



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0100313
(43) 공개일자 2013년09월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

F01D 5/08 (2006.01) F01D 5/18 (2006.01)
F01D 25/14 (2006.01) F02C 3/34 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-7009527

(22) 출원일자(국제) 2011년09월20일

심사청구일자 **없음**

(85) 번역문제출일자 2013년04월15일

(86) 국제출원번호 PCT/US2011/052375

(87) 국제공개번호 WO 2012/040214

국제공개일자 2012년03월29일

(30) 우선권주장

13/236,240 2011년09월19일 미국(US)
(뒷면에 계속)

(71) 출원인

팔미 램스, 엘엘씨

미국 27701 노스캐롤라이나주 더럼 300 폴러 스트리트

8 리버스 캐피탈, 엘엘씨

미국 27701 노스캐롤라이나주 더럼 300 폴러 스트리트

(72) 발명자

팔미, 마일스 알.

미국 27516 노스캐롤라이나주 채플 힐 호건 우즈 씨클 203

알람, 로드니 존

영국 에스엔14 6엘와이 치픈햄 월트셔 랜힐 랜힐 하우스

페트베트, 제레미 에론

미국 27612 노스캐롤라이나주 르리 던디 플레이스 4805

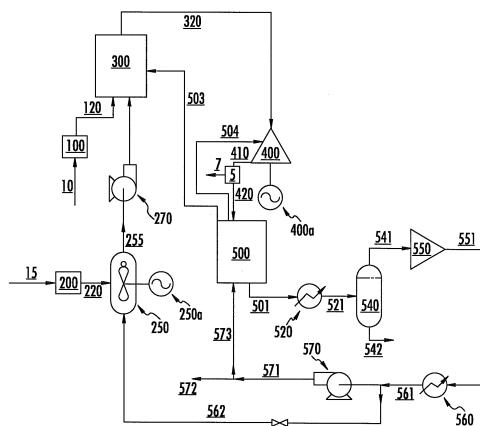
(74) 대리인

박영우

전체 청구항 수 : 총 68 항

(54) 발명의 명칭 **고효율 전력 생산 방법들, 어셈블리들 및 시스템들****(57) 요약**

본 발명은 미립자들에 의한 터빈 날개의 기계적 침식 또는 연소 생성물 흐름 내의 가스들에 의한 화학적 침식의 제어, 감소 또는 제거를 야기하여 증가된 효율과 보다 낮은 비용의 구성 요소들을 가능하게 할 수 있는 전력 생산을 위한 방법들, 어셈블리들 및 시스템들을 제공한다. 상기 방법들, 어셈블리들 및 시스템들은 통상적인 전력 생산 시스템에 사용되는 종래의 터빈들에 비하여 상당히 감소된 날개 속도에서 동작하는 터빈 날개들의 사용을 포함할 수 있다. 상기 방법들과 시스템들은 또한 상기 터빈 및/또는 다른 구성 요소들의 분출 보호를 위하여 재순환되는 순환 유체를 이용할 수 있다. 또한, 재순환되는 순환 유체는 상기 터빈에 세정 물질을 제공하도록 적용될 수 있다.

대 표 도 - 도1

(30) 우선권주장

61/385,039 2010년09월21일 미국(US)

61/385,047 2010년09월21일 미국(US)

61/437,330 2011년01월28일 미국(US)

특허청구의 범위

청구항 1

- 연소 생성물 흐름을 수용하도록 구성되는 유입구 및 유출구를 한정하는 케이싱(casing);
 상기 케이싱 내에 위치하는 로터(rotor); 및
 상기 로터로부터 연장되는 복수의 날개들을 구비하는 복수의 구성 요소들을 포함하며,
 (1) 상기 구성 요소들의 하나 또는 그 이상이 다공성의 소결된 물질을 포함하고, 상기 다공성의 소결된 물질은 이를 통해 분출 유체를 안내하도록 구성되며,
 (2) 상기 날개들의 평균 직경에 대한 터빈 어셈블리의 길이의 비율이 약 4 보다 크다는 상기 조건들의 하나 또는 모두를 충족하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 조건 (1)이 충족되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 날개들의 외부 표면의 전체를 한정하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 4

제 2 항에 있어서, 상기 케이싱은 상기 다공성의 소결된 물질을 포함하며, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 케이싱의 내부 표면에 상기 분출 유체를 안내하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 5

제 2 항에 있어서, 상기 로터는 상기 다공성의 소결된 물질을 포함하며, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 로터의 외부 표면에 상기 분출 유체를 안내하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 6

제 2 항에 있어서, 상기 로터는 상기 로터 주위의 상기 연소 생성물 흐름을 전환시키도록 구성되는 고리 형상의 흐름 전환기(flow diverter)를 포함하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 7

제 2 항에 있어서, 상기 하우징의 유입구에 연결되고 연소기의 유출구에 연결되어 이로부터 상기 연소 생성물을 수용하도록 구성되는 유입 도관(inlet conduit)을 더 포함하며,

상기 유입 도관은 상기 다공성의 소결된 물질을 포함하고, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 유입 도관의 내부 표면에 상기 분출 유체를 안내하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 8

제 2 항에 있어서, 상기 케이싱의 유입구는 연소기 어셈블리의 유출구에 직접 연결되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 상기 케이싱의 유입구는 상기 로터에 의해 한정되는 장축(major axis)에 대하여 방사형으로 배치되는 복수의 연소기들로부터 상기 연소 생성물 흐름을 수용하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 10

제 2 항에 있어서, 상기 날개들은 상기 다공성의 소결된 물질을 포함하며, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 날개들의 외부 표면에 상기 분출 유체를 안내하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 11

제 10 항에 있어서, 상기 날개들은 각기 적어도 하나의 강화 부재(reinforcement member)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 12

제 11 항에 있어서, 상기 강화 부재는 각각의 상기 날개들 내의 상기 다공성의 소결된 물질을 통해 연장되는 로드(rod)를 포함하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 13

제 12 항에 있어서, 상기 강화 부재는 코어(core)를 포함하며,

상기 다공성의 소결된 물질은 상기 코어 주위로 연장되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 14

제 13 항에 있어서, 상기 코어는 상기 분출 유체를 수용하고 상기 분출 유체를 상기 다공성의 소결된 물질 내로 안내하도록 구성되는 하나 또는 그 이상의 채널들을 한정하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 15

제 10 항에 있어서, 상기 하나 또는 그 이상의 채널들이 상기 날개들 내에 한정되며,

상기 채널들은 상기 분출 유체를 수용하고 상기 분출 유체를 상기 다공성의 소결된 물질 내로 안내하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 16

제 10 항에 있어서, 상기 날개들 각각은 리딩 에지(leading edge)로부터 트레일링 에지(trailing edge)까지 연장되며,

상기 날개들은 상기 트레일링 에지에서 상기 분출 유체의 흐름 보다 큰 상기 리딩 에지에서 상기 분출 유체의 흐름을 한정하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 17

제 16 항에 있어서, 상기 날개들 각각은 상기 트레일링 에지에서 분출 유체 면적 보다 큰 상기 리딩 에지에서 분출 유체 면적을 한정하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 18

제 16 항에 있어서, 상기 날개들 각각은 상기 리딩 에지에서 보다 상기 트레일링 에지에서 큰 벽 두께를 한정하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 19

제 10 항에 있어서, 상기 날개들 각각은 상기 로터에서 루트(root)로부터 팁(tip)까지 연장되며,

상기 다공성의 소결된 물질은 상기 루트와 상기 팁 사이에서 변화하는 공극률을 한정하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 20

제 19 항에 있어서, 상기 다공성의 소결된 물질의 공극률은 상기 루트에서 상기 분출 유체의 흐름 보다 큰 상기 팁에서 상기 분출 유체의 흐름을 한정하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 21

제 19 항에 있어서, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 루트에서 상기 분출 유체의 흐름과 실질적으로 동일한 상기 텁에서 분출 유체의 흐름을 한정하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 22

제 19 항에 있어서, 상기 다공성의 소결된 물질은 복수의 층들을 한정하며, 상기 층들의 공극률은 상기 루트로부터 상기 텁까지 증가하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 23

제 10 항에 있어서, 상기 날개들은 각기 복수의 내부 리브들(ribs)을 포함하는 통합 구조(integral structure)를 한정하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 24

제 2 항에 있어서, 상기 구성 요소들은 복수의 스테이터들(stators)을 더 포함하며, 상기 스테이터들은 상기 다공성의 소결된 물질을 포함하고, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 스테이터들의 외부 표면에 상기 분출 유체를 안내하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 25

제 2 항에 있어서, 하나 또는 그 이상의 씰들(seals)을 더 포함하며, 상기 구성 요소들의 하나 또는 그 이상은 상기 씰들로 상기 분출 유체를 안내하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 26

제 25 항에 있어서, 상기 씰들은 상기 다공성의 소결된 물질을 포함하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 27

제 1 항에 있어서, 상기 조건 (2)를 충족시키는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 28

제 27 항에 있어서, 상기 터빈 날개들은 약 0.275m 보다 작은 날개 높이를 가지는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 29

제 27 항에 있어서, 상기 터빈 어셈블리는 약 2,000 보다 작은 날개들을 포함하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 30

제 27 항에 있어서, 상기 날개들은 분출 보호되는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 31

제 30 항에 있어서, 상기 날개들은 상기 날개들의 외부 표면에 분출 유체를 안내하도록 구성되는 다공성의 소결된 물질을 포함하는 것을 특징으로 하는 터빈 어셈블리.

청구항 32

연료, O₂ 및 CO₂ 순환 유체를 연소기 내로 도입하는 단계;

CO₂를 포함하는 연소 생성물 흐름을 제공하도록 상기 연료를 연소시키는 단계;

동력을 발생시키고 터빈 배출 흐름을 출력하도록 상기 터빈을 가로질러 상기 연소 생성물을 팽창시키는 단계;

상기 CO₂ 순환 유체의 적어도 일부를 상기 연소기 내로 재순환시키도록 상기 터빈 배출 흐름을 처리하는 단계;

재순환되는 상기 CO_2 순환 유체의 일부를 인출하는 단계; 및

상기 재순환되는 CO_2 순환 유체를 분출 유체로 사용하는 단계를 포함하는 발전 방법.

청구항 33

제 32 항에 있어서, 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체를 상기 분출 유체로 사용하는 단계는 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체를 상기 터빈 내로 분출시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 34

제 32 항에 있어서, 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체를 상기 분출 유체로 사용하는 단계는 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체를 상기 연소기 내로 분출시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 35

제 32 항에 있어서, 상기 연소 생성물 흐름을 상기 연소기로부터 도관을 통해 상기 터빈으로 안내하는 단계를 더 포함하며,

상기 재순환되는 CO_2 순환 유체를 상기 분출 유체로 사용하는 단계는 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체를 상기 도관 내로 분출시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 36

제 32 항에 있어서, 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체를 상기 연소 생성물 흐름의 온도 보다 낮은 온도로 조절하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 37

제 32 항에 있어서, 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체를 상기 연소 생성물 흐름의 온도와 실질적으로 동일한 온도로 조절하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 38

제 32 항에 있어서, 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체를 상기 연소 생성물 흐름의 온도 보다 높은 온도로 조절하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 39

발전 시스템에 있어서,

연료, O_2 및 CO_2 순환 유체 흐름을 수용하고, 상기 CO_2 순환 유체 흐름의 존재에서 상기 연료를 연소시키고 CO_2 를 포함하는 연소 생성물을 제공하는 적어도 하나의 연소 스테이지를 갖도록 구성되는 연소기;

상기 연소기와 유체 연통하는 터빈을 포함하고, 상기 터빈은 상기 연소 생성물 흐름을 수용하는 유입구, CO_2 를 포함하는 터빈 배출 흐름을 방출하는 유출구 및 복수의 터빈 날개들을 구비하며,

재순환되는 CO_2 순환 유체 흐름을 형성하도록 상기 터빈 배출 흐름을 처리하도록 구성되는 하나 또는 그 이상의 구성 요소들을 포함하며,

상기 시스템의 상기 하나 또는 그 이상의 구성 요소들은 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체 흐름의 일부를 분출 유체로 사용하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 40

제 39 항에 있어서, 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체 흐름을 형성하도록 상기 터빈 배출 흐름을 처리하도록 구성되는 상기 하나 또는 그 이상의 구성 요소들은 필터를 포함하는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 41

제 40 항에 있어서, 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체 흐름을 형성하도록 상기 터빈 배출 흐름을 처리하도록 구성되는 상기 하나 또는 그 이상의 구성 요소들은 열 교환기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 42

제 41 항에 있어서, 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체 흐름을 형성하도록 상기 터빈 배출 흐름을 처리하도록 구성되는 상기 하나 또는 그 이상의 구성 요소들은 분리기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 43

제 42 항에 있어서, 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체 흐름을 형성하도록 상기 터빈 배출 흐름을 처리하도록 구성되는 상기 하나 또는 그 이상의 구성 요소들은 압축기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 44

제 39 항에 있어서, 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체 흐름의 일부를 상기 분출 유체로서 사용하도록 구성되는 상기 하나 또는 그 이상의 구성 요소들은 그를 통해 상기 분출 유체를 수용하도록 구성되는 다공성의 소결된 물질을 포함하는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 45

제 39 항에 있어서, 상기 터빈 날개들은 약 0.275m 보다 작은 날개 높이를 가지는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 46

제 39 항에 있어서, 상기 터빈은 약 2,000개 보다 작은 수의 터빈 날개들을 포함하는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 47

제 39 항에 있어서, 상기 날개들의 평균 직경에 대한 상기 터빈의 길이의 비율은 약 4 보다 큰 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 48

연소기 내로 연료, O_2 및 순환 유체를 도입하는 단계;

상기 순환 유체와 미립자들의 함량을 가지며, 한정된 속도에서 흐르는 연소 생성물 흐름을 제공하도록 상기 연소기 내에서 상기 연료를 연소시키는 단계; 및

동력을 발생시키고 터빈 배출 흐름을 출력시키도록 복수의 날개들을 구비하는 터빈을 가로질러 상기 연소 생성물을 팽창시키는 단계를 포함하며, 상기 터빈은 상기 터빈 날개들이 약 500mph 보다 작은 날개 속도로 회전하도록 동작되는 것을 특징으로 하는 발전 방법.

청구항 49

제 48 항에 있어서, 상기 터빈 배출 흐름을, 상기 터빈 배출 흐름에 포함된 미립자들의 전부를 실질적으로 제거하고, 여과된 배출 흐름을 형성하도록 구성되는 필터를 통과시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 50

제 49 항에 있어서, 냉각된 터빈 배출 흐름을 제공하도록 여과된 터빈 배출 흐름을 열 교환기를 통과시키는 단계;

상기 터빈 배출 흐름의 하나 또는 그 이상의 성분들을 인출하도록 냉각된 터빈 배출 흐름을 처리하는 단계; 및

가열되고 재순환되는 순환 유체 흐름을 제공하도록 처리된 터빈 배출 흐름을 상기 열 교환기를 다시 통과시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 51

제 50 항에 있어서, 가열되고 재순환되는 순환 유체 흐름의 적어도 일부를 상기 연소기로 안내하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 52

제 50 항에 있어서, 가열되고 재순환되는 순환 유체 흐름의 적어도 일부를 상기 터빈으로 안내하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 53

제 50 항에 있어서, 가열되고 재순환되는 순환 유체 흐름의 적어도 일부를 세정 물질 유닛으로 안내하는 단계를 더 포함하며, 상기 가열되고 재순환되는 순환 유체 흐름은 세정 물질 흐름을 형성하도록 세정 물질과 결합하고, 상기 세정 물질 흐름 내의 상기 세정 물질은 상기 연소 생성물 흐름 내에 존재하는 미립자들의 함량으로부터 일어나는 상기 터빈 날개들 상의 침적물을 제거하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 54

제 53 항에 있어서, 상기 세정 물질 흐름은 상기 터빈 내로 직접 투입되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 55

제 53 항에 있어서, 상기 세정 물질 흐름은 상기 터빈 내로 안내되는 결합된 연소 생성물 및 세정 물질 흐름을 형성하도록 상기 연소 생성물 흐름과 결합되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 56

제 48 항에 있어서, 상기 순환 유체는 CO_2 를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 57

제 56 항에 있어서, 상기 CO_2 는 초임계 상태로 제공되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 58

제 48 항에 있어서, 슬러리 형태의 추가적인 연료를 형성하도록 상기 여과된 터빈 배출 흐름을 미립자의 고체상의 연료와 결합시키는 단계; 및

상기 추가적인 연료를 상기 연소기로 도입하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 59

제 50 항에 있어서, 재순환되는 상기 순환 유체의 적어도 일부를 분출 유체로 사용하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 60

제 59 항에 있어서, 재순환되는 상기 순환 유체를 상기 분출 유체로 사용하는 단계는 상기 분출 유체를 상기 터빈 날개들의 외부 표면으로 분출시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 61

제 60 항에 있어서, 상기 분출 유체를 상기 터빈 날개들의 외부 표면으로 분출시키는 단계는 상기 분출 유체를 다공성의 소결된 물질을 통해 분출시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 62

연료, O_2 및 순환 유체를 수용하며, 상기 연료를 연소시키고 상기순환 유체 및 미립자들의 함량을 포함하는 연소 생성물 흐름을 제공하는 적어도 하나의 연소 스테이지를 갖는 연소기;

상기 연소기와 유체 연통하는 터빈을 포함하고, 상기 터빈은 상기 연소 생성물 흐름을 수용하는 유입구, 터빈 배출 흐름을 방출하는 유출구 및 상기 터빈이 약 500mph 보다 작은 날개 속도에서 동작하도록 충분한 치수들을 갖는 복수의 터빈 날개들을 구비하며,

상기 터빈의 상기 유출구와 유체 연통하고, 여과된 터빈 배출 흐름을 제공하도록 구성되는 필터를 포함하는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 63

제 62 항에 있어서, 상기 필터와 유체 연통되고, 상기 여과된 터빈 배출 흐름을 수용하도록 구성되는 열 교환기를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 64

제 63 항에 있어서, 상기 열 교환기와 유체 연통되는 세정 물질 유닛을 더 포함하며, 상기 세정 물질 유닛은 세정 물질 흐름을 형성하도록 세정 물질을 상기 열 교환기로부터 수용되는 연료 흐름과 결합시키도록 구성되는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 65

제 64 항에 있어서, 결합된 연소 생성물 및 세정 물질 흐름을 형성하도록 상기 세정 물질을 상기 연소 생성물 흐름과 결합시키고, 상기 결합된 연소 생성물 및 세정 물질 흐름을 상기 터빈으로 안내하도록 구성되는 흐름 결합기 스위치(flow combiner switch)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 66

제 62 항에 있어서, 상기 날개들은 다공성의 소결된 물질을 포함하며, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 날개들의 외부 표면에 분출 유체를 안내하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 67

제 66 항에 있어서, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 날개들의 외부 표면의 전체를 한정하는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

청구항 68

제 66 항에 있어서, 상기 터빈은 로터를 포함하며,

상기 로터는 상기 다공성의 소결된 물질을 포함하고, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 로터의 외부 표면에 상기 분출 유체를 안내하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 발전 시스템.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 전력 생산 방법들 및 시스템들에 사용될 수 있는 터빈과 연소기 구성 요소들을 제공한다. 본 발명은 또한 전력 생산에서 이러한 터빈과 연소기들을 사용하는 방법들을 제공한다.

배경 기술

[0002] 가스 터빈들은 터빈 축을 회전시키도록 터빈 내에 존재하는 날개들을 가로질러 안내되는 연소 가스들의 흐름으로부터 에너지를 추출하는 전력 생산 시스템들과 방법들에 통상적으로 사용된다. 에너지는 전기의 형태로 동력을 제공하는 발전기에 의해 회전하는 축으로부터 추출될 수 있다. 통상적인 전력 생산 플랜트들(예를 들면, 석탄 연소 발전소들)에서 가스 터빈들이 동작되는 극한의 조건들(예를 들면, 높은 온도들과 침식성 및/또는 부식성 물질들의 존재)로 인하여, 가스 터빈 구성 요소들은 일반적으로 고성능의 물질들로 형성된다. 따라서, 가스 터빈들은 종종 전력 생산 설비들의 높은 비용의 구성 요소들이 된다.

[0003] 현재의 터빈들은 약 1,200°C 내지 약 1,400°C의 유입구 온도들에서 약 900°C 내지 약 1,000°C의 날개 온도들로 동작할 수 있다. 따라서, 전력 생산 설비들 내에서 동작하는 가스 터빈들은 통상적으로 높은 온도에서 견디는 초내열 합금(superalloy) 물질들의 사용을 요구하게 된다. 더욱이, 가장 진보된 응용들을 위하여, 방향성을 갖고 고체화되는 물질들과 심지어는 단결정 날개 기술과 같은 발전된 제조 기술과 함께 날개 냉각(blade cooling) 또한 요구된다. 날개 냉각은 터빈 온도 내성과 이에 따른 효율을 향상시키는 데 도움이 되게 이용되지만, 이러한 공정은 단지 공기 또는 일부 경우들에서는 증기(steam)가 냉각을 위해 이용 가능하였던 사실에서 한계가 있다. 냉각을 위해 사용할 수 있는 공기의 양은 상기 터빈 날개들을 통해 상기 공기와 때때로 증기를 압축하고 펌핑하는 데 사용 가능한 에너지의 양에 의해 제한된다. 더욱이, 상기 공기는 통상적으로, 예를 들면, 대기 압력에 근접한 제한된 압력에서 제공되며, 이에 따라 심지어는 높은 유량에서 제한된 열전달 능력을 가지게 된다. 또한, 공기는 높은 온도들에서 매우 반응성이 있는 많은 양의 산소를 함유하며, 이는 초내열 합금과 같은 높은 내산화성 물질들에 한정되는 터빈 날개 야금학을 요구하는 다른 요인이 된다. 따라서, 발전된 물질들과 냉각의 이용에도 불구하고 가스 터빈 날개들은 산화성과 일부 경우들에서는 증기 열화에 의해 여전히 문제가 된다.

