

홈 네트워크 기반의 펠릿 활용 난방 보일러 제어시스템

The Control System of Wood Pellet Boiler Based on Home Networks

이 상 훈*
Sang-Hoon Lee*

요 약

본 논문에서는 ‘저탄소 녹색성장’의 세계적 추세에 따라 탄소 중립적 에너지원인 우드펠릿(wood pellet)을 사용하는 난방보일러 제어시스템 구현을 제시한다. 본 시스템은 공중전화망 및 이동통신망을 통해 원격으로도 제어 가능한 홈 네트워크 기반의 제어 및 관리시스템 구현도 포함한다. 구현된 시스템은 온도조절기능, 연료공급기능, 점화기능, 화력조절기능, 그을음제거기능 등을 수행하는 보일러 주제어부와 주제어부와의 RS-485 통신링크를 통해 각 방의 개별 온도를 제어 할 수 있는 온도조절기 모듈 및 보일러의 원격제어 및 모니터링이 가능한 공중전화망 및 이동통신망 인터페이스 부분으로 구성된다. 구현된 시스템은 기본동작시험과 원격제어시험을 통해 난방면적 172m²에서 열효율 93.6%, 난방출력 20,640kcal/hr, 연료소모량 5.54kg/hr 으로 나타났다. 이러한 성능지표는 기존 개발된 펠릿보일러에 비해서 우수한 결과로써 기존 보일러에서는 적용하지 않았던 3단계의 점화과정과 그을음제거 기능과 함께 C_sS 센서를 통한 불꽃감지기능 및 셔터개폐의 미세 조절을 통한 화력조절기능을 새롭게 적용한 결과이다.

ABSTRACT

This paper presents the implementation of a control system of pellet boiler using wood pellet as carbon neutral material. The system also has the additional features to provide remote controlling and monitoring based on home networking technology through either public switched telephone networks or mobile communication networks. It consists of three kinds of sub-modules; a main controller provides basic and additional features such as a setting of temperature, a supplying of wood pellet, a controlling of ignition and fire-power, and a removing of soot. The second is temperature controller of individual rooms which is connected to the main controller through RS-485 links. And interface modules with PSTN and mobile networks can support remote controlling and monitoring the functions. The test results under the heating area of 172m² show a thermal efficiency of 93.6%, a heating power of 20,640kcal/hr, and a fuel consumption of 5.54kg/hr. These results are superior to those of the conventional pellet boilers. In order to obtain the such high performance, we newly applied a 3-step ignition flow, a flame detection by C_sS sensor, and a fire-power control by fine controlling of shutter to our pellet boiler.

Keywords : Wood pellet, Pellet boilers, Home networks, RS-485, TCP/IP, Renewable energy

I. 서 론

우리나라는 에너지 수요의 97%를 수입에 의존하는 에너지 소비국가로 전체 수입액의 25%를 에너지 수입으로 지출하고 있다. 이에 따라 향후 화석에너지 고갈 및 지구온난화에 대비한 대체 에너지의 개발, 보급의 필요성이 부각되고 있다.

바이오매스(biomass) 연료는 광합성에 의한 이산화탄소 흡수효과로 인하여 탄소 중립적(carbon neutral) 에너지로

국제사회에서 인정받고 있으며, 목질계 바이오매스인 우드펠릿(wood pellet)은 연소 시 석유에 비하여 NO_x와 SO₂ 배출량이 1/12, CO₂ 배출량은 약 1/27의 저감효과를 가지는 것으로 분석되고 있어서 기후변화 대응 및 온실가스 감축의 유용한 수단으로 주목 받고 있는 실정이다.

이에 정부는 2008년 8.15 경축사에서 ‘저탄소-녹색성장’을 국가비전으로 선언하고, 2009년 7월에 ‘폐자원 및 바이오매스에너지 대책 실행계획’을 발표하였다. 목질계 바이오매스 관련 정책으로 2020년까지 600개의 녹색마을을 조성하고 2013년까지 국토면적의 10%를 숲 가꾸기 사업을 통해 87만 톤의 우드펠릿을 공급하여 시설원에 난방유류 20%, 농가주거용의 7%를 대체할 예정이다. 또한 2020년까지는 500만 톤의 우드펠릿을 공급함으로써 국내 신재생에너지 생산량의 12%를 충당할 계획을 제시하고 있다[1]. 또한 공공건물에 대한 신재생에너지 도입을 확대하여 2012년

* 경남대학교 전자공학과

* 이 논문은 2012학년도 경남대학교 연구년 연구비 지원에 의한 것임.

투고 일자 : 2014. 1. 5 수정완료일자 : 2014. 2. 3

게재확정일자 : 2014. 2. 4

RPS(Renewable Portfolio Standard) 제도(신재생에너지 공급 의무화) 도입 등 정부의 온실가스 감축관련 제도의 강화라는 환경변화에 대응 수단으로써 목질계 바이오매스의 활용은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다[2]. 실제로 우드펠릿 연료관련 각종 문헌 조사 연구결과에 따르면 2003~2004년부터 펠릿관련 문헌 및 관련 기사의 발표가 급증하고 있음을 알 수 있다[3].

