

에너지 절약형 가정용 축매연소 보일러 기술

SYSTEM

고온연소축매버너를 이용한 소형 가정용 보일러의 기술개발을 수행하였다.
본 기술개발의 보일러 시스템은 귀금속이 담지된 세라믹 하니컴형 버너와 상용화된 버너의
가스노즐을 사용한 예혼합식실로 구성되어 있다.
고열부하량에서도 축매연소버너는 공해물질을 배출하지 않으며,
근접가열로 인한 에너지절약효과 있다. <편집자 주>

지난호에 이어서...

3-2. 국내외 기술개발현황

앞서 언급했듯이 연소할 때 필연적으로 발생되는 질소산화물과 일산화탄소의 저감을 위하여 세계적으로 많은 기술개발을 수행하고 있다. 예혼합 및 희박연소 등을 통하여 질소산화물 약 100ppm과 일산화탄소 1,000~2,000ppm에서 질소산화물 50ppm, 일산화탄소 25ppm까지 저감하였으나, 앞으로의 엄격한 환경 배출 규제치에는 상당한 괴리가 있는 수치이다.

이들의 규제치를 만족시키기 위해 세라믹 연소의 도입은 질소산화물 20~30ppm, 일산화탄소를 15~20ppm까지 상당히 저감시켰지만, (Fig. 6-7) 축매연소의 특징인 균일 연소와 낮은 연소에 의

한 질소산화물 및 일산화탄소 1~2ppm 수준 생성에 비하면 미미한 것으로 축매연소는 차세대 환경 친화적인 연소기술의 하나로 각광을 받을 것으로 보여진다. 이와 같은 좋은 특징을 지니고 있지만 특히 고온연소기인 보일러에 활용되는 좋은 촉매제를 아직 만족할만한 수준으로 만들지 못하고 있어 고온 축매 연소기 활용의 돌파구를 열지 못하고 있는 실정이나, 가정용 축매 보일러 개발에 대해 가시적인 결과를 내고 있는 대표적인 몇몇 회사를 중심으로 기술개발 현황에 대하여 기술하고자 한다.

□ Gastec의 기술개발

Fig. 8에서 축매 보일러① (catalytically

stabilised boiler)를 나타냈다. 가스와 공기가 미리 혼합하여 하니컴 (honeycomb)상에 분배되어 하니컴의 아래 부분에서 혼합가스가 점화된다.

하니컴의 아래 부분에 담지된 촉매는 radiant 버너로서 운전된다. 화염에 의해 가열된 촉매는 약 50% 메탄을 전환하는 역할을 하며, 더욱 희박해진 화염으로 라디칼 농도가 감소되고 질소산화물 배출도 감소한다.

따라서 촉매로 담지된 하니컴의 길이와 셀의 반경은 메탄 전환율에 매우 중요 인자이다. 이러한 것은 촉매가 매우 활성적일 때 일산화탄소의 배출은 증가하는 반면, 촉매가 비활성적일 때 질소산화물의 감소는 매우 낮게 나타나는 현상을 보였다.

또한 Fig. 9에는 보일러의 용량에 따른 일산화탄소와 질소산화물 배출량의 함수로 나타냈는데, 20W/cm 용량에서 일산화탄소가 약 10ppm 감지되었을 뿐 그 밖의 용량에서는 나타나지 않았으며, 이는 매우 높은 전환율에 의한 것으로 보여진다. 이외에도 A/F 비율의 함수에 따른 일산화탄소와 질소산화물 배출량 실험결과에서 높은 A/F 비율에서도 낮은 일산화탄소를 배출하게 되었고,

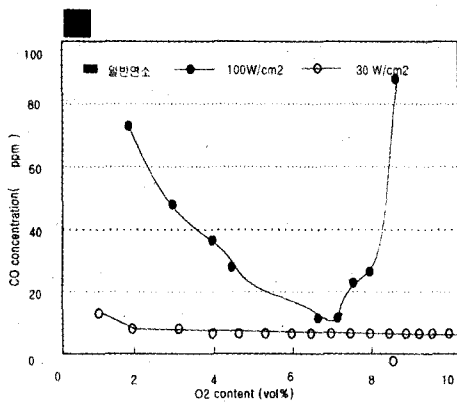


Fig. 6. NOx emission of ceramic foam burner.

