



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년03월30일  
(11) 등록번호 10-2516636  
(24) 등록일자 2023년03월28일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
F23D 14/58 (2006.01) C03B 5/235 (2006.01)  
F23D 14/22 (2006.01) F23D 14/32 (2006.01)  
F23L 7/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류  
F23D 14/58 (2013.01)  
C03B 5/2353 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-0065450
- (22) 출원일자 2021년05월21일  
심사청구일자 2021년05월21일
- (65) 공개번호 10-2021-0146804
- (43) 공개일자 2021년12월06일
- (30) 우선권주장  
16/884,418 2020년05월27일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
US20110061469 A1  
US20120047873 A1  
US20140338771 A1

- (73) 특허권자  
에어 프로덕츠 앤드 케미칼스, 인코오포레이티드  
미합중국 펜실베니아주 18106-5500 알렌타운시 에어 프로덕츠 블라바야드 1940
- (72) 발명자  
다고스티니 마크 다니엘  
미국 18104 펜실베니아 알렌타운 웨스트 고든 스트리트 2705  
갈라거 마이클 제이.  
미국 18036 펜실베니아 쿠퍼스버그 론 라인 7288  
비노드 애시윈  
미국 18062 펜실베니아 마쿰지 우드몬트 서클 8204
- (74) 대리인  
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 13 항

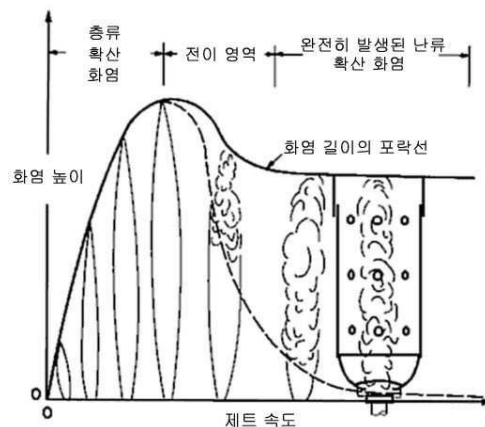
심사관 : 신명섭

(54) 발명의 명칭 유리 전로용 산소 연료 버너

(57) 요약

화염 난류를 증가시키기 위한 버너 가스 공급 장치이며, 장치는 원주방향 및 축방향을 갖는 내부 표면에 의해 정의되는 특성 폭 W를 갖는 도관- 축방향은 특성 치수 d를 가지고, 노즐 출구 평면을 형성하는 노즐에서 종료되며, 여기서  $d \leq W$ 임 -; 및 각각 길이  $L_i$ 로 내부 표면으로부터 도관 내로 돌출하는 특성 치수  $D_{bb-i}$  및 인접한 블러프 본체 사이( $X_i$ 의 경우에 노즐 출구 평면과 하류 블러프 본체 사이)의 축방향 간격  $X_i$ 를 갖는 3개의 블러프 본체를 포함하고, 여기서,  $0.5 \leq L_i/W \leq 1$ 이고,  $X_i/D_{bb-i} \leq 30$ 이다.

대표도 - 도1



(종래 기술)

(52) CPC특허분류

*F23D 14/22* (2013.01)

*F23D 14/32* (2013.01)

*F23L 7/007* (2013.01)

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

화염 난류를 증가시키기 위한 버너 가스 공급 장치이며,

원주방향 및 축방향을 갖는 내부 표면에 의해 정의되는 특성 폭 W를 갖는 도관- 상기 축방향은 특성 치수 d를 가지며 노즐 출구 평면을 형성하는 노즐에서 종료되고, 여기서  $d \leq W$ 임 -; 및

길이  $L_1$ 로 상기 내부 표면으로부터 상기 도관내로 돌출하는 특성 치수  $D_{bb-1}$ 를 갖는 제1 블러프 본체- 여기서,  $0.5 \leq L_1/W \leq 1$ 이고, 상기 제1 블러프 본체는  $X_1$ 의 축방향 거리만큼 상기 노즐 출구 평면으로부터 이격되고, 여기서,  $X_1/D_{bb-1} \leq 30$ 임 -;

길이  $L_2$ 로 상기 내부 표면으로부터 상기 도관내로 돌출하는 특성 치수  $D_{bb-2}$ 를 갖는 제2 블러프 본체- 여기서,  $0.5 \leq L_2/W \leq 1$ 이고, 상기 제2 블러프 본체는 상기 제1 블러프 본체보다 상기 노즐 출구 평면으로부터 축방향으로 더 멀고 상기 제1 블러프 본체로부터  $X_2$ 의 축방향 거리만큼 이격되고, 여기서  $X_2/D_{bb-2} \leq 30$ 임 -;

길이  $L_3$ 로 상기 내부 표면으로부터 상기 도관내로 돌출하는 특성 치수  $D_{bb-3}$ 를 갖는 제3 블러프 본체- 여기서,  $0.5 \leq L_3/W \leq 1$ 이고, 상기 제3 블러프 본체는 상기 제2 블러프 본체보다 상기 노즐 출구 평면으로부터 축방향으로 더 멀고 상기 제2 블러프 본체로부터  $X_3$ 의 축방향 거리만큼 이격되며, 여기서,  $X_3/D_{bb-3} \leq 30$ 임 -를 포함하고;

상기 제1 블러프 본체 및 상기 제2 블러프 본체는 제1 간격 각도만큼 상기 원주방향으로 분리되고;

상기 제2 블러프 본체 및 상기 제3 블러프는 제2 간격 각도만큼 상기 원주방향으로 분리되는, 버너 가스 공급 장치.

**청구항 2**

청구항 1에 있어서,

$$0.5 * (1 + d/W) \leq L_1/W \leq 1 \text{ 이고;}$$

$$0.5 * (1 + d/W) \leq L_2/W \leq 1 \text{ 이고;}$$

$$0.5 * (1 + d/W) \leq L_3/W \leq 1 \text{ 인, 버너 가스 공급 장치.}$$

**청구항 3**

청구항 1에 있어서,

$$0.8 \leq L_1/W \leq 1 \text{ 이고;}$$

$$0.8 \leq L_2/W \leq 1 \text{ 이고;}$$

$$0.8 \leq L_3/W \leq 1 \text{ 인, 버너 가스 공급 장치.}$$

**청구항 4**

청구항 1에 있어서,  $0.6 \leq d/W \leq 0.7$ 인, 버너 가스 공급 장치.

**청구항 5**

청구항 1에 있어서,

$X_1/D_{bb-1} \leq 5$ 이고;

$X_2/D_{bb-2} \leq 5$ 이고;

$X_3/D_{bb-3} \leq 5$ 인, 버너 가스 공급 장치.

**청구항 6**

청구항 1에 있어서, 상기 제1 블러프 본체 및 상기 도관은 제1 블러프 본체 레이놀즈 수( $Re_{bb-1} = \rho V_{inlet} D_{bb-1} / \mu$ )가 50 이상이도록 크기 설정되고;

상기 특성 치수  $d$ 는 제트 레이놀즈 수( $Re_j = \rho V_j d / \mu$ )가 상기 제1 블러프 본체 레이놀즈 수( $Re_{bb-1}$ ) 이상이도록 크기 설정되는, 버너 가스 공급 장치.

**청구항 7**

청구항 1에 있어서, 상기 제1 블러프 본체는 원형 단면을 갖는, 버너 가스 공급 장치.

**청구항 8**

청구항 1에 있어서, 상기 제1 간격 각도 및 상기 제2 간격 각도는 각각 60도 초과 180도 미만인, 버너 가스 공급 장치.

**청구항 9**

청구항 1에 있어서, 상기 제1 간격 각도 및 상기 제2 간격 각도는 각각 110도 내지 130도인, 버너 가스 공급 장치.

**청구항 10**

청구항 1에 있어서, 상기 제1 간격 각도 및 상기 제2 간격 각도는 각각 80도 내지 100도인, 버너 가스 공급 장치.

**청구항 11**

청구항 1에 있어서,

길이  $L_4$ 로 상기 내부 표면으로부터 상기 도관내로 돌출하는 특성 치수  $D_{bb-4}$ 를 갖는 제4 블러프 본체를 더 포함하고, 여기서,  $0.5 \leq L_4/W \leq 1$ 이고, 상기 제4 블러프 본체는 상기 제3 블러프 본체보다 상기 노즐 출구 평면으로부터 축방향으로 더 멀고 상기 제3 블러프 본체로부터  $X_4$ 의 축방향 거리만큼 이격되고,  $X_4/D_{bb-4} \leq 30$ 이고;

상기 제3 블러프 본체 및 상기 제4 블러프 본체는 제3 간격 각도만큼 상기 원주방향으로 분리되는, 버너 가스 공급 장치.

**청구항 12**

청구항 11에 있어서, 상기 제1 간격 각도, 상기 제2 간격 각도 및 상기 제3 간격 각도는 각각 80도 내지 100도인, 버너 가스 공급 장치.

**청구항 13**

버너이며,

청구항 1에 따른 버너 가스 공급 장치; 및

상기 버너 가스 공급 장치를 둘러싸는 반응물 도관을 포함하고;

상기 버너 가스 공급 장치는 연료 및 산화제 중 하나를 공급하도록 구성 및 배열되고;

상기 반응물 도관은 연료 및 산화제 중 다른 하나를 공급하도록 구성 및 배열되는, 버너.

