

최 종
연구보고서

친환경 전통식 탄화로 모델 개발

Development of green traditional
carbonization kiln

연구기관

강원대학교

농림수산식품자료실



0016195

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “친환경 전통식 탄화로 모델 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2008년 7월 3일

주관연구기관명 : 강원대학교

총괄연구책임자 : 김 남 훈

연 구 원 : 이 귀 현

연 구 원 : 이 성 재

연 구 원 : 조 재 현

연 구 원 : 권 성 민

연 구 원 : 은 동 진

연 구 원 : 이 선 화

연 구 원 : 최 승 준

연 구 원 : 고 석 호

연 구 원 : 김 상 규

연 구 원 : 김 수 한

연 구 원 : 신 동 훈

요 약 문

I. 제 목

친환경 전통식 탄화로 모델 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

일반적으로 가스 배출구가 있는 용기 내에서 공기의 공급을 차단하고 가열하면 연소되지 않고, 훈소(燻燒)되면서 각종 구성원소가 서로 결합하여 여러 가지 화합물을 만든다. 이들은 다시 복분해(複分解)에 의하여 복잡한 화합물로 변화되어 휘산되고 최후에는 목탄(木炭)만 남게 된다(심 등, 1994). 목탄은 탄화과정과 소화방식에 따라 크게 농·임·축산업 및 산업용으로 쓰이는 흑탄(黑炭)과 공예용 및 일상생활 등에 광범위하게 이용되고 있는 백탄(白炭)으로 구분할 수 있다(임업연구원, 2000).

이러한 목탄은 기공의 내부 표면적이 1g당 200~400m²의 단면적을 갖고 있어, 미생물이 서식하기에 적합한 구조를 지니고 있다. 옛날부터 목탄은 간장이나 된장을 담글 때, 집지을 때, 해인사 팔만대장경 보관 및 이질과 설사치료 등 다용도로 사용되었으며, 토양개량제, 공기, 상수도 및 산업폐수 등의 환경정화, 식물의 성장촉진, 탈취효과, 가축의 질병예방과 치료, 고급육 생산을 위한 육질개선 효과와 사료효율 개선 및 숯가루 요법으로 한방에 사용하기도 한다. 특히 환경농업의 일환으로 한우, 양계, 시설채소 및 과수 등에 다양하게 이용되고 있다.

또한 목탄과 함께 생산되는 목초액(Pyroligneous acid)은 유기산 성분(초산, 개미산, 프로피온산 및 낙산 등), Germanium, Alantoin, 무정형탄소, 비타민 B₂, 비타민 B₁₂ 및 Pyrogallol 등의 미량성분 그리고 phenol성분 등의 미량 화합물로 구성되어 있다. 목초액은 약취제거, 인체의 건강과 질병 치료의 가능성에 대해서도 연구되어 왔으며, 최근 국내에는 가축사료의 첨가제로서 육질과 생산성 향상에 대한 많은 연구가 이루어지고 있는 실정이다(성 등, 2006; 임 등, 2002; 유와 강, 2003; 김과 조, 2004; 황 등, 2001; 김 등, 2003; 정 등, 2006).

이상과 같이 목탄은 농업, 축산, 공업 분야에서 정수용, 식품보존용, 온습도조절용 등으로 광범위하게 사용되고 있어 금후 숯의 수요는 크게 증가할 것

으로 전망되고 있으며, 21세기의 인간생활에서 목탄은 환경친화적 재료로서 가장 필요로 하는 신소재로 등장될 것으로 생각된다.

강원도는 목탄의 원료인 참나무과 수종의 분포 및 생육밀도가 높아 목탄원료 공급이 국내에서는 가장 용이한 지역으로 국내 목탄생산량의 60%이상을 차지하고 있다. 또한 전국적으로 200여개의 전통식 탄화로 공장이 분포하고 있는데 탄화과정 중 발생하는 열에너지를 유효하게 활용하는 공장은 없으며, 특히 탄화과정 중 발생하는 배기가스는 환경오염물질로 인식되어 지역주민들과 민원이 자주 발생하여 공장으로서의 운영에 상당한 어려움을 겪고 있어 배출가스의 최소화 방안이 요구되고 있다.

탄화과정 중 전통식 탄화로내의 온도는 1200℃이상이고 연통부위로 배출되어 버려지는 열기(가스)의 온도는 100℃ 이상인 것을 감안할 때, 전통식 탄화로의 1회 탄화공정이 약 6일 정도의 긴 시간이 소요되므로 이 기간 중 발생하는 열에너지를 이용하여 목재건조를 위한 스케줄의 개발 및 에너지 자원의 절약 등의 유효활용방안이 필요하다. 강원도는 국내 생산백탄의 약 70%를 차지하는 목탄 생산의 최적지임에도 불구하고 목탄 제조과정에서 배출되는 연기로 인하여 대기오염의 문제 및 인근 주민들의 항의로 지속적인 생산에 어려움이 있기 때문에 배출가스를 최소화하여 주위환경에 부담을 최소화하는 배기시스템의 개발이 시급한 상황이다.

세계 여러 나라에서는 WHO의 권고치를 기준으로 하여 각국의 실정에 맞게 미세먼지, SO₂, NO₂, O₃등과 같이 대기오염상태를 대표할 수 있는 물질에 대해 기준을 정하여 정책목표로 삼고 있다. 그래서 정부에서는 먼지에 대한 대기오염 및 인체의 피해를 최대한 줄이기 위해 먼지 배출 허용기준을 점차 강화하고 있다. 각종 산업 활동 과정에서 소모되는 연료와 원료물질로 인해 각종 대기오염 물질이 유발되고 있으며 대부분 산업체에서 배출되는 미세먼지는 기존의 집진기로 거의 포집제거가 불가능하여 대부분이 대기 중으로 방출되고 있다.

공장이 밀집되어 있는 지역에서는 대기 중에 미세먼지 입자가 고농도로 부유되어 있어 지역주민과 생산 활동에 참여하는 종사자들의 호흡기에 유입 침착되고 있다고 볼 수 있다. 입자크기의 범위가 0.1 ~ 10 μm사이의 부유 먼지는 주로 산업의 생산 및 연소공정과 고체상 물질의 분쇄, 수송, 공정 등에서 주로 발생되고 있으며, 대기 중에 부유된 먼지 층에서 8 μm이하의 호흡 시 호흡기로 유입되는 입자크기로써 6 μm이하인 것은 약 10%정도가 인체 내의 폐 내로 유입되고, 4 μm이하인 것은 30%, 2 μm이하인 것은 약 80%, 1 μm이하인 것은 약 99%가 폐에 유입되어 폐에 침착된다고 보고되고 있다. 앞으로 산업발전이 계속됨에 따라서 먼지의 배출량이 계속증가 할 것이며, 이로 인해 먼지에 의한 대기오염이

심각해질 뿐만 아니라 인간에 미치는 피해도 심각해 질 것으로 예측된다(Hinds 등, 1982).

따라서 본 연구에서는 목탄제조과정에서 발생하는 환경오염의 방지, 생산성 향상, 농가의 소득증대를 위하여 탄화로에서 발생하는 고온의 폐열에너지를 효과적으로 사용할 수 있는 건조 시스템과 배출가스 최소화장치를 개발하여 친환경 전통식 탄화로 모델을 개발하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 전통식 탄화로의 구조분석 및 탄화로의 온도측정

- 가. 전통식 탄화로의 구조 분석
- 나. 탄화과정 중 전통식 탄화로의 온도 측정

2. 폐열에너지 건조시스템 설계 및 제작

- 가. 폐열에너지 집적시설 설계
- 나. 폐열에너지 건조시스템 제작

3. 폐열에너지를 활용한 건조실 내의 온·습도 변화 측정

4. 폐열에너지 건조시스템의 성능평가 및 경제성 분석

5. 전통식 탄화로에 적합한 배출가스 제거방법 검토

- 가. 수압분무식 분진 제거장치의 특성 분석

6. 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치 설계 및 제작

- 가. 목초액 분사장치 설계
- 나. 목초액 분사장치 제작

7. 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치 성능평가

8. 전통식 탄화로에서 제탄된 목탄의 해부학적 특성

9. 폐열 집적설비 및 배출가스 최소화 설비 부착 전·후의 목탄 특성

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

가. 탄화로에서 발생하는 폐열에너지의 유효활용 기술 개발

1) 전통식 탄화로의 구조 분석 및 탄화로의 온도측정

가) 전통식 탄화로의 구조 분석

탄화로에서 발생하는 폐열에너지의 활용과 배출되는 가스의 최소화 방법을 연구하기 위한 일환으로 탄화로의 구조를 분석하고, 자동온도측정기록계를 이용하여 전통식 탄화로에서 제탄되는 과정 중 탄화로 내의 온도변화를 측정하였다.

강원도 홍천군 화촌면에 소재한 (주)홍침참숯 소유의 전통식 탄화로의 구조를 조사하였다. 탄화로는 바닥을 진흙으로 약 20cm정도로 다졌고, 배연구쪽이 탄화로 입구보다 약 6cm정도 낮았다. 배연구는 돌을 이용하여 폭 17cm, 높이 6cm정도로 제작되었다. 굴뚝은 돌과 진흙으로 쌓았는데 아래쪽을 넓게 하고 위로 올라갈수록 좁게 만들어 바깥바람이 탄화로 안으로 역류해 들어가지 못하게 한 구조이다. 탄화로 입구는 사람이 원목을 가지고 들어갈 수 있도록 높이 160cm, 폭 50cm 정도이고, 탄화로입구 옆에 별도로 가로·세로 60cm정도, 길이 75cm정도의 아궁이가 위치하였다. 탄화로 입구를 막을 때는 내화벽돌과 흙으로 쌓아서 공기가 통하지 않게 하였다. 천장은 둥근 형태를 이루며 벽쪽은 두껍고, 가운데 부분은 비교적 얇다. 천장은 탄화로 중에서 가장 열을 많이 받는 곳으로 두꺼운 철판을 대고 그 위에 흙으로 덮고 철판을 굽은 빔으로 지탱한다. 탄화로 내부는 가로 340cm, 세로 310cm, 높이 210cm의 크기로 제작하였고, 탄화로 내의 목재량은 약 9~9.5m³ 정도이다.

숯 제조자들 사이에는 “숯가마에 손을 대지 마라.” 또는 “숯가마에 손을 대면 숯의 품질이 떨어진다.”라는 속설로 숯가마의 보수를 제외하고는 절대 개조 등을 하지 않으나 본 연구를 통한 전통식 탄화로의 구조를 분석해 본 결과 비교적 탄화로의 탄화기능에 영향을 주지 않는 탄화로 상층부를 통해 폐열 에너지의 회수가 가능할 것으로 판단되었다.

나) 탄화과정 중 전통식 탄화로의 온도 측정

숙련자가 탄화과정을 진행하는 동안 탄화로내의 온도를 측정하였다.

탄화로에 탄재를 적재하고 아궁이에 불을 지핀 후 탄재의 탄화가 시작되어 가열을 멈출때의 탄화로내의 온도는 670~800℃의 범위였다. 이 때 연통

온도는 82~90 °C의 범위였고, 목탄제조과정시 부산물로 생성되는 목초액을 받기 시작한다. 그 후 연통에서 백갈색의 연기가 올라오고, 연통온도가 150°C정도 되었을 때 목초액 채취를 중지한다. 이 때 탄화로내 온도는 420~520°C의 범위였다. 연기가 연한 파란색에서 점차 변화하여 무색을 띄는데, 이때가 탄화종료점이 되는 시기로서 탄화로내의 온도는 약 700°C, 연통부의 온도는 370~430°C의 범위였다. 탄화가 끝난 후에 정련과정과 출탄작업을 실시한다. 이 때 제탄과정 중 최고 온도에 달하게 되는데, 탄화로내 온도는 960~1020°C 범위였고, 연통 온도는 650~750°C 정도였다.

따라서 탄화로 외벽을 통해 폐열에너지를 집적하였을 때 물과 같은 열전달 물질로 보일러를 이용할 경우 충분한 온도의 폐열이 집적될 것으로 판단되며 열축적 시스템의 제작이 가능할 것으로 사료된다.

2) 폐열에너지 건조시스템 설계 및 제작

폐열을 집적하는 동안 손실되는 열을 최소화하기 위하여 집적시설은 숯가마와 최대한 근접한 장소로 선정하였다. 폐열의 집적방법은 여러 동의 숯가마 벽면 주위를 경유하는 방식으로 탄화로벽 내의 내화벽돌과 흑벽 사이에 고온에 강한 스테인리스 관을 삽입하여 관 내로 물을 순환시켰다. 관 내의 물은 물탱크에 저장된 물을 순환시키기 위해 장착된 펌프를 이용하여 탄화로 벽을 통해 순환하며 가열되고 가열된 물은 보일러로 이동하여 열을 축적하고 보일러를 가열한 물은 건조시스템으로 이동한다. 제작한 건조기의 제원은 2평형 선반식이며, 건조형식은 열풍 순환식으로 하여 내부의 온도 및 습도를 조정 가능하게 제작하였다.

3) 폐열에너지를 활용한 건조실 내의 온·습도 변화 측정

건조실 내의 온습도 변화를 측정하기 위하여 목표온도 50°C, 40°C, 목표 습도 30%, 40%로 각각 선정하였다. 건조기를 가동시켜 목표온도까지 도달되는 시간은 약 15시간이 소요되었으며 각 선정온도에 따른 도달시간의 차이는 나타나지 않았다. 또한 목표습도 도달시간은 약 24시간이 소요되었다. 건조기 내의 온도 및 습도의 변화폭은 목표 온·습도의 $\pm 5^\circ\text{C}$ 가 유지되는 것으로 조사되어 높은 건조성능을 보여주었다.

4) 폐열에너지 건조시스템의 성능평가 및 경제성 분석

현재 농가의 대부분이 사용하는 등유건조기(면세 등유 약 1,200원/L으로 가정)와 폐열에너지를 활용한 건조시스템을 비교해 보면, 등유건조기를 이

용하여 생표고를 건조할 경우 3.3㎡규격의 건조기를 이용하여 생표고 200kg을 건조하여 건표고 40kg을 얻기 위해서는 약 15시간이 소요되며, 등유 약 60L(72,000원)와 전기료 약 3,000원, 계 75,000원 정도가 소요된다. 3.3㎡의 건조기로 생고추 400kg을 건조할 경우 약 36시간이 소요되며 등유 약 70L(약 85,000원), 전기료 약 5,000원, 계 약 90,000원이 소요된다. 당귀는 1.5평의 건조기에 5,400kg을 건조할 경우 완전건조 될 때까지 약 12일 정도 소요되어 1,200kg의 건조 당귀가 얻어지며, 이 때 소요되는 건조비용은 등유 약 600L(720,000원)와 전기료 약 30,000원으로 총 750,000원이 소요되었다.

본 연구의 폐열에너지를 활용한 건조기는 위에서 기술한 것과 같은 연료비가 전혀 들지 않아 에너지가 크게 절감되었으며, 등유에 의한 화재나 전기에 의한 감전 등의 사고우려가 없어 안전성 또한 높게 나타났으며, 본 폐열에너지를 활용한 건조시스템은 현재 특허출원중이다.

나. 탄화로에서 배출되는 연기(가스)의 최소화방안 개발

1) 전통식 탄화로에 적합한 배출가스 제거장법 검토

가) 탄화로에서 발생하는 연기성분 조사 및 연소, 집진에 의한 배출가스 최소화 방법 적용 및 검토

목재의 탄화 시 주로 발생하는 연기의 성분은 CO, CO₂로서 매연을 유발하는 배출연기를 다시 산화, 연소 및 흡착시켜 청정한 연기로 배출 시킬 수 있을 것으로 사료되었다. 따라서 기존의 여러 가지 방법(연소, 집진, 분사)을 적용시켜 목탄 탄화로에 가장 적합한 가스제거장치를 적용시켜 보았다.

연소에 의한 배출가스 최소화는 설치비가 고가이고 2차적인 소비에너지가 상당량 필요하기 때문에 24시간 운전하는 탄화로에는 적합하지 않은 것으로 사료되었다. 집진에 의한 굴뚝가스 최소화방법은 연소방법에 비해서는 소음이 적고 소비전력이 낮은 점이 있었으나 연기정화 속도가 느리기 때문에 탄화로 내에 연기가 잔류하는 시간이 길어져 연기속의 유해물질 일부가 숲에 부착되어 숲 품질이 떨어지는 결과가 발생할 우려가 있어 탄화로에는 적합하지 않은 것으로 사료되었다.

나) 수압분무식 분진제거장치의 특성 분석

숲 제조공장의 탄화 배기가스를 집진할 목적으로 원통형 수압 분무식 분진 제거장치를 제작해 분진 제거특성을 조사하였다. 대체적으로 유량이 크고 노즐을 적게 개방했을 때 노즐의 분사압력이 크게 나타났으며, 2개의 노즐을

개방 했을 때 0.12 ~ 0.27 MPa 이었고, 4개의 노즐을 개방 했을 때 0.05 ~ 0.15 MPa로 대략 2배의 차이가 있는 것으로 나타났다. 분진제거장치에 의해 제거된 분진의 량은 노즐 분사유량 F1에서 노즐 2개 개방 시 24.05 g, 4개 개방 시 24.31 g이었고, 유량 F2의 노즐 2개 개방 시 26.24 g, 4개 개방 시 27.07 g이었으며, 유량 F3에서 노즐 2개 개방 시 26.62 g, 4개 개방 시 27.30 g로 나타났다. 노즐에 공급된 유량이 4 L/min이상이고, 노즐 4개를 개방하였을 때 분진제거효율이 가장 좋은 90%이상을 나타내었다.

다) 목초액 분사방식에 의한 배출가스 최소화 방법 적용 및 검토

탄화과정 중 생산되는 목초액을 냉각탑이 설치되어있는 굴뚝연통에 분사할 경우 연기가 목초액과 흡착되어 연기발생양이 줄어들게 된다. 이러한 목초액을 분사하는 방법은 분사식 냉각설비에 가장 많이 필요로 하는 대량의 용수가 목초액으로 대체되는 장점이 있었고, 연기의 최소화 과정 중 2차적인 오염원이 발생하지 않아 탄화로에 적합한 배출가스 최소화 방법으로 사료되었다.

2) 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치 설계 및 제작

가) 목초액 분사장치 설계 및 제작

목초액 분사장치 설비실을 냉각탑 주위에 설치하였다. 설비실 내에는 목초액을 분사시킬 수 있는 내식성에 강한 모터가 설치되었으며, 모터를 이용하여 냉각탑 하단부에 분사노즐을 삽입하여 목초액을 분사하였다

나) 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치 성능평가

숯 제조과정에서 부산물로 발생하는 목초액을 연소가스에 분사함으로써 연소가스 중에 함유되어 있는 유해성분이 제거되어 대기로의 유해배기가스의 배출량을 현저히 감소시켜서 종래보다 환경오염을 크게 줄일 수 있는 효과가 나타났다. 또한 연소가스에 함유된 타르성분을 제거함으로써 타르 냄새가 현저히 줄어드는 효과가 있었고, 다수의 탄화로가 설치된 경우에 다수의 탄화로에 구비되어 있는 연통(煙筒)을 하나의 덕트로 연결하여 연소가스가 대기로 배출되는 동안에 오랜 시간동안 큰 덕트의 표면적과 접촉하게 되어 배출되는 연소가스의 양이 현저하게 감소되는 효과가 있었다. 본 목초액 분사방식을 이용한 배출가스 최소화 시스템은 현재 특허출원중이다.

다. 폐열 집적설비 및 배출가스 최소화 설비 부착 전·후의 목탄 특성

1) 전통식 탄화로에서 제탄된 목탄의 해부학적 특성

(주)홍천참숯에서 분양받은 굴참나무(*Quercus variabilis* BLUME)와 신갈나무(*Quercus mongolica* FISCH.)재의 백탄 및 흑탄을 재료로 사용하였다. 백탄은 제탄온도가 약 1000℃, 총제탄시간이 120~150시간이었고, 흑탄은 제탄온도가 600~700℃, 총제탄시간이 330~360시간이었다.

주사전자현미경(JEOL, JSM-5510)을 이용하여 각 목탄의 단면을 관찰해 본 결과 전형적인 백탄 및 흑탄의 모습이 관찰되었다.

2) 설비 부착 전·후의 목탄 특성

기존의 탄화로와 설비 부착후의 탄화로에서 생산된 목탄의 특성을 비교한 결과, 밀도, 정련도, pH는 설비 부착전의 탄화로에서 생산된 목탄과 동일한 값을 나타내었다. 또한 공업분석(수분함량, 회분, 휘발분, 고정탄소량)에서도 동일한 결과를 나타내었다. 특히 탄소량과 전기저항의 관계를 나타내는 정련도의 경우 백탄은 설비 부착 후에도 모두 0을 나타내어 고품질의 백탄으로 평가되며, 목탄의 품질을 결정하는 중요한 인자인 발열량은 설비 부착 후에도 흑탄 6,500 kcal/kg이상, 백탄 8,100 kcal/kg이상으로 나타내어 폐열 집적설비 및 배출가스 최소화 설비가 부착되어도 목탄의 특성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

2. 활용에 대한 건의

본 연구과제는 숯 가마에서 탄화과정 중 발생하는 폐열에너지를 회수하여 폐열에너지 건조시스템을 개발함과 동시에 숯가마에서 배출되는 가스를 최소화하여 주위환경에 부담을 최소화 하는 친환경 전통식 탄화로를 개발함이 목적이다. 이에 본 연구팀은 폐열에너지 건조시스템을 활용하여 여러 종류의 농·임산물을 적용 하여 높은 건조성능과 건조에 소비되는 에너지를 제로화 하였으며, 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 시스템의 원천기술을 획득하였다. 그러나 현재 개발된 건조시스템은 2평 규모의 비교적 작은 크기의 건조기로 농·임산물 외에 목재와 같은 대형 건조대상에는 건조기의 용량이 부족할 것으로 판단된다. 숯 공장은 국산목재의 생산지에 인접해 있어 별채한 목재를 건조하기 위한 용이한 이점이 있음에도 불구하고 개발된 건조기의 용량 제한으로 인해 목재 건조에 활용하는 것이 어려운 것은 아쉬운 점이다. 따라서 본 연구의 성과 이외에 대용량의 폐열에너지를 활용한 건조시스템이 제작되면 활용범위 및 용도가 더욱 넓어질 것으로 사료된다.

SUMMARY

This study was performed to develop the technology of effective utilization of waste heat from Korean traditional kiln during manufacturing charcoal. Moreover, we tried to develop an apparatus for decreasing gas during carbonization process.

We obtained the results as follows:

- (1) Development of the technology for effective utilization of waste heat from Korean traditional kiln during manufacturing charcoal.
 - a) Structural analysis of Korean traditional kiln:
Dimension of the kiln(enterance, chimney, capacity, etc.)
 - b) Measurement of temperature in the kiln during carbonization for 5 to 6 days. (Used thermocouples: K-type and R-type)
Ignition: 670~800℃
Carbonization: 420~520℃
Refining: 960~1020℃
 - c) Design and manufacture of drying system using waste heat from the kiln.
Stainless pipe and pump for heat circulation
Manufacturing drying system with the dimension 6.6m²:
Funtion for control temperature and humidity
Heated-wind circulation system in the room
 - d) Measurement of temperature and humidity in the chamber of dryer
Target temperature: 40℃, 50℃, etc.
Target humidity: 30%, 40%, etc.
 - e) Test for performance of dry system
Energy zero dry system with waste heat for drying agricultural and forest products as mushroom, fruit, medical plants, hot pepper, etc.
-- on patent application (no.10-2007-132146)

(2) Development of an apparatus for reducing gas during carbonization process.

a) Reducing system of gas for Korean traditional kiln during carbonization process.

Analysis of gas components: CO, CO₂

Reducing methods: filtering(economically unsuitable)

burning(economically unsuitable)

spraying wood vinegar(most suitable,

recycling wood vinegar)

b) Design and manufacture of reducing gas system

Spray system of wood vinegar in chimney: spray nozzle, compressor

--- on patent application(no.10-2007-1321147)

(3) Charcoal properties

a) Anatomical characteristics using scanning electron microscope(SEM)

b) Physical properties as density, refining degree, heat value, pH

c) Industrial analysis as moisture content, ash, volatile substances, fixed carbon

In charcoal properties, there was no significant differences between before and after installation of dry and reducing gas system in the kiln.

Consequently, we suggest that waste heat from the Korean traditional charcoal kiln can use for drying system of agricultural products and spraying system of wood vinegar in chimney was very effective for reducing gas during carbonization.

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	61
Section 1 Purpose and necessity of research	61
1. Purpose of research	61
2. Necessity of research	61
3. Research contents	62
Chapter 2 Present status of technique development in Korea and foreign countries	62
Section 1 Present status and problem	62
Section 2 Sensible solution	63
Chapter 3 Result of the research	62
Section 1 Development of the technology for effective utilization of waste heat from Korean traditional kiln during manufacturing charcoal	62
1. Structural analysis and temperature measurement of Korean traditional kiln	66
2. Design and manufacture of drying system using waste heat from the kiln	63
3. Measurement of temperature and humidity in drying chamber	64
4. Test for drying system and economic analysis	66
Section 2 Development of an apparatus for reducing gas during carbonization process	69
1. Investigation on suitable gas reducing methods of traditional kiln	69
2. Design and manufacture of spraying wood vinegar method	65
3. Test for spraying wood vinegar method	63

Section 3 Charcoal properties	7
1. Anatomical characteristics using scanning electron microscope	7
2. Properties of charcoal manufactured by green traditional carbonization kiln	86
Chapter 4 Achievement and contribution	9
Section 1 Achievement for research purpose	8
Section 2 Contribution for related sphere	2
Chapter 5 Plane for practical use	3
Section 1 Necessity of additional research	3
Section 2 Application for another research	3
Chapter 6 Compilation of scientific information from foreign countries	4
Chapter 7 References	9

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	16
제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성	16
1. 연구개발의 목적	16
2. 연구개발의 필요성	16
3. 연구개발의 범위	23
제 2 장 국내외 기술개발 현황	24
제 1 절 현황 및 문제점	24
제 2 절 문제점의 해결방안	25
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	26
제 1 절 탄화로에서 발생하는 폐열에너지의 유효활용기술 개발	26
1. 전통식 탄화로의 구조분석 및 탄화로의 온도측정	26
2. 폐열에너지 건조시스템 설계 및 제작	33
3. 폐열에너지를 활용한 건조실 내의 온·습도 변화 측정	44
4. 폐열에너지 건조시스템의 성능평가 및 경제성 분석	46
제 2 절 탄화로에서 배출되는 연기(가스)의 최소화방안 개발	49
1. 전통식 탄화로에 적합한 배출가스 제거방법 검토	49
2. 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치 설계 및 제작	55
3. 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치 성능평가	73
제 3 절 폐열 집적설비 및 배출가스 최소화 설비 부착 전·후의 목탄 특성 비교	76
1. 전통식 탄화로에서 제탄된 목탄의 해부학적 특성	76
2. 폐열 집적설비 및 배출가스 최소화 설비 부착 후의 목탄 특성	86

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	89
제 1 절 연구개발목표의 달성도	89
제 2 절 관련분야에의 기여도	92
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	93
제 1 절 추가연구의 필요성	93
제 2 절 타 연구에의 응용	93
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	94
제 7 장 참고문헌	99

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

본 연구개발은 탄화과정 중 전통식 탄화로에서 발생하는 열에너지를 효율적으로 활용할 수 있는 폐열에너지를 활용한 건조시스템을 개발하여 고품질의 농·임산물 생산 및 건조에너지 절감으로 농산촌의 소득증대에 기여함은 물론 고유가시대에 국가의 에너지 절약에 기여하고자 하고, 탄화로에서 배출되는 가스를 최소화 하여 주위환경에 부담을 최소화하는 배기시스템을 개발하여 친환경 전통식 탄화로 모델을 개발하는데 궁극적인 목적이 있다.

