

안전성이 높은 고효율 보일러 개발에 관한 연구

정 원

대구대학교 산업경영공학과

Development of High Efficiency Boiler with High Safety

Won Jung

Department of Industrial and Management Engineering

Abstract

Boiler efficiency has a direct impact on energy consumptions, which results in lower cost of operations and services. Usually high efficiency boilers are regarded as boilers with an efficiency of greater than 90%. However, it is likely that normal boilers are running at significantly lower efficiencies than this.

This paper presents a process of developing a highly efficient energy consumption boiler. We adopt direct heat method while normal boilers are designed as indirect heat method. The submerged combustion method is considered to design for very high efficient boiler.

Keywords: high efficiency boiler, energy consumption, high safety, direct heat method

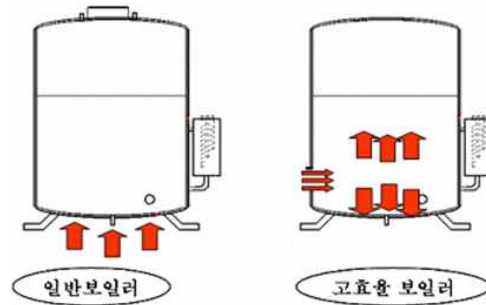
1. 서 론

세계는 지금 지구온난화로 인하여 대체에너지 개발에 박차를 가하고 있다. 특히 수소에너지는 태양열 에너지와 함께 친환경 대체에너지로서 전 세계적으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 최근에는 자동차를 비롯하여 수소열차, 트럭, 오토바이, 자전거 등 수소연료를 이용한 운송기기는 세계 각국에서 연구가 활발히 진행되고 있으며, 노트북, 핸드폰, PDA 등 대부분의 모바일 기기가 기존 배터리 대신 수소연료전지를 이용할 수 있는 연구도 진행되고 있다.

한편, 난방용 보일러 연료로는 전통적으로 전기, 가스 또는 기름 중 하나를 사용하는 방식으로 개발되었으나 90년대 후반에 국내 최초로 수소와 오일의 혼합형 보일러가 기존 보일러구조와 동일한 구조로 개발되었으나 효율의 변화가 별로 없었으며, 혼합한 오일을 연료로 사용함으로써 대기오염 물질이 추가로 발생하였다. 그 외 물을 전기 분해하여 브라운가스라는 새로운 가스를 생산하였으나 고가의 가스 제조기로 인해 경제성이 저하되어 현재 상용화된 기술은 없는 상태이다. 향후에는 산업용 및 가정용 보일러 연료와 관련하여 기존 배관망에서 공급되는 도시가스를 증기 개질하여 수소를 생산하여 난방과 전기를 위해 공급할 수 있도록 하는 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 수소연료를 이용한 직접 가열방식의 보일러를 개발하여 열효율을 증대시키고 친환경적인 제품을 개발하는 것으로서 앞으로의 시장에 대한 선행연구라고 할 수 있다. 현재 실생활에 사용 중인 기존의 보일러는 용기에 담겨진 물을 간접 가열하여 필요한 온수나 증기 등을 이용할 수 있도록 설계되어 있어 열효율이 낮아 에너지 비용이 많이 드는 것이 단점이다. 이는 <그림 1>과 같이 기존의 일반보일러는 버너를 점화하여 폭 기관을 통한 연소열 전달방식으로 열손실이 많으나 이를 보일러 내부에서 폭기관을 통하여 가열하는 방식으로 개발하게 되면, 열손실이 없는 고효율의 보일러가 된다.

본 연구의 목적은 연료를 연소한 열량 전부를 보일러의 내부에서 소모시킴으로써 효율을 극대화할 수 있는 고효율 보일러를 개발하고자 한다. 보일러 내부를 가열함으로써 간접 가열하는 방식이 아닌 직접 가열 방식을 채택하여 폭기관을 통한 연소열 전달로 열손실을 최소화한다. 향후 수소에너지 활용을 대비한 미래형 고효율 보일러 개발을 목표로 하며, 무공해, 무소음의 친환경적 제품을 개발한다. 본체를 비롯한 폭기관, 연소통과 착화기, 압력보상 파이프, 가스분사기의 구조 및 형태를 설계함에 있어 안전성이 최고로 높일 수 있도록 연구하여 시제품을 제작한다. 이와 함께 핵심 기술인 폭기관의 보다 향상된 성능을 위해 연구한다.

<그림 1>은 고효율보일러의 가열방식을 보여준다.



<그림 1> 보일러의 가열방식

2. 부품별 기능

본 연구는 아래 4가지 사항에 중점을 두어 개발하였다.

