

고부하용 퍼지 버너 개발에 관한 연구

이중성, 유현석, 윤영석, 한정옥, 방효선
한국가스공사

A study on the Development of High-Flow-Rate Purge Burner

J. S. Lee, H. S. You, Y. S. Yoon, J. O. Han, H. S. Pang
KOGAS

1. 서론

도시가스사의 신설배관, 압력보완 및 이설보수 작업 등을 위한 목적으로 도시가스 배관 내 잔존하는 중, 저압 가스를 대기로 방출시킬 경우 노즐 분출 소음, 부취제 냄새, 소각에 의한 연소특성 등의 악화로 공해 및 안전 문제의 발생 우려가 있기 때문에 배관 내 가스를 가능한 빠르고 적절하게 퍼지하는 방법이 요구되고 있다.

국내 일부 도시가스회사에서는 현재 사용되고 있는 퍼지방법으로 확산연소방식, 세미분젠방식, 분출소음을 줄이기 위하여 자동차의 머플러를 이용하거나, 활성탄에 의한 부취제 흡착방법을 이용하여 퍼지하고 있다. 그런데 이러한 퍼지방법에는 화염길이가 너무 길어 위험하고, 화염에 의한 복사열이 심해 주위로 인화나 복사열에 의한 피해가 예상되며, 생(生)가스의 대기 방출에 따른 환경오염 문제 등의 퍼지작업에 제한적인 문제점으로 작용하고 있다.

2. 기존 사용 퍼지버너 및 분사형 버너 설계

2.1 기존 사용 퍼지버너

Fig. 1은 국내 도시가스사에서 퍼지용도로 사용되고 있는 버너이다. 버너는 높이가 약 1.0m 이고, 직경이 70mm인 원통관 상부에 직경이 10mm인 30개의 구멍을 가진 버너로 이 버너를 4개씩을 병렬로 만든 퍼지버너이다. 퍼지시 화염을 보면 세미분젠식이라기 보다는 거의 확산연소에 가깝고 버너부 구멍은 공기의 부분 예혼합용 일부 공기의 유인으로 기여하기보다는 화염의 보염성을 좋게 하는 것 이외에는 큰 의미가 없어 보인다.

Fig. 2는 현장에서 퍼지버너를 사용하여 퍼지작업한 사진이다. 사진에서 나타난 것처럼

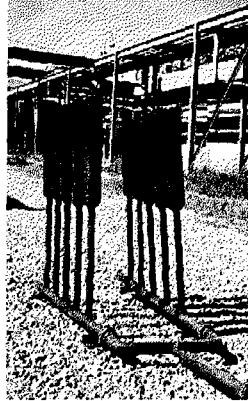
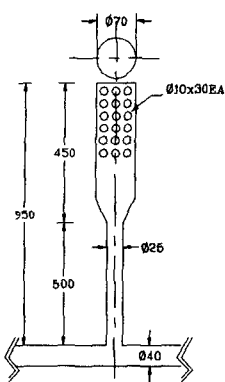


Fig. 1 기존 퍼지버너 구조 및 사진

화염의 길이나 폭 등이 크고, 화염이 확연히 나타나 복사열에 의한 지면 온도 상승 및 퍼지버너 주위로의 접근이 어려웠다. 그리고 주위환경 조건에 따라 퍼지작업에 제한을 받는데 사진에서 처럼 바람에 의해 화염 왜곡으로 주위로의 인화나 소손 등의 위험성이 있다. 긴 화염은 시각적으로도 화재를 연상시켜 민원발생을 야기시키는 등, 퍼지작업의 제한 등의 많은 문제점을 안고 있고, 대부분의 도시가스사의 퍼지 문제는 비

슷한 것으로 생각된다. 현재 사용되고 있는 퍼지버너의 문제점을 정리하면 다음과 같다. 첫째: 화염길이가 길어(3~5m 이상) 전선 및 통신선 소손, 둘째: 화염으로 인한 복사열에 의해 타 시설물의 소손 및 인화의 위험성, 셋째: 작업여건 및 환경에 따른 퍼지작업 제한(바람이 심하게 부는 날), 넷째: 민원에 따른 작업 지연 및 퍼지작업 장소 선택의 어려움 및 환경오염 등이다.