**발명의 설명**

**기술 분야**

**배경 기술**

[0001] 연소 버너를 효과적으로 설계하려면 화염 특성, 특히 화염 길이를 제어할 필요가 있다. 화염 길이에 대한 정확한 지식은 많은 버너가 동작 중 화염 특성을 확인하기 위해 시각적 접근을 제공하지 않는 연소실에 설치되어 있기 때문에 특히 중요하다. 실험 및 가공 지침은 버너 및 연소실 설계와 작동 파라미터를 기초로 화염 길이를 예측하는 데 도움이 되지만, 화염 길이의 예측 및 제어는 층류 화염보다 난류 화염에 대해 더 신뢰할 수 있는 것으로 알려져 있다. 많은 요소가 층류에서 난류 화염으로의 전이점에 영향을 미칠 수 있지만, 버너 중앙 제트의 유동 특성과 기하학적 특성을 기초로 하는 무차원 레이놀즈 수  $Re_j$ 가 일반적으로 사용된다. 이는 수학적 식 1에서 다음과 같이 정의된다.

[0002] 
$$Re_j = \rho V_j D_j / \mu \quad (1)$$

[0003] 여기서,  $\rho$ 는 노즐 출구 평면의 중앙 제트 밀도이다.  $V_j$ 는 중앙 제트 평균 노즐 출구 속도,  $D_j$ 는 노즐 직경,  $\mu$ 는 역시 노즐 출구 평면의 조건에 의해 결정되는 중앙 제트 동적 점도이다.

[0004] Hawthorne 등의 중대한 논문("Mixing and Combustion in Turbulent Gas Jets", Third Symposium on Combustion, Flame and Explosion Phenomena, pp. 266-288, 1949.)에서 지적한 바와 같이, 층류 및 난류 유동의 가스 유량에 대한 특징적으로 상이한 화염 길이의 응답은 분자 및 와류 확산도 사이의 고유한 차이에 기인한다. 층류 화염에서의 혼합은 혼합되는 가스의 재료 특성인 분자 확산도에 의해 제어되는 반면 난류 화염에서의 혼합은 난류 "와류"에 의해 구동된다. 분자 확산도와 달리 소위 와류 확산도는 재료 특성이 아니라 화염 제트 속도와 노즐 출구 평면 직경의 곱에 따라 스케일링된다. 이러한 이질적인 혼합 모드와 관련된 화염 길이에 대한 결과적 영향이 도 1에 요약되어 있다. 즉, 층류 제트 화염의 정규화된 길이  $L/D$ ( $L$ 은 화염 길이,  $D$ 는 노즐 출구 평면 직경)가 노즐 유량에 따라 증가하는 반면 난류 제트 화염의 길이는 일정하게 유지된다.

[0005] 또한, 층류 화염의 최대 길이가 전체 난류 화염의 최대 길이 보다 실질적으로 더 길 수 있다는 것이 도 1에서 분명하다. 따라서, 화염은 주로 난류 동작을 위해 설계될 수 있지만, 설계를 벗어난 감소된 유동의 동작은 연소기 단부벽에 충돌하여 벽 단열 및 구조 재료 또는 열 전달 표면의 조기 파손을 초래할 수 있는 바람직하지 않게 긴 화염을 초래할 수 있다.

[0006] 마지막으로, 대부분의 실제 연소 응용에서 노 내부 환경은 일반적으로 잠잠한 상태가 아니다. 긴 층류 화염은 이러한 상황에서 상대적으로 제어하기 어려운 경향을 갖는 데, 그 이유는 그 운동량이 소산되는 동안 연료 스트림의 대부분이 반응하지 않고 유지되기 때문이다. 대조적으로, 난류 제트 화염은 빠르게 혼합되고, 따라서, 화염 제트의 안정성은 팽창하는 고온 가스의 속도 증가로 인해 이익을 얻는다. 결과적으로, 층류 화염은 난류 화염보다 노 가스 흐름 및 불완전 연소에 의해 훨씬 편향되기 쉽고, 이러한 결함은 종종 감소된 및/또는 오배향 화염-대-부하 열 전달 및 프로세스 연료 효율 감소와 관련된 성능 및 동작 부족을 초래한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

**과제의 해결 수단**

[0007] 출구 평면의 상류에서 상이한 축방향 위치에서 버너 가스 공급 도관에 적어도 2개의 블러프 본체를 포함하는 버너가 본 명세서에 설명된다. 다수의 블러프 본체의 사용은 유동장의 다수의 위치에서의 와류의 개시에 의해 난류의 확산을 촉진하는 반면, 길이방향 간격은 유동장 상호 작용을 통해 각 상류 블러프 본체에서 발산되는 난류 효과의 증폭을 촉진한다.

[0008] 각각의 블러프 본체는 가스 공급 도관의 내부 표면 주위의 상이한 원주방향 위치에서 도입될 수 있다. 이 배향

은 별개의 축(와도는 벡터량)을 갖는 와류 와도를 생성하여 후속적으로 유동장 전체에 걸쳐 난류의 더 효율적인 분포를 초래한다.

- [0009] 양태 1: 화염 난류를 증가시키기 위한 버너 가스 공급 장치이며, 장치는 원주방향과 축방향을 갖는 내부 표면에 의해 정의된 특성 폭  $W$ 를 갖는 도관- 축방향은 특성 치수( $d$ )를 갖는, 노즐 출구 평면을 형성하는 노즐에서 종료되고, 여기서  $d \leq W$ 임 -; 및 길이  $L_1$ 로 내부 표면으로부터 도관내로 돌출하는 특성 치수  $D_{bb-1}$ 를 갖는 제1 블러프 본체- 여기서,  $0.5 \leq L_1/W \leq 1$ 이고, 제1 블러프 본체는  $X_1$ 의 축방향 거리만큼 노즐 출구 평면으로부터 이격되고, 여기서,  $X_1/D_{bb-1} \leq 30$ 임 -; 길이  $L_2$ 로 내부 표면으로부터 도관내로 돌출하는 특성 치수  $D_{bb-2}$ 를 갖는 제2 블러프 본체- 여기서,  $0.5 \leq L_2/W \leq 1$ 이고, 제2 블러프 본체는 제1 블러프 본체보다 노즐 출구 평면에서 더 멀고  $X_2$ 의 축방향 거리만큼 제1 블러프 본체로부터 이격되며, 여기서,  $X_2/D_{bb-2} \leq 30$ 임 -; 및 길이  $L_3$ 으로 내부 표면으로부터 도관내로 돌출하는 특성 치수  $D_{bb-3}$ 를 갖는 제3 블러프 본체- 여기서,  $0.5 \leq L_3/W \leq 1$ 이고, 제3 블러프 본체는 제2 블러프 본체보다 노즐 출구 평면으로부터 더 멀고,  $X_3$ 의 축방향 거리만큼 제2 블러프 본체로부터 이격되고, 여기서,  $X_3/D_{bb-3} \leq 30$ 임 -를 포함하고; 제1 블러프 본체 및 제2 블러프 본체는 제1 간격 각도만큼 원주방향으로 분리되고; 제2 블러프 본체 및 제3 블러프 본체는 제2 간격 각도만큼 원주방향으로 분리된다.
- [0010] 양태 2: 양태 1에 따른 버너 가스 공급 장치에 있어서,  $0.5 * (1 + d/W) \leq L_1/W \leq 1$ 이고;  $0.5 * (1 + d/W) \leq L_2/W \leq 1$ 이고;  $0.5 * (1 + d/W) \leq L_3/W \leq 1$ 이다.
- [0011] 양태 3: 양태 1 또는 양태 2에 따른 버너 가스 공급 장치에 있어서,  $0.8 \leq L_1/W \leq 1$ 이고;  $0.8 \leq L_2/W \leq 1$ 이고;  $0.8 \leq L_3/W \leq 1$ 이다.
- [0012] 양태 4: 양태 1 내지 3 중 어느 하나에 따른 버너 가스 공급 장치에 있어서,  $0.6 \leq d/W \leq 0.7$ 이다.
- [0013] 양태 5: 양태 1 내지 4 중 어느 하나에 따른 버너 가스 공급 장치에 있어서,  $X_1/D_{bb-1} \leq 5$ 이고;  $X_2/D_{bb-2} \leq 5$ 이고;  $X_3/D_{bb-3} \leq 5$ 이다.
- [0014] 양태 6: 양태 1 내지 5 중 어느 하나에 따른 버너 가스 공급 장치에 있어서, 제1 블러프 본체 및 도관은 제1 블러프 본체 레이놀즈 수( $Re_{bb-1} = \rho V_{inlet} D_{bb-1} / \mu$ )가 50 이상이도록 크기 설정되고; 노즐 특성 치수  $d$ 는 제트 레이놀즈 수( $Re_j = \rho V_j d / \mu$ )가 제1 블러프 본체 레이놀즈 수( $Re_{bb-1}$ ) 이상이도록 크기 설정된다.
- [0015] 양태 7: 양태 1 내지 6 중 어느 하나에 따른 버너 가스 공급 장치에 있어서, 제1 블러프 본체는 원형 단면을 갖는다.
- [0016] 양태 8: 양태 1 내지 7 중 어느 하나에 따른 버너 가스 공급 장치에 있어서, 제1 간격 각도 및 제2 간격 각도는 각각 60도 초과 180도 미만이다.
- [0017] 양태 9: 양태 1 내지 8 중 어느 하나에 따른 버너 가스 공급 장치에 있어서, 제1 간격 각도 및 제2 간격 각도는 각각 110도 내지 130도이다.
- [0018] 양태 10: 양태 1 내지 9 중 어느 하나에 따른 버너 가스 공급 장치에 있어서, 제1 간격 각도 및 제2 간격 각도는 각각 80도 내지 100도이다.
- [0019] 양태 11: 양태 1 내지 10 중 어느 하나에 따른 버너 가스 공급 장치에 있어서, 길이  $L_4$ 로 도관으로부터 내부 표면내로 돌출하는 특성 치수  $D_{bb-4}$ 를 갖는 제4 블러프 본체를 더 포함하고, 여기서,  $0.5 \leq L_4/W \leq 1$ 이고, 제4 블러프 본체는 제3 블러프 본체보다 노즐 출구 평면에서 더 멀고  $X_4$ 의 축방향 거리만큼 제3 블러프 본체와 이격되고,  $X_4/D_{bb-4} \leq 30$ 이고; 제3 블러프 본체 및 제4 블러프 본체는 제3 간격 각도만큼 원주방향으로 분리된다.
- [0020] 양태 12: 양태 11에 따른 버너 가스 공급 장치에 있어서, 제3 간격 각도는 80도 내지 100도이다.
- [0021] 양태 13: 버너이며, 양태 1 내지 12 중 어느 하나의 버너 가스 공급 장치; 및 버너 가스 공급 장치를 둘러싸는 반응물 도관을 포함하고; 버너 가스 공급 장치는 연료 및 산화제 중 하나를 공급하도록 구성 및 배열되고; 반응물 도관은 연료 및 산화제 중 다른 하나를 공급하도록 구성 및 배열된다.

