



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0145363
(43) 공개일자 2020년12월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F23N 5/24 (2006.01) F23R 3/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F23N 5/242 (2013.01)
F23R 3/00 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0074290
(22) 출원일자 2019년06월21일
심사청구일자 2019년06월21일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
이민철
인천광역시 연수구 컨벤시아대로274번길 15, 230
3동 2904호 (송도동, 송도 더샵 마스터뷰)
김남근
서울특별시 서초구 잠원로8길 20, 330동 704호 (잠원동, 신반포19차아파트)
최중운
경기도 부천시 범안로 81, 111동 301호 (범박동, 부천 범박 힐스테이트 1단지)
(74) 대리인
특허법인 남앤남

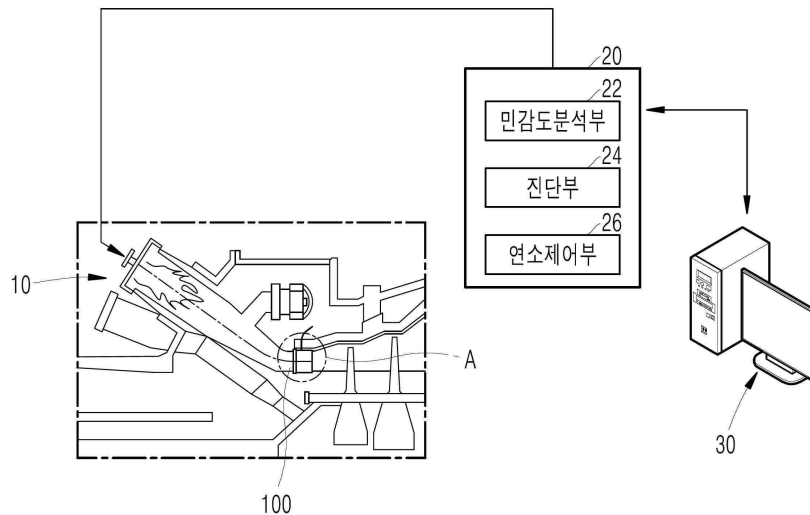
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 스펙트럴 물오프를 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 가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 이를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 방법이 개시된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

F23N 2223/06 (2020.01)

F23N 2223/54 (2020.01)

F23N 2225/04 (2020.01)

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 장착되고, 상기 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 동압센서를 포함하는 연소부;

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

상기 진단부의 판정에 따라 상기 연소부의 운전을 제어하는 연소제어부를 포함하며,

상기 진단부는,

상기 민감도를 기준으로 상기 동압신호 내 주어진 신호의 스펙트럼의 형태(spectral shape)를 나타내는 정도 (Spectral-Rolloff(Sp_Rolloff))를 기초로 하는 상기 연소불안정 판별기준값을 계산하는,

가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 Sp_Rolloff는,

$$Sp_Rolloff = \frac{f_R \text{의 위치}}{N}$$

(여기서, f_R : Rolloff frequency, N: FFT의 결과로 표현 할 수 있는 주파수의 개수(N = 내림[Frame내부에 포함 하는 신호의 개수 / 2]))에 의하여 결정하는,

가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 Sp_Rolloff는,

안정 영역 신호에서의 안정 Sp_Rolloff 및 불안정 영역 신호에서의 불안정 Sp_Rolloff를 포함하고,

상기 안정 Sp_Rolloff는 주어진 신호에 따라 상기 Sp_Rolloff가 변화하며,

상기 불안정 Sp_Rolloff는 주어진 신호에 따라 상기 Sp_Rolloff가 균일한,

가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 불안정 Sp_Rolloff는 공진주파수에 대응하는,

가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 진단부는,

상기 Sp_Rolloff를 기초로

$$\text{표준편차 Sp_Rolloff} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

(여기서, n: Sp_Rolloff의 개수, X_i : i번째 Sp_Rolloff의 값, $\bar{X}$: Sp_Rolloff들의 평균)에 의하여 표준편차 Sp_Rolloff를 결정하는,

가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 표준편차 Sp_Rolloff는, 안정 영역 신호에서의 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 불안정 영역 신호에서의 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 포함하고,

상기 진단부는,

상기 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 상기 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 합하여 평균화한 산술평균 Sp_Rolloff를 기초로 상기 연소불안정 판별기준값을 계산하는,

가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 진단부는,

상기 연소불안정 판별기준값보다 상기 동압센서에서 측정된 연소동안신호를 기초로 측정한 Sp_Rolloff이 작은 경우, 상기 연소부의 연소가 불안정한 것으로 판단하는,

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 판별기준값을 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,

하나의 프레임(Frame) 당 분석 가능한 데이터 수를 결정하는 단계;

상기 하나의 프레임마다 상기 민감도를 기준으로 상기 동압신호 내 주어진 신호의 스펙트럼의 형태(spectral shape)를 나타내는 정도(Spectral-Rolloff(Sp_Rolloff))를 계산하는 단계;

상기 Sp_Rolloff를 기초로 안정 영역 신호에서의 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 불안정 영역 신호에서의 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 포함하는 표준편차 Sp_Rolloff를 계산하는 단계 및

상기 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 상기 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 합하여 평균화한 산술평균 Sp_Rolloff를 기초로 상기 연소불안정 판별기준값을 계산하는 단계를 포함하고,

상기 연소불안정 판별기준값보다 상기 동압센서에서 측정된 연소동안신호를 기초로 측정한 Sp_Rolloff이 작은 경우 상기 연소부의 연소가 불안정한 것으로 판단하는,

가스터빈 연소불안정 진단 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 Sp_Rolloff를 계산하는 단계는,

$$Sp_Rolloff = \frac{f_R \text{의 위치}}{N}$$

(여기서, f_R : Rolloff frequency, N: FFT의 결과로 표현 할 수 있는 주파수의 개수(N = 내림[Frame내부에 포함하는 신호의 개수 / 2]))에 의하여 계산되는,

가스터빈 연소불안정 진단 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 표준편차 Sp_Rolloff를 계산하는 단계는,

$$\text{표준편차 Sp_Rolloff} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

(여기서, n: Sp_Rolloff의 개수, X_i : i번째 Sp_Rolloff의 값, $\bar{X}$: Sp_Rolloff들의 평균)에 의하여 계산되는,

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 가스 터빈 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 일이 있다. 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 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 가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 이를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 시스템은, 연소부 내부에 장착되고, 상기 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 동압센서를 포함하는 연소부, 상기 동압센서에서 연소동압신호를 신호처리하고, 상기 연소부의 연소 불안정 여부를 판별하기 위해 연소불안정 판별기준값을 계산하기 위한 동압신호의 시간 주기를 결정하는 민감도 분석을 시행하고, 상기 민감도를 기초로 상기 연소불안정 판별기준값을 계산하는 진단부 및 상기 진단부의 판정에 따라 상기 연소부의 운전을 제어하는 연소제어부를 포함하여 구성될 수 있다.

[0011] 이때, 상기 진단부는, 상기 민감도를 기준으로 상기 동압신호 내 주어진 신호의 스펙트럼의 형태(spectral shape)를 나타내는 정도(Spectral-Rolloff(Sp_Rolloff))를 기초로 하는 상기 연소불안정 판별기준값을 계산할 수 있다.

$$Sp_Rolloff = \frac{f_R \text{의 위치}}{N}$$

[0012] 구체적으로, Sp_Rolloff는, (여기서, f_R : Rolloff frequency, N: FFT의 결과로 표현 할 수 있는 주파수의 개수(N = 내림[Frame내부에 포함하는 신호의 개수 / 2]))에 의하여 결정할 수 있다.

