



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년11월10일

(11) 등록번호 10-2177227

(24) 등록일자 2020년11월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

F02C 9/28 (2006.01) *F01D 21/00* (2006.01)

F23N 5/24 (2006.01) *G01M 15/14* (2019.01)

(52) CPC특허분류

F02C 9/28 (2013.01)

F01D 21/003 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-0063410

(22) 출원일자 2019년05월29일

심사청구일자 2019년05월29일

(56) 선행기술조사문헌

KR101466503 B1

KR101328997 B1

(73) 특허권자

인천대학교 산학협력단

인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)

(72) 발명자

이민철

인천광역시 연수구 컨벤시아대로274번길 15, 230
3동 2904호 (송도동, 송도 더샵 마스터뷰 23-1BL)

최중운

경기도 부천시 범안로 81, 111동 301호 (범박동,
부천 범박 힐스테이트 1단지)

김남근

서울특별시 서초구 잠원로8길 20, 330동 704호 (잠원동, 신반포19차아파트)

(74) 대리인

특허법인 남앤남

전체 청구항 수 : 총 12 항

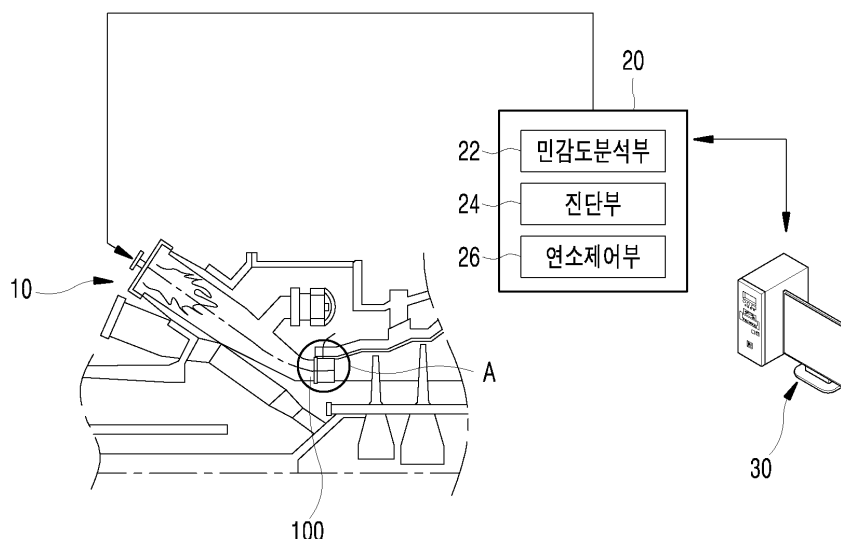
심사관 : 이택상

(54) 발명의 명칭 스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 이를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 방법

(57) 요약

본 발명은 기준 값에 따라 연소 불안정 여부를 판단하여 연소 불안정이 발생하면 이를 알려 가스터빈의 부하를 최소화할 수 있도록 하는 기술을 실현할 수 있는 스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 이를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 방법이 개시된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

F23N 5/24 (2013.01)

G01M 15/14 (2019.01)

F05D 2260/80 (2013.01)

F05D 2270/301 (2013.01)

F23N 2241/20 (2020.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	NRF-2016R1C1B1006636
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	신진연구지원사업
연구과제명	발전용 가스터빈의 열-음향 연소불안정성 정밀진단 기반기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	인천대학교 산학협력단
연구기간	2016.06.01 ~ 2019.05.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2017M3A9E2065287
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	바이오·의료기술개발(R&D)
연구과제명	실제 형상 기반의 개인 맞춤형 종이 유한요소 모델 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	인천대학교
연구기간	2017.06.30 ~ 2022.06.29

명세서

청구범위

청구항 1

연소부 내부에 장착되어 상기 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 동압 센서를 포함하는 연소부;

상기 동압센서에서 연소동압신호를 신호처리하고, 상기 연소부의 연소 불안정 여부를 판별하기 위해 연소불안정 판별값을 계산하기 위한 동압신호의 시간 주기를 결정하는 민감도 분석을 시행하고, 상기 민감도를 기초로 상기 연소불안정 판별값을 계산하는 진단부; 및

상기 진단부의 판정에 따라 상기 연소부의 운전을 제어하는 연소제어부를 포함하며,

상기 진단부는,

상기 동압신호 내 주파수의 크기 중간값(Spectral Centroid: Sp_C)과 상기 주파수가 상기 중간값에서부터 분산된 정도(Spread: Sp_S) 및 상기 중간값과 상기 분산된 정도를 기초로 연소불안정 판별기준값을 계산하는,

스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 중간값은,

$$\text{Spectral Centroid}(Sp_C) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i * \text{amp}_i}{\sum_{i=1}^n \text{amp}_i} \right) / (f_s/2)$$

$$f_i$$

(여기서, n은 FFT에서 표현 할 수 있는 주파수의 개수이고, f_i 는 정해진 프레임에 대해 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행 하였을 때 i번째 주파수이며, amp_i 는 정해진 프레임에 대해 FFT를 수행 하였을 때 i번째 주

$$f_i$$

파수의 크기이고, f_s 는 샘플링된 주파수임)에 의하여 결정하는,

스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 분산된 정도는,

$$\text{Spectral Spread}(Sp_S) = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((f_i - Sp_C)^2 * \text{amp}_i)}{\sum_{i=1}^n \text{amp}_i}} \right) / (f_s/2)$$

$$f_i$$

(여기서, n은 FFT에서 표현 할 수 있는 주파수의 개수이고, f_i 는 정해진 프레임에 대해 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행 하였을 때 i번째 주파수이며, amp_i 는 정해진 프레임에 대해 FFT를 수행 하였을 때 i번째 주

파수의 크기이고, f_s 는 샘플링된 주파수임)에 의하여 결정하는,

$$f_s$$

파수의 크기이고, f_s 는 샘플링된 주파수임)에 의하여 결정하는,
스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 진단부는,

상기 연소부의 안정적 연소가 발생하는 안정상태의 중간값과 상기 연소부의 불안정적 연소가 발생하는 불안정상태의 중간값을 계산하고,

상기 안정상태의 중간값은 상기 불안정상태의 중간값보다 큰,

스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 진단부는,

상기 연소부의 안정적 연소가 발생하는 안정상태의 분산된 정도와 상기 연소부의 불안정적 연소가 발생하는 불안정상태의 분산된 정도를 계산하고,

상기 안정상태의 분산된 정도는 상기 불안정상태의 분산된 정도보다 큰,

스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 불안정상태의 분산된 정도는 가진되는 공진주파수에서 큰 값이 포함되므로, 상기 불안정상태의 중간값에 밀집되는,

스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 진단부는,

$$\text{Arithmetic mean} = \frac{a+b}{2}$$

상기 중간값 및 상기 분산된 정도의 산술 평균($\frac{a+b}{2}$, 여기서 a 는 연소부의 안정적 연소 시 중간값 또는 분산된 정도의 평균값이고, b 는 연소부의 불안정 연소 시 중간값 또는 분산된 정도의 평균값)을 기초로 상기 연소불안정 판별기준값을 계산하는,