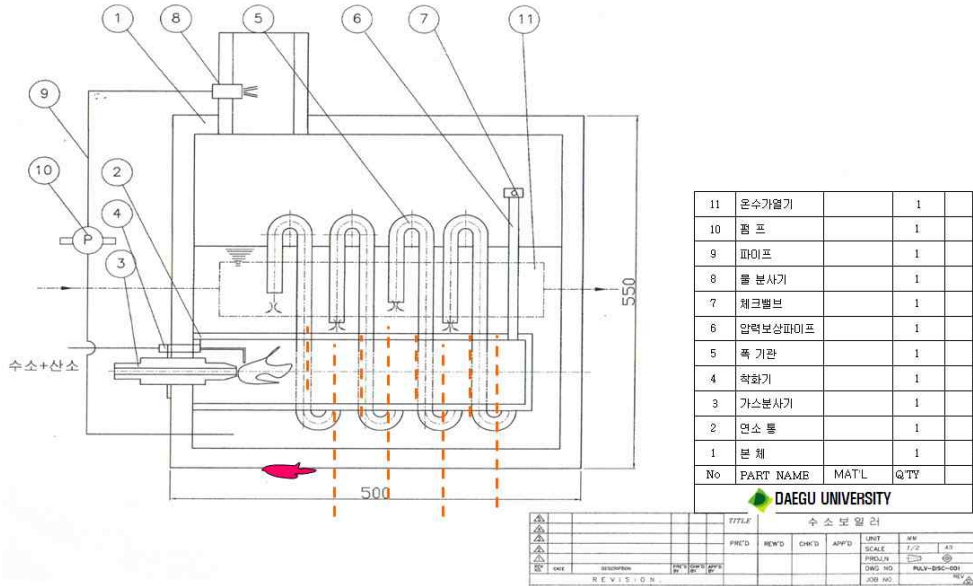
- 본체와 역류방지장치, 폭기관, 연소통과 착화기의 세부설계와 제작
- 가장 효율적인 에너지 절약형 신 연소기술인 액중연소기술의 적용방안 연구
- 보일러의 생명인 안전을 위해 액중 연소 후 발생하는 불완전연소가스의 안전성(폭발 가능성) 및 매연의 성분분석에 관한 연구
- 실험의 결과 안전성에 문제가 있거나 매연이 심한 경우 설계변경 및 개선

개발제품은 수소가 연소된 후 수증기 상태로 대기로 유출되지 않고 본체 내부에서 모두 소모되게 함으로서, 열 교환에 필요한 구성요소를 매우 간단하게 구성할 수 있고, 본체 외벽의 단열을 강화하면 100%에 매우 근접한 효율이 예상되어 연료의 효율을 극대화할 수 있도록 고안 되었다. 보일러의 용도는 온수, 난방수, 증기를 이용하기 위한 것으로서 기본 개념 설계를 개선하고, 시제품을 제작하여 성능시험을 행하였다. 보일러의 구성품은 다음과 같다.

<그림 2>는 보일러의 조립도이며, 부품별 내용은 다음과 같다.

- ① 물을 내장한 본체
- ② 상기 본체 내의 물속에 배치되는 연소 통은 물을 내장한 본체, 본체 내의 물속에 배치
- ③ 가스분사기는 본체의 외부에서 삽입됨과 더불어 상기 연소통의 내부와 통하여 수소와 산소를 분사
- ④ 본체의 외부에서 삽입됨과 더불어 상기 연소통의 내부와 통하여 상기 가스 분사기의 선단부에 전기불꽃을 방사하는 착화기
- ⑤ 연소통과 연결됨과 더불어 선단부가 아래쪽으로 굽어서 본체 내의 물에 잠겨서 수증기를 폭기시키는 다수의 폭기관
- ⑥ 연소통의 단부에 연결되는 선단부가 본체 내의 물의 수면 위로 돌출되는 압력보상파이프
- ⑦ 입력보상파이프의 상단부에 설치되어 본체 내의 물의 수면 위쪽의 압력이 연소통 내의 압력보다 높을 때에 개방되는 체크밸브