[0013] 구체적으로, Sp_Rolloff는, 안정 영역 신호에서의 안정 Sp_Rolloff 및 불안정 영역 신호에서의 불안정 Sp_Rolloff를 포함하고, 상기 안정 Sp_Rolloff는 주어진 신호에 따라 상기 스펙트럼의 형태를 나타내는 정도가 변화하며, 상기 불안정 Sp_Rolloff는 주어진 신호에 따라 상기 Sp_Rolloff가 균일한 것으로 특징 될 수 있다.

[0014] 이때, 상기 표준편차 Sp_Rolloff는, 안정 영역 신호에서의 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 불안정 영역 신호에서의 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 포함하고, 상기 진단부는, 상기 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 상기 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 합하여 평균화한 산술평균 Sp_Rolloff를 기초로 상기 연소불안정 판별기준값을 계산할 수 있다.

$$\text{표준편차 Sp_Rolloff} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

[0015] 한편, 상기 진단부는, 상기 Sp_Rolloff를 기초 (여기서, n: Sp_Rolloff의 개수, X_i : i번째 Sp_Rolloff의 값, $\bar{X}$: Sp_Rolloff들의 평균)에 의하여 표준편차 Sp_Rolloff를 결정할 수 있다.

[0016] 구체적으로, 상기 표준편차 Sp_Rolloff는, 안정 영역 신호에서의 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 불안정 영역 신

호에서의 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 포함하고, 상기 진단부는, 상기 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 상기 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 합하여 평균화한 산술평균 Sp_Rolloff를 기초로 상기 연소불안정 판별기준값을 계산할 수 있다.

[0017] 또한, 진단부는, 상기 연소불안정 판별기준값보다 상기 동압센서에서 측정된 연소동안신호를 기초로 측정한 Sp_Rolloff이 작은 경우, 상기 연소부의 연소가 불안정한 것으로 판단할 수 있다.

[0018] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 방법은, 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 단계, 측정된 상기 연소 동압을 신호처리하는 단계, 상기 연소부의 연소 불안정 여부를 판별하기 위해 연소불안정 판별기준값을 계산하기 위한 동압신호의 시간 주기를 결정하는 민감도 분석을 시행하는 단계 및 상기 민감도를 기초로 상기 연소부 내부의 연소불안정 여부를 판단하는 단계를 포함하여 이루어질 수 있다.

[0019] 이때, 민감도 분석을 시행하는 단계는, 하나의 프레임(Frame) 당 분석 가능한 데이터 수를 결정하는 단계, 상기 하나의 프레임마다 상기 민감도를 기준으로 상기 동압신호 내 주어진 신호의 스펙트럼의 형태(spectral shape)를 나타내는 정도(Spectral-Rolloff(Sp_Rolloff))를 계산하는 단계, Sp_Rolloff를 기초로 안정 영역 신호에서의 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 불안정 영역 신호에서의 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 포함하는 표준편차 Sp_Rolloff를 계산하는 단계 및 상기 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 상기 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 합하여 평균화한 산술평균 Sp_Rolloff를 기초로 상기 연소불안정 판별기준값을 계산하는 단계로 이루어질 수 있다.

[0020] 여기서, 연소불안정 판별기준값보다 상기 동압센서에서 측정된 연소동안신호를 기초로 측정한 Sp_Rolloff이 작은 경우 상기 연소부의 연소가 불안정한 것으로 판단할 수 있다.

$$Sp_Rolloff = \frac{f_R \text{의 위치}}{N}$$

[0021] 이때, Sp_Rolloff를 계산하는 단계는, (여기서, f_R : Rolloff frequency, N: FFT의 결과로 표현 할 수 있는 주파수의 개수(N = 내림[Frame내부에 포함하는 신호의 개수 / 2]))에 의하여 계산될 수 있다.

[0022] 특히, 상기 표준편차 Sp_Rolloff를 계산하는 단계는,

$$\text{표준편차 } Sp_Rolloff = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

[0023] (여기서, n: Sp_Rolloff의 개수, x_i : i번째 Sp_Rolloff의 값, $\bar{x}$: Sp_Rolloff들의 평균)에 의하여 계산될 수 있다.

발명의 효과

[0024] 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.

[0025] 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

[0026] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단시스템의 개략적인 구성도이다.

도 2는 도 1의 영역 A를 확대한 확대도이다.

도 3은 본 발명의 실시예의 롤오프 프리퀀시의 도시적 이해를 위한 도면이다.

도 4 (a), (b)는 본 발명의 실시예에 따라 안정한 영역 신호 및 불안정한 영역 신호에서의 신호의 Sp_Rolloff의 이해를 위한 도면이다.

도 5 (a) 내지 도 5 (d)는 Fast Fourier Transform(FFT)와 프레임안의 신호 수의 관계를 도시한 도면이다.

도 6 (a) 내지 도 6 (f)는 프레임 안에 포함된 신호의 수에 따라 분석된 민감도 분석결과를 도시한 도면이다.

도 7은 안정한 영역 신호 및 불안정한 영역 신호에서의 프레임 안에 포함된 신호의 수에 따른 신호의 Sp_Rolloff 값을 측정하기 위한 민감도 분석 결과를 도시한 도면이다.

도 8 (a) 및 (b)는 본 발명의 실시예에 따라 가스터빈 연소불안정 진단시스템의 판별기준값에 따라 안정한 영역 신호와 불안정한 영역 신호에서의 가스터빈 연소부 내의 동압 신호를 도시한 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단시스템을 이용한 연소불안정 진단 과정을 도시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명한다.
- [0028] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단시스템의 개략적인 구성도이고, 도 2는 도 1의 영역 A를 확대한 확대도이다.
- [0029] 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), 측정부(20) 등을 포함하여 구성될 수 있다.
- [0030] 이러한 구성의 가스터빈 연소불안정 진단시스템은 가스터빈 등 각종 연소기의 연소불안정을 탐지하고, 이를 감소시키는 등으로 활용하여 가스터빈의 안정적이고 효율적인 운전이 가능하도록 한다
- [0031] 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.
- [0032] 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.
- [0033] 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)와, 압력센서(120)에서 발생한 신호를 측정하는 측정부(20) 등을 포함할 수 있다.
- [0034] 이러한 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.
- [0035] 연소부(10)의 연소 과정에서 발생한 동압신호는 측정부(20)로 전송될 수 있다. 전송된 동압신호는 연소 과정이 불안정 또는 안정한지 여부를 확인할 수 있는 데이터로 사용될 수 있다.
- [0036] 구체적으로, 측정부(20)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 판별기준값의 기초가 될 수 있다.
- [0037] 이를 위해 측정부(20)는 민감도 분석부(22) 진단부(24), 연소제어부(26) 등을 포함하여 구성될 수 있다.
- [0038] 민감도 분석부(22)는 측정된 연소동압신호의 민감도를 분석하는 구성이다.
- [0039] 민감도란, 연소부 내부에서 측정된 연소 동압을 바탕으로, 한번의 실행으로 연소불안정 판별인자를 계산할 때 이용되는 신호의 개수에 따라 판별인자의 수치가 바뀌는 정도를 의미한다. 구체적으로, 연소불안정 판별인자의 구체적인 판별 기준 값을 제시하기 위해 시행하는 과정이 민감도 분석이라 할 수 있다.
- [0040] 민감도 분석에 의해 특정 신호에서 원하는 정보를 얻고자 할 때, 특정 시간 길이를 갖는 프레임만 선택하여 계산할 수 있으며, 민감도 분석으로 인해, 연소불안정 판별인자의 판별값을 구체화할 수 있다. 또한, 특정 시간 길이만 갖는 프레임만 선택하여 민감도 분석이 이루어지게 되므로, 한 번의 계산에서 사용되는 데이터 수가 선정되기 때문에 계산되는 기준값(연소불안정 기준값)이 명확히 될 수 있다.
- [0041] 따라서, 민감도 분석을 통해 계산되는 연소불안정 판별인자를 통하여 연소 상태를 즉각적으로 판단 할 수 있다.