스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 8

(a) 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 단계;

(b) 측정된 상기 연소 동압을 신호처리하는 단계;

(c) 상기 연소부의 연소 불안정 여부를 판별하기 위해 연소불안정 판별값을 계산하기 위한 동압신호의 시간 주기를 결정하는 민감도 분석을 시행하는 단계; 및

(d) 상기 민감도를 기초로 상기 연소부 내부의 연소불안정 여부를 판단하는 단계를 포함하고,

상기 (c) 단계는,
 상기 동압신호 내 주파수의 크기 중간값(Spectral Centroid: Sp_C)을 계산하는 단계,
 상기 주파수가 상기 중간값에서부터 분산된 정도(Spread: Sp_S)를 계산하는 단계 및
 상기 중간값과 상기 분산된 정도를 기초로 연소불안정 판별기준값을 계산하는 단계를 포함하고,
 상기 연소불안정 판별값이 상기 연소불안정 판별기준값 보다 작은 경우, 상기 연소부 내부의 연소가 불안정한 것으로 판단하는,
 가스터빈 연소불안정 진단 방법.

청구항 9

상기 (c)단계는,
 (c-1) 상기 민감도 분석을 위해 신호 전체 영역에서 일정 시간을 나타내는 프레임을 선택하는 단계; 및
 (c-2) 선택된 상기 프레임에서 포함된 주파수의 개수를 판단하는 단계를 포함하는,
 가스터빈 연소불안정 진단 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,
 상기 (c) 단계에서,
 상기 중간값을 계산하는 단계는

$$Spectral\ Centroid(Sp_C) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i * amp_i}{\sum_{i=1}^n amp_i} \right) / (f_s/2)$$

$$f_i$$

(여기서, n은 FFT에서 표현 할 수 있는 주파수의 개수이고, f_i 는 정해진 프레임에 대해 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행 하였을 때 i번째 주파수이며, amp_i 는 정해진 프레임에 대해 FFT를 수행 하였을 때 i번째 주

파수의 크기이고, f_s 는 샘플링된 주파수임)에 의하여 계산되는 가스터빈 연소불안정 진단 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,
 상기 (c) 단계에서,
 상기 분산된 정도를 계산하는 단계는,

$$Spectral\ Spread(Sp_S) = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((f_i - Sp_C)^2 * amp_i)}{\sum_{i=1}^n amp_i}} \right) / (f_s/2)$$

$$f_i$$

(여기서, n은 FFT에서 표현 할 수 있는 주파수의 개수이고, f_i 는 정해진 프레임에 대해 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행 하였을 때 i번째 주파수이며, amp_i 는 정해진 프레임에 대해 FFT를 수행 하였을 때 i번째 주

파수의 크기이고, f_s 는 샘플링된 주파수임)에 의하여 계산되는 가스터빈 연소불안정 진단 방법.

$$f_s$$

파수의 크기이고, f_s 는 샘플링된 주파수임)에 의하여 계산되는 가스터빈 연소불안정 진단 방법.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 (c) 단계는,

상기 중간값 및 상기 분산된 정도의 산술 평균(Arithmetic mean = $\frac{a+b}{2}$), 여기서 a는 연소부의 안정적 연소 시 중간값 또는 분산된 정도의 평균값이고, b는 연소부의 불안정 연소 시 중간값 또는 분산된 정도의 평균값)을 기초로 상기 연소불안정 판별기준값을 계산하는, 가스터빈 연소불안정 진단 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 가스터빈 연소 시, 연소 불안정을 진단하는 기술에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 연소기 내부에서 측정된 연소 동압을 바탕으로 연소불안정 판별기준값을 제시하여 실시간으로 연소 상태를 확인하고 가스터빈 연소의 불안정 여부를 빠르고 정확하게 진단할 수 있도록 하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 압축기와 연소기와 터빈과 발전기로 구성되고 압축기로 고압이 된 공기와 열교환기로 고온이 된 연료가스를 연소기로 보내 연소시키고 그 연소 가스에 의해 터빈을 구동한다.

[0003] 이러한 가스터빈은 연소기에서의 연소 온도가 1500℃정도까지 상승하고 내부에서 불안정 연소에 의한 압력 변동이나 화염 위치 변동이 발생해 국부적인 응력 집중이나 열사이클 변동이 발생해, 균열이 발생해 버리는 일이다. 연소기에 균열이나 파손이 발생하면, 연소기로 도입되는 공기량이 계획에서 벗어나 연소 이상이 발생하고 발전 효율이 저하하거나 경우에 따라서는 파손편이 터빈에 들어가고 날개를 손상되는 문제가 있다. 따라서 조기에 균열이라든지 다양한 이상을 검출하고자 한다.

[0004] 이러한 가스터빈 등의 플랜트의 이상 감시에 대해서는 예를 들면 배기실에 온도 검출기를 설치하고, 설치된 온도 검출기에 의해 얻어진 배기가스 흐름에 직교하는 평면 내의 온도 분포에서 단면 배기 온도 분포의 패턴 특징을 구하여 이상 원인 판정을 하는 가스터빈 연소 감시 장치가 제안되어 있다.

[0005] 또한, 연소기에 표면 온도 분포를 검출하는 온도 검출기를 설치하고 이 온도 검출기에 의해 얻어진 표면 온도 분포에 기반하여 연소기의 이상 원인 판정을 하는 가스터빈 연소기 감시 장치가 제안될 수 있다.

[0006] 더불어, 가스터빈의 성능 열화나 고장 발생을 정밀하게 검출하기 때문에, 가스터빈 각부의 운전 데이터를 검출하고, 그 검출된 운전 데이터를 표준화해 소정 시간에 걸쳐 샘플링한 후, 그 샘플링된 데이터를 이동평균 처리하여 그 데이터에 기반하여 가스터빈의 운전 상태를 진단하도록 한 가스터빈의 운전 상태 진단 장치 기술이 제시될 수 있다.

[0007] 그러나 이러한 기술은, 배기실이나 연소기에 마련한 온도 검출기에 의해 얻어진 온도 분포에서 온도 분포 패턴의 특징을 구하고 있기 때문에, 하나의 연소기에 다수의 온도 검출기가 필요하다는 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명에서 해결하고자 하는 과제는, 연소기 내부에서 실시간으로 측정되는 연소 동압을 통해 측정된 연소 불안정 판별 인자를 이용하여 가스터빈의 불안정 연소에 의한 압력 변동, 화염 위치 변동으로 인한 국부적인 응력 집중, 열 사이클 변동에 따른 균열 등을 미연에 감지할 수 있는 스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 이를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 방법을 제공하는 것이다.

