

(11) 공개번호 10-2022-0121065
(43) 공개일자 2022년08월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F23R 3/28 (2006.01) *F02C 3/20* (2006.01)
F02C 7/22 (2006.01) *F23R 3/16* (2006.01)

(52) CPC특허분류
F23R 3/286 (2013.01)
F02C 3/20 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0025020

(22) 출원일자 2021년02월24일
 심사청구일자 2021년02월24일

(71) 출원인
 인천대학교 산학협력단
 인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)

(72) 발명자
 황상순
 인천광역시 연수구 해돋이로 107, 5동 1103호 (송도동, 송도 더샵 퍼스트월드)

유창현
 경기도 시흥시 정왕신길로111번길 8, 105동 106호 (정왕동, 한신아파트)

(74) 대리인
 특허법인 남앤남

전체 청구항 수 : 총 6 항

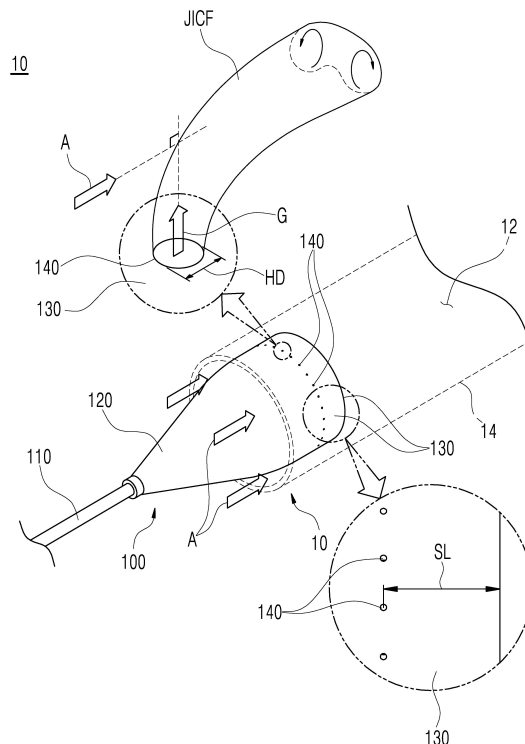
(54) 발명의 명칭 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너

(57) 요약

질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너가 개시된다. 본 발명에 따른 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너는, 연소실을 향해 공급된 압축공기와 분사된 수소가스를 혼합하여 마이크로 수소화염을 형성하는 가스터빈용 연소기에 구비되는 연소버너로서, 상기 수소가스가 공급되는 유입관; 상기 유입

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



관의 단부에서 둘레방향과 길이방향으로 점차 확장형성되어 이루어진 깔때기 형상의 확장부; 상기 확장부에 연통되는 원통형의 분사체; 및 상기 분사체의 둘레를 따라 이격배치되며 마이크로 사이즈로 관통형성되어 상기 압축공기에 대하여 상기 수소가스를 교차분사하는 복수의 연료노즐공을 포함하는 것을 특징으로 한다. 본 발명에 의하면, 수소가스가 공급되는 유입관의 단부에서 둘레방향으로 확장되며 길이방향으로 연장형성되는 깔때기 형상의 확장부에 연통되는 원통형 분사체와, 유동하는 압축공기에 대하여 수소가스를 교차분사하여 혼합하는 복수의 연료노즐공이 분사체의 둘레를 따라 이격배치되며 마이크로 사이즈로 관통형성됨으로 인해, 수소가스 연소시 수소화염의 안정성이 향상되어 질소산화물(NOx)의 발생이 최소화 내지 저감될 수 있고, 단순하고 제작이 용이한 구조로 인해 제조비용 및 제조시간이 절감될 수 있으며 연소기에 대한 유지관리가 손쉽게 이루어질 수 있다.

(52) CPC특허분류

F02C 7/22 (2013.01)

F23R 3/16 (2013.01)

F05D 2240/35 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711095165
과제번호	2019R1F1A1062700
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	수소를 사용한 마이크로 연소기법에 의한 Dry Low NOx 기술의 실험 및 수치해석 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2019.06.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

연소실을 향해 공급된 압축공기와 분사된 수소가스를 혼합하여 마이크로 수소화염을 형성하는 가스터빈용 연소기에 구비되는 연소버너로서,

상기 수소가스가 공급되는 유입관;

상기 유입관의 단부에서 둘레방향과 길이방향으로 점차 확장형성되어 이루어진 깔때기 형상의 확장부;

상기 확장부에 연통되는 원통형의 분사체; 및

상기 분사체의 둘레를 따라 이격배치되며 마이크로 사이즈로 관통형성되어 상기 압축공기에 대하여 상기 수소가스를 교차분사하는 복수의 연료노즐공을 포함하는 것을 특징으로 하는 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 연소기에서 서로 혼합되며 연소되는 상기 수소가스 및 상기 압축공기가 0.4의 당량비로 제공될 때,

상기 연료노즐공은,

상기 분사체의 끝단에서 상기 확장부의 방향으로 25mm 이격된 위치에 형성하여 연소시 생성되는 질소산화물(NO_x)을 저감한 것을 특징으로 하는 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 연료노즐공은,

0.9mm 직경으로 관통형성되어 연소시 생성되는 질소산화물(NO_x)을 저감한 것을 특징으로 하는 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 연소기에서 서로 혼합되며 연소되는 상기 수소가스 및 상기 압축공기가 0.4의 당량비로 제공될 때,

상기 연료노즐공은,

0.6mm 내지 0.7mm 직경으로 관통형성되어 연소시 생성되는 질소산화물(NO_x)을 저감한 것을 특징으로 하는 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 연소기에서 서로 혼합되며 연소되는 상기 수소가스 및 상기 압축공기가 0.4의 당량비로 제공되고, 상기 분사체의 끝단에서 상기 확장부의 방향으로 15mm 이격된 위치에 상기 연료노즐공이 형성될 때,

상기 연료노즐공은,

0.8mm 직경으로 관통형성되어 연소시 생성되는 질소산화물(NO_x)을 저감한 것을 특징으로 하는 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 연료노즐공은,

서로 인접한 상기 연료노즐공 간의 화염간섭이 없도록, 상기 분사체의 둘레를 따라 지그재그로 이격배치되며 관통형성되는 것을 특징으로 하는 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 압축 공기에 대하여 수소가스를 교차분사하는 연료노즐공을 마이크로 사이즈로 한정하여 수소화염에 대한 안정성을 높이고, 화염체류시간을 최소화하여 근본적으로 질소산화물의 생성을 저감한 연소버너에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 가스터빈(gas turbine)은 연소가스의 고속/고압의 흐름으로부터 에너지를 추출하는 회전동력기관으로, 기본적으로 공기를 흡입하여 압축하는 압축기와, 압축기로부터 제공된 압축공기와 연료를 혼합하여 연소시키는 연소기와, 연소기로부터 제공된 고온고압의 연소가스에 의해 회전하는 터빈과, 터빈에 축결합시키는 샤프트 등으로 구성된다.

[0003] 이러한 가스터빈은, 모듈화된 설비들을 결합하는 방식으로 설치가 쉽고 건설기간도 짧아 타 발전설비보다 저렴하고, 마찰부분이 적어 다른 회전동력기관과 대비시 윤활유의 소비나 진동이 극히 적으며, 고효율의 고속운동이 가능한 장점으로 인해 항공기, 기차, 선박, 발전기 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.