이러한 연소 상태는 진단부(24)에서 이루어질 수 있다.

[0042] 즉, 진단부(24)는 민감도 분석부(22)에서 분석된 민감도를 기초로 계산된 연소불안정 판별기준값과 측정된 연소 동압신호에서의 측정값을 비교하여 연소부(10)의 연소가 안정/불안정 상태인지를 진단하는 구성이 될 수 있다.

[0043] 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.

[0044] 예를 들어, 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 된다는 효과가 있다.

[0045] 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 최대화되는 지 고려해야 하는 것이다.

[0046] 이렇게 진단된 연소 상태에 따라 불안정한 연소가 이루어진다고 판단되면 연소제어부(26)에서 연소부(10)의 연소를 제어할 수 있게 된다.

[0047] 이러한 특징의 민감도 분석의 구체적인 실시예를 이하 도면을 참고하여 구체적으로 살펴보기로 한다.

[0048] 도 3은 본 발명의 실시예의 롤오프 프리퀀시의 형태를 나타내는 정도의 도시적 이해를 위한 도면이고, 도 4(a), (b)는 본 발명의 실시예에 따라 안정한 영역 신호 및 불안정한 영역 신호에서의 신호의 Sp_Rolloff의 이해를 위한 도면이고, Fast Fourier Transform(FFT)와 프레임안의 신호 수의 관계를 도시한 도면이며, 도 6(a) 내지 도 6(f)는 프레임 안에 포함된 신호의 수에 따라 분석된 민감도 분석결과를 도시한 도면이며, 도 7은 안정한 영역 신호 및 불안정한 영역 신호에서의 프레임 안에 포함된 신호의 수에 따른 신호의 Sp_Rolloff 값을 측정하기 위한 민감도 분석 결과를 도시한 도면이다.

[0049] 도면 설명에 앞서, 연소기 내부의 동압 신호를 측정할 때, 측정되는 상황에 따라 직류 성분(주파수가 0인 성분)을 포함할 수 있다. 이러한 직류 성분이 포함된 신호는 민감도 분석을 위한 전처리 과정에서 일관된 결과를 도출할 수 없게 하거나, 결과를 변화시키는 요인으로 작용한다. 따라서, 민감도 분석을 위해서 측정된 연소기 내부의 동압 신호의 직류 성분을 제거해야 한다.

[0050] 직류 성분을 제거한 동압 신호는 스펙트럼의 방향을 나타내는 방법을 이용하여 연소불안정 판별기준값을 계산하게 된다. 구체적으로, 측정부(20)에서 동압신호의 시간 주기를 결정하는 민감도를 기준으로 동압신호 내 주어진 신호의 스펙트럼의 형태(spectral shape)를 나타내는 정도(Spectral-Rolloff(Sp_Rolloff))를 기초로 하는 연소 불안정 판별기준값을 계산하게 된다.

[0051] 구체적으로 살펴보면, 우선 동압센서(100)에서 측정되어 주어진 연소동압신호는 Fast Fourier Transform(FFT_이하 FFT)을 이용하여 분석한다. FFT란, 주어진 신호가 주기적이라는 가정 하에 $Fc = y \rightarrow c = F^{-1}y$ (단, F: Fourier matrix, y: 입력값, c: 주파수 성분)를 이용하여 신호가 갖는 주파수를 분석할 수 있는 계산식이다.

[0052] 이러한 FFT를 이용하여 연소동압신호를 분석한 연소동압신호는 롤오프 프리퀀시(Roll-off frequency)를 측정한다. 롤오프 프리퀀시란, 시스템 또는 부품의 진폭, 주파수 특성에서 그 평탄부를 넘어서 주파수가 높은 쪽으로(혹은 낮은 쪽으로) 변화했을 때 진폭이 서서히 작게 감쇠해 가는 것을 의미한다.

[0053] 구체적으로 도 3 및 하기의 식을 참고하면, 모든 주파수에 대한 주파수 크기 제곱의 합을 구한다($= \sum_{i=1}^N amp_i^2$).

이후, 낮은 주파수의 크기 제곱을 더해가며 $0.85 * \sum_{i=1}^N amp_i^2$ 보다 같거나 커질 때의 가장 낮은 주파수를 찾게 된다($argmin_{f_R \in \{1, 2, \dots, N\}}$).

$$\operatorname{argmin}_{f_R \in \{1, 2, \dots, N\}} \sum_{i=1}^{f_R} \operatorname{amp}_i^2 \geq 0.85 * \sum_{i=1}^N \operatorname{amp}_i^2 \quad (\text{식 } 1)$$

여기서, amp_i 는 i 번째 주파수 성분의 크기이고, f_s 는 sampling frequency를 의미한다.

이러한 롤오프 프리퀀시를 통해 측정된 연소동압신호의 특징을 살펴보면, 안정 영역 신호의 연소동압신호의 경우 랜덤 노이즈(Random noise) 형태의 파형을 나타낸다. 즉, 안정 영역 신호의 연소동압신호는 여러 크기의 주파수를 갖는 특성이 있다.

이에 반해, 불안정 영역 신호의 연소동압신호의 경우 높은 수준의 가진되는 공진 주파수와 일치하는 형태의 파형을 나타낸다. 즉 불안정 영역 신호의 연소동압신호는 가진되는 공진주파수에서 크기를 갖는 특성이 있다.

이러한 특징을 기초로 안정 영역 신호에서의 연소동압신호의 프레임 길이에 따라 롤오프 프리퀀시를 측정한 뒤, 연소불안정 판별인자인 스펙트럼의 형태(spectral shape)를 나타내는 정도(Spectral-Rolloff(이하 Sp_Rolloff))를 계산하게 된다.

즉, Sp_Rolloff는

$$\operatorname{Sp_Rolloff} = \frac{f_R \text{의 위치}}{N} \quad (\text{식 } 2)$$

를 통해 계산될 수 있다. 여기서, f_s : Rolloff frequency, N: FFT의 결과로 표현할 수 있는 주파수의 개수($N = \text{내림}[\text{Frame내부에 포함하는 신호의 개수} / 2]$)이다.

계산된 Sp_Rolloff는 안정 영역 신호에서의 Sp_Rolloff와 불안정 영역 신호에서의 Sp_Rolloff를 포함할 수 있다. 구체적으로, 도 4의 (a) 및 (b)에 도시된 바와 같이 안정 Sp_Rolloff는 주어지는 신호에 따라 바뀌는 특징이 있다. 반면, 불안정 Sp_Rolloff는 주어진 신호에 관계없이 항상 균일한 것을 알 수 있다.

따라서, 안정 영역 신호 및 불안정 영역 신호에서 나타나는 Sp_Rolloff는 연소기가 안정 영역 신호 및 불안정 영역 신호인지를 구분할 수 있는 인자가 될 수 있다. 특히, 앞서 설명된 (식 1) 및 (식 2)를 통해 불안정 영역의 신호는 가진되는 공진 주파수와 일치하므로, 불안정 영역의 신호에서는 공진 주파수에 해당하는 주파수는 롤오프 프리퀀시라고 할 수 있다.

