

콘덴싱 가스온수보일러의 표준화 연구

※ 본 자료는 한국가스석유기기협회에서 수행한 기술표준원
· 학술연구용역 결과보고서를 요약한 것임.

연구의 목적

우리나라는 대부분의 에너지를 해외에 의존하고 있으며 이는 에너지의 절약이 경제와 직결되는 국내경제구조를 고려할 때 모든 분야에서 효율이 높은 기기의 개발과 보급이 절실하다. 최근 정부는 열사용기기의 고효율화를 정책화하면서 가정용 가스보일러의 고효율화를 적극 유도하고 있다.

콘덴싱 가스온수보일러(이하 콘덴싱보일러)는 배기가스를 응축시킴으로써 발생하는 응축열을 열교환에 이용하여 효율의 극대화를 추구하고 환경면에서도 타 보일러에 비해 저NO_x, 저CO화가 가능하기 때문에 유럽 등의 국가에서는 보급이 점차 확대되고 있다.

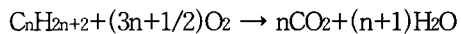
따라서 이번 연구의 목적은 선진 유럽규격에 부합하며 국내기술기준을 반영한 KS규격 제정을

위하여 콘덴싱에 대한 이론적인 고찰과 실험 데이터의 분석을 통해 현재 콘덴싱보일러를 개발하고자 하는 업계에 기술적인 자료를 제공하는데 있다.

콘덴싱 이론

1. 콘덴싱보일러의 원리

응축잠열의 이용이 설명하면 다음과 같다. 가스 중에 포함된 수소는 연소시 산소와 결합되어 물로 변화한다.



일반 가스온수보일러의 경우, 이 수증기는 배기가스 중에 포함되어 외부로 방출된다. 이러한 배기가스가 찬 공기나 찬물이 통과되는 전열면과

만나면 다시 물로 응축되면서 잠열을 방출한다. 그림 1에서와 같이 콘덴싱보일러는 수증기가 포함된 가스보일러 배기가스통로 중에 찬물을 통과시키는 열교환기를 설치하여 열교환기의 전열면에서 수증기가 다시 물로 응축될 때 발생하는 열을 흡수하며 물을 가열하여 높은 효율을 달성하는 것이다.

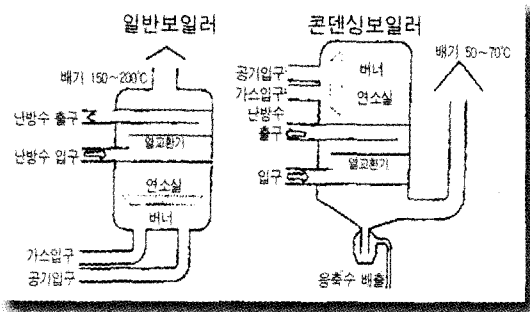


그림 1. 일반보일러와 콘덴싱보일러의 개념

2. 콘덴싱보일러의 특징

콘덴싱보일러는 배기가스의 응축수를 이용하기 때문에 응축수와 접촉되는 부분의 재료를 사용함에 있어서 내식성이 있는 재료를 사용하게 하고 있다. 따라서 외국의 제품을 살펴보면, 열교환기의 재료는 주로 스테인레스이거나 알루미늄을 많이 사용하고 있다. 또한 응축수가 배출되기 위한 구조여야 하며, 전체부하시와 부분부하시 일정이상의 열효율을 가져야 한다. 구조적인 면에서 볼 때, 콘덴싱보일러에는 다음과 같은 특징이 있다.

· 열교환기와 버너

일반 가스온수보일러에서 열교환기는 연소된 열을 급수에 효과적으로 전달하는 흡열핀과 물배관, 연소실등으로 구성되어 있다. 국내 보일러의 일반적인 열교환부는 열교환기의 핀, 물배관, 연소실로 구성되어 있으며, 이들의 재료는 통상적

으로 동(Cu)으로 만들어져 있다.

이런 열교환기에서는 흡열핀의 막힘 때문에 불완전연소가 발생하기도 하고, 응축수가 발생하여 저온부식이 발생하기도 한다. 따라서 안전한 장치의 설계를 위하여 열효율은 대략 80%로 제한되어야 했다.