[0004] 다만, 가스터빈을 작동시킨 후 배출되는 연소가스는, 분진, 질소산화물(NO_x), 일산화탄소, 미연 탄화수소 등과 같은 온실가스나 환경오염물질을 다량으로 포함하고 있어 이를 저감시키기 위한 다양한 연구와 기술개발이 활발하게 이루어지고 있는 실정이다.

[0005] 여기서 특히, 질소산화물(NO_x)은, 환경문제로 인해 엄격하게 법적으로 규제되고 있는 물질로서, 공기를 산화제로 사용하는 대부분의 연소시스템에서 필연적으로 발생하기 때문에 질소산화물(NO_x)의 생성을 최소화하는 연소 제어기술에 최근 관심이 집중되고 있다.

[0006] 일례로, 질소산화물 저감기술 중 연소 후 처리(post combustion) 기술은 촉매 또는 비촉매 반응을 이용하여 질소산화물(NO_x)을 선택적으로 회수하는 저감장치를 연소기에 부착하여 질소산화물(NO_x)의 배출량을 저감시키는 기술이다.

[0007] 그리고 질소산화물 저감기술 중 연소 방식 개선(combustion modification) 기술은, 고온 생성의 질소산화물(NO_x)을 저감하기 위해 연소실의 온도를 기술적으로 낮추거나, 다만 연소 방식을 통해 질소산화물(NO_x)을 환원시키거나, 질소산화물(NO_x)의 저감을 위해 연소버너의 기하구조를 개량하거나, 투입되는 공기에서 질소를 제거하는 순산소 연소 기술 등으로 구분될 수 있다.

[0008] 특히, 연소버너의 기하구조를 개량하는 기술과 관련된 대한민국공개특허 제10-2020-0027894호(공개일: 2020년03월13일)는, 연료와 공기를 연소시키는 연소실과, 연소실의 상류측에 위치하여 동심원상으로 복수열 및 복수개 배치된 공기구멍을 갖는 공기구멍 플레이트와, 선단부 내벽에 외주 방향으로 넓어지는 테이퍼를 갖는 복수열 및 복수개의 연료 노즐을 포함하는 가스 터빈 연소기에 대한 기술을 개시하고 있다.

[0009] 상술한 대한민국공개특허 제10-2020-0027894호에 따르면, 수소 함유 연료에 대하여 질소산화물(NO_x)의 배출량이 저감되는 것은 물론이고, 연소의 신뢰성이 향상되어 안정적인 운용이 가능하다는 장점이 있다.

[0010] 그러나 이러한 장점에도 불구하고 연료 노즐과 구멍 플레이트 등의 구조가 복잡하기 때문에 연소기의 제작에 비용과 시간이 과다하게 소요되고, 유지관리가 어려운 문제가 있다.

[0011] 또한, 연소실의 온도를 기술적으로 낮추는 LPP(Lean Prevaporizing Premixed)방식의 연소기술은, 예혼합(Premixed)된 연료와 공기를 가연한계 근방에서 연소시켜 국부적인 연료과잉을 방지하고 고온형 질소산화물(NO_x)이 생성되는 고온 영역을 최소화하는 방식으로 질소산화물(NO_x)을 10ppm 이하로 저감한 기술을 말한다.

[0012] 그러나 LPP방식의 연소기술은, 가연한계 근방에서 연소가 진행됨으로 인해 안정된 확산 화염방식의 가스터빈에는 잘 나타나지 않는 블로우아웃(Blow Out), 자발점화(Auto Ignition), 역화(Flash Back)와 같은 단점 내지 문제가 있다.

[0013] 또한, 가연한계에서의 예혼합 연소로 초래되는 가장 큰 문제는, 화염 안정성(Flame Stability) 확보가 매우 어려워져서 예혼합 연소가 불안정해지면 압력섭동이 두드러지게 나타나며 증폭되어 연소기가 파손되거나 수명이 짧아지는 문제가 있어서 새로운 연소기 구조에 대한 연구 개발이 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0014] (특허문헌 0001) 대한민국공개특허 제10-2020-0027894호(공개일: 2020년03월13일)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 본 발명의 목적은, 압축공기에 대하여 수소가스를 교차분사하는 마이크로 사이즈의 연료노즐공을 통해 마이크로 수소화염을 형성하여 화염안정성을 높이고, 공기유동 덕트를 포함하는 연소기의 구조를 단순화하여 압력손실을 최소화하는 한편, 연소버너에 관통형성된 연료노즐공의 기하학적 구조에 따른 화염구조와 패턴을 3차원 수치해석모델을 통해 분석함으로써 질소산화물(NOx)의 발생을 최소화할 수 있는 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0016] 상기 목적은, 연소실을 향해 공급된 압축공기와 분사된 수소가스를 혼합하여 마이크로 수소화염을 형성하는 가스터빈용 연소기에 구비되는 연소버너로서, 상기 수소가스가 공급되는 유입관; 상기 유입관의 단부에서 둘레방향과 길이방향으로 점차 확장형성되어 이루어진 깔때기 형상의 확장부; 상기 확장부에 연통되는 원통형의 분사체; 및 상기 분사체의 둘레를 따라 이격배치되며 마이크로 사이즈로 관통형성되어 상기 압축공기에 대하여 상기 수소가스를 교차분사하는 복수의 연료노즐공을 포함하는 것을 특징으로 하는 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너에 의해 달성된다.

[0017] 상기 연소기에서 서로 혼합되며 연소되는 상기 수소가스 및 상기 압축공기가 0.4의 당량비로 제공될 때, 상기 연료노즐공은, 상기 분사체의 끝단에서 상기 확장부의 방향으로 25mm 이격된 위치에 형성하여 연소시 생성되는 질소산화물(NOx)을 저감할 수 있다.

[0018] 상기 연료노즐공은, 0.9mm 직경으로 관통형성되어 연소시 생성되는 질소산화물(NOx)을 저감할 수 있다.

[0019] 상기 연소기에서 서로 혼합되며 연소되는 상기 수소가스 및 상기 압축공기가 0.4의 당량비로 제공될 때, 상기 연료노즐공은, 0.6mm 내지 0.7mm 직경으로 관통형성되어 연소시 생성되는 질소산화물(NOx)을 저감할 수 있다.

[0020] 상기 연소기에서 서로 혼합되며 연소되는 상기 수소가스 및 상기 압축공기가 0.4의 당량비로 제공되고, 상기 분사체의 끝단에서 상기 확장부의 방향으로 15mm 이격된 위치에 상기 연료노즐공이 형성될 때, 상기 연료노즐공은, 0.8mm 직경으로 관통형성되어 연소시 생성되는 질소산화물(NOx)을 저감할 수 있다.

[0021] 상기 연료노즐공은, 서로 인접한 상기 연료노즐공 간의 화염간섭이 없도록, 상기 분사체의 둘레를 따라 지그재그로 이격배치되며 관통형성될 수 있다.