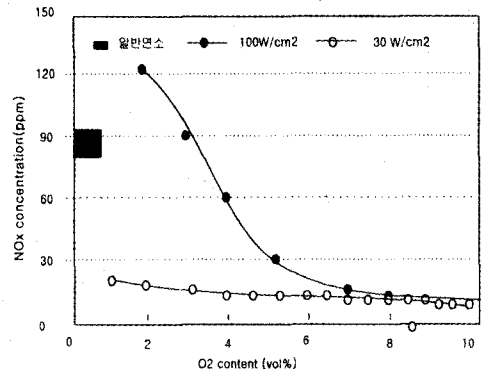


Fig. 7. CO emission of ceramic foam burner.

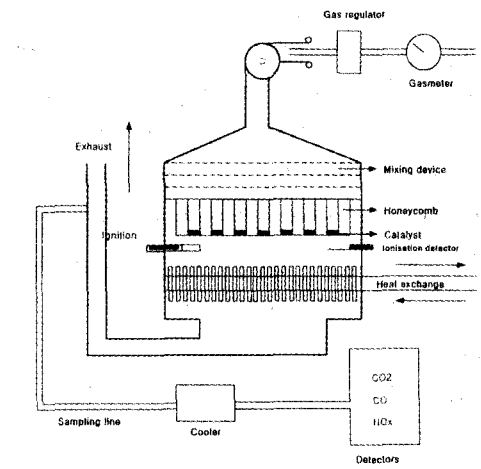


Fig. 8. The catalytically supported boiler

질소산화물도 매우 낮은 5ppm 수준으로 나타났 다.

Fig. 10 에 촉매보일러② (catalytically supported boiler)를 개략적으로 나타냈다. 미리 혼합된 가스는 첫 번째 열교환기에서 분배되어 첫 번째와 두 번째 모노리스 사이에서 착화된다.

첫 번째 하니컴은 기존의 radiation burner로서

가동되며, 두 번째 하니컴에서 온도가 상승하게 하는 시스템으로 구성되었다.

즉 화염측 첫 번째 하니컴에서 촉매는 메탄을 전환되도록 가동되어 하니컴을 더욱 가열하여 촉매 반응영역이 하니컴의 입구측으로 이동되고 동시에 첫 번째 하니컴의 전환율은 증가한다. 얼마 후 화염에 도달한 메탄의 농도가 너무 낮아 화염

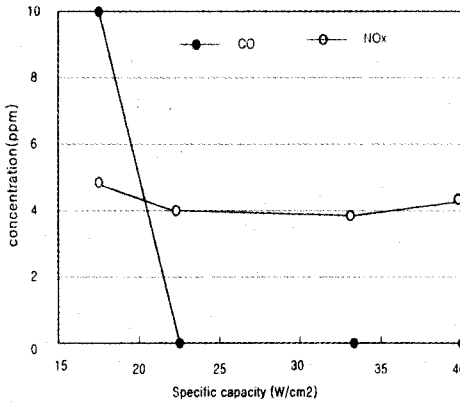


Fig. 9. The characteristics of catalytically stabilised boiler with variation of capacity

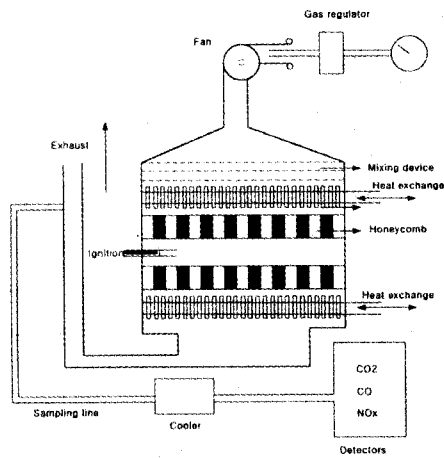


Fig. 10. The Catalytic boiler of Gastec(Netherlands).