- ⑧ 물분사기
- ⑨ 파이프
- ⑩ 펌프
- ⑪ 온수 가열기

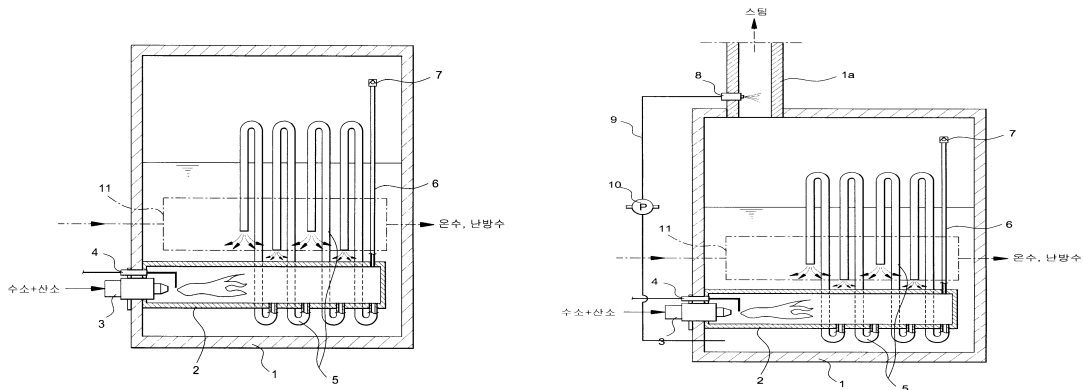


<그림 2> 보일러 조립도

2.1 기존기술과의 차이점

본 개발품은 수소 연료를 이용한 고효율 보일러 즉 수소 보일러에 관한 것으로서, 수소를 연소한 열량 전부를 보일러의 내부에서 소모시킴으로써 효율을 극대화할 수 있도록 설계된 고효율 보일러이다. 보일러는 전기보일러, 가스보일러, 석유보일러 등으로 대별되는데, 전기보일러는 전기히터를 열원으로 한 구조이고, 가스보일러와 석유보일러는 가스와 석유를 각각 열원으로 한 구조이다. 일반적으로 보일러는 냉수를 가열하여 온수, 난방수, 증기로 변화시키므로, 난방수는 배관을 따라 순환하면서 실내를 가열하게 되고, 온수는 사용자의 식기세척수나 목욕수 등에 사용되고, 증기는 배관을 따라 실내를 가열하거나 세탁소 등에서 증기를 그대로 사용하거나 산업 현장에서 살균, 소독 등에 사용된다. 여기서 전기보일러를 제외한 종래의 보일러는 버너와 열교환기로 이루어진 가열장치를 가지고 있으며, 버너의 출구측에 다수의 열교환기가 연결되어 열교환기 내의 물을 가열하게 되고, 버너에서 연소된 가스가 연통을 통하여 외부로 배출되는 구조로 이루어진다. 즉, 기존 보일러는 연료를 연소실 내부에서 연소시킨 뒤에 연통을 통하여 외부로 배출되기 때문에, 열교환기를 구조적으로 개선하거나 폐열을 재사용하는 구조를 부가적으로 구성하여 연소열을 최대한 이용하여 보일러의 효율을 증대하게 된다. 따라서 기존 보일러는 연료의 연소열이 폐열 형태로 연통을 통하여 외부로

배출되기 때문에, 폐열의 배출에 따른 보일러 효율의 감소를 막을 수가 없었다는 단점이 있다. 물론 폐열을 최대한으로 이용한 구조로 보일러 효율을 증대할 수 있으나 이러한 구조는 보일러 자체의 구조적 복잡성으로 인하여 보일러의 생산 단가를 상승시키는 요인이 된다. 본 개발품이 이루고자 하는 기술적 과제는 기존 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 수소를 연소한 열량 전부를 보일러의 내부에서 소모시킴으로써 효율을 극대화할 수 있는 고효율 보일러를 제작하는 데 있다. 이를 실현하기 위하여, 온수, 난방수, 증기 중의 어느 하나 이상을 발생하는 보일러에 있어서, 물을 내장한 본체, 본체 내의 물속에 배치되는 연소통, 본체의 외부에서 삽입됨과 더불어 상기 연소통의 내부와 통하여 수소와 산소를 분사하는 가스분사기, 상기 본체의 외부에서 삽입됨과 더불어 상기 연소통의 내부와 통하여 상기 가스분사기의 선단부에 전기불꽃을 방사하는 착화기, 상기 연소통과 연결됨과 더불어 선단부가 아래쪽으로 굽어서 상기 본체 내의 물에 잠겨서 수증기를 폭기시키는 다수의 폭기관, 연소통의 단부에 연결되는 선단부가 본체 내의 물의 수면 위로 돌출되는 압력보상파이프, 압력보상파이프의 상단부에 설치되어 본체 내의 물의 수면 위쪽의 압력이 연소통 내의 압력보다 높을 때에 개방되는 체크밸브로 이루어지는 수소 연료를 이용한 고효율 보일러를 제공한다. <그림 3>은 보일러의 단면도이며 부분 별 설명은 다음과 같다.



<그림 3> 보일러의 단면도

개발된 제품은 수소를 연료로 함과 더불어 수소의 연소열 또는 고온수증기를 그대로 이용하는 구조로 이루어지며, 종래의 증기보일러와 온수보일러와 마찬가지로 온수, 난방수, 증기 중의 어느 하나 이상을 발생하게 된다. 즉, 물을 내장한 본체(1) 내에 연소통(2)이 배치되고, 연소통(2)에서 수소를 연소하기 위한 가스분사기(3)와 착화기(4)가 밀봉 결합되며, 연소통(2) 내부와 연통하는 다수의 폭기관(5)과 압력보상파이프(6)가 연소통(2)에 연결되고, 압력보상파이프(6)의 상단부에 체크밸브(7)를 결합하는 구조로 이루어진다. 여기서 연소통(2)은 본체(1)의 내부에 있는 물속에 잠겨서 배치되어 일차적으로 물을 가열하게 된다. 가스분사기(3)는 본체(1)의 외부에서 삽입됨과 더불어 연소통(2)의 내부와 통하여 수소와 산소를 분사하게 된다. 물론 가스분사기(3)에는 가스분사속도가 낮아져서 역화되는 것을 방지하기 위하여 체크밸브를 내장하고 있음은 자명하며, 수소와 산소는 투입되기 전에 결합될 수 있을 뿐만 아니라 가스 분사기(3) 내부에서 혼합될 수도 있는 것이다. 한편 착화기(4)는 가스분사기(3)와 마찬가지로

본체(1)의 외부에서 삽입됨과 더불어 연소통(2)의 내부와 통하여 가스분사기(3)의 선단부에 전기불꽃을 방사하게 된다.

폭기관(5)은 연소통(2)과 연결됨과 더불어 선단부가 아래쪽으로 굽어서 본체(1) 내의 물에 잠겨서 수증기를 폭기하게 되는 바, 도면과 같이 상측으로 돌출되어 본체(1) 내의 수면 위쪽으로 상승한 뒤에 선단부가 아래쪽으로 절곡 형성되는 것이 바람직하다.