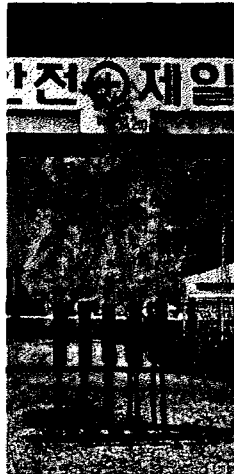


Fig. 2 퍼지작업시 화염사진

2.2 분사형 버너 설계⁽¹⁾⁽²⁾ ⁽³⁾⁽⁴⁾

Fig. 3은 분사형 버너의 구조로 이 버너는 공기의 유입과 가스공기 혼합기의 형성이 가스분출 에너지에 의한 공기의 흡입에 의해 일어난다. 가스공기 혼합기는 일부나 혹은 전부가 버너 자체 내부에서 형성되며, 부분혼합과 완전혼합형 버너로 분류할 수가 있다. 완전 예혼합형 버너로는 연소

가 최소용적으로 완전연소하고, 부분 예혼합형 버너로는 연소에 필요한 공기의 일부만이 1차 공기로 버너내부에 유입되고, 나머지 2차 공기는 외부에서 연소실

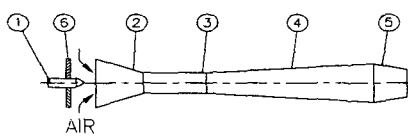


Fig. 3 분사형 버너의 구조

- ① 가스노즐
- ② 분사기
- ③ 원통형목
- ④ 디퓨저
- ⑤ 노즐
- ⑥ 공기조절기

내로 들어온다. 이 경우는 혼합과정이 늦어져 화염이 길어진다. 분사형 버너는 그림과 같이 가스노즐, 혼합부, 버너 노즐 및 1차 공기조절기 등으로 구분할 수가 있다.

분사형 버너를 설계하기 위하여 분사형 버너의 주요 구조치수를 결정할 경우, 중압 분사형 버너는 부하변동 범위가 넓은 영역에서 화학적 불안전연소에 의한 열손실 없이 운전되어야 한다. 따라서 완전연소에 필요한 양의 공기유입이 가능하도록 가스노즐 면적과 혼합기의 출구 단면적의 비율을 결정해야 한다.

버너의 분사능력의 계산은 다음 식을 이용한다.

$$d_b/d_n = \sqrt{(1+A)(1+A\rho_a/\rho_g)} \quad (1)$$

여기서,

- A: 체적분사계수, m^3/m^3
- d_b : 혼합기의 출구 단면직경, mm
- d_n : 연료노즐 직경, mm
- ρ_a : 공기의 밀도, kg/cm^3
- ρ_g : 분사가스의 밀도, kg/cm^3

이다. 이 식의 성립조건은 대개 가스분출압이 $P_g=49kPa$, 연소실내 부압이 없는 경우($s_r=0.0 Pa$)이며, 이와 다른 조건에서는 공기과잉에 대한 보정이 필요하다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

Fig. 4는 실험장치로 도시가스 배관이 없는 버너업체에서는 압력이 $100kg/cm^2$ 로 충전된 각 고압가스통에서 나오는 가스를 헤더를 통하여 사용유량에 적합하도록 하였다.

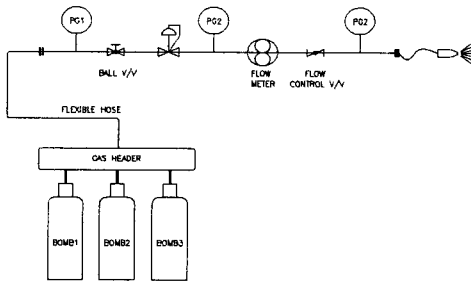


Fig. 4 퍼지버너 실험용 연료공급 및 실험장치

이 헤더를 통해 나오는 가스는 압력을 조절해 줄 수 있는 가스트레인(gas train)으로 통과하면서 압력조절 밸브(governor)에 의해 사용압력에 맞도록 압력계를 보면서 조절($0.5\sim 2.0kg/cm^2$)하였다.

