(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0004729
(43) 공개일자 2021년01월13일

(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 10-2019-0081585
(22) 출원일자 2019년07월05일
심사청구일자 2019년07월05일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
최종운
경기도 부천시 범안로 81, 111동 301호 (범박동, 부천 범박 힐스테이트 1단지)
이민철
인천광역시 연수구 컨벤시아대로274번길 15, 2303동 2904호 (송도동, 송도 더샵 마스터뷰)
김남근
서울특별시 서초구 잠원로8길 20, 330동 704호 (잠원동, 신반포19차아파트)
(74) 대리인
특허법인 남앤남

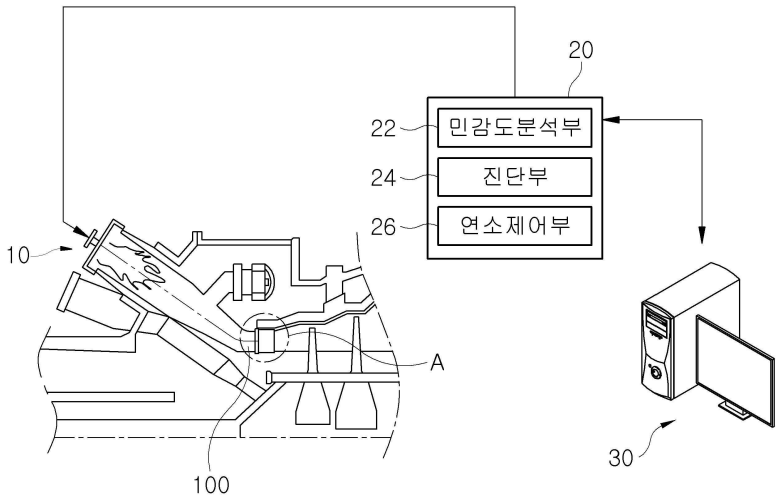
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **필터 뱅크를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 이를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 방법**

(57) 요 약

가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 가스터빈 연소불안정 진단 방법이 개시된다. 본 발명의 일 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 시스템은 연소부 내부에 장착되어 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 동압센서를 포함하는 연소부, 동압센서에서 측정된 연소 동압 신호를 신호처리하고, 기 설정된 시간 간격으로 프레이밍(framing)하여 프레이밍 데이터를 획득하고, 획득된 프레이밍 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득하고, 고속 푸리에 변환 데이터에 필터 뱅크(Filter bank)를 적용하여 필터 뱅크 데이터를 획득하고, 획득된 필터 뱅크 데이터와 기 설정된 연소불안정 판별 기준값을 비교하여 연소불안정 여부를 판단하는 진단부 및 진단부의 판정에 따라 연소부의 운전을 제어하는 연소제어부를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
F23N 5/242 (2013.01)
G01M 15/14 (2019.01)
F05D 2260/80 (2013.01)
F05D 2270/301 (2013.01)
G05B 2219/34048 (2013.01)

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

명 세 서

청구범위

청구항 1

가스터빈 연소불안정 진단 시스템에 있어서,

연소부 내부에 장착되어 상기 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 동압센서를 포함하는 연소부;

상기 동압센서에서 측정된 연소 동압 신호를 신호처리하고, 신호처리된 상기 연소 동압 신호 데이터를 기 설정된 시간 간격으로 프레이밍(framing)하여 프레이밍 데이터를 획득하고, 획득된 상기 프레이밍 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득하고, 상기 고속 푸리에 변환 데이터에 필터 뱅크(Filter bank)를 적용하여 필터 뱅크 데이터를 획득하고, 획득된 상기 필터 뱅크 데이터와 기 설정된 연소불안정 판별 기준값을 비교하여 연소불안정 여부를 판단하는 진단부; 및

상기 진단부의 판정에 따라 상기 연소부의 운전을 제어하는 연소제어부를 포함하는 가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 진단부는,

상기 프레이밍 데이터에 프리 엠퍼시스 필터링(Pre-emphasis filtering)을 수행하고, 상기 필터링 후 데이터에 해밍 윈도우(Hamming window)를 적용하고, 상기 해밍 윈도우 적용 후 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득하는 가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 진단부는,

상기 고속 푸리에 변환 데이터를 이용하여 동압 신호의 파워 스펙트럼(power spectrum)을 계산하고, 트라이앵귤러 필터(triangular filter)를 생성하고, 상기 파워 스펙트럼 및 트라이앵귤러 필터를 이용하여 필터 뱅크 데이터를 획득하는 가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 연소불안정 판별 기준값은,

기 측정된 안정 상태(Fully developed stable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터 및 기 측정된 불안정 상태(Fully developed unstable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 기초로 설정되는 가스터빈 연소불안정 진단 시스템.