발명의 효과

[0022] 본 발명에 의하면, 수소가스가 공급되는 유입관의 단부에서 둘레방향으로 확장되며 길이방향으로 연장형성되는 깔때기 형상의 확장부와, 이에 연통되는 원통형 분사체와, 유동하는 압축공기에 대하여 수소가스를 교차분사하여 혼합하는 복수의 연료노즐공이 분사체의 둘레를 따라 이격배치되며 마이크로 사이즈로 관통형성됨으로 인해, 수소가스 연소시 수소화염의 안정성이 향상되어 질소산화물(NOx)의 발생이 최소화 내지 저감될 수 있고, 단순하고 제작이 용이한 구조로 인해 제조비용 및 제조시간이 절감될 수 있으며 연소기에 대한 유지관리가 손쉽게 이

루어질 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 연소버너가 장착된 연소기가 설치된 가스터빈의 전체구조를 보여주는 도면이다.
- 도 2는 도 1의 연소기를 구성하는 본 발명의 실시예에 따른 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너를 도시한 사시도이다.
- 도 3은 도 2의 종단면도이다.
- 도 4는 도 3의 연소버너에 관통형성된 연료노즐공의 기하학적 구조에 따른 구조와 패턴을 3D 수치해석모델을 통해 분석하기 위해 하나의 연료노즐공을 기준으로 분할한 연소실 영역을 나타낸 도면이다.
- 도 5는 도 4의 연소실 영역을 기준으로 3D 수치해석모델을 통해 산출된 연료노즐공의 이격된 위치 및 직경에 따른 연소온도와 OH의 분포특성을 보여주는 시뮬레이션 결과이다.
- 도 6은 도 4의 연소실 영역을 기준으로 3D 수치해석모델을 통해 산출된 연료노즐공의 이격된 위치 및 직경에 따른 질소산화물(NOx)의 분포특성을 보여주는 시뮬레이션 결과이다.
- 도 7은 연료노즐공의 이격된 위치 및 직경에 따라 발생한 질소산화물(NOx)을 정량화한 그래프이다.
- 도 8은 다수개의 연소버너로 구성된 연소기를 도시한 사시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세하게 설명하면 다음과 같다. 다만, 본 발명을 설명함에 있어서, 이미 공지된 기능 혹은 구성에 대한 설명은, 본 발명의 요지를 명료하게 하기 위하여 생략하기로 한다.
- [0026] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 연소버너가 장착된 연소기가 설치된 가스터빈의 전체구조를 보여주는 도면이고, 도 2는 도 1의 연소기를 구성하는 본 발명의 실시예에 따른 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너를 도시한 사시도이고, 도 3은 도 2의 종단면도이고, 도 4는 도 3의 연소버너에 관통형성된 연료노즐공의 기하학적 구조에 따른 구조와 패턴을 3D 수치해석모델을 통해 분석하기 위해 하나의 연료노즐공을 기준으로 분할한 연소실 영역을 나타낸 도면이고, 도 5는 도 4의 연소실 영역을 기준으로 3D 수치해석모델을 통해 산출된 연료노즐공의 이격된 위치 및 직경에 따른 연소온도와 OH의 분포특성을 보여주는 시뮬레이션 결과이고, 도 6은 도 4의 연소실 영역을 기준으로 3D 수치해석모델을 통해 산출된 연료노즐공의 이격된 위치 및 직경에 따른 질소산화물(NOx)의 분포특성을 보여주는 시뮬레이션 결과이고, 도 7은 연료노즐공의 이격된 위치 및 직경에 따라 발생한 질소산화물(NOx)을 정량화한 그래프이고, 도 8은 다수개의 연소버너로 구성된 연소기를 도시한 사시도이다.
- [0027] 발명의 설명 및 청구범위 등에서 방향을 지칭하는 상(위쪽), 하(아래쪽), 좌우(옆쪽 또는 측방), 전(정,앞쪽), 후(배,뒤쪽) 등은 권리의 한정의 용도가 아닌 설명의 편의를 위해서 도면 및 구성 간의 상대적 위치를 기준으로 정한 것으로, 3개의 축은 서로 대응되게 회전하여 바뀔 수 있으며, 특별히 다르게 한정하는 경우 외에는 이에 따른다.
- [0029] 가스터빈(1)(gas turbine)은, 일반적으로 도 1에 도시된 바와 같이, 공기를 흡인하여 압축하는 압축기(20)와, 압축기(20)로부터 제공된 압축공기(A)를 연료와 혼합하여 연소시키는 연소기(10,10')와, 연소기(10,10')로부터 제공된 고온/고압의 연소가스에 의해 회전하는 터빈(30)과, 터빈(30)에 축결합된 샤프트 등으로 구성되는 회전 동력기관을 말한다.
- [0030] 여기서 연소기(10,10')는, 도 2 및 도 8에 도시된 바와 같이 일측을 통해 제공된 압축공기(A)와 연료가 소정의 당량비(비율)로 혼합되며 연소되는 연소실(12)을 형성하는 라이너(14)와, 라이너(14)의 내부 일측에 설치되어 연료를 분사하는 하나 또는 복수의 연소버너(100)로 구성될 수 있다.

- [0031] 위와 같이 연소기(10,10')를 구성하며 가스터빈(1)에 설치되는 본 발명에 따른 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너(100)는, 환경문제로 인해 점점 강화되는 법적 규제에 대응하여 질소산화물(NOx)의 발생을 최소화하는 한편, 연소시 수소화염의 안정성을 더욱 향상시키기 위해 안출된 발명이다.
- [0032] 상술한 바와 같은 기능 내지 작용을 구체적으로 구현하기 위해, 본 발명의 실시예에 따른 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너(100)는, 도 2 및 3에 도시된 바와 같이, 유입관(110), 확장부(120), 분사체(130) 및 연료노즐공(140) 등을 포함하는 관체형상으로 이루어져 연소실(12)로 제공되는 압축공기(A)의 유동 방향에 대하여 연료인 수소가스(G)를 교차분사(Jet In Cross Flow, JICF)하도록 라이너(14) 내측에 설치하게 된다.
- [0033] 즉, 이와 같은 본 발명의 실시예에 따른 연소버너(100)는, 종래 LPP 방식의 연소기(10,10')술처럼 연료인 수소가스(G)와 압축공기(A)를 복잡한 형상의 유로를 통해 예혼합(premixed)하는 것이 아니라, 수소가스(G)가 압축공기(A)의 유동경로 상에 교차분사(JICF)되도록 복수의 연료노즐공(140)을 소정의 직경으로 특정 위치에 단순히 관통형성하여 이루어지는 것이다.
- [0034] 이하에서는 상술한 각 구성들에 대하여 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0035] 여기서 유입관(110)은 연료공급장치(미도시)로부터 소정압력으로 제공되는 수소가스(G)를 공급받아 후술할 확장부(120)로 전달하는 관체형상의 구성요소로서, 확장부(120)나 분사체(130) 보다 작은 직경의 내부 유로를 갖도록 제작하게 된다.
- [0036] 이때, 유입관(110)의 내부 유로를 후술할 확장부(120)나 분사체(130)와 동일한 직경으로 제작하는 것이 아니라 작은 직경으로 제작한 이유는, 연료공급장치로부터 제공된 수소가스(G)를 분사체(130)로 신속하게 이송하기 위함이다.
- [0037] 이러한 유입관(110)은, 내열성과 내부식성이 우수한 금속소재로 제작되어 후술할 확장부(120)와 밀폐형 체결구를 통해 연결될 수 있다.
- [0038] 확장부(120)는, 상술한 유입관(110)의 단부에서 둘레방향으로 점차 확장되며 길이방향으로 연장형성되어 깔때기 형상을 이루게 되는 구성요소이다.
- [0039] 상술한 바와 같은 깔때기 형상의 확장부(120)가 유입관(110)에 연결됨으로 인해 좁은 유로의 유입관(110)을 빠르게 유동하던 수소가스(G)는, 와류를 형성하지 않고 점진적으로 유속이 저하된 후 후술할 분사체(130)의 넓은 내부공간에 도달할 수 있게 된다.
- [0040] 이때, 분사체(130)의 넓은 내부공간으로 유동하는 수소가스(G)의 유속변화는 유체역학의 연속방정식에 의해 쉽게 이해될 수 있는 내용이므로, 구체적인 설명은 생략하기로 한다.
- [0041] 이러한 확장부(120)는, 내열성과 내부식성이 우수한 금속소재로 제작되어 후술할 분사체(130)와 밀폐형 체결구 또는 용접 등의 접합가공에 의해 연결될 수 있다.
- [0042] 분사체(130)는, 상술한 유입관(110)과 확장부(120)를 통해 유속이 저하된 상태로 제공된 수소가스(G)가 후술할 연료노즐공(140)을 통해 연소실(12)로 분사되기 전까지 수소가스(G)를 저장하기 위해 마련된 구성요소로서, 일단부가 상술한 확장부(120)에 연통되고, 타단부가 막힌 원통형상으로 이루어져 내측에 수소가스(G)가 저장되는 내부공간을 형성하게 된다.
- [0043] 이때, 내부공간에 저장되는 수소가스(G)는, 연료공급장치로부터 송출되는 압력에 대응하여 내부공간에서 일정한 압력을 형성되고, 이로 인해 수소가스(G)는 후술할 연료노즐공(140)을 통해 연소실(12)로 토출될 수 있게 된다.
- [0044] 이러한 분사체(130)는, 내열성과 내부식성이 우수한 금속소재로 제작되어 상술한 확장부(120)와 밀폐형 체결구 또는 용접 등의 접합가공에 의해 연결될 수 있다.
- [0045] 연료노즐공(140)은 상술한 분사체(130)에 전달되어 저장된 수소가스(G)를 압축공기(A)와 균일하게 혼합 즉, 수소가스(G)를 혼합하기 위해 마련된 구성요소로서, 분사체(130)의 둘레를 따라 복수 개가 마이크로 사이즈로 관통형성되어 이루어질 수 있다.
- [0046] 여기서 마이크로 사이즈란, 통상 1mm이하의 크기를 지칭하므로, 연료노즐공(140) 자체는 미세한 구멍 형상을 이루게 된다.
- [0047] 본 발명의 실시예에 따라 분사체(130)에 형성되는 연료노즐공(140)의 관통방향은, 도 2에 도시된 바와 같이, 분