가스의 유량측정은 가스트레인과 버너 사이에 가스유량계(gas flow meter)를 설치하여 유량조절밸브(gas flow control valve)로 조절하여 사용유량을 알 수 있도록 설치하였다.

본 연구개발원에서의 실험은 100A 배관에서 50A 지관을 통해 나오는 가스를 가스트레이너로 통해 압력을 조절하여 상기와 같은 방법으로 장치를 꾸며 실험하였다.

4. 실험결과 및 검토

4.1 벤츄리 버너의 화염특성

1차, 2차 공기가 유인되는 벤츄리형 버너의 화염특성들이 펴지버너 구비조건에 가장 근사되었기 때문에 Fig. 5와 같은 벤츄리형 버너를 제작하였다.

사진에서 보면 벤츄리 버너는 전체길이 $L=500\text{mm}$, 혼합기 출구 직경 $d_b=47\text{mm}$, 입구 직경 $d_i=58\text{mm}$ 및 출구직경 $d_o=55\text{mm}$ 이다. 보염기는 wall recess 형으로 하였고, 보염성을 좋게 하기 위하여 직경이 2.0mm인 구멍을 8개 뚫었다. 가스노즐 직경과 벤츄리 목 직경과 상관관계 실험을 위하여 가스 노즐직경이 $d_n=6.0, 7.0, 8.0, 8.5, 9.0\text{mm}$ 인 단공노즐을 이용하여 실험하였으며, 혼합관 내부에서의 연소로 인한 연소맥동을 방지하기 위하여 사용한 보염기, 화염특성 변화를 보기 위하여 35° 와 45° 의 스월러 및 벤츄리관을 제작하였다. 화염길이는 보염기 끝단에 철자(2.0m)를 설치하여 측정하였고, 화염폭은 보염기 직경과 상대적인 비교를 통해 측정하였다. 소음은 버너 후방 3m 거리에 소음계를 설치하여 측정하였고, 유량계 및 압력계로 분출조건을 설정해 실험하였다.

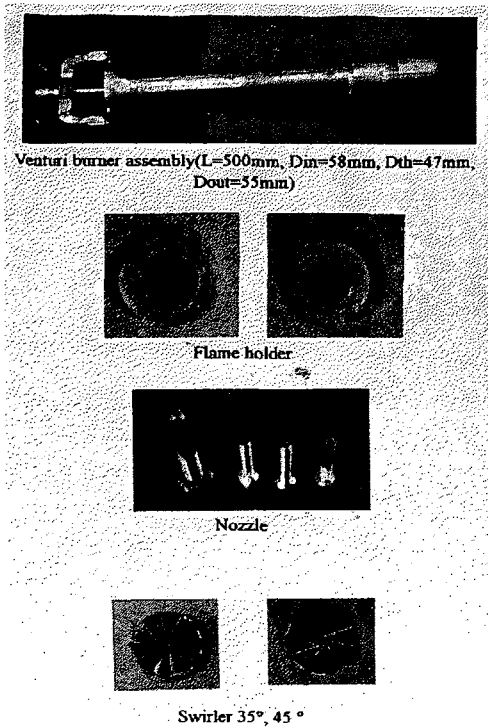


Fig. 5 실험용 벤츄리 버너, 보염기, 노즐 및 스월러

는 보염기 끝단에 철자(2.0m)를 설치하여 측정하였고, 화염폭은 보염기 직경과 상대적인 비교를 통해 측정하였다. 소음은 버너 후방 3m 거리에 소음계를 설치하여 측정하였고, 유량계 및 압력계로 분출조건을 설정해 실험하였다.

Fig. 6은 $d_n=6\text{mm}$ 인 단공노즐의 분출 압력 증대에 따른 화염 및 소음특성을 실험한 사진이다.

가스 분출압력의 증대에 따라 화염길이나 소음은 증대되었다. 그림에는 나타내지 않았으나, 보염기의 형상변화에 따른 화염 및 보염특성을 보기 위해 2차 공기의 유인을 유도하는 보염기의 길이 변화($l_s/l_o=0.7$)와 직경변화($d_s/d_o=1.2$)에 따른 화염 및 소음 특성 실험결과에 의하면 보염기의 길이나 직경변화에 따른 화염 및 소음특성 변화는 없었다.