청구항 5

가스터빈 연소불안정 진단 방법에 있어서,

(i) 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 단계;

(ii) 측정된 상기 연소 동압 신호를 신호처리하는 단계;

(iii) 신호처리된 상기 연소 동압 신호 데이터를 기 설정된 시간 간격으로 프레이밍(framing)하여 프레이밍 데이터를 획득하는 단계;

(iv) 획득된 상기 프레이밍 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득하는 단계;

(v) 상기 고속 푸리에 변환 데이터에 필터 뱅크(Filter bank)를 적용하여 필터 뱅크 데이터를 획득하는 단계; 및

(vi) 획득된 상기 필터 뱅크 데이터와 기 설정된 연소불안정 판별 기준값을 비교하여 연소불안정 여부를 판단하는 단계를 포함하는 가스터빈 연소불안정 진단 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 (iv) 단계의 상기 프레이밍 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득하는 단계는,

상기 프레이밍 데이터에 프리 앰퍼시스 필터링(Pre-emphasis filtering)을 수행하는 단계;

상기 필터링 수행 후 해밍 윈도우(Hamming window)를 적용하는 단계; 및

상기 해밍 윈도우 적용 후 고속 푸리에 변환(FFT)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득하는 단계를 포함하는 가스터빈 연소불안정 진단 방법.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 (v) 단계의 상기 고속 푸리에 변환 데이터에 필터 뱅크(Filter bank)를 적용하여 필터 뱅크 데이터를 획득하는 단계는,

상기 고속 푸리에 변환 데이터를 이용하여 동압 신호의 파워 스펙트럼(power spectrum)을 계산하는 단계;

트라이앵귤러 필터(triangular filter)를 생성하는 단계; 및

상기 파워 스펙트럼 및 트라이앵귤러 필터를 이용하여 필터 뱅크 데이터를 획득하는 단계를 포함하는 가스터빈 연소불안정 진단 방법.

청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 연소불안정 판별 기준값은,

기 측정된 안정 상태(Fully developed stable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터 및 기 측정된 불안정 상태(Fully developed unstable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 기초로 설정되는 가스터빈 연소불안정 진단 방법.

청구항 9

제 5 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항의 방법을 구현하기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매

체.

발명의 설명

기 술 분 야

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

배 경 기 술

[0002] 일반적으로, 가스터빈은 압축기와 연소기와 터빈과 발전기로 구성되고 압축기로 고압이 된 공기와 열교환기로 고온이 된 연료가스를 연소기로 보내 연소시키면 그 연소 가스에 의해 터빈이 구동된다.

[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 손상시키는 문제가 있다. 따라서 조기에 균열이라든지 다양한 이상을 검출하는 것이 중요한 과제가 되고 있다.

[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 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 창안된 것으로, 연소기 내부에서 실시간으로 측정되는 연소 동압을 통해 측정된 연소불안정 판별 인자를 이용하여 가스터빈의 불안정 연소에 의한 압력 변동, 화염 위치 변동으로 인한 국부적인 응력집중, 열사이클 변동에 따른 균열 등을 미연에 감지할 수 있는 가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 이를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 방법을 제공하는 것이다.

[0009] 또한, 기 설정된 가스터빈 연소불안정 판별 기준값을 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 일 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 시스템은, 연소부 내부에 장착되어 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 동압센서를 포함하는 연소부, 동압센서에서 측정된 연소 동압 신호를 신호처리하고, 신호처리된 연소 동압 신호 데이터를 기 설정된 시간 간격으로 프레이밍(framing)하여 프레이밍 데이터를 획득하고, 획득된 프레이밍 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득

하고, 고속 푸리에 변환 데이터에 필터 뱅크(Filter bank)를 적용하여 필터 뱅크 데이터를 획득하고, 획득된 필터 뱅크 데이터와 기 설정된 연소불안정 판별 기준값을 비교하여 연소불안정 여부를 판단하는 진단부 및 진단부의 판정에 따라 연소부의 운전을 제어하는 연소제어부를 포함할 수 있다.

[0011] 또한, 진단부는, 프레이밍 데이터에 프리 앰퍼시스 필터링(Pre-emphasis filtering)을 수행하고, 필터링 후 데이터에 해밍 윈도우(Hamming window)를 적용하고, 해밍 윈도우 적용 후 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득할 수 있다.

[0012] 또한, 진단부는, 고속 푸리에 변환 데이터를 이용하여 동압 신호의 파워 스펙트럼(power spectrum)을 계산하고, 트라이앵귤러 필터(triangular filter)를 생성하고, 파워 스펙트럼 및 트라이앵귤러 필터를 이용하여 필터 뱅크 데이터를 획득할 수 있다.