2. 연구개발의 필요성

2003년 이후 국제 원유가격의 상승세가 가속화 되고 있으며, 우리나라가 주로 의존하고 있는 중동산 Dubai 원유의 가격이 2006년부터 배럴당 60달러를 넘어 현재는 100달러를 넘어서고 있고 원유의 상승폭 또한 급상승하고 있다 (표 1). 이러한 원유가격의 폭등으로 에너지 절감이 대두되면서 공장의 폐열이나 각종 폐열에너지를 회수하여 온수나 난방에 이용하는 사례가 증가하고 있다. 폐열 회수에 관한 연구로 정 등(2007)은 고온용 폐열회수 열전발전시스템에 관하여 연구하였고, 이 등(2005)은 폐 바이오매스로부터 발효에 의한 폐열을 회수하기 위한 발효열 교환기를 제작하여 에너지 화수 장치로서의 가능성을 평가 분석하였다. 또한 박(1998)은 폐기물을 소각 처리할 때 발생하는 소각 폐열을 회수하여 폐열이용현황, 소각폐열발생량 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. 이상의 연구결과 외에도 폐열회수에 관한 연구는 여러 분야에 걸쳐 다양한 방법으로 진행되고 있으나, 전통식 탄화로에서 발생하는 폐열에너지를 효율적으로 집적하고 사용하는 방법에 대해서는 많은 연구가 진행되지 않고 있다.

표 1. 국제원유가격 동향 (2001~2008)

(단위:\$/bbl)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008.4
Dubai	23.88	26.8	33.64	49.37	61.55	67.06	105.83
전년대비증가율 (%)	-	12.23	25.52	46.76	24.67	8.95	57.81
Brent	26.17	28.81	41.5	56.46	62.18	77.22	110.90
전년대비증가율 (%)	-	10.09	44.05	36.05	10.13	24.19	43.62
WTI	25.20	31.08	38.36	54.3	66.04	70.22	116.70
전년대비증가율 (%)	-	23.33	23.42	41.55	21.62	6.33	66.19
평 균	25.08	28.90	37.83	53.38	63.26	71.50	111.14
	-	15.12	31.00	41.45	18.81	13.16	55.87

자료: 한국석유공사 2008

한국농촌경제연구원은 2006년 연평균 유가가 배럴당 60달러 수준을 나타낼 경우, 시설작물 경영비는 2004년 대비 15% 상승하고 소득은 13% 감소할 것으로 보고하였고, 유가가 연평균 80달러로 높아질 경우 시설작물 경영비는 약 26%증가하고 소득은 22% 감소할 것이라고 예측하였다. 이것은 유가상승이 농업부분 전반에 걸쳐 생산 활동을 위축시킬 뿐만 아니라 소득을 감소시키는 영향을 초래할 것으로 우려되며 현재는 100달러를 넘어서고 있으므로 더욱 어려운 상황으로 추정되고 있다.

표 2. 유가 시나리오별 농업 생산부문별 경영비와 소득 변동 (단위: 천원, %)

구분	시나리오	기준(2004)	case 1	case 2	case 3
		\$ 33.80	\$ 60.00	\$ 70.00	\$ 80.00
시설 작물	경영비	77,206	88,798	93,223	96,647
	소득	91,522	79,930	75,506	71,081
식량 작물	경영비	3,023	3,059	3,073	3,086
	소득	5,951	5,916	5,902	5,889
노지 채소	경영비	9,615	9,725	9,766	9,808
	소득	19,725	19,616	19,574	19,533
과수 작물	경영비	6,270	6,383	6,426	6,470
	소득	14,655	14,541	14,498	14,455
축산 부문	경영비	10,473	10,536	10,560	10,584
	소득	4,781	4,718	4,694	4,670

자료: 한국농촌경제연구원 2006

산업현장의 각 분야에서 미세먼지 제거를 위한 집진장치의 수요가 급증하고 있다. 그러나 각기 다른 배출가스의 종류에 따라 각각의 다른 장치를 설치해야 하므로 경제적으로 볼 때 기업의 생산 활동에 어려움이 예상되고 집진장치의 최적설계 및 제어기술이 적용되지 않을 경우 설비의 과대한 초기투자에도 불구하고 환경개선효과는 환경 규제치를 만족하지 못하여 실패로 끝날 수 있으므로 이를 방지하기 위한 적절한 방지기술이 요구되고 있다(정, 2004).

분진제거기술은 배기가스내의 분진입자운동을 이용하여 분진을 제거하는 방법으로서 중력, 관성력, 원심력 그리고 정전기력 등이 있다. 이러한 기술은 입자를 유체의 흐름방향에서 분리포집 하고 유체로부터 재 비산되는 것을 막기 위해 장치 내에서 제거한다. 방지시설로서는 중력집진설비, 관성력집진설비, 원심력집진설비, 세정집진설비, 여과 집진설비, 전기집진설비 등이 있다.

중력집진기, 관성력집진기, 원심력집진기는 낮은 초기설치비, 유지보수 및 조직의 간편성 때문에 전기집진기나 여과 집진기의 전처리로 많이 사용된다. 중력 집진기는 중력 침강법을 사용하였는데 이는 말 그대로 입자의 무게로 인해서 자연적으로 침강하도록 하는 것으로, 침강실로 들어가는 기체의 먼지가 고르게 분포되어 있고, 유속이 느리면 느릴수록, 가로 길이가 길고 침강실의 높이가 낮을

수록 집진효율이 좋다. 먼지 입자가 큰 경우에는 좋은 효율을 보이지만, 미세한 입자는 곤란할 경우가 많아 50 μm 이상의 입자를 집진하는 데 적합하다. 온도에 크게 구애를 받지 않기 때문에, 다른 집진장치의 앞에 위치하여 전처리용으로 사용할 경우가 많고 설치비나 유지비는 적게 소요되지만 장치의 크기가 크다. 관성력집진설비나 원심력집진설비는 대체적으로 사이클론을 많이 사용한다. 이는 고속으로 유입되는 기체를 오른쪽으로 20° 되는 경사 벽에 부딪히게 하여 공기의 흐름을 바꿔주고 다시 20° 경사 벽에 반복적으로 부딪히게 하여 기체의 속도를 줄어듦에 따라 떨어진 유속으로 인해서 아래로 가라앉히는 방법으로 관성을 이용하는 방법이다. 세정집진기는 세정방법 말 그대로 물을 가스에 뿌려주어, 물에 먼지들을 묻혀 가라앉히는 방법으로 가스는 아래에서 위쪽으로 천천히 불어지고, 물은 위에서 아래로 뿌려진다. 미세하게 뿌릴수록 효과가 크고 물과의 접촉을 증가시키기 위해서 충전물을 채우고 그 충전물을 통과하는 방법도 있다. 하지만 가스가 산성을 띠는 경우, 처리된 물도 산성을 띠고 있으므로, 물을 재사용하기 위한 처리에 비용이 들고, 물을 뿌리는 장치 등에 부식을 가져올 수도 있다. 또한 가스양에 따라서 사용하는 물의 양이 정해지므로, 수원의 확보도 문제가 될 수 있고 폐수를 처리해야하는 문제점이 있다. 여과 집진기는 백필터를 이용한 여과방법으로 함진 가스가 여재를 통과하면서 관성충돌, 직접차단, 확산 등에 의하여 분진을 제거하는 방법이다. 가스가 흐르는 방향에 수직으로 천을 지그재그로 대고 가스를 통과시켜 천에 먼지를 묻히는 방법으로 천을 주기적으로 털어주어 먼지를 아래로 떨어뜨려 아래에서 먼지를 제거한다. 이것을 표면 여과라 하고, 천으로 풍선을 만들어 그 안으로 가스를 통과시켜 천의 실 사이사이로 공기가 새어 나가도록하여 먼지를 천의 내부에 쌓이게 한다. 이 방법은 천이 고온에 견디기 힘들기 때문에, 고온의 가스는 온도를 낮춰주는 전처리과정이 필요하다. 그리고 수분이 많이 함유된 가스는 천에 눌러 붙어버리기 때문에 좋지 않고 천을 주기적으로 털어주기 때문에 찢어지는 경우도 발생한다. 집진효율은 좋으나 천을 주기적으로 교체해야하고 그에 따른 비용이 들며 천이 찢어지면 효율이 현저하게 낮아진다. 높은 압력손실과 유지, 관리비가 높고 고온, 습도가 다량 함유된 조건에서는 여과 집진기의 적용이 어렵다.

입자에 전하(-)를 주어 전기력으로 집진하는 전기집진기(ESP)는 낮은 압력손실과 고온, 대용량의 배기가스를 처리할 수 있고 유지 및 보수가 용이하며 높은 집진효율 때문에 화력발전소, 시멘트공장, 정유, 석유화학공장, 제철소, 소각로 등 광범위하게 이용되고 있다. 먼지 배출허용기준의 강화로 고효율의 집진기가 요구되고 있어 전기집진기의 보급이 확산될 전망이다. 단점으로 유지 관리 및 시설의 비용이 많이 들고 제철소, 석탄 화력발전소에서 배출되는 분진의 전기비

저항이 높아 역 전리의 원인이 되어 집진효율을 떨어뜨리는 요인이 되며 그래서 전기집진기의 방전극, 집진극형상, 역전리현상을 줄이는 하전인가방식에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(두산백과사전, 2005).

강원도는 목탄의 원료인 참나무과 수종의 분포 및 생육밀도가 높아 목탄원료 공급이 국내에서는 가장 용이한 지역으로 국내 목탄생산량의 60%이상을 차지하고 있다. 또한 전국적으로 200여개의 전통식 탄화로 공장이 분포하고 있는데(그림 1) 탄화과정 중 발생하는 열에너지를 유효하게 활용하는 공장은 없으며, 특히 탄화과정 중 발생하는 배기가스는 환경오염물질로 인식되어 지역주민들과 민원이 자주 발생하여 공장으로서의 운영에 상당한 어려움을 겪고 있어 배출가스의 최소화 방안이 요구되고 있다.

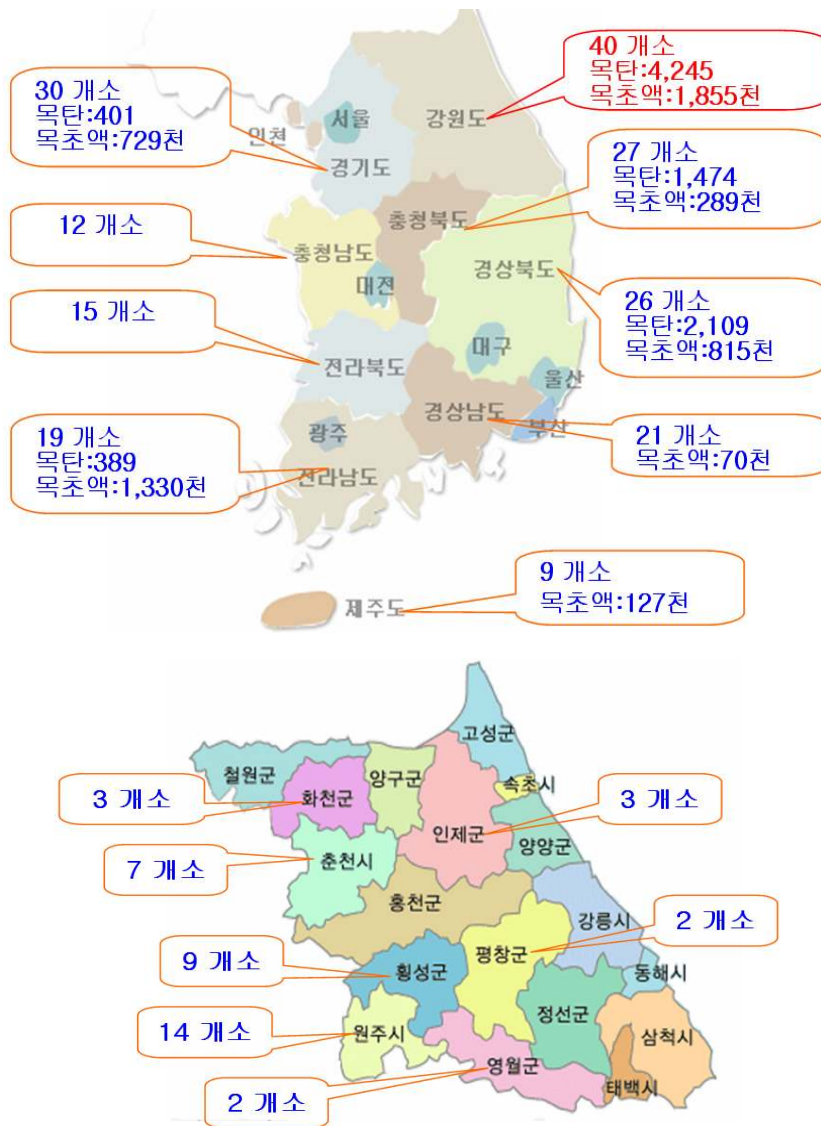


그림 1. 전국 목탄·목초액 생산업체 및 생산현황(단위:목탄 M/T, 목초액 L)
 자료: 임업통계연보 2007

탄화과정 중 전통식 탄화로내의 온도는 1200℃이상이고 연통부위로 배출되어 버려지는 열기(가스)의 온도는 100℃ 이상인 것을 감안할 때, 전통식 탄화로의 1회 탄화공정이 약 6일 정도의 긴 시간이 소요되므로 이 기간 중 발생하는 열에너지를 이용하여 목재건조를 위한 스케줄의 개발 및 에너지 자원의 절약 등의 유효활용방안이 필요하다. 강원도는 국내 생산백탄의 약 70%를 차지하는 목탄 생산의 최적지임에도 불구하고 목탄 제조과정에서 배출되는 연기로 인하여 대기오염의 문제 및 인근 주민들의 항의로 지속적인 생산에 어려움이 있기 때문에 배출가스를 최소화하여 주위환경에 부담을 최소화하는 배기시스템의 개발이 시급한 상황이다. 따라서 본 연구에서는 탄화로에서 발생하는 고온의 폐열에너지를 효과적으로 사용할 수 있는 건조 시스템을 개발하고 탄화소에 가장 적합한 배출가스 최소화장치를 연구하여 친환경 전통식 탄화로 모델을 개발하고자 하였다.



그림 2. 탄화과정에서 배출되는 열



그림 3. 탄화 시 배출되는 연기

3. 연구개발의 범위

가. 탄화로에서 발생하는 폐열에너지의 유효활용기술 개발

1) 전통식 탄화로의 구조분석 및 탄화로의 온도측정

가) 전통식 탄화로의 구조 분석

나) 탄화과정 중 전통식 탄화로의 온도 측정

2) 폐열에너지 건조시스템 설계 및 제작

가) 폐열에너지 집적시설 설계

나) 폐열에너지 건조시스템 제작

3) 폐열에너지를 활용한 건조실 내의 온·습도 변화 측정

4) 폐열에너지 건조시스템의 성능평가 및 경제성 분석

나. 탄화로에서 배출되는 연기(가스)의 최소화방안 개발

1) 전통식 탄화로에 적합한 배출가스 제거장법 검토

가) 수압분무식 분진 제거장치의 특성 분석

2) 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치 설계 및 제작

가) 목초액 분사장치 설계

나) 목초액 분사장치 제작

3) 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치 성능평가

다. 폐열 집적설비 및 배출가스 최소화 설비 부착 전·후의 목탄 특성 비교

1) 전통식 탄화로에서 제탄된 목탄의 해부학적 특성

2) 폐열 집적설비 및 배출가스 최소화 설비 부착 전·후의 목탄 특성

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 현황 및 문제점

목탄산업은 현재 한국을 포함한 일본, 중국에서 활성화되어 있다. 동남아 지역에서는 목질폐잔재를 활용한 성형탄(오가탄)이 제조되어 우리나라를 비롯한 일본 등 선진국으로 수출되고 있다. 그러나 백탄과 흑탄은 전통적인 방법에 의해 제조되고 있다. 일부 업체에서는 개량화시킨 탄화로를 이용하여 목탄을 제조하고 있으나 배출가스의 처리문제가 환경오염문제와 관련하여 어려움을 주고 있다. 또한 목탄제조과정에서 발생하는 열, 목초액, 타르 등의 활용문제도 중요한 과제이다. 목탄, 목초액, 목타르의 활용에 대해서는 상당한 연구의 진전이 나타나고 있으나 폐열을 활용하는 연구는 아직 시작되고 있지 않다.

지금까지 국내에서 수행된 탄화로의 연구 및 농·임산물 건조시스템에 관한 대표적인 연구는 다음과 같이 요약할 수 있다.

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
산림과학원	간이 탄화로 및 개량탄화로	대나무 숯 제조
강원대학교	개량형 전통식 탄화로	온도센서부착에 의한 제탄공정 조절
충남대학교	농산물 자동건조시스템 개발에 관한 연구	자동화건조시스템을 이용하여 균일한 건조농산물 생산 및 원료와 노동력 절감
충북대학교	Heat pump를 이용한 농산물 건조 및 저온저장 겸용 시스템 개발	건조 및 저온저장을 겸한 다목적 농산물 건조 및 저온저장 시스템 개발
전남대학교	고효율 이동식 다목적 임산물 건조시스템 개발	국산 산채와 버섯류의 건조특성을 구명하며 다목적 건조기 개발

최근에는 숯가마 등과 같은 탄화로의 제탄과정에서 발생하는 폐열을 경제적으로 활용하기 위해 탄화로에서 폐열을 회수하고, 이렇게 회수한 폐열을 난방용이나 온수용 등으로 활용하는 방안이 일부 제시되고 있다(예를 들면, 공개특허 10-2006-0011917, 공개특허 10-2004-0027298).

그러나, 위와 같은 폐열 활용 방안들은 탄화로 상부를 포함하는 전체 면적에 걸쳐 열교환수단을 설치하여 열에너지를 얻는 방법으로 탄화로(특히 상부)를 자주 보수해야 하는 입장에서 보면 번거롭고 비경제적인 방법이라 할 수 있다. 또한, 구조적으로 볼 때에도 설치작업이 복잡하고, 이로 인해 취급 및 유지관리 하는데도 어려움이 있는 등 경제성 측면에서 불리한 점이 있다.

제 2 절 문제점의 해결방안

본 연구와 기왕의 연구와의 큰 차이점은 전기, 석유, 석탄 등 고가의 환경과 피형 에너지의 사용 여부로서, 본 연구의 건조시스템에 활용하고자 하는 에너지원은 탄화로에서 발생하는 폐열에너지로서 에너지 비용이 제로인 환경친화적이며 사계절 언제든지 저비용으로 사용할 수 있는 경제성이 풍부한 장점이 있다. 또한 탄화로의 벽(내화벽돌)에 반영구적으로 설치되는 배관장치를 이용하여 새로운 형태의 폐열 회수 방식을 구현함으로써, 제탄과정에서 발생하는 고온의 폐열을 효율적으로 회수하여 이를 경제적으로 활용할 수 있는 탄화로의 폐열 에너지를 이용한 열교환장치를 제공한다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 탄화로에서 발생하는 폐열에너지의 유효활용기술 개발

1. 전통식 탄화로의 구조분석 및 탄화로의 온도측정

탄화로에서 발생하는 폐열에너지의 활용과 배출되는 가스의 최소화 방안을 연구하기 위한 일환으로 탄화로의 구조를 분석하고 자동온도측정기록계를 이용하여 전통식 탄화로에서 제탄되는 과정 중 탄화로 내의 온도변화를 측정하였다.

가. 전통식 탄화로의 구조분석

강원도 홍천군 화촌면에 소재한 (주)홍침참숯 소유의 전통식 탄화로의 구조를 조사하였다. 탄화로는 그림 4과 같이 바닥을 진흙으로 약 20cm정도로 다졌고, 배연구쪽이 탄화로입구보다 약 6cm정도 낮았다. 배연구는 돌을 이용하여 폭 17cm, 높이 6cm정도로 제작되었다.

굴뚝은 돌과 진흙으로 쌓았는데 아래쪽을 넓게 하고 위로 올라갈수록 좁게 만들어 바깥바람이 탄화로 안으로 역류해 들어가지 못하게 한 구조이다.

탄화로 입구는 사람이 원목을 가지고 들어갈 수 있도록 높이 160cm, 폭 50cm 정도이고, 탄화로입구 옆에 별도로 가로·세로 60cm정도, 길이 75cm정도의 아궁이가 위치하였다. 탄화로 입구를 막을 때는 내화벽돌과 흙으로 쌓아서 공기가 통하지 않게 하였다(그림 5).

천장은 둥근 형태를 이루며 벽쪽은 두껍고, 가운데 부분은 비교적 얇다. 천장은 탄화로 중에서 가장 열을 많이 받는 곳으로 두꺼운 철판을 대고 그 위에 흙으로 덮고 철판을 굵은 빔으로 지탱한다. 탄화로 내부는 가로 340cm, 세로 310cm, 높이 210cm의 크기로 제작하였고, 탄화로내의 목재량은 약 9~9.5톤 정도이다(그림 6).

본 연구를 통한 전통식 탄화로의 구조를 분석해 본 결과 비교적 탄화로의 탄화기능에 영향을 주지 않는 탄화로 상층부를 통해 폐열 에너지의 회수가 가능할 것으로 판단되었다.

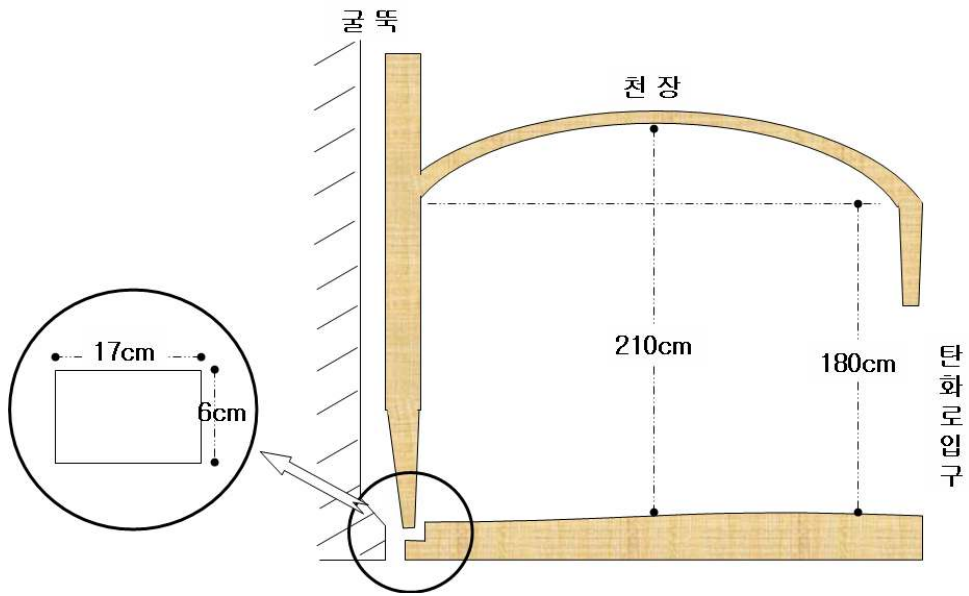


그림 4. 전통식 탄화로의 내부구조 모식도

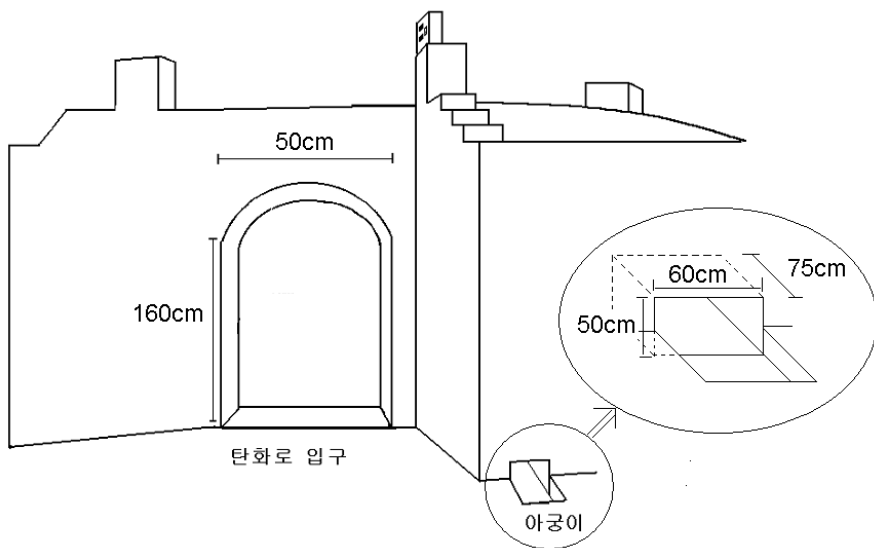
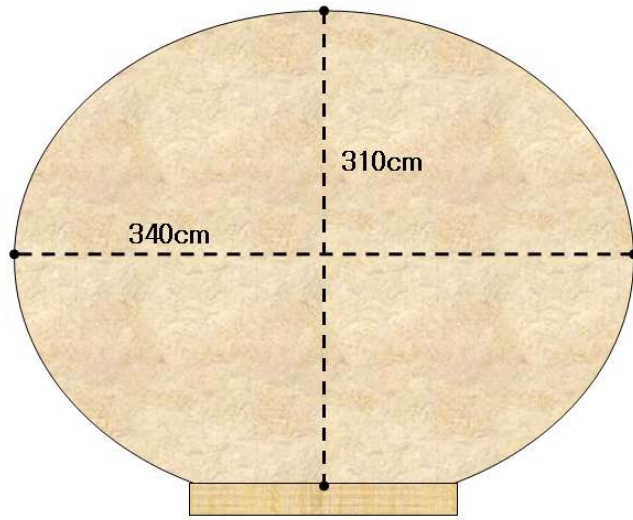


그림 5. 전통식 탄화로의 정면모식도



탄화로 입구

그림 6. 전통식 탄화로의 내부크기

나. 탄화과정 중 전통식 탄화로의 온도 측정

(1) 전통식 탄화로의 온도측정 방법

탄화로의 상층부와 연통부에 직경 약 1cm의 구멍을 만들고, 고온측정용 센서를 내부에 삽입하여 장착하여 제탄되는 과정 중에 탄화로내의 온도변화를 측정하였다. 탄화로내에는 R type thermocouple (그림 7B)과 연통내부에는 K type thermocouple (그림 7A)을 이용하여 온도를 측정하였다. 이때 센서는 최소 4cm이상이 내부에 들어가도록 하였다. 고온측정용 센서와 연결된 자동기록계(KONICS Co., KR-100型)를 이용하여 2시간마다 온도를 숫자로 기록하게 설정하였다(그림 8).

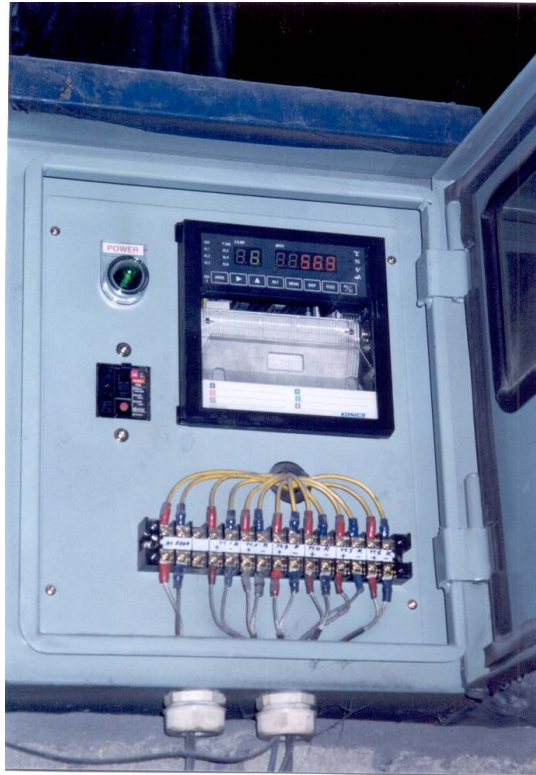


(A)

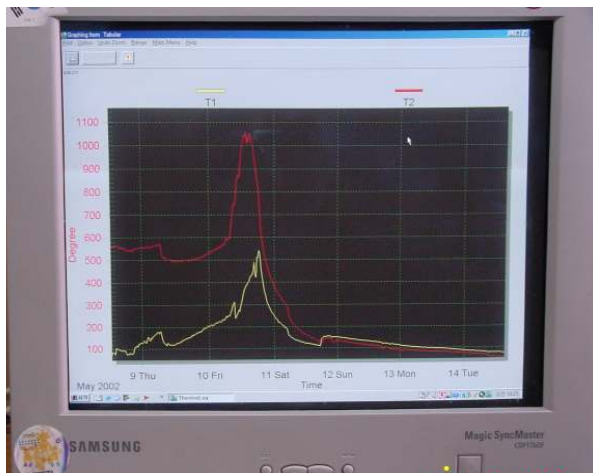


(B)

그림 7. 탄화로 연통부에 설치된 K type thermocouple(A) 과 천정부에 설치된 R type thermocouple(B)



(A)



(B)

그림 6. 자동온도측정 기록계(A)와 기록계로부터 온도변화를 전송하여 온도변화를 측정하는 Thermometer 프로그램

(2) 숙련자에 의한 제탄과정 중 탄화로의 온도변화

숙련자가 탄화과정을 진행하는 동안 탄화로내의 온도를 측정하였다. 그 결과는 그림 9, 10에 나타냈다.