사체(130)와 라이너(14) 사이로 공급되는 압축공기(A)의 유동방향에 대하여 수소가스(G)가 교차되며 분사(Jet in Crossflow, JICF)될 수 있는 방향이면 충분할 수 있다.

- [0048] 다만, 균일하고 안정적인 수소가스(G)의 혼합을 위해, 분사체(130)에 형성되는 연료노즐공(140)의 관통방향은, 압축공기(A)의 유동방향에서 대략 80° 내지 100° 가 기울어진 방향일 수 있고, 바람직하게는 90° 가 기울어진 방향일 수 있다.
- [0049] 아울러 본 발명의 실시예에 따라 분사체(130)에 형성되는 연료노즐공(140)의 위치와 직경은, 이하에서 설명하는 바와 같이 소정범위로 제한됨으로써 최적화될 수 있다.
- [0050] 위와 같이 본 발명의 실시예에서 유동하는 압축공기(A)에 대하여 수소가스(G)가 교차분사(JICF)되도록 연료노즐공(140)을 형성하면서 연료노즐공(140)의 위치와 직경을 제한한 이유는, 종래 LPP(Lean Prevaporizing Premixed)방식의 연소제어시 발생하는 블로우아웃(Blow Out), 자발점화(Auto Ignition), 역화(Flash Back) 등과 같은 연소 화염의 불안정성 문제를 해결하는 한편, 질소산화물(NOx)의 발생을 10ppm 이하로 최소화하기 위함이다.
- [0051] 한편, 상술한 바와 같은 구조로 이루어진 본 발명의 실시예에 따른 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너(100)는, 도 2에 도시된 바와 같이 라이너(14)에 하나가 구비될 수 있고, 도 8에 도시된 바와 같이 가스터빈(1)의 출력을 높이기 위해, 라이너(14)에 복수 개가 구비될 수 있다.
- [0052] 또한, 연료노즐공(140)은, 도 2에 도시된 바와 같이 등간격으로 관통형성될 수 있지만, 도 8에 도시된 바와 같이, 분사체(130)의 둘레를 따라 지그재그로 이격배치되며 관통형성될 수도 있다.
- [0053] 이렇게 연료노즐공(140)을 지그재그 형태로 배치한 이유는, 서로 인접한 연료노즐공(140)에서 각각 분사되어 형성되는 수소화염이 서로 간섭 없이 원활하게 안정된 화염을 형성하도록 하기 위함이다.
- [0055] 본 발명의 실시예에 따라 소정범위로 최적화되는 연료노즐공(140)의 위치와 직경은, 도 3에 도시된 바와 같이 외경이 60mm인 원통형 분사체(130)의 끝단에서 확장부(120)의 방향으로 5mm 내지 25mm 이격된 위치(SL)에 형성되고, 분사체(130)의 둘레를 따라 0.6mm 내지 1.2mm의 직경으로 30개가 관통형성된 연료노즐공(140)을 전체로 분석된 3D 수치해석모델에 기반하여 산출될 수 있다.
- [0056] 여기서 3D 수치해석모델은, 연속방정식, 운동량보존방정식, 에너지보존방정식, 화학종 보존방정식을 지배방정식으로 하는 상용화된 전산 수치해석 프로그램인 Ansys fluent를 활용하고, Realizable k- ϵ 난류모델, EDC(Eddy-Dissipation Concept) 연소모델, 22개의 화학종과 104개의 화학반응으로 구성된 Reduced GRI-Mech 1.2 화학방정식을 적용하여 연료노즐공(140)의 기하학적 구조에 따른 화염구조와 패턴을 분석하게 된다.
- [0057] 이때, 연료인 수소가스(G)는 300K로 예열되고, 압축공기(A)는 560K로 예열되며, 압축공기(A) 및 수소가스(G)는 가스터빈(1) 운전에서 일반적인 0.4의 당량비(Equivalence Ratio, (실제 연소된 연료량)/(산소를 모두 사용한 이상적인 연료량))로 공급되는 등의 가스터빈(1)과 관련된 운전 조건은 3D 수치해석모델에 입력될 수 있다.
- [0058] 한편, 도 5 내지 도 7에서 연료노즐공(140)의 기하학적 구조에 따라 각각의 특성 등을 보여주는 시뮬레이션 결과는, 3D 수치해석에 소요되는 시간의 단축을 위해 하나의 연료노즐공(140)을 기준으로 분할한 연소실 영역(NAA)(길이 200mm, 115,000개의 격자)을 기초로 도시한 것으로, 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0059] 우선, 도 5는 하나의 연료노즐공(140)을 기준으로 분할한 연소실 영역(NAA)을 기준으로 3D 수치해석모델을 통해 산출된 연료노즐공의 이격된 위치(SL) 및 직경(HD)에 따른 연소온도(왼쪽)와 OH(오른쪽)의 분포특성을 보여주는 시뮬레이션 결과이다.
- [0060] 여기서 OH의 분포특성은 수소가스(G)와 공기(산소) 간의 연소반응시 최종생성되는 H₂O의 분포(물분율)를 나타내는 것으로, 연소반응의 균일성을 판단하는 지표로 이해될 수 있는데, 이는 연소시의 온도분포와 유사한 분포를 나타낸다.
- [0061] 이러한 도 5의 온도 및 OH 분포특성 시뮬레이션 결과에 따르면, 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 5mm(상단 그래프)이고, 직경이 0.6mm 내지 0.7mm인 경우, 온도 분포상 연소실(12)의 상단 영역에서 압축공기(A)의 유동방향을 따라 길고 안정적인 형태의 수소화염(붉은색 영역)이 형성되고, 온도분포에 상응하는 영역에서 활발한 연소반응이 이루어짐을 알 수 있다.