[0004] 화석 연료 공급원들이 고갈되어 가는 반면, 전력 생산에 사용될 수 있는 방대한 석탄의 비축이 남아 있지만, 이러한 고체 연료들의 연소는 오염 문제뿐만 아니라 전력 생산 시스템들의 구성 요소들, 특히 터빈 날개들에 손상을 일으킬 수 있는 미립자들을 야기한다. 이러한 손상은, 예를 들면, 600mph(268m/s)까지 및 이를 초과하는 높은 속도들에서 특히 연소 생성물 흐름들 내의 입자들이 터빈 날개들에 충격을 가하는 점을 유발한다. 이러한 손상을 완화시키는 이전의 시도들은 상기 터빈을 통과하기 이전에 연소 생성물 흐름들로부터 미립자들을 제거하는 여과 시스템들을 위한 요구뿐만 아니라 전술한 바와 같이 날개 구성에의 고성능의 물질의 사용을 포함하였다. 그러나, 이러한 요구 사항들은 전력 생산 시스템의 비용을 증가시킨다. 또한, 이러한 요구 사항들은 전력 생산 시스템들의 복잡성을 증가시킬 수 있고, 전력 생산 방법들의 효율을 감소시킬 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 이에 따라, 적어도 종래 기술의 전술한 한계들을 극복할 수 있는 개선된 가스 터빈 날개 기술에 대한 필요성이 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명은 공기와 증기(steam)에 의하여 및 연소 생성물 흐름 내의 미립자들로 인한 기계적 침식에 의한 터빈 날개의 화학적 열화의 제어, 감소 또는 제거를 야기하여 증가된 효율과 보다 낮은 비용의 구성 요소들을 가능하게 할 수 있는 전력 생산을 위한 방법들, 어셈블리들 및 시스템들을 제공한다. 상기 방법들, 어셈블리들 및 시스템들은 보다 높은 압력의 유체 흐름들 및/또는 날개 속도와 날개 온도의 실질적인 감소를 갖는 요구되는 발전을 가능하게 하는 증가된 전체 날개 면적을 갖는 터빈 날개들의 사용을 포함할 수 있다. 본 발명은 특히 종래의 전력 생산 시스템에 사용되는 터빈들에 비하여 적어도 하나의 치수에서 상당히 작고 보다 냉각된 날개들을 갖는 터빈들을 제공한다. 이러한 터빈들은 특히 전력 생산 방법이나 시스템 내로 포함될 수 있다. 예를 들면, 상기 방법들 또는 시스템들은 CO₂ 순환 유체(circulating fluid)와 같은 높은 압력과 높은 재순환 비율의 순환 또는 작동 유체(working fluid)의 사용을 포함하는 하나가 될 수 있다. 또한, 날개 냉각 기술은 입자 충돌이나 상기 터빈 날개들의 화학적 열화로부터 일어나는 침식을 제어, 감소 또는 제거하는 온도들, 압력들 및 속도들 범위 내의 터빈 동작의 주문 제작을 가능하게 하도록 날개 설계, 동작 압력 및 동작 속도와 결합될 수 있다. 특히, 상기 터빈 날개들은 상기 터빈 날개들을 통한 분출 유체(예를 들면, 재순환되는 작동 유체)의 통로를 경유하는 분출 보호(transpiration protection)를 포함할 수 있다. 이러한 분출 보호는 상기 분출 유체가 사용되는 온도에 따라 날개 냉각을 포함할 수 있다. 상기 터빈 날개들이 종래의 전력 생산 시스템들 내의 터빈 날개들과 비교하여 상당히 감소된 속도에서 회전할 수 있기 때문에, 본 발명은 침식의 감소, 증가된 터빈 수명 및 날개 길이 요구 사항들의 감소를 제공할 수 있다. 더욱이, 본 발명의 터빈들은 보다 높은 효율과 보다 낮은 온도들에서 동작할 수 있으며, 이는 보다 낮은 비용, 보다 긴 실제 사용 시간 및 보다 낮은 연료 사용을 가능하게 한다.

[0007] 특정한 일 실시예에 있어서, 발전 방법이 제공된다. 상기 방법은 연소기 내로 연료, O₂ 및 순환 유체를 도입하는 단계, 상기 순환 유체와 미립자들의 함량을 포함하여, 한정된 속도로 흐르는 연소 생성물 흐름을 제공하도록 상기 연소기 내에서 상기 연료를 연소시키는 단계, 그리고 동력을 발생시키고 터빈 배출 흐름을 출력하도록 복수의 날개들을 구비하는 터빈을 가로질러 상기 연소 생성물 흐름을 팽창시키는 단계를 포함할 수 있으며, 상기 터

빈은 약 500mph 보다 작은 날개 속도에서 상기 터빈 날개들이 회전하도록 동작할 수 있다.

- [0008] 상기 방법은 상기 터빈 배출 흐름을 상기 연소 생성물 흐름 내에 함유된 상기 미립자들의 전부를 실질적으로 제거하고 여과된 터빈 배출 흐름을 형성하도록 구성되는 필터를 통해 통과시키는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 방법은 또한 냉각된 터빈 배출 흐름을 제공하도록 상기 여과된 터빈 배출 흐름을 열 교환기를 통해 통과시키는 단계, 상기 터빈 배출 흐름의 하나 또는 그 이상의 성분들을 인출하도록 상기 냉각된 터빈 배출 흐름을 처리하는 단계, 그리고 상기 처리된 터빈 배출 흐름을 가열되고 재순환된 순환 유체 흐름을 제공하도록 상기 열 교환기로 다시 통과시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 상기 가열되고 재순환된 순환 유체 흐름의 적어도 일부를 상기 연소기로 안내하는 단계를 추가적으로 포함할 수 있다. 또한, 상기 방법은 상기 가열되고 재순환된 순환 유체 흐름의 적어도 일부를 상기 터빈으로 안내하는 단계를 포함할 수 있다. 또한, 상기 방법은 상기 가열되고 재순환된 순환 유체 흐름은 세정 물질 흐름을 형성하도록 세정 물질과 결합되며, 상기 세정 물질 흐름은 상기 연소 생성물 내에 존재하는 미립자들의 함량으로부터 야기되는 상기 터빈 날개들 상의 침적물을 제거하도록 구성된다.
- [0009] 상기 세정 물질 흐름은 상기 터빈 내로 직접 유입될 수 있다. 또한, 상기 세정 물질 흐름은 상기 터빈 내로 안내될 수 있는 결합된 연소 생성물 및 세정 물질 흐름을 형성하도록 상기 연소 생성물과 결합될 수 있다. 상기 순환 유체는 CO_2 를 포함할 수 있으려, 이는 초임계 상태로 제공될 수 있다. 또한, 상기 방법은 슬러리 형태의 추가적인 연료를 형성하도록 상기 여과된 터빈 배출 흐름을 미립자의 고체상의 연료와 결합시키는 단계, 그리고 상기 추가적인 연료를 상기 연소기로 도입하는 단계를 포함할 수 있다. 또한, 상기 방법은 재순환되는 상기 순환 유체의 적어도 일부를 분출 유체로 사용하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 분출 유체로서 재순환되는 상기 순환 유체의 사용은 상기 분출 유체를 상기 터빈 날개들의 외부 표면으로 분출시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 터빈 날개들의 외부 표면들에 대한 상기 분출 유체의 분출은 다공성의 소결된 물질을 통해 상기 분출 유체를 분출시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0010] 다른 실시예에 있어서, 발전 시스템이 제공된다. 상기 발전 시스템은 연료, O_2 및 순환 유체를 수용하며, 상기 연료를 연소시키고 상기 순환 유체 및 미립자들의 함량을 포함하는 연소 생성물 흐름을 제공하는 적어도 하나의 연소 스테이지(state)를 가지도록 구성되는 연소기, 상기 연소기와 유체 연통하는 터빈을 포함할 수 있고, 상기 터빈은 상기 연소 생성물 흐름을 수용하는 유입구, 터빈 배출 흐름을 방출하는 유출구 및 약 500mph 보다 작은 날개 속도에서 상기 터빈이 동작하도록 충분한 치수들을 갖는 복수의 날개들을 구비하며, 상기 터빈의 유출구와 유체 연통하고 여과된 터빈 배출 흐름을 생성하도록 구성되는 필터를 포함할 수 있다.
- [0011] 상기 발전 시스템은 상기 필터와 유체 연통하고 상기 터빈 배출 흐름을 수용하도록 구성되는 열 교환기를 더 포함할 수 있다. 상기 발전 시스템은 또한 상기 열 교환기와 유체 연통하는 세정 물질 유닛을 포함할 수 있으며, 상기 세정 물질 유닛은 세정 물질 흐름을 형성하도록 상기 열 교환기로부터 수용되는 유체 흐름과 세정 물질을 결합하도록 구성될 수 있다. 상기 발전 시스템은 결합된 연소 생성물 및 세정 물질 흐름을 형성하도록 상기 세정 물질 흐름과 상기 연소 생성물 흐름을 결합시키고, 상기 결합된 연소 생성물 및 세정 물질 흐름을 상기 터빈으로 안내하도록 구성되는 흐름 결합기(flow combiner)를 추가적으로 포함할 수 있다.
- [0012] 상기 날개들은 다공성의 소결된 물질을 포함할 수 있으며, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 날개들의 외부 표면으로 분출 유체를 안내하도록 구성될 수 있다. 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 날개들의 외부 표면의 전체를 한정할 수 있다. 또한, 상기 터빈은 로터(rotor)를 포함할 수 있으며, 상기 로터는 상기 다공성의 소결된 물질을 포함할 수 있고, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 로터의 외부 표면으로 상기 분출 유체를 안내하도록 구성될 수 있다.
- [0013] 다른 실시예에 있어서, 발전 방법이 제공된다. 상기 방법은 연료, O_2 및 CO_2 순환 유체를 연소기 내로 도입하는 단계, CO_2 를 함유하는 연소 생성물 흐름을 제공하도록 상기 연료를 연소시키는 단계, 동력을 발생시키고 터빈 배출 흐름을 출력하도록 터빈을 가로질러 상기 연소 생성물 흐름을 팽창시키는 단계, 상기 연소기 내로 상기 CO_2 순환 유체의 적어도 일부를 재순환시키도록 상기 터빈 배출 흐름을 처리하는 단계, 재순환되는 CO_2 순환 유체의 일부를 인출하는 단계, 그리고 상기 재순환된 CO_2 순환 유체를 분출 유체로서 사용하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0014] 상기 분출 유체로서 상기 재순환된 CO_2 순환 유체의 사용은 상기 터빈 내에 상기 재순환되는 CO_2 순환 유체를 분

출하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 분출 유체로서 상기 재순환되는 CO₂ 순환 유체의 사용은 상기 재순환되는 CO₂ 순환 유체를 상기 연소기 내에 분출시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 상기 연소 생성물 흐름을 도관을 통해 상기 터빈으로 안내하는 단계를 포함할 수 있으며, 상기 재순환되는 CO₂ 순환 유체를 분출 유체로 사용하는 단계는 상기 재순환된 CO₂ 순환 유체를 상기 도관 내로 분출시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 또한 상기 재순환된 CO₂ 순환 유체를 상기 연소 생성물 흐름의 온도 보다 낮은 온도로 조절하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 방법은 상기 재순환된 CO₂ 순환 유체를 상기 연소 생성물 흐름의 온도와 실질적으로 동일한 온도로 조절하는 단계를 추가적으로 포함할 수 있다. 또한, 상기 방법은 상기 재순환된 CO₂ 순환 유체를 상기 연소 생성물 흐름의 온도 보다 높은 온도로 조절하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 또 다른 실시예에 있어서, 발전 시스템이 제공된다. 상기 시스템은 연료, O₂ 및 CO₂ 순환 유체 흐름을 수용하며, CO₂를 포함하는 연소 생성물 흐름을 제공하기 위하여 상기 CO₂ 순환 유체 흐름의 존재에서 상기 연료를 연소시키는 적어도 하나의 연소 스테이지를 가지도록 구성되는 연소기, 상기 연소기와 유체 연통하며, 상기 연소 생성물을 수용하는 유입구, CO₂를 포함하는 터빈 배출 흐름을 방출하는 유출구 및 복수의 터빈 날개들을 구비하는 터빈을 포함하며, 상기 연소 생성물 흐름은 상기 터빈을 회전시키고 동력을 발생시키도록 상기 터빈 날개들에 작용하고, 재순환되는 CO₂ 순환 유체를 형성하도록 상기 터빈 배출 흐름을 처리하는 하나 또는 그 이상의 구성 요소들을 포함할 수 있으며, 상기 시스템의 하나 또는 그 이상의 구성 효소들은 상기 재순환되는 CO₂ 순환 유체 흐름의 일부를 분출 유체로서 사용하도록 구성될 수 있다.

[0016] 상기 재순환되는 CO₂ 순환 유체 흐름을 형성하도록 상기 터빈 배출 흐름을 처리하기 위해 구성되는 상기 하나 또는 그 이상의 구성 요소들은 필터, 열 교환기, 분리기 및/또는 압축기를 포함할 수 있다. 상기 재순환되는 CO₂ 순환 유체 흐름의 일부를 상기 분출 유체로 사용하기 위해 구성되는 상기 하나 또는 그 이상의 구성 요소들은 그를 통해 상기 분출 유체를 수용하기 위해 구성되는 다공성의 소결된 물질을 포함할 수 있다. 상기 터빈 날개들은 약 0.275m 보다 작은 날개 높이를 가질 수 있다. 상기 터빈은 약 2,000개 보다 작은 터빈 날개들을 포함할 수 있다. 상기 날개들의 평균 직경에 대한 상기 터빈의 길이의 비율은 약 4 보다 클 수 있다.

[0017] 다른 실시예에 있어서, 터빈 어셈블리가 제공된다. 상기 어셈블리는 연소 생성물 흐름을 수용하도록 구성되는 유입구와 유출구를 한정하는 케이싱(casing)을 구비하는 복수의 구성 요소들을 포함할 수 있다. 상기 구성 요소들은 상기 케이싱 내에 위치하는 로터 및 상기 로터로부터 연장되는 복수의 날개들을 더 포함할 수 있으며, 상기 하나 또는 그 이상의 구성 요소들은 다공성의 소결된 물질을 포함하고, 상기 다공성의 소결된 물질은 이를 통해 분출 유체를 안내하도록 구성된다.

[0018] 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 날개들의 외부 표면의 전체를 한정할 수 있다. 상기 케이싱은 상기 다공성의 소결된 물질을 포함할 수 있고, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 케이싱의 내부 표면에 상기 분출 유체를 안내하도록 구성될 수 있다. 상기 로터는 상기 다공성의 소결된 물질을 포함할 수 있으며, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 로터의 외부 표면으로 상기 분출 유체를 안내하도록 구성될 수 있다. 상기 로터는 상기 로터 주위의 상기 연소 생성물 흐름을 전환시키도록 구성되는 고리 형상의 흐름 전환기(flow diverter)를 포함할 수 있다. 상기 어셈블리는 상기 케이싱의 유입구에 연결되도록 구성되고 상기 연소기 어셈블리의 유출구에 연결되도록 구성되며, 상기 연소 생성물 흐름을 이로부터 수용하는 유입 도관(inlet conduit)을 더 포함할 수 있고, 상기 유입 도관은 다공성의 소결된 물질을 포함할 수 있으며, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 분출 유체를 상기 유입 도관의 외부 표면으로 안내하도록 구성될 수 있다. 상기 케이싱의 유입구는 연소기 어셈블리의 유입구에 직접 연결되도록 구성될 수 있다. 상기 케이싱의 유입구는 상기 로터에 의해 한정되는 장축(major axis)에 대해 방사형으로 배치되는 복수의 연소기들로부터 상기 연소 생성물 흐름을 수용하도록 구성될 수 있다.

[0019] 상기 날개들은 상기 다공성의 소결된 물질을 포함할 수 있으며, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 날개들의 외부 표면에 분출 유체를 안내하도록 구성될 수 있다. 상기 날개들은 각기 적어도 하나의 강화 부재(reinforcement member)를 더 포함할 수 있다. 상기 강화 부재는 각각의 상기 터빈들 내의 상기 다공성의 소결된 물질을 통해 연장되는 로드(rod)를 포함할 수 있다. 상기 강화 부재는 코어(core)를 포함할 수 있고, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 코어 주위로 연장될 수 있다. 상기 코어는 상기 분출 유체를 수용하고, 상기 분출 유체를 상기 다공성의 소결된 물질 내로 안내하도록 구성되는 하나 또는 그 이상의 채널들을 한정할 수 있다. 하나 또는 그 이상의 채널들은 상기 날개들 내에 한정될 수 있으며, 상기 채널들은 상기 분출 유체를 수용하고,

상기 분출 유체를 상기 다공성의 소결된 물질 내로 안내하도록 구성될 수 있다. 각각의 날개들은 리딩 에지(leading edge)로부터 트레일링 에지(trailing edge)까지 연장될 수 있으며, 상기 날개들은 상기 트레일링 에지에서 상기 분출 유체의 흐름 보다 큰 상기 리딩 에지에서 상기 분출 유체의 흐름을 한정하도록 구성될 수 있다. 각각의 날개들은 상기 트레일링 에지에서 상기 분출 유체의 흐름 보다 큰 상기 리딩 에지에서 상기 분출 유체의 흐름을 한정할 수 있다. 각각의 날개들은 상기 리딩 에지에서 보다 상기 트레일링 에지에서 큰 벽 두께를 한정할 수 있다. 각각의 날개들은 로터에서 루트(root)로부터 팁(tip)까지 연장될 수 있으며, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 루트와 상기 팁 사이에서 변화하는 공극률을 한정할 수 있다. 상기 다공성의 소결된 물질의 공극률은 상기 루트에서 상기 분출 유체의 흐름 보다 큰 상기 팁에서 상기 분출 유체의 흐름을 한정하도록 구성될 수 있다. 상기 다공성의 소결된 물질의 공극률은 상기 루트에서 상기 분출 유체의 흐름과 실질적으로 동일한 상기 팁에서 상기 분출 유체의 흐름을 한정하도록 구성될 수 있다. 상기 다공성의 소결된 물질은 복수의 층들을 한정할 수 있으며, 상기 층들의 공극률은 상기 루트로부터 상기 팁까지 증가한다. 상기 날개들은 각기 복수의 내부 리브들(ribs)을 포함하는 내부 구조를 한정할 수 있다.

[0020] 상기 터빈 어셈블리의 구성 요소들은 복수의 스테이터들(stators)을 더 포함할 수 있으며, 상기 스테이터들은 상기 다공성의 소결된 물질을 포함하고 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 분출 유체를 상기 스테이터들의 외부 표면으로 안내하도록 구성될 수 있다. 상기 터빈 어셈블리는 하나 또는 그 이상의 셀들(seals)을 더 포함할 수 있고, 하나 또는 그 이상의 상기 구성 요소들은 상기 셀들로 상기 분출 유체를 안내하도록 구성된다. 상기 셀들은 상기 다공성의 소결된 물질을 포함할 수 있다.

[0021] 다른 실시예에 있어서, 터빈 어셈블리가 제공된다. 상기 터빈 어셈블리는 연소 생성물 흐름을 수용하도록 구성되는 유입구와 유출구를 한정하는 케이싱을 포함할 수 있다. 상기 어셈블리는 상기 케이싱 내에 위치하는 로터와 상기 로터로부터 연장되는 복수의 날개들을 더 포함할 수 있으며, 상기 복수의 날개들의 평균 직경에 대한 상기 터빈 어셈블리의 길이의 비율은 약 4 보다 크다.

[0022] 상기 터빈 날개들은 약 0.275m 보다 작은 날개 높이를 가질 수 있다. 상기 터빈 어셈블리는 약 2,000개 보다 작은 수의 날개들을 포함할 수 있다. 상기 날개들은 분출 보호될 수 있다. 또한, 상기 날개들은 상기 날개들의 외부 표면들로 분출 유체를 안내하도록 구성되는 다공성의 소결된 물질을 포함할 수 있다.

[0023] 본 발명의 다른 측면들과 이점들은 다음에서 보다 명확해 질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0024] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 일반적인 용어들로서 본 발명을 설명한다. 첨부 도면들에 있어서,
도 1은 예시적인 일 실시예에 따른 연소 사이클과 시스템의 흐름도를 제공하고,
도 2는 다른 예시적인 일 실시예에 따른 연소 사이클과 시스템의 흐름도를 제공하며,
도 3은 예시적인 일 실시예에 따른 연소기를 통하는 단면도를 제공하고,
도 4는 예시적인 일 실시예에 따른 유입 도관을 포함하는 터빈을 통하는 단면도를 제공하며,
도 5는 예시적인 일 실시예에 따른 터빈과 복수의 방사형으로 배치되는 연소기들을 통하는 길이 방향의 단면도를 제공하고,
도 6은 도 5의 터빈과 연소기 시스템을 통하는 측면 단면도를 제공하며,
도 7은 예시적인 일 실시예에 따른 코어를 포함하는 터빈을 통하는 측면 단면도를 제공하고,
도 8은 예시적인 일 실시예에 따른 제1 및 제2 층들을 포함하는 유입 도관을 통하는 부분 단면도를 제공하며,
도 9는 예시적인 일 실시예에 따른 4개의 층들을 포함하는 유입 도관을 통하는 부분 단면도를 제공하고,
도 10은 예시적인 일 실시예에 따른 강화 로드들과 분출 유체를 수용하도록 구성되는 채널들을 포함하는 터빈 날개의 리딩 에지와 트레일링 에지 사이의 단면도를 제공하며,
도 11은 예시적인 일 실시예에 따라 분출 유체를 수용하도록 구성되는 채널들을 한정하는 통합 내부 리브들을 포함하는 터빈 날개의 리딩 에지와 트레일링 에지 사이의 단면도를 예시하며,
도 12는 도 11의 터빈 날개의 팁 및 베이스 부재 사이의 단면도를 예시하며,

도 13은 도 11은 터빈 날개의 사시도를 예시하고,

도 14는 예시적인 일 실시예에 따른 리딩 에지와 트레일링 에지 사이의 다른 물질 두께를 한정하는 터빈 날개의 리딩 에지와 트레일링 에지 사이의 단면도를 예시하며,

도 15a는 예시적인 일 실시예에 따른 루트와 텁 사이의 다른 공극률들을 한정하는 물질의 층을 포함하는 터빈 날개의 루트와 텁 사이의 부분 단면도를 예시하고,

도 15b는 예시적인 일 실시예에 따른 루트와 텁 사이의 공극률 변화도를 한정하는 터빈 날개의 루트와 텁 사이의 부분 단면도를 예시하며,

도 16은 예시적인 일 실시예에 따른 터빈 내의 입자를 위한 계산된 입자 궤적을 예시하고,

도 17은 예시적인 일 실시예에 따른 축 방향의 진행 거리의 함수로서 연소기 내의 연소 생성물 흐름 내의 미립자들의 방사형 진행 거리의 그래프적인 예시를 제공하며,

도 18은 종래의 천연 가스 발전소에의 사용을 위한 종래의 터빈의 종 방향의 단면도를 예시하고,

도 19는 종래의 터빈 보다 대체로 작은 크기의 예시적인 실시예들에 따른 터빈의 종 방향의 단면도를 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 이하, 다양한 실시예들을 참조하여 본 발명을 보다 상세하게 설명한다. 이를 실시예들은 본 발명을 완전하고 철저하게 하기 위한 것이며, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명의 범주를 완전히 이해되도록 하기 위한 것이다. 실제로, 본 발명은 많은 상이한 형태들로 구현될 수 있고, 여기서 설명하는 실시예들에 한정되는 것은 아니며, 오히려 이를 실시예들은 본 발명이 법률적인 요구 사항들을 충족시킬 수 있도록 하기 위하여 제공되는 것이다. 본 명세서와 첨부된 특허청구범위에서 사용되는 바와 같이, "하나", "일", "상기" 등의 단수적인 표현은 본문에서 명확하게 다르게 정의하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다.