물론 폭기관(5)과 연소통(2)의 구조를 다양하게 구성할 수 있는 바, 폭기되는 수증기를 더욱 원활하게 폭기하기 위한 구조로 변경할 수 있음은 자명한 사실이다.

압력보상파이프(6)는 연소통(2)의 단부에 연결되는 선단부가 본체(1) 내의 물의 수면 위로 돌출된다. 체크밸브(7)는 압력보상파이프(6)의 상단부에 설치되어 본체(1) 내의 물의 수면 위쪽의 압력이 연소통(2) 내의 압력보다 높을 때에 개방되고, 연소통(2) 내의 압력이 본체(1) 내의 수면 위쪽의 압력보다 클 때에는 폐쇄되는 바, 이는 연소통(2) 내부로 수소와 산소의 공급이 중단되어 고온 고압의 수증기의 공급이 중단되어 연소통(2) 내부의 압력이 저하될 때에 본체(1) 내의 수면 위쪽 압력과 연소통(2) 내부의 압력 차이의 발생을 제거하여 본체(1) 내의 물이 폭기관(5)을 통하여 연소통(2) 내부로 유입되는 것을 방지하게 된다.

본 개발품은 수증기를 이용하는 보일러에 적용되는 것이 바람직하며 이는 본체(1)의 상부면에 증기출구부(1a)를 형성하고, 증기출구부(1a) 내부에 물을 분사, 분무하는 물분사기(8)를 설치하고, 물분사기(8)와 본체(1)의 하측을 연결하는 파이프(9) 상에 펌프(10)를 설치하여 본체(1) 내의 물을 증기출구부(1a)로 분사, 분무하는 것을 포함한다.

즉 물분사기(8)는 수소와 산소가 결합 연소되면 고온, 고압의 수증기가 발생되는 바, 본체(1) 내의 물속에서 미처 액화되지 않은 수증기가 증기출구부(1a)로 유출될 때 절대 습도가 낮아지고 수증기의 온도가 매우 높을 수 있으므로 이를 조정하기 위하여 이차적으로 수증기 내에 수분을 공급함과 더불어 이를 냉각하는 것이다. 따라서 본 개발품은 종래와 상이하게 연소가스를 외부로 유출하는 연통이 불필요하게 되고, 온수열교환기(11)를 본체(1) 내의 물속에 내장하여 외부에서 유입되는 냉수를 가열하여 온수 또는 난방수를 이용할 수 있고, 본체(1) 내의 물의 수위를 감지하여 보충수를 공급하는 구성, 본체(1) 내의 물의 온도 또는 압력을 감지하여 수소와 산소의 공급을 차단하는 구성, 그 밖의 제어장치 등은 종래와 같이 설치된다. 보일러는 다음과 같이 작동한다.

착화기에 전기를 공급하여 가스분사기(3)의 선단부에 전기불꽃을 발생시킨 뒤, 수소와 산소를 가스분사기(3)로 분사하면 수소와 산소가 연소통(2) 내부에 연소하여 고온, 고압의 수증기가 발생되어 연소통(2) 내의 압력이 상승하면서 체크밸브(7)가 닫히게 된다. 이 때 연소통(2)이 가열되면서 일차적으로 본체(1) 내의 물을 가열하게 된다. 그리고 연소통(2) 내의 압력이 상승하면서 고온, 고압의 수증기가 폭기관(5)을 통하여 분출되어 본체(1) 내의 물을 폭기하게 되며, 이에 따라 고온, 고압의 수증기가 이차적으로 물을 가열하면서 액화된다. 여기서 고온의 수증기가 물과 직접적으로 열교환하기 때문에, 대부분의 폭기 수증기는 폭기되는 과정에서 액화되며, 본체(1) 내의 물은 폭기되는 수증기로 인하여 신속하게 교반되어 전체적으로 일정한 온도로 신속하게 가열된다.

본체(1) 내에서 신속하게 가열된 물은 기화되어 본체(1) 내부에서 고온의 물과 고압의 수증기 상태로 내장되는 바, 온수열교환기를 통하여 온수 또는 난방수로 이용되고 고온, 고압의

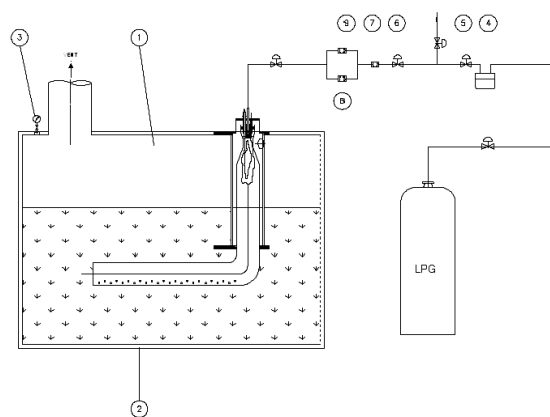
수증기를 그대로 이용할 수 있는 것이다. 한편 본체(1) 내부의 물의 온도 또는 압력이 기준치 이상이 되면 수소와 산소의 공급을 중단하게 되면 연소통(2) 내부의 온도가 떨어지면서 이곳의 압력이 저하된다. 이 때 체크밸브(7)가 개방되면서 본체(1) 내의 수면 위쪽 압력과 연소통(2) 내부의 압력이 동일하게 되어 폭기관(5)을 통하여 물이 역류되지 않게 되어 연소통(2) 내부에 일부의 수증기 또는 액화된 물 만이 발생되어 수소와 산소를 다시 연소할 수 있는 상태가 되는 것이다.