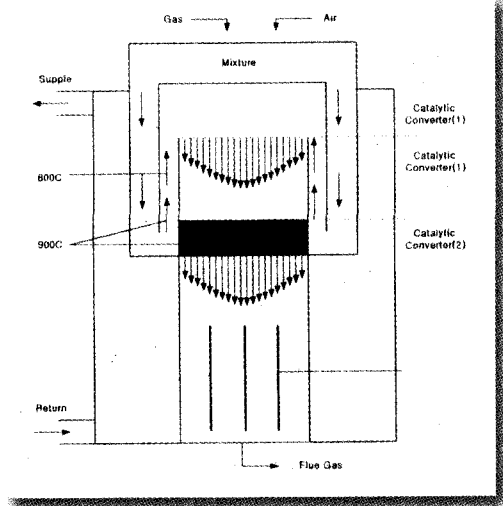


Fig. 11. Two catalyst system of Buderus Heiztechnik GmbH (Germany)

을 유지할 수 없어서 두 번째 하니컴에서는 첫 번째 하니컴에 의해서 전환되지 않은 메탄을 전환시킨다. 정체 상(phase)시 메탄의 대부분은 첫 번째 하니컴의 상부에서 전환되며, 발생된 열은 제1 열교환기로 방열되고 두 번째 하니컴은 첫 번째 하니컴에서의 메탄 slip을 완전히 전환시킨다. 정체 운전시 배출가스가 없으며, 일산화탄소 및 질소산화물이 모든 조건에서 0ppm이다. 단지 낮은 용량에서 반응으로 생성도니 열은 운전온도에서 온도를 유지하기에는 충분치 않았다.

□ Buderus Heiztechnik GmbH의 기술개발

1 단의 촉매시스템은 촉매 전환기(converter)에서의 고온 스폿(spot) 현상 및 불완전 연소의 문제점을 보이고 있기 때문에 Fig. 11과 같이 2단의 촉매전환 시스템을 구성하였다. 즉 첫 번째 단에서는 열교환기를 위해서 좁은 틈을 지닌 코팅 시틸 튜브를 사용하였으며, 두 번째 단에서는 세라믹이나 하니컴 substrate로 이루어졌다.

이 곳에 미리 혼합된 가스와 공기를 상부로부터 시스템에 공급되면 혼합 가스는 점화원 내에 냉각되어 활성표면을 따라 흐르면서 점화가 이루어진다. 순간적으로 첫 번째의 촉매전환기는 내부로부터 가열되고, 배출 가스는 두 번째 단을 가열하게 되는 시스템으로 구성되었다. 즉 350°C 이상의 온도로부터 가스와 공기의 전환은 첫 번째 단에서 시작되며, 얻은 열은 주변 냉각수에 제공 될 것이다.

아래 방향의 점화원의 화염은 자동적으로 꺼지며, 80% 이상의 전환율에 이른다. 두 번째 단에서 남은 가스의 완전전환이 이루어진다. 두 단의 촉매는 알루미늄에 백금을 입힌 것으로서 $i = 1$ 부근에서 공정을 운전할 능력을 지니고 있다. 그럼에도 불구하고 완전연소는 촉매장치에서의 긴 반응시간으로 요구되며 5KW 두 개의 모듈로 구성되었다.

이 시스템으로부터 얻은 결과를 표 4에 나타냈다. 질소산화물과 일산화탄소량이 5 ppm이하로 배출되었다. 또한 같은 보일러의 사용난방용량을 갖는데 10KW로 18KW의 일반 가정용 보일러보다 에너지 절감효과가 있음을 알 수 있다.