미국 등 선진국에서도 목질 펠릿과 같은 바이오 연료의 사용과 기술의 중요성을 인지하여 이에 대한 기술적 로드맵 및 시장 성장과 관련된 연구를 기획하고 그 결과를 발표하여 왔다[4-5].

우드펠릿은 톱밥이나 목피 및 폐목재를 균일하게 파쇄하고 압축하여 펠릿으로 성형하는 과정을 통해 제조된다. 펠릿의 길이는 10~20mm, 직경은 6~15mm가 일반적이며 최대 25mm까지도 가능하다. 가정용으로는 6mm 정도가 가장 좋다. 우드펠릿 제조에는 용해 및 고착시키기 위한 접합제 등의 첨가물이 필요 없다. 펠릿은 최소 발열량이 약 4,000~5,000kcal/kg이며, 함수율 8~13%, 무게 650kg/m³, 등유 1m³=펠릿 2.1t의 특성을 가지고 있다[6]. 모양과 수분 함유율이 일정하여 자동운전기에 적합하고 압축으로 밀도가 높기 때문에 수송에도 적합하며 건조된 것은 장기간 저장할 수도 있다. 단점으로는 습기에 약하고, 성형과정에서 에너지가 소비되며, 또한 연소 후에 그을음과 재가 남기 때문에 그 처리가 필요하다는 점이다. 또한 우드펠릿도 그 종류가 다양하여 사용되는 펠릿에 따라 보일러의 성능과 CO, NOx와 같은 배출가스 농도가 달라질 수 있다[7].

일반적으로 펠릿보일러를 난방시스템으로 적용하는데 기술적인 어려운 점이 있다. 즉, 연료가 목질 재료인 관계로 점화나 소화시키는데 비교적 많은 시간이 필요하다. 이러한 긴 점화소화시간은 기름을 사용하는 히터보다 3배 이상 소요된다. 따라서 잦은 소화 및 점화는 그 과정에서 연료를 불필요하게 사용하게하고 이는 보일러의 성능과 수명에도 영향을 미친다. 하지만 지금까지 개발되고 있는 대부분의 펠릿보일러에서는 보일러 점화 및 소화를 단순 2단계의 on/off 제어로만 이루어지고 있다. 비록 일부 연구에서 온도 예측제어 모델(predictive control model) 기법을 활용하여 제어하고 있지만 이는 보일러 자체 보다는 주거지 전체의 온도제어 관점에서 적용하고 있다[8]. 한편 펠릿보일러에 열전발전장치(TEGs; thermoelectric generators)를 적용하여 보일러의 열을 전기로 변환하여 배터리에 충전시킴으로 정전이나 비상시에 이를 활용하는 방식도 연구하고 있다[9]. 펠릿 보일러에서는 연료공급방법 및 연소방법, 슬래그(slag) 및 재 처리기술, 보일러 청소 등 기본적인 기능이 유해배출가스와 관련하여 중요하다[10].

본 논문에서는 펠릿보일러의 실용적이고 상용화 관점에서 이러한 기본적인 기능 향상과 함께 펠릿보일러의 지능화를 위해 원격으로 보일러를 제어하고 모니터링 할 수 있는 홈 네트워크 기반의 펠릿보일러 제어시스템을 국내 처

음으로 제시하였다. 개발된 보일러는 동작시험을 통해 보일러 기능 향상 및 원격 제어기능을 확인할 수 있었고, 공인 시험기관의 시험을 통해 개발된 보일러의 신뢰성을 검증하였다.

II. 우드펠릿 활용 난방 보일러 제어시스템

그림 1은 우드펠릿활용 난방보일러 제어시스템의 구성도이다. 시스템은 크게 난방보일러의 동작을 제어하는 주제어기(main controller)와 각 방 개별온도를 설정 제어하는 온도제어기 및 보일러의 동작을 원격으로 제어하고 그 동작 상태를 모니터링 할 수 있는 공중전화망(PSTN) 또는 이동통신망 인터페이스 부분으로 구성된다.

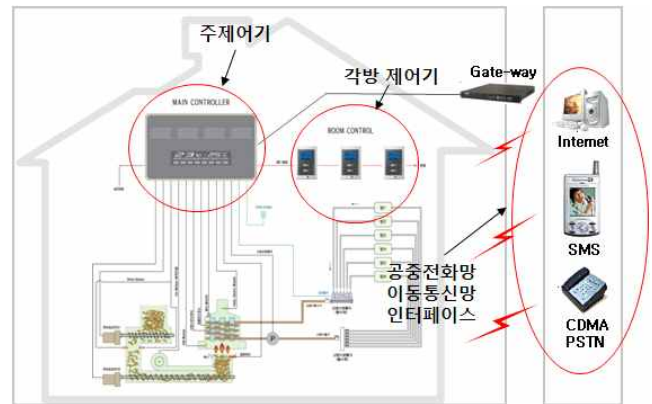


그림 1. 우드펠릿 난방보일러 제어시스템 구성도
Fig. 1. Architecture of wood pellet boiler controller

2.1 주 제어기

펠릿보일러의 주제어기는 보일러의 동작을 직접 제어하는 부분으로 우드펠릿을 공급하는 모듈, 공급된 펠릿을 점화시킬 수 있는 모듈, 점화된 상태에서 화력을 조절하는 화력조절 모듈, 그을음으로 인해 생기는 재를 제거하기 위한 마그네트(magnet) 제처리 모듈들을 제어한다. 주제어기는 사용자가 설정 및 제어하는 각방 온도 조절기와 RS-485 통신네트워크로 연결된다.

