 수탄율은 12.6% 정도로 권 등(2008)에 보고한 수탄율 9.8~12.3%에 비해 0.4% 정도 증가하였지만, 최근에 보고(권 등, 2011)에 비해서는 큰 차이를 보여주지 않았다. 따라서 친환경건조시스템설치가 목탄의 수탄율에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 제탄과정 중에 탄화로에서 발생하는 폐열을 회수하여 친환경 건조기의 에너지원으로 활용하기 위한 시스템의 특성에 대해서 검토하고, 친환경 건조시스템 설치가 목탄의 특성에 미치는 영향에 대해서 조사하였다. 친환경건조시스템의 열원으로 이용되는 유체는 3기의 탄화로에 서로 연결되어 폐열을 회수하고 있어 지속적으로 열원을 공급하고 있기 때문에 온도변화의 폭은 크지 않았다.

목표온도 50, 40°C, 목표습도 30, 40%로 설정하여 친환경건조기 내의 온·습도 변화를 측정한 결과, 건조기를 가동시켜 목표온도까지 도달되는 시간은 약 15시간, 목표습도는 24시간이 소요되었으며 각 설정 온도에 따른 도달시간의 차이는 나타나지 않았다. 친환경건조기 내의 온도 및 습도의 변화폭은 목표 온·습도에서 ± 2°C정도로 유지되는 것으로 조사되어 건조기내의 열손실이 거의 없고 열교환효율이 우수한 것으로 판단된다.

친환경 건조시스템 설치 전과 설치 후 탄화로에서 제탄된 목탄의 특성을 조사한 결과, 친환경 건조시스템 설치 전 공시 탄화로에서 제탄된 목탄의 평균 수분은 3.29%, 회분 2.55%, 휘발분은 10.76%, 고정탄

소 83.40%였다. 친환경 건조시스템 설치 후 공시 탄화로에서 제탄된 목탄의 평균 수분은 3.34%, 회분 2.62%, 휘발분은 11.83%, 고정탄소 82.21%였다. 또한 정련도, 경도, 발열량, pH, 단위중량당 발열량, 수탄율을 친환경건조시스템의 설치 전과 후를 비교한 결과, 친환경건조시스템의 설치가 목탄의 특성에 크게 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

따라서 버려지는 폐열을 회수하여 에너지로 활용한 친환경건조시스템은 목탄의 특성에 영향을 주지 않으면서 농·임산물의 건조를 위한 에너지 자원으로 활용할 수 있기 때문에 고유가시대에 연료비절감으로 농·임업인의 농업경영비를 줄여 농가소득증대에 크게 기여하는 친환경 건조시스템이라고 사료된다. 또한 유류 소비 절감에 따른 이산화탄소 배출 감소로 환경개선에 기여할 것으로 기대되며, 온실효과 감축에 따른 저탄소 녹색성장 기반 구축과 단순 목탄 제조시설이 아닌 에너지 회수시설 즉, 친환경에너지 시설로 전환할 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 산림청 '산림과학기술개발사업 과제번호: S120910L070110' 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 권구중, 권성민, 장재혁, 황원중, 김남훈. 2011. 개량형탄화로를 이용한 제탄과정 중 탄화로 내·외벽 온도변화 및 목탄특성. 목재공학 39(3): 230~237.
2. 권구중, 박형수, 이성재, 권성민, 이귀현, 김남훈. 2008. 숙련공에 의한 목탄제조과정 중 전통식 탄화 내의 온도변화(I). 산림바이오에너지 27(1): 30~35.
3. 국립산림과학원. 2007. 목재의 규격과 품질. 국립산림과학원 고시 제2007-8호

4. 국립산림과학원. 2010. 목탄의 품질인증기준. 국립산림과학원 고시 제2010-06호
5. 김병로, 공석우. 1999. 미이용 목질폐잔재의 탄화 이용 개발(Ⅰ) - 수종의 간벌재 탄화와 탄화물의 특성 -. 목재공학 27(2): 70~77.
6. 김영일. 2009. 유가상승이 경제에 미치는 영향과 대응 방안에 관한 연구. 관세학회지 10(4): 471~492
7. 김영중, 유영선, 장진택, 강금춘, 이건중, 신정웅. 2000. 온풍난방기의 배기열을 이용한 지중 난방용 온수공급 시스템의 열회수특성. 농업기계학회지 25(3): 25~29.
8. 박정래. 1992. 배가스의 폐열회수를 위한 직접 접촉 열과 환기에서의 열전달 현상연구. 석사학위논문. 중앙대학교.
9. 이충구, 이세균, 이계복, 이석호, 유인선. 2005. 폐바이오매스를 이용한 폐열 회수 열교환기에 관한 연구. 에너지공학 14(4): 248~258.
10. 정재훈, 김우철, 이진호, 유태우. 2010. 소규모 산업 폐열 회수용 열전발전시스템의 출력특성에 관한 실험적 연구. 대한기계학회 논문집 34(4): 383~390.
11. Abe F. 1988. The thermochemical study of forest biomass. Bull. For. & For. Prod. Res. Inst. 35: 1~95.