2.2 액중 연소기술

액중연소의 최대 장점은 높은 열효율에 있다. 현재 액중연소 기술은 프랑스, 미국, 일본 등에서 개발되어 제조 산업분야 농, 축산업분야, 수영장 등을 비롯한 각종 온수가열분야 및 폐액처리 공정 등에 실용화시킴으로서 가장 효율적인 에너지 절약형 신 연소기술로 확대해 가고 있다. 액중연소기술은 고도의 복합적인 기술을 요하는 신 연소기술로 선진각국에서는 특히로 자국 기술을 보호함은 물론 기술 향상을 위한 연구가 활발히 추진되고 있다.

액중연소는 액면상에 위치한 연소실에서 고부하 연소를 행하고 연소가 완료된 고온의 연소가스를 액체중에 미세한 기포로 분산시켜 가열하는 방식으로 연소가스와 액체간에 열교환뿐 아니라 물질교환이 동시에 일어나기 때문에 액중연소법을 이용한 액체가열의 특성을 연구하기 위해서는 이에 대한 고찰이 필수적이다[2,3]. 실제적으로 액중 연소장치는 기체-액체간의 교환(열, 물질)을 증대시키기 위하여 가스분출은 미세한 기포를 발생시키는 구조로 설계되며 기체가 액체중에 체류하는 시간을 증가시키는 방법으로 고안된다 Breslin and Roethel(1995).

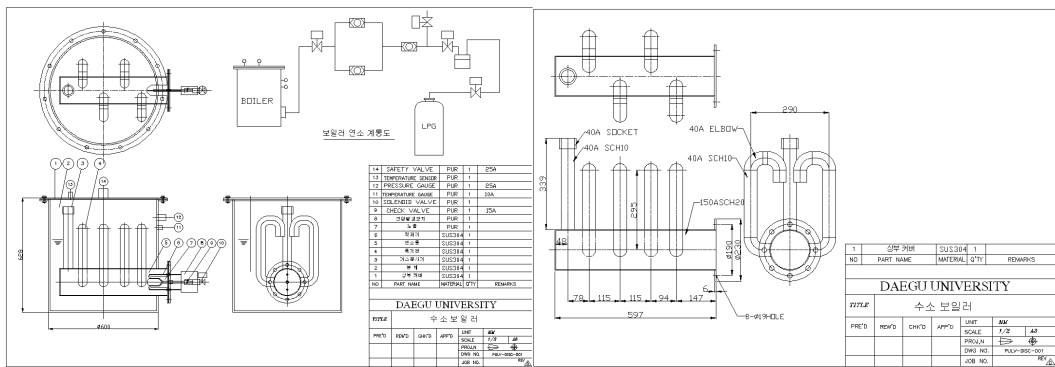
<그림 4>는 액중연소와 제어장치 구상을 위해 참고한 자료이다 윤행기(1998), 윤행기(1992). 액중연소 제어장치는 가스량 및 가스압 제어장치, 공기량 및 공기압 제어장치, 안전제어장치, 주 제어장치 등으로 구성되었다. 액중연소기의 설계치 결정 및 성능실험에 사용한 연료는 LPG(액화천연가스: C₃H₈ 99%이상)이다.



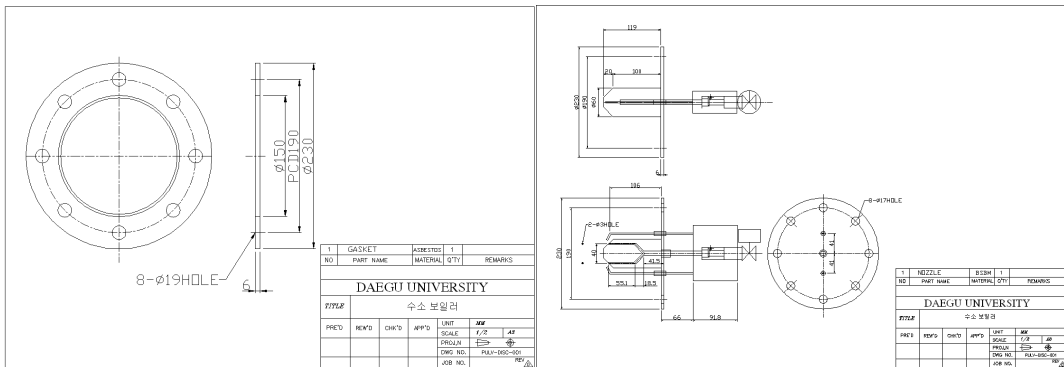
<그림 4> 액중 연소 보일러 시험장치

3. 설계개선 및 시제품제작

시제품 제작을 위한 세부설계는 본체를 비롯한 폭기관, 연소통과 착화기, 압력보상 파이프, 가스분사기의 구조 및 형태에 대한 설계개선을 행하였다. 본 보일러는 액중 연소기술을 적용하기 때문에 연소 시작 후 운전을 정지하였을 경우 내부의 물이 역류되는 것을 방지하기 위하여 역류방지장치를 고안하였다. <그림 5>는 보일러 전체도와 상부커버의 설계도이며, <그림 6>은 가스켓과 노즐의 설계도이다.