앞서 설명한 바와 같이, 민감도 분석이란 연소불안정 판별인자의 구체적인 판별 기준 값을 제시하기 위해 시행하는 과정이다.

본 발명의 실시예의 연소불안정 판별인자의 판별기준값은 신호의 스펙트럼 형태 정도(Spectral-Rolloff(Sp_Rolloff))에 기초한다고 하였으며, 신호의 스펙트럼 형태 정도는 주파수 영역에서 미세한 변화를 감지하는 인자가 될 수 있다. 이러한 신호의 스펙트럼 형태 정도를 이용하여 연소 불안정을 판단하기 위해서는 신호가 갖는 주파수 성분들을 모두 표현할 수 있어야 한다.

이를 위해 연소불안정 판별인자로 제시된 Sp_Rolloff를 FFT를 이용하여 분석한다. Sp_Rolloff의 FFT 결과에 따르면, 프레임 안의 신호 수에 따라 표현할 수 있는 주파수의 개수가 결정되게 된다.

구체적으로 도 5 (a) 내지 도 5 (d)를 참고하면, 각 프레임 안에 포함되는 신호의 수는 5, 10, 20, 40으로 각 프레임 안에 몇 개의 신호를 포함하는지에 따라 FFT의 결과가 달라지는 것을 나타내고 있다.

즉, 도 5 (a)에 도시된 바와 같이, 프레임 안에 5개의 신호를 포함하는 경우, 신호가 갖는 주파수를 모두 표현하지 못하는 것을 알 수 있다. 이에 반해 도 5 (c)에 도시된 바와 같이 프레임 안에 20개의 신호가 포함되는 경우 신호가 갖는 주파수가 대체적으로 표현되는 것을 알 수 있다.

이를 바탕으로 신호에 포함된 주파수를 충분히 표현하기 위해서는 그 크기가 0에 가까운 주파수들이 표현되는 프레임 안의 신호의 수를 결정하는 것이다.

또한, 도 6 (a)에 도시된 바와 같이, 프레임 안에 포함된 신호의 수가 10개인 조건의 분석된 민감도 분석결과는 연소 불안정을 판단하기 위해 신호가 갖는 주파수 성분이 충분히 표현되지 않았음을 알 수 있다.

이에 반해, 도 6의 (b) 내지 도 6의 (f)에 도시된 바와 같이 프레임 안에 포함된 신호의 수가 20개 이상의 조건의 분석된 민감도 분석결과는 연소 불안정을 판단하기 위해 신호가 갖는 주파수 성분이 표현되고 있음을 알 수

있다.

[0072] 이러한 특징을 기초로, 안정한 영역 신호 및 불안정한 영역 신호에서의 프레임 안에 포함된 신호의 수에 따라 각각 민감도 분석이 실행되게 된다.

[0073] 즉 도 7를 살펴보면, 안정한 영역 신호 및 불안정한 영역 신호의 프레임 안에 몇 개의 신호를 포함했는지에 따라 Sp_Rolloff 값을 나타내고 있다. 구체적으로 X축은 하나의 프레임 안에 몇 개의 신호를 포함하는지를 의미하고 있다. 이때, 각 신호의 수에서 Sp_Rolloff 이외의 크기를 갖는 값은 노이즈가 될 수 있다.

[0074] 예컨대, 특정 프레임에 100개의 신호가 포함된 경우, Sp_Rolloff은 0.4와 인접한 크기를 가질 수 있지만, 0.4 이외의 노이즈(N)가 매우 커 Sp_Rolloff의 크기가 정확하지 않을 수 있다는 문제점이 있다. 이에 반해, 신호의 수가 20인 경우, Sp_Rolloff의 크기는 0.4에 인접하지만, 포함하는 노이즈가 적음을 알 수 있다.

[0075] 다만 특정 프레임에 포함하는 신호의 수가 커질수록 노이즈가 작아지지만, 특정 신호의 일부 프레임만 선택하여 계산할 수 있도록 하여 한번의 계산에서 사용되는 데이터 수를 줄여 연산량을 줄이고, 시계열의 분해능을 향상시키기 위한 민감도 분석의 정확함이 저하된다는 문제점이 있다.

[0076] 따라서, 노이즈가 최소로 적으며, 민감도 분석의 정확함이 저하되지 않을 수 있도록 특정 프레임이 포함하는 신호 수가 20(0.002초)인 경우를 기준으로 하여 민감도를 분석하고, Sp_Rolloff을 측정할 수 있다.

[0077] 이렇게 계산된 Sp_Rolloff 는 일정 개수(예: 20개)만큼 취합하여 표준 편차를 계산하게 된다. 구체적으로 측정부(20)는 계산된 Sp_Rolloff 를 기초로

$$\text{표준편차 Sp_Rolloff} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

[0078] (식 3)

[0079] 를 이용하여 표준편차 Sp_Rolloff 를 계산할 수 있다. 여기서 n: Sp_Rolloff의 개수, x_i : i번째 Sp_Rolloff의 값, $\bar{x}$: Sp_Rolloff들의 평균이라 할 수 있다.

[0080] 계산된 표준편차 Sp_Rolloff는, 안정 영역 신호에서의 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 불안정 영역 신호에서의 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 포함한다. 이때, 측정부(20)는 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 합하여 계산된 평균화한 산술평균 Sp_Rolloff이 연소불안정 판별기준값이 될 수 있다.

[0081] 이렇게 계산된 연소불안정 판별기준값이 연소동압신호에서 측정한 Sp_Rolloff의 값보다 작은 경우, 연소부(10)의 연소가 불안정하게 연소되고 있는 것이라 판단할 수 있다.

[0082] 구체적으로, 가스터빈 내에서 연소가 이루어지는 동안 다양한 신호가 발생할 수 있다. 특히 연소가 안정한 상태일 때 그 동압신호의 크기는 작고, 고른 크기의 다양한 주파수 성분을 갖는다. 예를 들어, 안정 영역의 신호에의 Sp_Rolloff는 연소불안정 판별기준값인 0.0722(도 8의 (a) 참고) 보다 크게 나타나는 특징이 있다.

[0083] 이에 반해 연소부(10) 내부에서 측정한 동압 신호가 불안정한 상태의 신호이면, 도 8의 (b)에 도시된 바와 같이 동압 신호는 높은 수준의 가진되는 공진주파수와 일치하는 파형을 나타낸다. 즉 불안정상태의 동압 신호는 가진되는 공진주파수에서 크기를 갖는 특성이 있다. 또한, 불안정 영역의 신호에서의 Sp_Rolloff는 연소불안정 판별기준값인 0.0722(도 8의 (b) 참고) 보다 작게 나타나는 특징이 있다.

[0084] 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.

[0085] 즉, 연소불안정 판별기준값이 0.0722로 선정 후 측정되는 Sp_Rolloff이 연소불안정 판별기준값보다 작은 경우에 한해 가스터빈 연소불안정 상태에 대한 알람 및 자동 비상조치를 취하는 것이다.

[0086] 이때, 안정 영역의 신호 또는 불안정 영역의 신호에서의 Sp_Rolloff의 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.