2.1.1 펠릿 공급 제어 모듈

그림 2는 펠릿연료 공급장치 및 점화장치 구성도이다. 펠릿보일러의 경우 연료가 목재이므로 일차적으로 외부연료를 보일러에 공급하는 역할을 하는 외부 연료공급모터가 필요하고, 연소에 필요한 연료를 내부에 공급하는 내부 연료공급모터가 필요하다. 이때 외부에서 연료가 잘 공급되고 있는지 체크하기 위한 수단이 필요하다. 이를 위해 본 시스템에서는 연료감지 레벨센서를 장착하여 외부에서 연료가 보일러에 안정적으로 공급되고 있는지 실시간으로 모니터링 하였다.

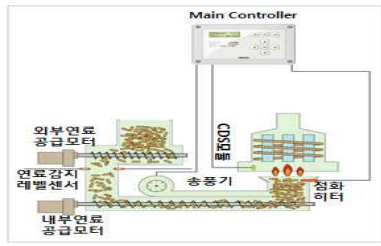


그림 2. 펠릿 공급 및 점화 장치 구성도

Fig. 2. Architecture of pellet feed and ignition apparatus

표 1은 본 논문에서 채택한 연료공급을 위한 제어방식으로 내·외부 연료를 공급 제어하고 연료잔량여부를 포토센서를 통해 감지 제어한다.

표 1. 펠릿 공급 모듈 제어방식

Table 1. Control method for pellet feed apparatus

제어요소	제어방식	구동요소
내·외부 연료공급모터	ON/OFF	actuator
연료감지레벨센서	감지/비감지	photo sensor

외부 연료공급은 일차적인 연료공급으로서 연소 혹은 점화에 직접적인 관련이 없으며, 내부 연료공급이 연소 혹은 점화에 직접적인 관련이 있다. 연료를 공급할 때에는 외부 연료공급모터를 구동하는데 제한조건이 있다. 즉, 내부 연료공급이 이루어질 때만 외부 연료공급이 이루어져야 한다. 내부 연료를 공급한다는 것은 점화나 연소에 필요한 연료를 공급한다는 뜻이고, 이것은 보일러가 직접적인 연료가 필요하다는 의미이다. 반대로 내부 연료공급이 이루어지지 않는 상황은 연료공급이 필요 없는 상태이기 때문에 외부연료공급 동작이 일어나서는 안된다. 그림 3은 이러한 제한 조건을 감안하여 연료공급모듈의 제어 순서도를 나타내었다.

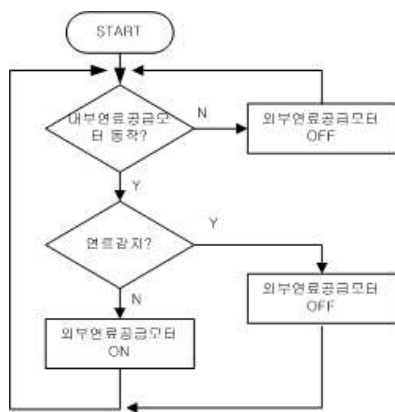


그림 3. 펠릿 공급 제어 순서도

Fig. 3. A flow-chart of pellet feed control

2.1.2 점화제어 모듈

보일러의 수온을 높이기 위한 첫 단계로서 점화는 연료

공급과 함께 송풍기와 점화히터 그리고 C₆S 모듈로 제어가 가능하다. 점화를 위해서는 내부 연료공급모터에 의해 공급된 연료에 점화히터가 점화를 하게 되는데, 보다 빠른 점화를 위해서 송풍기가 보조역할을 하게 된다. 그리고 C₆S 모듈은 점화의 성공유무를 확인하게 된다. 따라서 점화를 위한 제어요소에는 표 2와 같이 네 가지 요소로 이루어진다.

표 2. 점화 제어방식

Table 2. Control method of ignition

제어요소	제어방식	구동요소
내부연료공급모터	ON/OFF	actuator
송풍기	위상제어	actuator
점화히터	ON/OFF	actuator
C ₆ S모듈	감지/비감지	photo sensor

다른 연료와는 달리 펠릿은 목재로서 점화를 위해 일정 시간이 필요하다는 특성이 있다. 따라서 본 논문에서는 원활한 점화를 위해 점화과정을 3단계로 진행하였다. 점화 프로세스가 시작되면 송풍기를 ON시키고, 점화히터를 가동한 후에 연료를 공급한다. 그리고 C₆S 모듈은 불꽃을 감지하며 일정시간을 모니터링 한다. 만약, 점화가 이루어지지 않으면 2차 시도로서 연료공급을 다시 실행하고 다시 C₆S 모듈은 불꽃을 일정시간 확인한다. 그래도 점화가 이루어지지 않으면 마지막 3차 시도를 한다. 여기서 3차 점화시도에도 불구하고 점화가 이루어지지 않으면 프로세서는 사용자에게 확인 요구를 위한 점점을 알린다.