[0026] 본 발명은 일 실시예에서 공기 또는 증기에 의하거나 입자 충돌에 의한 화학적 열화로부터 일어나는 터빈 날개 침식을 감소시키거나 심지어는 제거할 수 있는 터빈 날개 설계들 및 이의 사용 방법에 관련된다. 본 발명은 또한 상기 터빈을 통과하기 이전에 여과를 요구하지 않고 연소 생성물 내의 미립자들로부터 야기되는 터빈 날개 침식을 감소시키거나 제거하면서 고효율 동작을 제공할 수 있는 전력 생산 방법들과 시스템들을 제공한다. 날개 침식의 감소 및/또는 제거는, 이러한 점이 보다 높은 전체 미립자 농도로 상기 터빈들을 위해 연소 생성물 흐름을 처리할 수 있고 이에 따라 특히 석탄과 같은 공급 원료들을 사용하는 상기 연소 생성물 내의 상대적으로 높은 미립자들의 농도를 포함하는 연소 공정들에 유익하기 때문에 전력 생산 시스템들을 간단하게 만들 수 있고, 가능한 공급 원료들(feedstocks)을 증가시킬 수 있다.

[0027] 상기 연소 생성물 흐름의 성분들과 관련하여 사용되는 "미립자들(particulates)" 및 "입자들(particles)"(이러한 용어들의 단수 형태를 포함하여)이라는 용어들은 특히 상기 연소 생성물 흐름 내에 통상적으로 입자들의 특성, 특히 상기 연소 생성물 흐름의 전체적인 부피와 관련하여 이해되는 상대적으로 작은 유닛 크기로 존재하는 고체상의 및 액체상의 물질들을 포괄한다. 일부 실시예들에 있어서, 입자들 또는 미립자들은 비-가스 상태에 있는 상기 연소 생성물 흐름 내의 임의의 물질을 포함할 수 있다. 액체상의 미립자들은 특히 상기 연소 생성물 흐름의 온도에서 액체이지만, 상기 연소 생성물 흐름의 온도 보다 낮은 적어도 10°C, 적어도 15°C, 적어도 20°C, 적어도 30°C, 적어도 50°C, 또는 적어도 100°C 정도와 같은 상기 연소 생성물 흐름의 온도 보다 낮은 온도에서는 고체인 물질들을 포괄한다. 이러한 액체상의 미립자들은 적어도 주위 온도, 적어도 약 40°C, 적어도 약 50°C, 적어도 약 60°C, 적어도 약 80°C, 적어도 약 100°C, 또는 적어도 약 200°C 정도인 응고점(freezing point)을 가질 수 있다. 특정한 실시예들에 있어서, 상기 액체상의 미립자들은 상술한 온도들의 임의의 조합의 범위 내(예를 들면, 상기 연소 생성물의 온도와 적어도 주위 온도 보다 적어도 10°C 낮은 범위 내)에 속하는 응고점을 가질 수 있다.

[0028] 특정한 실시예들에 있어서, 본 발명자들은 터빈 날개들에 대한 입자 충격 손상이 터빈 속도와 관련되는 점을 인식하였다. 특히, 입자 충격으로부터 일어나는 손상율은 입자 속도에 대하여 날개 속도의 대략 세제곱으로 변화할 수 있다. 이러한 관점에 있어서, 미국에서 사용되는 표준 교류 주파수는 60Hz이다. 또한, 미국 내의 전력 생산 시스템들은, 비록 터빈들은 다른 rpm 범위들 내에서 회전할 수 있는 것으로 이해되어야 하지만, 통상적으로 1,800rpm($30 \times 60\text{Hz}$) 또는 3,600rpm($60 \times 60\text{Hz}$)에서 동작하는 동기식 교류 발전기들을 구동시킨다. 이러한 관점에서, 다른 국가들은 상이한 표준 교류 주파수들을 채용할 수 있다. 예를 들면, 영국에서는 50Hz에서 동작한다.

또한, 발전기 시스템들은 임의의 속도에서 구동되는 영구 자석 직류 발전기들을 채용할 수 있으므로, 상기 직류가 원하는 주파수를 갖는 교류로 변환된다. 이에 따라, 여기서 논의되는 주파수들은, 예를 들면 특정 목적들로만 제공되는 것으로 이해되어야 할 것이다.

[0029] 그러나, 동기식 교류 발전기들을 포함하는 전력 생산 시스템들과 방법들에 사용되는 알려진 가스 터빈들은 통상적으로 600mph(268m/s) 또는 그 이상의 날개 속도에서 동작한다. 현재의 증기 및 가스 터빈들의 통상적인 날개 속도들에서, 연소 생성물 흐름 내에 심지어는 작은 미립자들의 존재가 날개 침식을 발생시킬 수 있다. 그러나, 본 발명자들은 날개 구조의 변화와 감소된 날개 속도들을 가능하게 하는 동작을 통해 발개 침식을 극복하는 능력을 인지하였다. 특정한 실시예들에 있어서, 본 발명에 따른 날개 속도는 날개 팁(blade tip)에서 약 20m/s 내지 약 340m/s 정도가 될 수 있다. 보다 상세하게는, 상기 날개 속도는 200m/s 이하, 100m/s 이하, 또는 약 50m/s 내지 약 75m/s 정도가 될 수 있다. 일 실시예에 있어서, 본 발명은 통상적인 경우(즉, 200mph(89m/s)) 보다 약 3배 정도 낮은 날개 속도에서 터빈 동작을 제공할 수 있으며, 이는 27 폴드(fold) 또는 그 이상으로 날개 침식 속도의 감소를 가져올 수 있다. 일 실시예에 있어서, 150mph(67m/s)의 날개 속도, 즉, 통상적인 날개 속도들로부터 4-폴드 감소는 날개 손상율에서 대략 64 폴드 감소를 제공할 수 있다.

[0030] 보다 낮은 속도에서 전력 생산 시스템 내의 상기 터빈을 동작시키는 능력은 단일의 또는 다중의 결합들로 구현될 수 있는 다양한 인자들로부터 야기될 수 있다. 예를 들면, 상기 터빈 날개들은 입자 충돌이 상기 터빈 날개들의 침식을 더 이상 일으키지 않는 속도에 대해 느린 날개 속도를 가능하게 할 수 있는 치수들로 설계될 수 있다. 보다 상세하게는, 상기 동작 날개 속도는 침식이 일어나는 임계 속도 아래로 감소될 수 있다. 이러한 관점에서, 날개 상의 임의의 주어진 지점에서 날개 속도는 다음 공식에 따라 제공된다.

[0031] $v = (rpm/60) * 2 * \pi * r$ (공식 1)

[0032] 여기서,

[0033] v =날개 속도(m/s),

[0034] rpm =분 당 상기 날개의 회수,

[0035] π =파이, 그리고

[0036] r =로터(rotor)의 중심과 상기 날개 속도가 결정되는(예를 들면, 반경) 상기 날개 상의 지점 사이의 거리(m)이다.

[0037] 상기 날개의 팁(tip)에서 상기 날개 속도는 다음 공식에 따라 제공되는 점에 주목한다.

[0038] $v_t = (rpm/60) * 2 * \pi * (a+b)$ (공식 2)

[0039] 여기서,

[0040] v_t =상기 날개의 팁에서 날개 속도(m/s),

[0041] rpm =분 당 상기 날개의 회전수,

[0042] π =파이,

[0043] a =상기 날개에서 상기 로터의 반경(m), 그리고

[0044] b =날개 높이(m)이다.

[0045] 따라서, 각 날개를 위한 최대 날개 속도는 상기 날개들이 상기 로터의 중심으로부터 연장되는 거리를 감소시킴에 의해 감소될 수 있다. 후술하는 바와 같이, 상대적으로 작은 반경들까지 연장되는 날개들을 갖는 터빈들의 사용이 상대적으로 본 발명의 터빈 내의 적절한 흐름 속도에서 높은 유체 밀도와 높은 압력을 갖는 초임계의 유체를 적용함에 의해 가능해질 수 있다. 또한, 상기 터빈 내에 높은 밀도의 작동 유체를 적용하는 것은 상기 날개들을 냉각시키는 분출의 능력을 향상시킴에 의해 상당히 감소된 터빈 날개 온도를 제공할 수 있다.

[0046] 날개 높이(즉, 터빈 축(예를 들면, 로터(rotor))의 외부 표면에서의 루트(root)로부터 상기 날개 팁까지의 거리)는 바람직하게는 약 0.275m 보다 작다. 특정한 실시예들에 있어서, 평균 날개 높이는 약 0.05m 내지 약 0.25m, 약 0.075m 내지 약 0.225m, 약 0.1m 내지 약 0.2m, 또는 약 0.125m 내지 약 0.175m 정도가 될 수 있다. 특정한 실시예들에 있어서, 실제의 날개 높이들은 상기 터빈 유입구로부터 상기 터빈 유출구까지 변화될 수 있다. 예를 들면, 상기 유입구에서 날개 높이는 평균 보다는 낮을 수 있고 상기 유출구를 향해 증가할 수 있으므로

로 상기 유출구에서 날개 높이는 상기 평균 보다는 높다. 평균 날개폭은 약 0.025m 내지 약 0.125m, 약 0.04m 내지 약 0.11m, 약 0.05m 내지 약 0.1m, 또는 약 0.06m 내지 약 0.09m 정도가 될 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 날개 높이와 폭은 여기서 설명하는 바와 같은 속도에서 동작이 가능하도록 다른 치수들이 될 수 있다.

[0047] 본 발명의 터빈들과 방법들의 동작은 또한 전체적인 터빈 치수들에 의해 특징지어질 수 있다. 예를 들면, 본 발명에 따른 터빈은 약 11m 보다 작거나, 약 10m 보다 작거나, 또는 약 9m 보다 작은 전체적인 길이를 가질 수 있다. 또 다른 실시예들에 있어서, 전체적인 터빈 길이는 약 6m 내지 약 10m, 약 6.5m 내지 약 9.5m, 약 7m 내지 약 9m, 또는 약 7.5m 내지 약 8.5m 정도가 될 수 있다. 본 발명에 따른 터빈은 약 3.5m 보다 작거나, 약 3m 보다 작거나, 또는 약 2.5m 보다 작은 평균 직경을 가질 수 있다. 또 다른 실시예들에 있어서, 평균 터빈 직경은 약 0.25m 내지 약 3m, 약 0.5m 내지 약 2m, 또는 약 0.5m 내지 약 1.5m 정도가 될 수 있다. 터빈 평균 직경(즉, 터빈 날개들의 직경)에 대한 터빈 길이의 비율은 약 3.5 보다 크거나, 약 4 보다 크거나, 약 4.5 보다 크거나, 또는 약 5 보다 클 수 있다. 특정한 실시예들에 있어서, 상기 터빈 평균 직경에 대한 터빈 길이의 비율은 약 3.5 내지 약 7.5, 약 4 내지 약 7, 약 4.5 내지 약 6.5, 또는 약 5 내지 약 6 정도가 될 수 있다. 전술한 비율들은 특히 상기 터빈의 전체 길이와 관련될 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 전체 길이는 유입구로부터 유출구까지 케이싱(casing)의 길이로 언급될 수 있다. 어떤 실시예들에 있어서, 전체 길이는 상기 유입구에 바로 인접하는 상기 터빈 날개로부터 상기 유출구에 바로 인접하는 터빈 날개까지의 상기 케이싱 내의 거리로 언급될 수 있다.

[0048] 유사한 동작을 위한 본 발명의 터빈들과 방법들은 평균 날개 반경(상기 터빈 날개의 팁에 대한 상기 로터의 중심)에 의해 특징지어질 수 있다. 바람직하게는, 상기 터빈들은 약 1.2m 보다 작거나, 약 1.1m 보다 작거나, 약 1m 보다 작거나, 약 0.9m 보다 작거나, 약 0.8m 보다 작거나, 약 0.7m 보다 작거나, 또는 약 0.6m 보다 작은 평균 날개 반경으로 동작한다. 터빈 날개 반경은 특히 약 0.25m 내지 약 1m, 약 0.275m 내지 약 0.8m, 약 0.3m 내지 약 0.7m, 약 0.325m 내지 약 0.6m, 약 0.35m 내지 약 0.5m, 또는 약 0.375m 내지 약 0.475m 정도가 될 수 있다.

[0049] 어떤 실시예들에 있어서, 본 발명에 따른 이용 가능한 터빈은 통상적인 가스 터빈 시스템 내에 존재하는 경우 보다 상당히 낮은 터빈 날개들의 전체 숫자를 가질 수 있다. 특히, 본 발명의 터빈들은 약 3,000개 보다 작은 날개들, 약 2,500개 보다 작은 날개들, 또는 약 2,000개 보다 작은 날개들을 가질 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 터빈 내의 날개들의 숫자는 약 500개 내지 약 2,500개, 약 750개 내지 약 2,250개, 약 1,000개 내지 약 2,000개, 또는 약 1,250개 내지 약 1,750개 정도가 될 수 있다.

[0050] 일부 실시예들에 있어서, 본 발명에 따른 터빈들은 특히, 상당히 증가된 유입구 입력 및/또는 상당히 증가된 유출구 압력 및/또는 통상적인 터빈 전력 생산 시스템들에 비하여 유입구로부터 유출구까지의 상당히 증가된 압력 강하에서의 동작을 통한 감소된 터빈 날개 속도로 높은 효율의 전력 생산을 제공할 수 있다. 특정한 실시예들에 있어서, 상기 터빈은 적어도 약 25bars(2.5MPa), 적어도 약 50bars(5MPa), 적어도 약 100bars(10MPa), 적어도 약 150bars(15MPa), 적어도 약 200bars(20MPa), 또는 적어도 약 250bars(25MPa) 정도의 유입구 압력으로 동작될 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 유입구 압력은 약 50bars(5MPa) 내지 약 500bars(50MPa), 약 100bars(10MPa) 내지 약 450bars(45MPa), 약 150bars(15MPa) 내지 약 400bars(40MPa), 약 200bars(20MPa) 내지 약 400bars(40MPa), 또는 약 250bars(25MPa) 내지 약 350bars(35MPa) 정도가 될 수 있다.

[0051] 다른 실시예들에 있어서, 상기 터빈은 적어도 약 5bars(0.5MPa), 적어도 약 10bars(1MPa), 적어도 약 15bars(1.5MPa), 적어도 약 20bars(2MPa), 또는 적어도 약 25bars(2.5MPa) 정도의 유출구 압력으로 동작될 수 있다. 상기 유출구 압력은, 특히 약 10bars(1MPa) 내지 약 50bars(5MPa), 약 15bars(1.5MPa) 내지 약 45bars(4.5MPa), 약 20bars(2MPa) 내지 약 40bars(4MPa), 또는 약 25bars(2.5MPa) 내지 약 35bars(3.5MPa) 정도가 될 수 있다.

[0052] 다른 실시예들에 있어서, 터빈 유출구 압력에 대한 터빈 유입구 압력의 비율은 적어도 약 6, 적어도 약 7, 적어도 약 8, 적어도 약 9, 또는 적어도 약 10 정도가 될 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 터빈 유출구 압력에 대한 터빈 유입구 압력의 비율은 약 6 내지 약 15, 약 7 내지 약 14, 약 8 내지 약 12, 또는 약 9 내지 약 11 정도가 될 수 있다.

[0053] 또 다른 실시예들에 있어서, 본 발명에 따른 터빈들은 통상적인 전력 생산 시스템들 내의 터빈들의 동작에 비하여 상당히 증가된 흐름 밀도에서 전력 생산 시스템 내에서 동작할 수 있다. 예를 들면, 본 발명의 터빈들은 적어도 약 20kg/m³, 적어도 약 50kg/m³, 적어도 약 100kg/m³, 적어도 약 150kg/m³, 적어도 약 200kg/m³, 적어도 약 300kg/m³, 적어도 약 400kg/m³, 적어도 약 500kg/m³, 또는 적어도 약 600kg/m³ 정도의 흐름 밀도에서 동작될

수 있다.

[0054] 본 발명에 따른 터빈에 비하여 현재의 가스 터빈 압축기들은 약 1bar(0.1MPa) 내지 약 15bar(1.5MPa) 정도의 유출구 압력에서 상기 압축기 단면에서의 $1\text{kg}/\text{m}^3$ 내지 약 $15\text{kg}/\text{m}^3$ (단열 압축 가정) 범위의 가스 밀도들로 동작할 수 있다. 침식과 다른 문제점들은 그 내부의 상대적으로 낮은 온도들로 인하여 상기 압축기 내에서 심각하지 않을 수 있다. 그러나, 뜨거운 구획에 있어서, 상기 가스 온도는 대략적으로 $1,727^\circ\text{C}$ 내지 약 527°C 의 피크(peak)로부터 변화할 수 있다. 상기 고온 구획 내의 가스의 밀도는 약 $5\text{kg}/\text{m}^3$ 의 상한으로부터 약 $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ 의 하한까지 변화될 수 있다. 따라서, 현재의 터빈들 내부의 조건들은 본 발명에 따른 터빈들 내의 것들로부터 상당히 변화될 수 있다.

[0055] 보다 낮은 유량과 보다 높은 온도에서 보다 높은 압력들의 사용은 상기 터빈 날개들의 토크(torque)를 증가시킬 수 있다. 이에 따라, 상기 터빈은 상기 날개들에 적용되는 토크를 감소시키도록 구성되는 특징들을 가질 수 있다. 특히, 상기 터빈은 종래의 터빈들 보다 많은 수의 날개들, 디스크들 및/또는 스테이지들을 포함할 수 있으며, 이는 개별적인 날개들에 적용되는 상기 토크를 감소시키도록 이들 사이에 토크를 분배한다. 또한, 상기 날개들은 상기 날개들 상에 적은 힘과 토크를 가하도록 구성되는 받음각(angle of attack)을 한정할 수 있다. 특히, 상기 날개들은 상기 터빈을 통한 흐름에 대하여 감소된 각도를 한정할 수 있으며, 이는 적은 항력을 유도하고 항력비에 대한 양력을 증가시킨다. 이에 따라, 이들 특징들은 각각의 상기 날개들 상에 가해지는 토크를 감소시킬 수 있으므로 이들이 상대적으로 적은 강도와 상대적으로 덜 비싼 물질들로부터 형성될 수 있다.

[0056] 일부 실시예들에 있어서, 날개 침은 또한 상술한 특징들 중에서 임의의 것과 하나 또는 그 이상의 날개 냉각 방법들의 결합에 의해 조절되거나, 감소되거나 또는 제거될 수 있다. 다음에 보다 상세하게 설명하는 바와 같이 터빈 날개 냉각의 어떠한 방법도 분출 날개 냉각을 포함하는 본 발명과 결합될 수 있다. 이러한 관점에서, 분출 냉각은 여기에 개시된 상기 터빈, 연소기 및 관련 장치들의 구성 요소들의 임의의 것을 냉각하는 데 적용될 수 있다. 특히 상기 터빈에 대하여, 상기 케이스, 스테이터들(stators)(예를 들면, 스테이터 날개들), 셀들(seals), 날개들(예를 들면, 터빈 날개들), 로터(rotor), 그리고 다양한 다른 내부 구성 요소들은, 예를 들면, 여기에 개시된 다공성 물질들의 적용을 통해 분출 냉각될 수 있다. 이러한 관점에서, 상기 스테이터들은 다공성의 소결된 물질을 포함할 수 있고, 상기 다공성의 소결된 물질은 상기 분출 유체를 상기 스테이터들의 외부 표면에 안내하도록 구성될 수 있다. 추가적으로, 하나 또는 그 이상의 터빈 어셈블리의 구성 요소들은 분출 유체를 상기 셀들로 향하게 하도록 구성될 수 있다. 상기 셀들은 일부 실시예들에서 상기 다공성의 소결된 물질을 포함할 수 있다. 본 발명의 실시예들에 따라 분출 냉각될 수 있는 셀들과 스테이터들의 예시적인 실시예들은 미국 특히 출원 공개 제2009/0142187호에 개시되어 있고, 이의 개시 사항은 본 명세서에 참조로 언급된다. 그러나, 터빈들, 연소기들 및 관련된 장치들의 구성 요소들의 다양한 다른 실시예들도 본 발명에 따라 분출 냉각될 수 있다.

[0057] 또한, 여기에 개시된 상기 분출 냉각 기술들은 현재의 분출 냉각 기술들에 대해 개선된 냉각을 제공할 수 있다. 현재의 날개 냉각은 통상적으로 상기 터빈의 압축기로부터의 추출 공기(bleed air)로 수행된다. 이러한 공기는, 전술한 바와 같이 현재의 터빈들 내의 터빈 고온 구획의 상대적으로 낮은 동작 압력에 의한 이의 상대적으로 낮은 밀도(예를 들면, $0.5\text{--}5\text{kg}/\text{m}^3$) 세트로 인하여 제한된 열용량을 가진다. 이는 열 전달율을 제한한다. 이에 비하여, 후술하는 바와 같이, 본 발명은 CO_2 의 사용을 통하여 분출 냉각을 제공하며, 이는 열전달을 향상시킨다.

[0058] 현재의 터빈들의 예들을 위한 열 전달율은 또한 이들이 회전하는 동안에 큰 원심력들을 가져오는 상기 날개들의 긴 길이로 인하여 상기 터빈 날개들 상에 위치하는 상대적으로 큰 스트레스에 의해 제한된다. 현재의 터빈들의 냉각 통로들은 이에 따라 상대적으로 작게 유지되어야 하며, 이들은 냉각 통로들에 의해 야기되는 상기 날개들의 길이 방향의 강도의 감소를 제한하기 위하여 상기 터빈의 전체적인 단면 면적의 상대적으로 작은 비율 이상으로 한정하지 않아야 한다.

[0059] 본 발명의 터빈들은 특히 터빈들이 감소된 날개 침식을 제공할 뿐만 아니라 전체 터빈 비용을 상당히 감소시킬 수 있는 전력 생산을 위한 시스템들과 방법들에 유용하다. 특정 실시예들에 있어서, 통상적인 전력 생산 시스템들에 사용되는 터빈들과 관련되는 전체적인 터빈 비용은 전력 출력의 어떤 상당한 감소 없이(즉, 5% 보다 작거나, 4% 보다 작거나, 3% 보다 작거나, 2% 보다 작거나, 1% 보다 작거나, 또는 0.8% 보다 작은 손실) 적어도 20%, 적어도 30%, 적어도 40%, 적어도 50%, 적어도 60%, 적어도 70%, 또는 적어도 75% 정도로 감소될 수 있다. 비용의 감소는, 예를 들면, 이들에 인가되는 원심력들의 감소로 인한 상기 날개들 내의 초내열 합금들 및/또는 다른 값비싼 물질들에 대한 필요를 방지하여 야기될 수 있다. 또한, 동력 출력의 감소들은 감소된 회전하는 속도들에도 불구하고 상기 터빈 내에 높은 유입구 온도를 뿐만 아니라 현재의 터빈들의 실시예들에 대해 높은 동작

압력을 적용하여 최소화될 수 있다.

[0060] 특정 실시예들에 있어서, 본 발명은 본 터빈 날개 설계들과 동작 모드들을 병합할 수 있는 전력을 생산하기 위한 시스템들과 방법들을 포함할 수 있다. 예를 들면, 본 발명의 시스템들과 방법들은 선택적으로는 연관된 순환 유체(CO_2 순환 유체와 같은)와 함께 고효율 연료 연소기(분출 냉각된 연소기와 같은)의 사용을 통해 전력 생산을 가능하게 한다. 특히, 높은 CO_2 재순환 비율을 갖는 높은 압력의 순환 유체(또는 작동 유체)의 사용은 분출 냉각을 위하여 상기 터빈 날개들로 상기 CO_2 순환 유체의 일부를 안내하는 능력을 제공한다.