**도면의 간단한 설명**

[0022]

본 발명은 이하 첨부 도면과 함께 설명될 것이며, 도면에서 같은 숫자는 같은 요소를 나타낸다.

도 1은 Hottel 및 Hawthorne("Diffusion in Laminar Jet Flames", Third Symposium on Combustion, Flame and Explosion Phenomena, pp. 254-266, 1949)로부터 재현한 제트 속도의 함수로서 화염 높이의 플롯이다.

도 2a 및 도 2b는 산소 연료 전로에서 층류 화염 거동의 계산 유체 역학 모델을 보여주는 음영화된 이미지이고, 더 밝은 색상은 더 높은 온도를 나타낸다. 도 2a는 전로 배기구 바로 상류의 외부 단부에서 노 가스 교차 유동으로 인한 층류 산소 연료 화염의 굴곡을 도시하고, 여기서, G는 노 가스 유동의 방향을 나타낸다. 도 2b는 전로의 상류 단부에서 반대쪽 벽 층류 화염 충돌을 도시한다.

도 3은 고속 제트를 생성하기 위한 직경(d)의 다수의 작은 노즐과 노 내의 또는 버너를 빠져나가는 다른 가스와 난류 상호 작용을 개선시키기 위한 증가된 표면적을 갖는 예시적인 버너 팁의 개략적인 단부 사시도이다.

도 4는 도 3의 다수의 노즐과 동일한 전체 단면적을 생성하지만 방해받지 않는 단일 제트를 갖는 직경(D)의 단일 노즐을 갖는 버너 팁의 개략적인 단부 사시도이다.

도 5는 도 3에서와 같이 다중 노즐 버너 팁의 구멍 직경의 함수로서 레이놀즈 수와 압력 강하의 플롯이다.

도 6은 산소 연료 연소를 위한 도 3에서와 같은 다중 노즐 버너 팁의 응용을 보여주는 개략적인 단부도이며, 여기서, 연료(F)는 산소 유동(O)의 고리로 둘러싸인 다중 노즐 버너 팁을 통해 유동하고, 산소 연료 연소가 연료 제트 사이에서 발생하여 노즐면(NF)의 표면에서 고온을 초래한다.

도 7은 절단 원형 실린더를 지나가는 유동으로 인해 형성되는 정성적 유동 구조를 보여주는 개략적인 사시도이다.

도 8a 및 도 8b는 내부 벽으로부터 출구 평면 상류(도 8a의 좌측)의 가스 스트림의 유로로 돌출하는 2개의 블러프 본체를 갖는 버너 가스 공급 도관의 실시예를 도시하고 있는 개략도이고, 도 8a는 측단면도이고, 도 8b는 단부도이다.

도 9a 및 도 9b는 각각의 인접한 블러프 본체가 내부 벽으로부터 원주를 따라 90° 회전되는 가스의 유로로 돌출되는 4개의 블러프 본체를 갖는 버너 가스 공급 도관의 실시예를 도시하고 있는 개략도이다. 도 9a는 단부도이고, 도 9b는 측단면도이다.

도 10a, 도 10b 및 도 10c는 3개의 버너 가스 공급 도관의 측단면 개략도이고, 도 10a는 난류를 증가시키도록 특별히 의도된 특징이 없는 기준 버너 가스 공급 도관을 도시하고, 도 10b는 공동-작동 노즐을 갖는 버너 가스 공급 도관을 도시하고, 도 10c는 분할 유동 노즐을 갖는 버너 가스 공급 도관을 도시한다.

도 11은 전이 레이놀즈 수, 가스 공급 도관의 압력 강하 및 화염 길이를 측정하기 위한 실험 산소 연료 연소 테스트에 대한 도 8a 내지 도 10c에서와 같은 버너 가스 공급 도관의 위치를 도시하는 측단면 개략도이다.

도 12a 및 도 12b는 층류 화염 정면에 부과된 난류 변동이 화염면의 형성을 초래하는 난류 화염(도 12a) 및 화염 정면이 대체로 잘 정의된 층류 화염(도 12b)의 화염 정면의 개략적 비교를 도시한다.

도 13은 가스 공급 도관의 압력 강하 함수로서 실험적으로 측정된 전이 레이놀즈 수의 플롯이다.

도 14는 본 발명의 2개의 실시예에 대한 전이 레이놀즈 수의 함수로서 실험적으로 측정된 화염 길이의 플롯이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0023]

저온 단부에서 성형하기 전에 용융 유리의 느리지만 제어된 냉각을 제공하기 위해 많은 유리 제조 시설에서 전로가 사용된다. 전로 벽을 통한 열 손실과 버너를 통한 열 입력 사이의 균형으로 인해 발생하는 냉각 속도의 정확한 제어는 유리 결함 형성을 방지하는 데 중요하다. 단일 전로가 좁은 채널(일반적으로 2 내지 3 피트 폭)에 걸쳐 연소되는 수백 개의 버너를 사용할 수 있기 때문에 버너 화염의 설치 후 검사는 실용적이지 않다. 더욱이, 산소 연료 버너 연소 속도는 상대적으로 낮고 화염 제트 레이놀즈 수는 종종 낮은 운동량의 층류 화염이 우세한 범위에 있다. 또한, 전로 채널 내 연소 가스의 교차 유동으로 인한 화염 방해의 영향이 현저할 수 있다. 이러한 환경에서 다수의 층류 화염의 유해한 영향은 전로에서 산소 연료 버너의 CFD 모델링 결과를 요약한 도 2a 및 도 2b에 설명되어 있다. 도 2a에 도시되어 있는 바와 같이, 화염은 노 가스 흐름(G)의 영향을 가

장 많이 받는 영역에서 가장 많이 굴곡되는 반면, 도 2b에 도시되어 있는 바와 같이, 화염은 연소 공간의 더 잠  
 잠한 영역에서 반대쪽 벽에 충돌한다.

[0024] 전로에서 매우 낮은 연소 속도 요구 사항으로 인해 전로의 산소 연료 버너는 층류 또는 전이 상태(층류에서 난  
 류로 변경되는 과정에서)인 제트-유사 화염을 자주 생성한다. 층류 및 전이 상태 화염의 바람직하지 않은 측면  
 은 그 화염 길이와 안정성이 연소 속도가 증가하거나 감소함에 따라 매우 크게 변한다는 것이다. 이는 전로 밖  
 에서 화염을 관찰하기가 매우 어렵기 때문에 감지되지 않을 수 있는 전로 동작의 문제를 일으키기 쉽다.

[0025] 따라서, 본 명세서에 설명된 바와 같이, 버너 특징은 일반적인 버너에서 자연적으로 발생하는 것보다 더 낮은  
 레이놀즈 수에서 난류 화염으로의 전이를 생성하는 동시에 또한 임의의 불필요한 압력 강하 증가를 방지하는 것  
 으로 확인되었다. 이 설계는 더 나은 제어와 신뢰성을 제공하는 난류 화염으로 전로에서 산소 연료 버너를 동  
 작시킬 수 있는 능력을 제공한다.

[0026] 또한, 완전한 난류 체제와 관련된 빠른 혼합은 그을음 형성 및 화염 온도 증화를 크게 감소시키며, 이는 전로  
 내에서 정확한 온도 제어를 지원한다. 다른 특징으로는 전로 버너 블록 내의 중앙 노즐 축방향 위치의 가변성  
 과 전체 중앙 노즐 조립체의 가동중(on-the-fly) 제거 및 교체 능력이 포함될 수 있다.