점화가 되지 않는 대부분의 경우가 연료공급이 잘 되지 않는 경우나 직접적인 점화가 아닌 간접적인 점화방식으로 인하여 일어난다. 따라서 본 시스템에서는 위에서 설명한 것 같이 3차까지 점화를 시도하는 것으로 구성하였다. 이에 대한 프로세스 제어순서는 그림4와 같다.

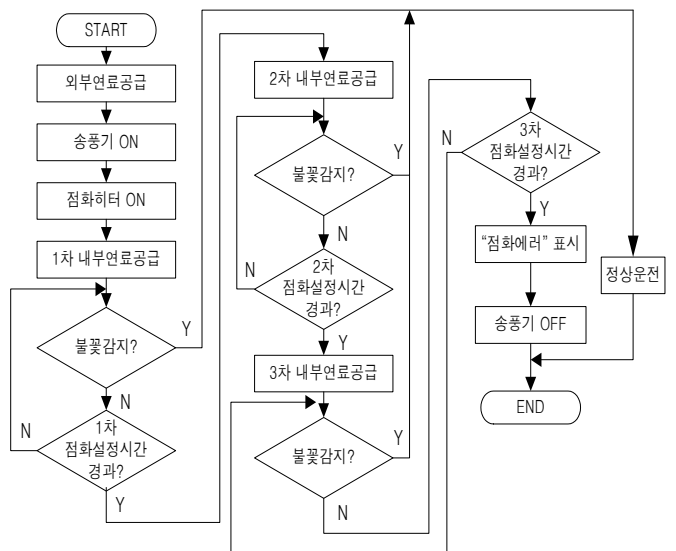


그림 4. 연료점화 제어 순서도

Fig. 4. A flow-chart of ignition control

점화제어에서 불꽃감지는 점화의 성공유무를 판단하는 중요한 요소로서, 불꽃감지 센서의 오동작은 시스템 성능 저하뿐만 아니라 보일러의 수명을 단축시키는 원인으로 작용한다. 기존의 보일러에서는 불꽃감지 기능이 없거나 이를 정확히 감지하지 못하였다. 불꽃감지는 그림 5와 같이 불꽃을 창을 통해 센서가 감지한다. 하지만, 연소 시 발생하는 그을음으로 인해 유리의 투명도가 떨어져 센서가 불꽃을 감지하는데 문제가 생길 수 있다(그림 5(a)). 기존에는 이런 그을음을 직접 보일러를 해체하여 제거한 후 다시 조립하거나 보일러의 오작동의 원인을 잘못 판단하여 보일러를 통째로 교체하거나 모듈을 교환해야 하는 불편함과 비용낭비를 감수해야 했다. 본 논문에서는 이런 문제를 해결하고자 새로운 방법을 고안하였다. 그림 5(b)에서처럼 마그네트 혹은 전동 구동기를 이용하여 그을음을 자동으로 제거하는 장치를 적용하였다. 그을음은 오랜 시간이 지나면 제거하기 힘들지만 얼마 되지 않은 그을음은 쉽게 제거될 수 있다.

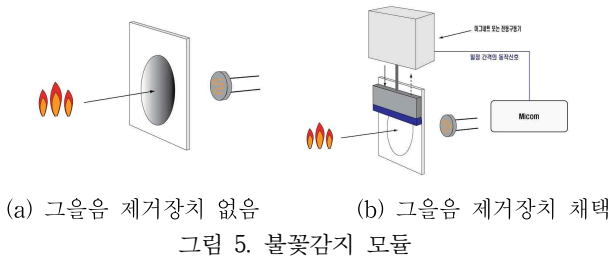


Fig. 5. A flame detecting module

2.1.3 화력 조절 모듈

송풍기는 점화를 하거나 보일러 연소 시 화력을 조절하기 위해 필요하다. 화력조절은 보일러 내의 수온을 제어하기 위하여 사용된다. 사용자가 설정한 온도 유지를 위해서는 보일러의 송풍기를 이용하여 화력을 제어함으로써 가능하다. 송풍기는 두 가지 제어요소가 있다. 하나는 송풍기 풍속이며 다른 하나는 송풍기를 통해 유입되는 공기 유입량이다. 표 3은 화력조절을 위한 제어방식을 보여준다.

표 3. 화력 조절 모듈 제어방식
Table 3. Control method of firepower

제어요소	제어방식	구동요소
송풍기 풍속	강·중·약	위상제어
공기 유입량	10단계	스텝핑 모터

화력조절은 위 표 3에서 보듯이 두 가지 요소로 제어하였다. 송풍기 풍속은 일반제어라고 볼 수 있고, 공기 유입량은 미세제어로 볼 수 있다. 본 논문에서는 송풍기의 풍속조절을 위해 송풍기 공급전압 주파수의 위상각을 SCR 소자를 통해 분할 제어하여 송풍기의 회전속도를 강·중·약 3단계로 제어하였다. 또한 공기 유입량 제어는 송풍기 앞단에 기구적으로 회전셔터를 채택하여, 이 셔터의 개·폐 정도를 스텝핑(steppping) 모터를 통해 10단계로 제어하였다. 특히 펠릿 보일러를 소화시키고자 할 경우 우드펠릿의 특성 상 소화시간이 오래 걸리는 것을 해결하기 위해

회전셔터를 즉각적으로 닫음으로 공기를 차단하여 빠르게 소화를 시킬 수 있다.