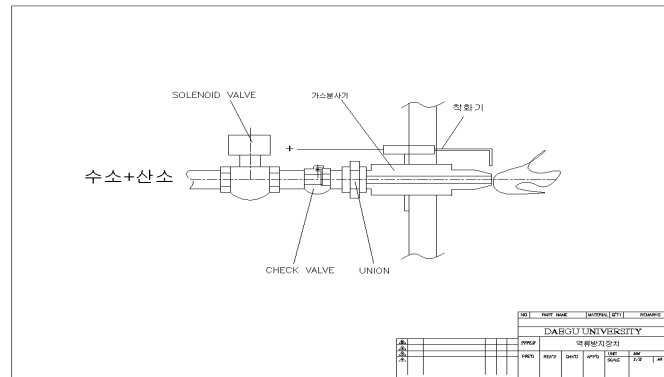
<그림 5> 보일러 전체도와 상부커버



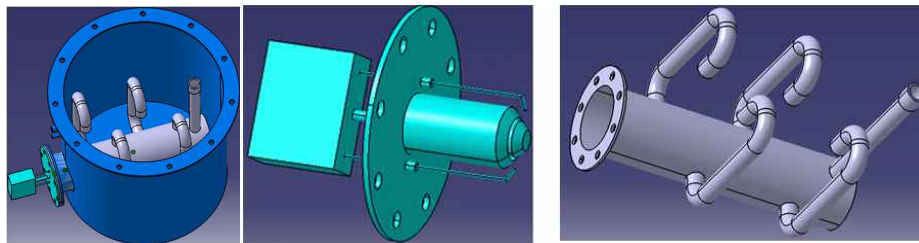
<그림 6> 가스켓과 노즐

착화기는 본체의 외부에서 삽입됨과 더불어 연소통의 내부와 통하여 가스 분사기의 선단부에 전기불꽃을 방사하는 장치이다.

연료 공급 시 착화기에 의해 점화되고, 연소를 시작하면 물이 발생된다. 이 때 운전을 정지하게 되면 내부에 있는 물이 역류될 우려가 있으므로 <그림 7>과 같이 체크 밸브를 설치하여 역류를 방지하고 재점화 시에는 착화기에 의해 점화 되어 연소가 되는 구조로 설계되어 있다. 즉, 가스분사기가 on 또는 off 상태에서 물이 역류되거나 누수가 되지 않도록 하는 장치이다. <그림 8>은 CATIA에 의한 3D 모델링을 보여준다.



<그림 7> 역류방지장치



<그림 8> 3D 모델링

4. 시제품 성능시험

보일러 성능시험은 에너지관리공단에서 발행된 KEMCO CODE (보일러 및 압력용기 기술 규격)에 따라 행하였다. 성능시험으로는 (1)사용성능 (2)품질성능 (3)과부하 성능에 대한 시험이 이루어졌다.

4.1. 성능시험

4.1.1. 사용성능

사용성능의 적합성에 대하여는 아래의 4 가지 사항에 대하여 예상고객을 대상으로 분석 검토 하였다.

- (1) 보일러의 점화 및 조작의 용이성에 대하여 검토하였으며, 사용 편의성에 대하여 예상 고객들과의 확인 결과 이상이 없는 것으로 판단되었음.
- (2) 정상적인 조작 중에 용이하게 변형하거나 손잡이 핸들 등이 작동에 이상이 없음.
- (3) 작동이 원활, 확실하고 사용상 해로운 결함이 발견되지 않음
- (4) 만약의 이상 연소의 경우에도 신속하고 확실하게 보일러의 소화조작이 가능한 것으로 판명됨.

4.1.2. 품질성능

KSB-1600의 시험방법에 따라 시험하여 아래 성능의 적합성을 검증하였다.

- (1) 내압 - 변형 및 누설이 없음. 시험방법 KSB-1610
- (2) 연료 누설 - 누설이 없음. 시험방법 KSB-1620
- (3) 효율 - 20,000 kcal/h, 1시간 시험, 직화식이라 96%의 높은 효율을 보임.
- (4) 배기가스 온도 - 주위 온도와의 차 300 K 이하를 유지함. 시험방법 KSB-1630
- (5) 연소배기가스 - CO 200ppm 이하, O₂ 5% 이하, 시험방법 KSB-1630
- (6) 연소상태 및 사용성능 - 연소 중 화염이 커지든가 연료누설 파손 등의 이상이 없음.
KSB-1510의 규정에 적합함. 시험방법 KSB-1640
- (7) 각 부분의 온도 - 시험방법 KSB-1650
 - 가스 : 측정온도와 주위 온도와의 차가 25 K 이하
 - 밸브 등 손이 닿는 부분의 표면 온도: 측정온도와 주위 온도와의 차가 25 K 이하
 - 손이 닿을 염려가 있는 부분의 표면 온도: 333 K
- (8) 온도 조절 - 보일러 본체 출구 탕온이 온도조절기 설정치에 대하여 $\pm 10K$ 를 유지함.
시험방법 KSB-1680
- (9) 절연저항 - 1 M Ω 이상을 보임. 시험방법 KSB-1660
- (10) 내전압 - 시험전압에 1분간 견디어 냄. 시험방법 KSB-1660
- (11) 안전장치 작동 - KSB-1311의 (3), (4), (5), (6) 및 (7)의 규정에 적합. 시험방법 KSB-1690