Fig. 7은 보염기 전단에 장착한 스월러(swirler)의 영향을 보기 위한 실험으로 스월러 각이 증가할수록 화염길이는 짧아지거나 화염폭 및 소음은 증대하였고 yellow

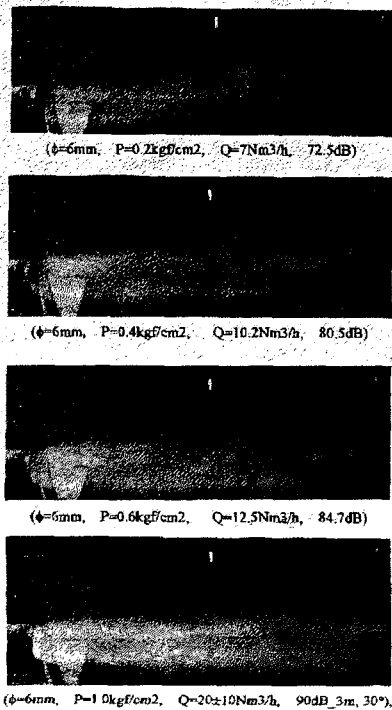


Fig. 6 가스분출압력 변화에 따른 화염특성($d_n=6\text{mm}$)

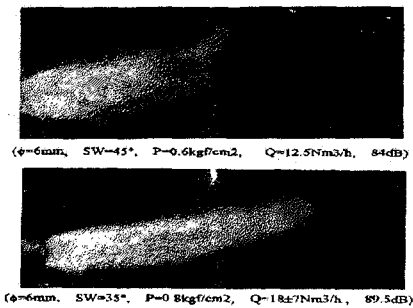


Fig. 7 스윌러에 의한 화염특성 변화

였다.

이와 같은 실험결과를 통해 제작한 1차 테스트 버너 사진이 Fig. 10 이다. 버너의 구조 및 규격으로 벤츄리버너 4개를 한 유니트로 하여 연료헤더에 고정하여 만들었으며, 바퀴를 달아 이동이 용이하도록 하였다. 그리고 조립식으로 하여 분리가 가능하도록 하였다.

tip이 생성되었다. 이것은 내부에 장착된 스윌러로 인하여 압력손실이 생겨 연료분출시 주위공기의 유인이 다소 방해받기 때문으로 생각된다.

Fig. 8, 9는 가스노즐 직경변화 및 분출 압력변화에 따른 화염길이와 소음을 측정된 결과를 정리하여 그래프로 나타낸 것이다. 노즐직경의 크기에 관계없이 분출압이 1.0kg/cm^2 까지 증가하여도 화염길이는 1.5m 내외이고, 노즐 $d_n=8.0\text{mm}$ 이하, 가스 분출압이 0.5kg/cm^2 이상에서는 전체적으로 버너 후방 3m 에서의 소음은 $78\sim 80\text{dB}$ 를 넘어 최고 88dB 로 소음저감이 필요하였다. $d_n=8.0\text{mm}$ 보다 큰 경우는 분출압력이 0.5kg/cm^2 이하 압력에서는 소음은 75dB 이하이지만 화염이 황염으로 연소상태가 좋지 않다.

1.0kg/cm^2 의 분출 압력에도 최고 소음이 82dB 지만 역시 화염이 황염으로 복사열이 심하였다. 보염기 바로 전단에 사용된 35° , 45° 스윌러는 화염의 길이는 짧게 하지만 화염폭이 크고, 소음 증가 요인으로 작용하여 효과가 없다.

실험데이터, 식(1) 검토결과⁽¹⁾에 의하여 벤츄리 버너의 1차 유인 공기가 화염안정성을 고려하면 천연가스의 이론공연비는 10.5 이고, 가연한계는 공기에 대해 $5\sim 15\%$ 이므로 필요 공기량의 $70\sim 75\%$ 정도를 유인하면 가연 한계범위를 넘으므로 역화로 인한 화염의 불안정성을 막을 수 있다. 따라서 분사계수 즉 공연비 $A=7\sim 7.5$ 로 하고, 공기와 가스밀도비 $\rho_a/\rho_g=1.6$ 이므로 식(1)에 대입하여 정리하면 $d_b/d_n=10$ 이다.