3.3. 한국가스공사의 기술개발

3.3.1. 보일러 시험

가정용 보일러의 분체버너를 촉매연소버너로 교체하여 시험을 하기 위하여 Rinnai Co의 가정용 16,000kcal/hr의 용량의 가정용 보일러의 버너 프레

Items	Results
Gas air ratio	1.05~1.5
Methane	< 5ppm
CO	< 3ppm
NOx	< 1ppm
Power	10 kW

표 4. Technical information and results of catalytic boiler experiment.

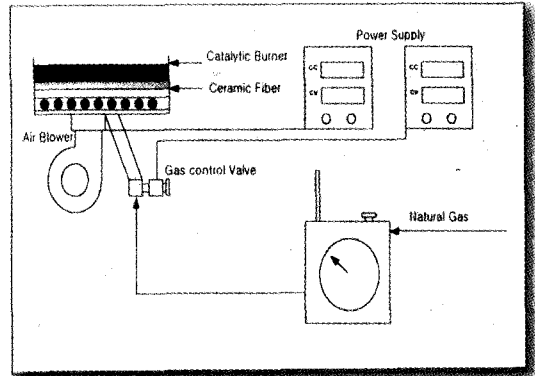


Fig. 12. Apparatus of catalytic boiler burner

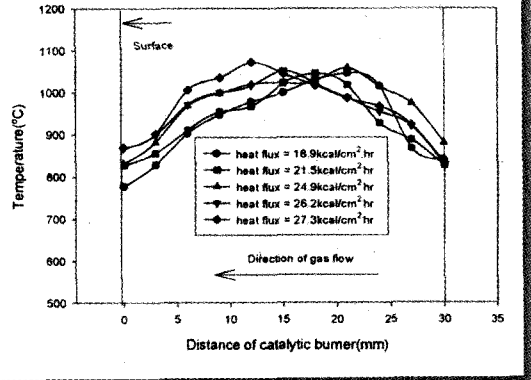


Fig. 13. Temperature distribution thru the depth

임에 세라믹 하니컴형 촉매연소버너를 Fig.12와 같이 설치하여 운전하였다.

사용하는 연료는 실험실 옥내의 천연가스를 가스미터(1l/rev.)에 연결하여 가스분배기의 조절밸브로 유량을 조절하며, 공기는 송풍기로 회전수를 조정하여 공연비를 산정하여 촉매연소버너에 대한 연소 실험을 수행하였다. 연소촉매는 Pd-Ni 이원 촉매로 알루미늄을 담체로 사용하였으며 연소후 배기가스 분석은 Eurotron CoD의 Portable Gas Analyzer를 이용하

여 CO, CO₂, 미반응 탄화수소 및 NOx등을 측정하였다.

Fig.13 은 10cm×10cm, 두께 30mm의 촉매를 장착하여 깊이에 따른 온도분포를 측정한 결과이다. 열부하량을 18.9kcal/cm²·hr에서 27.3kcal/cm²·hr까지 증가시키면서 촉매층내에서의 온도를 측정한 결과이다. 공기는 과잉(약 공연비=1.5)으로 열부하량이 증가하면 촉매층에서의 최고온도는 증가하며, 촉매층 내에서의 온도분포는 열부하량이 증가할수록 온도 최고점이 표면으로 이동하는 것을 고찰할 수 있다.

이는 열부하량이 증가하면서 과잉의 공기유량과 증가된 연료사이의 반응이 촉매의 표면으로 이동하는 것으로 보여지며, 입열량이 과도하게 증가되면 즉 27.3kcal/cm²·hr이상이면 blow-off가 발생하게 된다.