탄화로에 탄재를 적재하고 아궁이에 불을 지핀 후 탄재의 탄화가 시작되어 가열을 멈출 때의 탄화로내의 온도는 670~800℃의 범위였다. 이 때 연통온도는 82~90℃의 범위였고, 목탄제조과정시 부산물로 생성되는 목초액을 받기 시작한다.

그 후 연통에서 백갈색의 연기가 올라오고, 연통온도가 150℃정도 되었을 때 목초액 채취를 중지한다. 이 때 탄화로내 온도는 420~520℃의 범위였다.

연기가 연한 파란색에서 점차 변화하여 무색을 띄는데, 이때가 탄화종료점이 되는 시기로서 탄화로내의 온도는 약 700℃, 연통부의 온도는 370~430℃의 범위였다.

탄화가 끝난 후에 정련과정과 출탄작업을 실시한다. 이 때 제탄과정 중 최고 온도에 달하게 되는데, 탄화로내 온도는 960~1020℃ 범위였고, 연통 온도는 650~750℃ 정도였다.

가열시간은 아궁이에 점화해서 탄화로내의 탄재의 탄화가 시작될 때까지 11~14시간정도 소요되었다. 그리고 착화 후 탄화과정을 거쳐 정련이 시작되는 700℃에 달할때까지 약 90~120시간정도 소요된다. 그 후 정련과 출탄작업까지 17~20시간정도 소요된다. 총제탄시간은 120~150시간 소요되었다.

따라서 탄화로 외벽을 통해 폐열에너지를 집적하였을 때 물과 같은 열전달 물질로 보일러를 이용할 경우 충분한 온도의 폐열이 집적될 것으로 판단되며 열축적 시스템의 제작이 가능할 것으로 사료된다.

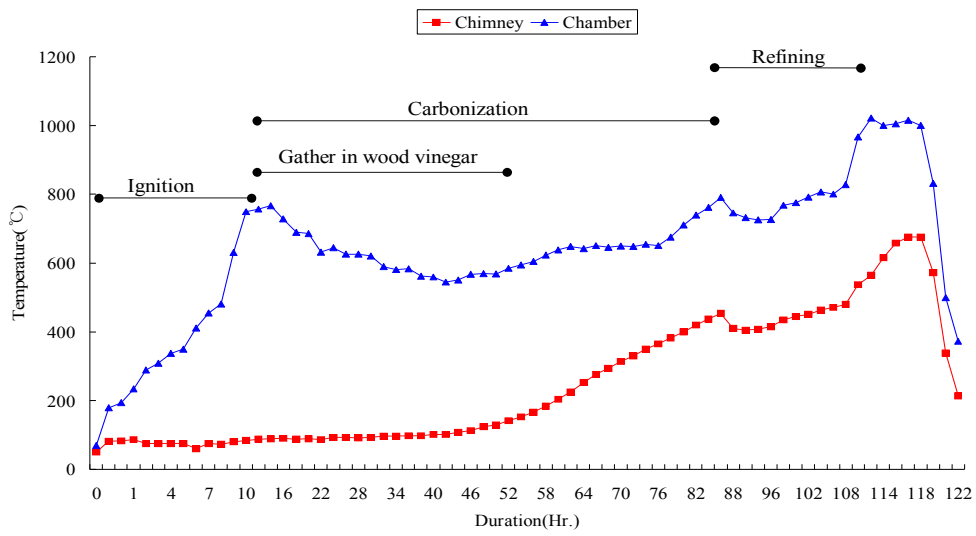


그림 9. 숙련자에 의해 제탄된 탄화로의 1차 온도변화

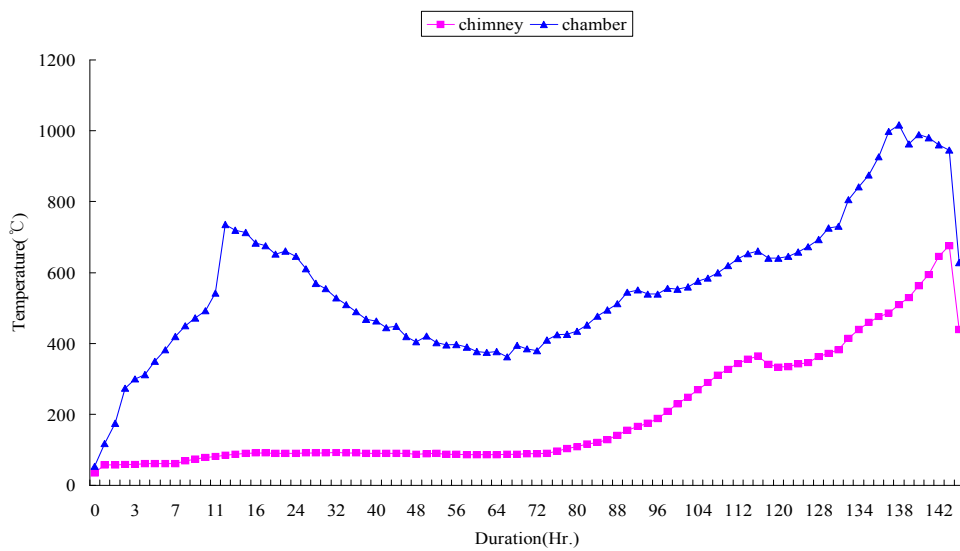


그림 10. 숙련자에 의해 제탄된 탄화로의 2차 온도변화

2. 폐열에너지 건조시스템 설계 및 제작

가. 폐열에너지 집적시설 설계

탄화로의 폐열 에너지를 이용한 열회수장치는 유체(물)의 출입을 위한 입구와 출구를 갖고 있으며 탄화로의 벽면 둘레를 따라가면서 설치되고 탄화과정에서 발생하는 폐열과 내부를 흐르는 유체 간의 열교환을 가능하게 하는 납작한 사각박스 형태의 배관장치와, 배관장치측과 유체의 순환이 가능한 구조로 연결되어 열교환을 통해 얻어진 고온의 유체를 이용하여 농산물 등을 건조하는 건조장치이다.

배관장치는 탄화로의 둘레를 따라 일정간격으로 배치되는 3개의 단위 전열박스, 각각의 단위 전열박스를 이어주는 연결 파이프 등을 포함하는 형태로 이루어질 수 있다.

또한, 건조장치의 경우에는 건조실의 바닥에 설치되며 배관장치에서 공급되는 고온의 유체를 연속적으로 순환시키면서 농산물 등을 건조하는 고온수 배관 및 배관에 설치되는 순환 펌프, 건조실 내부의 전체 온도 분포를 일정하게 유지하기 위한 열기 순환용 송풍기 등을 포함하는 형태로 이루어질 수 있다.

이러한 열회수장치는 탄화로의 제탄과정에서 발생하는 폐열의 손실을 최소화하고, 효율적으로 폐열을 회수하기 위하여 탄화로의 천장부위를 지지하고 있는 탄화로 벽 부분의 외측에 고온에 내구성이 강한 스테인레스 재질의 배관장치를 설치하는 한편, 여러 기의 탄화로인 경우 스테인레스 재질의 파이프로 연결하는 동시에 이를 열풍순환식 건조장치측과 순환구조를 구성한 형태로 이루어짐으로써, 회수된 폐열의 열에너지원을 농산물 등의 건조에 최대한 활용할 수 있다.

예를 들면, 열풍순환식 건조장치의 경우 제탄과정시 여러 기의 탄화로의 제탄과정에서 얻어지는 폐열을 이용하여 스테인레스 배관 내의 물을 열수로 만들며, 이 열수를 건조장치의 열에너지원으로 이용할 수 있다.

나. 폐열에너지 건조시스템 제작

그림 11과 그림 12는 탄화로의 폐열 에너지를 이용한 열회수장치에서 배관장치가 설치되어 있는 탄화로를 나타내는 사시도와 단면도이고, 그림 13은 탄화로의 폐열 에너지를 이용한 열교환장치에서 탄화로에 설치되는 배관장치를 나타내는 사시도이다.

그림 11과 12와 같이, 여러 기의 탄화로(12)가 나란하게 배열되어 있고, 각각의 탄화로(12)는 탄화로 내에 탄재를 적재 및 폐쇄하기 위한 입구를 나타내고 있다. 폐열을 회수하기 위하여 탄화로(12)의 벽에는 고온에 강한 얇은 직사각형의 스테인레스 재질의 박스, 즉 배관장치(13)가 설치되며, 이때의 배관장치(13)는 탄화로 천장 부위를 지지하고 있는 탄화로 벽(12a) 부분의 외측에 설치되고, 그 바깥쪽은 흙(12b)으로 덮여진다. 폐열 회수를 위한 배관장치(13)는 탄화로(12)의 벽 주위를 둘러싸는 형태로 설치된다.

특히, 배관장치(13)는 여러 개의 단위 박스를 연결시킨 형태, 예를 들면 탄화로(12)의 둘레를 따라 일정간격을 두고 3개 이상의 단위 전열박스(15)가 배치되고, 이때의 각 전열박스(15)는 연결 파이프(16)에 의해 서로 이웃하는 입구(10)와 출구(11)가 연결되는 형태로 이루어진다.

이와 같은 배관장치(13)는 여러 기의 탄화로(12)에 각각 설치되는 동시에 서로 간은 파이프를 연결되는 멀티 배관 형태로 이루어질 수 있고, 또 하나의 탄화로(12)에 설치되는 단독 배관 형태로도 이루어질 수 있다.

따라서, 한쪽에서 공급되는 유체, 예를 들어 물은 각 단위 전열박스(15)를 차례로 경유하는 형태로 진행되고, 박스연결용 파이프(23)를 통해 여러 기의 탄화로(12)를 차례차례 거쳐 건조장치(14)측으로 이동할 수 있다.

여기서, 단위 전열박스(15)를 이어주는 연결 파이프(16)는 제탄과정에서 발생하는 고온에 의한 열팽창으로부터 파손을 방지하기 위해 소정의 절곡된 형태인 "ㄷ"자 형태나 "ㄴ"자 형태로 된 것이 적용될 수 있다. 또한, 전열박스(15)의 내부에는 물이 진행되는 방향으로 가면서 위아래로 하나씩 엇갈린 형태로 배치되는 다수의 격판(17)이 설치되어 있으며, 이에 따라 박스를 경유하는 동안 물의 흐름은 지그재그 형태로 유도될 수 있고, 결국 이렇게 지체되는 만큼 전열구간을 충분히 확보할 수 있으므로, 폐열 회수 효율을 최대한 높일 수 있다.

이와 같이, 탄화로(12)의 최적 위치에 배관장치(13)가 설치되므로 탄화로에서 발생하는 열의 손실을 최소화시킬 수 있고, 또 폐열로부터 회수된 열을 각각의 탄화로(12)를 연결하는 박스연결용 파이프(23)를 통해 하나로 수집한 후, 후술하는 순환펌프(20)를 이용하여 지속적으로 건조장치(14)측에 제공할 수 있다. 또한, 여러 기의 탄화로(12)가 서로 연결되어 있으므로, 각 탄화로(12)마다 선택적으로 다른 제탄과정을 수행하여도 열에너지원을 중단하는 일없이 지속적으로 공급시킬 수 있다.

그림 14는 탄화로의 폐열 에너지를 이용한 열교환장치에서 농산물 건조장치를 나타내는 사시도이다. 건조장치 내에는 일정량의 농산물 등을 넣거나 빼낼

수 있는 소정의 용적을 갖는 건조실(18)이 구비되고, 건조실(18)의 바닥에는 일정간격을 두고 굴곡시켜 건조면적의 효율을 최대한 높힌 형태, 즉 보일러 난방 배관과 같은 형태의 고온수 배관(19)이 설치된다. 배관은 직경이 20mm인 스테인레스 관을 사용하여 건조실 내에 열을 순환시킬 수 있도록 되어 있고, 또한 건조실 내의 제한된 공간에서 건조효율을 최대한 높이기 위해 일정간격으로 굴곡시켜 건조면적을 증대시킬 수 있도록 되어 있으며, 건조실 바닥에서 50mm정도 밑에 설치되었다.

이러한 고온수 배관(19)의 유입측과 배출측은 배관장치(13)측에서 연장되는 파이프를 통해 각각 연결되어 탄화과정의 폐열로부터 얻은 고온의 유체가 연속적으로 순환되면서 공급됨으로서, 기름이나 전기 등 별도의 에너지원 없이도 폐열만을 이용하여 건조실(18) 내의 농산물 등을 효과적이고 경제적으로 건조시킬 수 있다.

배관장치(13)와 건조장치(14) 간의 유체 순환을 위하여 고온수 배관(19)의 유입측에는 순환 펌프(20)가 설치되고, 이때의 순환 펌프(20)는 컨트롤러에 의한 제어를 받아 ON/OFF 동작이 제어될 수 있도록 설계하였다.

이상과 같이 배관장치(13)로부터 지속적으로 공급되는 열은 순환 펌프(20)에 의해 건조장치(14)의 열에너지원으로 제공되며, 건조실(18) 내의 온도를 조절하기 위해 온도제어장치(22)가 설치되어 있어 공급된 열에너지원의 온도를 조절할 수가 있다.

온도제어장치(22)는 고온수 배관(19)의 유입측에 설치된 전자개폐밸브와 전기적으로 연결된다. 따라서, 건조실(18) 내의 온도 조절은 온도제어장치(22)에 의해 전자개폐밸브의 개폐 또는 열리는 정도를 조절하여 고온수 배관(19)으로 유입되는 고온의 유체 양을 조절함으로써 가능해 진다. 즉 건조실(18) 내의 온도를 높일 경우에는 밸브의 열리는 정도를 크게 하여 많은 양의 수증기를 유입시키고, 건조실(18) 내의 온도를 낮출 경우에는 밸브의 열리는 정도를 작게 하여 상대적으로 적은 양의 수증기만을 유입시켜서 온도를 조절하게 된다.

또한, 상기 건조장치(14)의 건조실(18)에는 열기 순환용 송풍기(21)가 설치되어 있으며, 이때의 송풍작용에 의해 건조실 내의 공기를 골고루 순환시켜줌으로써, 건조실(18)의 내부 전체 온도 분포를 균일하게 유지할 수 있다.

이와 같이, 본 연구는 숯 제탄과정에서 발생하는 폐열을 회수하여 농산물 등의 건조를 위한 에너지 자원으로 활용할 수 있고, 탄화로의 천장 부위를 지지하는 탄화로 벽(내화벽돌) 부분의 외측에 고온에 강한 직사각형의 스테인레스 배관을 설치하고, 숯의 제탄과정에서 발생하는 폐열을 회수하여 지속적으로 열 에너지를 공급 및 순환이 가능하도록 함으로써, 연료비에 대한 부담없이 경

제적으로 농산물 등을 경제적으로 건조할 수 있다. 또한 고온의 물을 이용하여 건조하기 때문에 건조기간 동안 유해물질이 전혀 발생하지 않으므로 건조된 농산물 등에 대한 안전성을 확보할 수 있다.

본 연구에서 제작된 폐열에너지를 활용한 건조기는 그림 15, 16과 같으며 건조기의 제원은 가로 5,140cm, 세로 1,938cm, 높이 2,158cm의 2평형 선반식이며, 건조용량은 1회 당 고추 960~1100kg, 벼 5000~5500kg을 건조할 수 있게 하였다. 또한 건조형식은 열풍 순환식으로 하였고 내부의 온도 및 습도를 조정 가능하게 제작하였다

<도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

- | | |
|-------------|-----------------|
| 10 : 입구 | 11 : 출구 |
| 12 : 탄화로 | 13 : 배관장치 |
| 14 : 건조장치 | 15 : 단위 전열박스 |
| 16 : 연결 파이프 | 17 : 격판 |
| 18 : 건조실 | 19 : 고온수 배관 |
| 20 : 순환 펌프 | 21 : 열기 순환용 송풍기 |
| 22 : 온도제어장치 | 23 : 박스연결용 파이프 |

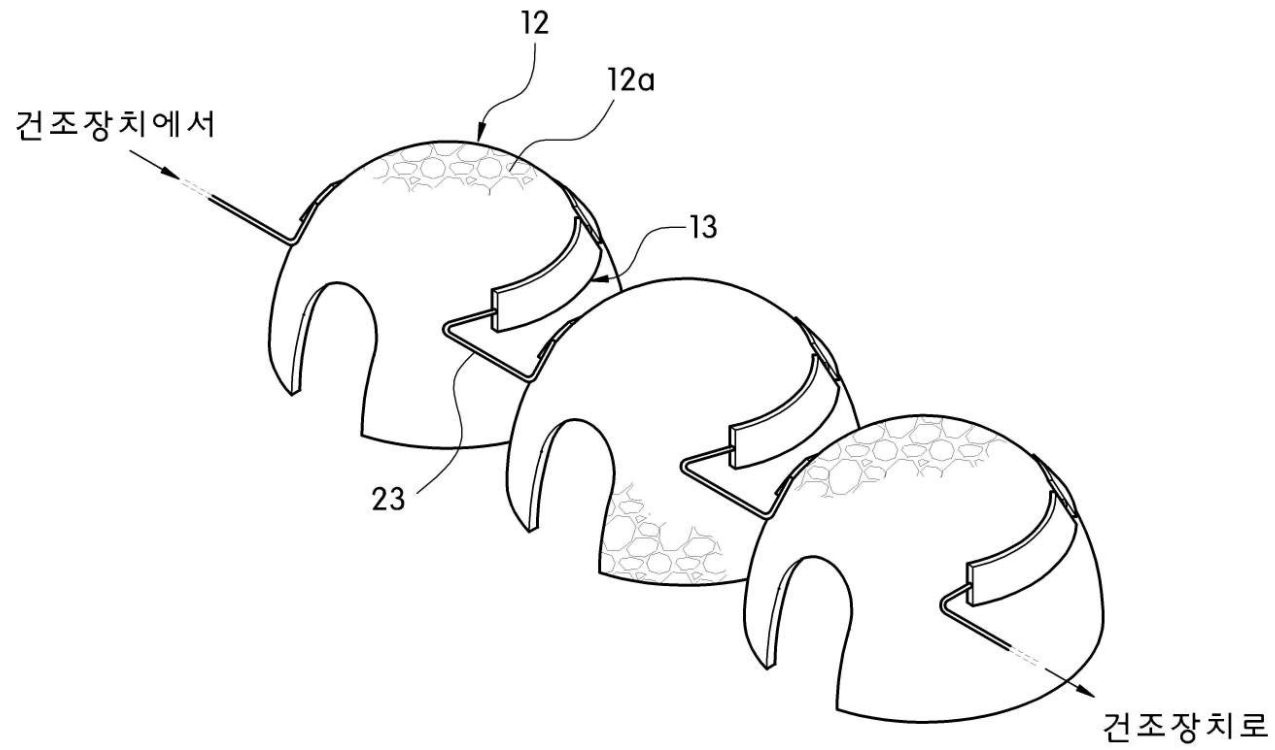


그림 11 탄화로 폐열 에너지를 이용한 열교환장치의 배관장치가 설치되어 있는 탄화로(사시도)

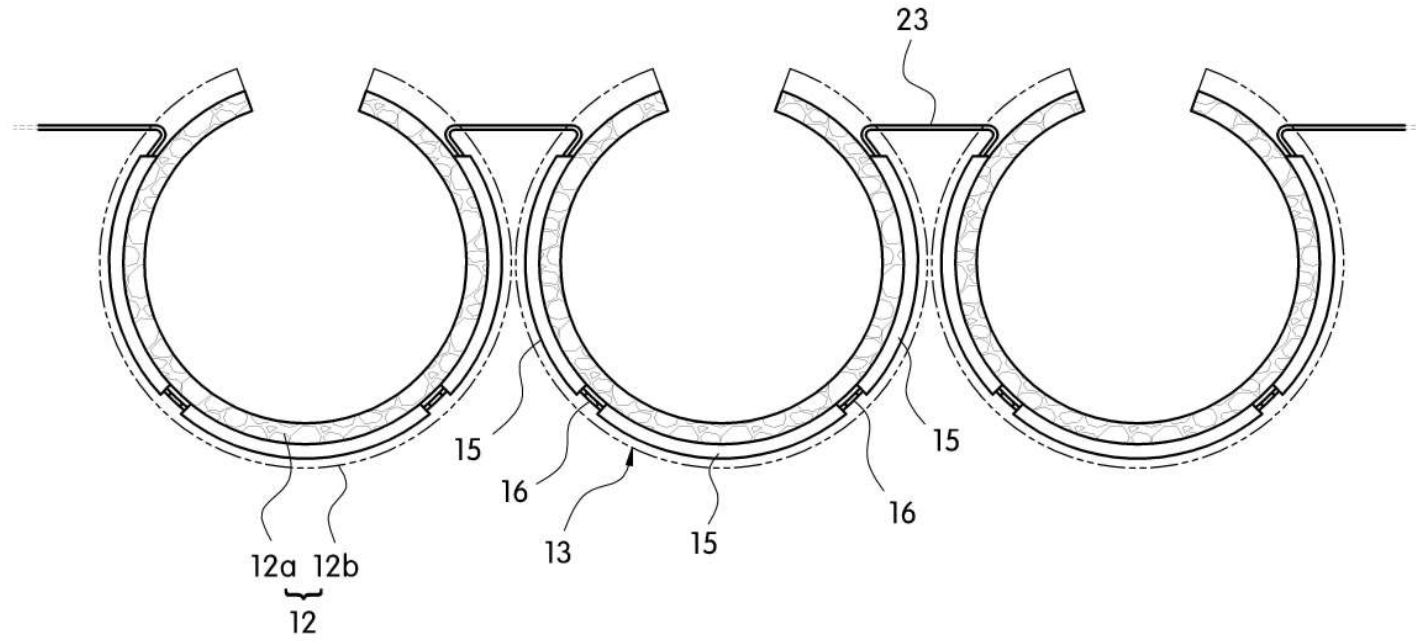


그림 12 탄화로 폐열 에너지를 이용한 열교환장치의 배관장치가 설치되어 있는 탄화로(단면도)

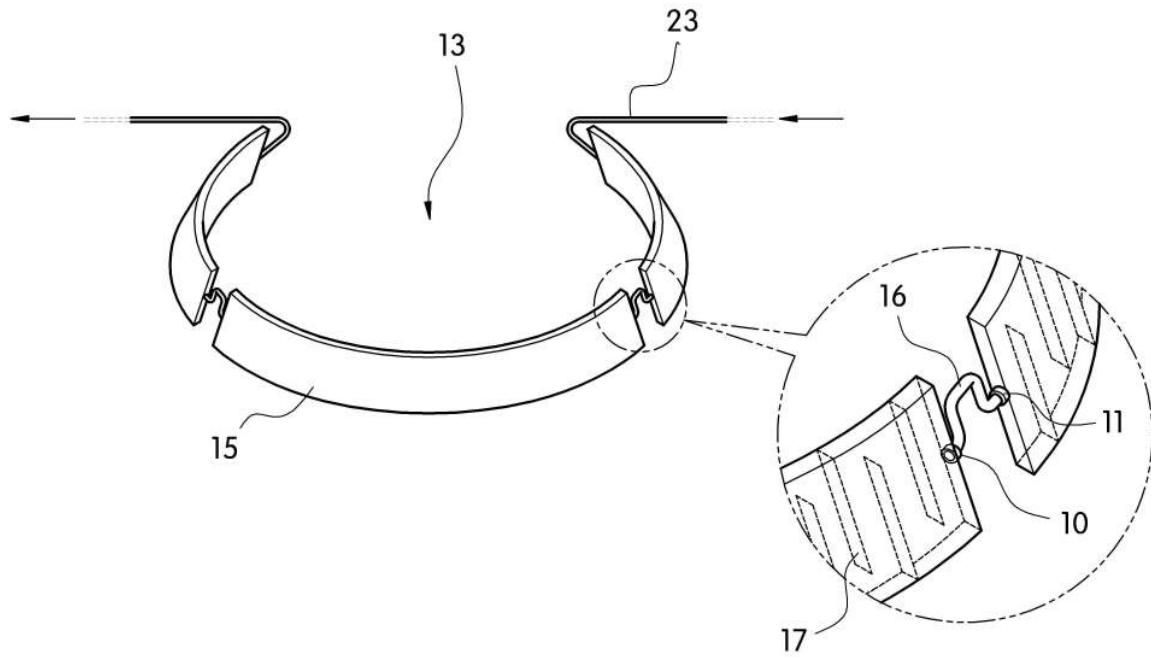


그림 13 탄화로 폐열 에너지를 이용한 열교환장치의 탄화로에 설치되는 배관장치(사시도)

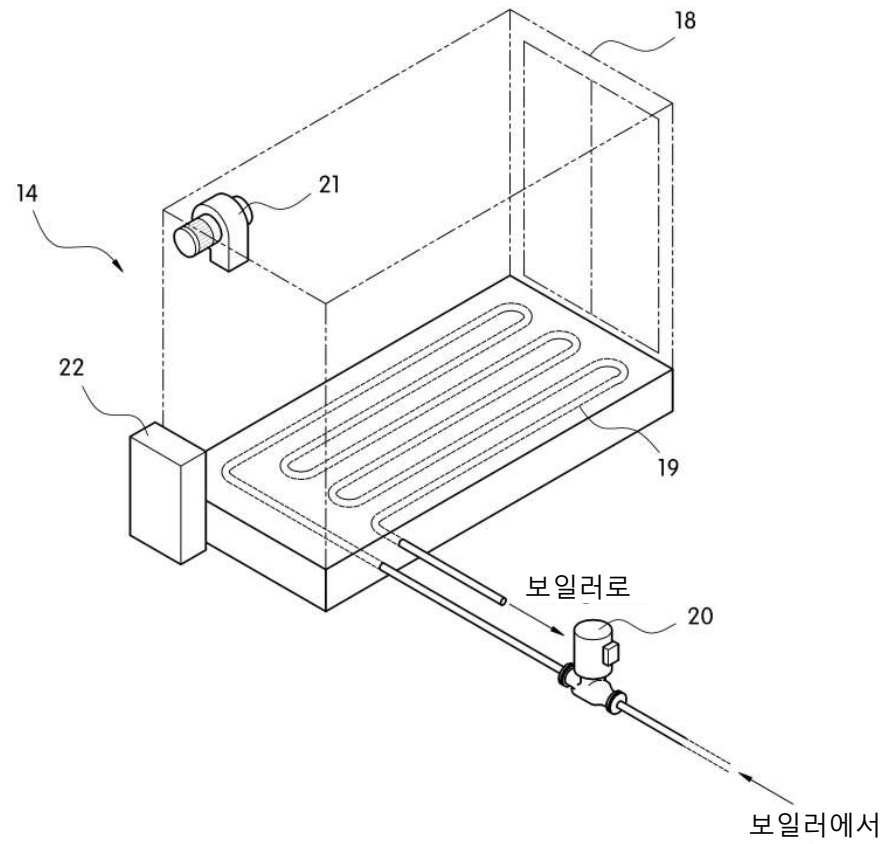


그림 14 탄화로 폐열 에너지를 이용한 열교환장치의 농산물 건조장치(사시도)



(A)



(B)

그림 15. 탄화로에서 보일러실로 연결된 열수이동 파이프(A)와 보일러실에서
폐열에너지 건조기로 연결된 온수이동 파이프(B)



(A)



(B)



(C)



(D)

그림 16 제작된 폐열에너지를 활용한 건조기
 A: 제작된 건조기의 전경, B: 건조기의 내부
 C: 습도조절기, D: 온도조절 컨트롤 판넬

3. 폐열에너지를 활용한 건조실 내의 온·습도 변화 측정

폐열에너지를 활용한 건조기의 건조 원리는 건조기에 고추, 표고 등의 농산물을 넣고 폐열에너지에 의해 가열된 물이 건조기 바닥을 통해 순환함과 동시에 건조기 내부에 설치되어있는 송풍기를 이용하여 건조실 내부를 순환시켜 건조시킨다.