또한 일반 보일러에서는 열교환기와 버너가 상하로 위치하고 있기 때문에 열교환시 응축된 수증기가 낙하하여 화염이 불안정해지기 때문에 이러한 응축이 발생하지 않도록 고온이 배기가스를 방출할 수밖에 없으며, 배기가스중의 점열을 이용하지 못하게 되어 구조적으로 열효율이 낮을 수밖에 없다. 또한 일반 보일러에 사용되는 분젠 버너의 화염은 부분 예혼합 방식으로 연소특성상 화염의 길이가 길어서 연소실의 높이가 높아질 뿐만 아니라, 고온 연소 생성물들이 화염내 체류시간이 길어져 NOx의 배출량이 많아진다.

콘덴싱보일러의 열교환기는 응축수에 의한 부식을 방지하기 위하여 스테인레스나 알루미늄 재질을 사용하는 것이 일반적이다. 또한 효율 증대를 위하여 전열면적을 키우고 있으며, 열효율을 극대화하기 위한 향류식 열교환 방법을 이용하기도 한다.

버너 불꽃은 응축수에 영향을 받지 않도록 하향, 또는 측향으로 설치한다. 불꽃 방향이 상향이 아니므로 일반적으로 많이 사용하는 분젠식 버너는 사용할 수 없고, 연료와 공기가 연소실에 공급되기 전에 미리 혼합시키는 희박 예혼합연소방식의 버너를 사용하고 있다. 이러한 희박 예혼합 연소방식의 경우, 기타 연소방식에 비해 연소속도가 빨라 반응시간이 단축되고 연소실의 부하를 크게 높일 수 있을 뿐만 아니라, 완전 연소에 가깝게 연소하기 때문에 NOx, CO등의 유해 연소물질의 배출을 억제할 수 있다. 그러나 희박 예혼합 연소방식은 기타 연소에 비해 공기와 연료의 예혼합시의 폭발이나 역화 등의 위험이 따르

기 때문에 정밀한 제어가 필요하다.

예혼합 연소에 있어서 화염 안정성은 주로 연소속도와 혼합기의 유속관계가 해결되어야 한다. 연소속도가 혼합기의 유속보다 빠르면 역화가 되며, 그 반대의 경우에는 화염지지점이 부상하여 화염이 꺼지는 블로우 오프가 발생한다.

최근 연구되고 있는 세라믹 다공물질을 이용한 연소기는 다공성 고체를 통한 열 재순환 기구에 의해 더욱 많은 열을 미연 혼합 기층으로 전달할 수 있고, 결과적으로 상부에 있는 미연 혼합기의 엔탈피 증가를 가져와 보통의 예혼합 화염보다 더 많은 유량을 연소시킬 수 있을 뿐만 아니라 초 희박 혼합기나 저 발열량 연료의 연소를 가능하게 한다.

그러나 다공성 모재의 물성치에 따라 화염의 변화 및 연소상태가 변하며, 내열 충격성과 기계적 강도가 문제가 될 수 있다.

· 응축수

응축잠열을 이용하는 연소기기의 문제점은 잠열회수시 발생한 응축수에 대한 처리이다. 응축수의 pH는 대개 3-4 정도이며, 이는 강산성에 속하기 때문에 보일러 구성 재료의 내구성이나 응축수가 배출되는 건축물에 영향을 줄 수 있다.

· 응축수 포집통

시료 콘덴싱보일러의 배기가스는 보일러내에서 하향 연소된 폐가스가 아래 방향으로 흐르다가 다시 상향 설치된 배기부(통)을 통과하도록 설계되어 있다. 따라서 응축수가 배출하게 된 응축수 통에 물이 채워져 있지 않았다면, 응축수 통을 통과한 배기가스가 응축수 배출구를 통해 유출될 수 있으며, 실제로 실험을 통해서도 배기가스가 유출되었다.

따라서 이러한 구조의 보일러는 사용하기 전에 반드시 물을 채워져 하며, 이때 연소실의 사용최대 압력보단 25mm이상 물이 채워져야 한다. 또한 배기부는 내식성을 고려하여 두꺼운 알루미늄

재료를 사용한다.

· 배기통 설치

일반적인 가스보일러는 배기 가스를 원활하게 배출시키기 위하여 적당한 굴곡과 길이를 가지고 있으며, 또한 배기통 틈은 외부 하향식으로 설치되어 응축수나 빗물 등이 밖으로 배출되는 구조이다. 반면 콘덴싱보일러는 배기가스의 응축열을 이용하는 구조이기 때문에 응축수가 보일러 내부 또는 배기통내에서 발생한다. 보일러 내부 또는 배기통내에서 발생한다. 따라서 배기통의 설치는 외부 상향으로 설치한다.