[0009] 또한, 본 발명에서 해결하고자 하는 과제는, 가스터빈 연소 동압의 안정 및 불안정 여부를 기준하는 연소불안정 판별기준값을 통해 실시간으로 연소 상태를 확인할 수 있으며, 보다 정확하게 가스터빈의 연소불안정 발생 여부를 판단함과 동시에 이를 알려 그에 상응하는 조치를 신속하게 취할 수 있도록 하는 스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 이를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 실시예에 따른 스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템은, 연소부 내부에 장착되어 상기 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 동압 센서를 포함하는 연소부, 동압센서에서 연소동압신호를 신호처리하고, 연소부의 연소 불안정 여부를 판별하기 위해 연소불안정 판별값을 계산하기 위한 동압신호의 시간 주기를 결정하는 민감도 분석을 시행하고, 민감도를 기초로 연소불안정 판별값을 계산하는 진단부 및 진단부의 판정에 따라 연소부의 운전을 제어하는 연소제어부를 포함할 수 있다.

[0011] 이때, 진단부는, 동압신호 내 주파수의 크기 중간값(Spectral Centroid: Sp_C)과 주파수가 중간값에서부터 분산된 정도(Spread: Sp_S) 및 중간값과 분산된 정도의 민감도를 기준으로 연소불안정 판별기준값을 계산할 수 있다.

[0012] 구체적으로, 중간값은,
$$Spectral\ Centroid(Sp_C) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i * amp_i}{\sum_{i=1}^n amp_i} \right) / (f_s/2)$$
 (여기서, n은 FFT에서 표현 할 수

$$f_i$$

있는 주파수의 개수이고, 은 정해진 프레임에 대해 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행 하였을 때 i번째 주

$$amp_i$$

$$f_s$$

파수이며, 는 정해진 프레임에 대해 FFT를 수행 하였을 때 i번째 주파수의 크기이고, 는 샘플링된 주파수임)에 의하여 결정할 수 있다.

[0013] 구체적으로, 분산된 정도는,
$$Spectral\ Spread(Sp_S) = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((f_i - Sp_C)^2 * amp_i)}{\sum_{i=1}^n amp_i}} \right) / (f_s/2)$$
 (여기서, n은 FFT에

$$f_i$$

서 표현 할 수 있는 주파수의 개수이고, 은 정해진 프레임에 대해 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행 하였

$$amp_i$$

$$f_s$$

을 때 i번째 주파수이며, 는 정해진 프레임에 대해 FFT를 수행 하였을 때 i번째 주파수의 크기이고, 는 샘플링된 주파수임)에 의하여 결정할 수 있다.

[0014] 구체적으로, 진단부는 연소부의 안정적 연소가 발생하는 안정상태의 중간값과 연소부의 불안정적 연소가 발생하는 불안정상태의 중간값을 계산하고, 안정상태의 중간값은 불안정상태의 중간값보다 크게 측정될 수 있다.

[0015] 또한 진단부는, 연소부의 안정적 연소가 발생하는 안정상태의 분산된 정도와 연소부의 불안정적 연소가 발생하는 불안정상태의 분산된 정도를 계산하고, 안정상태의 분산된 정도는 불안정상태의 분산된 정도보다 크게 측정될 수 있다.

[0016] 이때, 불안정상태의 분산된 정도는 가진되는 공진주파수에서 큰 값이 포함되므로, 불안정상태의 중간값에 밀집되는 것을 특징으로 한다.

$$Arithmetic\ mean = \frac{a+b}{2}$$

[0017] 구체적으로 진단부는, 중간값 및 분산된 정도의 산술 평균(, 여기서 a는 연소부의 안정적 연소 시 중간값 또는 분산된 정도의 평균값이고, b는 연소부의 불안정 연소 시 중간값 또는 분산된 정도의 평균값)을 기초로 연소불안정 판별기준값을 계산할 수 있다.

[0018] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 방법은, 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 단계,

측정된 연소 동압을 신호처리하는 단계, 연소부의 연소 불안정 여부를 판별하기 위해 연소불안정 판별값을 계산하기 위한 동압신호의 시간 주기를 결정하는 민감도 분석을 시행하는 단계 및 민감도를 기초로 연소부 내부의 연소불안정 여부를 판단하는 단계를 포함하여 이루어질 수 있다.

[0019] 이때, 민감도 분석을 시행하는 단계는 동압신호 내 주파수의 크기 중간값(Spectral Centroid: Sp_C)을 계산하는 단계, 주파수가 중간값에서부터 분산된 정도(Spread: Sp_S)를 계산하는 단계 및 중간값과 분산된 정도 및 민감도를 기준으로 연소불안정 판별기준값을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0020] 이렇게 계산된 연소불안정 판별기준값이 중간값 및 분산된 정도 보다 큰 경우 연소부 내부의 연소가 불안정한 것으로 판단할 수 있다.

[0021] 구체적으로, 민감도 분석을 시행하는 단계는, 특정 프레임에서 분석 가능한 데이터 수를 선정하는 단계와, 데이터수에 따른 민감도, 중간값 및 분산된 정도를 계산하는 단계를 포함하여 이루어질 수 있다.

[0022] 또한, 민감도 분석을 시행하는 단계에서, 중간값을 계산하는 단계는

$$Spectral\ Centroid(Sp_C) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot amp_i}{\sum_{i=1}^n amp_i} \right) / (f_s/2)$$

(여기서, n은 FFT에서 표현 할 수 있는 주파수의 개수이고, f_i 는 정해진 프레임에 대해 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행 하였을 때 i번째 주파수이며, amp_i 는 정해진 프레임에 대해 FFT를 수행 하였을 때 i번째 주파수의 크기이고, f_s 는 샘플링된 주파수임)에 의하여 계산될 수 있다.

[0023] 또한, 민감도 분석을 시행하는 단계에서, 분산된 정도를 계산하는 단계는,

$$Spectral\ Spread(Sp_S) = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((f_i - Sp_C)^2 \cdot amp_i)}{\sum_{i=1}^n amp_i}} \right) / (f_s/2)$$

(여기서, n은 FFT에서 표현 할 수 있는 주파수의 개수이고, f_i 는 정해진 프레임에 대해 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행 하였을 때 i번째 주파수이며, f_s 는 정해진 프레임에 대해 FFT를 수행 하였을 때 i번째 주파수의 크기이고, f_s 는 샘플링된 주파수임)에 의하여 계산될 수 있다.

[0024] 더불어, 민감도 분석을 시행하는 단계에서 중간값 및 분산된 정도의 산술 평균(Arithmetic mean = $\frac{a+b}{2}$, 여기서 a는 연소부의 안정적 연소 시 중간값 또는 분산된 정도의 평균값이고, b는 연소부의 불안정 연소 시 중간값 또는 분산된 정도의 평균값)을 기초로 연소불안정 판별기준값을 계산할 수 있다.

발명의 효과

[0025] 가스터빈에서 이루어지는 연소과정의 연소 불안정 여부를 판단하기 위하여 연소부에서 측정된 연소 동압을 이용하여 연소동압 기준 판별값을 계산하고, 계산된 연소동압 기준판별값에 따라 가스터빈의 연소부에서 연소가 안정하게 이루어지고 있는지 여부를 판단할 수 있는 효과가 있다.

[0026] 특히, 본 발명의 일 실시예의 가스터빈 연소 동압의 불안정 판별 기준값을 통해 실시간으로 연소의 상태를 파악할 수 있고, 보다 정확하게 가스터빈의 연소불안정 발생 여부를 판단함과 동시에 이를 알려 그에 대응하는 조치를 신속하게 취할 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단시스템의 개략적인 구성도이다.