- [0062] 그리고 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 5mm(상단 그래프)이고, 직경이 0.8mm인 경우, 온도분포상 연소실(12)의 상단 영역에서 안정적인 수소화염이 일부 형성되나, 분사체(130)의 막힌 끝단에 인접하는 연소실(12)의 하단 영역에서 넓게 확산된 형태의 수소화염이 형성되고, 연소반응이 이루어짐을 알 수 있다.
- [0063] 그리고 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 5mm(상단 그래프)이고, 직경이 0.9mm 내지 1.2mm인 경우, 압축공기(A)의 유동방향을 따라 뚜렷하고 분명한 형태의 수소화염을 형성하지 못하고 연소실(12)의 상단에서 하단까지의 전체 영역에서 확산된 형태의 수소화염을 형성하고, 균일성 없는 연소반응이 연소실(12) 전체에서 이루어짐을 알 수 있다.
- [0064] 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 15mm(중단 그래프)인 경우의 연소온도(왼쪽)와 OH(오른쪽)의 분포특성은, 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 5mm(상단 그래프)인 경우와 대비시, 전체적으로 길이가 짧아진 국부적인 형태의 수소화염을 형성하게 된다.
- [0065] 다만, 연료노즐공의 직경(HD)이 0.9mm 이상인 경우, 수소화염이 연소실(12)의 하단 영역으로 약하게 확산되어 수소화염의 안정성이 다소 저하됨을 알 수 있다.
- [0066] 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 25mm(하단 그래프)인 경우의 연소온도(왼쪽)와 OH(오른쪽)의 분포특성은, 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 각각 5mm와 15mm인 경우와 대비시, 모든 연료노즐공의 직경(HD)에 대하여 대체적으로 집중된 형태의 수소화염을 형성하게 되는 경향이 있다.
- [0067] 구체적으로, 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 25mm(하단 그래프)이고 직경이 0.9mm인 경우, 불안정한 수소화염을 형성하던 5mm 및 15mm의 연료노즐공의 이격된 위치(SL)보다 확연히 안정된 형태의 수소화염을 형성함은 물론이고, 가장 짧은 길이로 국부적인 고온성(2000K) 수소화염을 가장 안정적으로 형성하고 있음을 알 수 있다.
- [0068] 그리고 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 25mm(하단 그래프)이고 직경이 1.0mm 내지 1.2mm인 경우, 일정한 형태로 상단부에 안정된 수소화염을 일부 형성하나, 연소실(12) 하단 영역으로 수소화염의 확산이 지속되는 것을 알 수 있다.
- [0069] 도 5에 도시된 연료노즐공의 이격된 위치(SL) 및 직경(HD)별 온도 및 OH 분포특성 시뮬레이션 결과를 종합해보면, 앞서 언급한 시뮬레이션 조건하에서 첫째, 상술한 연료노즐공의 직경(HD)과 무관하게 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 25mm로 길어질수록, 분사체(130)와 라이너(14) 사이로 공급되는 압축공기(A)와 교차분사(JICF)되는 수소가스(G) 간의 혼합 시간이 늘어나게 되므로, 연소실(12)의 하단 영역으로의 화염 확산이 감소되고, 상대적으로 안정적인 화염이 형성될 수 있게 된다.
- [0070] 둘째, 상술한 연료노즐공의 이격된 위치(SL)와 무관하게 연료노즐공의 직경(HD)을 0.6mm 내지 0.7mm로 형성하게 되면, 작은 직경으로 인해 연료노즐공(140)을 통해 분사되는 수소가스(G)의 분사압이 상대적으로 상승(연속방정식)하게 되므로, 연소실(12)의 하단 영역으로의 화염 확산이 차단되고, 상대적으로 뚜렷하고 안정적인 수소화염이 압축공기(A)의 유동방향을 따라 형성될 수 있게 된다.
- [0072] 다음으로, 도 6은 하나의 연료노즐공(140)을 기준으로 분할한 연소실 영역(NAA)에 대하여 3D 수치해석모델을 적용하여 산출한 질소산화물(NO_x)의 분포특성을 보여주는 시뮬레이션 결과이고, 도 7은 연료노즐공의 이격된 위치(SL) 및 직경(HD)에 따라 발생한 질소산화물(NO_x)을 정량화한 그래프이다.
- [0073] 이러한 도 6의 질소산화물(NO_x)의 분포특성 시뮬레이션 결과에 따르면, 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 5mm(상단 그래프)이고, 상대적으로 뚜렷하고 안정화된 화염을 형성하는 0.6mm 내지 0.7mm 직경의 연료노즐공(140)인 경우, 수소화염의 끝단 부분에 대응하는 연소실(12) 영역에 질소산화물(NO_x)이 소량 발생할 뿐, 나머지 연소실(12)에서는 질소산화물(NO_x)이 거의 발생하지 않고 있음을 알 수 있는데, 이때, 질소산화물(NO_x)의 정량화된 발생량은 도 7에 블록화된 III영역에 도시된 바와 같다.
- [0074] 그리고 불안정한 형태의 수소화염을 형성하는 0.8mm 직경의 연료노즐공(140)인 경우, 연소실(12) 하단 영역에 주로 질소산화물(NO_x)이 생성됨을 알 수 있는데, 이때, 질소산화물(NO_x)의 정량화된 발생량은 도 7에 블록화된 VI영역에 도시된 바와 같다.
- [0075] 그리고 연소실(12)의 하단 영역에서 넓게 확산된 형태의 수소화염을 형성하는 0.9mm 내지 1.2mm 직경의 연료노즐공(140)인 경우, 연소실(12) 전체에 걸쳐 다량의 질소산화물(NO_x)이 생성됨을 알 수 있는데, 이때, 질소산화물(NO_x)의 정량화된 발생량은 도 7의 좌측그래프의 상단부에 표시된 바와 같다.