여기에서 주의할 점은 배기통의 상향설치로 급기구로 빗물이 유입되어 급기통에 빗물이 고여서 급기구 부분적으로 폐쇄시키거나 공기의 흐름을 감소시킬 우려가 있으므로 급기에 영향이 없도록 급기부를 상향으로 설치하여야 한다. 또는 강한 산성수를 배출하는 구조로 되어 있기 때문에 보일러나 배기부의 재료의 선택에 있어서도 충분히 내산성인 재료를 선택하여야 한다.

3. 열효율

· 열수지

보일러에 공급되는 입열량과 출열량 및 보일러에서 발생하는 각종 손실과의 관계를 다음과 같이 식으로 표현할 수 있다.

$$\text{입력} = \text{출력} + \text{배기가스 손실} + \text{잡손실}$$

보일러의 열효율은 배기가스의 열손실에 의해 가장 크게 영향을 받는다. 보일러의 열손실은 방열손실, 불완전 연소에 의한 손실, 배기손실 등으로 구분할 수 있으며, 방열손실보다 배기손실이 크다.

배기가스에 의한 손실을 줄이기 위해서는 배기가스량을 감소시키거나 배기가스의 온도를 저하시킴으로써 해결할 수 있다. 배기 가스량은 연소시 필요한 공기를 적게 공급하는 저과잉 공기에 의한 연소방법을 통해 감소시킬 수 있으며, 배기

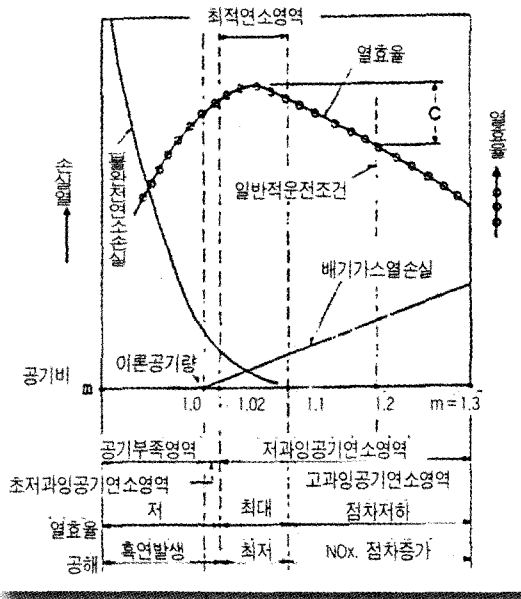


그림 2. 공기비와 열효율 관계

가스 온도는 배기가스의 폐열을 회수함으로써 저하시킬 수가 있다.

· 공기비와 열효율

일반적으로 공기비는 가스보일러의 열관리 측면에서 열효율 향상에 미치는 영향도가 가장 크다고 알려져 있으며, 이에 대한 기술적인 내용을 그림 2에 나타내었다.

이 그림에서 보는 바와 같이 공기비가 1.02이하인 영역에서는 연료의 불완전 연소에 의한 손실이 클 뿐아니라 스모그가 발생하게 되므로 연소에 적합한 영역이 아님을 알 수 있다. 또한 공기비가 1.10이상인 영역에서는 과잉공기에 의한 배기가스의 손실이 증가함과 동시에 과잉산소에 의한 NOx의 오염물질이 증가하게 되므로 이러한 영역도 적합한 영역이라고 볼 수 없다.

반면 공기비가 1.02~1.10정도인 저 과잉공기 연소영역에서는 거의 완전연소가 이루어지고 열효율도 최대가 될 뿐아니라 NOx 등의 오염물질도

적으므로 최적의 연소영역이라 할 수 있다.

보일러의 연소상태를 연소부하의 변동에 대하여 항상 공기비가 1.05인 범위가 되도록 유지시킬 경우에는 가장 적절한 최적의 연소상태가 될 수 있으나, 그림 3에서 보는 바와 같이 연소부하가 40%이하에서는 스모그의 발생범위가 확대되므로 최적의 연소상태를 유지할 수 있는 공기비는 곡선으로 나타난다. 열효율 향상에 적합한 연소가 저과잉 공기에 의한 연소인 것은 잘 알려져 있지만 이에 대한 기술적 매카니즘을 확보하는 것이 커다란 과제라고 할 수 있다.