- [0087] 이와 같이, 안정 영역의 신호 및 불안정 영역의 신호에서의 Sp_Rolloff와 연소불안정 판별기준값을 비교함에 따라 동압신호의 안정 또는 불안정 여부를 판단할 수 있게 된다.
- [0088] 이러한 특징으로 동압신호의 안정 또는 불안정 여부를 판단하는 과정을 도 9을 참조하여 보다 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0089] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단시스템을 이용한 연소불안정 진단 과정을 도시한 흐름도이다.
- [0090] 도 9의 설명에 앞서, 도 9에서 설명되는 도면부호와 도 1 내지 도 8에서 설명된 도면 부호가 동일한 경우 동일 구성이라고 판단하고, 상세한 설명은 생략하기로 한다.
- [0091] 도면을 참고하면, 우선 연소부(10) 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.
- [0092] 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.
- [0093] 연소 동압을 신호 처리한 후, 연소 상태를 판별하는 인자인 연소불안정 판별기준값을 계산하기 위해 사용하는 신호의 개수를 결정하는 민감도 분석을 시행하고, 프레임당 분석 가능한 데이터 수를 선정할 수 있다(S120, S130).
- [0094] 민감도란, 연소부 내부에서 측정된 연소 동압을 바탕으로, 한번의 실행으로 연소불안정 판별인자를 계산할 때 이용되는 신호의 개수에 따라 판별인자의 수치가 바뀌는 정도를 의미한다. 구체적으로, 연소불안정 판별인자의 구체적인 판별 기준 값을 제시하기 위해 시행하는 과정이 민감도 분석이라 할 수 있다.
- [0095] 민감도 분석에 의해 특정 신호에서 원하는 정보를 얻고자 할 때, 특정 시간 길이를 갖는 프레임만 선택하여 계산할 수 있으며, 민감도 분석으로 인해, 연소불안정 판별인자의 판별값을 구체화할 수 있다. 또한, 특정 시간 길이만 갖는 프레임만 선택하여 민감도 분석이 이루어지게 되므로, 한 번의 계산에서 사용되는 데이터 수가 선정되기 때문에 계산되는 기준값(연소불안정 기준값)이 명확히 될 수 있는 효과가 있다.
- [0096] 따라서, 민감도 분석을 통해 계산되는 연소불안정 판별인자를 통하여 연소 상태를 즉각적으로 판단 할 수 있다.
- [0097] 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 된다는 효과가 있다.
- [0098] 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 하는 것이다.
- [0099] 이와 같은 민감도 분석을 통해 동압센서(100)가 측정하는 동압신호를 통해 동압신호 내 주어진 신호의 스펙트럼의 형태(spectral shape)를 나타내는 정도(Spectral-Rolloff(Sp_Rolloff))를 기초로 하는 연소불안정 판별기준값을 계산하게 된다(S140).
- [0100] 우선, 우선 동압센서(100)에서 측정되어 주어진 연소동압신호는 Fast Fourier Transform(FFT_이하 FFT)을 이용하여 분석한다. FFT란, 주어진 신호가 주기적이라는 가정 하에 $Fc = y \rightarrow c = F^{-1}y$ (단, F: Fourier matrix, y: 입력값, c: 주파수 성분)를 이용하여 신호가 갖는 주파수를 분석할 수 있는 계산식이다.
- [0101] 이후, FFT를 이용하여 연소동압신호를 분석한 연소동압신호는 롤오프 프리퀀시(Roll-off frequency)를 측정한다. 롤오프 프리퀀시란, 시스템 또는 부품의 진폭, 주파수 특성에서 그 평탄부를 넘어서 주파수가 높은 쪽으로(혹은 낮은 쪽으로) 변화했을 때 진폭이 서서히 작게 감쇠해 가는 것을 의미한다.
- [0102] 롤오프 프리퀀시를 측정하면, 연소불안정 판별인자인 스펙트럼의 형태(spectral shape)를 나타내는 정도

(Spectral-Rolloff(이하 Sp_Rolloff))를 계산할 수 있다.

[0103] 구체적으로, Sp_Rolloff는

$$Sp_Rolloff = \frac{f_R \text{의 위치}}{N}$$

[0104]

[0105] 를 통해 계산될 수 있다. 여기서, f_R : Rolloff frequency, N: FFT의 결과로 표현 할 수 있는 주파수의 개수(N = 내림[Frame내부에 포함하는 신호의 개수 / 2])이다.

[0106] 이렇게 계산된 Sp_Rolloff는 안정 영역 신호에서의 Sp_Rolloff와 불안정 영역 신호에서의 Sp_Rolloff를 포함한다. 구체적으로 안정 Sp_Rolloff는 주어지는 신호에 따라 바뀌고, 불안정 Sp_Rolloff는 주어진 신호에 관계없이 항상 균일하게 측정된다. 따라서, 안정 영역 신호 및 불안정 영역 신호에서 나타나는 Sp_Rolloff는 연소기가 안정 영역 신호 및 불안정 영역 신호인지를 구분할 수 있는 인자가 되는 것이다.

[0107] 이후, 계산된 Sp_Rolloff 는 일정 개수(예: 20개)만큼 취합하여 표준 편차를 계산하게 된다(S150). 구체적으로,

$$\text{표준편차 Sp_Rolloff} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

[0108]

[0109] 를 이용하여 표준편차 Sp_Rolloff 를 계산하게 된다. 여기서 n: Sp_Rolloff의 개수, X_i : i번째 Sp_Rolloff의 값, $\bar{X}$: Sp_Rolloff들의 평균이라 할 수 있다.

[0110] 이때, 표준편차 Sp_Rolloff는, 각각 안정 영역 신호에서의 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 불안정 영역 신호에서의 불안정 표준편차 Sp_Rolloff로 계산된다.

[0111] 이후 안정 표준편차 Sp_Rolloff 및 불안정 영역 신호에서의 불안정 표준편차 Sp_Rolloff를 합하고, 계산된 평균화한 산술평균 Sp_Rolloff이 연소불안정 판별기준값이 될 수 있다.

[0112] 이렇게 계산된 연소불안정 판별기준값이 연소동압신호에서 측정한 Sp_Rolloff의 값보다 작은 경우, 연소부(10)의 연소가 불안정하게 연소되고 있는 것이라 판단할 수 있다(S160).

[0113] 구체적으로, 가스터빈 내에서 연소가 이루어지는 동안 다양한 신호가 발생할 수 있다. 특히 연소가 안정한 상태 일 때 그 동압신호의 크기는 작게 측정되어 Sp_Rolloff는 연소불안정 판별기준값보다 크게 나타나는 특징이 있다.

[0114] 이에 반해 연소부(10) 내부에서 측정한 동압 신호가 불안정한 상태의 신호이면, 같이 동압 신호는 높은 수준의 가진되는 공진주파수와 일치하는 파형을 나타낸다. 즉 불안정상태의 동압 신호는 가진되는 공진주파수에서 크기를 갖는 특징이 있다. 또한, 불안정 영역의 신호에서의 Sp_Rolloff는 연소불안정 판별기준값보다 작게 나타나는 특징이 있다.

[0115] 이렇게 계산된 Sp_Rolloff는 연소불안정 판별기준값과 비교하여 연소불안정 판별기준값 보다 크게 측정되면 연소가 안정적으로 지속되었다고 판단되어 정상운전을 운전자 및 장치 구동자 등에게 알릴 수 있다(S180).

[0116] 이와 다르게 계산된 Sp_Rolloff는 연소불안정 판별기준값과 비교하여 연소불안정 판별기준값 보다 작게 측정되면, 불안정한 연소가 이루어진다고 판단할 수 있다. 특히, 계산된 Sp_Rolloff가 연소불안정 판별기준값 보다 작게 측정되는 시간이 0.1이 1초 이상 지속되는 경우 연소 불안정운영 상태를 운전자에 알릴 수 있다(S170). 연소 불안정이 일정 시간 이상 지속되는 경우 가스터빈에서 부하가 발생할 수 있기 때문이다.