- [0076] 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 15mm(중단 그래프)이고, 상대적으로 뚜렷하고 안정화된 수소화염을 형성하는 0.6mm 내지 0.7mm 직경과, 넓게 확산된 형태의 수소화염을 형성하는 0.9mm 내지 1.2mm 직경의 연료노즐공(140)인 경우, 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 5mm(상단 그래프)인 경우와 대비시, 전체적으로 유사한 연소실(12) 영역에서 질소산화물(NOx)을 생성하고 있음을 알 수 있는데, 이때, 정량화된 질소산화물(NOx)의 감소된 수준은 도 7의 좌측그래프에 표시된 바와 같다.
- [0077] 그리고 연소실(12)의 하단 영역으로의 확산이 억제되며 뚜렷하고 안정화된 수소화염을 형성하게 된 0.8mm 직경의 연료노즐공(140)은, 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 5mm(상단 그래프)인 경우와 대비시, 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 점차 증대되면, 질소산화물(NOx)을 유의미한 수준으로 저감하게 되는데, 이때, 질소산화물(NOx)의 감소된 수준은 도 7에 블록화된 VI영역의 변화추이에서 분명하게 확인할 수 있다.
- [0078] 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 25mm(하단 그래프)인 경우의 질소산화물(NOx)의 분포특성은, 연료노즐공의 이격된 위치(SL) 5mm 및 15mm인 경우와 대비시, 모든 연료노즐공의 직경(HD)(특히, 0.9mm 내지 1.2mm 직경의 연료노즐공(140) 경우)에 대하여 전체적으로 유의미한 수준으로 질소산화물(NOx)을 저감하게 되는데, 이는 도 7에 도시된 I영역에서 확인할 수 있다.
- [0079] 구체적으로 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 25mm(하단 그래프)이고, 상대적으로 뚜렷하고 안정화된 수소화염을 형성하는 0.6mm 내지 0.8mm 직경의 연료노즐공(140)은, 연료노즐공의 이격된 위치(SL) 15mm인 경우와 대비시, 전체적으로 비슷한 연소실(12) 영역에서 질소산화물(NOx)을 생성하는 것으로 분석되는데, 이때 정량화된 질소산화물(NOx)의 감소된 수준은 도 7에 블록화된 III영역에서 확인할 수 있다.
- [0080] 그리고 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 25mm(하단 그래프)이고, 가장 짧은 길이로 국부적인 고온성(2000K) 수소화염을 가장 안정적으로 형성하는 0.9mm 직경의 연료노즐공(140)은, 연소실(12) 전체에서 특정하기 어려울 정도로 질소산화물(NOx)의 생성을 뚜렷하게 저감하는 것으로 분석되는데, 이때, 질소산화물(NOx)의 감소된 수준은 도 7에 블록화된 II영역에서 분명하게 확인할 수 있다.
- [0081] 이상에서 살펴본 바와 같이, 도 5의 연료노즐공의 이격된 위치(SL) 및 직경(HD)별 연소온도(왼쪽)와 OH(오른쪽)의 분포특성, 도 6 및 도 7에 도시된 연료노즐공의 이격된 위치(SL) 및 직경(HD)별 질소산화물(NOx)의 생성 결과를 종합해보면, 앞서 언급한 시뮬레이션 조건하에서 다음과 같은 결과를 도출할 수 있다.
- [0082] 첫째, 모든 연료노즐공의 이격된 위치(SL)(5mm 내지 25mm)에 대하여 연료노즐공(140)을 0.6mm 내지 0.7mm의 직경으로 관통형성하게 되면, 질소산화물(NOx)의 발생을 한 자릿수(ppm)로 저감하는 효과가 발생하게 된다.
- [0083] 다만, 연료노즐공의 직경(HD)이 0.6mm보다 작아져 수소가스(G)의 분사압이 과도하게 커지게 되면, 수소화염의 길이가 길어져 오히려 다량의 질소산화물(NOx)이 생성되는 문제가 발생할 수 있다.(도 6 참조)
- [0084] 둘째, 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 25mm인 경우는, 모든 연료노즐공의 직경(HD)에 대하여 한 자릿수(ppm)로 저감된 질소산화물(NOx)을 생성하는 효과가 발생하게 된다.
- [0085] 이는 수소가스(G)의 분사압과 무관하게 수소가스(G)와 압축공기(A) 간의 혼합시간이 증대됨에 따른 것으로 이해될 수 있다.
- [0086] 셋째, 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 25mm이고 직경이 0.9mm인 연료노즐공(140)은, 본 발명의 시뮬레이션 조건하에서 질소산화물(NOx)의 생성을 가장 억제할 수 있는 기하학적 구조라고 할 수 있다.
- [0087] 이러한 결과는 도 5에 도시된 바와 같이 길이가 긴 안정된 수소화염을 형성하는 0.6mm 직경의 연료노즐공(140)과 비교할 때, 가장 짧은 길이로 국부적인 고온성(2000K) 수소화염을 가장 좁은 범위에서 안정적으로 형성함에 따른 것으로 이해될 수 있다.
- [0088] 넷째, 0.8mm 직경의 연료노즐공(140)을 10mm 내지 25mm의 이격된 위치(SL)에 관통형성하게 되면, 질소산화물(NOx)의 발생이 한 자릿수(ppm)의 유의미한 수준으로 저감되는 효과가 발생하게 된다.
- [0089] 이는 본 발명에서 최적의 기하학적 구조로 형성된 연료노즐공(140) 즉, 연료노즐공의 이격된 위치(SL)가 25mm이고 직경이 0.9mm인 연료노즐공(140)에 근사하는 압력으로 수소가스(G)를 분사하고, 이격된 위치(SL)에 대응하는 충분한 혼합시간으로 압축공기와 수소가스를 혼합하고 이를 연소시키기 때문인 것으로 이해될 수 있다.
- [0090] 이상에서 살펴본 바와 같이, 본 발명에 따르면 유동하는 압축공기(A)에 대하여 수소가스(G)를 교차분사(JICF)하여 혼합하는 복수의 연료노즐공(140)이 분사체(130)의 둘레를 따라 위와 같이 제한된 위치에 이격배치되며 관통형성됨으로 인해, 수소가스(G) 연소시 수소화염의 안정성이 향상되어 질소산화물(NOx)의 발생이 최소화 내지 저

감될 수 있고, 단순하고 제작이 용이한 구조로 인해 제조비용 및 제조시간이 절감될 수 있으며 연소기(10,10')에 대한 유지관리가 손쉽게 이루어질 수 있게 된다.

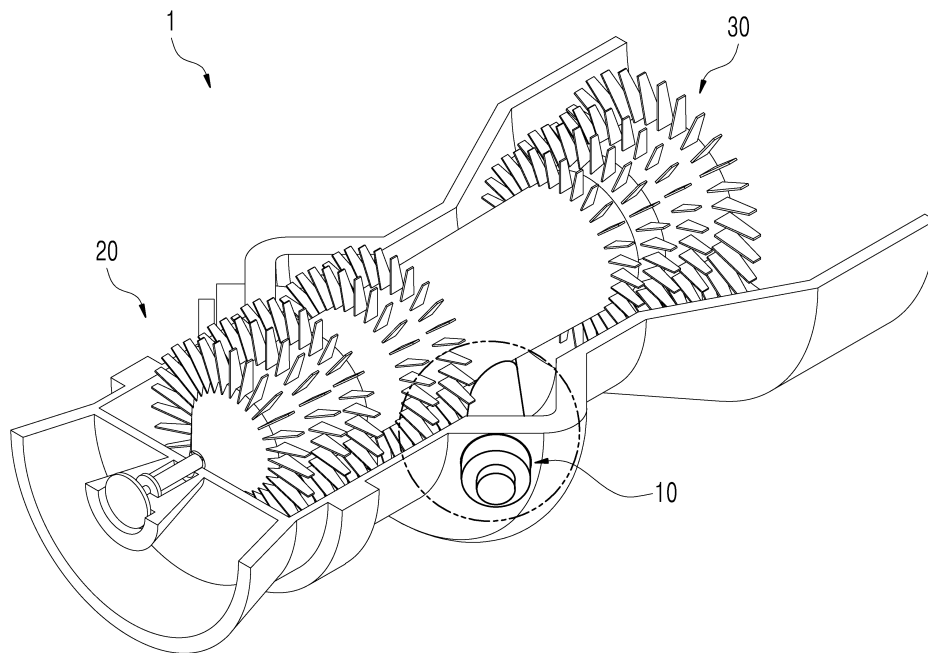
[0092] 앞에서, 본 발명의 특정한 실시예가 설명되고 도시되었지만 본 발명은 기재된 실시예에 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 다양하게 수정 및 변형할 수 있음은 이 기술의 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 일이다. 따라서, 그러한 수정예 또는 변형예들은 본 발명의 기술적 사상이나 관점으로부터 개별적으로 이해되어서는 안 되며, 변형된 실시예들은 본 발명의 특허청구범위에 속한다 하여야 할 것이다.