도 2는 도 1의 영역 A를 확대한 확대도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따라 동압 신호의 일정 프레임에 포함된 신호의 수를 결정할 수 있는 민감도 분석의 예시를 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따라 가스터빈 연소부 내의 동압 신호의 일정 프레임에 포함된 가스터빈 연소불안정 진단시스템의 판별기준값의 예시를 도시한 도면이다.

-도 4의 (a)는 중간값(SP_C)의 예시를 도시한 것이며, 도 4의 (b)는 분산된 정도(SP_S)의 예시를 도시한 것이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따라 가스터빈 연소불안정 진단시스템의 판별기준값에 따라 안정한 상태와 불안정한 상태에서의 가스터빈 연소부 내의 동압 신호를 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0028] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명한다.
- [0029] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단시스템의 개략적인 구성도이고, 도 2는 도 1의 영역 A를 확대한 확대도이다.
- [0030] 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단시스템은 가스터빈과 같은 각종 연소기의 연소불안정을 탐지하고, 이를 활용하여 연소불안정을 감소시켜 가스터빈의 안정적이고 효율적인 운전이 가능할 수 있도록 한다. 이를 위해 가스터빈 연소불안정 진단시스템은, 연소부(10), 진단부(30), 연소제어부(20) 등을 포함하여 구성될 수 있다.
- [0031] 이러한 구성의 가스터빈 연소불안정 진단시스템은 가스터빈 등 각종 연소기의 연소불안정을 탐지하고, 이를 감소시키는 등으로 활용하여 가스터빈의 안정적이고 효율적인 운전이 가능하도록 한다
- [0032] 구체적으로 연소부(10)에서는 연소를 위한 압축공기와 연료가 공급될 수 있다. 연소부(10)에서 연소된 가스는 가스터빈을 구동할 수 있는 동력원이 될 수 있다. 이러한 연소부(10) 내에서는 다양한 이유를 동반한 연소불안정이 발생할 수 있다.
- [0033] 또한, 연소부(10) 내에는 중공의 연소부 내부에 장착되어 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 동압센서(100)를 포함할 수 있다. 이러한 동압센서(100)는 연소부(10) 내에 장착되는 예를 들어 설명하지만, 연소부(10)와 연결되는 도관을 통해 연결할 수도 있다. 동압센서(100)는 연소부(10) 내부의 연소불안정을 측정하기 위한 것으로 연소 시, 연소부(10) 내부의 진동과 공진현상을 측정할 수 있다.
- [0034] 구체적으로 동압센서(100)는 연소부(10) 내부의 동적압력을 측정할 수 있는 센서가 될 수 있다. 또한, 연소부(10)는 동압센서(100)와 인접하게 연소부(10)의 연소 과정에서의 동압신호를 측정하는 압력센서(120)과, 압력센서(120)에서 발생한 신호를 측정하는 신호측정부(140) 등을 포함할 수 있다.
- [0035] 이렇게 동압센서(100)를 통해 측정되는 연소부(10) 내부의 연소불안정은 일종의 공진현상이라 할 수 있다. 공진 주파수 성분에 대해 응답이 다른 주파수 성분이 지배적으로 커지는 현상을 의미한다.
- [0036] 연소부(10)의 동압센서(100)와 신호측정부(120)를 통해 연소부(10)의 연소 과정에서 발생한 동압신호는 진단부(30)로 전송될 수 있다. 전송된 동압신호는 연소 과정이 불안정 또는 안정한지 여부를 확인할 수 있는 데이터로 사용될 수 있다.
- [0037] 구체적으로, 진단부(30)에서는 동압센서(100)에서 측정된 연소 동압에 따른 연소동압신호를 신호처리하여 연소 동압신호에 포함된 복수의 주파수를 포함하는 특정 프레임 신호의 개수를 결정하는 민감도를 분석할 수 있다. 분석된 민감도는 연소불안정 판별값의 기초가 될 수 있다.
- [0038] 민감도란, 연소부 내부에서 측정된 연소 동압을 바탕으로, 한번의 실행으로 연소불안정 판별인자를 계산할 때 이용되는 신호의 개수에 따라 판별인자의 수치가 바뀌는 정도를 의미한다. 민감도 분석에 의하여 특정 신호에서 원하는 정보를 얻고자 할 때, 특정 신호 전체 영역이 아닌 특정 시간 길이를 갖는 프레임만 선택하여 계산할 수 있도록 한다. 이러한 민감도 분석으로 인해, 연소불안정 판별인자의 판별값을 구체화할 수 있다. 또한, 한 번의 계산에서 사용되는 데이터 수를 선정하여 그 기준 값을 명확하게 하고, 이를 통해 계산되는 연소불안정 판별인자를 통해 연소 상태를 즉각적으로 판단 할 수 있다.

[0039] 보다 구체적으로, 민감도 분석은 연소불안정 판별인자에 따라 기준값이 달라질 수 있다. 예컨대, 본 발명의 실시예의 연소불안정 판별인자는 연소불안정 판별기준값의 상태 수인 한 번에 계산되는 신호의 개수에 따라 그 기준 값이 달라질 수 있다. 따라서, 연소불안정 여부를 판단하기 위한 연소불안정 판별인자의 구체적인 판별 기준값을 제시하기 위해 시행하는 과정이 민감도 분석이 될 수 있다.

[0040] 이러한 민감도 분석은 신호의 개수가 작을수록 한 번의 계산에서 사용되는 데이터 수가 줄어들어 연산량이 줄어들고, 시계열의 분해능이 향상될 수 있다. 따라서, 민감도 분석을 위해 신호의 개수가 작으면서, 연소의 안정/불안정의 판별 기준값 차이를 크게 하는 신호의 개수를 정해야 한다.

[0041] 즉, 가스터빈 내부의 동압센서(100)가 10kHz로 동압 신호를 측정하고, 측정된 신호의 전체 영역이 1초라고 가정할 경우, 계산할 신호의 특정 길이는 0.001~0.1(10개 ~ 1000개의 측정 데이터)초가 될 수 있다. 즉, 1초의 길이를 갖는 데이터를 이용하여 계산할 때, 전체 영역을 이용한 계산 결과는 1초에 1번 얻을 수 있지만 특정 길이로 잘라서 계산 할 경우 1초에 여러 번의 결과를 얻을 수 있게 된다.

[0042] 이때, 특정 길이를 선정하기 위해 고려해야 할 것은, 특정 프레임 내에 충분한 주파수가 포함되어 있는지 여부이다. 구체적으로, 연소부(10)의 연소가 안정/불안정 상태인지 여부를 판단하기 위한 기준값의 차이가 최대화되는지 고려해야 하며, 이를 위해 특정 프레임안의 주파수 수를 결정할 수 있도록 민감도 분석이 이루어지는 것이다.