건조실 내의 온습도 변화를 측정하기 위하여 목표온도 50℃, 40℃, 목표습도 30%, 40%로 각각 선정하였다. 건조기를 가동시켜 목표온도까지 도달되는 시간은 약 15시간이 소요되었으며 각 선정온도에 따른 도달시간의 차이는 나타나지 않았다. 또한 목표습도 도달시간은 약 24시간이 소요되었다. 건조기 내의 온도 및 습도의 변화폭은 목표 온·습도의 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 가 유지되는 것으로 조사되어 높은 건조성능을 보여주었다(그림 17, 18).

건조기가 가동되는 동안 건조기 내의 온·습도가 꾸준히 유지되는 이유는 폐열에너지의 집적을 1기의 탄화로에서 집적하지 않고 여러 기의 탄화로 벽면 주위를 경유하는 방법을 사용하였기 때문에 지속적으로 열에너지의 공급이 이루어 졌기 때문으로 생각된다.

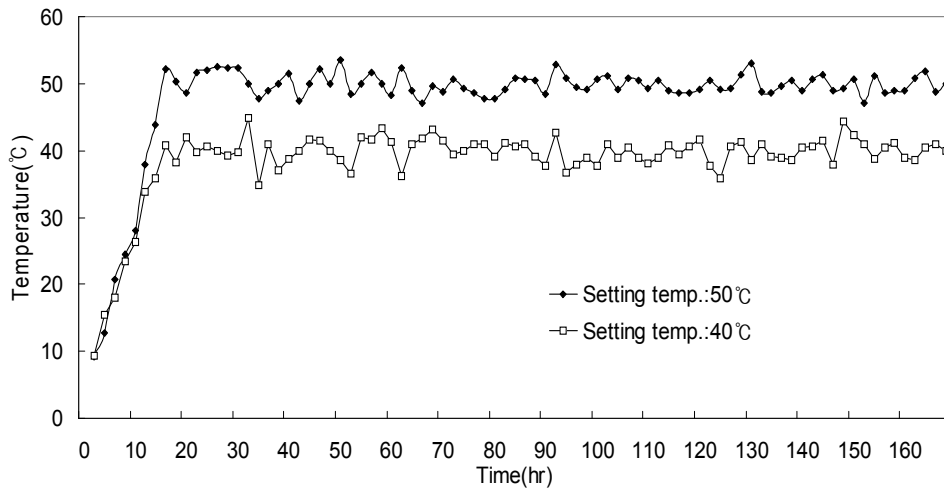


그림 17. 폐열에너지를 활용한 건조기 내의 온도변화

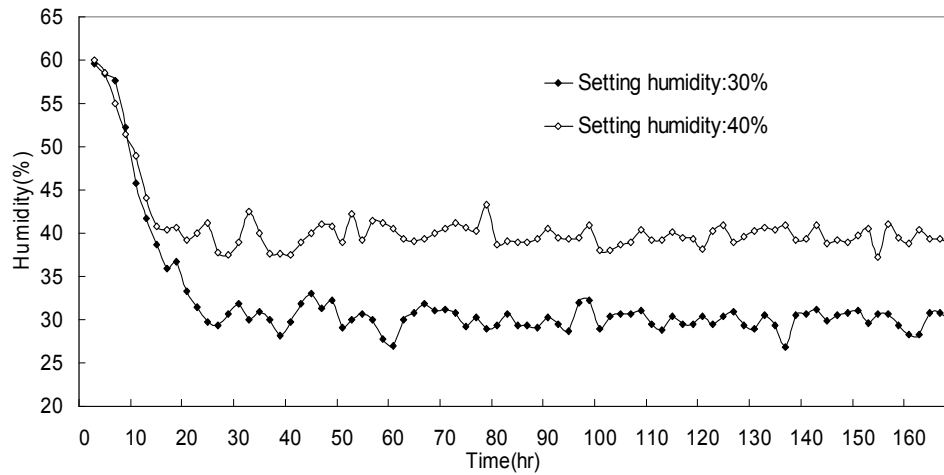


그림 18. 폐열에너지를 활용한 건조기 내의 습도변화

4. 폐열에너지 건조시스템의 성능평가 및 경제성 분석

현재 농가의 대부분이 사용하고 있는 등유건조기와 본 연구에서 제작된 폐열에너지를 활용한 건조기의 경제성을 분석해 본 결과는 표 3과 같다.

표고버섯을 3.3m^2 용량의 등유건조기로 200kg 건조할 경우 15시간의 건조시간과 건조후 40~50kg의 건표고를 얻게 된다. 이때의 에너지 소요비용은 등유 60L(면세 등유 약 1,200원/L으로 가정)와 전기료를 포함하면 75,000원의 에너지가 소요되며, 경제성 분석 결과 연료비가 차지하는 비율은 약 21%로 나타났다.

또한 고추의 경우에는 3.3m^2 용량의 등유건조기로 400kg 건조할 경우 36시간의 건조시간과 건조후 75~80kg의 건고추를 얻게 된다. 이때의 에너지 소요비용은 등유 70L와 전기료를 포함하면 90,000원의 에너지가 소요되며, 경제성 분석 결과 연료비가 차지하는 비율은 약 21%로 나타났다.

당귀는 6.6m^2 의 등유건조기에 5,400kg을 건조할 경우 완전건조 될 때까지 약 12일 정도 소요되어 1,200kg의 건조 당귀가 얻어지며, 이 때 소요되는 건조비용은 등유 약 600L와 전기료로 총 750,000원이 소요된다.

폐열에너지를 건조기를 표고, 고추 및 당귀 건조에 이용할 경우 건조 전과 후의 중량변화율은 등유건조기와 비교하여 거의 차이가 나지 않았으며 건조시간 또한 건조 중량비로 보았을 때 차이가 나타나지 않았다. 따라서 폐열에너지 건조기의 건조성능은 등유건조기의 성능과 뒤떨어지지 않는 것으로 조사되었다.

본 연구의 폐열에너지를 활용한 건조기는 표 3에서 나타낸 것과 같이 연료비가 전혀 들지 않아 에너지가 크게 절감되었으며, 등유에 의한 화재나 전기에 의한 감전 등의 사고우려가 없어 안전성 또한 높았다.

표 3. 등유건조기 및 폐열에너지를 활용한 건조기의 대표 건조농산물 건조비용 비교

대표 농산물	건조방 법	건조기 용량 (m ²)	건조 전/후 중량 (kg)	건조 시간 (hr)	에너지 소요 비용	경제성 분석
표고	등유 건조기	3.3	200/ 40~50	15	75,000원 (등유 60리터+ 전기료)	건표고 8,800원/1kg ×40kg=352,000원 연료비비율:75,000원 /352,000원×100=21%
	폐열 에너지 건조기	6.6	400/ 80~85	25	0 원	연료비비율: 0%
고추	등유 건조기	3.3	400/ 75~80	36	90,000원 (등유 70리터+ 전기료)	건고추 5,600원/1kg ×75kg=420,000원 연료비비율:90,000원 /420,000원×100=21%
	폐열 에너지 건조기	6.6	800/ 140~150	70	0 원	연료비비율: 0%
당귀	등유 건조기	5.0	5,400/ 1,200	280	750,000 (등유600 리터+전 기료)	건당귀 3,500원/1kg ×1,200kg=4,200,000원 연료비비율:750,000원 /4,200,000원 ×100=18%
	폐열 에너지 건조기	6.6	5,000/ 1,100	270	0 원	연료비비율: 0%

* 면세 등유 약 1,200원/L으로 가정

* 등유건조기 건조비용은 2008년 생산농가로부터 조사



그림 19. 폐열에너지 건조기를 활용한 고추, 표고 등의 농산물 건조 모습

제 2 절 탄화로에서 배출되는 연기(가스)의 최소화방안 개발

1. 전통식 탄화로에 적합한 배출가스 제거방법 검토

가. 수압 분무식 분진 제거장치의 특성 분석

본 연구에서는 숯 제조공장에서 배출되는 탄화 배기가스의 분진을 제거하기 위한 목적으로 소형의 원통형 수압 분사식 분진 제거장치를 제작하여, 작동조건에 따른 분진 제거장치의 특성을 분석하였다.

1) 재료 및 방법

가) 실험장치

본 실험에 사용된 원통형 수압 분무식 분진 제거장치는 그림 20 및 그림 21과 같이 구조가 비교적 간단하고 조작이 용이하게 제작하였다. 크기 31 cm × 31 cm × 35 cm(가로×세로×높이)의 투명한 아크릴 수조에 채워진 물은 펌프(PWN-351M, 윌로펌프(주), Korea)에 의해 4개의 1/4 inch 분사노즐(FULL CONE NOZZLE, 국제노즐, Korea)로 분사된다. 노즐에서 분사되는 유량 및 압력은 각 노즐에 설치된 밸브에 의해 조절되고, 0 ~ 7.5 L/min까지 유량측정이 가능한 유량계와 0 ~ 0.3 MPa까지 압력측정이 가능한 압력계를 설치하여 각 노즐에서 분사되는 유량 및 압력을 측정하였다. 분진제거의 정도를 분석하기 위해 일정량의 분진을 분진제거장치의 하부에 설치된 팬(TFR-0.4-32-H, 영창블로어(주), Korea) 및 팬과 연결되어 있는 관을 통해 투명 아크릴로 제작된 원통형 분진 제거실(원주: 28 cm, 높이: 102 cm)로 공급하고, 여기서 분진은 노즐에서 분사된 물과 함께 하부로 낙하되며, 배출관을 통해 외부로 유출 및 수거된다.

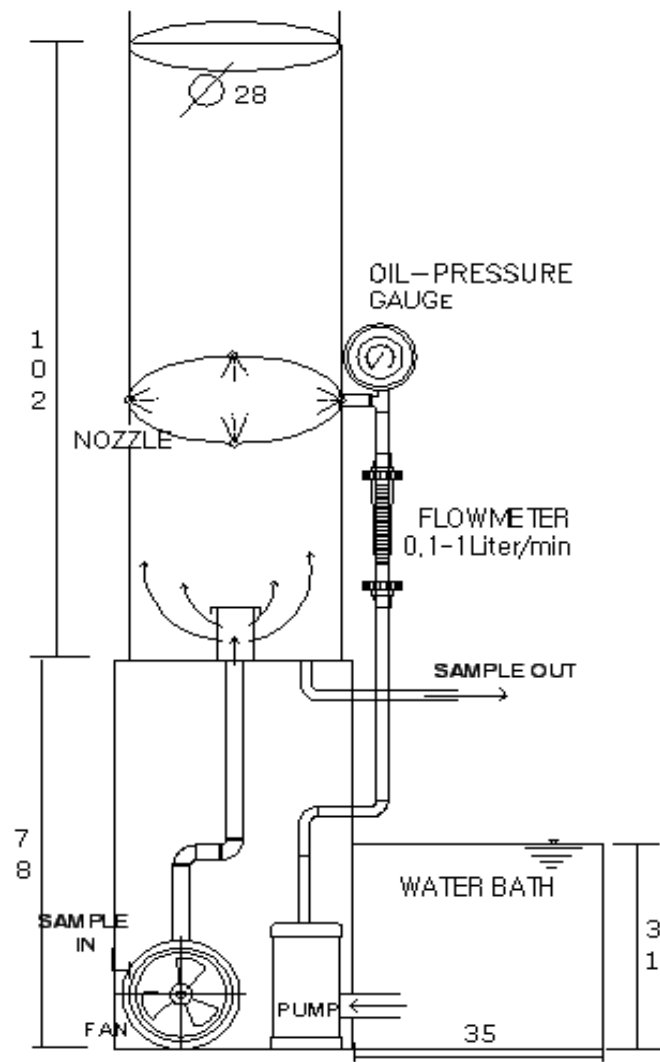


그림 21. 원통형 수압 분무식 분진 제거장치의 모식도



그림 22. 제작된 실험용 수압 분무식 분진 제거장치

나) 실험재료

본 실험에 사용된 분진시료는 시중에서 구입한 참나무 숯을 태워 남은 재를 0.2 mm 이하로 파쇄 하여 가루로 만든 뒤 80°C의 건조기(VS-1202D3N, (주)비전 과학, Korea)에서 24시간 동안 완전 건조하여 사용하였다.

다) 집진실험

분사노즐의 분사유량에 따른 분진 제거장치의 분진 제거효율을 조사하기 위해 수조에 30 L의 물을 채우고, 유량계 하단에 위치한 밸브로 분사노즐의 유량을 3 L/min(F1), 4 L/min(F2), 5 L/min(F3)로 조절하면서 분진 제거실험을 4번 반복 수행하였다. 여기서 분사노즐에 공급되는 F1, F2, F3 각각의 유량에

대해 노즐 2개를 개방 했을 때와 4개를 개방 했을 때의 분사압력 및 분진 제거 효율을 조사하였다. 분진 시료 30 g은 20초 동안 균일하게 팬을 통해 분진제거 장치 상부로 투입되었으며, 투입된 분진은 원통형 분진 제거실에 설치된 분사노즐에 의해 제거되어 물과 함께 배출구로 배출된다. 배출된 분진은 비스코스 레이온 섬유를 통해 분진만을 여과하여 건조기에서 24시간 완전 건조시킨 후 제거된 분진의 량을 계산하였다.

2) 결과 및 고찰

분사 유량 F1, F2, F3에 대해 노즐을 2개 사용할 때와 4개를 사용할 때 각각에 대한 노즐의 분사압력을 그림 22에 나타내었다. 전체적으로 유량이 크고 노즐을 적은 수 개방했을 때 노즐의 분사압력이 크게 나타났으며, 2개의 노즐을 개방 했을 때 0.12 ~ 0.27 MPa 이었고, 4개의 노즐을 개방 했을 때 0.05 ~ 0.15 MPa로 대략 2배의 차이가 있는 것으로 나타났다.

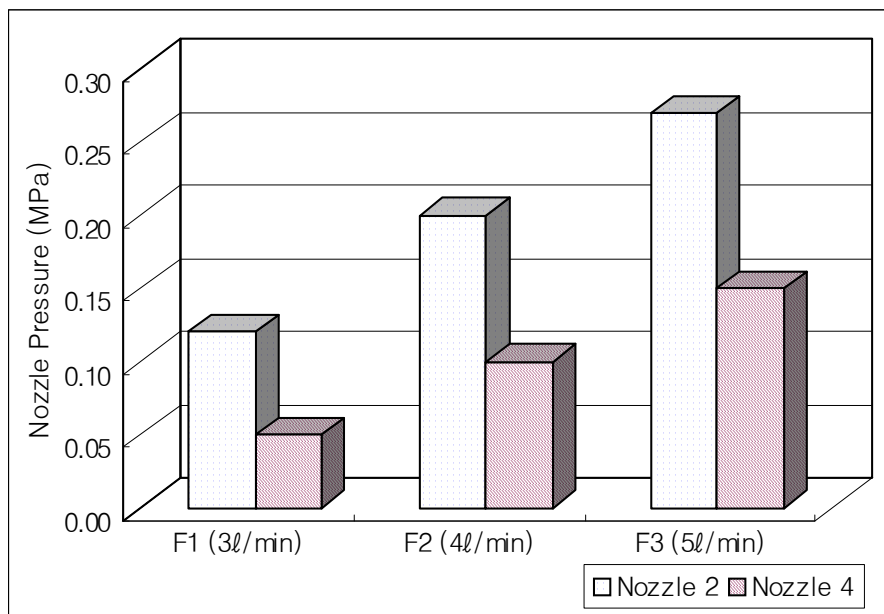


그림 22. 분사유량에 따른 노즐의 분사압력

완전히 건조한 30 g의 분진을 20초 동안 일정하게 분진제거장치에 투입한 후, 노즐 분사유량 및 노즐 개방 수에 따른 분진 제거량을 조사하였다. 제거된 분진량은 분사유량 F1에서 노즐 2개 개방 시 24.05 g, 4개 개방 시 24.31 g이었고, 유량 F2의 노즐 2개 개방 시 26.24 g, 4개 개방 시 27.07 g이었으며, 유량 F3에서 노즐 2개 개방 시 26.62 g, 4개 개방 시 27.30 g으로 나타났다(표 4.). 대체적으로 노즐 분사유량이 크고, 개방 노즐 수가 많을수록 제거된 분진량은 큰 것으로 나타났다.

표 4. 노즐 분사유량 및 노즐 개방 수에 따른 분진 제거량

분사 유량	개방 노즐 수	제거된 분진(g)
F1 (3 L/min)	2	24.05
	4	24.31
F2 (4 L/min)	2	26.24
	4	27.07
F3 (5 L/min)	2	26.62
	4	27.30

노즐 분사유량 및 노즐 개방 수에 따른 분진제거장치에 의해 제거된 분진의량을 다음의 식에 의해 분진제거효율로 나타내었다.

$$Efficiency = \frac{Output}{Input} \times 100\%$$

그림 23에 나타낸 바와 같이 노즐에 공급된 유량이 4 L/min이상이고, 노즐 4개를 개방하였을 때 분진제거효율이 가장 좋은 90%이상을 나타내었으며, 유량이 3 L/min 일 때는 개방된 노즐의 수와 관계없이 분진제거 효율이 약 80%인 것으로 나타났다. 노즐 공급 유량이 4 L/min 및 5 L/min일 때에 노즐을 2개만 개방할 경우 분진제거 효율은 약 88% 내외인 것으로 나타났다.

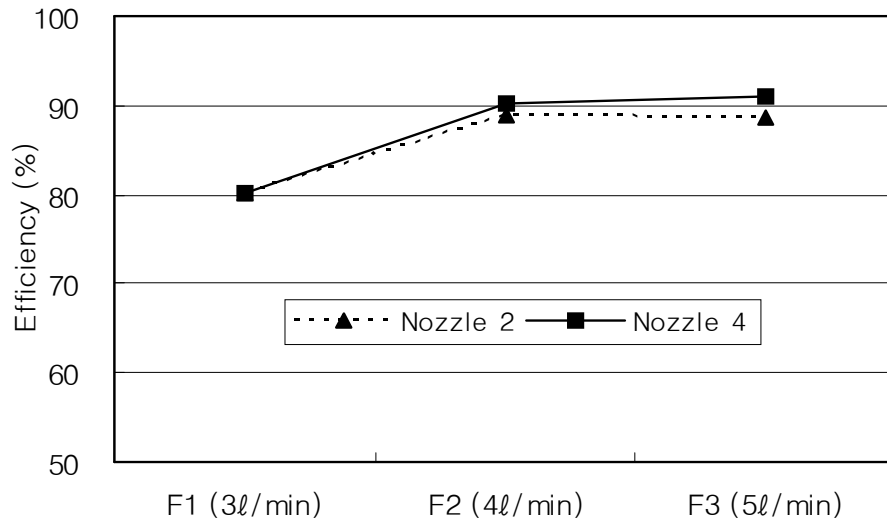


그림 23. 노즐 분사유량 및 노즐 개방 수에 따른 분진 제거효율

3) 요약 및 결론

공업화는 대기오염을 심화시키고 있으며, 그중 연소, 생산 및 제조공정에서 많이 발생하는 입자상 물질은 인체의 호흡기에 심각한 영향을 끼친다. 그에 따라 산업현장의 각 분야에서 집진장치의 수요가 급증하고 있다. 숯 제조공장의 탄화배기가스를 집진할 목적으로 원통형 수압 분무식 분진 제거장치를 제작해 분진 제거특성을 조사하였다. 대체적으로 유량이 크고 노즐을 적게 개방했을 때 노즐의 분사압력이 크게 나타났으며, 2개의 노즐을 개방 했을 때 0.12 ~ 0.27 MPa 이었고, 4개의 노즐을 개방 했을 때 0.05 ~ 0.15 MPa로 대략 2배의 차이가 있는 것으로 나타났다. 분진제거장치에 의해 제거된 분진의 양은 노즐 분사유량 F1에서 노즐 2개 개방 시 24.05 g, 4개 개방 시 24.31 g이었고, 유량 F2의 노즐 2개 개방 시 26.24 g, 4개 개방 시 27.07 g이었으며, 유량 F3에서 노즐 2개 개방 시 26.62 g, 4개 개방 시 27.30 g로 나타났다. 노즐에 공급된 유량이 4 L/min이상이고, 노즐 4개를 개방하였을 때 분진제거효율이 가장 좋은 90%이상을 나타내었다.

2. 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치 설계 및 제작

가. 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치 설계

목초액 분사장치 설계 및 제작을 위한 숲 제조장치는 다음과 같이 구성된다.

- 내부에 적재된 나무를 탄화시켜 숯을 제조하는 탄화로,
- 탄화 중에 발생하는 연소가스를 대기로 배출을 유도하는 덕트조립체,
- 덕트 조립체로부터 분지된 분지관과 연결되어 덕트 조립체로 통과되는 연소가스가 응축되어 생성된 목초액을 분지관을 통해 회수하는 목초액 회수조,
- 덕트조립체의 타단과 연결되어 연소가스가 유입되고, 유입된 연소가스에 미세 목초액을 분사하는 분사노즐관이 내부에 설치된 목초액 분사장치,
- 목초액 회수조에 연결되고 타측이 상기 분사노즐관에 연결되어 목초액 회수조의 목초액을 분사노즐관으로 공급하기 위한 이송력을 제공하는 펌프,
- 목초액 분사장치에 설치되어 목초액 분사장치에서 유해 성분이 제거된 연소가스를 대기로 배출하는 배출덕트

여기서, 덕트조립체는 다수의 덕트들이 연결된 것으로, 다수의 연결 덕트들 중 어느 한 덕트 연결단에 설치되고, 내부에 연소가스와 충돌하여 연소가스에 포함된 타르성분을 제거하기 위한 다수의 충돌판들이 연소가스의 흐름방향으로 서로 이웃하게 일렬로 배열되게 설치된 타르제거기가 포함되어있다.

타르제거기는 양 측면에 연소가스 흡입구 및 배출구가 형성된 케이싱과, 케이싱 내부를 연소가스가 흐르는 연소가스 유동부와 타르가 회수되는 타르 회수부를 상하로 구획하는 구획판을 포함하며 구획판은 타르가 통과되는 다수의 구멍이 형성된다.

연소가스가 충돌판과의 충돌면적을 증가시키기 위해 충돌판은 직사각형의 판으로, 판의 양 측면과 상면이 케이싱에 고정되어 판의 하부측으로 연소가스가 흐르도록 판의 하면이 구획판과 이격되게 설치된 제1 충돌판과, 판의 양측면이 케이싱에 고정되고 판의 하면이 구획판에 고정되어 판의 상부로 연소가스가 흐르도록 판의 상면이 케이싱의 상면과 이격되게 설치된 제2 충돌판이 서로 이웃하게 번갈아가면서 설치된다.

여기서, 타르제거기와 목초액 회수장치는 타르제거기에서 타르가 제거된 연소가스가 목초액 회수장치로 유입되도록 덕트로 연결된다.

또한, 본 발명의 숲 제조장치는 덕트조립체에서 다수의 연결 덕트들 중 어느

한 덕트의 연결단에 설치되어 연소가스를 냉각시켜 연소가스의 응축을 신속하게 하기 위한 냉각탑을 더 포함한다. 이 때, 상기 냉각탑 후측의 덕트조립체 내부에 설치되어 연소가스를 보다 신속하게 흐르도록 송풍력을 제공하는 송풍팬이 포함된다.

나. 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치 제작

본 발명에 따른 숯 제조장치는 숯 제조과정에서 부산물로 발생하는 목초액을 회수한 후, 이를 숯 탄화과정에서 발생하는 연소가스에 분사함으로써 연소가스에 함유된 유해성분들을 제거하는 구조이다.

특히, 여러 기의 탄화로를 이용하여 숯을 제조하는 경우에, 탄화로들 각각에 결합된 연통(煙筒)들과 일체로 연결된 덕트조립체를 통해 연소가스를 배출함으로써 연소가스를 보다 큰 덕트의 표면적과 오랜 시간동안 접하게 하여 배출되는 연소가스의 양의 현저히 감소시킨 구조이다.

또한, 대기로 배출되는 연소가스에 숯 제조시의 발생하는 부산물인 목초액을 분사시키는 구조이므로, 목초액을 숯 제조장치 자체로부터 회수 및 순환시켜 계속적으로 사용함과 동시에 덕트조립체의 연결단에 연소가스의 응축이 효율적으로 일어나도록 연소가스를 냉각시키기 위한 냉각탑을 설치하여 짧은 시간에 다량의 목초액을 회수할 수 있는 구조이다.

그리고, 연소가스에 목초액을 분사하기 전에 타르를 제거함과 동시에 타르가 제거된 목초액을 다시 회수하여 이를 계속적으로 순환하여 사용할 수 있는 구조이다.

이를 좀 더 상세히 설명하면 다음과 같다.

그림 26은 본 발명의 실시예에 따른 숯 제조장치의 전체를 도시한 것이다.본 발명의 실시예에 따른 숯 제조장치는 다수의 탄화로(1)들과, 각 탄화로(1)에 설치되어 숯의 탄화과정 중에 발생하는 연소가스를 탄화로(1) 외부로 배출하기 위한 연통(煙筒)(3)들과, 각 연통(3)과 결합되어 연통(3)으로부터 배출되는 연소가스를 하나로 수집하도록 다수의 덕트가 연결된 덕트조립체(5)와, 이 덕트조립체(5)의 연결단에 설치되어 연소가스를 냉각시켜 응축율을 증가시키기 위한 냉각탑(6)과, 덕트조립체(5)의 배출단에 설치되어 숯 제조과정 중에 부산물로 발생하는 목초액을 연소가스에 분사하는 목초액 분사장치(10)와, 냉각탑(6)과 목초액 분사장치(10) 사이의 덕트조립체(5)의 연결단에 설치되어 연소가스에 함유된 타르 성분을 제거하기 위한 타르제거기(20)와, 덕트조립체(5), 냉각탑(6), 목초액 분사장치(10) 및 타르제거기(20)로부터 목초액을 회수하여 저장하

는 목초액 회수조(4)가 유기적으로 결합되는 구성이다.

먼저, 다수의 탄화로(1)들은 서로 이웃하게 나란히 배열되고, 각 탄화로(1)는 내화벽돌로 밀폐되며 내부에 나무를 적재하여 열을 가할 수 있는 공간이 마련된 반원 형상의 구조물로, 각 탄화로(1)의 전면에는 나무를 적재하고 탄화과정이 완료된 숯을 빼내기 위한 입구가 형성되고 이 입구를 개폐하기 위한 개폐문(2)이 설치된다.

여기서, 각 탄화로(1)의 상부측에는 목재의 탄화과정에서 발생하는 연소가스를 탄화로(1) 외부로 배출하기 위한 연통(煙筒)(3)이 일정한 높이를 갖도록 각각 설치된다.

또한, 각 연통(3)들의 배출구에는 연통(3)과 수직한 방향으로 길게 연장된 덕트조립체(5)가 연결되어 각 연통(3)에서 나오는 연소가스를 하나로 모아 대기로의 배출을 유도한다. 이러한 덕트조립체(5)는 다수의 덕트가 연결된 조립체로 그 연결부위는 기밀구조를 포함하는 공지의 플랜지 연결구조 등과 같은 방식으로 연결된다.