부호의 설명

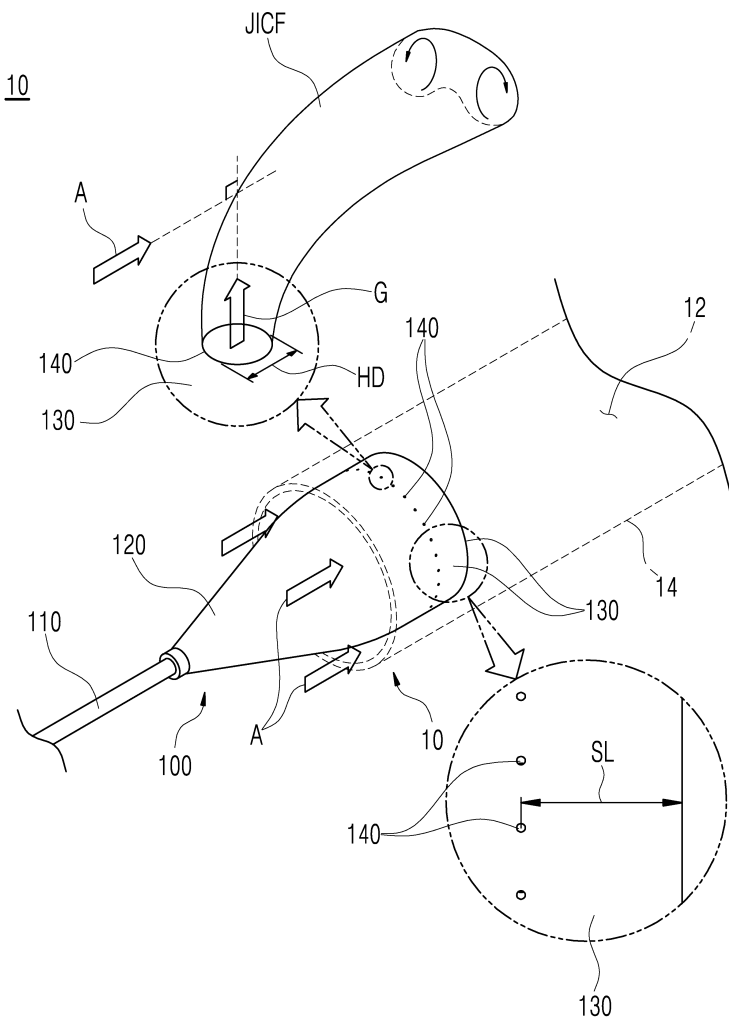
[0093] 1: 가스터빈
 10,10': 연소기
 12: 연소실
 14: 라이너
 20: 압축기
 30: 터빈
 100: 질소산화물 저감형 가스터빈용 마이크로 수소화염 연소버너
 A: 압축공기
 G: 수소가스(연료)
 JICF: 교차분사에 의한 혼합(Jet in Crossflow, JICF)
 110: 유입관
 120: 확장부
 130: 분사체
 140: 연료노즐공
 SL: 연료노즐공의 이격된 위치
 HD: 연료노즐공의 직경
 NAA: 하나의 연료노즐공을 기준으로 분할한 연소실 영역