[0117] 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.

[0118] 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.

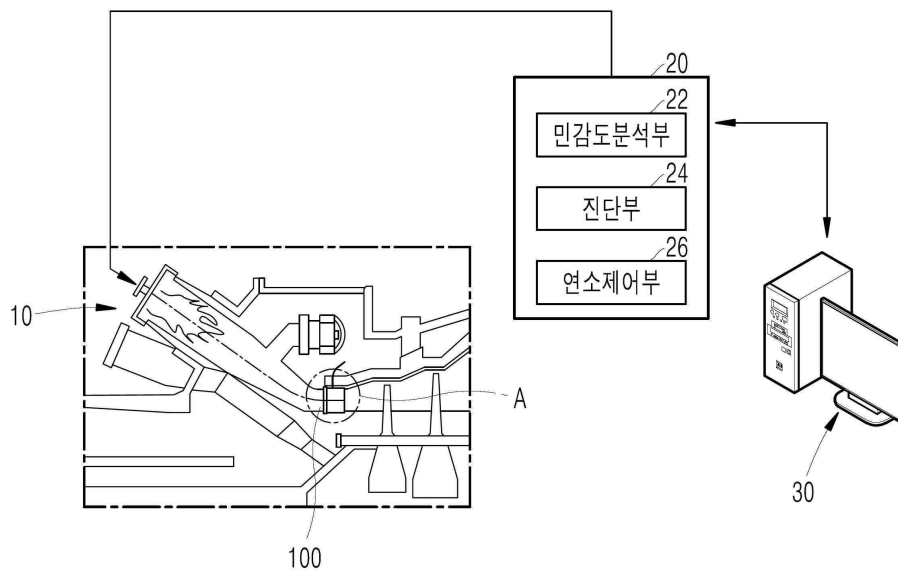
[0119] 앞에서, 본 발명의 특정한 실시예가 설명되고 도시되었지만 본 발명은 기재된 실시예에 한정되는 것이 아니고, 이 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않고서 다른 구체적인 실시예로 다양하게 수정 및 변형할 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 의하여 정하여 질 것이 아니고 청구범위에 기재된 기술적 사상에 의해 정하여져야 할 것이다.

산업상 이용가능성

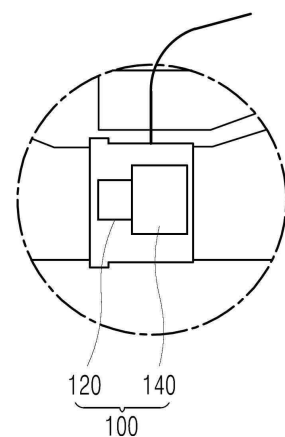
[0120] 본 발명의 가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 이를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 방법에 따르면, 가스 터빈 연소 시, 기준값에 따라 연소 불안정 여부를 판단하여 연소 불안정이 발생하면 이를 알려 가스터빈의 부하를 최소화할 수 있도록 하는 기술을 실현할 수 있다는 점에서, 기존 기술의 한계를 뛰어 넘음에 따라 관련 기술에 대한 이용만이 아닌 적용되는 장치의 시판 또는 영업의 가능성이 충분할 뿐만 아니라 현실적으로 명백하게 실시할 수 있는 정도이므로 산업상 이용가능성이 있는 발명이다.

