

# 공명형 소음기에 의한 가스히터 연소소음 저감에 관한 연구

이용원, 고재필, 유현석, 한정옥  
한국가스공사 연구개발원

## A study on the combustion noise reduction of gas heater by helmholtz resonator

Lee Yong-won, Kho Jae-phil, You Hyun-seok, Han Jeong-ok  
R&D Center, Korea Gas Corporation

### 1. 서론

가스히터 운전목적은 고압상태로 LNG인수기지에서 공급되는 가스압력을 발전소 및 도시가스사에 적정압력으로 공급하기위해 정압기로 감압시키는 과정에서 등엔탈피 팽창에 의해 매 1kg/cm<sup>2</sup>의 압력 강하에 대하여 약 0.56℃ 정도의 가스온도가 저하되는데 정압기 하류설비에 대한 저온피해를 방지하기 위하여 정압기 상류측 가스를 예열시키는 것이다.

가스히터에서 발생하는 진동의 경우 설계 허용치 이상 발생할 경우 불가피하게 가스히터가 정격부하 이하로 운전되거나 소음발생의 경우 가스히터 운전시간대가 24시간 계속적으로 운전되는 특성으로 심야 및 새벽시간대에 가스히터의 연소과정에서 발생하는 소음이 문제점으로 나타날 수 있다.

본 연구는 공급관리소에서 사용되고 있는 가스히터에서 발생되고 있는 설계값 이상의 소음 및 진동 문제 발생시 원인분석과 감소방안에 대한 것으로써 가스히터의 연소소음 저감을 위하여 노통연관식 구조인 가스히터와 온수보일러의 소음특성을 분석하고 연소소음 저감을 위한 공명형 소음기 적용에 대한 시험을 시행하였다.

### 2. 가스히터 연소소음

#### 2.1 연소 소음

일반적으로 연소기기에서 발생하는 연소 소음은 연소음(combustion noise)과 연소진동음(combustion-driven oscillation)으로 구분된다. 연소음은 난류연소에 있어서 국소적인 연소량의 급격하게 불규칙한 변동으로 압력변동이 생기기 때문에 발생하며 소음의 특징은 음압이 넓은 주파수대에 걸쳐 비교적 일정하게 분포하며 소음레벨이 낮기 때문에 산업용 버너에서는 크게 문제되지 않는다.

그러나 연소 진동음은 연소과정에서의 열발생량과 연소실내의 압력변동 상호간의 귀환(feedback)작용에 의해 발생하는 것으로 알려져 있으며[1][2]

연소부하가 일정부하 이상의 경우 연소실내 압력진동에 의해 연소기와 관련 구조물의 진동을 유발시켜 피로파괴의 원인이 되며 압력파에 의해 화염에 영향을 주어 정상적인 연소과정이 이루어지지 못하는 원인으로 작용하므로 반드시 억제되어야 할 현상이다[2].

연소진동음의 방지대책으로는 2가지 기본방향이 있으며 실제의 대책으로는 이것들을 조합하여 연소진동을 방지하고 있다.

첫째로 연소실의 고유진동수를 변경시키든지 또는 버너로부터의 열발생속도를 변경시켜 공진발생조건이 되지 않도록 하는 방법이 있으며 두번째 방법으로는 연소실내의 압력변동 증폭을 가능한 작게하고, 진동에 대한 감쇄를 크게 하여 연소진동 발생을 방지하는 방법이 있다.

## 2.2 가스히터 연소소음 특성

공급관리소에서 운전되고 있는 가스히터의 소음특성을 측정하기 위하여 마이크로폰을 Gas Burner 부분과 가스히터 전체 소음의 특성을 측정할 수 있는 위치에 설치하였고 측정결과의 1/3octave 분석결과는 Fig. 1과 같다.

대체적으로 고주파 성분보다 100Hz이하의 저주파 성분에서 크게 나타나며 기본 공명주파수는 약 43Hz부근이며 소음의 주 발생원이 연소진동음에 의한 것으로 판단된다.

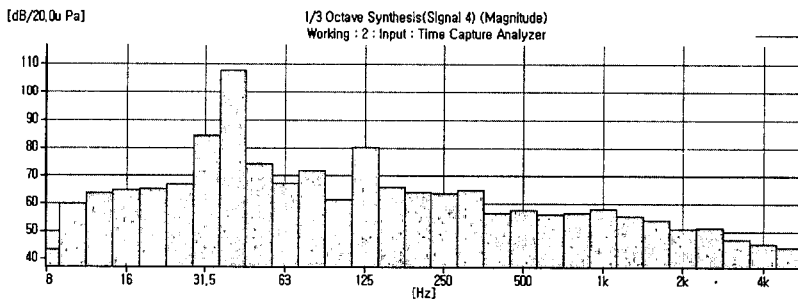


Fig.1 1/3 octave band spectrum of gas heater

연소진동음 발생원인을 연소실과 이코노마이저의 경계면에서 연소실 단면적과 비교하여 이코노마이저 단면적비를 작게 설계한 것이 원인으로 가정하여 연소실내에서 연소가스의 진동에 의해 발생된다고 가정하고 공명진동수를 식(1)과 (2)에 의해 계산하면 공진주파수는 42Hz로써 측정값과 일치하였다.

$$f = nc/2L_f \quad (1)$$

$$c = (\gamma RT)^{1/2} \quad (2)$$

여기서 음속  $c$  계산시 연소실내 평균온도를 600℃로 가정하였다.