[0061] 날개 설계들을 갖는 분출 냉각과 본 발명의 동작 모드들의 결합은 특히 침식이 터빈 날개 온도와 날개 물질 조성의 함수가 될 수 있기 때문에 유용할 수 있다. 터빈 날개 설계와 날개 동작 온도를 갖는 동작의 조합은 가능한 날개 동작 속도들과 날개 동작 온도들의 넓은 범위를 제공할 수 있고, 날개 침식은 조절되거나, 감소되거나, 또는 제거될 수 있다. 보다 낮은 날개 온도들에서, 침식이 저하되고 침식이 시작되는 상기 날개의 속도가 보다 높아질 수 있다. 동작 조건들을 선택하는 능력은 이가 보다 높은 날개 속도들에서 침식에 저항할 수 있거나 그렇지 않으면 보다 높은 동작 온도들에서 사용되지 않을 수 있는 금속 합금들의 사용을 가능하게 할 수 있다는 점에서 유익하다. 이러한 관점에서, 보다 낮은 온도들에서, 높은 강도의 스틸들은 충격 손상에 상대적으로 영향을 덜 받는다. 일례로서, 군용 차량들에 사용되는 권취된 균질 장갑은 400mph(179m/s)의 속도까지 쏘아지는 고체 강철 탄환들에 의해 손상되지 않는다.

[0062] 다른 실시예들에 있어서, 그러나, 다음에 보다 상세하게 설명하는 바와 같이, 분출은 연소 생성물 흐름 성분들(예를 들면, 액체상의 재)의 고체화를 방지하여 날개 보호에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 실시예들에 있어서, 분출 냉각은 상기 연소 생성물 흐름의 온도 아래의 온도로 상기 날개들(및/또는 다른 구성 요소들)의 냉각으로 정의될 수 있다. 보다 상세하게는, 이러한 냉각은 상기 연소 생성물 흐름의 성분(예를 들면, 액체상의 재)이 동결(또는 고체화)되고 이에 따라 상기 터빈 날개들 상에 침적되는 온도 보다 높은 하한을 가지도록 구성될 수 있다. 예를 들면, 재의 연화(softening)는 590°C에서 시작될 수 있고, 용융은 870°C에서 일어날 수 있다.

[0063] 분출 냉각 없이, 상기 터빈은 상기 날개들 상에 재의 증강을 방지하도록 590°C 이하에서 잘 동작할 필요가 있으며, 이는 효율적인 동작을 위해서는 너무 낮다. 분출 보호로써, 상기 재가 액화되지만 상기 터빈에 대해 내부이고 이에 따라 상기 터빈을 통해 흐르는 흐름의 성분들에 접촉하게 되는 모든 표면들(예를 들면, 상기 터빈 내의 상기 터빈 하우징의 내부 표면, 상기 터빈 날개들의 외부 표면들 등)을 실질적으로 덮는 분출 증기층 때문에 액체상의 방울들이 그 표면에 접촉되거나 들러붙지 않는 870°C 이상에서 상기 터빈이 동작할 수 있다. 따라서, 분출 보호는 입자 충돌에 의한 기계적인 침식에 기인하는 열화뿐만 아니라 상기 날개들을 보다 차갑게 유지함에 의해서와 냉각제로서 공기 또는 공기/증기를 분출 유체의 형태로의 냉각제로서 CO_2 로 대체함에 의해 화학적 열화를 감소시키거나 제거할 수 있다.

[0064] 일부 실시예들에 있어서, 상기 날개들이 상기 연소 생성물 흐름의 속도에 비례하는 날개 속도들에서 동작되게 하는 것이 유용할 수 있다. 이러한 실시예들에 있어서, 통상적인 연소 공정들에서 흐름 속도를 보다 상당히 작은 흐름 속도가 되게 하는 것이 특히 유익할 수 있다. 예를 들면, 본 발명에 따른 흐름 속도는 약 400mph(179m/s) 보다 작거나, 약 350mph(156m/s) 보다 작거나, 약 300mph(134m/s) 보다 작거나, 약 250mph(112m/s) 보다 작거나, 약 200mph(89m/s) 보다 작거나, 약 150mph(67m/s) 보다 작거나, 또는 약 100mph(45m/s) 보다 작을 수 있다. 흐름 속도에 대한 날개 팁 속도의 비율은 바람직하게는 1 보다 크거나, 1.5 보다 크거나, 2 보다 크거나, 2.5 보다 크거나, 또는 3 보다 크다. 특히, 흐름 속도에 대한 날개 팁 속도의 비율은 약 1 내지 약 5, 약 1.5 내지 약 4.75, 약 1.75 내지 약 4.5, 약 2 내지 약 4.25, 또는 약 2.5 내지 약 4 정도가 될 수 있다.

[0065] 침식의 결과로서, 터빈들은 시간이 지남에 따라 성능의 열화(예를 들면, 감소된 효율 및/또는 동력 출력을 통해)를 경험할 수 있다. 예를 들면, 종래의 터빈은 2년 내지 3년의 기간 이상에서 동력 손실의 10%의 동력 열화를 경험할 수 있다. 상기 터빈을 수리하기 위한 점검은 상기 터빈의 구입비용의 대략 50%의 비용이 들 수 있다. 이에 따라, 20년 이상의 수명에서, 현재의 터빈들은 전체적으로 8회 정도 수리될 수 있으며, 이는 전체적으로 상기 터빈의 초기 구입 가격의 4배가 될 수 있다.

[0066] 이러한 열화는 상기 연소기와 상기 터빈 사이에 위치하는 공기 여과 시스템을 통과하는 잔류 먼지 입자들에 의해 야기되는 침식에 기인할 수 있다. 상기 필터들의 미립자 제거 유효성을 증가시키는 것은 이가 공기 흐름을 제한하고 상기 터빈의 효율을 감소시킬 수 있기 때문에 실행 가능한 선택이 되지 못할 수 있다. 따라서, 본 발명의 터빈들은 침식을 최소화하거나 제거하여 수리에 대한 필요성을 최소화하거나 제거함으로써 상당한 비용 절

감을 제공할 수 있다. 이러한 관점에서, 상기 입자들과 날개 사이의 충돌과 관련된 충격 에너지의 분산 비율은 대략적으로 이들 사이의 상대 속도의 세제곱에 비례한다. 이러한 관점에서, 터빈 날개들의 침식은 다음과 같이 충격 에너지 분산 비율("충격력(Impact Power)")에 대략적으로 비례하려는 경향이 있다.

[0067]
$$IP = kV^3/X \quad (공식 3)$$

[0068] 여기서,

[0069] $IP = \text{충격력},$

[0070] $k = \text{입자 물질, 날개 물질, 주위 온도 및 충격 각도에 기초하는 가변 요소},$

[0071] $v = \text{상기 터빈 날개들과 입자들 사이의 상대 속도, 그리고}$

[0072] $X = \text{충격 상호 작용의 특징 길이이다.}$

[0073] 상기 날개들의 속도를 감소시키고 분출 보호를 제공함에 의해, 충격들이 침식이 일어나는 문턱 값 아래로 최소화되거나 감소될 수 있고, 화학적 손상도 감소되거나 제거될 수 있다. 이에 따라, 침식으로 인한 수리와 관련된 비용이 감소되거나 제거될 수 있으며, 이에 따라 여기서 제공되는 터빈들의 실시예들은 상당한 비용 절감을 제공할 수 있다. 또한, 전술한 바와 같이, 값비싼 초내열 합금 사용을 위한 필요성이 없어짐에 의해, 본 발명에 따른 터빈들은 현재의 터빈들 보다 상대적으로 덜 비쌀 수 있다.

[0074] 다양한 알려진 발전소들의 예들에 있어서, 효율은 터빈 유입구 온도들에 결정적으로 좌우된다. 예를 들면, 광범위한 작업이 약 1,350°C 만큼 높은 유입구 온도들을 가능하게 하는 터빈 기술을 구현하도록 많은 비용으로 수행되어 왔다. 상기 터빈 유입구 온도가 높을수록 플랜트 효율이 높아지지만, 보다 값비싼 터빈이 요구되고, 잠재적으로는 그 수명을 단축시킨다. 상기 연소 생성물 흐름의 상대적으로 높은 온도 때문에, 이러한 온도들에서 견딜 수 있는 물질들로 상기 터빈을 형성하는 것이 유익할 수 있다. 또한, 상기 터빈이 상기 터빈 연소 생성물 내에 존재하는 이차적인 물질들의 유형에 우수한 화학적 저항성을 제공하는 물질을 포함하게 하는 것이 유용할 수 있다.

[0075] 어떤 실시예들에 있어서, 본 발명은 특히 터빈 구성 요소들과 함께 냉각 유체를 사용을 제공할 수 있다. 다음에 보다 상세하게 설명하는 바와 같이, 예를 들면, 본 발명의 시스템들과 방법들은 고효율의 연료 연소기(예를 들면, 분출 냉각된 연소기) 및 관련된 순환 유체(CO_2 순환 유체와 같은)의 사용을 통한 전력 생산을 가능하게 한다. 특히, 상기 순환 유체의 일부는 분출 냉각을 통하는 것과 같은 터빈 냉각에 사용되도록 상기 터빈 구성 요소들, 특히 터빈 날개들로 안내될 수 있다.

[0076] 예를 들면, 일부 실시예들에 있어서, CO_2 순환 유체의 일부는 사이클로부터(예를 들면, 분출 냉각 유체를 위해 유용한 조건들 하에 순환 유체가 있는 사이클의 일부로부터) 인출될 수 있고 상기 성분들의 냉각을 위한 터빈, 특히 터빈 날개들로 안내될 수 있다. 상기 날개 냉각 유체는 상기 터빈 날개 내의 홀들(또는 천공들)로부터 배출될 수 있고 상기 터빈 흐름 내로 직접 투입될 수 있다. 따라서, 분출 유체로서 공기를 사용(전술한 바와 같이 그 냉각 능력에서 한계가 있고 안전 측면에서 제한받는)하기보다는, 본 발명의 방법들과 시스템들은 터빈 냉각 매체로서 높은 압력의 CO_2 , 초임계의 CO_2 , 그리고 심지어는 액상의 CO_2 의 매우 많은 양들의 사용을 제공한다. 이는 알려진 날개 냉각 방법들에 비하여 큰 비율들로 터빈 날개들에 사용 가능한 냉각 능력을 증가시키기 때문에 매우 유용하다. 본 발명은 또한 상기 CO_2 순환 유체가 매우 많은 양들로 상기 시스템 내에 존재할 수 있기 때문에 특히 유용하며, 이는 상기 터빈 날개들을 통해 이동되는 매우 많은 양의 냉각 유체를 가능하게 한다. 상기 터빈 날개들을 통한 이러한 큰 체적 및/또는 많은 질량 유량의 CO_2 냉각 유체는 고효율의 전력 생산 방법들을 위해 유용한 극한의 열로부터 상기 터빈 날개들을 보호할 뿐만 아니라, 높은 온도의 가스들과 상기 날개의 전체 표면을 통해 상기 CO_2 냉각 유체의 분출에 의해 상기 터빈을 통해 흐르는 여과되지 않은 미립자들 물질의 부식성 및 침식성 효과들로부터의 상기 터빈 날개들의 보호에 도움이 된다. 일 실시예에 있어서, 분출 냉각은 전술한 상당히 높은 터빈 유입구 온도들(예를 들면, 1,350°C)에도 불구하고 약 200°C 내지 약 700°C 정도의 동작 날개 온도들을 제공할 수 있고, 이는 현재에 적용되거나 및/또는 보다 높은 터빈 유입구 온도들이 적용될 수 있는 경우들 보다 상대적으로 덜 비싼 물질들을 포함하는 터빈 날개들의 사용을 가능하게 하며, 이는 보다 큰 효율을 가져올 수 있다. 전술한 분출 냉각되는 터빈 구성 요소들은 임의의 전력 생산 방법과 시스템에 사용될 수 있고, 높은 압력의 CO_2 (또는 N_2 와 같은 공기나 증기 보다 덜 부식성인 다른 유체)가 높은 재순환 비율의 순환 유체로서

사용 가능하게 될 수 있다.

- [0077] 특정 실시예들에 있어서, 터빈 날개 냉각 매체로서 CO₂ 순환 유체의 사용은, 상기 CO₂ 냉각 매체가 본 발명의 날개들이 주위의 연소 생성물 흐름의 아주 높은 온도로 가열되는 것을 방지하고 상기 연소 생성물 흐름의 부식성 및 침식성 효과를 감소시키기 때문에, 고효율의 전력 생산 방법들에 사용되는 알려진 터빈 날개들 보다 매우 낮은 비용의 물질들로 상기 터빈 날개들을 제조할 수 있게 한다. 예를 들면, 본 발명에 따르면, 터빈 날개들은 폭넓게 다양한 고강도 스틸들 또는 심지어는 상대적으로 낮은 비용의 스틸들로부터 제조될 수 있다. 이와 유사하게, 상기 날개들은 탄소 복합체들이나 심지어는 알루미늄과 같은 낮은 온도의 물질들로 제조될 수 있다. 가스 터빈 구성 요소들, 심지어는 낮은 온도 조건들 및/또는 낮은 침식성 또는 낮은 부식성 조건들에서 사용되는 터빈들을 위해 해당 기술 분야에서 유용한 것으로 인식되는 임의의 물질이 본 발명에 따른 터빈 구성 요소들의 제조에 유용할 수 있다.
- [0078] 본 발명에 따라 CO₂ 순환 유체의 일부로의 터빈 날개들의 분출 냉각은 또한 여과 단계와 구성 요소를 개입시키지 않고 성분의 상기 터빈을 통한 재(또는 다른 미립자 물질 및/또는 불연성 물질들)를 함유하는 연소 가스들의 안전 통로를 용이하게 할 수 있기 때문에 유용하다. 이는 전력 생산 설비들의 설계를 상당히 간단하게 하며 연료 공급원으로서 연소를 위해 사용될 수 있는 물질들의 종류를 증가시킨다.
- [0079] 본 발명에 따라 터빈 구성 요소들의 분출 냉각에의 CO₂ 순환 유체의 사용은 또한 전력 생산 사이클의 열역학에 대하여 유리하다. 터빈 날개들을 위한 알려진 분출 매체들에 비한 상기 CO₂ 순환 유체의 매우 향상된 냉각 능력 때문에, 상기 터빈의 내열성의 제한 없이 증가된 온도들에서 상기 연소기를 동작시키는 것이 가능하다. 따라서, 극히 높은 온도들에서 동작할 수 있는 연소기들(예를 들면, 분출 냉각된 연소기들)은, 상기 연소 생성물이 상기 터빈 구성 요소들에 대한 손상 없이 상기 CO₂ 냉각된 터빈을 통과할 수 있기 때문에 본 발명에 따라 최대의 동작 온도들 근처에서 동작할 수 있다. 이는 상기 전력 생산 사이클의 잠재적인 열역학적 효율을 100%에 근접하게 증가시킨다.
- [0080] 터빈 날개 설계, 전체적인 터빈 설계 및 터빈 날개들의 분출 냉각의 임의의 결합은 연소가 미립자들의 형성을 가져오는 방법들 및 시스템들과 같은 터빈 날개 수명이 연장되는 것이 요구되는 임의의 전력 생산 방법에 사용될 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 상기 방법들과 시스템들은 특히 순환 유체가 사용될 수 있는 것들이 될 수 있다. 예를 들면, 높은 압력의 CO₂가 높은 재순환 비율의 순환 유체로서 사용하게 될 수 있다.
- [0081] 예를 들면, 여기서 설명하는 터빈은 CO₂ 순환 유체가 적절한 연료, 임의의 필요한 산소 및 효율적인 연소를 위해 유용할 수 있는 임의의 관련된 물질들과 함께 연소기 내에 제공되는 방법 및 시스템에 사용될 수 있다. 이러한 시스템들과 방법들은 매우 높은 온도들(예를 들면, 약 1,600°C 내지 약 3,300°C 또는 심지어는 그 이상의 범위 이내)에서 동작하는 연소기들을 포함할 수 있으며, 상기 순환 유체의 존재는 상기 연소기를 나가는 유체 흐름의 온도를 조절하는 가능을 수행할 수 있으므로 상기 유체 흐름이 전력 생상을 위한 에너지 전달에 활용될 수 있다. 특히, 연소 생성물 흐름은 동력을 발생시키도록 적어도 하나의 터빈을 가로질러 팽창될 수 있다. 상기 팽창된 가스 흐름은 물과 같이 상기 흐름으로부터 다양한 성분들을 제거하도록 냉각될 수 있으며, 상기 팽창된 가스 흐름으로부터 인출된 열은 CO₂ 순환 유체의 가열에 사용될 수 있다. 상기 정제된 순환 유체 흐름은 이후에 가압될 수 있고 상기 연소기를 통한 재순환을 위해 가열될 수 있다. 본 발명의 설계들(관련된 날개 분출 냉각을 갖거나 갖지 않는)을 포함할 수 있는 예시적인 전력 생산 시스템들과 방법들이 미국 특허 출원 공개 제 2011/0179799호에 개시되어 있으며, 이의 개시 사항들은 여기에 참조로 언급된다.
- [0082] 연소 동력 사이클 내로 본 발명에 따른 터빈의 통합은 미립자의 성분을 야기하는 연료들의 연소에 대하여 특히 유용하다. 예를 들면, 다양한 유형들의 석탄이 재 및/또는 다른 미립자들의 함량을 갖는 연소 흐름을 생성하도록 전력 생산 사이클 내에서 연소될 수 있다. 유익하게는, 본 발명에 따른 터빈이 상기 연소 사이클 내에 통합될 때, 전체 연소 생성물 흐름(즉, 미립자들의 전체 함량을 포함하는)은 예비적인 여과 단계의 필요 없이 상기 터빈 내로 도입될 수 있다. 이는 상기 터빈을 통과하기 이전에 상기 연소 생성물의 여과를 요구하는 공정들에 비하여 결국 연소 효율을 향상시킬 수 있는 보다 높은 터빈 유입구 온도의 이용을 가능하게 한다. 본 발명에 따르면, 이는 본 발명의 터빈들이 상당한 침식 없이 입자 충돌을 겪을 수 있기 때문에 가능하다. 미립자 물질들은 이후에 상기 터빈을 나오는 상기 흐름으로부터 여과될 수 있다.
- [0083] 본 발명에 따라 제공되는 연소 사이클의 일 실시예가 도 1의 흐름도에 예시된다. 예시한 실시예에 있어서, 공기 분리 유닛(100)은 주위 공기(10)를 흡입하고 농후화된(enriched) 산소 흐름(120)을 출력하도록 제공된다. 상기

산소 흐름(120)은 적어도 약 50%, 적어도 약 60%, 적어도 약 70%, 적어도 약 80%, 적어도 약 90%, 또는 적어도 약 95%의 물 순도(molar purity)를 갖는 산소를 포함할 수 있다. 상기 산소 흐름(120)은, 예를 들면, 초저온 공기 분리(cryogenic air separation) 공정이나 고온 이온 전도성막(ion transport membrane) 산소 분리 공정(공기로부터)과 같은 임의의 해당 기술 분야에서 알려져 있는 공기 분리 시스템/기술에 의해 제공될 수 있고, 구현될 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 농후화된 산소 흐름은 초저온 공기 분리 공정의 동작에 의해 생성될 수 있고, 냉각을 유지하는 주위 온도로 효율적으로 가열된 액체를 펌핑함에 의해 산소 상기 공정에서 산소가 가압된다. 이러한 초저온 펌핑 산소 플랜트는 2개의 공기 압축기들을 가질 수 있고, 이들은 중간 단계 냉각이 없이 모두 단열적으로 동작될 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 상기 공기 분리기 유닛에 의해 생성된 열을 회수하고, 상기 열을 열 투입이 바람직할 수 있는 본 명세서에서 설명하는 시스템에 전달하기 위한 유용한 구성 요소들을 포함하는 것이 유용할 수 있다.

[0084] 도 1에 예시한 사이클은 연소 생성물의 성분으로서 미립자의 물질(예를 들면, 재)을 포함하는 임의의 연료 공급원의 연소를 위해 유용하다. 본 발명에 따라 유용한 연료들의 제한적이지 않은 예들은 다양한 등급들과 유형들의 석탄, 목재, 오일, 타르 샌드들(tar sands)로부터의 타르, 역청, 생물질, 조류(algae), 분류된 가연성 고체 폐기물 쓰레기, 아스팔트, 그리고 폐타이어들을 포함한다. 특히, 임의의 고체상의 연료 물질이 본 발명에 사용될 수 있으며, 이러한 연료들은 특히 적절하게 입자 크기들을 감소시키도록 분쇄되거나, 잘라지거나 또는 그렇지 않으면 처리될 수 있다. 유동화(fluidization) 또는 슬러리화 매체가 적절한 형태를 구현하고 높은 압력의 펌핑을 위한 흐름 요구 사항들을 만족시키도록 필요에 따라 첨가될 수 있다. 예를 들면, 도 1을 참조하면, 상기 고체상의 연료(15)는 분말화된 연료를 제공하도록 밀 장치(mill apparatus)(200)를 통과할 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 상기 고체상의 연료(15)는 현장 분쇄를 위한 필요에 앞서도록 특정화된 조건에서 제공될 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 상기 고체상의 연료(15)는 약 10m 내지 약 500m, 약 25m 내지 약 400m, 또는 약 50m 내지 약 200m 정도의 평균 입자 크기를 가질 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 상기 고체상의 연료(15)는 약 500m, 400m, 300m, 200m, 또는 100m 보다 작은 평균 입자 크기를 갖는 고체상의 연료 입자들의 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95%, 또는 99% 보다 큰 것으로 설명될 수 있다.