이에 따라, 각 탄화로(1)들에 연결된 각각의 연통(3)들로부터 배출되는 연소가스가 대기로 배출되기 전에 길게 연장된 덕트조립체(5)를 경유하게 되어, 보다 긴 시간동안 덕트조립체(5)의 큰 표면적과 접촉하며 배출됨으로써 연소가스의 배출량이 연통(3)에서 직접 배출하는 종래 기술에 비하여 현저히 감소된다. 한편, 덕트조립체(5)의 연결단에는, 덕트조립체(5)에서 각 탄화로(1)들에서 배출되는 연소가스가 최종적으로 하나로 모아지는 부분(A) 측의 덕트측 연결단에는, 연소가스를 냉각 응축시켜 빠른 시간내에 목초액을 회수하기 위해 냉각수단이 구비된 냉각탑(6)이 설치된다. 냉각탑(6)은 밀폐된 외관을 형성하는 케이싱과 이 케이싱의 양측면에 연소가스가 유입 및 유출되도록 각 덕트와 연결되는 냉각탑 덕트연결구(6a)(6b)가 형성되며, 특히 그 내부에는 연소가스를 냉각시키기 위한 수단으로 냉각수가 저장되어 있다.

따라서, 냉각탑(6)으로 유입된 연소가스는 냉각탑(6)에 저장된 냉각수와 열교환을 하여 냉각 응축되고, 냉각 응축된 목초액은 냉각탑(6) 하부로 모이게 된다. 이 때, 냉각탑(6)의 하측부는 목초액 회수조(4)와 제1 목초액 회수배관(30a)으로 연결된다. 이에 따라 냉각탑(6) 하부에 모인 목초액이 제1 목초액 회수배관(30a)을 통해 목초액 회수조(4)로 회수된다. 여기서, 냉각수단으로 냉각탑 내에 냉각수가 저장되는 것을 설명하였지만, 본 발명은 이에 한정되는 것은 아니라, 냉각탑 내에 냉각사이클을 구성하는 냉매배관이 설치되는 구성 등 당업계에서 널리 알려진 냉각수단이면 어느 것을 채용하여도 무방하다.

또한, 덕트조립체(5)는 목초액 회수조(4)와 덕트조립체(5)로부터 분지된 다수

의 덕트 분지배관(30b')들과 하나로 연결된 제2 목초액 회수배관(30b)으로 연결된다. 이에 따라 덕트조립체(5) 내부에서 생성된 목초액은 덕트 분지배관(30b')과 제2 목초액 회수배관을 통해 목초액 회수조(4)로 회수된다.

여기서, 덕트 분지배관(30b')들은 냉각탑(6)에서 냉각 응축되기 전의 연소가스로부터 생성된 목초액을 회수하기 위한 것이므로 냉각탑(6) 이전까지 연장된 덕트조립체의 덕트로부터 분지되는 것이 효율적이다.

또한, 냉각탑(6)에서 냉각 응축된 연소가스가 배출되는 냉각탑 덕트연결구(6b)와 연결된 덕트의 내부에는 연소가스를 보다 신속하게 송출하기 위한 송풍팬(8)이 더 설치된다. 한편, 냉각탑(6)과 목초액 분사장치(10) 사이의 덕트조립체(5)의 덕트 연결단에는 연소가스에 함유된 다량의 타르 성분을 제거하기 위한 타르제거기(20)가 설치된다.

그림 27은 타르제거기(20)의 내부 구조를 도시한 사시도이다. 타르기(20)는 밀폐된 외관을 형성하는 직육면체 형상의 케이싱(24)으로, 케이싱(24) 내부에는 연소가스가 유동하여 타르가 제거되는 연소가스 유동부(20a)와 연소가스 유동부에서 제거된 타르 및 목초액이 회수되는 타르회수부(20b)가 상하로 나뉘인다. 연소가스 유동부(20a)가 형성된 케이싱(24)의 양측면에는 연소가스가 유입 및 배출되도록 덕트와 연결되는 타르제거기 덕트연결구(21)(22)가 각각 형성된다.

여기서, 타르제거기(20)의 상부에 형성된 연소가스 유동부(20a)에는 유동하는 연소가스와 충돌하여 타르를 제거하기 위한 다수의 충돌판(25)들이 연소가스의 유동방향으로 서로 이웃하게 일렬로 설치된다. 이에 따라, 연소가스가 충돌판(25)들에 충돌하면 연소가스에 함유된 다량의 타르성분이 목초액과 함께 충돌판(25)들에 집적(集積)된 후, 자중에 의해 낙하되어 목초액과 함께 타르회수부(20b)로 회수된다. 이때, 다수의 충돌판(25)들은 타르제거기(20)로 유입되는 연소가스가 최초 충돌판의 하부측으로 흐른 후에 다음 충돌판의 상부측으로 흐른 후 다시 다음 충돌판의 하부측으로 흐르는 유동과정이 주기적으로 반복되도록 설치된다.

즉, 각 충돌판(25)들은 소정의 두께를 갖는 직사각형의 판으로, 판의 양 측면과 상면이 케이싱(24)에 고정되고 판의 하부측으로 연소가스가 흐르도록 판의 하면이 타르 및 목초액의 수위로부터 일정 거리 이격된 제1 충돌판(25a)과, 판의 양측면이 케이싱(24)에 고정되고 판의 상부로 연소가스가 흐르도록 판의 상면이 케이싱(23)의 상면으로부터 일정 거리 이격된 제2 충돌판(25b)이 서로 이웃하게 번갈아가면서 일렬로 설치된다. 여기서, 제2 충돌판(25b)와 케이싱(23) 상면과의 이격거리는 연소가스의 충돌 면적을 최대화 하면서 원활한 흐름을

유지할 수 있도록 대략 5cm의 정도로 이격되는 것이 바람직하다. 또한 제1 층돌판(25a)의 이격거리는 케이싱 내부에 회수되는 타르 및 목초액의 수위에 따라 달라질 수 있으나 상기 제2 층돌판(25b)의 이격 거리와 같이 대략 5cm의 정도로 이격되도록 수위를 조절하는 것이 바람직하다.

이러한 층돌판(25)들의 배치 구조에 따라 타르제거기(20)로 유입된 연소가스가 각 층돌판과의 층돌면적이 증가되어 연소가스에 함유된 타르를 효과적으로 분리할 수 있게 된다.

또한, 제2 층돌판(25b)의 하단으로부터 대략 5cm의 정도 이격된 케이싱(24)의 측면에는, 목초액 회수조(4)와 제3 목초액 회수배관(30c)과 연결된다. 이에 따라 타르회수부(20b)에 침적된 목초액은 제3 목초액 회수배관(30c)을 통해 목초액 회수조(4)로 회수된다. 여기서, 제3 목초액 회수배관(30c)을 제2 층돌판(25b)의 하단으로부터 대략 5cm의 정도 이격된 케이싱(24)의 측면에 설치하는 이유는 상술한 바와 같이 케이싱 내부에 회수되는 타르 및 목초액의 수위에 따라 달라질 수 있으나 상기 제2 층돌판(25b)의 이격 거리와 같이 대략 5cm의 정도로 이격되도록 수위를 조절하기 때문이다.

또한, 케이싱(23)의 일측 하단면에는 케이싱 하부에 침적된 타르를 외부로 배출하도록 밸브에 의해 개폐가 조절되는 타르배출관(30e)이 설치된다. 이때, 타르배출관을 케이싱의 하단면에 설치하는 이유는 타르가 목초액보다 비중이 더 커 케이싱의 하단면 측에 침적되기 때문이다. 구획관(23)에는 연소가스 유동부(20a)에서 분리된 타르와 목초액이 타르회수부(20b)로 흘러 들어갈수록 다수의 구멍이 형성된다. 여기서, 층돌판이 설치된 연소가스 유동부와 타르회수부를 하나의 케이싱 내에 형성되는 것을 설명하였지만, 본 발명은 이에 한정되는 것이 아니라 연소가스 유동부와 타르회수부가 별개의 케이싱에 형성되어 두 개의 케이싱을 착탈가능하게 결합하는 구성도 가능하다. 이러한 구조는 오랜 시간 동안 사용에 의해 타르회수부에 침적된 타르의 청소를 용이하게 할 수 있는 이점이 있다.

한편, 덕트조립체(5)의 배출단 측에는 연소가스를 대기로 배출하기 전에 연소가스에 함유된 유해성분을 저감시키기 위해 연소가스에 숯 제조과정에서 부산물로 발생하는 목초액을 분사시키는 목초액 분사장치(10)가 설치된다.

그림 29는 목초액 분사장치의 내부 구조를 도시한 단면도이다. 도시된 바와 같이 목초액 분사장치(10)는 밀폐된 케이싱으로 외관을 형성하고, 케이싱 일측 상부에는 타르제거기(20)에서 타르가 제거된 연소가스가 유입되는 덕트 연결구가 형성되며, 케이싱의 타측 상부에는 목초액 분사장치(10)에서 유해성분이 저감된 연소가스를 대기로 배출하기 위한 배출덕트(13)가 설치된다. 또한, 목초액

분사장치(10)의 내부에는 목초액 분사장치(10) 내부로 유입되는 연소가스로 미세한 목초액 방울을 분사하는 분사노즐관(11)이 설치된다.

그리고, 본 연구에 따른 숯 제조장치는 상기 분사노즐관(11)으로 목초액을 공급할 수 있도록 목초액 회수조(4)와 연결된 목초액 공급관(12)이 구비되며, 분사노즐관(11)과 목초액 공급관(12) 사이에는 목초액 회수조(4)에 저장된 목초액을 흡인하여 분사노즐관(11)으로 공급할 수 있는 이송력을 제공하는 펌프(7)가 더 구비된다. 이에 따라, 본 발명은 숯 제조과정에서 부산물로 발생하는 모든 목초액을 목초액 회수조(4)로 회수한 후, 회수된 목초액을 분사노즐관(11)을 통해 미세 방울로 연소가스에 분사함으로써 연소가스 중에 포함된 유해성분을 흡착하여 제거할 수 있게 되는 것이다. 그리고, 목초액 분사장치(10)의 케이싱 하단부에는 목초액 회수조(4)와 제4 목초액 회수배관(30d)과 연결된다. 이에 따라 목초액 분사장치(10)에 침적된 목초액은 제4 목초액 회수배관(30d)를 통해 다시 목초액 회수조(4)로 회수된다.

이에 따라, 분사된 목초액은 목초액 분사장치(10)의 하부에 저장되어 다시 목초액 회수조(4)로 회수시켜 재사용함으로써, 외부에서 별도의 분사액을 공급받을 필요 없이 계속적으로 목초액을 순환하여 사용할 수 있게 된다.

그림 29는 본 발명에 따른 숯 제조장치에서 목초액 분사장치(10)의 다른 실시예를 도시한 사시도이다. 그림 28에서는 목초액 분사장치(10)의 분사노즐관(11)이 목초액 분사장치(10)의 케이싱 내부에 설치되는 구성을 설명하였지만 그림 29에서와 같이 분사노즐관(11)을 목초액 분사장치(10)의 케이싱 외부에 설치하는 구성도 가능하다.

즉, 목초액 분사장치(10) 케이싱 상부의 측면 둘레방향을 따라 다수의 구멍(10a)이 형성되고, 배출덕트(13)의 하부 둘레방향을 따라 다수의 구멍(13a)이 형성되며, 다수의 구멍(11a)이 형성된 분배관(11)이 펌프(7) 측에 연결되어 목초액 분사장치(10) 케이싱 외측 상면 둘레방향을 따라 설치된다. 여기서, 일측이 분배관 구멍(11a)에 연결되고 분사노즐이 형성된 타측이 케이싱 구멍(10a) 또는 배출덕트 구멍(13a)에 연결된 분사노즐관(11)이 소정의 간격을 두고 다수개 설치된다. 따라서, 분배관(11) 내부에 흐르는 목초액이 분사노즐관(11)을 통하여 목초액 분사장치(10)의 케이싱 상측 전체 둘레면과 배출덕트(13) 하측 전체 둘레면을 따라 골고루 분사되어 연소가스 중에 포함된 유해성분을 더욱 효과적으로 흡착하여 제거할 수 있게 되는 것이다.

상술한 바와 같이 본 발명의 실시 예에 따른 숯 제조장치는 다수의 탄화로가 설치된 구성을 설명하였지만, 본 발명은 이에 한정되는 것이 아니라 탄화로의 크기가 매우 커서 대량의 숯을 제조할 수 있는 경우에는 하나의 탄화로를

사용하는 숯 제조장치에도 적용될 수 있다.

이하에서는 본 발명의 일실시예에 따른 숯 제조장치의 작용을 첨부도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.

그림 30은 본 연구의 일실시예에 따른 숯 제조장치에서 연소가스의 흐름을 나타낸 도면이고, 그림 31은 본 발명의 일실시예에 따른 숯 제조장치에서 목초액의 흐름을 나타내는 도면이다.

숯 제조장치의 연소가스의 흐름을 살펴보면 다수의 탄화로(1)들 내부에 적재된 나무가 가열되어 탄화되면서 발생하는 연소가스는 각 탄화로(1)들에 설치된 연통(3)을 거쳐 덕트조립체(5)에 함께 모여 흐르게 된다. 덕트조립체(5)로 흐르는 연소가스는 송풍팬(8)의 송풍력에 의해 냉각탑(6)으로 빠르게 유동되어 냉각 응축된 후에 타르제거기(20)로 유입된다. 타르제거기(20)로 유입되어 다수의 충돌판(15)과 충돌되면서 타르가 제거된 연소가스는 목초액 분사장치(10)로 유입되어 목초액 분사장치(10)의 분사노즐관(11)에서 분사되는 미세 목초액 방울에 의해 유해성분이 흡착 제거된 후 배출덕트(13)를 통해 대기로 배출된다. 이에 따라 숯 제조과정에서 발생하는 연소가스는 타르제거기(20)와 목초액 분사장치를 통해 타르 및 유해성분이 제거되기 때문에 유해배기가스가 대기로 배출되는 양이 현저히 감소되어 환경오염이 줄어들게 되고, 길게 연장된 덕트조립체를 경유하기 때문에 배출과정 동안에 덕트와의 접촉 면적이 증가되어 배출되는 연소가스의 양도 현저히 줄어들게 된다.

숯 제조장치의 목초액의 흐름을 살펴보면, 다수의 탄화로(1)들 내부에 적재된 나무가 가열되어 탄화되면서 발생하는 연소가스는 각 탄화로(1)들에 설치된 연통(3)을 거쳐 덕트조립체(5)로 흐르면서 대기와의 온도 차이에 의한 열교환(냉각)을 하면서 응축된 목초액이 다수의 분지관(30b')과 제2 목초액 회수관(30b)을 통해 목초액 회수조(4)로 회수된다. 또한, 덕트조립체(5)로부터 냉각탑(6)을 경유하는 연소가스는 다시 냉각탑(6)에서 냉각되어 응축된 목초액이 제1 목초액 회수관(30a)을 통해 목초액 회수조(4)로 회수되며, 이후 타르제거기(20)에서 충돌판(15)과 충돌되어 생성된 목초액은 제3 목초액 회수관(30c)을 통해 목초액 회수조(4)로 회수된다.

이와 같이, 목초액 회수조(4)로 회수된 목초액은 펌프의 이송력에 의해 목초액 분사관(11)으로 공급된다. 목초액 분사관(11)으로 공급된 목초액은 다시 제4 목초액 회수관(30d)을 통해 목초액 회수조(4)로 재회수된다.

따라서, 본 연구의 숯 제조장치는 많은 양의 목초액을 회수할 뿐만 아니라 이를 계속적으로 재순환하여 사용할 수 있는 이점이 있게 된다.

앞에서 설명한 본 연구에서 제작된 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장

치는 그림 32에 나타냈다.

<도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>

- | | |
|-------------|----------------|
| 1 : 탄화로 | 3 : 연통(煙筒) |
| 4 : 목초액 회수조 | 5 : 덕트조립체 |
| 6 : 냉각탑 | 7 : 펌프 |
| 8 : 송풍팬 | 10 : 목초액 분사장치. |
| 11 : 분사노즐관 | 20 : 타르제거기 |
| 25 : 증돌관 | |

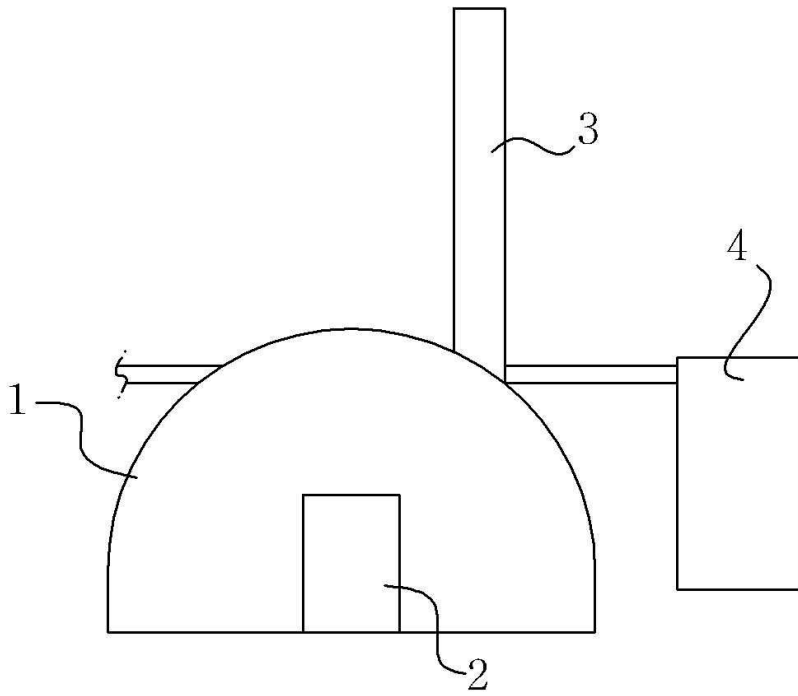


그림 24. 기존의 단일 탄화로가 구비된 숯 제조장치

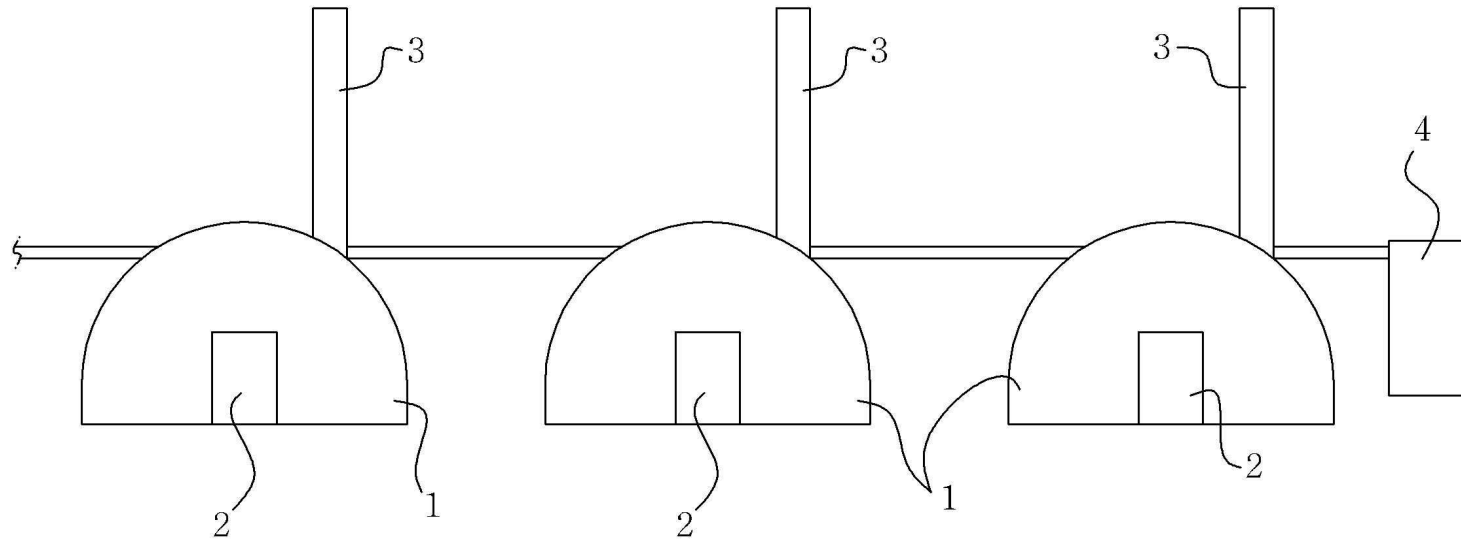


그림 25. 기존의 다수 탄화료가 구비된 솥 제조장치

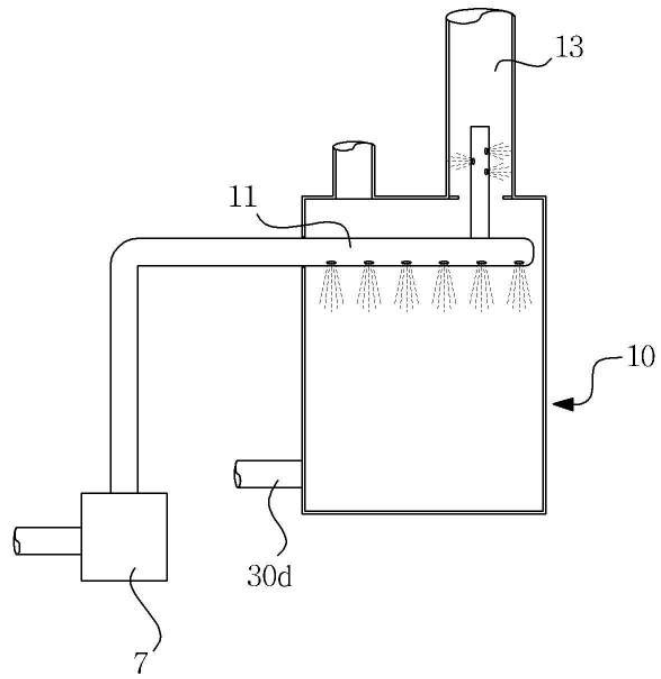


그림 28. 그림 26에 도시된 목초액 분사장치의 내부 구조 단면도

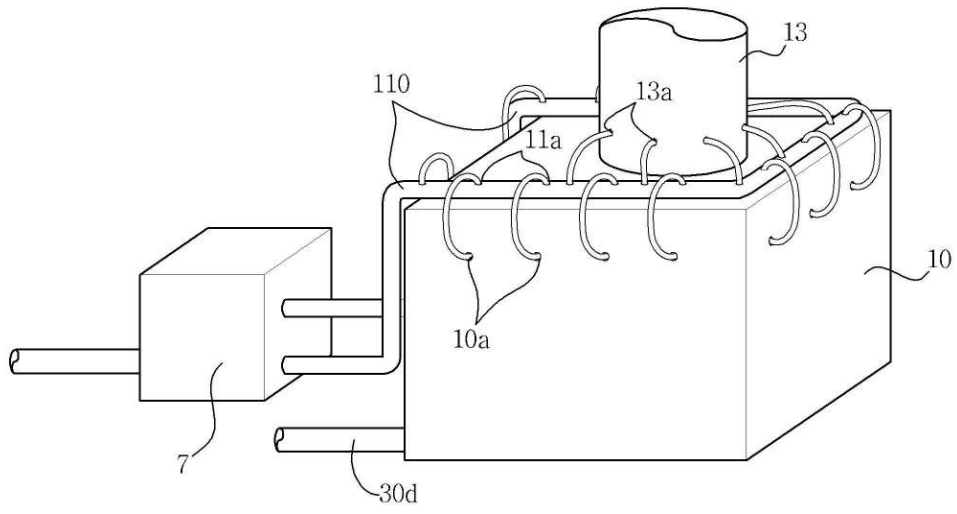


그림 29. 목초액 분사장치의 다른 실시 예의 사시도

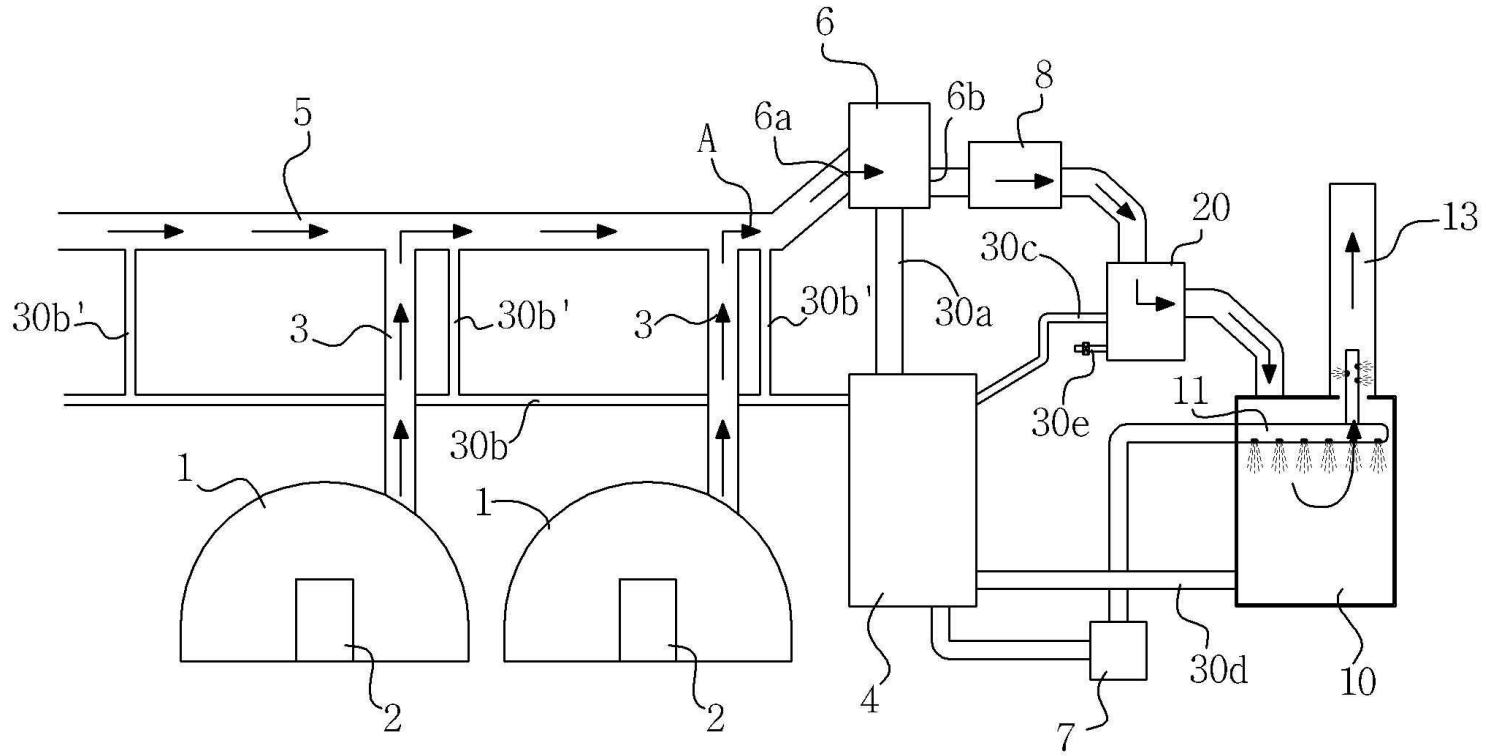


그림 30. 그림 26에 도시된 숯 제조장치에서 연소가스의 흐름을 설명한 설명도

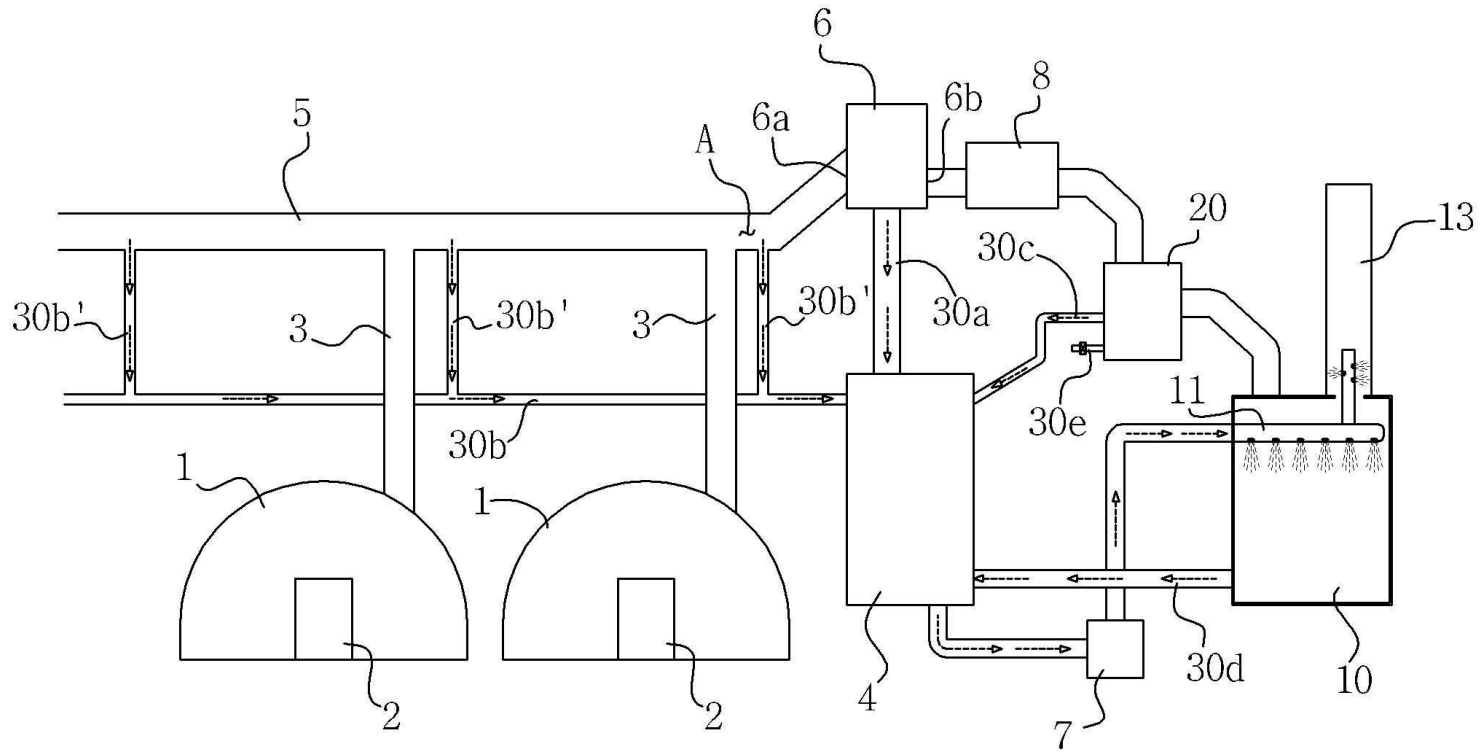


그림 31. 그림 3에 도시된 숯 제조장치에서 목초액의 흐름을 설명한 설명도



(A)



(B)



(C)



(D)

그림 32. 냉각탑에 설치되어 있는 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치
A: 냉각탑 주위의 목초액 분사장치 설비실 B: 목초액 분사 모터
C, D: 냉각탑 하단부에 설치되어 있는 목초액 분사노즐

3. 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치 성능평가

육안적으로 굴뚝에서 배출되는 연기의 형태를 보면 배출가스 최소화 장치를 운영하였을 때와 운영하지 않았을 때 발생하는 연기의 양은 절반 이상으로 크게 줄어드는 것이 관찰되었다(그림 33).