2.1.4 재 처리 모듈

난방 보일러의 열효율은 매우 중요한 요소이다. 보일러 내에서 발생하는 그을음 및 소화 후 발생하는 재는 열효율에 크게 영향을 미친다. 일반적으로 보일러 청소를 통해 열효율을 높일 수 있지만 현실적으로 불편한 점이 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 6과 같이 보일러 내에서 발생한 그을음과 재를 주기적으로 처리할 수 있는 마그네트(magnet) 재처리 장치를 고안하여 적용하였다. 마그네트 재 처리는 마이크로프로세서에 의해 일정시간 간격으로 발생하는 동작신호를 통해 마그네트에 의한 보일러 본체를 진동시킴으로 보일러 본체에 붙어있는 재와 그을음을 제거한다.

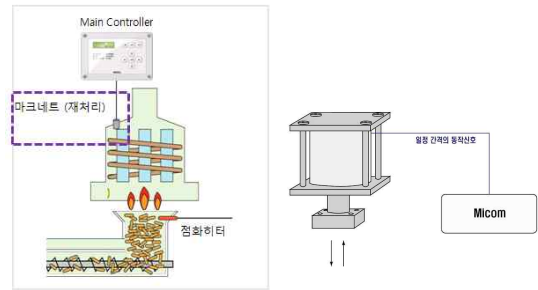


그림 6. 마그네트 재 처리 장치

Fig. 6. Ashes treatment apparatus by magnet force

2.1.5 온도 조절기

온도조절기는 사용자와 보일러 시스템 간에 중간자로서 사용자의 입력요소를 주제어장치에 전달하는 기능을 수행한다. 이를 위해 온도조절기는 사용자의 명령을 처리하는 기능과 함께 주제어장치와 통신 프로토콜을 갖고 있다. 사용자가 요청하는 내용으로는 온수와 난방 선택, 난방 시에는 실내 설정온도 혹은 보일러가 자동으로 동작되도록 하는 예약이 있다. 온도조절기의 구성은 그림 7과 같이 실내 온도를 감지하기 위해서 온도센서, 사용자의 입력을 받아들이고 사용자에게 보일러 상태 및 사용자 입력에 대한 응답으로서 부저와 LCD 디스플레이가 필요하다.

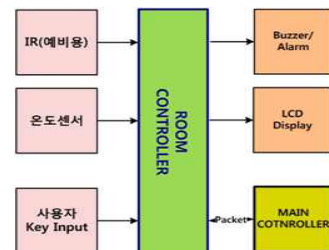


그림 7. 온도 조절기 구성도

Fig. 7. A block diagram of temperature regulator

각 방 개별 온도제어는 각 방을 흐르는 온수를 온·오프 시킴으로써 원하는 방의 온도를 제어 할 수 있다. 본 논문에서는 마이크로프로세서의 입·출력 포트를 이용하여 릴레이를 구동

시킴으로 전동식 밸브의 개·폐를 제어하였다. 다수의 각 방 조절기들 중에서 특정 조절기의 선택은 RS485 통신의 송·수신 프로토콜의 명령어에 각 방 ID(identification)를 할당함으로써 각 방 온도 제어를 수행하였다.

2.2 원격제어 및 모니터링 시스템

본 논문에서는 우드펠릿보일러의 지능화를 위해서 실시간으로 휴대폰이나 유선전화를 통해 보일러를 원격제어하거나, 각종 센서신호를 감지하여 발생신호에 따른 데이터분석 및 분석 결과에 따라 보일러에 이상이 발생 하였을 경우에는 사용자 휴대폰으로 단문(SMS) 서비스를 제공하는 기능을 적용하였다.

먼저 공중전화망(PSTN)을 통한 보일러 원격제어의 경우, PSTN 전화기로부터 수신된 신호는 DTMF(Dual Tone Multi Frequency) 제어기에 의해 보일러 이벤트ID 신호를 발생시켜 이를 RS-485 네트워크를 통해 주제어기로 전송시켜 보일러를 원격으로 제어한다. 주제어기는 이벤트 내용에 근거하여 이에 상응하는 동작을 수행한다.

반면에 보일러의 특정 이벤트 발생 시에는 주제어기가 상응하는 인터럽트를 발생시키고, 이는 외부 키 스캔제어기에 의해 사용자의 휴대폰으로 TCP/IP 인터페이스를 통해 보일러 동작상황을 단문서비스로 제공한다. 본 논문의 펠릿 보일러 시스템에서 발생 할 수 있는 여러 이벤트를 표 4에 나타내었다.