[0027] 본 명세서에 설명된 실시예에서, 중앙 노즐은 연료 가스를 유동시키고 일반적으로 산소 농후 공기 또는 산소를  
 포함하는 환형 산화제 유동으로 둘러싸여 있다. 중앙 노즐을 통해 유동하는 연료 가스는 일반적으로 연소되지  
 않은 연료의 양을 감소시킨다. 그러나, 버너에서도 동일한 개선된 혼합의 이익을 달성할 수 있으며, 중앙 노즐  
 은 산화제를 유동시키고 환형 연료 가스 유동에 의해 둘러싸여 있다.

[0028] 이어지는 상세한 설명은 단지 바람직한 예시적인 실시예를 제공하며, 본 발명의 범위, 적용 가능성 또는 구성을  
 제한하기를 의도하는 것은 아니다. 오히려, 바람직한 예시적인 실시예의 이어지는 상세한 설명은 본 기술 분야  
 의 숙련자에게 본 발명의 바람직한 예시적인 실시예의 구현을 가능하게 하는 설명을 제공할 것이다. 첨부된 청  
 구범위에 설명된 바와 같이, 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 요소의 기능 및 배열에서 다양한 변경이  
 이루어질 수 있다.

[0029] 연소 및 관련 기술에는 다양한 난류 발생기가 사용된다. 종종 이러한 장치는 도 3에 도시되어 있는 바와 같이  
 버너 팁에서 N개의 작은 노즐을 통해 고속 제트의 어레이를 생성하여 혼합을 개선시킨다(노즐의 수는 단지 예시  
 일 뿐이며 동일한 개념이 버너 팁의 임의의 수의 노즐에 적용된다는 점에 유의한다). 이러한 장치를 가로지르  
 는 압력 에너지의 결과적인 소실은 도 4에서와 같이 직경 D의 단일 제트보다 현저히 더 높고, 여기서  $D^2 > Nd^2$ 이  
 다. 예를 들어, 질량 유량 M, 절대 점도  $\mu$  및 밀도  $\rho$ 를 갖는 가스가 직경 D의 단일 출구를 갖는 노즐을 통해  
 유동하고 훨씬 더 큰 단면 치수를 갖는 챔버 내로 팽창한다고 가정 한다. 노즐 출구에서 운동 에너지 소실로  
 인한 총 압력 손실  $\Delta P_{T, \text{baseline}}$ 은  $\frac{1}{2} \rho V^2$ 에 비례하고, 여기서 V는 평균 노즐 속도이며, 제트 레이놀즈 수  
 $Re_{j, \text{baseline}}$ 은  $\rho VD / \mu$ 와 같다. 대신 노즐이 직경 d의 N개의 구멍으로 구성되어 노즐 출구의 복합 단면적이  $\pi$   
 $D^2/4$ 와 같은 A에서  $A_d$ 로 감소된다고 가정하며, 여기서,  $A_d$ 는  $\pi Nd^2/4$ 와 같고  $A_d < A$ 이다. 직경 D를 갖는 단일 노  
 즐의 기준 사례에 대한 총 압력 손실 및 제트 레이놀즈 수의 변화가 수학적 2 및 3에 의한 노즐 면적 감소와 관  
 련이 있다는 것을 제1 근사치로 나타낼 수 있다:

$$\Delta P_{T, \text{actual}} / \Delta P_{T, \text{baseline}} = (A/A_d)^2 \tag{2}$$

$$Re_{j, \text{actual}} / Re_{j, \text{baseline}} = (A/A_d)^{0.5} \tag{3}$$

[0030] 이러한 관계는  $A_d/A$ 의 함수로 도 5에 그려져 있다. 도 5는 노즐 유동 면적의 감소에 따른 압력 손실의 바람직  
 하지 않은 증가가 레이놀즈 수의 바람직한 증가를 크게 증가한다는 것을 도시한다. 더욱이, 다수의 작은 구멍  
 이 사용되는 경우, 도 6에 예시된 같이 다양한 구멍을 분리하는 노즐 표면에서 국부 연소가 발생한다. 난류는  
 산소 연료 화염 온도가 5000° F를 초과하는 빠른 연소를 유도하기 때문에 국부 연소는 버너를 손상시키고 버너  
 수명을 감소시킨다. 이러한 이유로, 본 발명의 버너는 도 5 및 도 6에 도시된 바와 같이 구성되지 않는다.

[0032] 실제 산업적 가치를 가지려면 전로 산소 연료 버너는 총 압력 손실을 최소화하면서 낮은 레이놀즈 수에서 난류  
 화염을 생성할 수 있어야 한다. 본 발명자는 이 낮은 레이놀즈 수 층류에서 난류 화염으로의 전이를 가능하게  
 하는 효과적인 장치가 노즐 출구 평면의 상류에 있는 중앙 제트의 유동 도관 내의 절단 블러프 본체라고 판단하



였다. 본 명세서에 사용될 때, 용어 "절단된"은 블러프 본체의 일 단부가 유동 경계에서 나오는 반면 다른 단부는 유동장 내에서 종료됨을 의미한다. 용어 "상류"는 노즐 출구 평면에 더 가까운 "하류" 위치와 반대로 노즐 출구 평면에서 더 멀리 있는 위치를 의미한다. 도 7은 유동장에서 절단 원형 실린더와 그로부터 생성된 다양한 형태의 와도를 도시한다. 이러한 와류 구조는 낮은 레이놀즈 수로 형성될 수 있으며, 이는 다수의 블러프 본체의 전략적 배열이 낮은 압력 손실로 낮은 레이놀즈 수에서 발생하는, 노즐 출구에서의 층류에서 난류 유동으로의 전이를 생성할 수 있게 한다.

[0033] 대안 실시예에서, 블러프 본체는 절단되지 않을 수 있으며, 즉, 노즐의 내부 표면에 양 단부에서 부착될 수 있다. 비교를 통해, 절단되지 않은 블러프 본체는 실린더의 각 단부에 말굽 와류를 소유하지만 선단 또는 후미 와류는 소유하지 않음을 알 수 있다. 더욱이, 아치 와류는 축이 실린더 축의 축과 정렬되는 이중 와류 튜브로 대체된다. 절단되지 않은 실린더의 유동 구조는 절단된 실린더와 동일한 정도의 3차원성을 소유하지 않지만, 본 발명자는 절단되지 않은 실린더가 본 명세서에 설명된 응용을 위한 버너에서 여전히 유리하게 사용될 수 있음을 발견하였다.

[0034] 본 명세서에 설명된 산소 연료 버너의 일 실시예는 다수의 블러프 본체의 전략적 배열을 기초로 하여 각 블러프 본체에서 형성된 와도의 효과를 증폭하고, 그렇게함으로써 버너 화염의 낮은 레이놀즈 수 층류-난류 전이를 촉진한다. 따라서, 본 발명의 버너는 도 8a에 예시되어 있는 바와 같이 출구 평면의 상류에 있는 상이한 축방향 위치에서 중앙 도관에 적어도 2개의 블러프 본체를 포함한다. 다수의 블러프 본체의 사용은 유동장의 다수의 위치에서 와류를 개시함으로써 난류의 확산을 촉진하는 반면, 길이방향 간격은 유동장 상호 작용을 통해 각 상류 블러프 본체에서 발산되는 난류 효과의 증폭을 촉진한다.

[0035] 별도로, 바람직하게는 서로 조합하여 사용할 수 있는 본 발명의 버너의 다섯 가지 중요한 특징이 있다:

[0036] 첫째, 각 블러프 본체를 지나는 가스 유동의 레이놀즈 수는, 난류를 발생시키는 유동 불안정성을 생성하기 때문에, 그 하류에서 카르만 와류 스트리트를 형성하기 위한 최소 레이놀즈 수보다 더 커야 한다. 본 명세서에 설명된 버너의 경우, 50의 최소 블러프 본체 레이놀즈 수( $Re_{bb-i}$ )가 사용되었다.  $Re_{bb-i}$  및  $D_{bb-i}$ 에 대해,  $i$ 는 도 8a 및 도 9b에서 볼 수 있는 바와 같은 각 블러프 본체에 대한 수치 인덱스를 나타낸다. 블러프 본체 레이놀즈 수는 수학적 식 4에 따라 계산된다:

[0037] 
$$Re_{bb-i} = \rho V_{inlet} D_{bb-i} / \mu \quad (4)$$

[0038] 여기서, 속도  $V_{inlet}$  및 길이 스케일  $D_{bb-i}$ 는 유동의 주 방향에 수직인 평면에서  $i$  번째 블러프 본체의 치수 및 블러프 본체에 접근하는 평균 자유-스트림 가스 속도에 관련한다. 비원형 블러프 본체의 경우, 길이 스케일  $D_{bb-i}$ 는 도 8b에 예시된 바와 같이 유동 평면에서  $i$  번째 블러프 본체의 폭을 나타낸다.

[0039] 둘째,  $D_j$ 가 도 8a에서  $d$ 로 정의되는 위의 수학적 식 1에서 계산된 바와 같이, 각 블러프 본체를 지나는 가스 유동의 레이놀즈 수는 또한 노즐을 빠져나가는 가스 제트 유동의 레이놀즈 수 미만이어야 한다.