Fig.14 는 열부하량이 27.3kcal/cm²·hr에서의 촉매 버너의 표면온도분포에 대하여 도시한 것이다. 그림의 좌측의 온도는 600±100°C 로 편차가 심한 등온선을 나타내고 있는데 이는 그림의 좌측에서 가스버너의 노즐이 분사가 되며 송풍기와 직접 만나는 지점으로 외부공기에 의한 냉각효과 때문에 온도 분포의 편차가 심한 것으로 보이며 공기와 접촉과 부분도 온도가 내려가 있는 것으로 확인되어 보일러 설계시 보온이 매우 중요한 인자임을 알 수 있다.

그러나 좌측에서 2cm지점부터 10cm이내에서는 850°C의 균일한 온도분포를 갖고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 실험을 바탕으로 해서 5,000kcal/hr의 소형 보일러를 제작하여 보일러 기술개발에 필요한 정보를 갖는 것이 필요하리라 사료된다.

Fig.15 는 연소반응후 배출되는 배가스의 조성을 분석기로 분석한 결과이다. 앞의 외국 사례와 비교하여 매우 안정화된 연소특성을 나타냄을 알 수 있다. 즉, 공연비가 1.5일 때 CO 성분은 21.8kcal

/cm²·hr에서 1.0ppm이며 이상의 입열량에서는 거의 배출되지 않은 것으로 측정되어 촉매연소에 의한 완전연소반응이 이뤄짐을 알 수 있다. 또한 NOx의 경우 배출되지 않은 연소버너로써 환경친화력이 강한 연소임이 증명되었다.

3.3.2 시제품 개발 방향

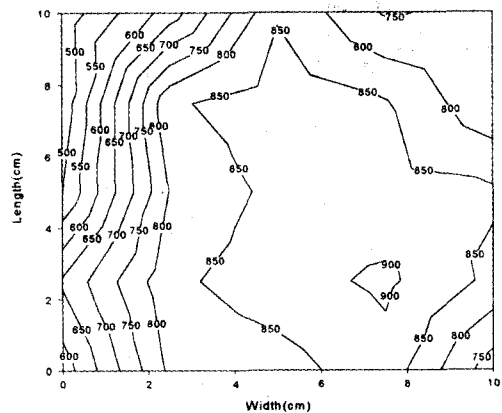


Fig.14. Catalytic burner surface temperature profile

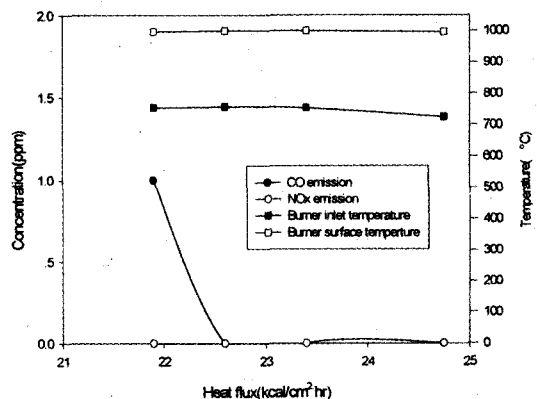


Fig.15. Emission gas analysis

Fig. 16에서 앞의 실험조건과 에너지절약의 개념을 고려한 축매연소방식 보일러의 개념도를 나타냈다. 축매연소방식의 버너는 Metal fiber 버너와 축매연소버너의 개념을 도입한 것으로, Metal fiber 버너의 장점인 고부하 연소와 축매연소방식에 의한 배기가스의 저공해 연소를 동시에 실현할 수 있는 연소방식으로 고안되었다. 연료와 공기의 공급은 예혼합방식을 이용하도록 설계가 되었으며, 노즐 크기와 송풍기의 용량이 중요한 인자이다. 원통형의 열교환기로서 내부는 급탕용 온수 열교환 코일을 설치하고 코일 주위로 난방용 온수가 열교환이 가능하도록 설계되어졌다. 또한 고온의 배기가스를 열교환 할 수 있도록 버너 하부에 콘덴싱 열교환기를 설치하여 난방용 열교환기의 보조 역할을 할 수 있도록 설계하였다. 연료 및 공기 공급 시스템은 보일러로 공급되는 가스 연료는 비례제어가 가능하도록 설계인자를 구성하도록 하며, 예혼합식 방식이 채택되어 있어 원심식 송풍기의 제원을 시스템에 알맞게 결정하여 제작한다.