표 4. 펠릿 보일러 이벤트 테이블
Table 4. Pellet boiler event table

이벤트ID	이벤트 내용	Addr.
0	관수온도	0x0001
1	과열방지 온도	0x0002
2	난방 환수 온도	0x0004
3	축열 탱크 온도	0x0008
4	연료 공급량	0x0010
5	팬 풍량	0x0020
6	1차 점화	0x0040
7	2차 점화	0x0080
8	3차 점화	0x0100
9	난방 순환 펌프 가동	0x0200
10	축열 탱크 순환 펌프 가동	0x0400
11	보일러 과열	0x0800
12	버너 역화	0x1000
13	점화 실패	0x2000
14	버너 장착 오류	0x4000
15	배기 팬 작동 오류	0x8000
16	관수 온도 센서 오류	0x000a
17	과열 방지 온도센서 오류	0x000b
18	난방 환수 온도센서 오류	0x000c
19	축열 탱크 온도센서 오류	0x000d
20	광센서 오류	0x000e
21	포토센서 오류	0x000f

III. 시스템 구현 및 동작시험

3.1. 우드펠릿 공급 제어 모듈

그림 8은 본 논문에서 제작 구현한 우드펠릿연료 공급

장치를 보여준다. 펠릿연료는 외부구동모터에 의한 외부연료공급과 내부구동모터에 의한 내부연료공급의 2단계로 이루어진다. 본 논문에서는 기존 상향식 연료 공급 장치의 기구적 복잡성을 해결하기 위해 하향식 연료공급방식으로 설계하였다.



그림 8. 우드펠릿 연료공급 장치
Fig. 8. Wood pellet feed apparatus

3.2. 점화 제어 모듈

그림 9는 펠릿보일러의 원활한 점화를 위해 본 논문에서 새롭게 적용한 C_s 불꽃감지장치와 그을음 제거장치(3D 모델링 포함)를 장착한 점화제어 모듈을 보여준다. 그림 10은 그을음 제거장치를 채택한 경우와 채택하지 않은 경우의 C_s 센서소자 감지전압을 1개월간 측정한 시간적 변화를 보여준다. 그을음 제거장치를 채택하지 않을 경우 점화시간의 경과에 따라 점화모듈의 유리창에 점차 그을음이 형성되어 C_s 감지전압이 점차적으로 감소하고 있는 경향을 보여준다. 이러한 감지전압의 감소는 극단적으로 보일러가 점화 중단데도 점화가 되지 않았다고 판단하여 보일러의 오동작을 유발 시킬 수 있다. 반면에 그을음 제거장치를 채택했을 경우 C_s 센서소자의 감지전압은 약간 떨어질 뿐 변화가 거의 없이 나타나고 있는 것을 보여준다.



그림 9. 불꽃감지 및 그을음 제거장치

Fig. 9. A flame detecting apparatus with soot removing unit

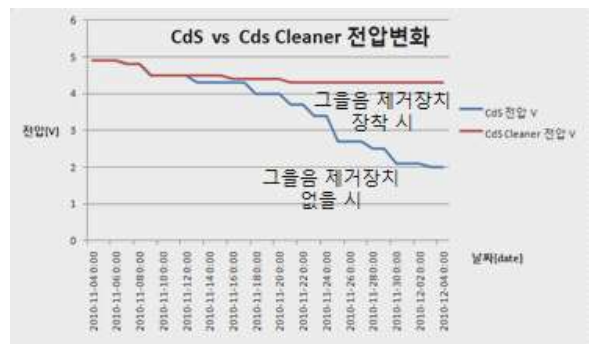


그림 10. 그을음 제거장치 유무에 따른 C_s 센서 감지전압의 변화
Fig. 10. Variation of C_s sensing voltages according to the with/without soot removing unit

3.3 화력조절 모듈

그림 11은 본 논문에서 구현한 화력조절장치를 보여준다. 본 화력조절장치는 송풍기 모터의 위상제어로 풍속을 제어하는 화력조절 기능 이외에 우드펠릿이라는 목재연료의 특성 상 소화시간이 오래 걸리는 것을 개선하기 위해 기구적으로 셔터를 채택하여 보일러 내로의 유입되는 풍량도 제어 하였다. 풍량의 제어는 스텝핑 모터에 의해 10단계로 셔터의 개폐정도를 제어한다.



그림 11. 풍량 유입 제어가 가능한 화력조절장치

Fig. 11 A firepower apparatus with controllable air flow

그림 12는 화력조절장치의 제어에 따라 보일러 연통의 온도 변화를 25초 간격으로 측정된 결과이다. 송풍기 풍속제어와 함께 스텝핑 모터에 의한 풍량 유입량을 동시에 제어 한 경우가 송풍기 풍속만을 제어한 경우보다 약 8분정도 빨리 소화됨을 알 수 있었다.



그림 12. 화력조절에 따른 보일러 연통 온도 변화

Fig. 12. Variation of boiler stovepipe temperature according to the firepower control

3.4 온도 조절기

그림 13은 보일러 주제어기와 개별 방 온도조절기의 구현된 시제품을 보여준다. 주제어기와 각 방 온도조절기 간의 통신은 RS485 통신네트워크에 의해 수행된다.

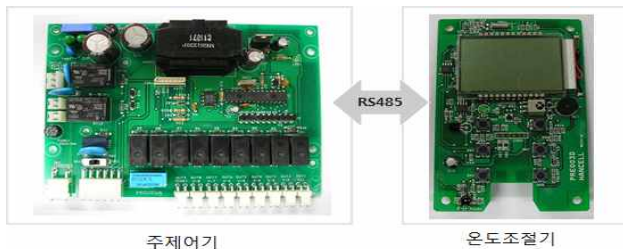


그림 13. 주제어기와 각방 온도조절기

Fig. 13. Main controller and room temperature controller

다수의 각방 조절기의 선택은 RS485 송·수신 프로토콜에서 명령어에 각 방 ID를 넘겨줌으로써 각 방 온도를 제어할 수 있게 한다. 표 5는 송·수신 프로토콜의 명령어와 데이터를 보여준다.