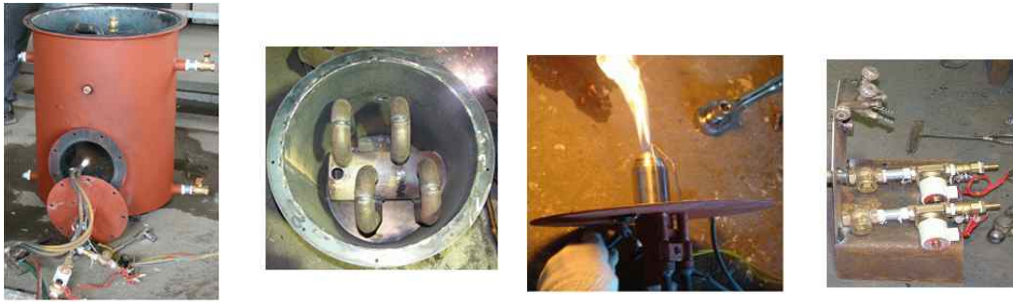
4.1.3. 과부하성능

연료소비량의 10% 더 많이 연소시켰을 때에도 KSB-1510 및 KSB-1520의 각 항목에 적합한 것이어야 하나 본 보일러는 수소연료 대신 프로판 가스를 사용하기 때문에 과부하 성능 시험은 안전성 문제로 전기적 시험만 행하였다.

- (1) 절연저항시험- 500 V 절연저항계로 충전부와 비충전 금속부의 절연사항을 측정하였으며 그 결과는 정상수치를 나타내었다.
- (2) 내전압시험 - 절연저항 시험 후 600 Hz의 정현파에 가까운 1,500 V 전압을 충전부와 비충전 금속부와의 사이에 가하여, 이에 1분간 견디는가의 여부를 조사하였으며 정상으로 판명되었다.
- (3) 안전장치의 작동시험
 - 방출관이 소정의 압력에서 확실하게 작동하였다.
 - 온도조절기를 쇼트하여 운전하였을 때, 소정의 온도식 안전장치가 확실하게 작동하여 KSB-1311 (5)항의 규정에 적합하였다.
 - 보일러에 물을 넣지 않고 운전하였을 때, 확실하게 버너가 시동불능이 되었으며, 따라서 위험이 생길 우려가 없는 것으로 판명되었다.
 - 온도조절기를 최고 눈금에 설정하여 보일러를 충분한 시간 운전한 다음 전원을 차단

시킨 수 다시 연결하였을 때, 정전시간의 장단에 불공사고 위험이 생길 우려가 없는가를 확인한 결과 정상으로 판명되었다.

<그림 9>는 압력보상파이프와 노즐분사시험을 보여준다.



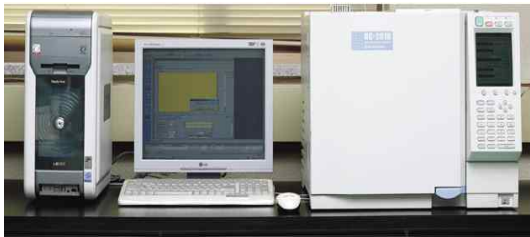
<그림 9> 압력보상파이프와 노즐분사시험

4.2 불완전 연소가스의 안전성 및 성분분석

액중 연소에 의해 보일러 연소 시스템에서 스팀과 함께 배출되는 탄소상 미립자는 대기 오염물질로서 인체에 해롭다. 탄소상미립자는 연소에서 분사된 후 열전달 및 혼합으로 인해 고온이 된 다음, C_2H_2 , C_2H_4 등의 불포화 저급 탄화수소로 열 분해되고, 이들이 서로 중합(polymerization), 축합(condensation) 등을 반복하여 다환방향족 탄화수소로 됨과 동시에 탈수소화가 진행되어 고분자화한 단위 직경 수십 nm의 매연 미립자이다 배명환(2001).

본체 내에서 액중연소 시켰을 때 불완전 연소에 의해 본체 및 스팀에 함유될 탄소상 미립자로 추정되는 배출가스의 성분분석을 위해 대구대 중앙기기원에 있는 GAS Chromatography에 의한 성분 분석을 행하였다. 본 개발품에 있어서 배출가스의 성분분석이 특별히 중요한 이유는 본 액중 연소에 대한 개념설계가 난방 뿐 아니라 스팀을 활용하는 제품에 적용할 경우(세탁소 등) 적은 탄소상미립자(매연)도 인체에 해로울 수 있기 때문이다. 이 경우 설계를 변경하여야 할 것으로 사료된다. 배출가스분석은 TCD(Thermal Conductivity Detector)에 의해 행하여졌다.