[0043] 구체적으로 도 3을 참고하면, 하나의 프레임 안에 5개의 주파수가 포함되는 경우, 주파수가 모두 표현되지 못하는 것을 알 수 있다. 이와 다르게, 프레임 안에 20의 주파수가 있는 경우, 주파수가 모두 표현되는 것으로 알 수 있다. 따라서, 프레임에 포함된 주파수를 충분히 표현할 수 있도록 프레임 안의 주파수 수를 결정하는 것이 민감도 분석이라 할 수 있다.

[0044] 이와 같은 민감도 분석을 통해 동압센서(100)가 측정하는 동압신호를 통해 연소불안정 판별값을 구할 수 있다. 이때, 연소불안정 판별값은 주파수의 크기(magnitude)로 정의된 중심값(SP_C: Spectral Centroid)과 중심값에서부터 분산된 정도(SP_S: Spectral Spread)를 기준으로 제시할 수 있다.

[0045] 구체적으로 중심값은, 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0046] [수학식 1]

[0047]
$$Spectral\ Centroid(Sp_C) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot amp_i}{\sum_{i=1}^n amp_i} \right) / (f_s/2)$$

$$f_i$$

[0048] 여기서, n은 FFT에서 표현 할 수 있는 주파수의 개수이고, amp_i 은 정해진 프레임에 대해 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행 하였을 때 i번째 주파수이며,

f_s 는 정해진 프레임에 대해 FFT를 수행 하였을 때 i번째 주

파수의 크기이고, f_i 는 샘플링된 주파수가 될 수 있다.

[0049] 이와 유사하게, 분산된 정도는 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0050] [수학식 2]

[0051]
$$Spectral\ Spread(Sp_S) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n ((f_i - Sp_C)^2 \cdot amp_i)}{\sum_{i=1}^n amp_i} \right) / (f_s/2)$$

$$f_i$$

[0052] 여기서, n은 FFT에서 표현 할 수 있는 주파수의 개수이고, amp_i 은 정해진 프레임에 대해 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행 하였을 때 i번째 주파수이며,

f_s 는 정해진 프레임에 대해 FFT를 수행 하였을 때 i번째 주

$$f_i$$

파수의 크기이고, n 은 샘플링된 주파수가 될 수 있다.

[0053] 여기서, 중간값과 분산된 정도를 계산할 때 수행되는 FFT는 주어진 신호가 주기적이라는 가정 하에, 식 $\mathbf{F} \mathbf{c} = \mathbf{y} \rightarrow \mathbf{c} = \mathbf{F}^{-1} \mathbf{y}$

(단, F: Fourier matrix, y: 입력값, c: 주파수 성분)을 이용하여 주파수 분석에 필요한 연산량을 줄일 수 있다는 개념이다.

[0054] 이때, 같은 신호라고 하더라도 하나의 프레임 안에 몇 개의 주파수가 포함되었느냐에 따라 FFT의 결과가 달라질 수 있다. 구체적으로, FFT는 프레임 안에 포함된 신호의 수를 결정하는 앞서 설명된 민감도 분석에서 결정된 주파수의 개수가 된다.

[0055] 이러한 민감도 분석에 의하여 중간값과 분산된 정도를 계산할 때, 주파수의 수를 몇 개로 정하느냐에 따라 계산

$$\sum_{i=1}^n \text{에서 } n \text{의 값}$$

상에서 더해지는 수()이 달라지게 된다.

[0056] 구체적으로 도 4에 도시된 바와 같이, 안정상태 신호(도 4의 동압신호 23 참고)와 불안정상태 신호(도 4의 동압신호 31 참고)에서 안정상태 신호의 경우 중간값 및 분산된 정도의 값이 크고, 불안정상태 신호의 경우 중간값 및 분산된 정도의 값이 작은 것으로 알 수 있다.

[0057] 이러한 이론을 기초로, 연소부(10) 내부에서 측정된 동압 신호가 안정한 상태의 신호이면, 도 5의 (a)에 도시된 바와 같이 동압 신호는 랜덤 노이즈(Random noise) 형태의 파형을 나타낸다. 즉, 안정상태의 동압신호는 여러 크기의 주파수를 갖는 특성이 있다.

[0058] 구체적으로, 가스터빈 내에서 연소가 이루어지는 동안 다양한 신호가 발생할 수 있다. 특히 연소가 안정한 상태 일 때 그 동압신호의 크기는 작고, 그 분포는 정규분포를 따르며, 고른 크기의 다양한 주파수 성분을 갖는다. 또한, 안정상태의 동압신호에서의 중간값은 기준값(예: 도 5의 (a) 참고_0.2857)보다 큰 값을 가지며, 분산된 정도는 기준값(예: 도 5의 (a) 참고_0.2043)보다 크게 나타나는 특징이 있다.

[0059] 이에 반해 연소부(10) 내부에서 측정된 동압 신호가 불안정한 상태의 신호이면, 도 5의 (b)에 도시된 바와 같이 동압 신호는 높은 수준의 가진되는 공진주파수와 일치하는 파형을 나타낸다. 즉 불안정상태의 동압 신호는 가진되는 공진주파수에서 크기를 갖는 특성이 있다.

[0060] 또한, 불안정상태의 동압신호에서의 중간값은 기준값(예: 도 5의 (b) 참고_0.2857)보다 작은 값을 가지며, 분산된 정도는 기준값(예: 도 5의 (b) 참고_0.2043)보다 작게 나타나는 특징이 있다.

[0061] 이때, 안정영역에서의 연소불안정 판별기준값은 절대적인 기준값이 아니며, 가스터빈 연소 시, 실제 연소하는 과정에서 발생한 데이터를 바탕으로 안정한 연소가 일어나는 경우, 주파수의 파동이 심하게 발생하고, 이로 인해 프레임수가 적게 발생하여 측정된 결과를 기준한 것이다.

[0062] 구체적으로, 불안정상태의 동압 신호는 가스터빈 내에서 연소가 이루어지는 동안 특정 신호를 중심으로 신호가 발생하는 것을 의미한다. 즉, 연소가 불안정한 상태라는 것은, 연소기의 고유모드와 일치하는 주파수 성분을 갖는 정현파 파형이 지배적이라는 것을 의미한다. 따라서, 불안정상태에서의 동압신호는 특정 프레임 내에서 특정한 신호를 가질 수 있다는 특징이 있다(도 5의 (b) 참고).

[0063] 즉, 안정상태의 중간값은 불안정상태의 중간값보다 큰 것이 특징이다. 또한, 분산된 정도는 중심값에서부터 분포가 어느 정도 인지를 알려주는 인자이다. 이때 불안정상태의 주파수 성분은 가진되는 공진주파수에서 큰 값을 가지므로 불안정상태의 중심값에 밀집될 수 있다. 따라서, 안정상태의 분산된 정도가 불안정상태의 분산된 정도보다 크게 나타날 수 있다.

[0064] 이와 같이, 안정한 신호 및 불안정한 신호에서의 중간값 및 분산된 정도의 특징에 따라 연소부(10)에서 실제 측정되는 동압신호 데이터에서의 중간값 및 분산된 정도에 따라 동압신호의 안정 또는 불안정 여부를 판단할 수 있다.