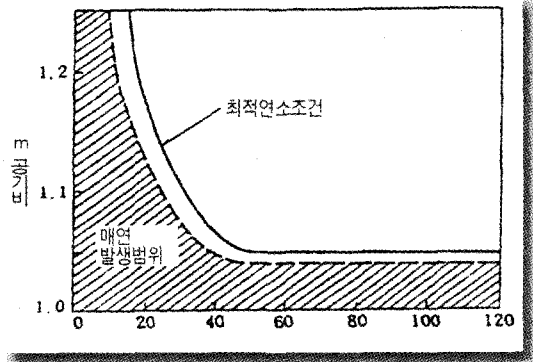


그림 3. 연소부하와 최적 공기비

· 공기비와 이론 배기가스량

연료로서 사용되는 가스의 성분이 확인되면 이론적으로 완전연소에 필요한 공기량을 구할 수 있으며, 이를 이론 공기량이라고 한다. 이론 공기량을 구하는 식 A₀는 다음과 같다.

$$A_0 = \frac{1}{0.21} \left(0.5 \times H_2 + 0.5 \times CO + 2 \times CH_4 + 3.5 \times C_2H_6 + 3 \times C_3H_8 + 5 \times C_4H_{10} + 6.5 \times C_5H_{12} - O_2 \right)$$

단위 : m³N air/m³N fuel gas

예를 들어, 구성성분이 에탄 0.008, 프로판 0.989, 부탄 0.003 인 가스 1m³N에 필요한 이론 공기량은

$$A_0 = \frac{1}{0.21} (3 \times 0.008 + 5 \times 0.989 + 6.5 \times 0.003)$$

= 23.75 m³N air / m³N fuel gas 가 된다.

그러나 실제로는 이론 공기량만으로는 노즐로부터 분출하여 연소하기까지 공기와 가스가 완전히 혼합하지 않기 때문에 미연소 가스성분이 남든가, 불완전한 화학반응을 일으킨다. 따라서 20~60% 정도의 과잉공기가 필요하게 되며, 이러한 과잉공기의 이론공기량에 대한 비를 과잉 공기율이라 하고 일반적으로 %로 표시한다.

그러나 실제로 연소에 사용되는 공기량을 직접 측정하는 것은 쉽지 않다. 따라서 연료의 원소 분석치와 연소가스 분석의 결과로부터 공기비 m 을 산출한다.

$$m = 1 + \frac{(O_2) - 0.5(CO) \times G'}{0.21A_0}$$

G' : 실제 건조 배기 가스량

가스가 연소할 경우, 가연 성분은 CO₂, 수증기가 생성물로 나오며, 연소시 공급되는 공기중의 N₂도 불연성분으로서 연소가스 중에 포함된다.

따라서 연기배기가스의 성분은 아래와 같이 구성된다.

- 연소에 의하여 생성된 이산화탄소와 수증기
- 가스중의 미연소 성분
- 연소중에 제공된 공기중의 질소

그러나 이것은 이론 공기량을 연소하였을 때의 성분으로서, 실제의 연소에서는 과잉공기를 필요로 하기 때문에 과잉공기중의 산소도 포함된다.

이론 급 배기가스량, G₀는

$$G_0 = 1 + A_0 - 0.5(H_2 + CO - C_2H_8 - 3 \times C_4H_{10})$$

따라서 위의 LPG의 배기가스량은

$$G_0 = 1 + 23.75 - 0.5(-2 \times 0.989 - 3 \times 0.003) = 25.74 \text{ 이며,}$$

이론 건 배기가스량 G₀'는

$$G_0 = G_0 - (H_2 + 2 \times CH_4 + 3 \times C_2H_6 + 2 \times C_2H_4 + 4 \times C_3H_8 + 5 \times C_4H_{10}) = 25.74 - (2 \times 0.008 + 4 \times 0.989 + 5 \times 0.003) = 21.7 \text{ m}^3 \text{N air / m}^3 \text{N fuel gas가 된다.}$$

· 배기열 손실을

배기가스온도와 배기가스 중의 CO₂%를 측정함으로써 다음과 같이 배기가스 열손실을 구한다.

$$\epsilon = \frac{[\gamma_1 CP_1 + \gamma_2 (CP_2 + CP_3 (100/CO_2 - 1))](t_s - t_e) + \gamma Lv}{Q} \times 100$$

ε : 배기가스열손실율,

Q : 총발열량 (kcal/Nm³),

γ₁ : 이론 H₂O 생성을

γ₂ : 이론 CO₂ 생성을

CO₂ : 연소배기가스중의 CO₂ 농도

t_e : 연소배기가스의 온도(°C)

t_s : 배기통내의 급기온도(°C)

Lv : H₂O의 증발잠열 (=480kcal/m³N)

CP₁ : H₂O t_e에서 t_s까지의
평균정압비열(kcal/m³°C)

CP₂ : CO₂ t_e에서 t_s까지의
평균정압비열(kcal/m³°C)

CP₃ : N₂ t_e에서 t_s까지의
평균정압비열(kcal/m³°C)

위 식에 요구되는 수치를 표 1, 표 2에 나타내었다. 총효율에서 손실열을 구하면 대략적인 열효율을 파악할 수 있다.