### 2.3 노통연관식 보일러 연소소음 특성

가스히터의 소음저감 방안에 대한 시험을 위하여 가스히터와 유사하게 노통연관식 보일러에서 발생하는 소음을 측정하였고 소음특성을 Fig. 2에 주파수 스펙트럼으로 나타내었다.

측정결과 가스히터 소음특성과 유사하게 연소가스의 압력진동에 의한 100Hz이하의 저주파 영역에서 소음 값이 크게 나타났으며 공명 주파수는 65Hz이며 뒤에 따르는 130, 190Hz는 1차 공명주파수의 고조파(harmonic) 성분이다.

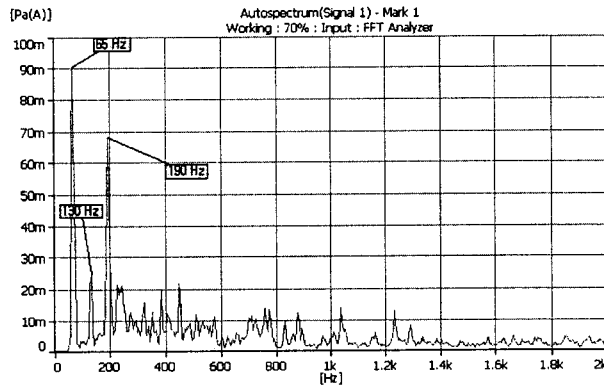


Fig.2 Frequency spectrum of combustion noise in fire and flue tube boiler

## 3. 공명형 소음기

### 3.1 연소진동음의 방지대책

연소진동의 발생 원인은 연소과정에서 연소 화염의 진동수와 연소실의 구조적 고유진동수가 일치하면 큰 진동 및 소음이 발생된다. 따라서 소음 및 진동을 해결 할 수 있는 방법은 두개의 고유진동수가 일치하지 않도록 하는 방법이 가능하며 시도 가능한 방법은 1) 버너에서 연료와 공기량의 비율을 변화 시켜 진동수를 변화 시키는 방법, 2) 연소 통로의 고유진동수를 변화 시키는 방법으로 연소실의 길이나 덕트의 길이를 변경시켜 고유진동수 주파수의 변경, 3) 소음 저감을 위한 소음기를 설치하는 것이다.

연소비를 변화시키거나, 연소통로를 개선하는 방법은 시간과 비용이 커질 가능성이 높으며 현재까지 명확한 연구결과와 해결 방법이 제시되지 않은 단점이 있다. 본 연구에서는 노통연관식 구조를 가진 가스히터에 적합

한 소음기 적용을 검토하였다.

소음기는 반사형(Reflective type), 흡음형(Dissipative type)으로 구분되며 흡음형의 경우 고주파 성분의 소음저감에는 효과가 있으나 저주파 영역에서는 효과가 떨어지며 흡음재의 비산, 배가스중 수분의 흡수에 의한 성능저하 문제가 있다. 따라서 고온의 배기가스의 경우 음파의 반사, 간섭을 이용한 반사형이 적용 가능하고 헬름홀쯔 공명기(Helmholtz Resonator)의 경우 특정 주파수 성분의 소음감소를 위한 설계가 가능하며 구조 또한 복잡하지 않은 장점이 있어 본 연구에서는 가스히터에 적용 가능한 헬름홀쯔 공명기를 설계하여 적용하였다[3].

### 3.2 공명형 소음기 적용

소음기를 부착하기 전, 소음의 주파수 분석은 그림 4에서와 같이 65 Hz에서 공명음이 발생하였고, 연료량에 증가함에 따라서 소음이 커지는 경향성이 있다. 또한 약 70%에서 최대 소음이 발생하고 이 때 공명음 주파수는 65Hz임을 주파수 스펙트럼 분석을 통해서 확인할 수 있다.

Fig. 3은 공명기 형상이며 공명기의 공명주파수는 식(3)과 같다[4].