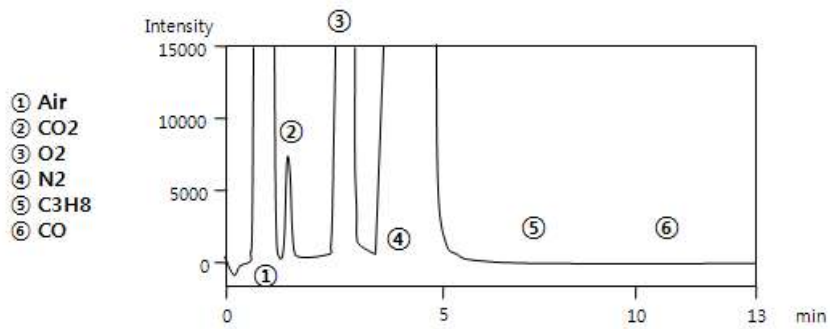
<그림 10>의 가스 색층(色層)분석기(Gas Chromatography)에 의한 분석결과는 <그림 11>과 같다. 사용된 Column은 CTRI(Alltech Assoc.)이다. 분석 결과로부터 사용가스인 프로판(C_3H_8)이 100% 연소된 것을 알 수 있으며 연소 후 CO나 NOX 가 발생되지 않음을 알 수 있다.



모델 및 기기명	GC2010, Gas Chromatography(FPD, FID)
주요규격	▷Column oven: 0.0~450°C ▷Set range -250~250°C ▷Detector : TCD(Thermal Conductivity Detector) ▷Injector : Up to 350°C, step 1°C
주기능	열적으로 안정된 액체, 기체 시료를 기화시켜 Column을 통해 성분별로 분리하여 정성, 정량분석
응용분야	유기물의 환경시료, 농약 등 유기화합물, 석유류제품, PCB 등의 정량, 정성분석

<그림 10> GAS Chromatography

Analysis Date & Time : 2009-04-16 오후 7:54:04
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : 프로판 연소 가스
 Sample ID : Syringe로 5cc 주입
 Sample Type : Standard
 Injection Volume :
 ISTD Amount :
 Data Name : C:\GCsolution\Data\샘플측정\090416 프로판 연소 가스\자동차과 시료 측정 Syringe 5cc
 Method Name : C:\GCsolution\Data\CTR 1 start.gcm
 [Description]
 Column Temperature : 63°C
 L.Carrier Gas Total Flow : 32 mL/min
 R.Carrier Gas Total Flow : 25 mL/min
 [DIN1] Temperature : 120°C
 [DTCD1] Temperature : 200°C
 Temperature(pre) : 200°C
 Current : 130 mA



Peak#	Ret.Time	Area	Area%	Height	Mark ID#	Cmpd Name
1	0.677	5884989	24.862	735832		Air
2	1.204	53947	0.228	6343		CO2
3	2.335	3641934	15.386	214776		O2
4	3.355	14089298	59.523	343382		N2
Total		23670168	100.000	1300333		

<그림 11> GC 분석 sheet

5. 결 론

본 제품의 개발을 통하여 제품설계 및 개발프로세스에 대하여 표준화 기술을 확보함으로써 부품을 서로 바꿔 끼울 수 있도록 치수상의 호환성을 고려한 설계 기술을 개발하여 표준을 반복 적용함으로써 경제적 생산체제 및 A/S 체제를 갖추게 되었다. 해외 바이어들에게 자료 제공 시 객관성이 있는 표준화 자료를 확보하게 되었으며, 표준화를 통하여 품질관리가 용이하게 하고 소비자에게는 균일한 제품을 생산하여 품질 및 가격경쟁력을 갖게 되었다.

본 연구개발의 결과 기술적 측면에서는 수소에너지를 이용하는 기술개발을 촉진하게 되었고, 보일러의 열효율을 기존 84%에서 97%로 향상시킬 수 있었다. 이밖에 무공해, 무소음의 친환경적 기술확보하게 되었으며, 중소기업에서 자체 설계 및 제품개발 기술을 확보하게 되었다.

경제·산업적 측면에서는 에너지 비용을 절감하고, 부품표준화에 의한 균일한 제품생산 및 A/S체제를 구축하게 되었으며 이는 결국 해외시장 수출경쟁력 확보에 큰 도움이 된다고 할 수 있다. 연구결과의 향 후 활용방안으로는 기존보일러 대체상품으로 산업체, 가정, 농가 등에서 다용도로 활용할 수 있고, 해외시장의 수출 다변화가 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] Vincent T. Breslin and Frank J. Roethel(1995), "Long-term diffusion of elements from municipal solid waste combustor ash blocks in the marine environment", Estuarine, coastal and shelf science, vol. 3, pp.249-263.
- [2] Combustor and Water Film Formation Device for the SAME(2001), 일본공개특허/ Noritz CORP/JP-0325502.
- [3] Submerged combustion process and apparatus for removing volatile contaminants from groundwater or subsurface soil(1996), 미국등록특허/Aerochem Research Laboratories, Inc./US-0681006.
- [4] 배명환(2001), "고온 고압 정적 연소기내 난류 프로판 예혼합 화염의 매연생성에 관한 연구", 한국자동차공학회논문집, 제9권, 제4호, pp.1-9.
- [5] 윤형기(1998), "액중연소기술을 이용한 시설원에 난방에 관한 연구, 공기조화 냉동공학회 논문집, pp.946-951.
- [6] 윤형기(1992), "고온 열전달매체액중연소기술개발", KE-92005S, 한국에너지기술연구소보고서.