[0065] 이때, 안정상태 또는 불안정상태에서의 연소불안정 판별기준값으로 사용되는 중간값 및 분산된 정도의 값은 절대적인 기준값이 아니며, 가스터빈 연소 시, 실제 연소하는 과정에서 발생한 데이터를 바탕으로 안정한 연소가

일어나는 경우, 주파수의 파동이 심하게 발생하고, 이로 인해 프레임수가 적게 발생하여 측정된 결과를 기준한 것이다.

[0066] 이러한 특징으로 동압신호의 안정 또는 불안정 여부를 판단하는 과정을 도 6을 참조하여 보다 구체적으로 설명하기로 한다.

[0067] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0068] 도 6의 설명에 앞서, 도 6에서 설명되는 도면부호와 도 1 내지 도 5에서 설명된 도면 부호가 동일한 경우 동일 구성이라고 판단하고, 상세한 설명은 생략하기로 한다.

[0069] 도면을 참고하면, 우선 연소부 내부의 연소 동압을 측정한다(S110). 측정되는 연소 동압은 연소부(10) 내에서 연소가 불안정하게 이루어지고 있는지 여부를 측정할 수 있는 데이터로 사용될 수 있다. 구체적으로 연소불안정 현상이 발생하면 연소부 내부의 공진으로 인해 연소 동압이 크게 변화하고, 변화하는 연소 동압 정보는 연소 불안정에 대한 정보를 담고 있음을 시사하는 것이라 할 수 있다.

[0070] 이후, 측정된 연소 동압을 신호 처리할 수 있다. 이는 측정되는 연소 동압을 주파수로 처리하고, 처리된 신호는 특징에 따라 연소 불안정이 발생하는지 확인할 수 있는 데이터로 사용된다. 이때, 본 발명의 실시예에서 측정된 연소 동압은 특정한 변환이나 처리를 통해 신호 처리하지 않고, 연소 동안 자체를 신호로 판단하여 데이터로 사용되는 예를 들어 설명하기로 한다.

[0071] 연소 동압을 신호 처리한 후, 연소 상태를 판별하는 인자인 연소불안정 판별기준값을 계산하기 위해 사용하는 신호의 개수를 결정하는 민감도 분석을 시행한다.

[0072] 민감도란, 한번 연소불안정 판별인자를 계산할 때 이용되는 신호의 개수에 따라 판별인자의 수치가 얼마나 바뀌는 지를 의미한다. 이러한 민감도 분석은, 특정 신호에서 원하는 정보를 얻고자 할 때, 특정 신호 전체 영역이 아닌 특정 시간 길이를 갖는 프레임만 선택하여 계산할 수 있도록 하여 연소불안정 판별인자의 기준값을 구체화하는 과정이라 할 수 있다.

[0073] 이러한 민감도 분석을 통해 한 번의 계산에서 사용되는 데이터 수를 선정하여 그 기준 값을 명확하게 하고, 이를 통해 계산되는 연소불안정 판별인자를 통해 연소 상태를 즉각적으로 판단할 수 있게 하는 효과가 있다.

[0074] 구체적으로, 가스터빈 내부의 동압센서(100)가 10kHz로 동압 신호를 측정하고, 측정된 신호의 전체 영역이 1초라고 가정할 경우, 계산할 신호의 특정 길이는 0.001~0.1(10개 ~ 1000개의 측정 데이터)초가 될 수 있다. 즉, 1초의 길이를 갖는 데이터를 이용하여 계산할 때, 전체 영역을 이용한 계산 결과는 1초에 1번 얻을 수 있지만 특정 길이로 잘라서 계산 할 경우 1초에 여러 번의 결과를 얻을 수 있게 된다.

[0075] 이때, 특정 길이를 선정하기 위해 고려해야 할 것은, 특정 프레임 내에 충분한 주파수가 포함되어 있는지 여부이다. 구체적으로, 연소부(10)의 연소가 안정/불안정 상태인지 여부를 판단하기 위한 기준값의 차이가 최대화되는지 고려해야 하며, 이를 위해 특정 프레임안의 신호 수를 결정할 수 있도록 민감도 분석이 이루어지는 것이다.

[0076] 이와 같은 민감도 분석을 통해 동압센서(100)가 측정하는 동압신호를 통해 연소불안정 판별값을 구할 수 있다. 이때, 연소불안정 판별값은 주파수의 크기(magnitude)로 정의된 중심값(SP_C: Spectral Centroid)과 중심값에서부터 분산된 정도(SP_S: Spectral Spread)를 기준으로 제시할 수 있다(S130).

[0077] 구체적으로 중심값은, 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0078] [수학식 1]

[0079]
$$Spectral\ Centroid(Sp_C) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot amp_i}{\sum_{i=1}^n amp_i} \right) / (f_s/2)$$

f_i

[0080] 여기서, n은 FFT에서 표현 할 수 있는 주파수의 개수이고, f_i 은 정해진 프레임에 대해 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행 하였을 때 i번째 주파수이며, amp_i 는 정해진 프레임에 대해 FFT를 수행 하였을 때 i번째 주

$$f_s$$

파수의 크기이고, 는 샘플링된 주파수가 될 수 있다.

[0081] 이와 유사하게, 분산된 정도는 다음과 같이 정의될 수 있다.

[0082] [수학식 2]

$$\text{Spectral Spread}(\text{Sp}_S) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n ((f_i - \text{Sp}_C)^2 \cdot \text{amp}_i)}{\sum_{i=1}^n \text{amp}_i} \right) / (f_s/2)$$

[0083]

$$f_i$$

[0084] 여기서, n은 FFT에서 표현 할 수 있는 주파수의 개수이고, 은 정해진 프레임에 대해 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행 하였을 때 i번째 주파수이며, 는 정해진 프레임에 대해 FFT를 수행 하였을 때 i번째 주

$$f_s$$

파수의 크기이고, 는 샘플링된 주파수가 될 수 있다.

[0085] 이때, 계산되는 중간값 및 분산된 정도의 값은 안정상태의 신호와 불안정상태의 신호에서 각각 계산될 수 있다. 이하 본 발명의 실시예에서는, 프레임 안의 주파수 수가 500일 때, 안정상태 신호인 동압신호 23과 불안정상태의 신호인 동압신호 31 각각에서 중간값 및 분산된 정도값을 각각 계산하는 것을 예를 들어 설명하기로 한다.

[0086] 이렇게 계산된 중간값 및 분산된 정도는 예컨대, 안정상태 신호인 동압신호 23의 중간값은 0.30574240180011814로 계산되고, 불안정상태 신호인 동압신호 31의 중간값은 0.2657371781623158로 계산된다. 또한, 안정상태 신호인 동압신호 23의 분산된 정도는 0.2575483998011817로 계산되고, 불안정상태 신호인 동압신호 31의 분산된 정도는 0.15100627718095044로 계산된다.

[0087] 이와 같이 계산된 중간값 및 분산된 정도를 하기의 산술 평균 식을 통해 중간값 기준값(SP_C 기준값) 및 분산된 정도 기준값(SP_S 기준값)을 설정할 수 있다(S140).