[0040] 따라서, 첫째 및 둘째 특징을 조합하면 수학적 식 5에서 블러프 본체 레이놀즈 수에 대한 다음 수식이 산출된다:

[0041] 
$$50 \leq Re_{bb-i} \leq Re_j \quad (5)$$

[0042] 셋째, 각 블러프 본체는 수학적 식 6에 나타난 바와 같이 도 8a에 도시된 바와 같은 가스 유동 평면의 특성 폭  $W$ 의 0.5배에서 1.0배 사이의 길이  $L_i$ 를 횡단해야 한다:

[0043] 
$$0.5 \leq L_i / W \leq 1.0 \quad (6)$$

[0044]  $L_i / W = 1.0$ 의 경계 사례에서  $i$  번째 블러프 본체는 중앙 도관을 완전히 교차하고 절단되지 않음을 유의한다.

[0045] 넷째, 2개의 이웃하거나 인접한 블러프 본체 사이의 축방향 거리를 상류 블러프 본체 길이 스케일  $X_i / D_{bb-i}$  ( $i = 2$ 의 사례에 대한 도 8a 참조)로 나눈 값으로 정의된 스트림 방향 블러프 본체 분리는 하나의 블러프 본체에 의해 생성된 강한 와도의 영역이 다음 블러프 본체에 도달 할만큼 충분히 길게 지속되는 것을 보장하기 위해 30 이하여야 한다. 본 명세서에 사용되는 용어 "인접한"은 축방향으로 가장 가까운 이웃인 2개의 블러프 본체를 나타낸다.

[0046] 다섯째, 가장 먼 하류 블러프 본체와 노즐 출구 평면 사이의 정규화된 스트림 방향 분리,  $X_i/D_{bb-1}$  (도 8a 참조)은 30 이하여야 한다.

[0047] 전로 응용에 사용하기 위한 산소 연료 버너의 일 실시예에서, 각각의 블러프 본체는 도 9a 및 도 9b에 예시된 바와 같이 중앙 도관의 경계 주위의 상이한 원주방향 위치로부터 도입되고, 스트림 방향 또는 축방향 블러프 본체 분리는 10 이하이다. 원주방향으로 인접한 블러프 본체 사이의 간격 각도는 다수의 축을 갖는 와류 와도를 생성하며, 이는 후속적으로 인접한 하류 블러프 본체와 상호 작용하기 전에 와류 유동 구조의 낮은 소실을 보장 하면서 유동장 전체에 걸쳐 난류의 더 넓은 분포를 초래한다.

[0048] 바람직하게는, 약 90도의 인접한 블러프 본체 사이의 원주방향 간격 각도를 갖는 4개의 블러프 본체가 사용되며, 여기서 '약'은  $\pm 10$ 도로 정의된다(즉, 각각의 인접한 블러프 본체 쌍 사이의 간격은 80도 내지 100도 일 수 있다). 또한, 더 바람직하게는, 스트림 방향 블러프 본체 분리는 5 이하이고 블러프 본체는 도 8a 및 도 8b에서와 같이 출구 노즐의 직경  $d$ 에 걸쳐 연장된다. 이를 위해서는 수학적 식 6에 항을 추가하여 수학적 식 7을 산출해야 한다.

[0049] 
$$0.5 \times (1+d/W) \leq L_i/W \leq 1.0 \quad (7)$$

[0050] 각 블러프 본체가 다른 치수와 간격을 가질 수 있는 경우에 대한 수학적 식 4, 5, 6 및 7이 제시된다. 모든 블러프 본체가 동일한 치수 및/또는 간격을 갖는 것이 유리한 경우, 간단히, 항  $D_{bb}$ ,  $L$ ,  $X$ , 및  $Re_{bb}$ 로  $D_{bb-i}$ ,  $L_i$ ,  $X_i$ , 및  $Re_{bb,i}$ 를 대체할 수 있다.

[0051] 의도는 난류 생성의 결과적인 증가를 기대하면서 인접한 블러프 본체의 후류 유동장 사이의 상호 작용을 증폭하는 것이다.

[0052] 예

[0053] 4개의 다른 구성에 대해 본 명세서에 설명된 설계 원리를 포함하는 산소 연료 버너의 여러 실시예를 실험적으로 비교했다: 상류 난류 발생 장치가 없는 기준 노즐(도 10a), 이미 설명된 1개 및 2개의 다양한 블러프 본체와 다양한 블러프 본체로 이루어지지 않은 상류 난류 발생기를 갖는 2개 노즐 설계 양자 모두를 갖는 노즐, 원주방향 벽 공동을 갖는 노즐(US 10,393,373에 도시된 바와 같은 도 10b) 및 연료가 내부적으로 2개의 스트림으로 분할된 다음 강력하게 재조합되는 노즐(도 10c). 현재 테스트된 노즐 설계와 4 가지 비교 설계가 표 1에 요약되어 있다. 다수의 블러프 본체의 경우,  $L$ ,  $D_{bb}$  및  $X$  값은 각 블러프 본체 또는 각 블러프 본체 사이의 간격에 대해 동일하지만, 본 발명의 대안 실시예에서 각각의 블러프 본체는 수학적 식 5, 6 및 7의 제한에 따라 그 자체의  $L$ ,  $D_{bb}$  및  $X$  값을 가질 수 있음을 유의한다.

표 1

노즐 명칭	설명	L/W	d/W	$X_{2-4}/D_{bb-2-4}$	$X_1/D_{bb-1}$
0	기준(도 10a)	N/A	0.6 - 0.7	N/A	N/A
C	공동(도 10b)	N/A	0.6 - 0.7	N/A	N/A
S	분할 후 수렴 스트림(도 10c)	N/A	0.6 - 0.7	N/A	N/A
1-BB	단일 블러프 본체	0.5 - 1.0	0.6 - 0.7	N/A	7
2-BB	2개의 블러프 본체, 180도 이격	0.5	0.6 - 0.7	4	7-10
3-BB	본 발명의 버너 - 3 블러프 본체, 120도 이격	0.5	0.6 - 0.7	4	7
4-BB-S	본 발명의 버너 - 4 블러프 본체, 90도 이격	0.5	0.6 - 0.7	4	7
4-BB-L	본 발명의 버너 - 4 블러프 본체, 90도 이격	0.8	0.6 - 0.7	1 - 4	7

[0054]

[0055]

산소 연료 연소 테스트가 수행되었으며, 여기서, 연료는 도 11에 도시된 바와 같이 산소 플리넘 내에 삽입된 표 1에 나열된 중앙 노즐 설계를 통해 도입되었다. 산소는 상업용 등급(순도 99 % 초과)이었고 연료는 과이프라인 천연 가스였다. 노즐의 상대적 평가를 위한 주요 파라미터는 다음을 포함한다:

[0056]

첫째, 중앙 제트의 층류-난류 "전이" 레이놀즈 수  $Re_{TR}$ .  $Re_{TR}$ 의 결정은 연료와 산소 스트림 사이의 화염 경계면의 왜곡 및 시간적 움직임의 초기 외관에 의해 이루어졌다. 때때로 난류 브러시 또는 화염편이라고도 지칭되는 이러한 유형의 화염 전면 외관은 도 12a 및 도 12b에 개략적으로 도시되어 있다(Turns, An Introduction to Combustion, 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 2000 참조).

[0057]

둘째, 노즐 출구 평면에서 운동 에너지 수두 손실에 의해 정규화된 총 연료 압력 손실; 즉,  $\Delta P_{total} / \frac{1}{2} \rho V_{exit}^2$ .

[0058]

셋째, 중앙 노즐 유량의 함수로서 화염의 길이. 여기에 보고된 화염 길이 측정은 화염 사진의 이미지 분석에 의해 이루어졌다. 화염 길이 결정의 기초는 그을음 형성에 의해 생성된 중앙 연료 제트의 거의 반응되지 않은 주황색 부분과 화염 팁의 반응성이 높은 부분에 있는 소위 스완 밴드인  $C_2$ 의 비평형 고온 방출과 관련된 인접한 밝은 청색 사이의 경계면을 식별하는 것이다.

[0059]

도 13은 기준 노즐과 관련된 각각의 값으로 정규화된 상이한 노즐 설계에 대한 평균 전이 레이놀즈 수와 평균 총 압력 손실을 비교한다. 강조를 위해 2개의 본질적으로 평행한 선이 차트에 추가된다. 상부 점선은 공동-작동 난류 발생기(표 1에서 명칭 C), 단일 및 이중 블러프 본체 설계 및 분할 스트림 노즐(표 1에서 명칭 S)의 결과를 연결한다. 하부 실선은 본 명세서에 설명된 노즐(3-BB 및 4-BB-S)에 대한 데이터의 선형 곡선 맞춤이다. 마지막으로 긴 4개의 블러프 본체 노즐(4-BB-L)로부터의 데이터 지점이 실선 아래에 위치한다. 이러한 데이터와 곡선의 비교는 주어진 압력 손실에 대해 본 발명의 노즐을 갖는 버너가 테스트된 다른 노즐보다 전이 레이놀즈 수의 더 큰 감소를 달성한다는 것을 강력하게 시사한다.