도면

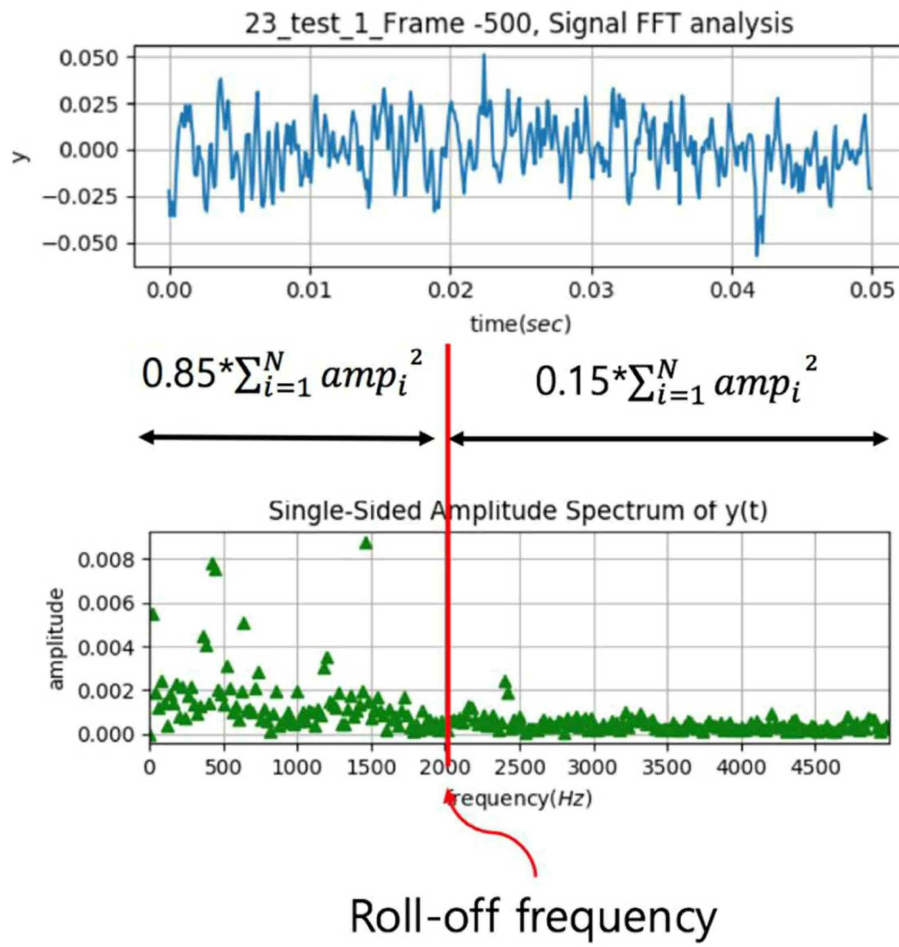
도면1



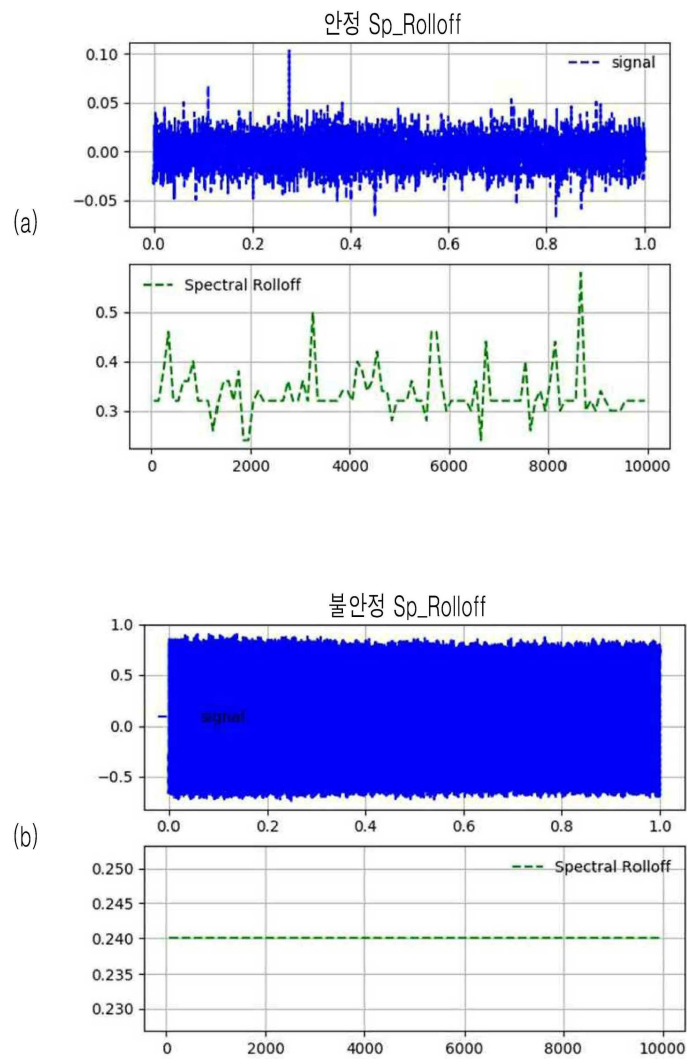
도면2



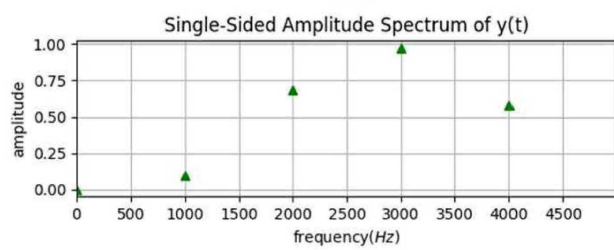
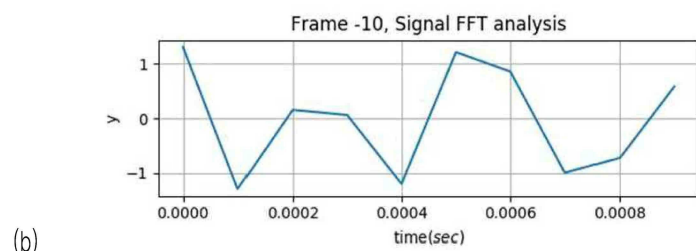
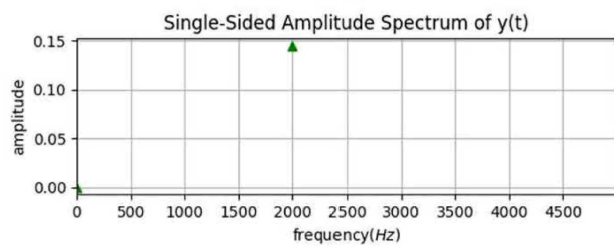
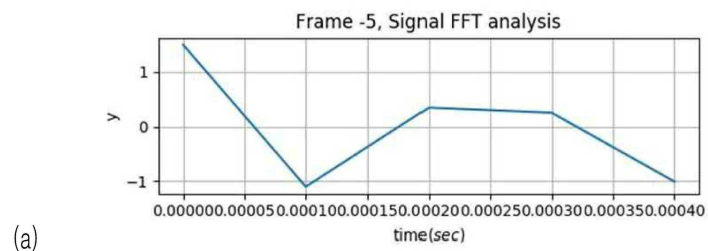
도면3



도면4

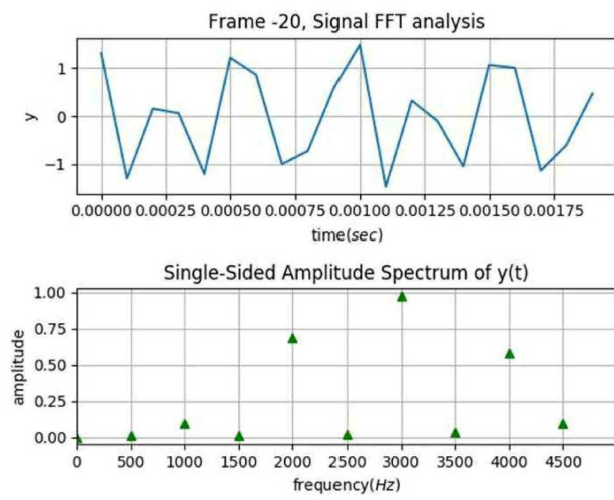


도면5a

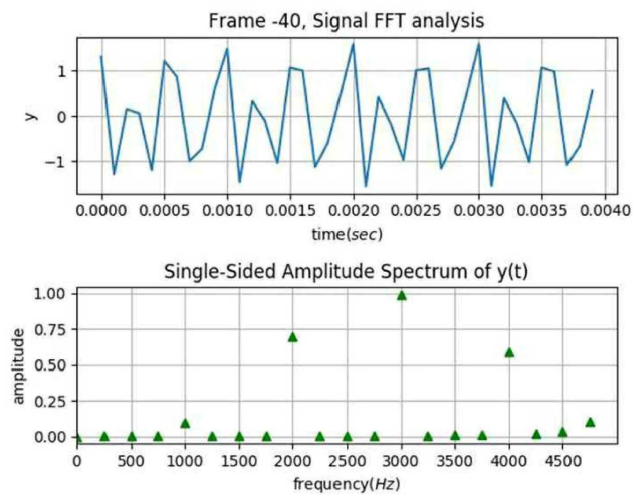


도면5b

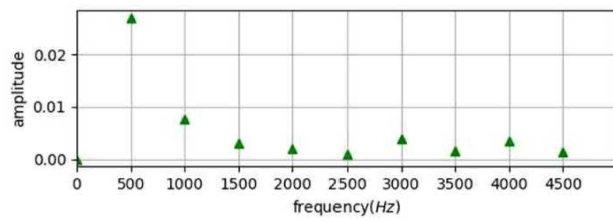
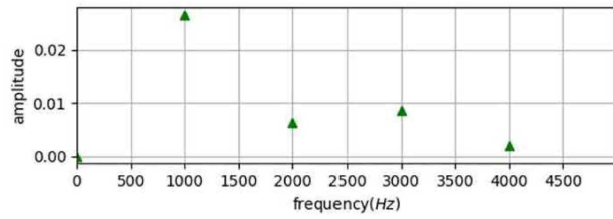
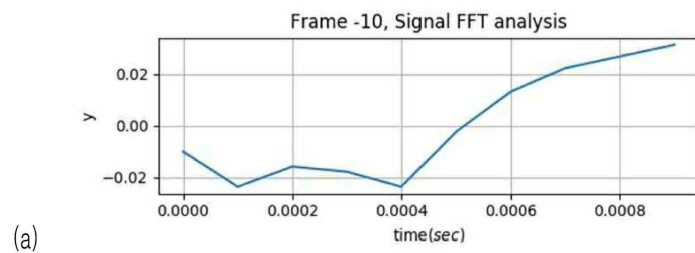
(c)



(d)

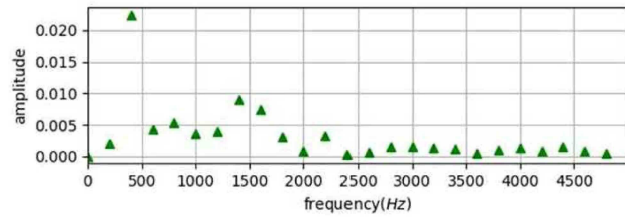
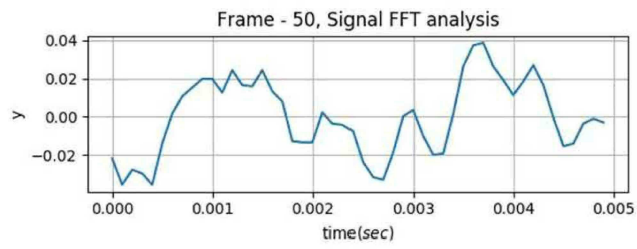