[0088] [수학식 3]

$$\text{Arithmetic mean} = \frac{a+b}{2}$$

[0089]

[0090] 여기서 a는 연소부의 안정적 연소 시 중간값 또는 분산된 정도의 평균값이고, b는 연소부의 불안정 연소 시 중간값 또는 분산된 정도의 평균값이다.

[0091] 즉, 중간값 기준값은 안정상태에서의 중간값과 불안정상태에서의 중간값을 합하여 나눈 평균값이고, 분산된 정도의 기준값은 안정상태에서의 분산된 정도와 불안정상태에서의 분산된 정도를 합하여 나눈 평균값이 될 수 있다.

[0092] 이렇게 계산된 중간값 기준값 및 분산된 정도 기준값을 기준하여 중간값(SP_C)가 중간값 기준값(SP_C 중간값)이 중간값 기준값 및 분산된 정도 기준값보다 크게 측정되면 연소가 안정적으로 지속되었다고 판단되어 정상운전을 운전자 및 장치 구동자 등에게 알릴 수 있다(S150, S170).

[0093] 이와 다르게 계산된 중간값 기준값 및 분산된 정도 기준값을 기준하여 중간값(SP_C)가 중간값 기준값(SP_C 중간값)이 중간값 기준값 및 분산된 정도 기준값보다 작게 측정되면, 불안정한 연소가 이루어진다고 판단할 수 있다. 특히, 연소불안정 판별기준값으로 제시되는 중간값(SP_C)가 중간값 기준값(SP_C 중간값)이 중간값 기준값 및 분산된 정도 기준값보다 작게 측정되는 시간이 0.1이 1초 이상 지속되는 경우 연소 불안정운영 상태를 운전자에게 알릴 수 있다(S150, S160). 연소불안정이 일정 시간 이상 지속되는 경우 가스터빈에서 부하가 발생할 수 있기 때문이다.

[0094] 이상과 같이, 가스터빈에서 이루어지는 연소과정의 연소불안정 여부를 판단하기 위하여 연소부(10)에서 발생한

연소 동압을 이용하여 연소동압 기준 판별값인 연소불안정 판별 인자 값을 계산하고, 계산된 연소불안정 판별 인자 값에 따라 가스터빈의 연소부에서 연소가 안정하게 이루어지고 있는지 여부를 판단할 수 있게 된다.

[0095] 특히, 본 발명의 일 실시예의 가스터빈 연소 동압의 불안정 판별 기준값을 통해 보다 빠르고 정확하게 가스터빈의 연소불안정 발생 여부를 판단하고, 이를 알려 그에 상응하는 조치를 신속하게 취할 수 있도록 한다.

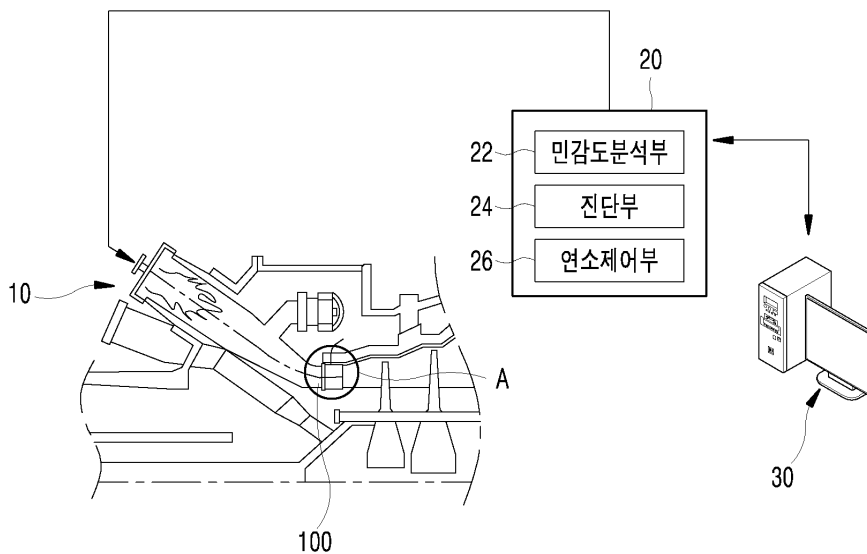
[0096] 앞에서, 본 발명의 특정한 실시예가 설명되고 도시되었지만 본 발명은 기재된 실시예에 한정되는 것이 아니고, 이 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않고서 다른 구체적인 실시예로 다양하게 수정 및 변형할 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 의하여 정하여 질 것이 아니고 청구범위에 기재된 기술적 사상에 의해 정하여져야 할 것이다.

산업상 이용가능성

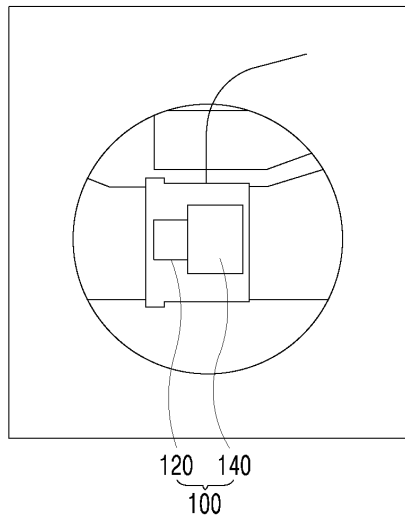
[0097] 본 발명의 스펙트럴 센트로이드와 스펙트럴 스프레드를 기반으로 한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 이를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 방법에 따르면, 가스 터빈 연소 시, 기준값에 따라 연소 불안정 여부를 판단하여 연소 불안정이 발생하면 이를 알려 가스터빈의 부하를 최소화할 수 있도록 하는 기술을 실현할 수 있다는 점에서, 기존 기술의 한계를 뛰어 넘음에 따라 관련 기술에 대한 이용만이 아닌 적용되는 장치의 시판 또는 영업의 가능성이 충분할 뿐만 아니라 현실적으로 명백하게 실시할 수 있는 정도이므로 산업상 이용가능성이 있는 발명이다.