[0085] 상기 고체상의 연료(15)는 충분한 비율들과 상기 연소기 내의 압력 이상의 압력들에서 연소 장치 내로 주입되는 것이 가능하도록 적절하게 처리될 수 있다. 이러한 특성을 제공하기 위하여, 상기 고체상의 연료(15)는 액체, 슬러리, 젤(gel), 또는 주위 온도 또는 상승된 온도에서 적절한 유동성과 접성을 갖는 페이스트(paste) 형태가 될 수 있다. 예를 들면, 상기 고체상의 연료(15)는 약 30°C 내지 약 500°C, 약 40°C 내지 약 450°C, 약 50°C 내지 약 425°C, 또는 약 75°C 내지 약 400°C 정도의 온도에서 제공될 수 있다. 상기 고체상의 연료(15)가 분쇄되거나, 잘리거나 또는 그렇지 않으면 처리되는 조건에 있어 입자 크기가 적절하게 감소될 때, 유동화 또는 슬러리화 매체는 필요에 따라 적합한 형태를 구현하고 높은 압력 펌핑을 위한 흐름 요구 사항들을 만족시키도록 첨가될 수 있다. 도 1의 실시예에서 예시한 바와 같이, 상기 밀 장치(200)에 의해 상기 고체상의 연료(15)로부터 생성된 미립자의 고체상의 연료(220)는 슬러리의 형태로 상기 석탄을 제공하도록 유동화 물질과 혼합될 수 있다. 특히, 상기 미립자의 고체상의 연료(220)는 혼합기(250) 내에서 재순환된 CO₂ 순환 유체 흐름(561)로부터의 CO₂ 측부 인출(side draw)(562)과 함께 결합된다. 상기 CO₂ 측부 인출(562)은 초임계의 높은 밀도 상태로 제공될 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 상기 슬러리의 형성에 사용되는 CO₂는 약 450kg/m³ 내지 약 1,100kg/m³ 정도의 밀도를 가질 수 있다. 보다 상세하게는, CO₂ 측부 인출(562)은, 예를 들면, 상기 미립자의 석탄의 약 10 중량% 내지 약 75 중량% 또는 약 25 중량% 내지 약 55 중량%를 갖는 슬러리(255)를 형성하도록 상기 미립자의 고체상의 연료(220)와 협력할 수 있다. 더욱이, 상기 슬러리(255)의 형성에 사용되는 측부 인출(562)로부터의 상기 CO₂는 약 0°C 보다 작거나, 약 -10°C 보다 작거나, 약 -20°C 보다 작거나, 또는 약 -30°C 보다 작은 온도에 있을 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 상기 슬러리의 형성에 사용되는 측부 인출(562)로부터의 상기 CO₂는 약 0°C 내지 약 -60°C, 약 -10°C 내지 약 -50°C, 또는 약 -18°C 내지 약 -40°C 정도의 온도에 있을 수 있다. 슬러리 매체로서 CO₂의 사용에 대한 슬러리화 단계를 설명하였지만, 다른 슬러리화 매체가 사용될 수 있는 점을 이해할 수 있을 것이다.

[0086] 상기 슬러리(255)는 상기 혼합기(250)로부터 펌프(270)를 경유해 연소기 장치(300)로 전송될 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 상기 연소 장치(300)는 상대적으로 높은 연소 온도에서 연료의 실질적으로 완전한 연소를 제공할 수 있는 고효율의 연소기가 될 수 있다. 고온 연소는 특히 상기 연료의 모든 가연성 성분들의 실질적으로 완전한 연소를 제공하고 이에 따라 효율을 최대화하는 데 특히 유용할 수 있다. 다양한 실시예들에 있어서, 고온 연소는 적어도 약 1,000°C, 적어도 약 1,200°C, 적어도 약 1,500°C, 적어도 약 2,000°C, 또는 적어도 약

3,000°C에서의 연소를 의미할 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 고온 연소는 약 1,000°C 내지 약 5,000°C 또는 약 1,200°C 내지 약 3,000°C 정도의 온도에서의 연소를 의미할 수 있다.

- [0087] 어떤 실시예들에 있어서, 상기 연소기 장치(300)는 분출 냉각 연소기일 수 있다. 본 발명에 사용되는 분출 냉각 연소기의 하나의 예가 미국 특허 출원 공개 제2010/0300063호 및 미국 특허 출원 공개 제2011/0083435호에 개시되어 있으며, 이들의 개시 사항들은 여기에 참조로 언급된다. 일부 실시예들에 있어서, 본 발명에 따라 유용한 분출 냉각 연소기는 하나 또는 그 이상의 열 교환 영역, 하나 또는 그 이상의 냉각 유체들, 그리고 하나 또는 그 이상의 분출 유체들을 포함할 수 있다.
- [0088] 본 발명에 따른 분출 냉각 연소기의 사용은 전력 생산을 위한 해당 기술 분야에서 알려진 연료 연소에 대해 특히 유리하다. 예를 들면, 상기 분출 냉각 연소기의 사용은 상기 연소기 내의 부식, 악취 및 침식을 방지하는 데 유용할 수 있다. 이는 또한 사용되는 상기 연료의 완전한 또는 적어도 실질적으로 완전한 연소를 제공하도록 상기 연소기가 충분하게 높은 온도 범위에서 동작하는 것을 가능하게 한다. 이를 및 다른 이점들은 여기서 보다 상세하게 설명된다.
- [0089] 특정한 일 측면에 있어서, 본 발명에 따라 유용한 분출 냉각 연소기는 분출 부재(transpiration member)에 의해 적어도 부분적으로 한정되는 연소실을 포함할 수 있고, 상기 분출 부재는 격납 부재(pressure containment member)에 의해 적어도 부분적으로 둘러싸인다. 상기 연소실은 유입구 부분 및 대향하는 유출구 부분을 가질 수 있다. 상기 연소실의 유입구 부분은 연소 생성물을 형성하도록 연소 온도에서 상기 연소실 내에서 연소되는 탄소를 함유하는 연료를 수용하도록 구성될 수 있다. 상기 연소실은 또한 상기 연소 생성물을 상기 유출구 부분을 향해 안내하도록 구성될 수 있다. 상기 분출 부재는 상기 연소 생성물과 상기 분출 부재 사이의 상호 작용을 완충시키기 위하여 상기 연소실을 향해 이를 통해 분출 물질을 안내하도록 구성될 수 있다. 또한, 상기 분출 물질은 상기 연소 생성물의 원하는 유출구 온도를 구현하도록 상기 연소실 내로 도입될 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 상기 분출 물질은 적어도 부분적으로 상기 순환 유체를 포함할 수 있다. 상기 연소실의 벽들은 이를 통해 CO₂ 및/또는 H₂O와 같은 분출 물질이 안내되고 흐르는 다공성 물질의 층과 정렬될 수 있다.
- [0090] 이러한 다공성 분출층을 통하고, 선택적으로는 추가적인 설비들을 통하는 상기 분출 물질의 흐름은 상기 연소 장치(300)로부터 원하는 전체 출구 유체 흐름 유출구 온도를 구현하도록 구성될 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 여기서 더 설명하는 바와 같이, 이러한 온도는 약 500°C 내지 약 2,000°C 정도의 범위가 될 수 있다. 이러한 흐름은 또한 상기 분출 부재를 형성하는 물질의 최대의 허용 가능한 동작 온도 아래의 온도로 상기 분출 부재를 냉각하는 데 기여할 수 있다. 상기 분출 물질은 또한 부식시키거나, 악취를 내거나 또는 그렇지 않으면 상기 벽들을 손상시킬 수 있는 상기 연료 내의 임의의 고체상의 또는 액체상의 물질들이나 다른 성분들의 충돌을 방지하는 데 기여할 수 있다. 이러한 예들에 있어서, 합당한 열전도도를 갖는 분출 부재를 위한 물질을 사용하여 입사하는 복사열이 상기 다공성의 분출 부재를 통해 외측으로 방사형으로 전도될 수 있고, 이후에 상기 다공성 층 구조물의 표면들로부터 내측으로 방사형으로 상기 분출 층을 통과하는 유체까지의 대류 열전달에 의해 차단되도록 하는 것이 바람직하다. 이러한 구성은, 이를 위해 사용되는 물질의 설계 범위 내의 상기 다공성 분출 부재의 온도를 동시에 유지하면서, 상기 분출 부재를 통해 안내되는 흐름의 후속하는 일부가 약 500°C 내지 약 1,000°C 또는 약 200°C 내지 약 700°C와 같은 원하는 범위 내의 온도로 가열되는 것을 가능하게 한다. 상기 다공성 분출 부재를 위한 적절한 물질들은, 예를 들면, 다공성 세라믹들, 내화 금속 섬유 매트들(mats), 홀-천공된 실린더형 구획들 및/또는 소결된 금속층들 또는 소결된 금속 분말들을 포함할 수 있다. 상기 분출 부재의 두 번째 기능은, 상기 연소기의 길이를 따른 평탄한 축 방향의 흐름을 증진시키면서, 상기 분출 유체 흐름과 상기 연소 생성물 사이에 우수한 혼합을 이루도록 분출 유체의 상기 연소기를 따른 길이 방향뿐만 아니라 실질적으로 평탄한 방사형의 내측 흐름을 확보하는 것이 될 수 있다. 상기 분출 부재의 세 번째 기능은 재의 고체상의 및/또는 액체상의 입자들이나 상기 연소 생성물들 내의 다른 오염물들이 상기 분출층의 표면에 충돌하고 막힘, 침식, 부식 또는 다른 손상을 일으키는 것을 완충시키거나 혹은 그렇지 않으면 차단하는 것을 제공하기 위하여 방사형으로 내측 방향으로 희석 유체의 속도를 구현하는 것이 될 수 있다. 이러한 인자는, 예를 들면, 석탄과 같은 전류하는 불활성의 비-가연성 전류물을 포함하는 연료를 연소할 때, 단지 중요할 수 있다. 상기 분출 부재를 둘러싸는 상기 연소기 압력 용기의 내측 벽은 또한 상기 연소기 내의 상기 높은 온도의 분출 유체 흐름을 분리하도록 절연될 수 있다.
- [0091] 어떤 실시예들에 있어서, 혼합 장치(mixing arrangement)(도시되지 않음)가 이러한 분출 이전에 상기 연소기 장치(300) 내로 도입되는 물질들을 결합하도록 제공될 수 있다. 특히, 상기 연료, O₂ 및 순환 유체(예를 들면, CO₂ 순환 유체)의 둘 또는 셋 모두의 임의의 결합은 상기 연소기 장치(300) 내로 도입 이전에 최적의 혼합 장치 내

에서 결합될 수 있다.

- [0092] O_2 (120) 및 재순환된 순환 유체(503)와 함께 상기 연소기 장치(300)로 도입되는 연료(15)(상기 슬러리 흐름(255)으로서)는 연소 생성물 흐름(320)을 제공하도록 연소된다. 특정 실시예들에 있어서, 상기 연소기 장치(300)는 상술한 바와 같이 분출 냉각된 연소기이다. 연소 온도는 특정한 공정 변수들, 예를 들면, 사용되는 연료의 유형, 상기 연소기 내로 도입될 때에 상기 연료 내의 탄소에 대한 순환 유체의 몰비 및/또는 상기 연소기 내로 도입되는 O_2 에 대한 CO_2 의 몰비에 따라 변화할 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 상기 연소 온도는 상기 분출 냉각된 연소기의 설명과 관련하여 전술한 바와 같은 온도이다. 특히 바람직한 실시예들에 있어서, 여기서 설명하는 바와 같이, 약 1,000°C를 초과하는 연소 온도들이 유리할 수 있다.
- [0093] 또한, 연소 온도를 조절하여 상기 연소기를 떠나는 상기 연소 생성물 흐름이 원하는 온도를 가지도록 하는 것이 유용할 수 있다. 예를 들면, 적어도 약 700°C, 적어도 약 900°C, 적어도 약 1,200°C, 또는 적어도 약 1,600°C의 온도를 갖는 연소기를 떠나는 상기 연소 생성물 흐름을 위해 유용할 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 상기 연소 생성물 흐름은 약 700°C 내지 약 1,600°C 또는 약 1,000°C 내지 약 1,500°C 정도의 온도를 가질 수 있다.
- [0094] 특히, 상기 연소 생성물 흐름(320)의 압력은 상기 연소기 장치(300) 내로 도입되는 상기 순환 유체의 압력과 관련될 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 상기 연소 생성물 흐름(320)의 압력은 상기 연소기 장치(300) 내로 도입되는 상기 순환 유체의 압력의 적어도 약 90%가 될 수 있다.
- [0095] 상기 연소기 장치(300)를 나가는 상기 연소 생성물 흐름(320)의 화학적인 구성은 사용되는 연료의 유형에 따라 변화될 수 있다. 중요하게는, 상기 연소 생성물 흐름은 재순환되고 상기 연소기 장치(300) 또는 다른 사이클들 내로 재도입되는 상기 순환 유체(예를 들면, CO_2)의 주요 성분을 포함할 것이다. 다른 실시예들에 있어서, 상기 연소 생성물 흐름(320)은 하나 또는 그 이상의 수증기, SO_2 , SO_3 , HCl, NO, NO_2 , Hg, 과잉의 O_2 , N_2 , Ar, 불연성 물 및/또는 다른 미립자 물질, 그리고 연소되는 연료 내에 존재하는 가능한 다른 오염물을 포함할 수 있다. 상기 연소 생성물 내에 존재하는 이들 물질들은 제거되지 않는 한 여기서 설명하는 공정들에 의한 것과 같이 상기 CO_2 순환 유체 흐름 내에 지속될 수 있다.
- [0096] 유리하게는, 본 발명에 따르면, 상기 연소 생성물 흐름(320)은 상기 연소 생성물 흐름(320) 내의 임의의 미립자 물질을 먼저 여과할 필요성이 없이 터빈(400)으로 안내될 수 있다. 상기 터빈(400) 내에서, 상기 연소 생성물(320)은 동력을 발생(예를 들면, 전기를 생성하는 발전기(400a)를 통해)하도록 팽창된다. 상기 터빈(400)은 상기 연소 생성물 흐름(320)을 수용하는 유입구 및 터빈 배출 흐름(410)을 방출하는 유출구를 가질 수 있다. 비록도 1에는 단일 터빈(400)이 도시되지만, 하나 이상의 터빈이 사용될 수 있고, 다중 터빈들이 연속하여 연결되거나, 다른 연소 구성을 위한 요소, 압축하는 구성을 위한 요소, 분리기 구성을 위한 요소 또는 이와 유사한 것들과 같은 하나 또는 그 이상의 다른 구성을 위한 요소들에 의해 선택적으로 분리되는 점을 이해할 수 있을 것이다.
- [0097] 상기 터빈(400)은 특히 날개 설계 및/또는 그렇지 않으면 여기에 설명하는 바와 같이 전체적인 설계를 갖는 터빈일 수 있다. 또한, 상기 터빈은 여기서 설명하는 바와 같은 분출 냉각 또는 다른 냉각 기술을 통합할 수 있다. 특히, 상기 터빈 설계는 상기 터빈이 중요한 침식이 없이 충돌을 견딜 수 있게 하기 위하여 매우 낮은 날개 속도와 재 입자 충돌 속도를 갖는 하나가 될 수 있다. 상기 터빈의 분출 냉각은 또한 상기 날개 표면과 상기 터빈을 통과하는 미립자 물질 사이에 상기 분출 유체의 연속적인 흐름 장벽충을 생성함에 의해 입자 침식에 대하여 보호할 수 있다.
- [0098] 다시 도 1을 참조하면, 상기 예시적인 시스템과 사이클은 상기 터빈(400)으로부터 후속하는 필터(5)를 더 포함할 수 있다. 상기 터빈 배출 흐름(410)은 그로부터 상기 미립자 물질들을 제거하도록 상기 필터(5)를 통과할 수 있다. 상기 터빈(400)의 앞서는 대신에 상기 터빈(400)에 후속하는 필터(5)의 위치는, 상기 연소기(300)를 떠나는 즉시 상기 연소 생성물 흐름(320)이 보다 높은 온도와 압력에서 상기 터빈을 가로질러 팽창될 수 있고 이에 따라 전력 생산이 최대화될 수 있기 때문에, 본 발명의 유리한 특징이 된다. 보다 낮은 압력 및 보다 차가운 터빈 배출 흐름(410)은 이후에 미립자 흐름(7)으로서 이로부터 상기 미립자 물질들을 제거하도록 상기 필터(5) 내에서 여과될 수 있다. 상기 여과된 터빈 배출 흐름(420)은 이에 따라 상기 연소 사이클 내의 다른 처리를 위하여 미립자 물질이 실질적으로 없이 제공된다.
- [0099] 특정 실시예들에 있어서, 상기 필터(5)는 바람직하게는 상기 연소 생성물 흐름(320) 내에 존재하는 미립자 물질의 실질적으로 전부를 제거하기 위하여 효과적인 구성을 포함할 수 있다. 상기 필터(5)는 일부 실시예에서 사이클론(cyclone) 필터 및/또는 캔들(candle) 필터를 포함할 수 있으며, 여과는 일부 실시예들에서 약 300°C 내지

약 775°C 정도에서 일어날 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 상기 미립자들의 실질적으로 전부의 제거는 상기 연소 생성물 흐름 내에 존재하는 미립자들의 부피의 적어도 95%, 적어도 96%, 적어도 97%, 적어도 98%, 적어도 99%, 적어도 99.5%, 또는 적어도 99.8%의 제거를 포함할 수 있다. 상기 필터의 이러한 미립자 제거 효율은 입자 크기에 관련될 수 있다. 예를 들면, 제거된 입자들의 전술한 퍼센티지는 적어도 약 0.1m, 적어도 약 0.5m, 적어도 약 1m, 적어도 약 5m, 적어도 약 10m, 적어도 약 25m, 적어도 약 50m, 적어도 약 100m, 또는 적어도 500m 정도의 직경을 갖는 입자들을 거르는 상기 필터의 능력과 관련될 수 있다. 일 실시예에 있어서, 연소에 의해 생성되는 상기 입자들은 약 0.1m 내지 약 100m 정도의 범위 내에 있을 수 있고, 상기 필터는 약 1m 이상, 약 5m 이상, 약 10m 이상, 약 15m 이상, 또는 약 20m 이상의 모든 입자들을 실질적으로 제거하도록 구성될 수 있으며, 전체 입자들의 레벨들을 약 10mg/m³ 보다 작거나, 약 5mg/m³ 보다 작거나, 약 1mg/m³ 보다 작거나, 또는 약 0.5mg/m³ 보다 작게 감소시킬 수 있다.

[0100] 특정 실시예들에 있어서(즉, CO₂가 순환 유체로서 사용되는), 상기 여과된 터빈 배출 흐름(420)은 처리되지 않은 재순환 흐름(501)을 형성하도록 열 교환기 유닛(500)(열 교환기들의 시리즈가 될 수 있는)을 통과할 수 있다. 이러한 처리되지 않은 재순환 흐름(501)은 흐름(521)을 형성하도록 저온수 열 교환기(520)를 통과할 수 있으며, 이는 이차 성분들(예를 들면, H₂O, SO₂, SO₄, NO₂, NO₃ 및 Hg)을 흐름(542)으로 제거하기 위하여 분리기(540)를 통과한다. 특정 실시예들에 있어서, 상기 분리기(540)는 충분한 체류 시간을 갖는 접촉기(contactor)를 제공하는 반응기(reactor)를 포함하여, 용이하게 제거되는 물질들(예를 들면, 산들(acids))을 형성하도록 불순물들이 물과 반응할 수 있다. 상기 분리기(540)로부터의 정제된 순환 유체 흐름(541)은 흐름(551)을 형성하도록 압축기(550)를 통과할 수 있으며, 이는 또한 초임계의 고밀도 CO₂ 순환 유체(561)를 제공하도록 저온수 열 교환기(560)로 냉각될 수 있다. 어떤 실시예들에 있어서, 상기 정제된 CO₂ 순환 유체(541)는 적어도 약 7.5MPa 또는 적어도 약 8MPa 정도의 압력까지 압축될 수 있다. 흐름(561)의 일부는 상기 슬러리 흐름(255)을 형성하도록 상기 혼합기(250) 내의 상기 유동화 매체로서의 사용을 위한 흐름(562)으로서 인출될 수 있다. 상기 초임계의 고밀도 CO₂ 순환 유체 흐름(561)은 그렇지 않으면 상기 가압되고, 초임계이며, 높은 밀도의 CO₂ 순환 유체 흐름(571)을 형성하도록 압축기(570) 내에서 더 가압된다. 상기 흐름(571) 내의 CO₂의 일부는 흐름(572)으로서 CO₂ 파이프라인 또는 다른 격리 수단으로 인출될 수 있다. 상기 CO₂의 잔류하는 부분은 가압되고, 초임계인 고밀도 CO₂ 순환 유체 흐름(573)으로 진행할 수 있으며, 이는 상기 흐름을 가열하도록 상기 열 교환기(500)(또는 열 교환기들의 시리즈)를 다시 통과할 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 상기 저온수 열 교환기(560)로부터 배출된 후에(그리고 가열을 위해 상기 열 교환기 유닛(500)을 통과하기 이전에), 상기 CO₂ 순환 유체는 적어도 약 200kg/m³, 적어도 약 300kg/m³, 적어도 약 500kg/m³, 적어도 약 750kg/m³, 또는 적어도 약 1,000kg/m³ 정도의 밀도에서 제공될 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 상기 밀도는 약 150kg/m³ 내지 약 1,100kg/m³ 정도가 될 수 있다. 저온수 열 교환기(560)를 통한 상기 흐름(551)의 통과는 상기 CO₂ 순환 유체를 약 60°C 보다 작거나, 약 50°C 보다 작거나, 또는 약 30°C 보다 작은 온도까지 냉각시킬 수 있다. 상기 제2 압축기(570)로 들어가는 상기 흐름(561) 내의 CO₂ 순환 유체는 적어도 약 12MPa 정도의 압력에서 제공될 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 상기 흐름은 약 15MPa 내지 약 50MPa 정도의 압력까지 가압될 수 있다. 전술한 온도들 하에서 작동할 수 있고 상술한 압력을 구현할 수 있는 임의의 유형의 압축기가 높은 고압 다단계 펌프와 같이 사용될 수 있다.

[0101] 상기 가열되고, 가압되며, 초임계이고 고밀도인 CO₂ 순환 유체는 상기 재순환된 순환 유체로서 제공되도록 제1 흐름(503)으로서 상기 열 교환기(500)를 떠날 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 상기 가열되고, 가압되며, 초임계인 고밀도 CO₂ 순환 유체는 상기 터빈 날개들을 위한 분출 유체로서 제공되는 제2 재순환되는 순환 유체 흐름(504)으로 상기 열 교환기(500)를 떠날 수 있다. 바람직하게는, 상기 제2 재순환되는 순환 유체 흐름(504)은 조절 가능할 수 있으므로 상기 흐름 내의 순환 유체의 전체 질량 또는 부피가 상기 분출 유체에 의해 제공되는 보호를 증가시키거나 감소시키는 것에 대해 요구되는 사항들에 따라 증가하거나 감소될 수 있다. 특히, 본 발명에 따른 시스템은 흐름 제거 수단을 포함할 수 있으므로 상기 제2 재순환되는 순환 유체 흐름(504)이 원하는 때에 완전히 정지할 수 있다.

[0102] 일부 실시예들에서 상기 터빈(400)으로 제공되는 상기 재순환되는 순환 유체(예를 들면, CO₂)는 상기 터빈으로 제공되기 이전에 상기 열 교환기(500)를 우회할 수 있는 점에 주목한다. 이러한 관점에 있어서, 상기 재순환되는 CO₂는 상기 압축기(570)에 의해 압축될 수 있으며, 이후에 상기 순환 유체 흐름(571)의 일부는 상기 열 교환

기를 우회할 수 있고 상기 터빈(400)으로 들어갈 수 있다. 이에 따라 CO₂(또는 다른 재순환되는 순환 유체)는 상기 열 교환기(500)에 의해 데워지지 않고 상기 터빈(400) 내로 도입될 수 있다. 따라서, 상기 CO₂(또는 다른 재순환된 순환 유체)는 상기 열 교환기에 의해 데워지는 유체의 온도 보다 작은 온도에서 상기 터빈 내로 도입될 수 있다. 이러한 관점에 있어서, 상기 CO₂(또는 다른 재순환된 순환 유체)는 약 300°C 보다 작거나, 약 200°C 보다 작거나, 약 100°C 보다 작거나, 약 55°C 보다 작거나, 또는 약 25°C 보다 작은 온도에서 상기 터빈 내로 도입될 수 있으며, 이에 따라 상기 CO₂(또는 다른 재순환된 순환 유체)는 상기 터빈(400)을 냉각하는 데에 적용될 수 있다. 상기 터빈(400)에 상대적으로 보다 차가운 순환 유체의 첨가를 보상하기 위하여, O₂가 상기 O₂를 데우도록 상기 열 교환기(500)를 통해 진행할 수 있고, 이후에 상기 O₂는 그렇지 않으면 발생할 수 있는 효율의 손실을 보충하기 위하여 상기 연소기(300)로 안내되는 재순환된 순환 유체(503)와 결합될 수 있다. 어떤 실시예들에 있어서, 상기 열 교환기의 차가운 단부(또는 둘 또는 그 이상의 열 교환기들이 사용되는 때는 시리즈 내의 최후의 열 교환기)를 떠나는 순환 유체는 약 200°C 보다 작거나, 약 100°C 보다 작거나, 약 75°C 보다 작거나, 또는 약 40°C 보다 작은 온도를 가질 수 있다.