기타 주요 부품으로써 가스 조절 가버너, 물 저장탱크, 전자제어회로, 비례 제어밸브 등의 설계인자가 고려된 신개념의 보일러로써 소형화 및 경량화를 위하여 설계 제작되어진다.

앞서 언급한 축매연소방식 보일러의 특징을 구현하고 보다 효율적으로 설계하기 위하여 다음과 같은 기술개발이 이루어져야 할 것으로 보여진다.

1) 높은 열효율

기존의 분젠식 버너의 경우 연소실 상부에 열교환기가 설치되어 수증기가 응축되어 낙하하면 화염이 불안정해지는 단점이 있고 배기가스에 포함된 수증기를 응축되지 않도록 고온에서 강제 배기시켜 열효율이 현격히 떨어진다. 따라서 이를 개량화 하여 개발된 콘덴싱 보일러의 경우 버

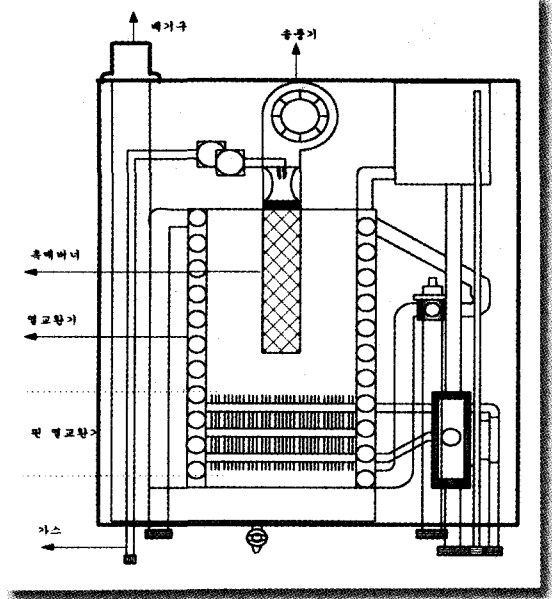


Fig. 16. Schematic of Kogas prototype gas boiler

너를 열교환기 측면에 설치하고 배기측에 콘덴싱 열교환기 설치하여 고온으로 배출되는 현열을 흡수하여 온수로 공급하는 역할을 한다. 축매연소방식의 보일러의 경우 주로 복사열에 의한 축매연소의 장점을 살려 열교환기와 축매연소버너를 밀착시킴으로써 열교환 효율을 극대화시키고, 콘덴싱 보일러와 같이 배기측에 콘덴싱 시스템을 구축하여 저위발열량 기준 100% 이상의 효율 달성되어야 할 것이다.

2) 저공해 보일러

기존의 가정용 보일러는 NOx가 약 100ppm 이하, CO는 1,000~2,000ppm 정도 배출되며, 예혼합 희박연소기술 조차도 NOx가 50ppm 이하, CO는 250ppm 이하로 배출되도록 설계 되어있다. 엄격한 환경 배출규제에 비해 많은 환경오염물질이 배출되고 있는 실정으로 개선이 요구된다. 이에 비해 축매연소방식의 보일러는 NOx이 5ppm 이하, CO는 10ppm 이하로 배출되는 저공해성 보일러

러가 실현되어야 할 것이다.