표 1.0~t°C까지의 평균정압비열

t°C	CP ₁	CP ₂	CP ₃	공기의 비열
0	0.354	0.382	0.310	0.311
100	0.358	0.406	0.311	0.312
200	0.362	0.429	0.311	0.315
300	0.367	0.448	0.313	0.315

표 2. 각 가스 종류별 γ_1, γ_2, Q

가스 종류	γ_1	γ_2	Q
CH ₄	2	1	9,520
C ₂ H ₆	4	3	24,320
C ₃ H ₈	5	4	32,010
L3A	2.30	1.30	11,702

실험 및 고찰

· 열효율 성능

1) 환수온도의 영향

콘덴싱 보일러에 대한 유럽규격(EN 677)의 시험방법에서는 효율에 대한 시험을 두가지로 구분하고 있다. 첫째는 유효효율 시험으로서 표시 입열량의 가스 소비량으로 하여 환수 온도는 60±1℃로 유지하고 난방수 출구 온도는 환수온도보다 20±1℃ 높은 온도로 하여 실시한다. 두 번째는 부분부하시의 시험으로서 표시 입열량의 30%(또는 최대 입열량과 최소 입열량을 산술평균한 값의 30%)에 해당하는 가스 소비량으로 하여 환수 온도는 30±0.5℃로 하며 난방수 출구 온도는 환수온도보다 20±2℃ 높은 온도로 하여 실시한다.

이를 일반 가스온수보일러의 KS 규격과 비교하여 요약하면 표 3과 같다.

온수성능에 대한 시험조건은 EN 677에서는 규

정하고 있지 않다. 따라서 온수성능에 대한 시험 데이터는 KS 규격에서 정한 급수와의 온도차(Δt) 25℃ 및 40℃의 온수량에 대해서 급수 온도를 (10, 15, 20℃)로 구분하여 시험하려 했으나, 여름철 급수 조건상 15℃ 및 20℃에 비해서 실험하였다. 환수 온도와 부하(가스소비량)를 변화하면서 시험한 결과를 그래프로 나타내면 그림 4와 같다. 이때의 효율은 총발열량 기준으로서 진발열량으로 환산하면 더 높은 효율값을 나타낼 것이다. 환수온도를 30~60℃ 4등분하여 시험한 결과 보일러의 기중에 관계없이 대체적으로 환수온도가 낮을수록 열효율이 높아짐을 알 수 있다.

가스에 따른 열효율은 LP가스용이 도시가스용에 비해 열효율이 좀 더 높게 나타났다. 이론적으로 계산하면 도시가스에서 효율이 더 높게 나타나야 하나, 실험 데이터의 경우 시료의 특성상 나타날 수 있는 현상으로 추정할 수밖에 없다. 이번 시험이 콘덴싱보일러의 특성, 구조 및 시험방법을 정하는 것이기 때문에 일반적인 현상만을 조사, 분석하였으며, 원인 규명이 필요한 부분은 차후의 연구과제로 남겨두었다. 배기가스의 온도는 환수온도가 낮을 경우, 상대적으로 낮게 측정되었다. 이는 그만큼 열손실이 적은 결과이다.

다음호에 이어서...

표 3. 열효율에 대한 시험방법 비교

	K S	E N
시험가스 조건	P-2, R-2	1) 일반 : 표시입열량 또는 최대입열량등 2) 부분부하 : 표시입열량 또는 최대·최소의 산술 평균치의 30%
환수 및 난방수	난방수 : 75~85℃ 환수 : 난방수보다 15~20℃ 낮게	1) 총부하-난방수(80℃), 환수(60℃) 2) 부분부하-난방수(50℃), 환수(30℃)
성능기준	총발열량기준 1) 표시가스소비량이 11.6kW초과 69.5kW이하 : 75%이상 2) 11.6kW이하, 비례제어 : 72%이상	진발열량기준 1) 91 + log P%이상 2) 97 + log P%이상

(P : 표시입열량)