[0103] 어떤 실시예들에 있어서, 이에 따라 상기 터빈 흐름을 수용하는 상기 열 교환기를 극한의 조건들을 견디도록 설계되는 고성능 물질들로부터 형성하는 것이 유용할 수 있다. 예를 들면, 상기 열 교환기는 인코넬®(INCONEL®) 합금 또는 유사한 물질을 포함할 수 있다. 바람직하게는, 상기 열 교환기는 적어도 약 700°C, 적어도 약 900°C, 또는 적어도 약 1,200°C 정도의 일정한 작동 온도를 견딜 수 있는 물질을 포함한다. 또한, 하나 또는 그 이상의 열 교환기들이 상기 연소 생성물 흐름 내에 존재할 수 있는 이차적인 물질들의 유형에 대해 우수한 화학적 저항성을 제공하는 물질을 포함하게 하는 것이 유용할 수 있다. 인코넬®(INCONEL®) 합금들은 스페셜 금속 코포레이션(Special Metals Corporation)으로부터 입수 가능하고, 일부 실시예들은 오스테나이트(austenitic) 니켈-크롬계 합금들을 포함할 수 있다. 적절한 열 교환기들은 헤트릭®(HEATRIC®)(미국의 메기트(Meggitt)(휴스턴, 텍사스)사로부터 입수할 수 있는)이라는 상품명으로 입수할 수 있는 것들을 포함할 수 있다.

[0104] 상술한 바와 같이, 물 이외에도, 상기 CO₂ 순환 유체는 연료-파생된, 연소-파생된 및 산소-파생된 불순물들과 같은 다른 이차 성분들을 함유할 수 있다. 상기 CO₂ 순환 유체의 이들 이차적인 성분들(흔히 불순물들 또는 오염물들로 인식되는)은 적절한 방법들(예를 들면, 개시 사항들이 여기에 참조로 언급되는 미국 특허 출원 공개 제2008/0226515호와 유럽 특허 출원들 EP1952874 및 EP1953486에 정의된 방법들)을 이용하여 상기 냉각된 CO₂ 순환 유체로부터 모두 제거될 수 있다. 예를 들면, SO₂ 및 SO₃은 황산으로 100% 변환될 수 있는 반면, NO 및 NO₂의 >95%는 질산으로 변환될 수 있다. 상기 CO₂ 순환 유체 내에 존재하는 임의의 과잉 O₂는 상기 연소기로의 선택적인 재순환을 위해 농후화된 흐름으로서 분리될 수 있다. 존재하는 임의의 불활성 기체(예를 들면, N₂ 및 Ar)는 낮은 압력에서 대기로 배출될 수 있다.

[0105] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따라 구성되는 터빈을 통합하는 전력 생성 사이클은, 상기 연소 생성물 흐름(예를 들면, 석탄과 같은 고체상의 연료의 연소로부터 야기되는)이 상기 연소 생성물 흐름 내에 존재하는 미립자 물질을 먼저 여과해낼 필요 없이 상기 터빈 내로 직접 투입될 수 있기 때문에 부분적으로 고효율로 동작할 수 있다. 특히, 본 발명의 터빈 구성들은 비-가연성 물질의 충돌로부터 야기되는 날개 침식을 제거하거나 크게 감소시킨다. 비록 본 발명이 이러한 터빈 물질들의 귀중한 보호를 제공하지만, 여전히 상기 터빈 구성 요소들과 상기 연소 생성물 흐름의 미립자 성분들의 상호 작용으로부터 일어나는 터빈 손상의 경우가 존재할 수 있다.

[0106] 예를 들면, 상기 터빈 날개들 상으로의 액체상의 재의 부착 및 동결(또는 고체화)은 슬래그화, 효율의 손실 및/또는 로터 균형의 손실을 야기할 수 있다. 이에 따라, 어떤 실시예들에 있어서, 본 발명은, 터빈 구성 요소들, 특히 터빈 날개들로부터의 증강이나 화학적 침적물의 완화 및/또는 적어도 부분적인 제거를 위한 연소 사이클 내로 특정한 구성 요소들의 통합을 제공한다. 재의 증강을 여기서 예시하지만, 본 발명의 실시예들에 의해 제공되는 세정이 상기 연소 생성물 흐름에 존재하는 물질들, 특히 미립자 물질들로부터 야기되는 상기 터빈 구성 요소들 상의 임의의 형태의 침적물을 적어도 부분적으로 제거하거나 완전히 제거하는 데 효과적인 것으로 기대될 수 있는 점을 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 다양한 형태의 재, 재 파생된 물질 및 탄소가 여기서 제공되는 세정에 의해 제거될 수 있다.

[0107] 터빈 날개들과 같은 터빈 구성 요소들 상의 화학적 침적물의 증강은 분출 보호 기술들을 채용함에 의해 방지될

수 있다. 예를 들면, 도 1에서 볼 수 있는 바와 같이, 뜨거운 재순환된 작동 유체(예를 들면, CO₂)는 흐름(504)으로서 상기 열 교환기(500)의 뜨거운 단부로부터 인출될 수 있고, 상기 터빈(400)으로 전달될 수 있다. 예를 들면, 상기 뜨거운 재순환된 작동 유체는 상기 터빈 로터로 전달될 수 있고, 이후에 상기 터빈 날개들의 분출 보호를 제공하도록 상기 터빈 날개들을 통해 전달될 수 있다. 이러한 실시예들에 있어서, 상기 터빈 날개들은 필요에 따라 천공될 수 있으므로 뜨거운 재순환되는 작동 유체는 실질적으로 상기 날개들의 전체 표면 또는 적어도 상기 터빈을 떠나는 상기 연소 생성물 흐름의 직접 경로 내에 있는 상기 날개들의 리딩 표면들을 따라 나가게 된다. 특정 실시예들에 있어서, 상기 날개들로부터의 분출 유체의 가장 큰 흐름은 상기 날개들의 리딩 에지들에 있을 수 있다.

[0108] 상기 분출 유체는 다양한 온도들에서 제공될 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 상기 터빈을 위한 분출 유체는 상기 터빈으로 들어가는 상기 연소 생성물 흐름의 온도의 약 10% 이내, 약 8% 이내, 약 5% 이내, 또는 약 2% 이내인 온도에 있을 수 있다. 이러한 실시예들에 있어서, 상기 터빈을 위한 상기 분출 유체의 온도는 상기 터빈을 나가는 상기 연소 생성물 흐름의 온도와 실질적으로 유사한 것으로 특징지어질 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 분출 보호를 위해 상기 터빈으로 향하는 상기 분출 유체는 상기 터빈으로 들어가는 상기 연소 생성물 흐름의 온도 보다 약 15% 내지 약 90% 보다 작거나, 약 15% 내지 약 60% 보다 작거나, 약 15% 내지 약 50% 보다 작거나, 또는 약 20% 내지 약 40% 보다 작을 수 있다. 이러한 실시예들에 있어서, 상기 터빈을 위한 상기 분출 유체의 온도는 상기 터빈을 나가는 상기 연소 생성물 흐름의 온도 보다 실질적으로 작은 것으로 특징지어질 수 있다.

[0109] 일부 실시예들에 있어서, 상기 터빈 날개들과 함께 상기 분출 유체의 사용은 다중 기능들을 수행할 수 있다. 예를 들면, 상기 분출 유체는, 이가 본질적으로 상기 연소 생성물 흐름 내의 미립자 물질들이 실제로 상기 날개 표면에 접촉되는 것을 방지하는 것과 같이 터빈 날개들을 보호하기 위하여 효과적일 수 있다. 오히려, 상기 분출 유체에 의해 형성되는 보호 장벽은 상기 터빈 날개들 주위에 미립자 물질들의 방향을 변경시키거나 그렇지 않으면 다시 안내할 수 있다. 상기 뜨거운 재순환된 작동 유체는 또한 상기 날개들, 특히 상기 터빈의 유출구 측부 상의 날개 표면들을 가열하는 기능을 할 수 있다. 이러한 추가적인 가열은, 상기 유출구 측부 및/또는 상기 유입구 측부 상의 상기 날개 표면들이 액체상의 재(또는 상기 연소 생성물 흐름의 온도에서 액화되고, 상기 연소 생성물 흐름의 온도 보다는 작지만 주위 온도 보다는 큰 동결(또는 고체화)점을 가지는 다른 물질들)가 고체화될 수 있는 온도(즉, 상기 물질의 동결 온도)까지 냉각되는 것을 방지할 수 있다. 이는 상기 터빈 날개의 표면에 실제로 접촉하는 액체상의 입자들이 동결(또는 고체화)되고 이에 따라 상기 날개 표면들 상에 침적되는 것을 방지한다.

[0110] 분출 보호는 일부 실시예들에서 입자 동결(또는 고체화)을 소거할 수 있다. 이러한 관점에 있어서, 모든 재는 일부 실시예들에서 대략 870°C 내지 980°C 이상에서 용융되어 남을 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 입자 동결이 분출 보호를 포함하지 않은 동일한 사이클들과 시스템들에 비하여 감소될 수 있다. 입자 동결이 감소되지만 제거되지는 않는 정도로, 터빈 구성 요소들의 주기적인 세정이 필수적일 수 있다. 특정 실시예들에 있어서, 터빈 날개들과 같은 터빈 구성 요소들의 세정은 연소 사이클 또는 시스템 내로의 세정 구성 요소들의 통합을 통해 영향을 받을 수 있다.

[0111] 도 2에 나타낸 사이클은 터빈 날개 세정 물질들이 상기 터빈 날개들의 세정에 영향을 미치도록 상기 터빈을 통해 안내될 수 있는 시스템을 예시한다. 유익하게는, 상기 세정 물질들은 상기 연소 생성물 흐름에 대해 평행하게 상기 터빈을 통해 안내될 수 있다. 따라서, 세정은 전력 생산 연소 사이클의 중단 없이 영향을 받을 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 상기 세정 공정을 용이하게 하도록 여기서 설명하는 하나 또는 그 이상의 사이클 변수들을 변경(예를 들면, 상기 연소 생성물 흐름의 온도의 변경, 연료에 대한 재순환되는 연료의 비율의 증가 또는 이와 유사한 것들의 변경)하는 것이 바람직할 수 있다. 상기 터빈 날개가 분출 보호되는 실시예들에 있어서, 상기 터빈 날개들에 대한 상기 세정 물질들의 접촉을 용이하게 하도록 상기 분출 유체 흐름을 중단하는 것이 바람직할 수 있다. 그러나, 연소와 발전은 상기 세정 공정 동안에 계속될 수 있다.

[0112] 도 2를 참조하면, 연소 사이클이 도 1과 관련하여 상술한 바와 같이 실질적으로 진행될 수 있다. 본 실시예들에 있어서, 그러나, 제3 재순환되는 순환 유체 흐름(506)은 상기 열 교환기(500)를 나갈 수 있고, 세정 물질 정션(cleaning material junction)(600)을 통과할 수 있으며, 상기 세정 물질은 세정 물질 흐름(610)을 형성하도록 상기 제3 재순환되는 순환 유체 흐름(506)과 결합된다. 상기 세정 물질 정션(600)은, 상기 세정 물질이 연속적인 흐름으로 제공되거나 배치 방식으로 제공되는 상기 제3 재순환되는 순환 유체 흐름(506)을 상기 세정 물질과 결합시키기 위해 적합한 임의의 구조물, 유닛 또는 다른 장치를 포함할 수 있다. 바람직하게는, 상기 세정 물질

정션은 상기 세정 물질이 상기 제3 재순환되는 순환 유체 흐름(506)과 결합되고 함께 흐르도록 구성된다. 또한 상기 제2 재순환되는 순환 유체 흐름(504)과 관련하여 상술한 바와 같이, 상기 제3 재순환되는 순환 유체 흐름(506)은 유량이 0이 될 수 있거나 상기 세정 물질을 상기 터빈으로 전달하기에 효과적이도록 필수적인 임의의 비율이 될 수 있도록 제어될 수 있다.

[0113] 상기 세정 물질은 상기 터빈 날개들의 표면에 접촉되기에 효과적인 임의의 물질이 될 수 있으며, 그로부터 고체상의 침적물을 물리적으로 또는 화학적으로 제거할 수 있다. 바람직하게는, 상기 세정 물질은 상기 침적물을 이들이 상기 날개 표면들의 침식을 일으키지 않는 최소한으로 제거하기에 효과적인 물질을 포함할 수 있다. 고체상의 세정 물질들은 탄소 입자들, 알루미나 입자들, 또는 상기 흐름 온도들에서 용해되지 않도록 구성되는 다른 단단한 입자들을 포함할 수 있다. 상기 날개들이 아니라 재의 부식은, 상기 재가 상기 날개 보다 낮은 파괴 강도를 한정할 수 있기 때문에 낮은 충격 속도들에서 일어날 수 있다. 액체상의 세정 물질들은 산화칼륨(potassium oxide), 탄산염(carbonate) 또는 수산화물(hydroxide)과 같은 칼륨 화합물들을 포함할 수 있다. 칼륨 화합물들은 상기 재의 용융점을 낮추는 플러스(flux)로서 작용할 수 있으므로, 이는 상기 날개들을 용융시킬 수 있다. 기체상의 세정 물질들은 탄소와 같은 침전들을 산화시킬 수 있는 산소를 포함할 수 있다. 세정 물질 정션(600)에서 상기 제3 재순환되는 순환 유체 흐름(506)과 결합되는 고체상의 또는 액체상의 세정 물질들은 상기 세정 물질 흐름(610)의 질량 흐름률(mass flow rate)의 전체 약 0.5% 보다 작거나, 약 0.1% 보다 작거나, 또는 약 0.01% 보다 작으며, 상기 세정 물질 흐름의 전체 질량 흐름률의 약 0.001% 내지 약 0.1%, 약 0.1% 내지 약 1%, 또는 약 0.0001% 내지 약 0.01% 정도를 한정할 수 있다. 상기 세정 물질 정션(600)에서 상기 제3 재순환되는 순환 유체 흐름(506)과 결합되는 기체상의 세정 물질들은 상기 세정 물질 흐름(610)의 전체 질량 흐름률의 약 5% 보다 작거나, 약 2% 보다 작거나, 또는 약 1% 보다 작으며, 상기 세정 물질 흐름의 전체 질량 흐름률의 약 0.1% 내지 약 2%, 약 0.01% 내지 약 1%, 또는 약 0.01% 내지 약 5%를 한정할 수 있다. 일 실시예에 있어서, 상기 세정 사이클은 발전기(400a)에 의한 동력 출력이 약 2% 내지 약 5%, 약 5% 내지 약 10%, 또는 약 1% 내지 약 2% 정도 강하되면 언제든지 개시될 수 있다. 예를 들면, 상기 세정 동작은 대략 주당 1회 내지 대략 3년마다 1회 정도 수행될 수 있다. 상기 세정 사이클은 일부 실시예들에서 약 5분 내지 약 1시간 정도 지속될 수 있다.

[0114] 상기 세정 물질 흐름(610)은 상기 터빈(400) 내로 직접 흐를 수 있다. 이러한 실시예들에 있어서, 상기 세정 물질 흐름은 상기 터빈(400)에 대한 공통 유입구 내에서 상기 연소 생성물 흐름(320)과 혼합되거나, 상기 세정 물질 흐름(610)과 상기 연소 생성물 흐름(320)은 상기 터빈 내로 개별적인 유입구들을 가질 수 있으므로 상기 흐름들이 상기 터빈(400)에 대한 내부의 지점에서 혼합된다. 예시된 실시예에 있어서, 상기 세정 물질 흐름(610)은 흐름 결합기 스위치(650) 내에서 상기 연소 생성물 흐름(320)과 먼저 혼합된다. 따라서, 세정 사이클에 있어서, 상기 결합된 연소 생성물 흐름과 세정 물질 흐름(326)은 상기 흐름 결합기 스위치(650)를 떠나고, 상기 터빈(400)으로 들어간다.

[0115] 일부 실시예들에 있어서, 상기 제3 재순환되는 순환 유체 흐름(506)의 일부 최소의 흐름이 유지되어 세정 물질의 양이 상기 터빈 내로 계속적으로 도입되는 경우에 계속적인 세정이 사용될 수 있다. 상기 제3 재순환되는 순환 유체 흐름(506)의 흐름은 상기 사이클의 세정 용량을 증가시키거나 감소시키도록 주기적으로 증가 또는 감소되게 조절될 수 있다. 다른 실시예들에 있어서, 상기 제3 재순환되는 순환 유체 흐름(506)은 상기 세정 물질 정션(600)으로부터 상기 흐름 결합기 스위치(650) 내로 세정 물질이 통과하지 않도록 폐쇄될 수 있다. 이러한 동작의 모드에 있어서, 상기 연소 생성물 흐름(320)은 상기 흐름 결합기 스위치(650)를 우회할 수 있으며, 도 1에 예시한 바와 같이, 상기 터빈 내로 직접 통과할 수 있다. 선택적으로는, 상기 연소 생성물 흐름(320)은 상기 결합기 스위치(650)를 통해 흐르도록 계속될 수 있지만, 유입되는 세정 물질 흐름(610)의 부존재에서, 상기 결합기 스위치(650)를 떠나는 흐름은 상기 결합된 연소 생성물 및 세정 물질 흐름(326)이 아니라 본질적으로 상기 연소 생성물 흐름(320)이 될 수 있다.

[0116] 상기 세정 사이클이 활발한 실시예들에 있어서, 상기 터빈 날개들로부터 제거된 상기 침적물 또는 잔류물은 도 1과 관련하여 설명한 방식으로 상기 필터(5)를 경유하여 상기 사이클로부터 제거될 수 있다. 이와 유사하게, 고체상의 세정 물질들이 사용될 때, 상기 고체상의 세정 물질은 상기 필터(5)를 통해 상기 사이클로부터 제거될 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 상기 필터(5)는 제1 필터 매체 또는 유닛이 상기 연소 사이클의 정상 코스에 사용되고, 제2 필터 매체 또는 유닛이 상기 정상 연소 사이클 내에 사용되는 상기 필터의 불필요한 악취 없이 상기 세정 물질과 상기 제거된 날개 침적물을 수집하기 위한 상기 세정 사이클 동안 사용될 수 있는 다중 유닛 필터가 될 수 있다. 본 발명의 시스템은 필터들 사이의 이러한 스위칭을 용이하게 하도록 적절한 장치들을 포함할 수 있다.

[0117] 실시예들

[0118] 이하, 본 발명을 제한하려는 의도는 아니라 오히려 예시적인 실시예들을 나타내기 위한 다음의 예들을 통하여 특히 본 발명을 보다 상세하게 설명한다.

[0119] 도 3은 여기에 개시된 시스템들 및 방법들에 따라 적용될 수 있는 연소기 장치(1000)의 하나의 예를 도시한 것이다. 상기 연소기(1000)는 연료와 O₂가 연료 유입구(1004)와 O₂ 유입구(1006)를 통해 그 내로 안내되는 연소실(1002)을 한정한다. 이에 따라, 상기 연료는 연소 생성물 흐름을 형성하도록 연소될 수 있다. 상기 연소기(1000)는 외측 케이싱(1010) 및 내측 케이싱(1012)을 구비하는 케이싱(casing)을 포함할 수 있다. 상기 내측 케이싱(1012)은 다공성의 소결된 물질(예를 들면, 다공성의 소결된 금속 물질)과 같은 분출 유체(1014)를 수용하고, 이를 통해 상기 유체를 분출하여 상기 케이싱 상에 입사되는 열을 감소시키도록 구성되는 분출층(1016)을 한정하도록 구성되는 분출 물질을 포함할 수 있다. 비록 상기 분출 유체가 후술하는 바와 같이 일부 실시예들에서는 상기 연소기에 부착되는 터빈으로부터 수용될 수 있지만, 상기 분출 유체(1014)는 일부 실시예들에서 유입구(1026)를 통해 수용될 수 있다. 이에 따라, 상기 연소기(1000)는 초내열 합금들과 같은 값비싼 내열성 물질들의 채용이 없이 상기 연소실(1002) 내에 생성되는 열을 견디도록 구성될 수 있거나 및/또는 상기 연소기는 증가된 연소 온도들에서 동작할 수 있다.

[0120] 상술한 바와 같이, 상기 연소기에 의해 생성되는 상기 연소 생성물 흐름은 터빈을 구동하도록 적용될 수 있다. 이러한 관점에서, 도 4는 터빈(2000)의 하나의 실시예를 예시한다. 일 실시예에 있어서, 상기 터빈(2000)은, 연소기(예를 들면, 연소기(1000))의 유출구에 연결되고, 연소 생성물 흐름(예를 들면, 연소 생성물 흐름(1008))을 상기 터빈의 케이싱(2004)의 유입구로 안내하도록 구성되는 유입 도관(2002)을 포함할 수 있다. 상기 터빈(2000)은 복수의 날개들(2008)이 부착되는 로터(rotor)(2006)를 포함할 수 있다. 상기 로터(2006)는 상기 로터 주위로 상기 연소 생성물 흐름을 전환시키도록 구성되는 고리 형상의 흐름 전환기(2010)를 포함할 수 있다. 이에 따라, 상기 연소 생성물 흐름(1008)은 상기 터빈(2000)을 통해 진행하면서 팽창될 수 있고, 이에 따라 터빈 배출 흐름(2012)이 하나 또는 그 이상의 유출구들(2014)을 통해 배출되기 전에 상기 날개들(2008)이 상기 로터(2006)와 동력 축(2011)(상기 로터와 일체로 될 수 있거나 이에 연결된 수 있는)을 회전시키게 한다. 따라서, 상기 터빈(2000)은 발전기 또는 다른 장치를 구동시킬 수 있다.