도면

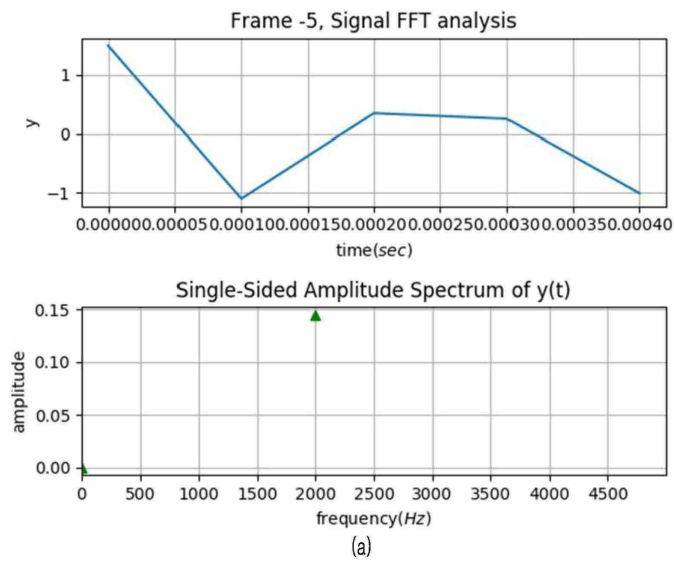
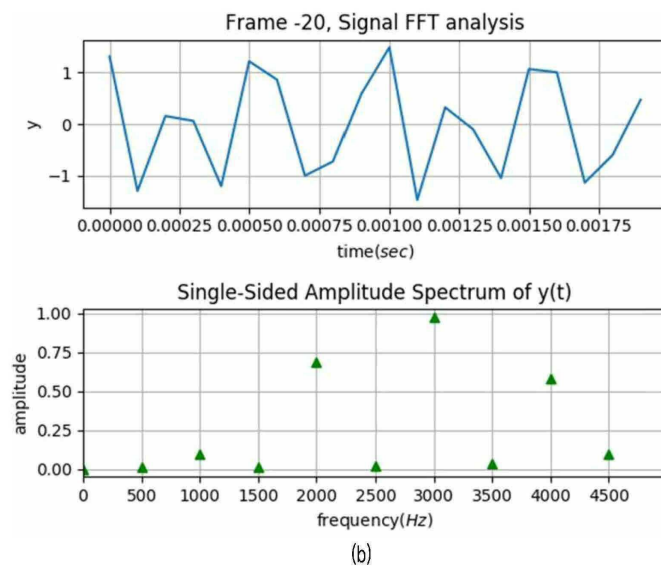
도면1



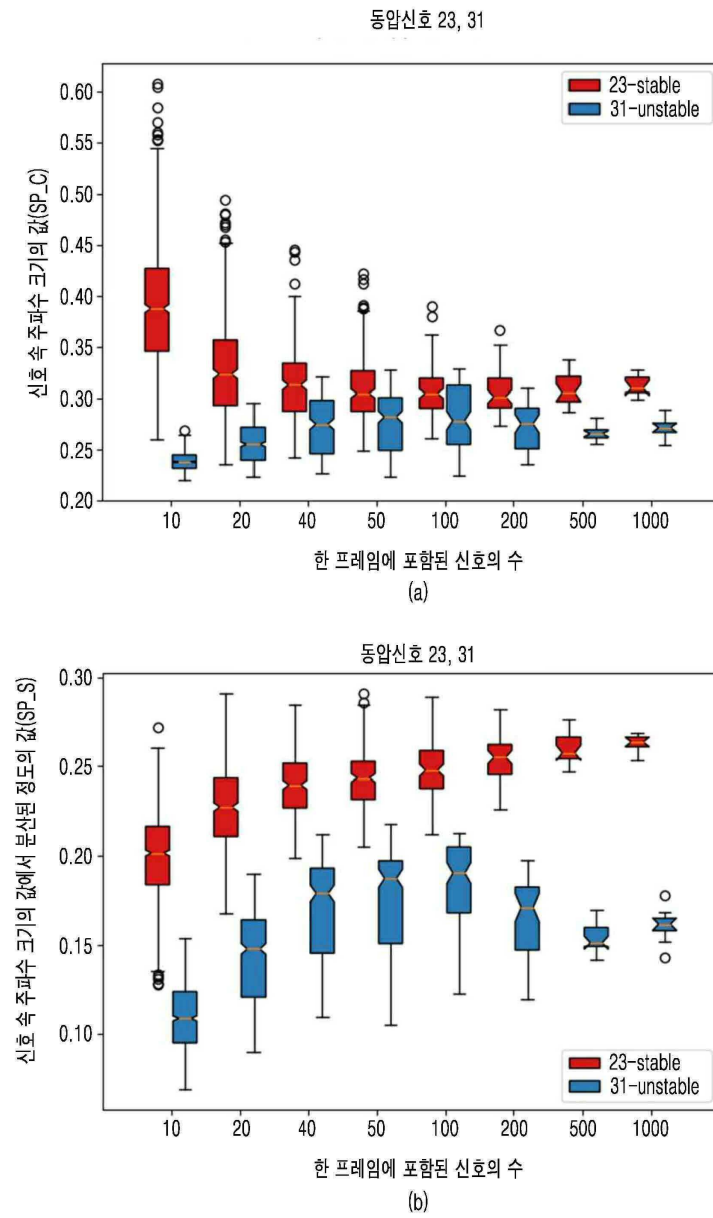
도면2



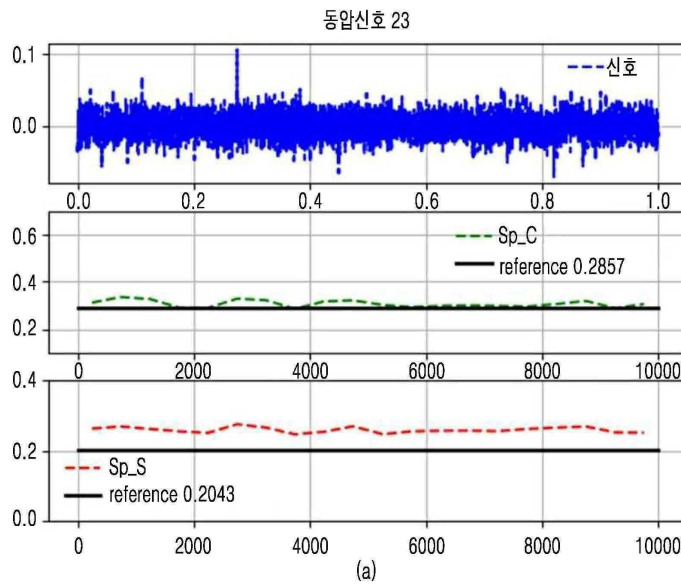
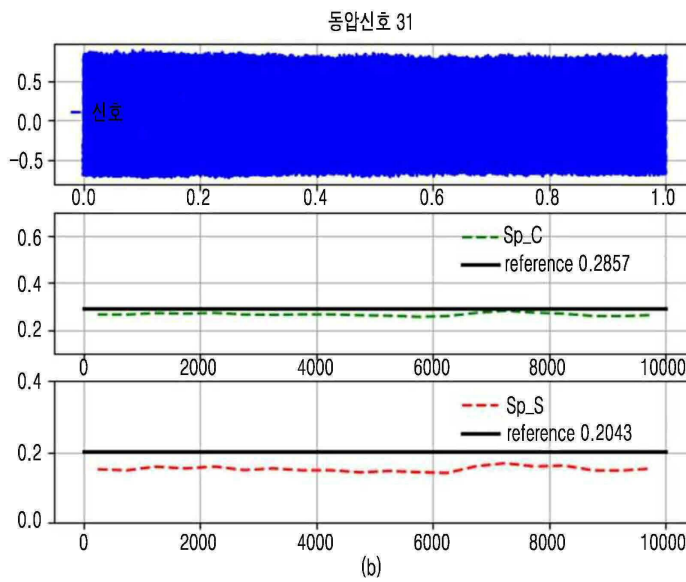
도면3



도면4



도면5



도면6