도면6a

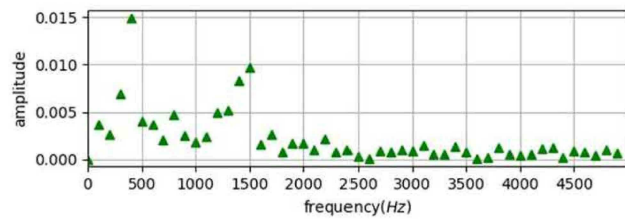
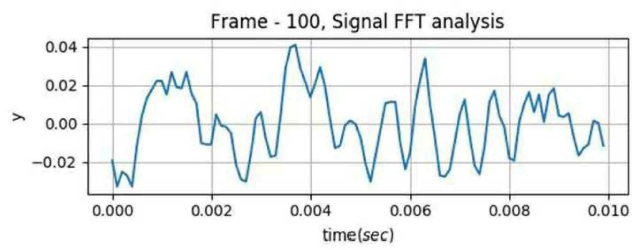


도면6b

(c)

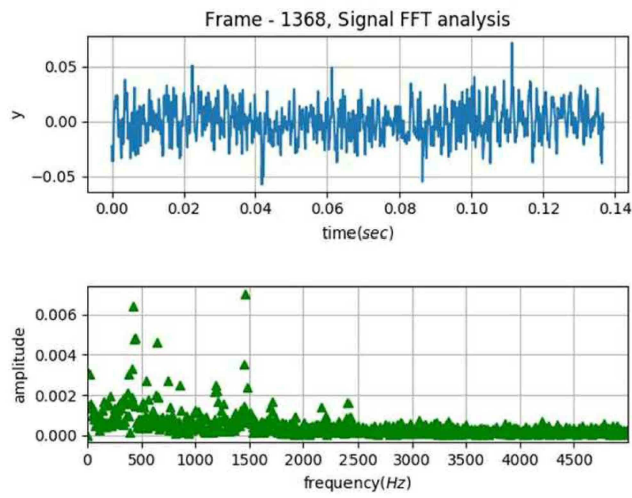


(d)

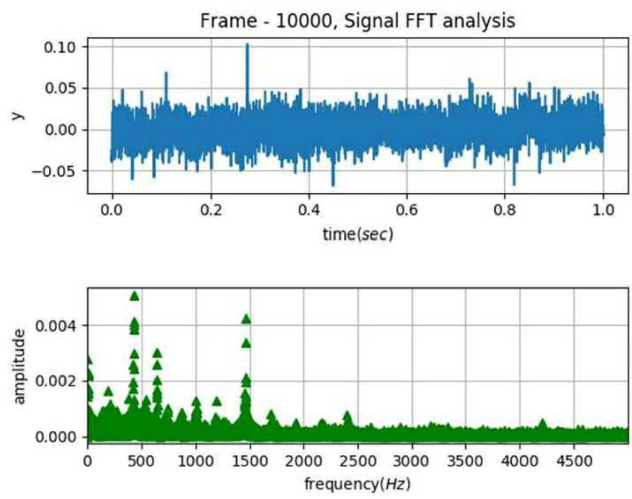


도면6c

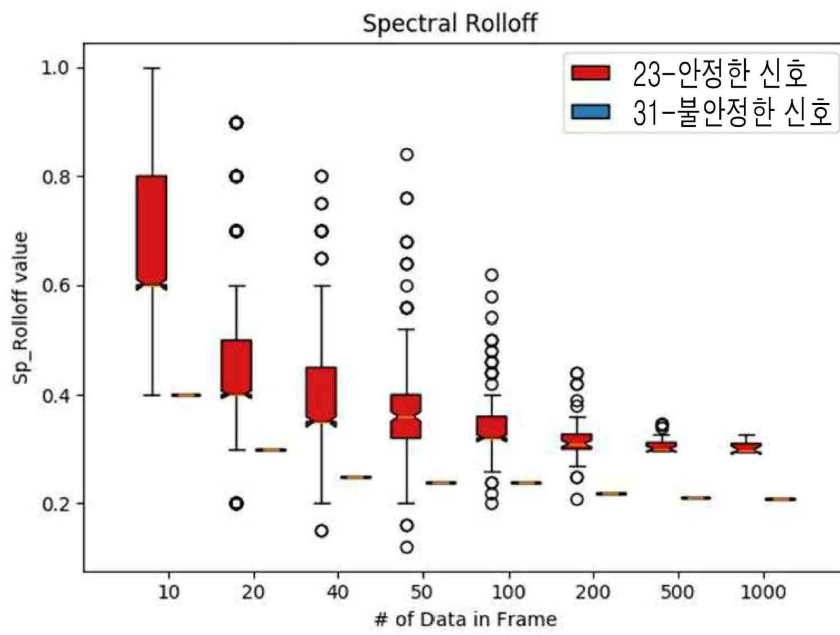
(e)



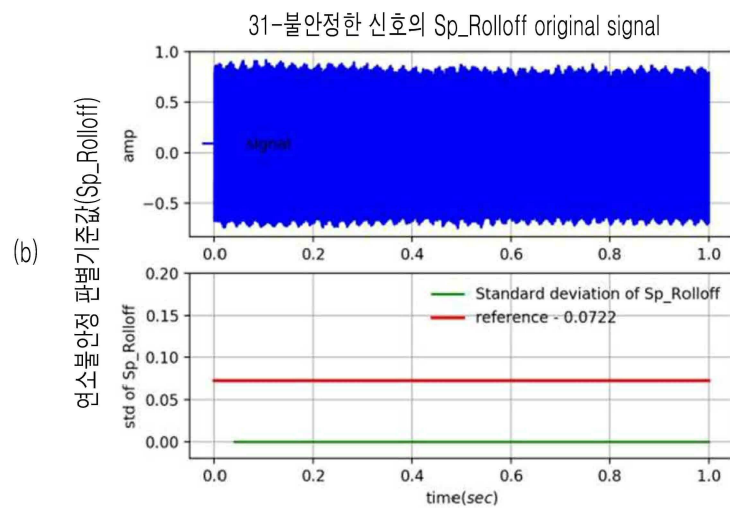
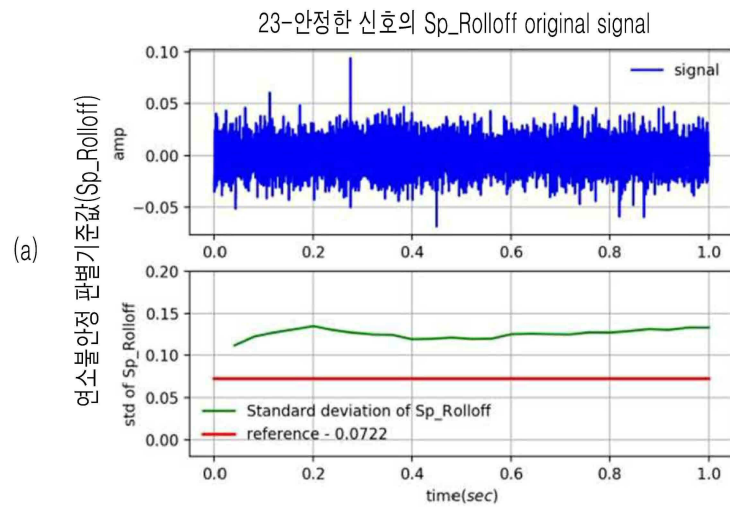
(f)



도면7



도면8



도면9