[0121] 도 4에 또한 예시한 바와 같이, 상기 유입 도관(2002)은 내측 케이싱(2016)과 외측 케이싱(2018)을 포함할 수 있다. 또한, 상기 터빈(2000)의 케이싱(2004)은 내측 케이싱(2020)과 외측 케이싱(2022)을 포함할 수 있다. 분출 유체(2024)는 상기 유입 도관(2002)의 상기 내측 케이싱들(2016, 2020) 및 상기 외측 케이싱들(2018, 2022)과 상기 터빈(2000) 사이의 유입구(2026)로부터 안내될 수 있다. 상기 내측 케이싱들(2016, 2020)은, 상기 분출 유체(2024)를 수용하고, 이를 통해 상기 유체를 분출시키도록 구성되는 다공성의 소결된 물질(예를 들면, 다공성의 소결된 금속 물질)과 같은 분출 물질을 포함할 수 있다. 이에 따라, 분출층(2028) 상기 연소 생성물 흐름(1008)과 상기 유입 도관(2002)의 내부 표면 사이에 한정될 수 있고, 분출층(2030)이 상기 날개들(2008)과 상기 내측 케이싱(2020)의 내부 표면 사이에 한정될 수 있으며, 상기 내측 케이싱들은 냉각되거나 그렇지 않으면 상기 분출 유체(2024)에 의해 보호될 수 있다. 일부 실시예들에 있어서, 상기 터빈으로 제공되는 상기 분출 유체는 또한 분출 냉각을 위하여 상기 연소기로 제공될 수 있다. 이러한 관점에 있어서, 예를 들면, 상기 유입 도관이 상기 연소기에 정합될 수 있어 일부 실시예들에서 상기 분출 유체가 이에 제공된다. 그러나, 상기 연소기로 제공되는 분출 유체는 일부 실시예들에서 분리 유입구(1026)로부터 추가적으로 또는 선택적으로 제공될 수 있다.

[0122] 또한, 분출 유체(2024)는 제2 유입구(2032)를 통해 상기 터빈(2000) 내로 도입될 수 있으며, 이는 일부 실시예들에서 상기 동력 축(2011) 내에 한정될 수 있다. 이에 따라, 상기 분출 유체(2024)는 상기 동력 축(2011)을 통해 상기 로터(2006) 내로 진행할 수 있다. 상기 로터(2006) 및/또는 상기 날개들(2008)은 상기 분출 유체(2024)를 수용하고, 그를 통해 상기 유체를 이의 외부 표면들로 분출시키도록 구성되는 다공성의 소결된 물질(예를 들면, 다공성의 소결된 금속 물질)과 같은 분출 물질을 포함할 수 있다. 이에 따라, 상기 로터(2006) 및/또는 상기 날개들(2008)은 냉각될 수 있거나 그렇지 않으면 상기 분출 유체(2024)에 의해 상기 연소 생성물 흐름(1008)과 그 내의 미립자들로부터 보호될 수 있다.

[0123] 도 5 및 도 6은 터빈(2000')의 선택적인 실시예를 예시한다. 예시한 바와 같이, 복수의 연소기들(1000')은 상기 터빈(2000')을 구동하도록 구성될 수 있다. 특히, 상기 연소기들(2000')은, 도 6에 예시한 바와 같이, 상기 로

터(2006')에 의해 한정되는 장축(major axis)에 대하여 방사형으로 배치될 수 있다. 도 5에 도시한 바와 같이, 상기 터빈(2000')은, 연소기들(1000')이 로터(2006')의 원주 주위에 연소 생성물 흐름(1008')을 공급할 수 있는 점을 제외하면, 도 4에 예시한 상기 터빈(2000)의 실시예와 실질적으로 유사할 수 있다. 이에 따라, 고리 형상의 흐름 전환기(flow diverter)는 상기 로터(2006') 주위에 상기 연소 생성물 흐름(1008')을 전환시키는 데 필요하지 않을 수 있다. 각각의 연소기들(1000')은, 상기 로터(2006') 주위의 상기 연소기들의 위치를 제외하면, 전술한 연소기(1000)와 실질적으로 유사할 수 있다.

[0124] 도 7은 여기에 개시된 상기 터빈들에 적용될 수 있는 터빈 날개(2008A)의 실시예를 통한 측면 단면도를 예시한다. 상기 터빈 날개(2008A)는 외부층(3002)과 코어(core)(3004)를 포함할 수 있다. 상기 코어(3004)는 상대적으로 강한 금속, 또는 강화 부재로서 구성되는 다른 물질을 한정할 수 있다. 강한 금속은, 여기서 사용되는 바와 같이, 적절한 상승된 온도들에서 약 10,000PSI 보다 큰 강도, 약 20,000PSI 보다 큰 강도 또는 약 30,000PSI 보다 큰 강도를 가지며 적절한 온도들에서 화학적으로 저항성인 금속으로 언급된다. 스테인리스 스틸 합금들 및 고니켈 합금들의 예들은 인코넬(Inconel) 등과 같다. 따라서, 본 발명은 스테인리스 스틸(예를 들면, 316 스테인리스 스틸) 또는 보다 낮은 니켈 및 코발트 함량들을 갖는 다른 합금들과 같은 보다 낮은 비용의 합금들이 상대적으로 높은 니켈 및 코발트 함량들을 가지고 이에 따라 매우 비싼 통상적인 초내열 합금들 대신에 사용되는 것을 가능하게 한다. 이러한 관점에 있어서, 다결정(316) 스테인리스 스틸은 다결정 초내열 합금 보다 파운드 당 20배 정도 덜 비쌀 수 있고, 단결정 초내열 합금 날개들 보다 파운드 당 2,000배 정도 쌀 수 있다.

[0125] 또한, 상기 코어(3004)는 하나 또는 그 이상의 채널들(3006)을 정의할 수 있다. 상기 채널들(3006)은 분출 유체를 수용하고, 상기 분출 유체를 상기 외부층(3002) 내로 안내하도록 구성될 수 있다. 상기 외부층(3002)은 일부 실시예들에서 상기 날개(2008A)의 외부 표면(3008)의 일부 또는 전체를 한정할 수 있다. 또한, 상기 외부층(3002)은 다공성의 소결된 금속 물질과 같은 다공성 물질을 포함할 수 있다. 이에 따라, 상기 코어(3004) 내의 채널들(3006)은 분출 유체를 수용하고, 상기 분출 유체를 상기 외부층(3002) 내로 안내하도록 구성될 수 있다. 따라서, 상기 분출 유체는 상기 터빈 날개(2008A)의 외부층(3002)을 통하여 흐를 수 있고, 상기 터빈 날개의 외부 표면(3008) 주위에 분출층을 제공할 수 있으며, 이는 상기 터빈 날개를 열 및/또는 미립자들로 인한 충격들로부터 보호할 수 있다. 이러한 관점에 있어서, 터빈 날개 및/또는 여기에 개시된 상기 시스템의 다른 구성 요소들이, 분출이 상기 구성 요소를 냉각시키는 지에 관계없이 분출층이 이들의 표면의 적어도 일부로 안내되는 것을 의미하는 분출 보호될 수 있는 점을 이해할 수 있을 것이다. 예를 들면, 구성 요소는 상기 분출 유체의 온도에 관계없이 상기 구성 요소의 표면을 미립자들 또는 다른 물질로 인한 충격으로부터 보호하는 분출 유체에 의해 분출 보호될 수 있다. 반대로, 구성 요소는 상기 구성 요소를 냉각시키거나 상기 구성 요소의 가열을 감소시키는 장벽으로 작용하는 분출 유체에 의해 추가적으로 또는 선택적으로 분출 보호될 수 있다.

[0126] 상술한 바와 같이, 분출 유체는 여기서 설명하는 시스템들과 어셈블리들에 관련된 다른 구성 요소들에 추가적으로 또는 선택적으로 적용될 수 있다. 이러한 관점에서, 도 8은 연소 생성물 흐름을 연소기로부터 터빈으로 전달하도록 구성되는 유입 도관(2002A)의 일부를 통한 단면도를 예시한다. 상기 유입 도관(2002A)은 내부층(4002)과 외부층(4004)을 포함할 수 있다. 상기 외부층(4004)은 쉘(shell)을 포함할 수 있고, 이는 전술한 바와 같이 상기 유입 도관(2002A)에 강도를 제공하도록 구성되는 강한 금속을 포함할 수 있다. 또한, 상기 외부층(4004)은 하나 또는 그 이상의 채널들(4006)을 한정할 수 있다. 상기 채널들(4006)은 분출 유체를 수용하고 상기 분출 유체를 상기 내부층(4002) 내로 안내하도록 구성될 수 있다. 상기 내부층(4002)은 일부 실시예들에서 상기 유입 도관(2002A)의 내부층(4008)의 일부 또는 전부를 한정할 수 있다. 또한, 상기 내부층(4002)은 다공성의 금속 물질과 같은 다공성 물질을 포함할 수 있다. 이에 따라, 상기 외부층(4004) 내의 상기 채널들(4006)은 분출 유체를 수용하고, 상기 분출 유체를 상기 내부층(4002) 내로 안내하도록 구성될 수 있다. 따라서, 상기 분출 유체는 상기 유입 도관(2002A)의 내부층(4002)을 통해 흐를 수 있고, 상기 유입 도관의 내부 표면(4008)에 분출층을 제공할 수 있으며, 이는 상기 유입 도관을 열 및/또는 미립자들의 충격으로부터 보호할 수 있다.

[0127] 도 9에 예시한 바와 같이, 유입 도관(2002B)의 일 실시예에 있어서, 절연층(4010)과 제2 외부층(4012)이 추가적으로 제공될 수 있다. 상기 절연층(4010)과 상기 제2 외부층(4012)은 일부 실시예들에서 상기 내부층(4002)과 상기 외부층(4004)을 둘러쌀 수 있다. 상기 절연층(4010)은 그 내에 보다 많은 열을 보유하기 위하여 상기 유입 도관(2002B)을 절연시킬 수 있으며, 이가 적용되는 시스템의 효율을 증가시킬 수 있다. 또한, 상기 제2 외부층(4012)은 상기 유입 도관(2002B)에 추가적인 강도를 제공할 수 있다. 그러나, 다양한 물질층들과 전술한 특징들은 연소기 내와 같이 여기서 설명하는 시스템들과 어셈블리들의 다른 구성 요소들에 추가적으로 또는 선택적으로 적용될 수 있다.

[0128] 도 10은 선택적인 실시예에 따른 터빈 날개(2008B)를 통한 길이 방향의 단면도를 예시한다. 상기 터빈 날개

(2008B)는 하나 또는 그 이상의 로드들(rods)(5014)과 같은 하나 또는 그 이상의 강화 부재들을 포함할 수 있다. 상기 로드들(5014)은 금속 물질 또는 상기 터빈 날개(2008B)에 강도를 제공하는 다른 물질을 포함할 수 있다.

[0129] 상기 터빈 날개(2008B)는 하나 또는 그 이상의 채널들(5006)을 한정할 수 있다. 상기 채널들(5006)은 분출 유체를 수용하고, 상기 분출 유체를 상기 터빈 날개(2008B)를 한정하는 물질 내로 안내하도록 구성될 수 있다. 이러한 관점에 있어서, 상기 터빈 날개(2008B)는 다공성의 소결된 금속 물질과 같은 다공성 물질을 포함할 수 있다. 이에 따라, 상기 터빈 날개(2008B) 내의 채널들(5006)은, 분출 유체를 수용하고, 상기 터빈 날개의 외부 표면(5008)에 열 및/또는 미립자들의 충격으로부터 상기 터빈 날개를 보호할 수 있는 분출층을 제공하도록 상기 터빈 날개를 통해 상기 분출 유체를 안내하도록 구성될 수 있다.

[0130] 일부 실시예들에 있어서, 상기 터빈 날개(2008B)는 상기 터빈 날개의 트레일링 에지(5018)에서 상기 분출 유체의 흐름 보다 상기 터빈 날개의 리딩 에지(5016)에서 상시 분출 유체의 흐름이 크게 한정하도록 구성될 수 있다. 이는 보다 큰 보호를 갖는 상기 리딩 에지를 제공할 수 있으며, 이는 상기 리딩 에지가 그렇지 않으면 상기 터빈 날개의 나머지들 보다 입자들로 충격 받기 쉽기 때문에 바람직할 수 있다. 이러한 관점에 있어서, 상기 터빈 날개(2008B) 내의 하나 또는 그 이상의 채널들(5006)은, 상기 트레일링 에지(5018)(예를 들면, 채널(5006B) 참조)에서 하나 또는 그 이상의 채널들의 분출 유체 유입구 면적 보다 큰 상기 리딩 에지(5016)(예를 들면, 채널(5006A) 참조)에서 분출 유체 유입구 면적을 정의할 수 있다. 선택적으로는, 보다 많은 수의 채널들이 상기 트레일링 에지 보다 상기 리딩 에지에서 한정될 수 있다.

[0131] 도 11 내지 도 13은 터빈 날개(2008C)의 선택적인 실시예를 예시한다. 예시한 바와 같이, 상기 터빈 날개(2008C)는 하나 또는 그 이상의 내부 리브들(ribs)(6020)을 포함하는 내부 구조를 한정할 수 있다. 상기 내부 리브들(6020)은 상기 터빈 날개(2008C)에 강도를 제공하도록 구성되는 강화 부재로서 기능할 수 있다. 상기 내부 리브들(6020)은 외부층(6002) 및/또는 상기 터빈 날개(2008C)의 베이스 부재(base member)(6022)와 일체로 형성될 수 있다.

[0132] 상기 터빈 날개(2008C)는 상기 내부 리브들(6020)에 의해 분리될 수 있는 하나 또는 그 이상의 채널들(6006)을 포함할 수 있다. 상기 채널들(6006)은 분출 유체(예를 들면, 상기 베이스 부재(6022)가 부착되는 로터로부터)를 수용하고, 상기 외부층(6002)을 통해 상기 분출 유체를 안내하도록 구성될 수 있다. 이러한 관점에 있어서, 상기 터빈 날개(2008C)는 다공성의 소결된 금속 물질과 같은 다공성 물질을 포함할 수 있다. 이에 따라, 상기 터빈 날개(2008C) 내의 채널들(6006)은 상기 분출 유체를 수용하고, 상기 터빈 날개의 외부 표면(6008)에 열 및/또는 미립자들의 충격들로부터 상기 터빈 날개를 보호할 수 있는 분출층을 제공하도록 상기 터빈 날개의 외부층(6002)을 통해 상기 분출 유체를 안내하게 구성될 수 있다. 또한 예시한 바와 같이, 상기 터빈 날개(2008C) 내의 채널들(6006)은, 상기 트레일링 에지(6018)(예를 들면, 채널(6006B) 참조)에서 하나 또는 그 이상의 채널들의 분출 유체 유입구 면적이 상기 리딩 에지(6016)(예를 들면, 채널(6006A) 참조)에서 분출 유체 면적을 한정할 수 있다. 이에 따라, 일부 실시예들에 있어서, 상기 터빈 날개(2008C)는 상기 터빈 날개의 트레일링 에지(6018)에서 분출 유체의 흐름 보다 큰 상기 터빈 날개의 리딩 에지(6016)에서 분출 유체의 흐름을 한정하도록 구성될 수 있다.

[0133] 도 14는 터빈 날개(2008D)의 추가적인 실시예를 통한 측면 단면도를 예시한다. 예시한 바와 같이, 상기 터빈 날개(2008D)는 상기 리딩 에지(7016)에서 벽두께 보다 큰 상기 트레일링 에지(7018)에서 벽 두께를 한정하는 외부층(7002)을 포함할 수 있다. 이러한 관점에 있어서, 상기 터빈 날개(2008D)는 다공성의 소결된 금속 물질과 같은 다공성 물질을 포함할 수 있다. 이에 따라, 분출 유체가 상기 터빈 날개(2008D)를 통해 안내될 수 있으므로, 이는 상기 터빈 날개의 외부 표면(7008)에 분출층을 형성하도록 상기 외부층(7002)을 통해 진행하며, 이는 상기 터빈 날개를 열 및/또는 미립자들의 충격들로부터 보호할 수 있다. 상기 외부층(7002)의 벽 두께가 상기 리딩 에지(7016)에서 보다 상기 트레일링 에지(7018)에서 크기 때문에, 상기 터빈 날개(2008D)는 상기 트레일링 에지에서 상기 분출 유체의 흐름 보다 큰 상기 리딩 에지에서 상기 분출 유체의 흐름을 한정할 수 있다.

[0134] 또한, 여기에 개시된 다양한 실시예들에 따른 상기 터빈 날개들은 상기 터빈 날개의 루트와 텁 사이(예를 들면, 도 13에 예시한 터빈 날개(2008C)의 루트(6026)와 텁(6028) 참조)에서 변화하는 공극률을 한정할 수 있다. 이러한 관점에서, 일부 실시예들에 있어서, 여기에 개시된 상기 터빈 날개들은 상기 터빈 날개의 루트에서 상기 분출 유체의 흐름 보다 큰 상기 터빈 날개의 텁에서 상기 분출 유체의 흐름을 한정하도록 구성될 수 있다. 이는 상기 분출 날개들에 추가적인 보호를 제공할 수 있고, 상기 터빈 날개의 텁이 상기 터빈 날개의 어떤 다른 부분보다 큰 속도로 움직이므로 바람직할 수 있다.

- [0135] 예를 들면, 도 15a는 터빈 날개(2008E)를 통한 길이 방향의 단면도를 개략적으로 예시한다. 예시한 바와 같이, 상기 터빈 날개(2008E)는 상기 루트(8026)와 상기 텁(8028) 사이에서 다른 공극률을 한정한다. 특히, 상기 터빈 날개(2008E)는 상기 루트(8026) 보다 상기 텁(8028)에서 보다 다공성이므로 상대적으로 보다 많은 분출 유체가 상기 터빈 날개의 상기 루트 보다 상기 터빈 날개의 상기 텁으로부터 흘러나올 수 있다. 이러한 관점에 있어서, 상기 터빈 날개(2008E)는, 전술한 바와 같이, 이를 통해 분출 유체를 분출시키도록 구성되는 다공성의 소결된 금속 물질과 같은 금속 물질을 포함할 수 있다. 예시한 바와 같이, 실시예들에 있어서, 상기 다공성 물질은 복수의 층들(8030A-8030D)을 한정할 수 있으며, 상기 층들의 공극률은 상기 루트로부터 상기 텁까지 증가한다. 상기 층들(8030A 내지 8030D)은 다른 물질들에 의해 또는 다양한 정도들로 소결된 동일한 물질에 의해 한정될 수 있으며, 이에 따라 이들의 공극률이 변화한다. 일부 실시예들에 있어서, 비록 상기 층들이 다양한 다른 방식들로 부착될 수도 있지만, 상기 층들은 함께 라미네이트될 수 있다.
- [0136] 다른 실시예들에 있어서, 도 15b에 예시한 바와 같이, 상기 터빈 날개(2008E')는 도 15b에 대하여 전술한 바와 같이 상기 루트(8026')와 상기 텁(8028') 사이에서 다른 공극률을 한정할 수 있다. 그러나, 예시한 바와 같이, 일부 실시예들에 있어서, 상기 다공성 물질은 공극률 변화도를 한정할 수 있고, 예를 들면, 상기 물질의 공극률은 상기 루트(8026')로부터 상기 텁(8028')까지 증가한다. 이러한 관점에 있어서, 상기 물질의 공극률은 일부 실시예들에서 다른 공극률들을 한정하는 층들의 존재 없이 다양한 위치들에서 변화될 수 있다.
- [0137] 상기 터빈 날개들을 위하여 다양한 다른 구성들이 적용될 수 있다. 예를 들면, 일부 실시예들에 있어서, 상기 터빈 날개들은 상기 리딩 에지에서 분출 유체의 흐름이 상기 터빈 날개들의 트레일링 에지에서 분출 유체의 흐름과 실질적으로 동일하거나, 더 작게 한정하도록 구성될 수 있다. 또한, 일부 실시예들에 있어서, 상기 터빈 날개들은 상기 텁에서 분출 유체의 흐름이 상기 터빈 날개들의 루트에서 분출 유체의 흐름과 실질적으로 동일하거나 더 작게 한정하도록 구성될 수 있다. 또한, 상기 리딩 에지와 트레일링 에지 사이의 공극률의 변화들은 또한 상기 루트와 상기 텁 사이를 흐르는 분출 유체의 제어에 대하여 전술한 바와 같은 유사한 방식으로 상기 날개들로부터의 분출 유체의 흐름을 조절하도록 구성될 수 있다.
- [0138] 따라서, 예를 들면, 상기 터빈 날개(또는 다른 구성 요소들)를 한정하는 물질의 공극률은 상기 루트와 상기 텁 사이에서 증가할 수 있고, 상기 루트와 상기 텁 사이에서 감소할 수 있으며, 상기 날개의 외측 부분들에 대한 중심에서 상대적으로 높거나 낮을 수 있고, 상기 리딩 에지로부터 상기 트레일링 에지까지 증가하거나 감소하는 등이 될 수 있다. 상기 공극률 변화도나 공극률 층들은 약 10%의 공극률 내지 약 90%의 공극률, 약 25%의 공극률 내지 약 75%의 공극률, 또는 약 1%의 공극률 내지 약 25%의 공극률로 증가하거나 감소할 수 있다.
- [0139] 이에 따라, 분출 유체는 여기서 설명하는 시스템들과 어셈블리들의 다양한 구성 요소들을 냉각 및/또는 그렇지 않으면 보호하도록 구성될 수 있다. 이러한 관점에서, 도 16은 터빈 날개(906)의 외부 표면(904)에 대한 100m 재 입자(902)를 위한 계산된 궤적(900)을 예시한다. 상기 재 입자 궤적(900)은 상기 터빈 날개의 외부 표면(904)으로부터 2m/s로 분출되는 CO₂ 분출 유체(908)의 흐름을 갖는 터빈 발개(906)를 향해 75m/s로 초기에 진행하는 재 입자(902)를 기초로 하여 모델화된다. 상기 터빈 내의 순환 유체는 300Bar(30MPa) 및 700°C 정도에 있을 수 있다. 예시한 바와 같이, 상기 분출 유체(908)는 상기 재 입자(902)가 상기 터빈 날개(906)에 접촉하게 되는 것을 방지한다. 특히, 상기 재 입자(902)는 상기 터빈 날개의 외부 표면(904)으로부터 0.2mm 정도가 되도록 계산된다. 이에 따라, 상기 터빈 날개(906)의 부식이 방지될 수 있다.
- [0140] 이와 유사하게, 도 17은 본 발명의 일예에 따른 연소기(1006)의 내측 표면(1004)에 대한 50m의 재 입자(1002)를 위한 계산된 입자 궤적(1000)을 예시한다. 상기 재 입자 궤적(1000)은 초당 약 3미터의 연소 가스의 축 방향의 흐름 속도, 약 90%의 CO₂ 이상의 연소 가스 조성, 약 1,500°C의 연소 가스 온도, 약 300Bar(30MPa)의 압력, 그리고 방사형 방향(예를 들면, 상기 축 방향의 연소 가스 흐름에 수직인)으로 초당 약 1미터의 분출 유체(1008)의 방사형 분출 흐름 속도를 갖는 상기 연소기(1006)의 내부 표면(1004)에 수직한 50m/sec의 속도에서 초기에 진행하는 상기 재 입자(1002)를 기초로 모델화된다. 예시한 바와 같이, 상기 분출 유체(1008)는 상기 재 입자(1002)가 상기 연소기(1006)의 내부 표면(1004)에 접촉하게 되는 것을 방지한다. 상기 재 입자(1002)는 상기 연소기(1006)의 내부 표면(1004)으로부터 단지 약 0.2mm가 되게 계산된다. 이에 따라, 상기 연소기(1006)의 내측 표면(1004)의 부식이 방지될 수 있다.
- [0141] 다음 표 1은 종래의 발전 천연 가스 터빈 설계의 동작을 위한 다양한 변수들을 제공한다. 이러한 통상적인 터빈(1100)의 단면이 도 18에 도시되어 있다. 비교로서, 다음 표 2는 본 발명에 따른 높은 압력과 낮은 속도의 터빈의 동작을 위한 동일한 변수들을 제공한다. 본 발명에 따른 예시적인 터빈(1200)의 단면이 도 19에 도시되어 있다. 본 발명의 터빈(1200)에 대해 종래의 터빈(1100)을 비교하여 알 수 있는 바와 같이, 본 발명의 터빈은 일부

실시예들에서 본 발명의 터빈이 종래의 터빈의 터빈 날개들(1108)에 비하여 상대적으로 짧은 터빈 날개들(2008F)을 채용하기 때문에 상대적으로 보다 작은 직경을 한정할 수 있다. 이러한 관점에 있어서, 다음 표들에 나타낸 바와 같이, 본 발명의 터빈(1200)의 터빈 날개들(2008F)은 일부 실시예들에서 종래의 터빈(1100)의 터빈 날개들(1108)과 비교할 경우에 상대적으로 보다 작은 평균 내부 반경(즉, 상기 로터(2006F)의 중심으로부터 상기 터빈 날개들의 루트까지), 평균 외부 반경(즉, 상기 로터의 중심으로부터 상기 터빈 날개의 팁까지), 그리고 평균 반경(상기 내부 및 외부 반경들의 평균)을 한정할 수 있다. 또한, 본 발명의 터빈(1200)은 종래의 터빈(1100)과 비교할 경우에 상대적으로 큰 직경에 대한 길이 비율을 정의할 수 있다. 또한, 본 발명의 터빈(1200)은 종래의 터빈(1100)보다 상대적으로 큰 숫자의 터빈 날개들(2008F)을 포함할 수 있다. 추가적으로, 본 발명의 터빈(1200)의 로터(2006F)의 직경은 종래의 터빈(1100)의 로터(1106)의 직경 보다 작을 수 있다.