[0060]

2-BB 노즐은 1-BB보다 3-BB에 더 유사하게 전이 상태 레이놀즈 수의 감소가 더 클 것으로 예상되었다. 본 발명자는 이론에 얽매이지 않고 3-BB 및 4-BB 구성이 인접한 블러프 본체 사이의 간격 각도가 3-BB 사례에서 약 120도(즉, 110도 내지 130도)일 때 또는 4-BB 사례에서 약 90도(즉, 80도 내지 100도)일 때 난류 효과가 더 큰 정도로 증폭되기 때문에 더 효과적일 수 있을 것으로 추측한다. 2-BB 구성에서, 상류 블러프 본체에 의해 생성된 하나 이상의 와류는 180도 간격 각도로 인해 하류 블러프 본체와 더 잘 정렬되어 더 적은 증폭을 초래할 수 있다. 이러한 이유로, 2개의 인접한 블러프 본체 사이의 원주방향 간격 각도가 약 0도 초과 약 180도 미만, 또는 약 60도 초과 약 180도 미만인 경우 2-BB 노즐이 전이 레이놀즈 수를 감소시키는 데 더 효과적일 수 있다.

[0061]

더욱이, 테스트된 본 발명의 노즐에서, 더 긴 블러프 본체인 4-BB-L을 사용하는 것이 주어진 압력 손실에 대해 전이 레이놀즈 수에서 가장 큰 감소를 보여 주었다. 이에 더하여, 도 14는 실시예 4-BB-S 및 4-BB-L에 대해 모

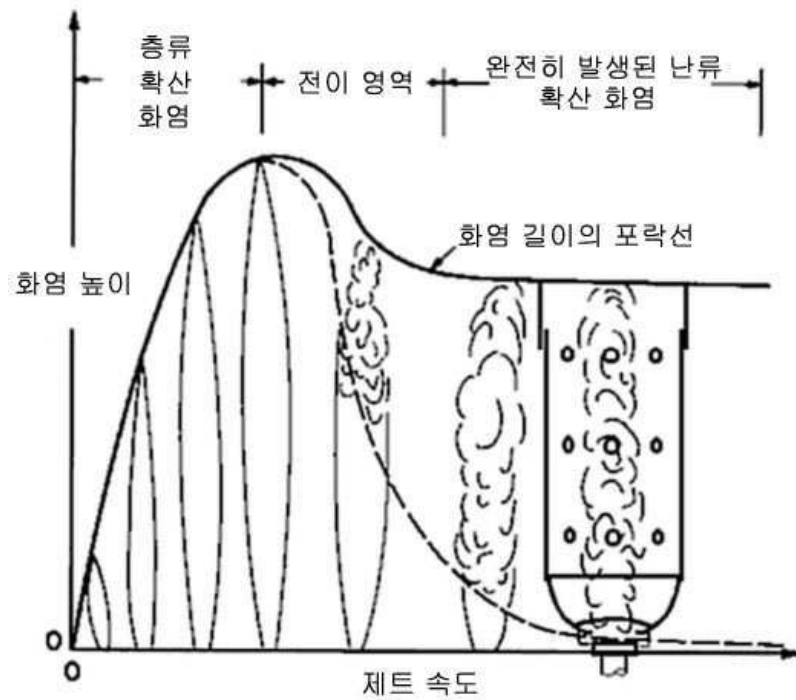
두가 기준 노즐 0에 대해 정규화된 레이놀즈 수의 함수로서 화염 길이의 플롯을 도시한다. 우리는 4-BB-L 데이터는 난류 유동으로의 전이 바로 아래에서 더 긴 화염을 보여주는 4-BB-S 데이터와 달리 레이놀즈 수에 따라 단조적으로 증가하는 화염 길이를 반영한다는 것을 알았다. 4-BB-S의 거동은 이전에 도 1에서 설명하고 예시한 분자로부터 와류 확산도로의 전이를 나타낸다. 4-BB-L의 화염 길이에 스파이크가 없다는 것은 더 긴 블러프 본체와 관련된 난류 생성의 현저하고 예상치 못한 개선을 확인한다. 따라서, 이 결론은 따라서 4-BB-L이 3-BB 및 4-BB-S에서 초래되는 추세선에 비교하여 더 낮은 전이 레이놀즈 수를 가지고 있음을 도시하는 도 13의 데이터에서 추론된 더 긴 블러프 본체의 성능 개선에 대한 추가 증거를 제공한다.

[0062] 모든 실험은 노즐의 연료와 고리를 통한 산소를 사용하여 수행되었지만 노즐을 통해 산소를 유동시키고 고리를 통해 연료를 유동시킴으로써 유사한 유의한 결과를 달성할 수 있음이 분명하다. 노즐 출구 평면을 통해 유동하는 가스가 난류임을 보장하는 것으로 혼합을 촉진하고 난류 화염을 달성하기에 충분하다.

[0063] 본 발명의 원리가 바람직한 실시예와 관련하여 위에서 설명되었지만, 이 설명은 본 발명의 범위를 제한하는 것이 아니라 단지 예로서만 이루어진 것임을 분명히 이해하여야 한다.

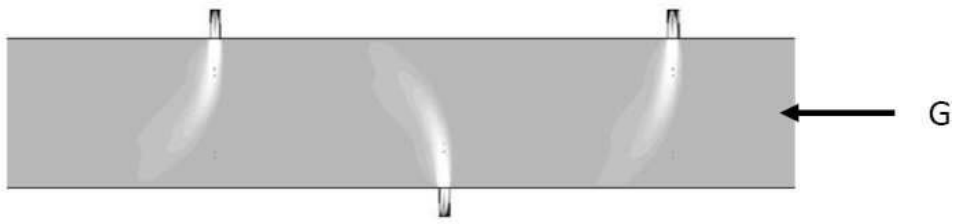
도면

도면1

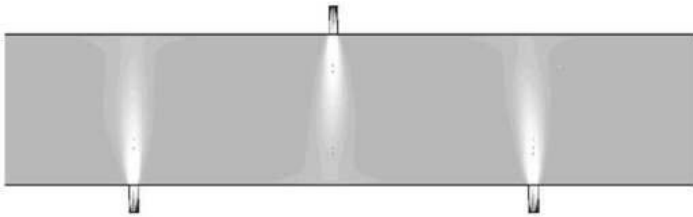


(종래 기술)