그림 33. 배출가스 최소화장치 가동 전(왼쪽)과 가동 후(오른쪽)

배출되는 연기의 성분을 가스측정장치를 이용하여 분석해본 결과 가스 자체의 농도는 크게 떨어지지 않는 것으로 확인되었으나(표 5), 연기를 반 이상으로 줄인다는 것은 대기중으로 배출되어 날아가는 가스(CO, CO₂)의 양을 줄이는 의미로서 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 장치는 획기적인 발명이라 사료된다.

표 5. 목초액 분사방식 배출가스 최소화장치 가동전과 가동후의 가스측정 결과

		가동 전	가동 후	감소차
CO ₂ (%)	1차	1.3	0.7	-0.6
	2차	1.4	0.8	-0.6
	3차	1.0	0.9	-0.1
	4차	1.0	0.8	-0.2
	5차	1.5	0.7	-0.8
	평균	1.24	0.78	-0.46
CO(ppm)	1차	4589	3762	-827
	2차	5964	5055	-909
	3차	5880	5739	-141
	4차	6010	5505	-505
	5차	6245	5496	-749
	평균	5738	5111	-626
O ₂	1차	18.4	17.5	-0.9
	2차	18.2	18.0	-0.2
	3차	18.3	17.3	-1
	4차	19.0	15.5	-3.5
	5차	19.5	16.9	-2.6
	평균	18.68	17.04	-1.64

배출가스 최소화 장치는 연기를 흡착시키는 재료인 목초액을 분사하기 위한 동력이 필요하므로 2차 에너지가 필요한 단점이 있으나 연기를 흡착시켜 외부로 발생키지 않는 것은 그만큼의 목초액 생산에 증가를 가져옴을 의미한다.

실제로 배출가스 최소화 장치를 가동하면서부터 목초액 생산량은 약 30%가 증가되어 가동에 필요한 2차 에너지 비용문제는 자연스럽게 해결되었다.

목초액 생산량 증가와 동시에 목타르의 양도 큰 폭으로 증가되어 앞으로 목타르를 재활용하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

이상과 같이 본 연구에서 개발된 목초액 분사방식의 배출가스 저감장치는 다음과 같은 효과를 나타내었다.

- 숯 제조과정에서 부산물로 발생하는 목초액을 연소가스에 분사함으로써 연소가스 중에 함유되어 있는 유해성분이 제거되어 대기로의 유해배기가스의 배출량을 현저히 감소시켜서 종래보다 환경오염을 크게 줄일 수 있는 효과가 있었다.
- 유해배기가스의 저감을 위해 숯 제조과정에서 부산물로 발생하는 목초액을 지속적으로 순환시켜 사용함으로써 연소가스에 분사액을 분사하기 위한 별도의 장치가 필요가 없게 되어 부품 수의 감소와 숯 제조장치의 전체 크기를 줄일 수 있는 효과가 있었다.
- 연소가스에 함유된 타르성분을 제거함으로써 타르 냄새가 현저히 줄어드는 효과가 나타났다.
- 다수의 탄화로가 설치된 경우에 다수의 탄화로에 구비되어 있는 연통(煙筒)을 하나의 덕트로 연결하여 연소가스가 대기로 배출되는 동안에 오랜 시간 동안 큰 덕트의 표면적과 접촉하게 되어 배출되는 연소가스의 양이 현저하게 감소되는 효과가 있었다.

제 3 절 폐열 집적설비 및 배출가스 최소화 설비 부착 전·후의 목탄 특성 비교

1. 전통식 탄화로에서 제탄된 목탄의 해부학적 특성

가. 공시재료

(주)홍천참숯에서 분양받은 굴참나무(*Quercus variabilis* BLUME)와 신갈나무(*Quercus mongolica* FISCH.)재의 백탄 및 흑탄을 재료로 사용하였다(그림 34). 백탄은 제탄온도가 약 1000℃, 총제탄시간이 120~150시간이었고, 흑탄은 제탄온도가 600~700℃, 총제탄시간이 330 ~ 360시간이었다.

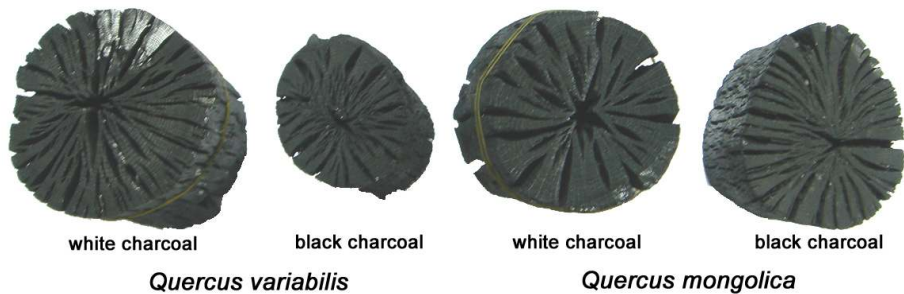


그림 34. 굴참나무와 신갈나무 목탄

나. 실험방법

1) 구성세포의 관찰

주사전자현미경 관찰용 시료는 R방향 10mm, T방향 10mm, L방향 5mm의 치수로 제작하여, 강원대학교 창강제지연구소에 설치되어 있는 주사전자현미경(JEOL, JSM-5510)으로 18~20kV의 가속 전압하에서 실시하였다.

2) 도관 직경의 측정

도관의 직경은 주사전자현미경으로 촬영한 횡단면 사진에서 각 연륜을 조재와 만재로 구분하여 측정하였다. 목재의 조재부 및 만재부 도관은 10개씩 측정하였으며 백탄 및 흑탄의 조·만재부 도관은 15~20개씩 측정하여 평균치로 하였다.

3) 방사유세포 치수의 측정

방사유세포 길이와 폭은 주사전자현미경으로 촬영한 방사단면 사진에서 측정하였다. 목재, 백탄, 흑탄의 방사유세포 치수는 10~15개씩 측정하여 평균치로 하였다.

4) 구성세포의 치수변화

목재, 백탄과 흑탄의 구성요소에 대한 치수변화는 주사전자현미경으로 촬영한 각 단면별 사진을 이용하여 측정하였다.

5) 전통식 탄화로에서 제조된 목탄의 물리적 특성 및 공업분석

가) 물리적 특성

(1) 밀도 측정

목재의 밀도는 전건법을 이용하여 측정하였고, 백탄 및 흑탄의 밀도는 파라핀으로 도포한 후 부력에 의한 방법으로 측정하였다.

(2) 백탄과 흑탄의 정련도 측정

목탄의 정련도는 목탄면 2점간의 전기 저항을 측정하여 그 값을 지수로 0~9의 10단계로 나타냈다. 측정기기는 三陽電氣製作所製 木炭精練計(FA56型)를 이용하였다.

(3) 수소이온농도의 측정

수소이온농도 실험은 활성탄 시험법(JIS K 1470)에 따라 전건시료 1g을 삼각플라스크에 물 100ml와 혼합하여 5분간 끓인 후 냉각시켜 pH meter(InoLab社, pH Level 2 P)로 측정하였다.

나) 공업분석

각 수종의 목탄을 60mesh이하로 분쇄하여 공업분석법(JIS M 8812 석탄시험법)으로 분석하였다. 그 방법은 다음과 같다.

(1) 수분은 목탄분말 1g을 105℃의 Oven에서 60분간 건조시킨 후 데시케이터 내에서 1시간 냉각시켜 측정하였다.

$$\text{수분}(\%) = \frac{\text{건조후 시료의 중량}}{\text{시료 중량}} \times 100$$

(2) 휘발분은 목탄분말 1g을 900℃의 회화로에서 7분간 방치한 후 냉각시켜 측정하였다.

$$\text{휘발분}(\%) = \frac{\text{가열후 감량 시료 중량}}{\text{시료 중량}} \times 100 - \text{수분}$$

(3) 회분은 목탄분말 1g을 815℃의 회화로에서 완전히 회화, 냉각시켜 측정하였다.

$$\text{회분}(\%) = \frac{\text{가열후 잔량 중량}}{\text{시료 중량}} \times 100$$

(4) 고정탄소는 전체(100)에서 수분, 회분, 휘발분의 총합을 뺀 것으로 산출하였다.

$$\text{고정탄소} = 100 - (\text{수분} + \text{회분} + \text{휘발분})$$

다. 결과 및 고찰

1) 백탄 및 흑탄의 세포치수

가) 굴참나무

굴참나무의 목재, 백탄 및 흑탄의 조·만재부 도관 직경과 방사유세포 길이 및 폭을 측정된 결과는 표 6과 같다.

굴참나무재의 조재부 도관 직경은 방사방향 $300 \pm 15 \mu\text{m}$, 접선방향 $230 \pm 20 \mu\text{m}$ 였다. 백탄은 방사방향 $275 \pm 17 \mu\text{m}$, 접선방향 $169 \pm 12 \mu\text{m}$, 흑탄은 방사방향 $215 \pm 20 \mu\text{m}$, 접선방향 $151 \pm 21 \mu\text{m}$ 로 흑탄이 양방향 모두 많이 수축되었다.

만재부 도관 직경은 방사방향 $70 \pm 11 \mu\text{m}$, 접선방향 $65 \pm 10 \mu\text{m}$ 였다. 백탄은 방사방향 $62 \pm 32 \mu\text{m}$, 접선방향 $59 \pm 11 \mu\text{m}$, 흑탄은 방사방향 $56 \pm 14 \mu\text{m}$, 접선방향 $41 \pm 17 \mu\text{m}$ 로 방사방향과 접선방향 모두 흑탄이 가장 많이 수축되었다.

목재의 방사유세포 폭은 $26 \pm 12 \mu\text{m}$, 길이 $70 \pm 10 \mu\text{m}$ 였다. 백탄의 방사유세포 폭은 $19 \pm 19 \mu\text{m}$, 길이 $50 \pm 25 \mu\text{m}$ 였고, 흑탄은 폭은 $19 \pm 11 \mu\text{m}$, 길이 $43 \pm 5 \mu\text{m}$ 로 방사유세포 폭은 백탄이 다소 좁게 나타났고, 길이는 양자에서 모두 비슷하게 나타났다.

표 6. 탄화과정중 굴참나무의 방사유세포와 도관의 치수변화 (단위: μm)

	도관직경				방사유세포 치수	
	조재		만재		W	L
	R	T	R	T		
목재	300 ± 15	230 ± 20	70 ± 11	65 ± 10	26 ± 12	70 ± 10
백탄	275 ± 17	169 ± 12	62 ± 32	59 ± 11	19 ± 19	50 ± 25
흑탄	215 ± 20	151 ± 21	56 ± 14	41 ± 17	19 ± 11	43 ± 5

* R: 방사방향 T: 접선방향 W: 폭 L: 길이

나) 신갈나무

표 7은 신갈나무의 목재, 백탄 및 흑탄의 조·만재부 도관 직경과 방사유세포 길이 및 폭을 측정한 결과이다.

신갈나무재의 조재부 도관 직경은 방사방향 340±30µm, 접선방향 249±28µm였다. 백탄은 방사방향 250±12µm, 접선방향 169±29µm였고, 흑탄은 방사방향 261±25µm, 접선방향 170±10µm였다. 만재부 도관 직경은 방사방향 40±8µm, 접선방향 32±2µm였다. 백탄은 방사방향 30±4µm, 접선방향 26±8µm, 흑탄은 방사방향 31±5µm, 접선방향 30±5µm로 조, 만재부 도관직경은 백탄이 가장 많이 수축되었다.

목재의 방사유세포의 폭은 22±3µm, 길이 90±15µm였다. 백탄은 폭 17±2µm, 길이 60±3µm, 흑탄은 폭 20±3µm, 길이 39±2µm로 폭은 백탄이 더 좁은 것으로 나타났다, 길이는 흑탄이 가장 짧았다.

표 7. 탄화과정중 신갈나무의 방사유세포와 도관의 치수변화 (단위: µm)

	도관직경				방사유세포의 치수	
	조재		만재		W	L
	R	T	R	T		
목재	340±30	249±28	40±8	32±2	22±3	90±15
백탄	250±12	169±29	30±4	26±8	17±2	60±3
흑탄	261±25	170±10	31±5	30±5	20±3	39±2

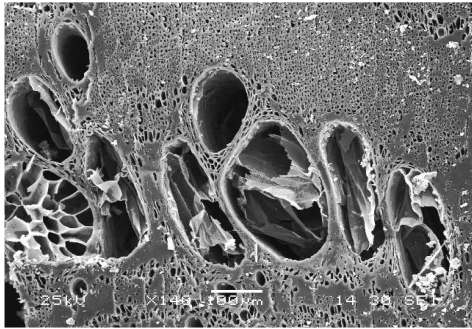
* R: 방사방향 T: 접선방향 W: 폭 L: 길이

2) 주사전자현미경을 이용한 백탄 및 흑탄의 구조

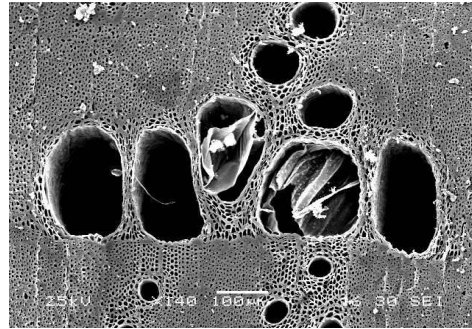
가) 굴참나무

Fig. 35는 굴참나무 백탄 및 흑탄의 횡단면을 관찰한 사진이다. 조재부 도관(A, B)의 형태는 접선방향으로 수축하여 방사방향으로 긴 타원형을 나타내었으며, 특히 백탄(A)에서 이러한 현상이 현저하게 나타났다. 그러나 다른 구성세포들의 형태와 구조적인 변형은 보이지 않는 목재의 일반적인 현미경 구조와 거의 동일하게 나타났다. 만재부 도관(C, D)의 경우에는 접선방향으로의 수축은 관찰되지 않았으나, 백탄(C)의 경우 인접세포들의 과도한 수축으로 인해 도관의 형태가 다소 찌그러지는 것이 관찰되었다. 또한 목섬유 부분(E, F)은 과도한 수축에 의해 세포가 크게 변형된 것을 보여주고 있으며, 세포벽은 벽층

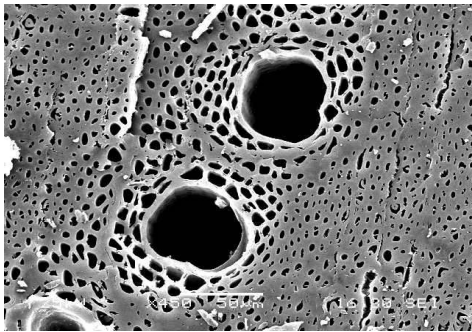
구조가 없어지고 불균질성에서 균질성으로 변화되어 매끄러운 단일층이 관찰되었다. 조제부 도관 내 타일로스스(G, H)는 고온의 탄화에도 불구하고 백탄과 흑탄에서 모두 관찰되었다.



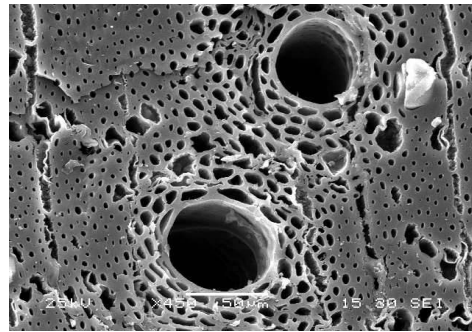
(A)



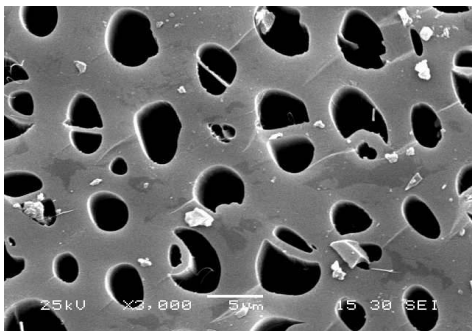
(B)



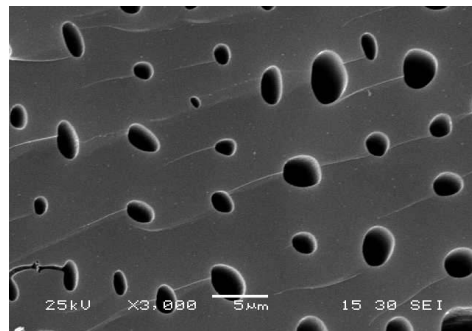
(C)



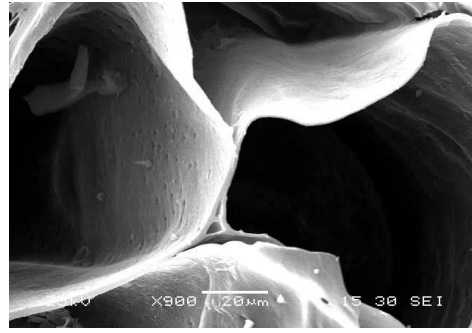
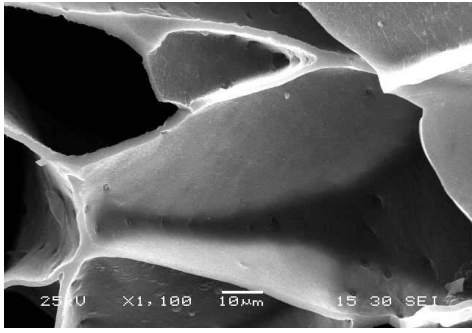
(D)



(E)



(F)

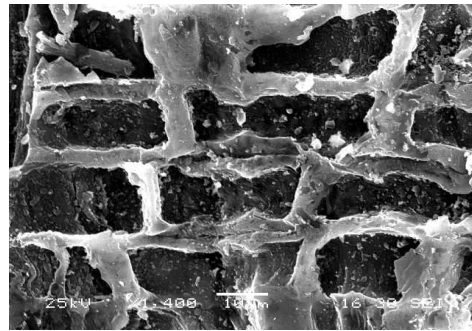
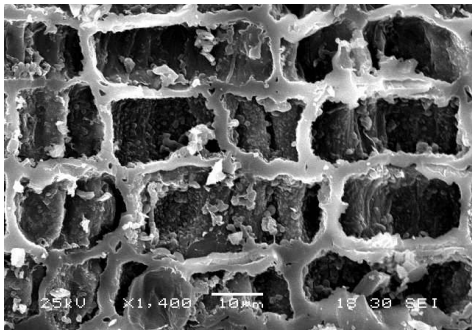


(G)

(H)

그림 35. 굴참나무 백탄(A, C, E, G)과 흑탄(B, D, F, H)의 횡단면

Fig. 36은 굴참나무 백탄(A)과 흑탄(B)의 방사단면을 나타낸 사진으로, 방사 유세포는 세포벽이 상당히 얇아지면서 인접하고 있는 두 층의 세포벽이 단일 층으로 합쳐진 모습을 보여주었고, 유세포 세포벽이 주름지며 수축되는 것이 관찰되었다. 이러한 현상은 백탄(A)에서 두드러지게 관찰되었다. 또한 백탄의 경우에는 고온탄화에 의한 세포벽의 수축으로 유세포간 공극이 발생되었다.



(A)

(B)

그림 36. 굴참나무 백탄(A)과 흑탄(B)의 방사단면

그림 37은 굴참나무 백탄(A, C)과 흑탄(B, D)의 접선단면을 나타낸 사진으로, 단열방사조직(A, B)과 광방사조직(C, D)의 경우에는 고온 탄화에 의해 세포벽이 수축하면서 세포내강이 줄어드는 현상이 관찰되었으며, 특히 광방사조직의 경우에는 세포내강이 거의 소실된 것이 관찰되었다. 이러한 세포내강이 소실되는 현상은 탄화온도가 높은 백탄에서 자주 관찰되었다.

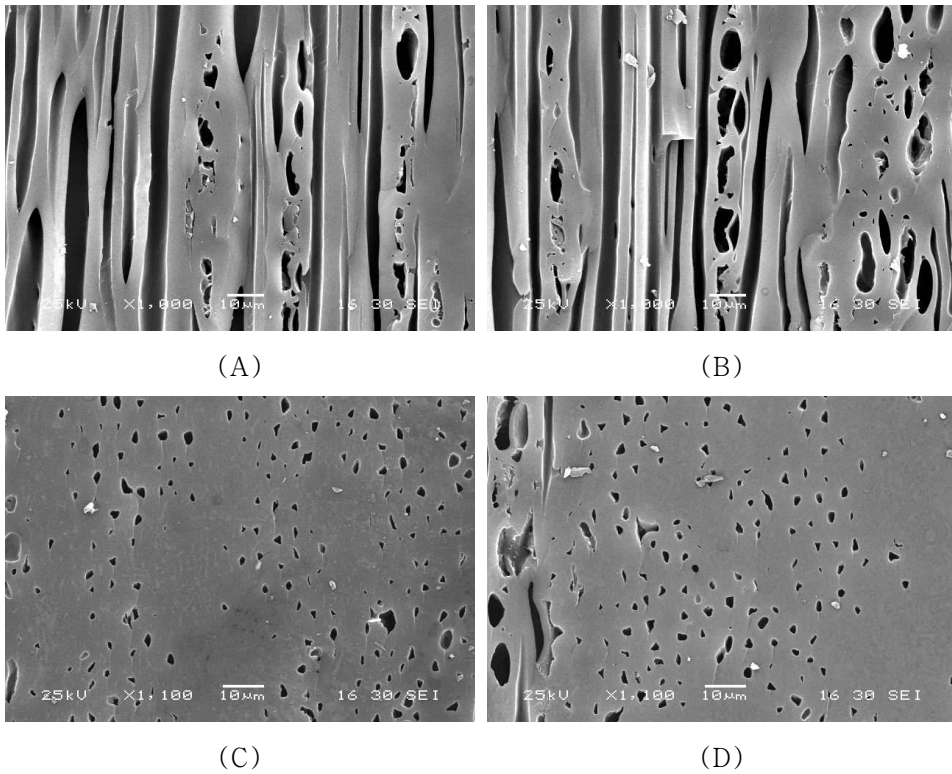
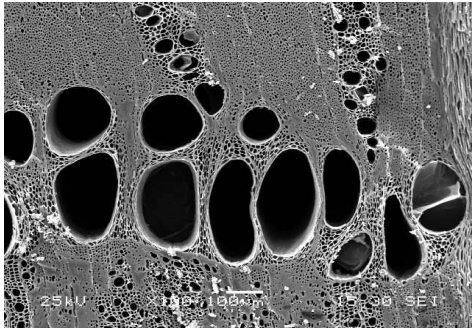


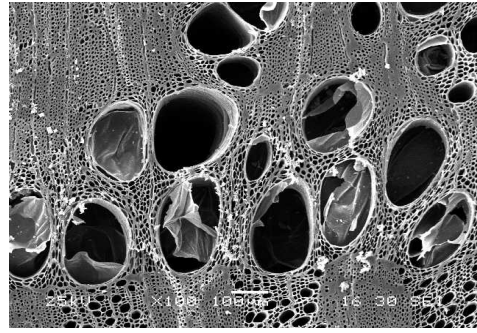
그림 37. 굴참나무 백탄(A, C)과 흑탄(B, D)의 접선단면

나) 신갈나무

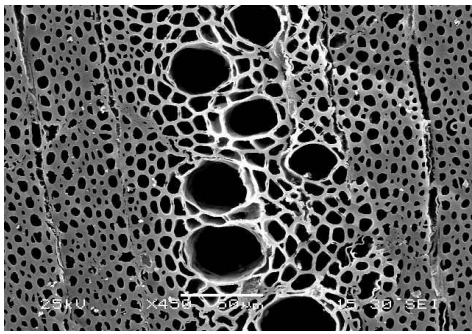
신갈나무 백탄 및 흑탄의 횡단면은 Fig. 38에 나타내었다. 조재부 도관(A, B)은 접선방향으로 크게 수축된 타원형을 보여주고 있으나, 만재부 도관(C, D)은 외형에 큰 변화가 없음을 알 수 있었다. 다른 구성세포들의 형태와 구조적 변형은 크게 나타나지 않았다. 또한 백탄의 목섬유(E) 부분은 과도한 수축에 의해 형태가 크게 변형된 것을 보여주고 있으며, 굴참나무에서 보여진 것과 같이 세포벽이 불균질성에서 균질성으로 변화된 매끄러운 단일층이 관찰되었다. 도관 내 타일로스스(G, H)는 백탄과 흑탄에서 모두 관찰되었으며 고온탄화에 의해 타일로스스의 형태가 파괴된 모습이 관찰되었다.