벤츄리관 내에서 역화에 의한 연소 맥동이 생기지 않도록 1차 유인공기의 양을 가스노즐 직경에 대한 벤츄리 목 직경을 계산치 보다 $5\sim 10\%$ 정도 다소 작게 설계하였다.

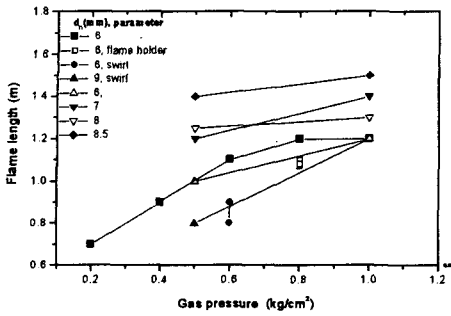


Fig. 8 가스노즐 직경 및 분출압력 변화에 따른 화염특성 변화

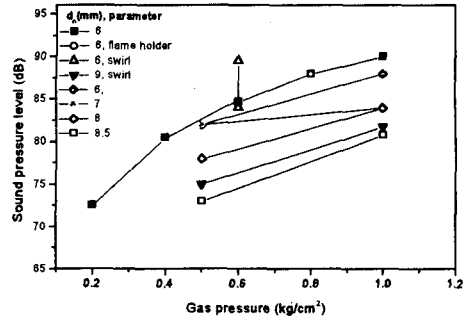


Fig. 9 가스노즐 직경 및 분출압력 변화에 따른 소음특성

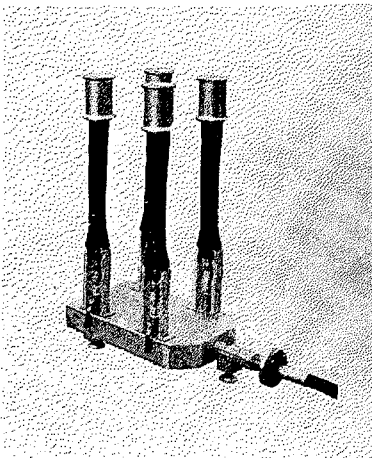


Fig. 10 퍼지버너 사진

퍼지용량은 가스분출압력이 2.0kg/cm^2 에서 $100\text{Nm}^3/\text{h}$ 이며, 크기는 $\text{Ø}0.5 \times 1.4\text{m}$ 이고, 재질은 SUS (304)로 중량은 $19\text{kg}/\text{대} \times 4\text{대로}$ 약 76kg 이다.

1차 시제품은 주물로 하기가 어려워서 가공성이 양호한 SUS로 가공하여 제작하였고, 노즐은 직경 $d_n=8\text{mm}$ 인 단공노즐을 사용하였다.

5. 결론

도시가스용 퍼지버너 개발과정을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 중, 저압 가스 분출 에너지를 이용하여 완전연소에 필요한 공기량 중 가연한계 하한까지의 공기를 주위로부터 유인하는 방식은 벤츄리관을 이용하는 방법이 가장 효과적 이었다.
- (2) 화염의 길이는 1.5m 내외이고, 청염으로 복사열이 적어 열에 의한 지면온도의 상승이 없고, 작업장소 선택용이 및 주위 소손 등이 위험성이 없다.
- (3) 1차 테스트 개발품은 소음문제를 제외하곤 퍼지버너로 연소특성 및 화염특성이 만족되었다. 향후 소음저감방향으로 중점 연구할 계획이다.

참고문헌

- (1) 신일본 주단조 협회, 연료가스의 합리적 연소법과 신형 가스버너, 1980
- (2) Lewis von Elbo, Combustion, Flames and Explosions of Gases, 1987, pp. 511~524
- (3) 仲町一郎의, 가스연소의 이론과 실제, 省 에너지 센터, 1992
- (4) Richard Reed, North American Mfg. Co., 1978