표 5. 주제어기와 온도조절기 간의 송수신 프로토콜
Table 5. Communication protocol between main controller and room temperature controller

START	Add	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	STOP
0x64	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	1B	0x65
시작	Room No	시간	온수	난방	설정 온도	관수 온도	시간	예약 설정	정지

그림 14는 위에서 언급한 주제어기와 온도조절기 간의 송수신 프로토콜에 의한 채널 설정신호와 상호간의 제어신호 전송 상황을 측정된 결과이다.



그림 14. 주제어기와 각 방 온도조절기간의 통신신호

Fig. 14. Communication signal between main controller and room temperature controller

3.5 공중전화망 인터페이스

본 논문에서 구현한 펠릿보일러는 공중전화망(PSTN)이나 휴대폰을 이용하여 보일러의 가동상태를 원격으로 제어하거나 동작상태를 모니터링 할 수 있도록 하였다. 이를 위해서 공중전화망 및 이동통신망 인터페이스 모듈을 구현하였다. 공중전화망의 경우 DTMF 제어기와 통합관리제어기의 마이크로프로세서에 의해 발생이벤트를 모니터링하고 제어한다. DTMF 제어기에는 S5T3170 DTMF 수신 소자에 의해 톤(tone) 입력 신호를 디코딩 한 후 해당 출력 번호를 보일러 발생 이벤트 번호와 연동시켜 제어하거나 모니터링 할 수 있다[12].

표 6은 공중전화망을 통해 보일러 제어를 위한 송신 커맨드를 보여준다. 시작 값으로 '*'를 선택하고 패스워드는 '1234', 동작 상태를 나타내는 flag은 '0 또는 1', 그리고 보일러상태 이벤트 값은 '1~8', 마지막 종료알리기 위한 종료 데이터로써 '#'으로 커맨드를 정의 하였다.

그림 15는 본 논문에서 구현한 DTMF 제어기와 통합관리제어기를 보여준다.

표 6. DTMF 송수신 명령어

Table 6. DTMF transmitting and receiving commands

start	password	flag	event #	end
*	1234	0 or 1	1-8	#



그림 15. 구현된 DTMF 제어기와 주제어기
Fig. 15. DTMF controller and main controller

3.6 이동통신전화망 인터페이스

보일러에서 발생한 이벤트를 휴대 단말장치에 문자로 전송하기 위해서는 SMS모듈 인터페이스가 필요하다. 본 논문에서는 Alcor micro사의 AU9462 키보드 컨트롤러 소자를 이용하여 보일러에서 발생하는 인터럽트를 처리하였다 [13]. AU9462 소자는 12MHz 오실레이터로 동작하며, 포트 송신을 위한 세 개의 송신기(XCVR)를 가지고 있다. 외부 상태 값을 입력받기 위한 부분은 키보드 스캔 포트이다. 이 포트들은 확장된 106 keyboard의 데이터 값을 그대로 입력받을 수 있다. 106개의 키는 각각의 스캔입력 포트를 활성화시킴으로써 가능하다. 또한 휴대전화로의 SMS 전송은 Cirrus logic사의 CS8900A 이더넷 컨트롤러 소자를 이용하였고[14], TCP/IP 소켓프로그램으로 구현하였다. 그림 16은 보일러 이벤트 발생 시 키보드 스캔제어기를 통해 사용자 휴대전화로 SMS 문자로 해당 정보가 전송된 상황을 보여준다.

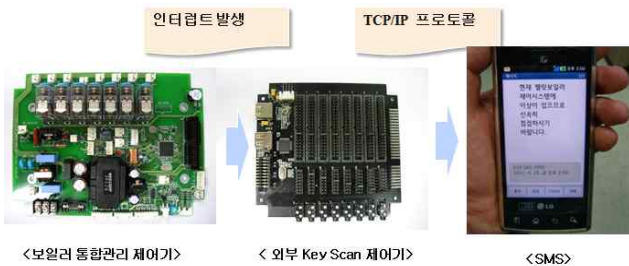


그림 16. 구현된 외부 키 스캔 제어기
Fig. 16. Key scan controller

3.7 통합 시스템 구현 및 동작시험

그림 17은 본 논문에서 구현한 펠릿보일러 제어시스템의 통합시험 지그(jig)를 보여준다. 표 7은 외부 공인시험기관의 시험과 자체 평가시험을 통해 규격 적합성 여부를 평가한 결과이다. 이를 통해 개발된 제어시스템은 각종 전기적 및 환경적 규격에 적합하였다. 또한 표 8은 종래 제품과의 성능을 비교한 결과로서, 본 개발 시스템은 난방면적

172m²에서 열효율은 93.6%, 난방출력은 20,640[kcal/hr], 연료소모량은 5.54[kg/hr]으로 나타났다. 이러한 성능지표는 기존 개발된 펠릿보일러에 비해서 우수한 결과를 보여준다. 이러한 이유는 기존 보일러에서는 적용하지 않는 3단계의 점화조정기능과 그을음제거 기능과 함께 C_dS 센서를 통한 불꽃감지기능 및 셔터개폐의 미세 조정을 통한 화력조정기능을 새롭게 적용한 결과이다.