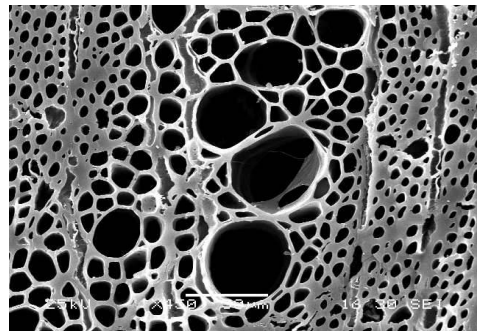
(A)



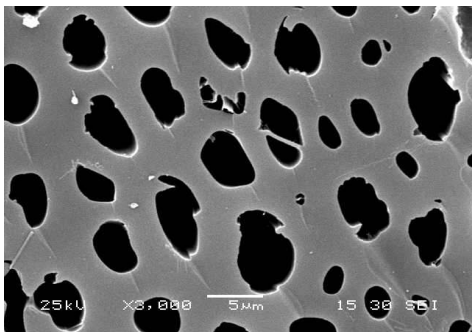
(B)



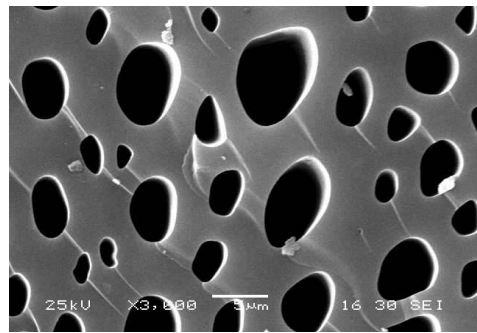
(C)



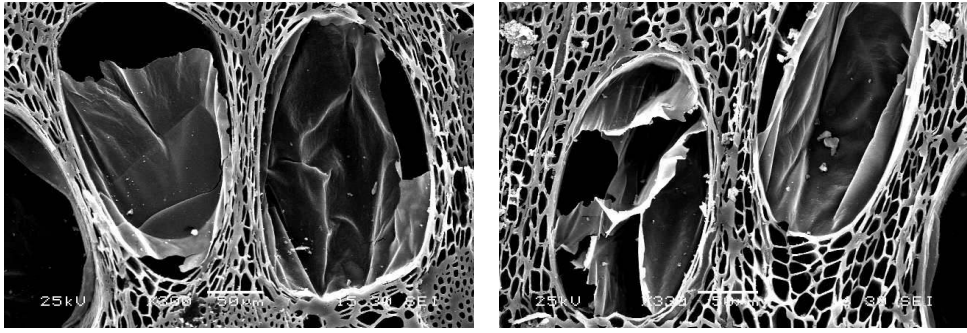
(D)



(E)



(F)

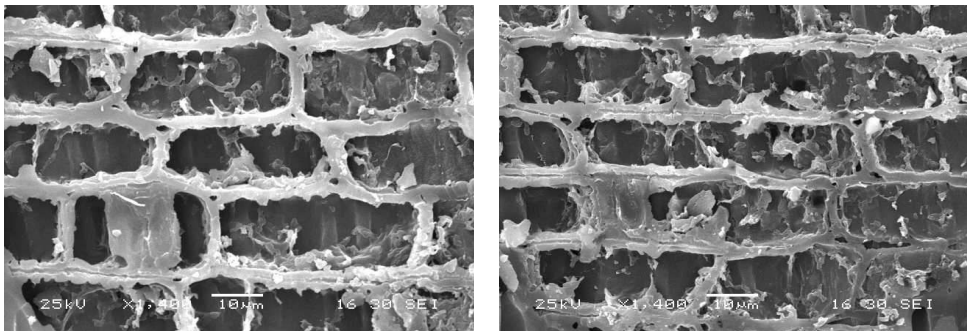


(G)

(H)

그림 38. 신갈나무 백탄(A, C, E, G)과 흑탄(B, D, F, H)의 횡단면

신갈나무의 방사유세포(그림 39)를 관찰해 보면 세포벽 변형이 심하게 나타났으며 탄화온도가 높은 백탄의 경우에는 유세포 사이에 공극이 빈번하게 발생되었다.



(A)

(B)

그림 39. 신갈나무 백탄(A)과 흑탄(B)의 방사단면

그림 40은 굴참나무의 접선단면을 나타낸 사진으로, 단일방사조직(A, B)과 광방사조직(C, D)의 경우에는 고온 탄화에 의해 세포벽이 수축하면서 세포내강이 줄어들어가는 현상이 관찰되었으며, 탄화온도가 높은 백탄에서 이러한 현상이 빈번하게 관찰되었다.

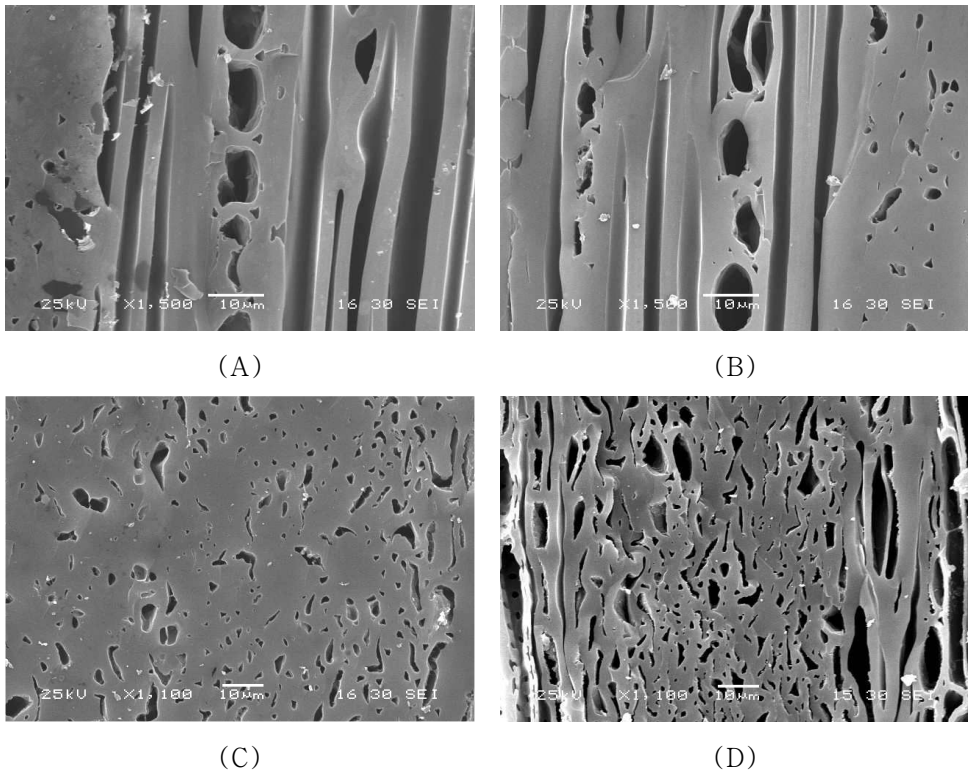


그림 40 신갈나무 백탄(A, C)과 흑탄(B, D)의 접선단면

3) 전통식 탄화로에서 제조된 목탄의 물리적 특성 및 공업분석 결과

가) 목탄의 물리적 특성

제탄된 백탄과 흑탄의 밀도와 정련도, pH를 측정한 결과는 표 8에 나타났다. 흑탄의 밀도는 굴참나무와 신갈나무 각각 $0.65\text{g}/\text{cm}^3$, $0.61\text{g}/\text{cm}^3$ 로 나타났고 백탄의 밀도는 굴참나무 $0.68\text{g}/\text{cm}^3$, 신갈나무 $0.62\text{g}/\text{cm}^3$ 로 나타났다.

정련도는 탄소량과 전기저항 사이의 관계를 나타내는 지표로서, 목탄정련계를 이용하여 목탄면 2점간의 전기저항을 측정함으로써 목탄의 탄화정도를 알 수 있게 한 것이다. 이때 전기저항의 지수를 정련도로 하는데, 지수는 본 실험 결과 6수종의 백탄시료 모두 0을 나타내어 고품질의 백탄으로 평가되었다. 흑탄의 정련도는 7.6~8.0 정도로 나타났다.

목탄은 일반적으로 알칼리성에 속하며, 제탄온도에 따라 값이 다르게 나타나는데, $1,000^\circ\text{C}$ 에서 제탄된 백탄이 pH 9.2~9.5 정도로 보고되고 있다. 본 실험에서 흑탄의 pH는 7.75~8.93 정도였고, 백탄의 pH는 9.2~9.5 정도로 나타났다.

표 8. 목탄의 물리적 특성

수종	함수율(%)		밀도 (g/cm ³)		정련도		pH	
	목재	목재	백탄	흑탄	백탄	흑탄	백탄	흑탄
굴참나무	52.5	1.13	0.68	0.65	0	7.6	9.5	8.93
신갈나무	66.4	1.04	0.62	0.61	0	8.0	9.2	7.75

나) 목탄의 공업분석

표 9는 전통식 탄화로에서 제탄한 백탄과 흑탄의 공업분석 결과를 나타낸 것이다.

백탄의 회분량은 0.9~2.8%이고 흑탄의 회분량은 1~4%의 범위로, 굴참나무 보다는 신갈나무 백탄의 회분량이 다소 높았다. 휘발분은 백탄이 4.0~4.9%의 범위, 흑탄은 11~15.8%의 범위이고 나타났으며, 고정탄소는 백탄이 90.2~92.2%의 범위였고, 흑탄은 78.2~82%의 범위로 나타났다.

따라서 제탄온도가 높은 굴참나무 및 신갈나무의 백탄에서 함수율, 회분, 휘발분이 낮고 고정탄소량은 높은 것으로 조사되었다.

표 9. 흑탄과 백탄의 공업분석

(단위 : %)

수종	함수율		회분		휘발분		고정탄소	
	백탄	흑탄	백탄	흑탄	백탄	흑탄	백탄	흑탄
굴참나무	2	3	0.9	4	4.9	11	92.2	82
신갈나무	3	5	2.8	1	4	15.8	90.2	78.2

2. 폐열 집적설비 및 배출가스 최소화 설비 부착 후의 목탄 특성

기존의 탄화로나 설비 부착후의 탄화로에서 생산된 굴참나무 흑탄과 백탄, 신갈나무 흑탄과 백탄의 물리적 특성 및 공업분석일 실시한 결과는 표 10과 표 11에 나타냈다. 비교한 결과, 밀도, 정련도, pH는 설비 부착전의 탄화로에서 생산된 목탄과 동일한 값을 나타내었다. 또한 공업분석(수분함량, 회분, 휘발분, 고정탄소량)에서도 동일한 결과를 나타내었다. 특히 탄소량과 전기저항의 관계를 나타내는 정련도의 경우 백탄은 설비 부착 후에도 모두 0을 나타내어 고품질의 백탄으로 평가되며, 목탄의 품질을 결정하는 중요한 인자인 발열량은 설비 부착 후에도 흑탄 6,500 kcal/kg이상, 백탄 8,100 kcal/kg이상으로 나타내

어 폐열 집적설비 및 배출가스 최소화 설비가 부착되어도 목탄의 특성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

표 10. 굴참나무 흑탄 및 백탄의 물리적특성 및 공업분석

		설비부착 전			설비부착 후			
		1차	2차	3차	1차	2차	3차	
물리적 특성	밀도 (g/cm ³)	흑탄	0.64	0.69	0.65	0.70	0.63	0.68
		백탄	0.80	0.72	0.75	0.88	0.79	0.69
	정련도	흑탄	8.0	8.0	8.5	8.0	7.5	8.5
		백탄	0	0	0	0	0	0
	pH	흑탄	7.9	8.0	7.0	8.2	7.8	7.2
		백탄	9.6	9.3	8.5	9.3	9.1	8.9
공업 분석	수분함량 (%)	흑탄	5	4	4	5	3	3
		백탄	2	2	3	2	4	2
	회분 (%)	흑탄	2.6	4.1	3.2	5.2	4.9	3.9
		백탄	3.2	4.0	4.0	-	4.3	-
	휘발분 (%)	흑탄	15.5	15.9	15.0	20.0	18.8	15.2
		백탄	3.0	4.2	3.5	5.1	3.5	4.5
고정탄소 (%)	흑탄	76.9	76	77.8	69.8	73.3	77.9	
	백탄	91.8	89.8	89.5	92.9	88.2	93.5	
발열량 (kcal/kg)	흑탄	8,510	8,100	8,450	8,180	8,770	8,250	
	백탄	6,780	7,500	6,545	7,290	6,550	7,020	

표 11. 신갈나무 흑탄 및 백탄의 물리적특성 및 공업분석

		설비부작 전			설비부작 후			
		1차	2차	3차	1차	2차	3차	
물리적 특성	밀도 (g/cm ³)	흑탄	0.60	0.60	0.62	0.69	0.68	0.65
		백탄	0.82	0.80	0.76	0.90	0.78	0.79
	정련도	흑탄	8.5	8.6	8.0	8.0	8.0	8.0
		백탄	0	0	0	0	0	0
	pH	흑탄	7.5	8.0	7.5	7.6	7.2	7.6
		백탄	8.9	8.8	9.0	9.0	9.2	8.5
공업 분석	수분함량 (%)	흑탄	4	5	5	4	5	5
		백탄	2	3	3	2	2	3
	회분 (%)	흑탄	3.6	3.5	3.1	5.1	5.5	4.9
		백탄	3.0	3.5	3.7	2.9	-	4.6
	휘발분 (%)	흑탄	15.9	13.2	16.2	10.0	19.0	16.6
		백탄	3.8	3.9	3.4	4.9	3.0	3.5
	고정탄소 (%)	흑탄	76.9	78.3	75.7	80.9	70.5	73.5
		백탄	91.2	89.6	89.9	90.2	95.0	88.9
	발열량 (kcal/kg)	흑탄	8,419	8,518	8,045	8,500	8,020	8,690
		백탄	7,560	7,010	6,625	6,980	7,025	7,500

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발목표의 달성도

연구 범위	평가의 착안점	자 체 평 가	달성도 (%)
탄화로에서 발생하는 폐열에너지의 유효활용개발	탄화로에서 발생하는 열에너지를 효율적으로 집적하는 설비와 이 열을 이용한 건조설비의 제작	탄화로의 폐열에너지를 난방용과 건조용으로 활용하여 난방비 절감효과와 더불어 건조기에 들어가는 연료비가 전혀 들지 않아 에너지가 크게 절감되었으며 건조성능 및 안전성 또한 높았다. 또한 본 연구내용은 대한민국 특허청에 출원 중에 있다.	100
탄화로에서 배출되는 가스의 최소화 방법 모색	배출가스 최소화 설비 및 장치 부착 전·후의 가스 오염도, 성분 분석	배출되는 연기의 성분을 분석해본 결과 가스 자체의 농도는 크게 떨어지지 않는 것으로 확인되었으나 배출되는 연기의 양이 반 이상으로 줄어들었다. 이것은 대기중으로 배출되는 가스의 양을 줄이는 의미로서 주위환경에 부담을 크게 줄일 수 있을 것으로 평가되며, 본 연구내용은 대한민국 특허청에 출원 중에 있다.	100
설비 부착 전·후의 목탄 특성의 비교	폐열 집적설비 및 배출가스 최소화 설비 부착 전후의 목탄 특성의 비교 자료 제시	설비 부착후의 탄화로에서 생산된 목탄의 물리적 특성 및 공업분석을 실시한 결과 기존의 탄화로에서 생산된 목탄과 동일한 결과를 나타내어 폐열 집적설비 및 배출가스 최소화 설비가 부착되어도 목탄의 특성에는 영향을 미치지 않는 것으로 평가된다.	100

관인생략 출원번호통지서

출원일자 2007.12.17
 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(0001)
 출원번호 10-2007-0132146 (접수번호 1-1-2007-0904730-15)
 출원인명칭 강원대학교산학협력단(2-2004-008857-1)
 대리인성명 김정현(9-2001-000021-4)
 발명자성명 김남훈 권성민 권구중 박형수

특 허 청 장

- 출원번호통지서 출원 이후 심사진행 상황 등을 확인하실 때에는 출원번호가 필요하오니 출원번호통지서는 출원신청자 및 출원인에게 보관하시기 바랍니다.
- 2-가. 특허 및 실용신안 출원은 심사청구 후 평균 10개월에 1차 심사처리가 이루어지고, 상표 및 디자인은 출원 후 평균 6개월에 1차 심사처리가 이루어집니다.
 2-나. 특허 및 실용신안은 특허청 홈페이지(<http://www.kipo.go.kr> 이하 "홈페이지"라 함)내 "특허로(은)라인전자출원" 사이트 "나의출원등록조회"에서 1차 심사처리 1개월 전에 1차 심사결과통지 예정시기를 확인할 수 있으며, 동 사이트 코너인 "통지서비스신청"에서 1차 심사결과통지 예정시기 알림 서비스를 신청하시면 1차 심사처리 약 1개월 전에 해당 출원 건의 1차 심사결과통지 예정시기를 SMS 또는 E-mail 서비스로 제공 받을 수 있습니다. (단 홈페이지 회원에 한하여 통지서비스 신청 가능)
 2-다. 상표 및 디자인은 특허청 홈페이지(공지사항)에 류별 1차 심사결과통지 예정시기를 매월 게시하고 있으며, 특허정보검색서비스 시스템(<http://www.kipris.or.kr>)을 통해 개별 출원건에 대한 1차 심사결과통지 예정시기를 알려드립니다. 또한, 출원시 1차 심사결과통지 예정시기 알림 서비스를 신청하시면, SMS 또는 E-mail 서비스로 제공해 드립니다.
 ※ 상기 1차 심사결과통지 예정시기는 사정에 의해 다소 늦거나 빨라 질 수 있습니다.
 2-라. 1차 심사결과통지서(심사관이 특허결정의 통보를 송달하기 전 또는 심사관이 최초로 거절이유를 통지한 후 출원인이 그 거절이유를 받기 전 종래 때)까지 귀하께서는 특허출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 명세서 또는 도면을 보정할 수 있습니다.
- 심사청구 특허출원은 출원일로부터 5년 이내에 특허법시행규칙 별지 제24호서식에 의거 심사청구를 하지 않으면 그 출원은 출원취하된 것으로 간주하여 처리됨을 알려드립니다.
- 우선심사 특허출원 또는 디자인등록출원에 대해 조기에 심사받기를 원하시면 우선심사제도를 이용하실 수 있습니다.
- 주소 등 변경신고 출원인의 주소 등을 변경하고자 하는 경우에는 특허법 시행규칙 별지 제4호의 2서식에 의한 출원인 정보변경(경정) 신고서를 제출하여야 합니다.
- 산업재산권 표시, 광고요령 특허 등 산업재산권을 출원 중에 있는 경우에는 해당 산업재산이 출원상태임을 다음과 같이 표시하여야 하며, 이를 위반할 경우 특허법 제224조 및 제227조에 의거 처벌 받게 됩니다.
 예) 특허출원 10-2001-0000001, 실용신안등록출원 20-2001-0000001, 디자인등록출원 30-2001-0000001, 상표등록출원 40-2001-0000001
- 미성년자 미성년자의 출원인이 만20세에 도달하는 경우 출원인의 부모 등 법정대리인의 대리권은 소멸하게 되므로, 출원인은 직접 또는 대리인을 새로이 선임하여 특허에 관한 절차를 밟을 수 있습니다.
- 문의처 기타 문의사항이 있으시면 특허고객 콜센터(1544-8080)에 문의하시거나 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)를 참고하시기 바랍니다.
- 특허청 주소 302-701 대전광역시 서구 둔산동 920 정부대전청사 4동
 특허청 서울사무소 주소 135-911 서울특별시 강남구 역삼동 647-9 한국지식센터
 FAX) 대전 : 042-472-7140, 서울 : 02-566-8454

관인생략 출원번호통지서

출원일자 2007.12.17
 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(0002)
 출원번호 10-2007-0132147 (접수번호 1-1-2007-0904734-97)
 출원인명칭 강원대학교산학협력단(2-2004-008857-1)
 대리인성명 김정현(9-2001-000021-4)
 발명자성명 김남훈 이귀현 권성민 권구중 박행수

특 허 청 장

- 출원번호통지서 출원 이후 심사진행 상황 등을 확인하실 때에는 출원번호가 필요하오니 출원번호통지서는 출원절차가 종료될 때까지 보관하시기 바랍니다.
- 2-가. 특허 및 실용신안 출원은 **심사청구 후 평균 10개월**에 1차 심사처리가 이루어지고, 상표 및 디자인은 **출원 후 평균 6개월**에 1차 심사처리가 이루어집니다.
 2-나. 특허 및 실용신안은 **특허청 홈페이지**(<http://www.kipo.go.kr> 이하 "홈페이지"라 함)내 "특허로(온라인전자출원)" 사이트 "나의출원등록조회"에서 1차 심사처리 1개월 전에 1차 심사결과통지 예정시기를 확인할 수 있으며, 동 사이트 코너의 "통지서비스신청"에서 1차 심사결과통지 예정시기 알림 서비스를 신청하시면 1차 심사처리 약 1개월 전에 해당 출원 건의 1차 심사결과통지 예정시기를 SMS 또는 E-mail 서비스로 제공 받을 수 있습니다. (단 홈페이지 회원에 한하여 통지서비스 신청 가능)
 2-다. 상표 및 디자인은 **특허청 홈페이지(공지사항)**에 **특별 1차 심사결과통지 예정시기**를 매일 게시하고 있으며, **특허정보검색서비스 시스템**(<http://www.kipris.or.kr>)을 통해 개별 출원건에 대한 1차 심사결과통지 예정시기를 알려드립니다. 또한, 출원시 1차 심사결과통지 예정시기 알림 서비스를 신청하시면, **SMS 또는 E-mail 서비스**로 제공해 드립니다.
 ※ 상기 1차 심사결과통지 예정시기는 사정에 의해 다소 늦거나 빨라질 수 있습니다.
 2-라. 1차 심사결과통지서(심사관이 특허결정의 등본을 송달하기 전 또는 심사관이 최초로 거절이유를 통지한 후 출원인이 그 거절이유를 받기 전 중 빠른 때)까지 귀하께서는 특허출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 명세서 또는 도면을 보정할 수 있습니다.
- 심사청구 특허출원**은 출원일로부터 5년 이내에 특허법시행규칙 별지 제24호서식에 의거 심사청구를 하지 않으면 그 출원은 출원취하된 것으로 간주하여 처리됨을 알려드립니다.
- 우선심사 특허출원 또는 디자인등록출원에 대해 조기에 심사받기를 원하시면 우선심사제도를 이용하실 수 있습니다.
- 주소 등 변경신고** 출원인의 주소 등을 변경하고자 하는 경우에는 특허법 시행규칙 별지 제4호의 2서식에 의한 출원인 정보변경(경정) 신고서를 제출하여야 합니다.
- 산업재산권 표시, 광고요령** 특허 등 산업재산권을 출원 중에 있는 경우에는 해당 산업재산이 출원상대임을 다음과 같이 표시하여야 하며, 이를 위반할 경우 특허법 제224조 및 제227조에 의거 처벌 받게 됩니다.
 예) 특허출원 10-2001-0000001, 실용신안등록출원 20-2001-0000001, 디자인등록출원 30-2001-0000001, 상표등록출원 40-2001-0000001
- 미성년자 미성년자인 출원인이 만20세에 도달하는 경우 출원인의 부모 등 법정대리인의 대리권은 소멸하게 되므로, 출원인은 직접 또는 대리인을 새로이 선임하여 특허에 관한 절차를 밟을 수 있습니다.
- 문의처 기타 문의사항이 있으시면 특허고객 콜센터(1544-8080)에 문의하시거나 특허청 홈페이지(www.kipo.go.kr)를 참고하시기 바랍니다.
- 특허청 주소 302-701** 대전광역시 서구 둔산동 920 정부대전청사 4동
특허청 서울사무소 주소 135-911 서울특별시 강남구 역삼동 647-9 한국지식센터
 FAX) 대전 : 042-472-7140, 서울 : 02-566-8454

제 2 절 관련분야에의 기여도

1. 기술적 측면

- 폐열에너지 활용 에너지 제로 건조시스템 개발
- 화재 및 감전 등의 위험성이 없는 안전한 건조시스템 개발
- 목탄 제작 시 발생하는 배출가스를 최소화시스템 개발에 의한 대기오염의 방지
- 폐열에너지 회수 건조시스템, 배출가스 최소화시스템 개발로 친환경 탄화로 개발에 기여

2. 경제·산업적 측면

- 에너지 제로 건조시스템 규격화 및 보급
- 에너지 제로 건조시스템의 활용으로 친환경적 생산 환경 조성
- 농임산물 수확 후 관리비용 최소화
- 에너지 비용 절감 및 고품질의 농임산물 생산으로 농산촌 농가의 생산성 증대 및 소득증대

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 추가연구의 필요성

본 연구과제를 통해 제작된 폐열에너지 건조시스템을 활용하여 여러 종류의 농·임산물을 건조한 후 폐열에너지 건조시스템의 높은 건조성능을 확인하였으며, 건조에 소비되는 에너지를 제로화 하다. 또한 목초액 분사방식의 배출가스 최소화 시스템을 설계 및 제작하여 배출되는 가스를 최소화하여 주위환경에 부담을 최소화 하는 친환경 전통식 탄화로를 개발하였다.

그러나 현재 개발된 건조시스템은 2평 규모의 비교적 작은 크기의 건조기로서 농·임산물 외에 목재와 같은 대형 건조대상에는 건조기의 용량이 부족할 것으로 판단된다. 숲 공장은 국산목재의 생산지에 인접해 있어 별채한 목재를 건조하기 위한 용이한 이점이 있음에도 불구하고 개발된 건조기의 용량 제한으로 인해 목재 건조에 활용하는 것이 어려운 것은 아쉬운 점이다. 따라서 대용량의 폐열에너지를 활용한 건조시스템이 추가 연구되어 제작되면 활용범위 및 용도가 더욱 넓어질 것으로 사료된다.

제 2 절 타 연구에의 응용

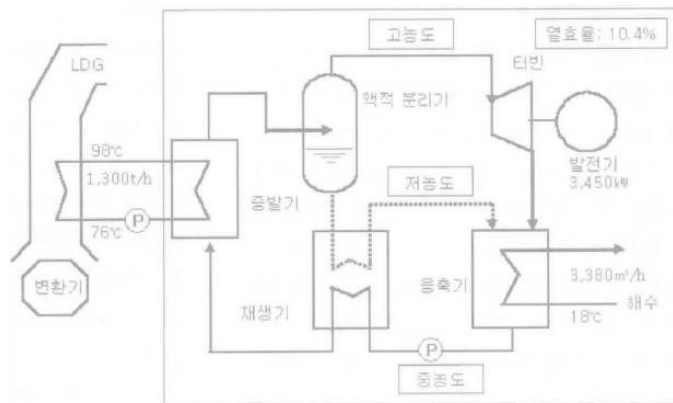
배출가스 최소화 장치를 개발함에 있어 연기를 흡착시키기 위해 목초액을 분사하여 탄화로에서 발생하는 배출가스를 크게 감소시키는 성과를 얻었다. 이 과정에서 연기를 흡착시켜 외부로 발생키지 않는 것은 그만큼의 목초액 생산에 증가를 가져옴을 의미한다. 실제로 (주)홍천참숯의 경우 배출가스 최소화 장치를 가동하면서부터 목초액 생산량은 약 30%가 증가되었으며 동시에 목타르의 양도 큰 폭으로 증가되어 앞으로 목타르를 재활용하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

목타르는 탄소자원으로서 중요한 재활용가능한 자원이지만 아직 특별한 용도가 아직 개발되어지지 않기 때문에 산업폐기물로 폐기 처리되거나 공장주변에 방치되고 있어 환경오염의 민원이 자주 발생하는 등 공장으로서의 상당한 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서 양질의 목초액 제조와 재생산가능한 목질자원에서 얻어진 목타르의 고도 유효활용을 위한 새로운 목초액 회수시설 및 목타르 제거시설 개발과 회수된 목타르를 이용한 고기능성, 고부가가치를 가지는 새로운 활용방안을 적극 도입할 필요가 있다.