도면

도면1

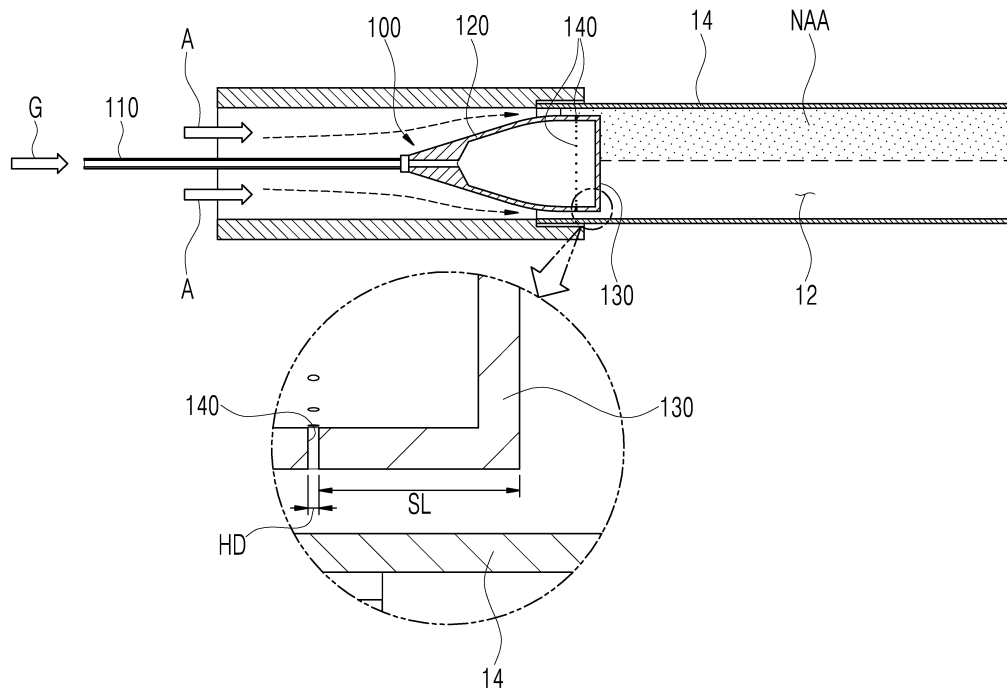


도면2

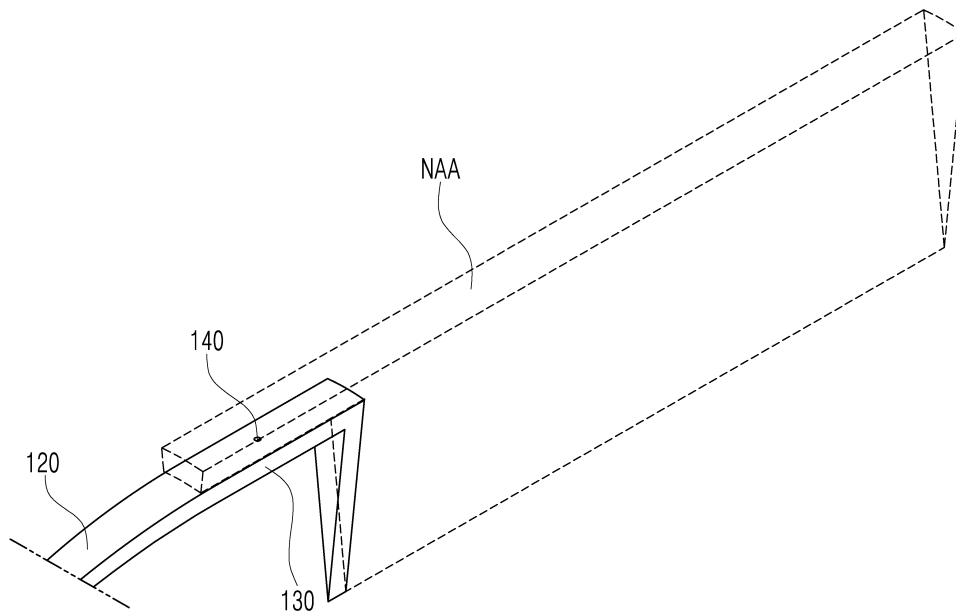


도면3

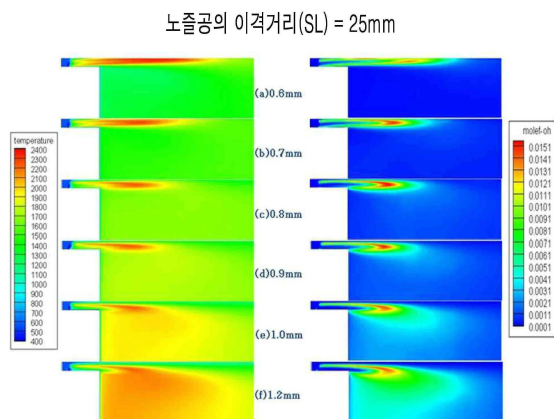
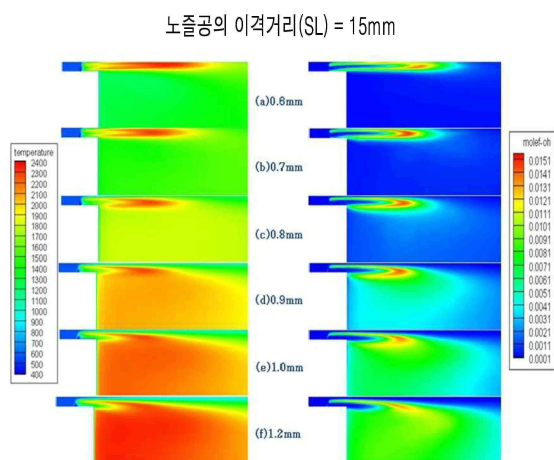
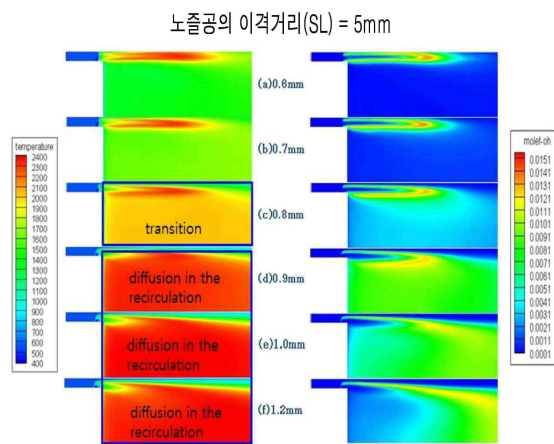
10



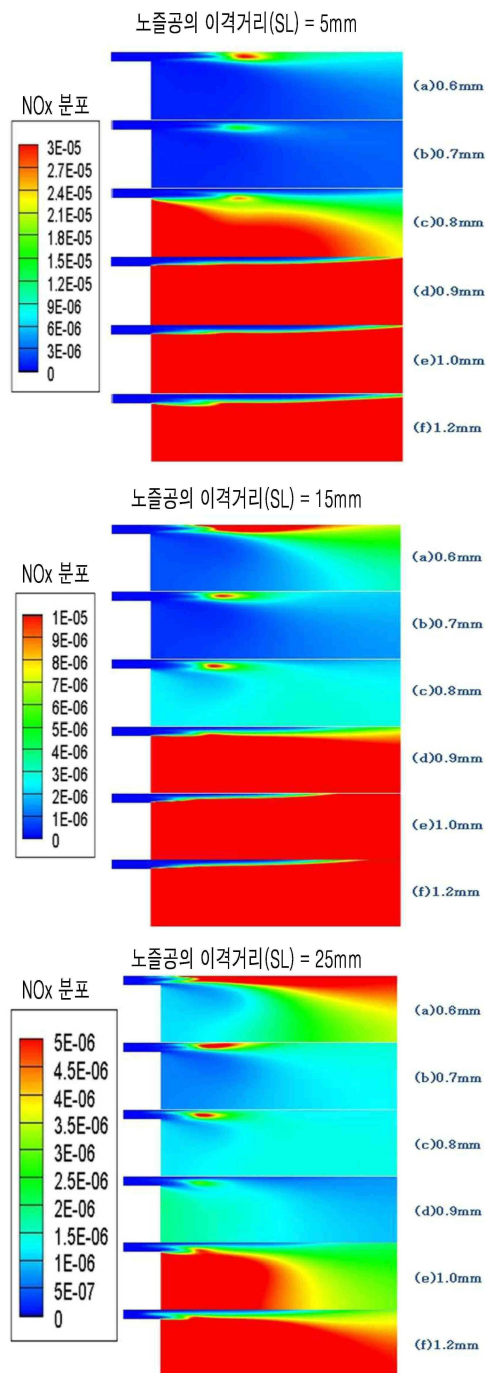
도면4



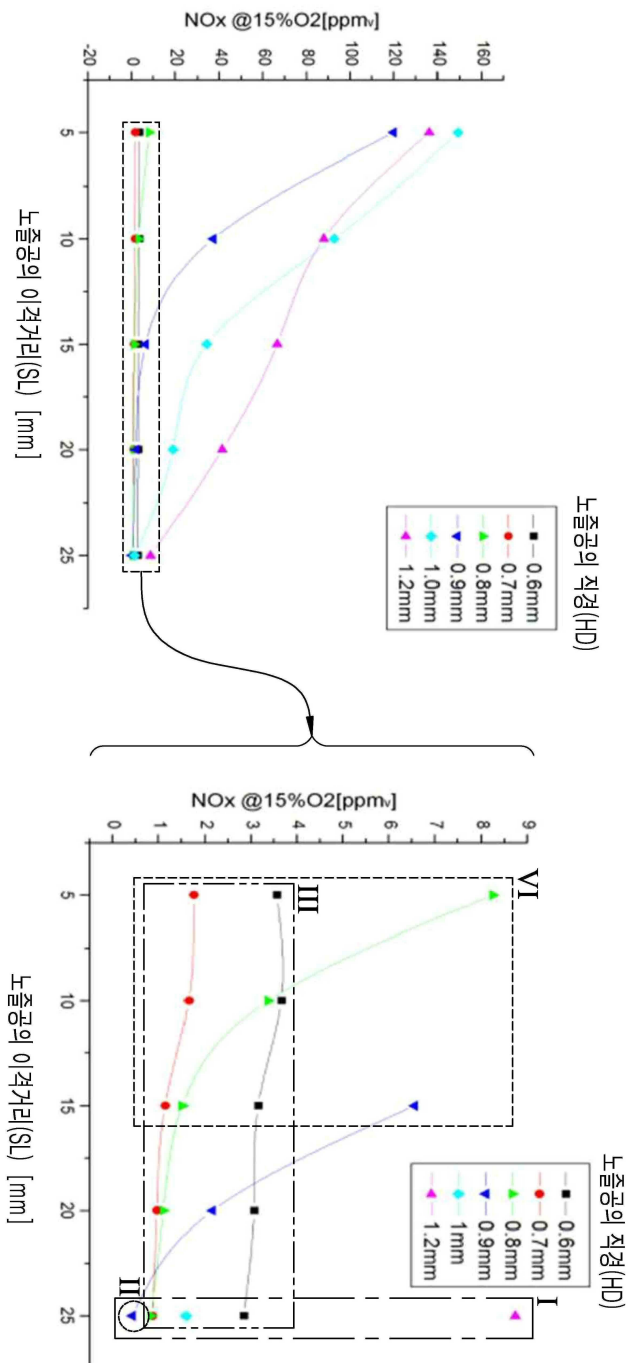
도면5



도면6



도면7



도면8