3) 소형화/경량화 및 고부하 연소

축매연소는 연소실 내에 축매체를 채워서 연소시킴으로 연소 부하량이 낮아짐에 따라 기존 보일러에 비해 보다 큰 연소실이 요구되기 때문에 축매연소 버너의 복사열에 의한 열전달을 효과적으로 설계하고 소형화하여야 할 것으로 보여진다.

더불어 일반 Metal fiber 연소와 축매연소의 Hybrid 연소방식을 채택함으로써 단위 면적당 발열량을 증가시켜 고부하 연소를 가능케 하며, 특히 열교환 면적을 극대화시킴으로써 소형화 및 고부하 연소를 동시에 추구해야 할 것이다.

4)저가(低價) 축매개발

축매연소방식은 고가(高價)의 귀금속(Pd, Pt 등)을 이용하여 축매체로 사용함으로써 일반 버너에 비하여 버너 원가에서 비경제적이다. 이를 위하여 저가의 금속산화물 축매를 개발하여 경쟁력을 확보할 필요가 있다.

앞서 언급한 기술개발이 완전히 이루어질 때 축매 보일러는 고효율/소형화를 실현할 것으로 보여지며, 대기오염 원인의 NOx나 CO 배출을 근원적으로 해결할 것으로 기대된다.

4. 결 언

21세기는 고도 산업 사회라고 하여 환경이 사회문제로 대두될 것이고 환경오염물질의 규제 강도 수위도 매우 높아질 것으로 예측된다.

특히 에너지를 얻기 위한 수단으로 화석연료의 연소로부터 발생되는 질소산화물과 일산화탄소는 필요 불가결한 배출 가스이기도 하다. 이들을 얼마나 효과적으로 처리하느냐가 세계의 경제와 환경을 동시에 살리면서 발전시키느냐를 좌우하는 중요한 열쇠이다.

따라서 이들 변화 흐름의 주목은 계속될 것이고 끊임없는 문제로 남아 있을 것이다. 이러한 문제를 동시에 해결할 수 있는 연소기술로서 축매연소는 일반연소에 비해 적은 환경오염물질을 배출시킴으로 하나의 돌파구로 자리 매김할 것으로 보여진다. 이들을 가능케 한 것은 연료와 공기비가 넓은 범위에서 효과적으로 혼합가스를 연소시킬 수 있으며, 연료질 변동에 따른 민감도가 매우 적으므로 다른 종류의 연료를 연소시킬 수 있으며, 또한 화염 없는 연료 연소는 화염 충돌로 인한 핫 스팟(spot)과 진동이 감소되어 노이즈 수준을 매우 낮출 수 있다는 특징에 있다.

그러나 가정용 활용에 대해 축매연소의 폭넓은 활용의 장애물이 되고 있는 것을 비경제성의 인식, 개발의 여지에 따른 연구비의 투자, 그리고 온도 조절의 문제 등에 의한 인식에 기인된 것으로 가스 보일러의 고온 축매 연소기의 폭넓은 활용을 위한 확실한 돌파구를 찾지 않으면 안되는 실정이다.

그러나 오사카 가스에서의 질소산화물 저감 대책에 대한 구체적인 계획을 살펴보면, '94년 300~500ppm 수준을 기존연소 방식인 예혼합 및 초희박 연소를 통해 1998년 100ppm으로 낮출 수 있으나, 앞으로 계획 목표치인 60ppm 이하는 축매연소방식 이외 달성할 수 없다는 생각으로 단계적인 적용 개발 노력에 심혈을 기울이고 있는 상황이다.

이러한 사실을 통하여 우리에게 시사해 주는 분명한 사실은 연소로부터 발생되는 질소산화물과 일산화탄소를 근원적으로 해결할 수 있는 유일한 길로 기대되며, 한편 축매 연소기는 기존의 생산공정 중에 대부분 사용되고 있는 전기

가열기 또는 LPG용 연소기를 대체함으로써 에너지원 다변화를 통한 균형적인 발전과 에너지 절약을 통하여 세상에 이바지할 것을 확신한다.