표 1

종래의 설계	
변수	값
발전기 동력 요건	2.5×10^8 W
터빈 유입구 압력	15bar(1.5MPa)
터빈 유출구 압력	1bar(0.1MPa)
연소 생성물 흐름 온도	1,623K(1,350°C)
흐름 밀도	0.75kg/m³
흐름 속도	700mph(310m/s)
터빈 길이	10m
터빈 직경	4m
날개들의 수	200

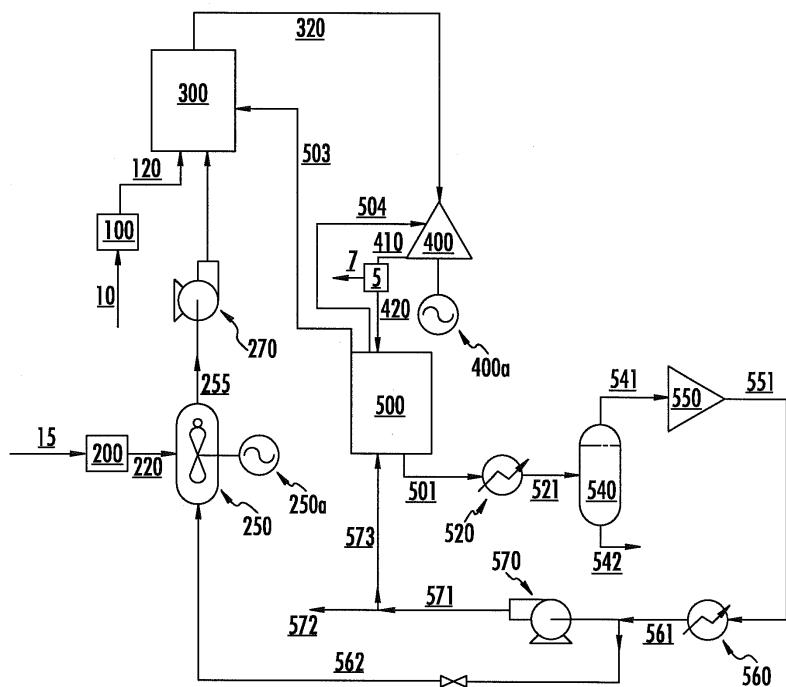
표 2

본 발명의 설계	
변수	값
발전기 동력 요건	2.5×10^8 W
터빈 유입구 압력	300bar(30MPa)
터빈 유출구 압력	30bar(3MPa)
연소 생성물 흐름 온도	1,400K(1,127°C)
흐름 밀도	70kg/m³
흐름 속도	100mph(44m/s)
터빈 길이	5m
터빈 직경	1.5m
날개들의 수	1,000

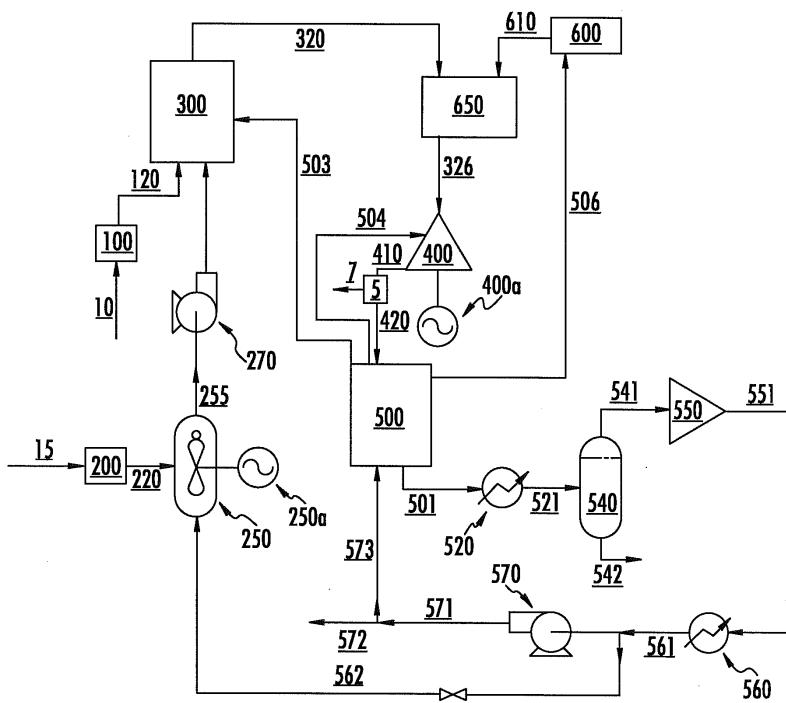
[0144] 여기서 설정된 본 발명의 많은 변형들과 다른 실시예들이 상술한 설명에서 개시된 이점들과 사상들을 포함하는 본 발명에 속하는 것으로 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 이해될 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명이 개시된 특정 실시예들에 한정되는 것은 아니며 이러한 변형들과 다른 실시예들도 첨부된 특허청구범위의 범주에 속하는 것으로 이해될 것이다. 비록 특정 용어들이 여기서 사용되었지만, 이들은 포괄적이고 서술적인 의미로 사용되었으며, 본 발명을 한정하려는 목적으로 사용된 것은 아니다.

도면

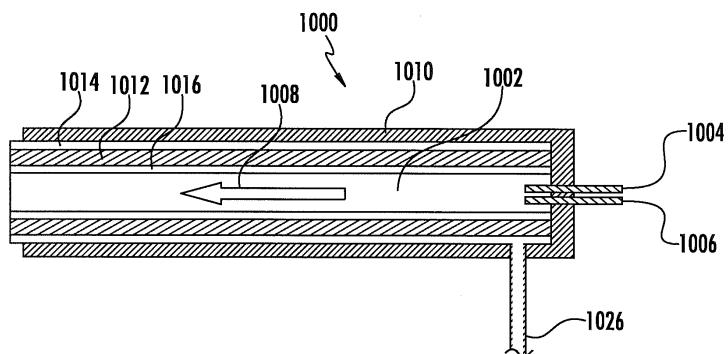
도면1



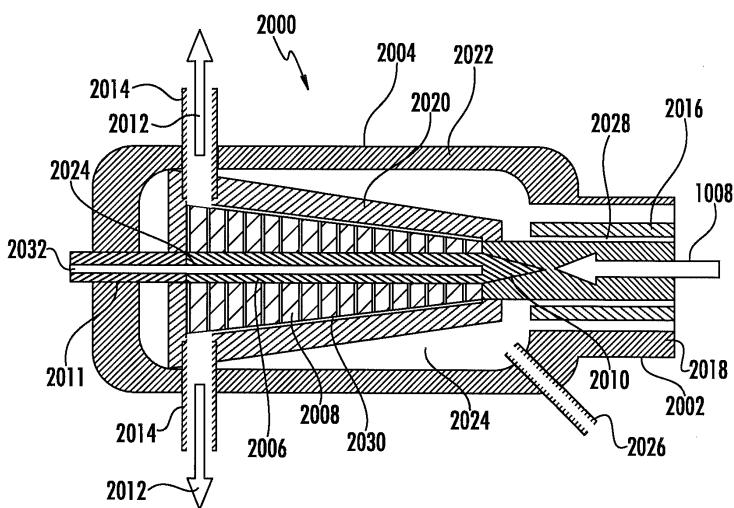
도면2



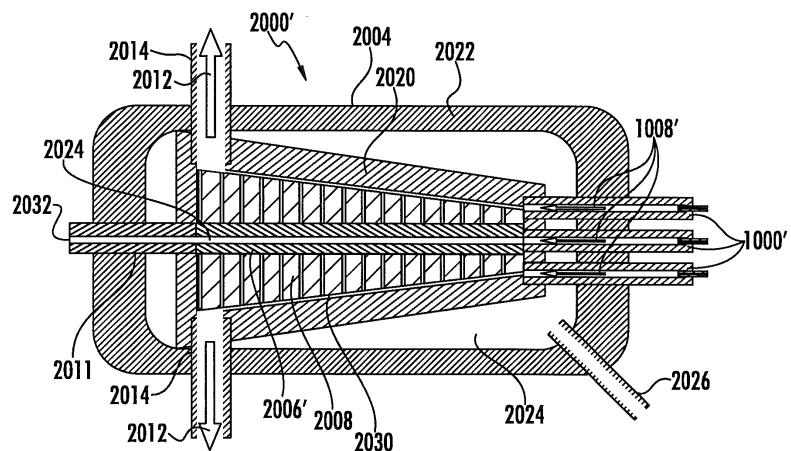
도면3



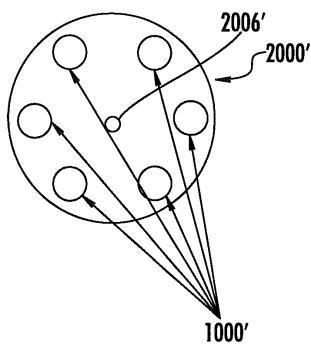
도면4



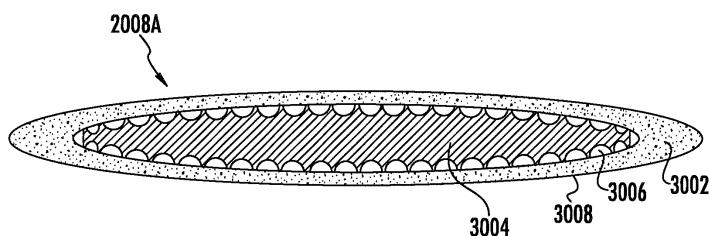
도면5



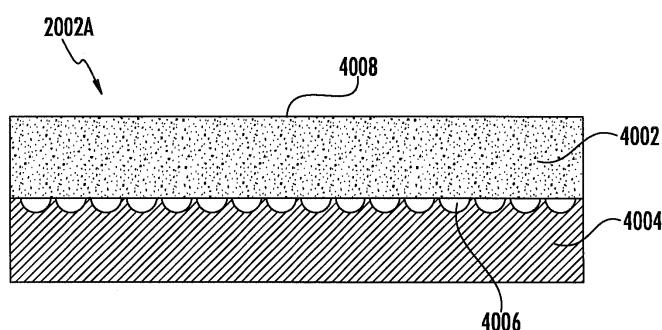
도면6



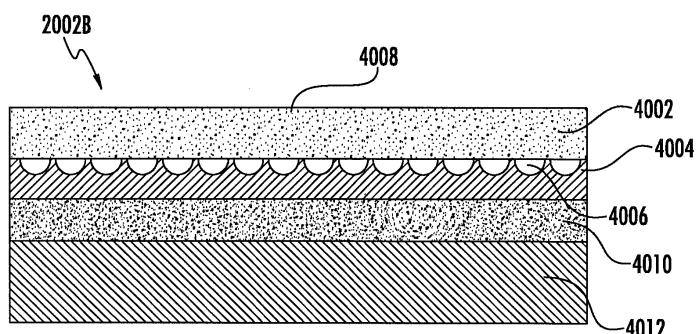
도면7



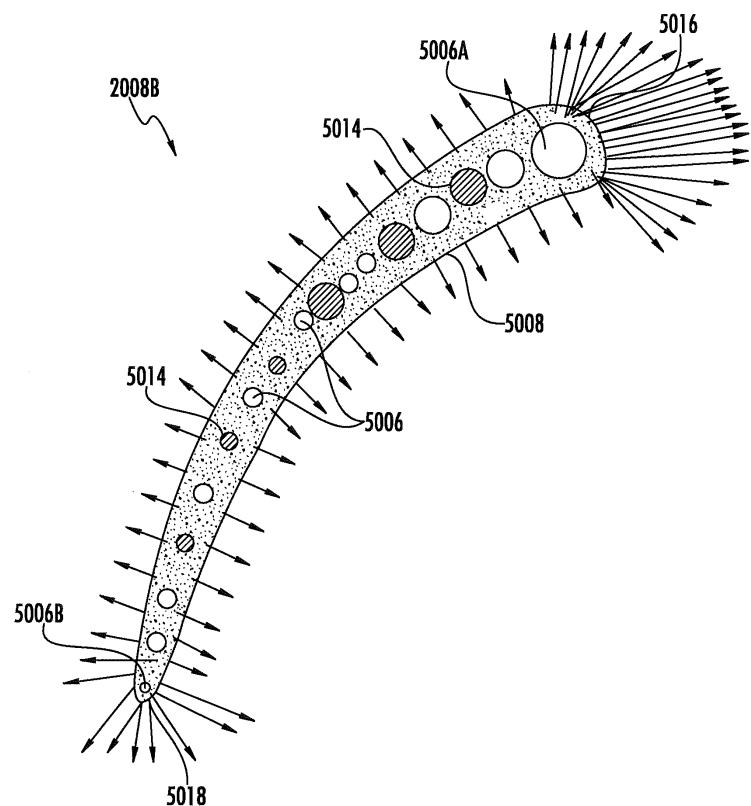
도면8



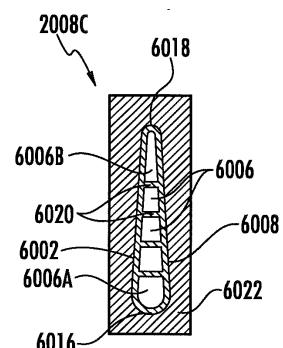
도면9



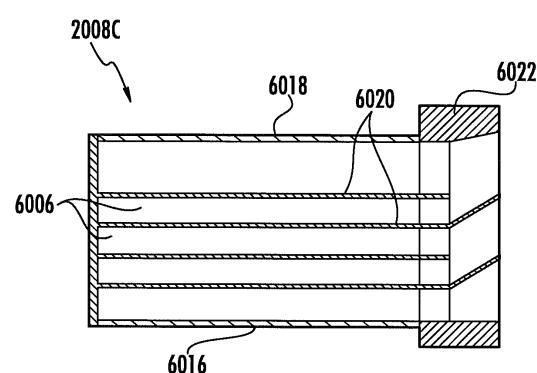
도면10



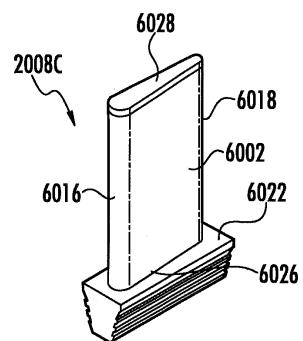
도면11



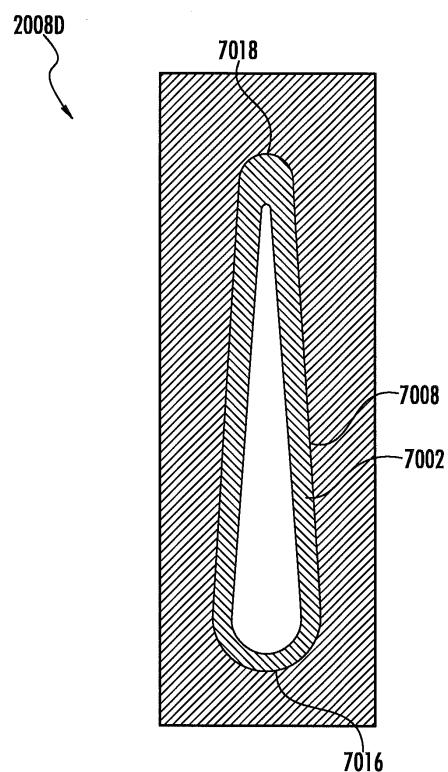
도면12



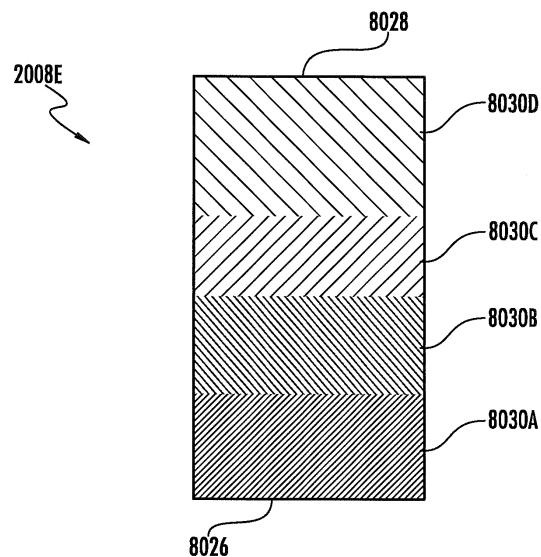
도면13



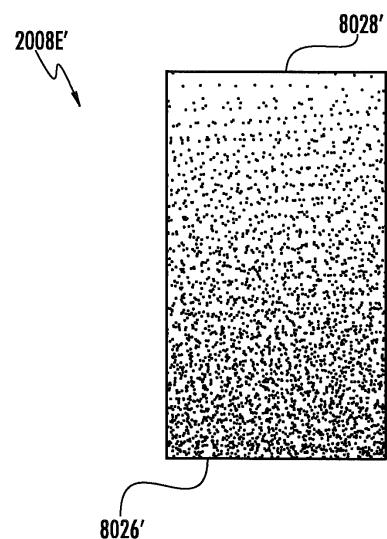
도면14



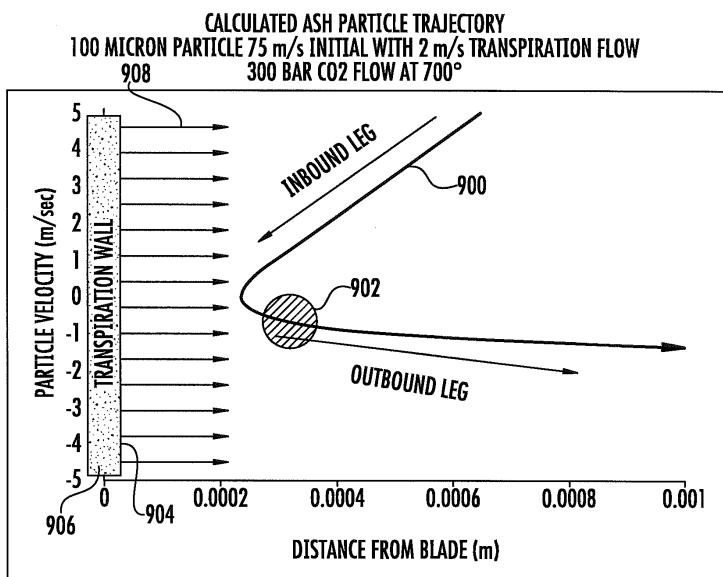
도면15a



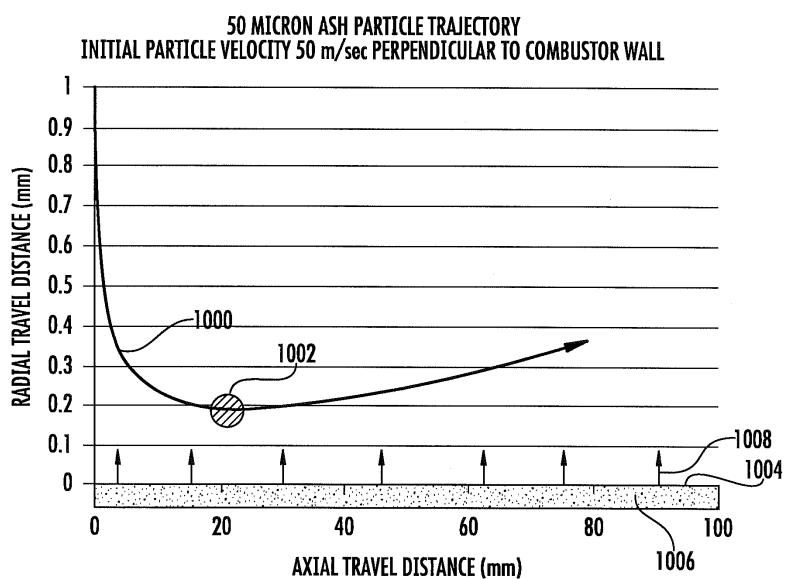
도면15b



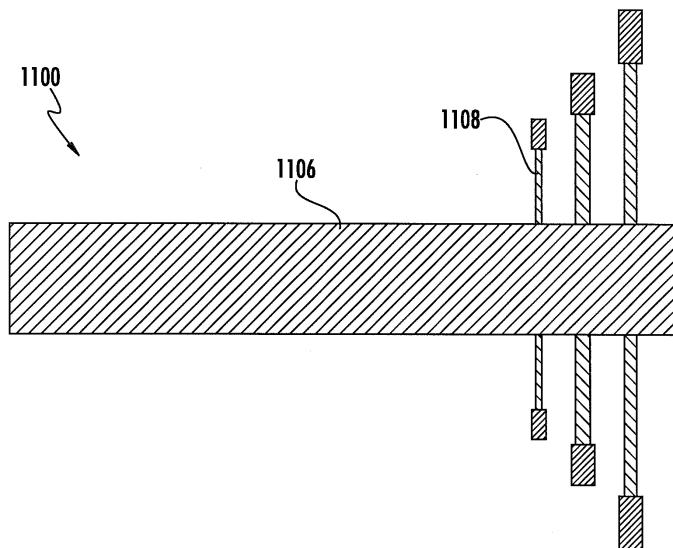
도면16



도면17



도면18



도면19