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL}} \quad (L' = L + 1.75a) \quad (3)$$

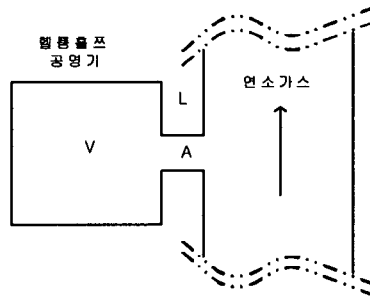


Fig.3 Helmholtz Resonator

식(3)을 사용하여 공명 주파수 65Hz 성분 제거를 위한 소음기를 설계, 제작하여 노통연관식 보일러에 적용하였으며 이때 발생하는 소음 주파수 스펙트럼을 Fig. 4에 나타내었다. 소음기를 적용하기전 소음의 공명주파수인 65Hz와 고주파 성분이 공명형 소음기의 소음 감쇄작용에 의해 사라졌음을 확인할 수 있다.

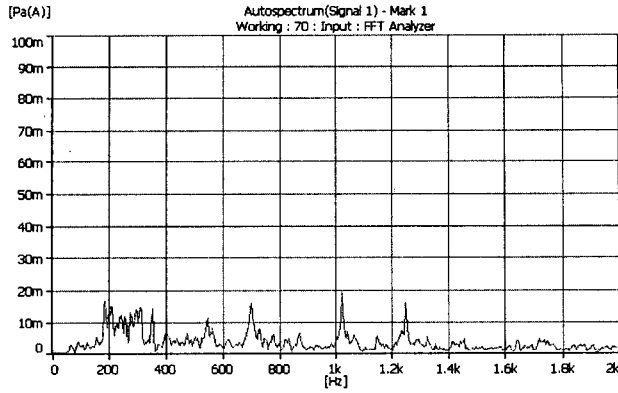


Fig. 4 Frequency spectrum of combustion noise with silencer in fire and flue tube boiler

Fig. 5는 소음기 부착에 따른 소음크기 변화를 비교하기 위하여 연료부하 변동에 따른 소음 크기를 나타낸 그림이다. 소음기를 부착하지 않았을 경우 소음특성은 버너부하가 커짐에 따라 증가되는 경향을 보이며 특이한 점은 버너부하율 70%를 기점으로 소음이 감소되었다. 이것은 버너 부하조절을 위한 공기량 조절용 butterfly valve의 개도 각도에 따른 공기의 와류 발생 강도가 연소 소음에 영향을 미치는 것으로 판단되며 소음기를 부착함에 따라 소음도는 약 12-16dB감소되는 결과가 나타나 공명형 소음기의 소음 감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

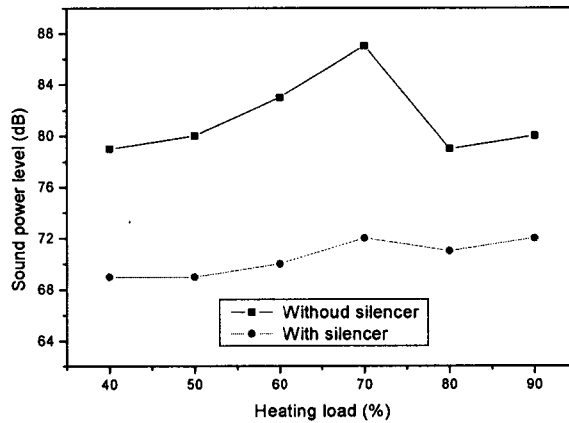


Fig. 5 Comparison of combustion noise level with and without silencer

#### 4. 결론

1. 공급관리소에서 사용하고 있는 가스히터와 노통연관식 보일러에서 발생하는 연소 소음의 주성분은 연소가스의 압력진동에 의한 연소 진동음임을 확인하였다.

2. 연소진동음에 의한 연소 소음 저감을 위하여 공명형 소음기를 노통연관식 보일러에 적용하여 시험한 결과 연소 소음이 12~16dB정도 감소되었고 연소소음의 주파수 분석을 한 결과 연소가스의 압력진동에 의해 발생하는 연소진동음 감소에 효과가 있음을 확인하였다.

#### 5. 참고문헌

1. Rayleigh, Lord "The Theory of Sound, Vol. 2, 227. New York: Dover, 1945
2. Lefebvre A. H., Gas Turbine Combustion, Mc Grow-Hill, New York, 1983.
3. S. Ziada, A. Oengoren and H.H.Vogel, "Acoustic Resonance in the combustion conduits of a steam locomotive", Journal of Fluids and Structures 12, 409-425, 1998
4. Lawrence E. Kinsler, "Fundamentals of Acoustics", John Wiley & Sons, 1982

#### Nomenclature

A : Area of resonator neck ( $m^2$ )

a : Radius of resonator neck (m)

c : Sound velocity (m/s)

f : Resonance frequency(Hz)

L : Length of resonator neck (m)

V : Volume of resonator ( $m^3$ )