그림 18은 본 논문에서 최종적으로 구현한 펠릿보일러 외관을 보여준다.



그림 17. 펠릿보일러 제어시스템 시험 셋업
Fig. 17. Experimental set-up for pellet boiler controller

표 7. 펠릿 보일러 제어시스템 시험결과

Table 7. The test results of control system of wood pellet boiler

시험항목	시험규격	결과	시험기관
EMI	EN-55014	PASS	(재)경남테크노파크(재)한국조선기자재연구원
EMS	ESD EN-61000-4-2	PASS	
	Burst EN-61000-4-4		
	Surge EN-61000-4-5		
열충격시험	열충격 적합성	적합	(재)경남테크노파크
온도시험	항온항습 적합성	적합	
데이터손실율	패킷손실율	0%	자체시험

표 8. 펠릿 보일러 성능 비교

Table 8. The performance comparison of wood pellet boilers

구분	당 시스템	국내K사 (KRP-20)
열효율	93.6[%]	92.0[%]
난방출력	20,000[kcal/hr]	20,640[kcal/hr]
연료소모량	5.54[kg/hr]	5.50[kg/hr]
난방면적	172m ²	99m ²



그림 18. 구현된 펠릿보일러
Fig. 18. Implemented pellet boiler

IV. 결 론

본 논문에서는 목재펠릿을 연료로 사용하는 펠릿보일러 제어시스템을 구현하였다. 구현된 시스템은 기존의 시스템과는 달리 3단계의 점화조절기능을 적용하였고, 마이크로프로세서에 기반한 주기적 그을음 제거 기능과 함께 CO₂ 센서를 통한 불꽃감지기능 및 서터개폐의 미세 조절을 통한 화력조절기능을 채택하였다. 그 결과 난방면적 172m²에서 열효율은 93.6%, 난방출력은 20,640kcal/hr, 연료소모량은 5.54kg/hr 으로 나타났다. 이러한 성능지표는 기존에 개발된 펠릿보일러에 비해서 우수한 결과이다.

또한 공중전화망 및 이동통신망 접속기술을 적용하여 펠릿보일러시스템의 원격제어 및 원격모니터링이 가능하도록 하여 보일러의 통합관리기능이 가능하도록 하였다.

참 고 문 헌

[1] “저탄소에너지 생산·보급을 위한 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획”, 교육과학기술부, 행정안전부, 농림수산식품부, 지식경제부, 환경부, 국토해양부, 산림청, 2009. 07.

[2] “신·재생에너지 공급 의무화(RPS) 제도”, 지식경제부, 에너지관리공단, 2011. 10.

[3] H. M. Jarvenpaa and A. S. Tapaninen, “An Empirical Study of the Wood Pellet Publishing Activity Development,” Proceedings of the 2008 IEEE ICMIT, pp. 81-86, 2008.

[4] Ann Marie Lamb, Tugrul U. Daim and Scott Leavengood, “Wood Pellet Technology Roadmap,” IEEE Transactions on Sustainable Energy, Vol. 3, No. 2, pp. 218-229, 2012.

[5] Aija Tapaninen and Marko Seppanen, “Characteristics of Value in Green Technology Investments,” IEEE PICMET 2009 Proceedings, pp. 1666-1675, August 2-6, Portland, Oregon USA, 2009.

[6] http://en.wikipedia.org/wiki/Wood_pellets

[7] J. Dias, M. Costa and J.L.T. Azevedo, “Test of a Small Domestic Boiler using Different Pellets,” Biomass and Bioenergy Vol. 27, pp. 531-539, 2004.

[8] Kazuhisa Ito, “Greenhouse Temperature Control with Wooden Pellet Heater via Model Predictive Control Approach,” IEEE 20th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED), pp. 1542-1547, Barcelona, Spain, July 3-6, 2012.

[9] Wilhelm Moser, Gunther Friedl, Walter Haslinger, and Hermann Hofbauer, “Small-Scale Pellet Boiler with Thermoelectric Generator,” International Conference on Thermoelectrics, pp. 349-353, 2006.

[10] Frank Fiedler, “The state of the art of small-scale pellet-based heating systems and relevant regulations in Sweden, Austria and Germany,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 8, pp. 201-221, 2004.

[11] <http://www.forest.go.kr>

[12] S5T3170 DTMF receiver, Samsung

[13] AU9432 USB keyboard hub controller technical reference, Rev. 1.1, Alcor Micro Co., 2003

[14] CS8900A Ethernet controller, Cirrus Logic Inc., 2010



이 상 훈 (Sang-Hoon Lee)

1984년 2월 고려대 전기공학과(공학사)
 1987년 8월 고려대 전기공학과(공학석사)
 1998년 2월 고려대 전기공학과(공학박사)
 2001년 3월 ~ 현재 경남대 전자공학과 교수

※주관심분야 : FPGA, 시스템IC 설계 및 디지털시스템