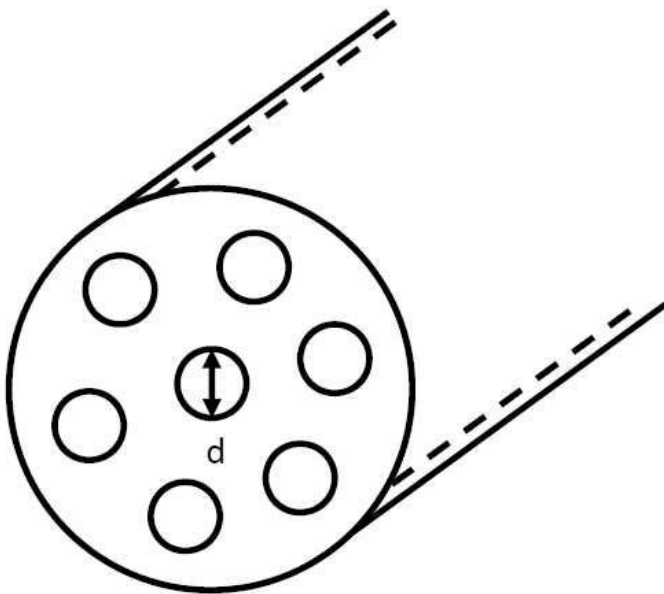
도면2a



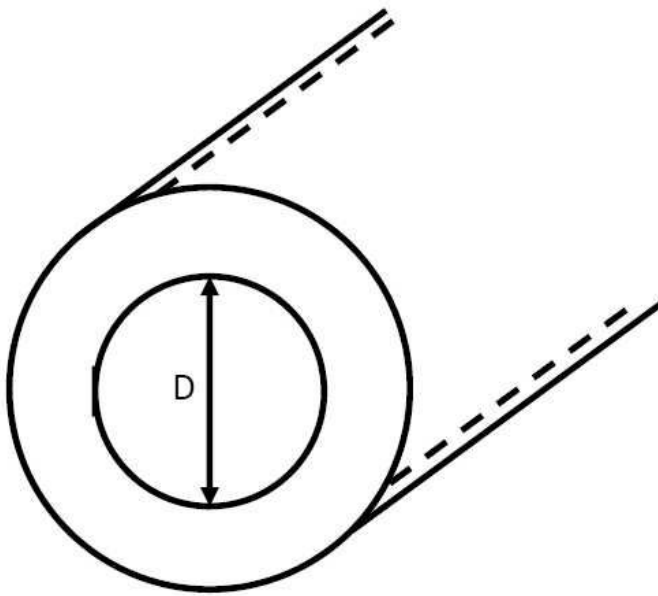
도면2b



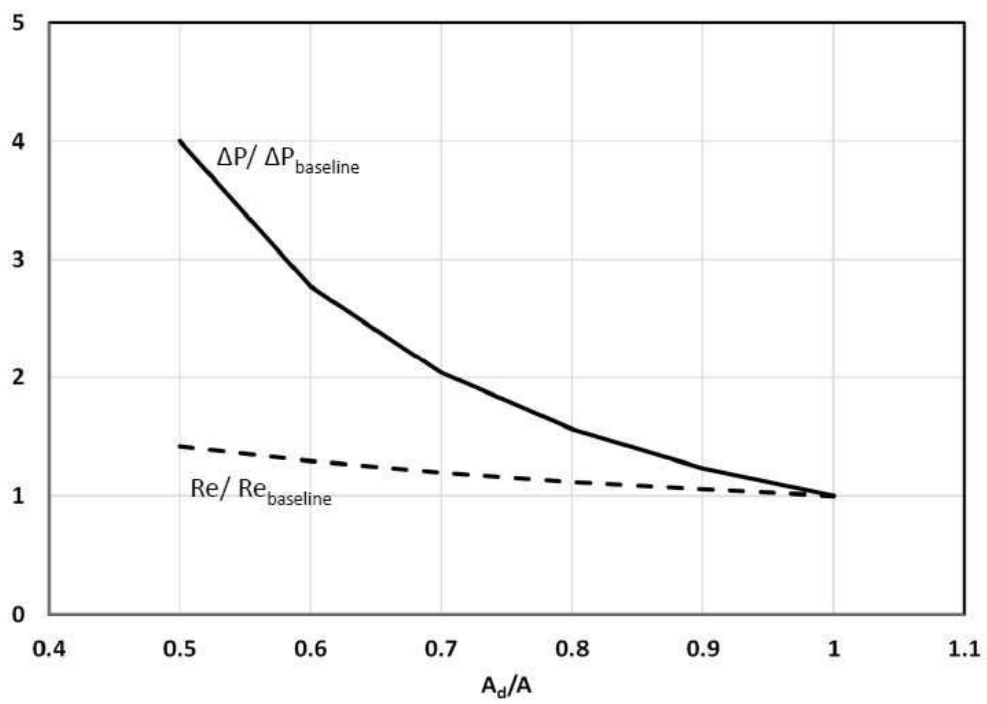
도면3



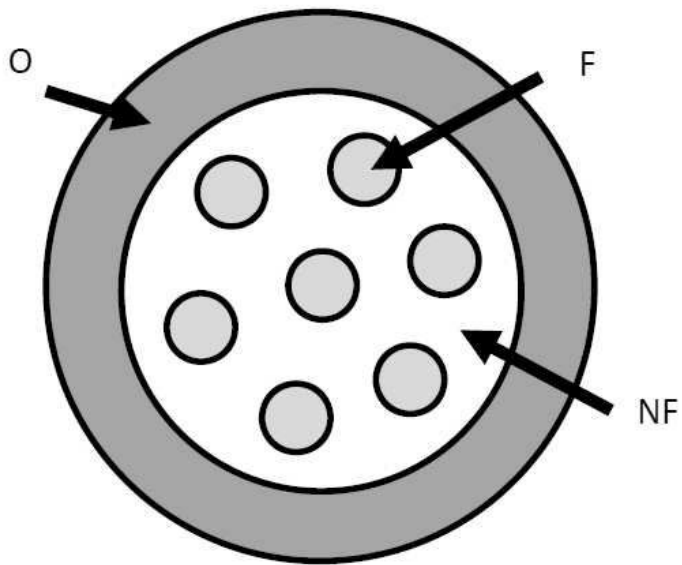
도면4



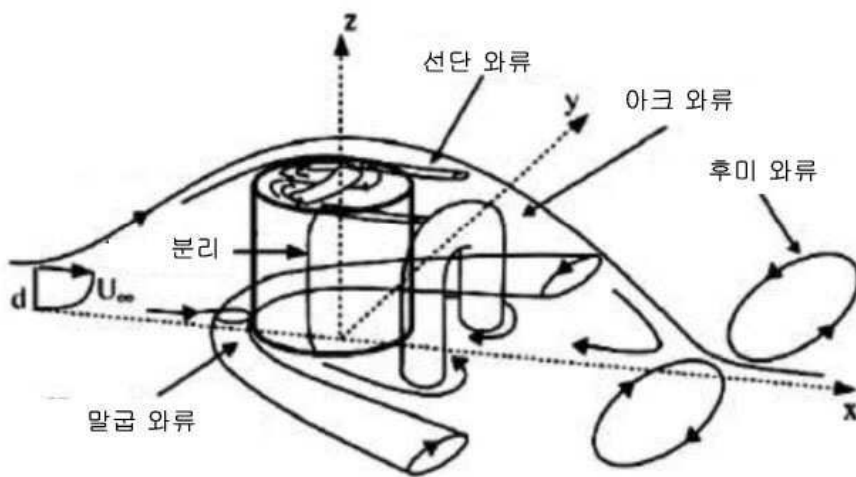
도면5



도면6

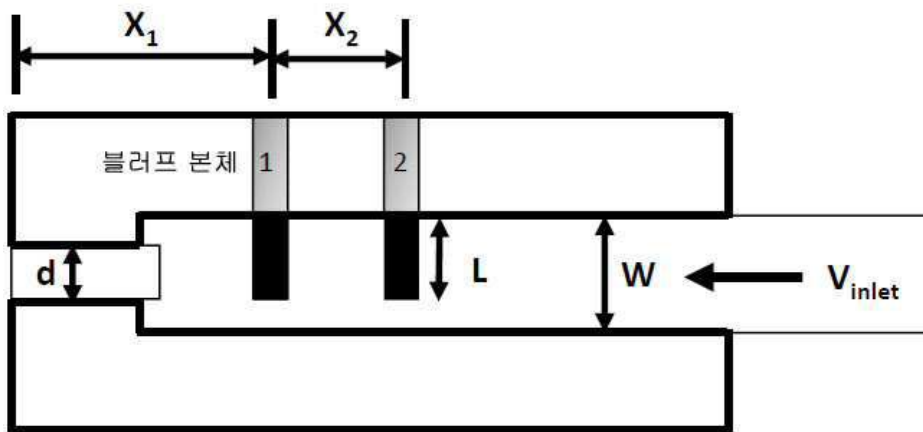


도면7

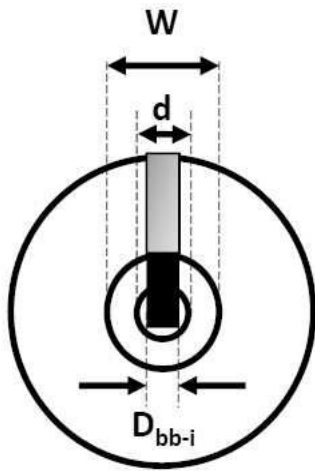


(종래 기술)

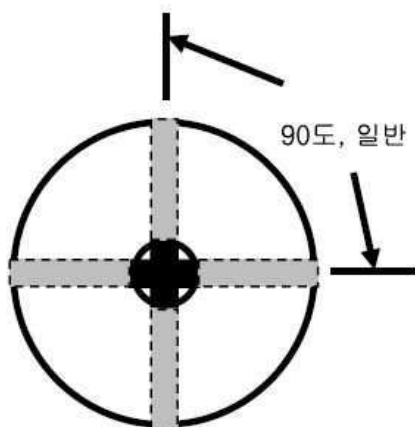
도면8a



도면8b

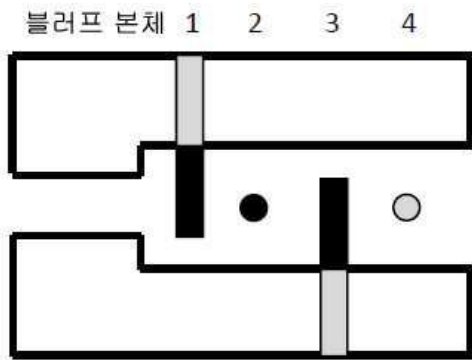


도면9a

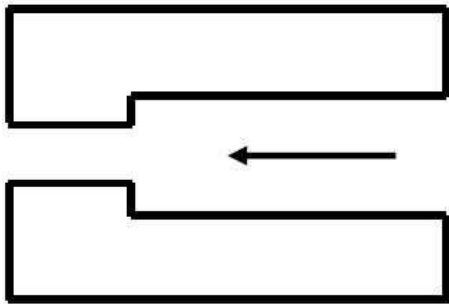




도면9b

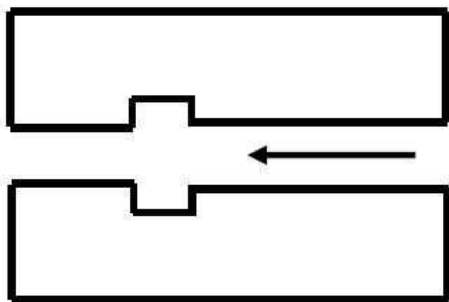


도면10a



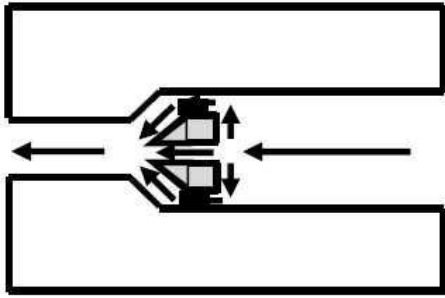
(종래 기술)

도면10b



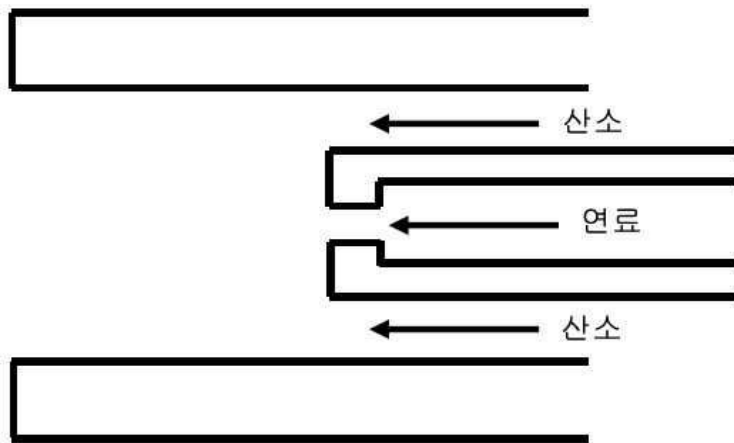
(종래 기술)