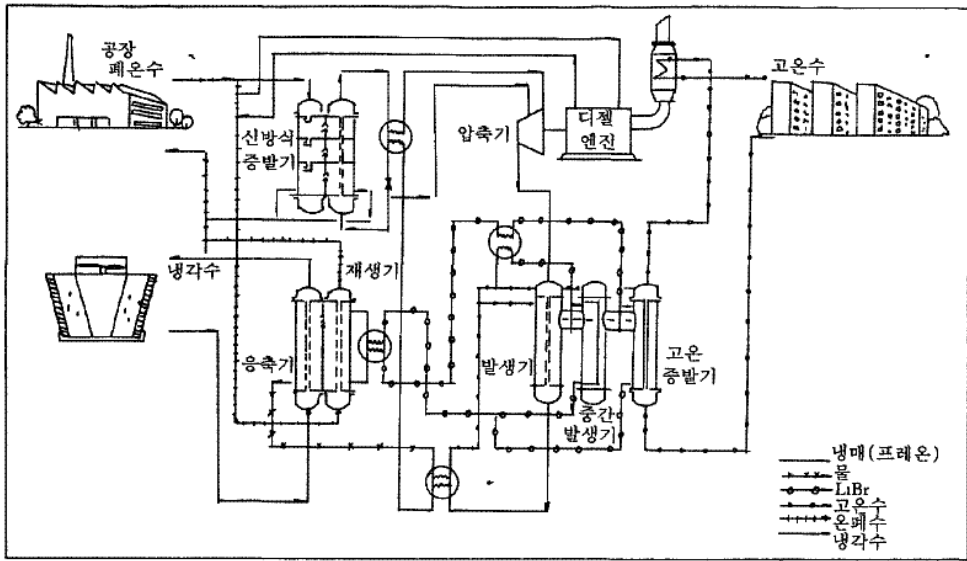
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

일본의 스미토모 산업주식회사 소속의 카시마 제철소에는 Kalina 사이클 발전시스템을 제작하여 버려지던 제강공장의 배출가스 덕트의 냉각에 사용한 저온 폐열의 물을 활용하고 있다. 1999년 4월 현장의 설치작업이 시작되었으며, 약 2개월의 시운전과 공식진단을 거쳐 1999년 8월 완전 가공을 시작하여 Kalina 사이클 발전 시스템을 가동하였다. 성능계수들은 계획된 성능목표를 잘 만족시켜 연간 에너지 절약은 석유환산으로 약 6,600킬로리터 정도이며, 종래의 저온 열원 발전시스템에 비해 약 40% 향상된 효율을 달성하였다.



카시마 제철소의 Kalina 사이클 발전시스템 개략도

일본의 배열이용기술시스템 개발의 한 테마인 압축식 열펌프에 의한 열회수 기술 연구는 30~60°C의 온폐수로부터 열을 회수하여 공장 등에서 이용하기 쉬운 100~160°C의 고온수를 제조하는 고온 열펌프 시스템이다. 이 시스템은 C.O.P를 3이상으로 높이고 승온폭도 크게 하기 위해 통상의 응축기 대신 흡수식 열펌프의 원리를 응용한 고온발생, 응축기가 개발되었으며, 또한 온폐수에 포함된 스케일, 오염물질, 부식성물질 등에 의한 증발기 전열관의 오염과 부식을 피하기 위해, 온폐수를 감압실로 보내 Flash증발시킴으로서, 이때 발생된 깨끗한 수증기를 가열원으로 사용하는 신방식 증발기를 개발 채용하였다.

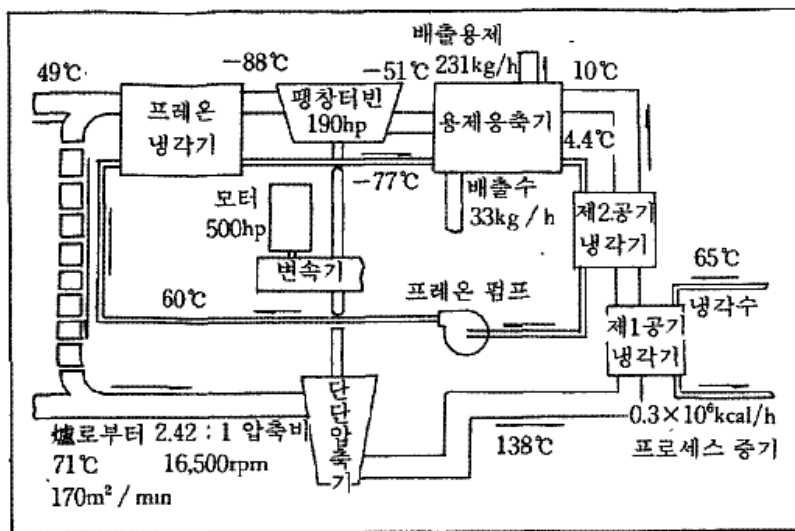


고온 열펌프시스템 개략도

미국의 산업용 열펌프 개발은 DOE(미국에너지성)가 주도한 공업용 고온열 펌프개발 프로젝트가 대표적이다. 이 프로젝트는 폐열구동증기압축식 열펌프 시스템(Mechanical Technology 사), 메타놀 작동매체에 의한 고온열펌프시스템(Westinghouse Electric 사), 브레이톤 사이클 용제회수 열펌프 시스템(Ai Search Manufacturing 사) 등 3개 테마로 되어있다.

폐열구동증기압축식 열펌프시스템은 합성섬유공업용으로 설계되어 공정으로부터의 폐증기를 열원으로 한 프레온 터빈과 직결한 증기압축기로 구성되어 있다. 압력 1.7kg/cm^2 , 온도 115°C , 열량 $3.8 \times 10^6 \text{kcal/h}$ 의 폐증기를 가지고 프레온증발기로 작동열매체 R113을 5kg/cm^2 , 104°C 로 증발시켜 랭킨사이클에 의한 터빈을 구동시킨다. 증발기에 폐증기를 열원으로 하여 발생한 $10 \times 10^3 \text{kg/h}$ 의 포화수증기(1.5kg/cm^2 , 114°C)를 터빈에 직결한 압축기로 2.8kg/cm^2 로 압축, 가열하여 공정에 사용한다. 이 시스템의 Pilot Plant의 성능실험결과 폐열의 60% 이상을 증기로서 회수가능하다고 보고되고 있다.

브레이튼사이클 용제회수 열펌프 시스템은 펄름 건조로의 건조증기로부터 용제회수와 깨끗한 가열공기를 재순환용으로 얻을 수 있도록 설계된 것이며 건조로부터의 공기를 압축 가열하는 전동기기동 공기압축기, 공기팽창터빈, 각종 열교환기와 프레온 순환 라인으로 구성되어 있다. 로에서 나온 공기(71℃, 170m³)는 압축기에서 138℃로 압축·가열되어 냉각수와 프레온에 의해 2개의 냉각기에서 10℃까지 냉각된다. 용제응축기에서는 -77℃의 프레온에 더욱 내각되어 시간당 230kg의 용제와 33kg의 물이 공기로부터 회수되며, 용제와 물이 제거된 공기는 팽창터빈에서 -88℃가 되어 프레온 냉각기에서 프레온을 -77℃로 냉각시키면서 공기는 49℃로 가열되어 로로 순환한다. 한편 제1공기 냉각기에서 냉각수에 방출한 열량 300×10³kcal/h는 다른공정에 사용된다.



브레이튼 사이클 용제회수 열펌프시스템

고온 배가스 집진공정의 대부분 현 연구수준은 신개발 복합발전공정에 파일럿 집진장치를 설치하여 장시간 안정적 운전 실험이 수행되고 있는 실정이다. 대표적인 실험용 고온 배가스 집진장치가 적용된 산업체 실증장치로는 일본의 와카마쥬에 설치된 71 MW(th)급 PFBC와 미국 Wilsonville의 15 MW(th)급 하이브리형 발전장치를 예로 들 수 있다. 현재 산업계에서는 적용 발전공정의 운전조건에서 집진필터의 기계적/화학적 강도에 대한 관심이 집중되어 있다. 이는 발전공정의 운전 중에 집진장치 내의 열악한 운전조건에 의한 집진필터의 기계적/화학적 피로 파괴로 전체 발전공정의 운전 중지로 인하여 막대한

경비 손실을 초래하고 있기 때문이다.

학계에서는 산업계 적용 시 활용할 수 있는 실질적인 집진필터의 운전조건의 재현을 위한 실험들이 수행되고 있지만, 정확한 실증 필터적용 운전조건의 도출이 어렵고 실제 발전공정에 적용하기에 부적절한 경우가 다소 있기 때문에, 집진필터의 운전 특성의 예측을 위하여 작은 평판형 시편 필터를 사용한 실험이 수행되고 있다. 현재 세라믹필터를 이용한 고온 배가스 집진에 관한 연구가 수행되고 있는 대학교는 Aachen, British Columbia, Essen, Helsinki, Karlsruhe, Kanazawa 등이다.

제 7 장 참고문헌

1. 권구중, 황원중, 박형수, 이성재, 김병로, 김남훈. 2001. 전통식 탄화로에서 제탄된 목탄의 특성(I). 2001학술발표논문집. 한국목재공학회. pp. 309~314.
2. 권성민, 김남훈. 2006. 목재의 탄화기구 해석(I). 목재공학 34(3): 8~14
3. 김병로, 공석우. 1999. 미이용 목질폐잔재의 탄화이용개발(I)-수종의 간벌재 탄화와 탄화물의 특성-. 목재공학 27(2): 70~77.
4. 김병로, 이재용. 2006. 수피의 탄화이용에 관한 연구. 목재공학 34(1): 40~51.
5. 김승환, 최두희, 이상민, 남재작, 김한명, 손석용, 송범현. 2003. 토마토 유묘 생육 및 양분흡수에 관한 목초액의 영향. 한국유기농업학회지 11(2): 105~115.
6. 김우항, 조성태. 2004. 목초액유기산을 사용한 김의 성장률 평가. 해양환경 안전학회 학술발표대회 논문집 105~108.
7. 농림부. 2007. 농림업주요통계
8. 두산백과사전. 2005.
9. 박준택. 1998. 폐기물소각 폐열이용에 관한 연구. 공기조화 냉동공학회 하계학술발표회 논문집. 878~882.
10. 산림청. 2007. 임업통계연보
11. 성은일, 유선종, 안병기, 조태수, 안병준, 최돈하, 강창원. 2006. 목초액 함유 활성탄의 첨가가 육계 생산성 및 계란 내 항생제 잔류에 미치는 영향. 한국가금학회지 33(4): 283~293.
12. 심종섭, 이화형, 임기표, 조남석, 조병목. 1994. 임산화학. 향문사. 344~353
13. 유용권, 강상욱. 2003. 목탄과 목초액 처리가 백합의 자구 형성 및 생육에 미치는 영향. 원예과학기술지 21(별호 I): 80~80.
14. 이충구, 이세균, 이계복, 이석고, 유인선. 2005. 폐 바이오매스를 이용한 폐열 회수 열교환기에 관한 연구. 에너지공학 14(4): 248~258.
15. 이화형 外 4人. 1992. 목재물리 및 역학. 향문사. 82~102
16. 이형근. 1996. 연소가스중의 대기오염물질 저감기술개발. 한국과학재단 특정연구개발사업보고서

17. 임상현, 이효진, 사종구, 김성문. 2002. 목초액-농약 혼합처리가 배추의 생장에 미치는 영향. 한국농약과학회 학술발표대회 논문집 73~73.
18. 임업연구원. 2000. 임업경제동향연차보고서. 임업연구원 연구자료 제 167호. 155~158.
19. 정순재, 오주성, 석운영, 김정완, 김도훈, 정원복. 2006. 키토산, 목초액 및 EM 처리가 토양 미생물상의 변화 및 토마토의 초기생육에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 14(4): 433~443.
20. 정종환. 2004. 단일 원통형 습식 전기집진기의 집진효율에 관한 연구. 부경대 대학원.
21. 한국석유공사. 2008. 석유동향
22. 한규성, 김병로. 2006. 목질펠릿으로 제조한 탄화물의 특성. 목재공학 34(3): 15~21
23. 한국농촌경제연구소. 2007. 농업 농촌경제동향
24. 황병호, 조재현, 진용만, 사노요시히로. 2001. 침엽수 목초액의 성분 분석. 임산에너지 20(1): 28~34.
25. 조태수, 이오규, 최준원. 2007. 목탄 및 수피탄의 중금속 이온 제거. 한국목재공학회 35(4): 29-37
26. 이오규, 조태수, 최준원. 2007. 탄화온도에 따른 목탄 특성 및 표면의 FT-IR 변화. 2007. 한국목재공학회 35(4): 21-28
27. 조태수, 최준원, 이오규. 2007. 탄화온도가 목탄의 물리,화학적 특성에 미치는 영향. 한국목재공학회 35(3): 53-60
28. 김남훈, 황원중, 권성민, 권구중 2006. 제조 온도에 따른 굴참나무 목탄의 해부학적 특성. 한국목재공학회 34(4): 1-8
29. 이인자. 2005. 목탄의 흡착 성질 및 미세구조: 탄화 온도의 영향. 한국공업화학회 추계학술발표회 논문집 9(2): 69-72
30. 윤봉기, 박인진, 유용권, 허원녕, 김병운, 김용웅. 2004. 목탄분말 시용량이 양과 생육 및토양 이화학성에 미치는 영향. 한국국제농업개발학회지 16(2): 162-167
31. 이인자. 2004. 목탄의 표면 구조 및 물성에 미치는 탄화온도의 영향. 화학공학회/공업화학회 공동 학술대회 논문집 8(2): 442-445
32. 이상복, 류철현, 김종구, 김재덕, 이덕배, 이경보, 한상수. 2001. 한국토양비

- 료학회지 34(3): 178-184
33. 박상진, 서정석. 2000. 목탄을 이용한 황화수소와 암모니아 악취 제거에 관한 연구. 한국폐기물학회지 17(3): 243-251
 34. 김은주, 진성용, 김갑철, 류정. 1999. 채소 - 재배생리 ; 목탄, 목초액 처리가 고추, 토마토 플러그묘의 생장에 미치는 영향. 한국원예학회 17(2): 9-12
 35. 김명호, 고춘남, 윤찬호, 이정전. 1999. 목탄을 이용한 소화 슬러지 탈수성 증진에 관한 연구. 환경관리학회지 5(2): 401-407
 36. 박상진, 김이태. 1995. Peat / 목탄 혼합충전재를 이용한 생물탈취의 실험적 연구. 대한환경공학회 춘계학술연구발표회: 229-231
 37. 김상돈. 1983. 석탄 및 목탄의 물리적 성질과 이의 화학반응율에 미치는 영향. 한국화학공학회 추계총회초록집: 11-15
 38. 원종명, 송제윤, 엄기증. 2005. 폐지를 원료로 한 목탄시트의 에틸렌 가스 흡착 특성. 한국펄프·종이공학회 학술발표논문집 344-349
 39. 권성민, 황원중, 권구중, 김남훈. 2004. 목탄을 활용한 기능성 목질 벽판의 특성(Ⅱ) - 단열, 보습 및 소음의 차단효과-. 한국가구학회 학술대회논문집 13-16
 40. 임기표, 위승곤. 2003. 폐수처리 슬러지와 퇴비 및 목탄의 화학적 특성과 구조에 관한 연구. 펄프·종이기술 35(1): 27-33
 41. 원종명, 정천순, 송제윤, 정장현. 2006. 목탄 분말을 첨가한 펄프 몰드에 의한 에틸렌가스 흡착 제어. 한국펄프·종이공학회 학술발표논문집 225-225
 42. 류경선, 이문준, 송근섭, 나종삼, 김종승. 1997. 목탄과 목탄액의 첨가가 육계의 생산성 및 육질에 미치는 영향. 한국가금학회지 24(3): 139-143
 43. 조태수, 이오규, 안병준, 최준원. 2006. 국산수종으로 탄화한 목탄의 물성 및 흡착성. 한국임산에너지학회 25(1): 9-17
 44. 김남훈, 황원중, 권구중, 권성민. 2004. 목탄충진 목재판넬의 특성. 한국가구학회 15(1): 9-16
 45. 황원중, 권구중, 심응섭, 이성재, 김남훈. 2002. 목탄을 활용한 기능성 목질 벽판의 특성(Ⅰ). 한국가구학회 13(2): 29-35
 46. 김은주, 진성용, 김갑철, 류정. 1999. 목탄·목초액 처리가 고추, 토마토 플러그묘의 생장에 미치는 영향. 한국원예학회 17(2): 203-203

47. 안병준, 조성택, 조태수, 정관식, 지승철. 2004. 목재 탄화물이 널치의 생육 및 체 조성에 미치는 영향. 한국임산에너지학회 23(2): 35-44
48. 박종남, 경장현, 이성재, 정대성, 정천순. 2005. 기능성 목탄지가 저장 중 딸기의 생리적 특성 및 품질에 미치는 영향 한국원예학회 23: 37-37
49. 이화형, 김관의. 2003. 습식공법으로 제조한 목탄-목재섬유복합재료의 에틸렌가스 흡착력과 과일 신선도 유지 효과. 한국가구학회 14(1): 2-9
50. 이오규, 조태수. 2006. 소나무 및 참나무 백탄의 물성과 구리(II) 이온 흡착 효과. 한국임산에너지학회 25(2): 55-63
51. 박상범, 김수원, 박병대, 한태형, 강은창, 박종영, 문성필. 2005. 목타르 혼합 페놀수지접착제의 접착성능. 한국임산에너지학회 24(1): 28-32
52. 박상범, 김수원, 박병대, 한태형, 강은창, 박종영, 문성필. 2005. 목타르계 페놀접착제의 제조 및 접착성능. 한국임산에너지학회 24(1): 33-38
23. 日本木材學會編, 2004, 木材の科學と利用技術-5. 木質系材料の炭素化による新展開VIII. 日本木材學會. 1~5.
54. Angeles, G. 2001. New techniques for the anatomical study of charcoalfied wood. IAWA J. 22(3): 245~254.
55. Beall, F, C., P. R. Blankenhorn and G. R. Moore. 1974. Carbonized wood-physical properties and uses as an SEM preparation. Wood Science 6: 212~219
56. Byrne C. E. and D. C. Nagle. 1997a. Carbonization of wood for advanced materials applications. Carbon. 35(2): 259~266
57. Byrne C. E. and D. C. Nagle. 1997b. Carbonized wood monoliths-Characterization. Carbon. 35(2): 267~273
58. Cutter, B. E., B. G. Cumbie and E. A. McGinnes, Jr. 1980. SEM and shrinkage analyses of southern pine wood following pyrolysis. Wood Sci Technol. 14: 115-130.
59. Erçin, D. and T. Yuda, 2003. Carbonization of Fir(*Abies bornmulleriana*) wood in an open pyrolysis system at 50-300°C. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 67: 11~22
60. Heinrich, H. J. and Kaesche-krischer, B. 1962. Sponeous ignition of wood. Brennstoff-Chemi. 43: 142~148.
61. Kim, N. H. and R. B. Hanna. 2004. Anatomical characteristics of

- Quercus variabilis* charcoal prepared at different temperatures. 2004년
계 학술발표논문집. 한국목재공학회. pp. 230~234.
62. Kim, N. H. and R. B. Hanna. 2006. Morphological characteristics of *Quercus variabilis* charcoal prepared at different temperatures. Wood Sci Technol. 40(5): 392~401.
 63. Kumar, M., R. C. Gupta and T. Sharma. 1992. Effect of carbonization conditions on the yield and chemical composition of *Acacia* and *Eucalyptus* wood chars. Biomass and Bioenergy. 3(16): 411~417.
 64. Kumar, M. and R. C. Gupta. 1995. Scanning electron microscopic study of acacia and eucalyptus wood chars. Journal of Materials Science. 30: 544~551
 65. Katyal, S., K. Thambimuthu and M. Valix. 2003. Carbonisation of bagasse in a fixed bed reactor: influence of process variables on char yield and characteristics. Renewable Energy 28: 713~725
 66. Nishimiya, K., T. Hata, Y. Imamura and S. Ishihara. 1998. Analysis of chemical structure of wood charcoal by X-ray photoelectron spectroscopy. J. Wood Sci. 44: 56~61.
 67. Prior, J. and P. Gasson. 1993. Anatomical changes on charring six African hardwoods. IAWA J. 14(1): 77~86.
 68. Prior, J. and K. L. Alvin. 1983. Structure changes on charring of dichrostashys and salix from southern Africa. IAWA J. 4(4): 197~206.
 69. Slocum, D. H., E. A. McGinnes and Jr., F. C. Beall. 1978. Charcoal Yield, Shrinkage, and Density Changes During Carbonization of Oak and Hickory Woods. Wood Science. 11(1): 42~47.
 70. Shafizadeh, F. and Ncginnis, G. D. 1971. Chemical composition thermal analysis of cotten wood. Carbohydrate res. 16: 273~267.
 71. Strezov V., Moghtaderi B. and J. A. Lucas, 2003. Thermal study of decomposition of selected biomass samples, Journal of Thermal analysis and Calorimetry 72: 1041~1048
 72. Treusch, O., A. Hofenauer, F. Tröger, J. Fromm and G. Wegener. 2004. Basic properties of specific wood-based materials carbonised in a nitrogen atmosphere. Wood Sci Technol. 38: 323~333.
 73. P.C. Mishra, R.K. Patel. 2008. Removal of endosulfan by sal wood charcoal

Journal of Hazardous Materials 152(2): 730–736

74. C. Miró, A. Baeza, A. Salas, J.f. Pastor–Valle, J. Pastor–Villegas. 2008. Adsorption of ^{241}Am and ^{226}Ra from natural water by wood charcoal. *Applied Radiation and Isotopes* 66(1): 95–102
75. J. Pastor–Villegas, J.M. Meneses Rodríguez, J.F. Pastor–Valle, M. García García. 2007. Changes in commercial wood charcoals by thermal treatments. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 80(2): 507–514
76. Somnath Mukherjee, Sunil Kumar, Amal K. Misra, Maohong Fan. 2007. Removal of phenols from water environment by activated carbon, bagasse ash and wood charcoal. *Chemical Engineering Journal* 129(1–3): 133–142
77. Ludger C. Bornemann, Rai S. Kookana, Gerhard Welp. 2007. Differential sorption behaviour of aromatic hydrocarbons on charcoals prepared at different temperatures from grass and wood. *Chemosphere* 67(5): 1033–1042
78. Marcus Wengel, Erika Kothe, Christian M. Schmidt, Klaus Heide, Gerd Gleixner. 2006. Degradation of organic matter from black shales and charcoal by the wood–rotting fungus *Schizophyllum commune* and release of DOC and heavy metals in the aqueous phase. *Science of The Total Environment* 367(1): 383–393
79. Joyce Mara dos Santos Barbosa, Nilva Ré–Poppi, Mary Santiago–Silva. 2006. Polycyclic aromatic hydrocarbons from wood pyrolysis in charcoal production furnaces. *Environmental Research* 101(3): 304–311
80. J. Pastor–Villegas, J.F. Pastor–Valle, J.M. Meneses Rodríguez, M. García García. 2006. Study of commercial wood charcoals for the preparation of carbon adsorbents. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 76(1–2): 103–108
81. Paul Bronsveld, Toshimitsu Hata, Tomas Vystavel, Jeff DeHosson, Hikari Kikuchi, Koei Nishimiya, Yuji Imamura. 2006. Comparison between carbonization of wood charcoal with Al–triisopropoxide and

- alumina. *Journal of the European Ceramic Society* 26(4–5): 719–723
82. Isabel Figueiral, Christopher Carcaillet. 2005. A review of Late Pleistocene and Holocene biogeography of highland Mediterranean pines (*Pinus* type *sylvestris*) in Portugal, based on wood charcoal. *Quaternary Science Reviews* 24(23–24): 2466–2476
83. Masashi Fujisawa, Toshimitsu Hata, Paul Bronsveld, Vinicius Castro, Fumio Tanaka, Hikari Kikuchi, Yuji Imamura. 2005. Thermoelectric properties of SiC/C composites from wood charcoal by pulse current sintering. *Journal of the European Ceramic Society* 25(12): 2735–2738
84. Cristina Alcalde Olivares, Mercedes García Antón, Fernando Gómez Manzanque, Carlos Morla Juaristi. 2004. Palaeoenvironmental interpretation of the Neogene locality Caranceja (Reocín, Cantabria, N Spain) from comparative studies of wood, charcoal, and pollen. *Review of Palaeobotany and Palynology* 132(1–2): 133–157
85. Junmin Qian, Jiping Wang, Zhihao Jin. 2004. Preparation of biomorphic SiC ceramic by carbothermal reduction of oak wood charcoal. *Materials Science and Engineering A* 371(1–2): 229–235
86. T. Hata, T. Vystavel, P. Bronsveld, J. DeHosson, H. Kikuchi, K. Nishimiya, Y. Imamura. 2004. Catalytic carbonization of wood charcoal: graphite or diamond. *Carbon* 42(5–6): 961–964
87. Eleni Asouti. 2003. Woodland vegetation and fuel exploitation at the prehistoric campsite of Pınarbaşı, south-central Anatolia, Turkey: the evidence from the wood charcoal macro-remains. *Journal of Archaeological Science* 30(9): 1185–1201
88. Hisashi Miyafuji, Herbert Danner, Markus Neureiter, Christiane Thomasser, Jane Bvochora, Oliver Szolar, Rudolf Braun. 2003. Detoxification of wood hydrolysates with wood charcoal for increasing the fermentability of hydrolysates. *Enzyme and Microbial Technology* 32(3–4): 396–400
89. Fumio Kurosaki, Kengo Ishimaru, Toshimitsu Hata, Paul Bronsveld,

- Emiko Kobayashi, Yuji Imamura. 2003. Microstructure of wood charcoal prepared by flash heating. *Carbon* 41(15): 3057–3062
90. Mohammad G. Rasul. 2001. Spouted bed combustion of wood charcoal: performance comparison of three different designs. *Fuel* 80(15): 2189–2191
91. Jenny Larfeldt, Bo Leckner, Morten Chr. Melaaen. 2000. Modelling and measurements of heat transfer in charcoal from pyrolysis of large wood particles. *Biomass and Bioenergy* 18(6): 507–514
92. Takeshi Yamane, Shigehisa Ishihara, Hironori Okuda. 1998. Electric and thermal properties of wood charcoal made by spark plasma sintering. *Carbon* 36(12): 1873–1874
93. A. Dufour, P. Girods, E. Masson, S. Normand, Y. Rogaume, A. Zoulalian. 2007. Comparison of two methods of measuring wood pyrolysis tar. *Journal of Chromatography A* 1164(1–2): 240–247
94. Bartłomiej Mazela. 2007. Fungicidal value of wood tar from pyrolysis of treated wood. *Waste Management* 27(4): 461–465
95. Tomohisa Miyazawa, Takeo Kimura, Jin Nishikawa, Shigeru Kado, Kimio Kunimori, Keiichi Tomishige. 2006. Catalytic performance of supported Ni catalysts in partial oxidation and steam reforming of tar derived from the pyrolysis of wood biomass. *Catalysis Today* 115(1–4): 254–262
96. Keiichi Tomishige, Tomohisa Miyazawa, Takeo Kimura, Kimio Kunimori, Naoto Koizumi, Muneyoshi Yamada. 2005. Resistance to sulfur poisoning of hot gas cleaning catalysts for the removal of tar from the pyrolysis of cedar wood. *Applied Catalysis B: Environmental* 60(3–4): 299–307
97. Marcos J. Prauchner, Vânia M.D. Pasa, Nelcy D.S. Molhallem, Choyu Otani, Satika Otani, Luiz C. Pardini. 2005. Structural evolution of Eucalyptus tar pitch-based carbons during carbonization. *Biomass and Bioenergy* 28(1): 53–61

98. Philipp Morf, Philipp Hasler, Thomas Nussbaumer. 2002. Mechanisms and kinetics of homogeneous secondary reactions of tar from continuous pyrolysis of wood chips. *Fuel* 81(7): 843–853
99. Johannes Rath, Gernot Staudinger. 2001. Cracking reactions of tar from pyrolysis of spruce wood. *Fuel* 80(10): 1379–1389
100. M. J. Lazaro, M. Domin, A. A. Herod, R. Kandiyoti. 1999. Fractionation of a wood tar pitch by planar chromatography for the characterisation of large molecular mass materials. *Journal of Chromatography A* 840(1): 107–115
101. Carlos Amen-Chen, Hooshang Pakdel, Christian Roy. 1997. Separation of phenols from Eucalyptus wood tar. *Biomass and Bioenergy* 13(1–2): 25–37
102. Claes Brage, Qizhuang Yu, Krister Sjöström. 1996. Characteristics of evolution of tar from wood pyrolysis in a fixed-bed reactor. *Fuel* 75(2): 213–219
103. A. Donnot, P. Magne, X. Deglise. 1991. Method of determining catalyst lifetime in the cracking reaction of tar from wood pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 22(1–2): 39–46