도면10c

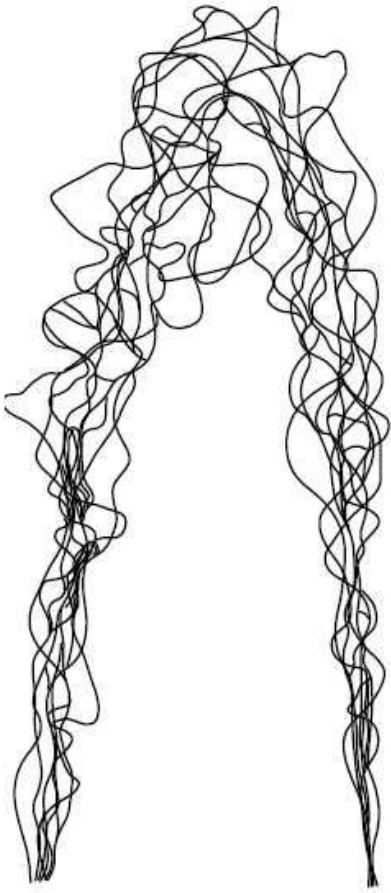


(종래 기술)

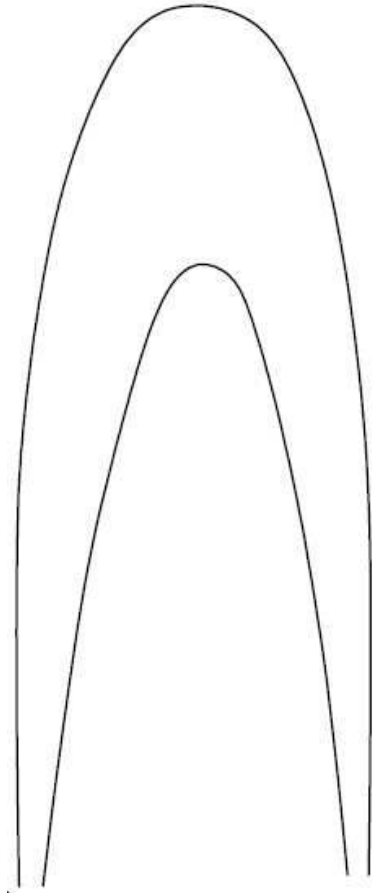
도면11



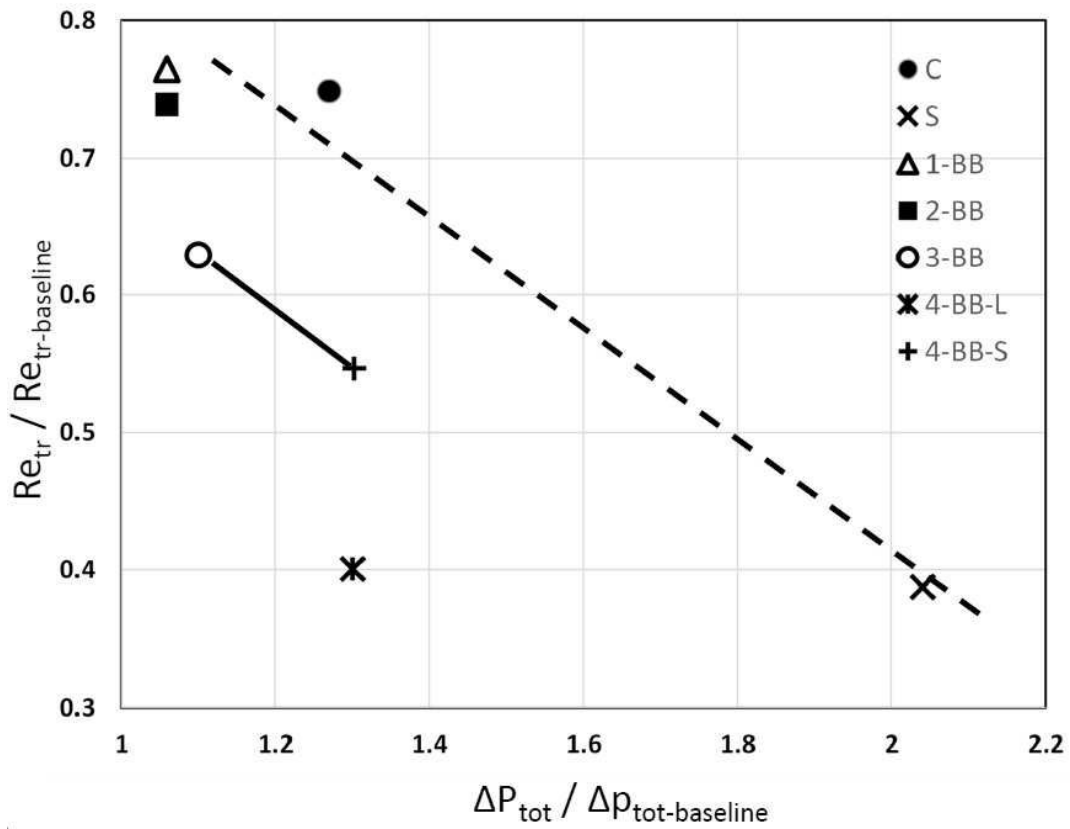
도면12a



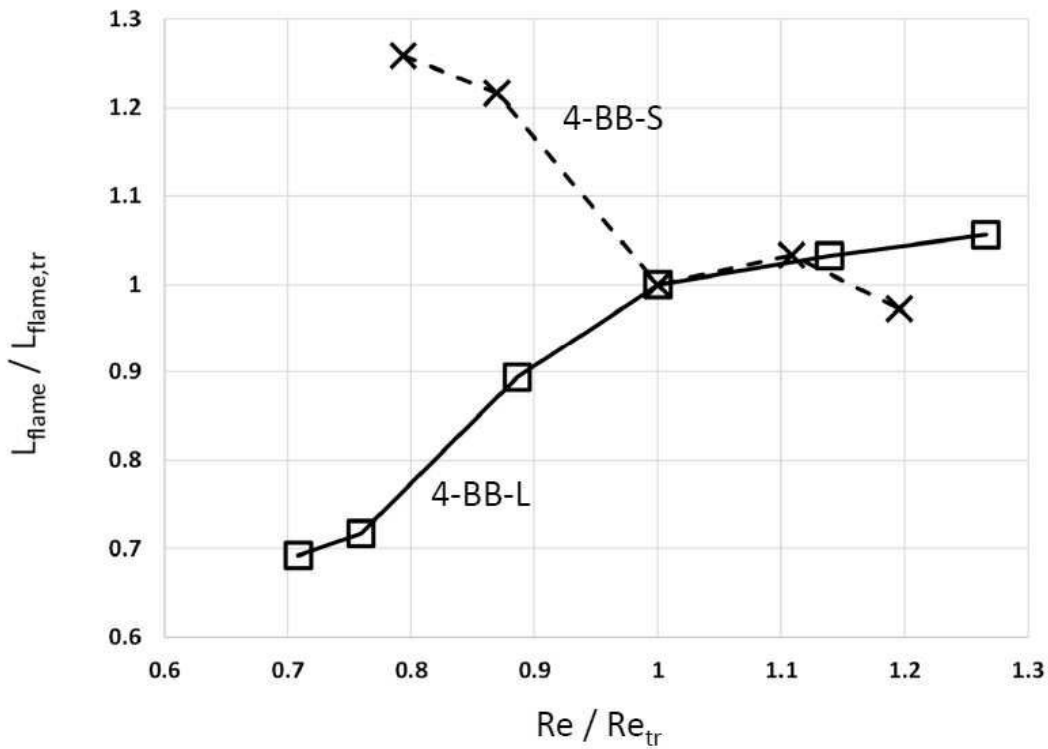
도면12b



도면13



도면14



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 6

【변경전】

청구항 1에 있어서, 상기 제1 블러프 본체 및 상기 도관은 제1 블러프 본체 레이놀즈 수( $Re_{bb-1} = \rho V_{inlet} D_{bb-1} / \mu$ )가 50 이상이도록 크기 설정되고;

상기 노즐 특성 치수  $d$ 는 제트 레이놀즈 수( $Re_j = \rho V_j d / \mu$ )가 상기 제1 블러프 본체 레이놀즈 수( $Re_{bb-1}$ ) 이상이도록 크기 설정되는, 버너 가스 공급 장치.

【변경후】

청구항 1에 있어서, 상기 제1 블러프 본체 및 상기 도관은 제1 블러프 본체 레이놀즈 수( $Re_{bb-1} = \rho V_{inlet} D_{bb-1} / \mu$ )가 50 이상이도록 크기 설정되고;

상기 특성 치수  $d$ 는 제트 레이놀즈 수( $Re_j = \rho V_j d / \mu$ )가 상기 제1 블러프 본체 레이놀즈 수( $Re_{bb-1}$ ) 이상이도록 크기 설정되는, 버너 가스 공급 장치.