[0013] 또한, 연소불안정 판별 기준값은, 기 측정된 안정 상태(Fully developed stable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터 및 기 측정된 불안정 상태(Fully developed unstable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 기초로 설정될 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 방법은, 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 단계, 측정된 연소 동압 신호를 신호처리하는 단계, 신호처리된 연소 동압 신호 데이터를 기 설정된 시간 간격으로 프레이밍(framing)하여 프레이밍 데이터를 획득하는 단계, 획득된 프레이밍 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득하는 단계, 고속 푸리에 변환 데이터에 필터 뱅크(Filter bank)를 적용하여 필터 뱅크 데이터를 획득하는 단계 및 획득된 필터 뱅크 데이터와 기 설정된 연소불안정 판별 기준값을 비교하여 연소불안정 여부를 판단하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 또한, 프레이밍 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득하는 단계는, 프레이밍 데이터에 프리 앰퍼시스 필터링(Pre-emphasis filtering)을 수행하는 단계, 필터링 수행 후 해밍 윈도우(Hamming window)를 적용하는 단계 및 해밍 윈도우 적용 후 고속 푸리에 변환(FFT)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 또한, 고속 푸리에 변환 데이터에 필터 뱅크(Filter bank)를 적용하여 필터 뱅크 데이터를 획득하는 단계는, 고속 푸리에 변환 데이터를 이용하여 동압 신호의 파워 스펙트럼(power spectrum)을 계산하는 단계, 트라이앵귤러 필터(triangular filter)를 생성하는 단계 및 파워 스펙트럼 및 트라이앵귤러 필터를 이용하여 필터 뱅크 데이터를 획득하는 단계를 포함할 수 있다.

[0017] 또한, 연소불안정 판별 기준값은, 기 측정된 안정 상태(Fully developed stable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터 및 기 측정된 불안정 상태(Fully developed unstable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 기초로 설정될 수 있다.

[0018] 한편, 본 발명의 일 실시예로써, 전술한 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체가 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0019] 본 발명의 일 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 이를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 방법에 따르면, 연소기 내부에서 측정된 연소 동압을 바탕으로 필터 뱅크(Filter bank) 데이터를 획득하고, 획득된 필터 뱅크 데이터와 기 설정된 연소불안정 판별 기준값을 비교하여 연소불안정 여부를 판단함으로써 정확하고 신속하게 연소불안정 여부를 진단할 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 시스템 및 이를 이용한 가스터빈 연소불안정 진단 방법에 따르면, 정확하고 신속하게 연소불안정 여부를 진단함으로써, 연소불안정 상태에 대한 알람을 표시할 수 있으며, 신속하게 가스터빈의 부하를 감소시켜 안전사고를 미연에 방지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단시스템의 개략적인 구성도이다.

도 2는 도 1의 영역 A를 확대한 확대도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 해밍 윈도우를 적용하는 방법을 나타낸 도면이다.

도 4는 트라이앵귤러 필터를 나타낸 도면으로, 도 4의 (a)는 트라이앵귤러 필터 1을 나타낸 도면이고, 도 4의 (b)는 트라이앵귤러 필터 2를 나타낸 도면이다.

도 5는 트라이앵귤러 필터 1을 이용하여 필터 뱅크 컴포넌트 1 영역의 데이터를 획득하는 방법을 나타낸 도면이다.

도 6은 트라이앵귤러 필터 2를 이용하여 필터 뱅크 컴포넌트 2 영역의 데이터를 획득하는 방법을 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 연소 동압 신호에 필터 뱅크를 적용하여 획득된 필터 뱅크 데이터를 나타낸 도면이다. 도 7의 (a)는 시간 영역에서 측정된 연소 동압 신호를 나타낸 도면이고, 도 7의 (b)는 측정된 연소 동압 신호에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 나타낸 도면이다.

도 8은 안정 상태(Fully developed stable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 나타낸 도면이다.

도 9는 불안정 상태(Fully developed unstable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 나타낸 도면이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라서 연소불안정 판별 여부를 적용한 결과를 나타낸 도면이다. 도 10의 (a)는 연소부 내부에서 측정된 연소 동압 신호 데이터를 나타낸 도면이고, 도 10의 (b)는 측정된 연소 동압 신호 데이터로부터 0.02 초마다 필터 뱅크를 적용하여 계산된 필터 뱅크 데이터를 나타낸 도면이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0023] 본 명세서에서 사용되는 용어에 대해 간략히 설명하고, 본 발명에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.

[0024] 본 발명에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 발명의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.

[0025] 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다. 또한, 명세서 전체에서 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, "그 중간에 다른 소자를 사이에 두고" 연결되어 있는 경우도 포함한다.

[0026] 이하 첨부된 도면을 참고하여 본 발명을 상세히 설명하기로 한다.

[0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단시스템의 개략적인 구성도이고, 도 2는 도 1의 영역 A를 확대한 확대도이다.

[0028] 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 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), 제어 프로세서(20) 등을 포함하여 구성될 수 있다.

[0029] 이러한 구성의 가스터빈 연소불안정 진단시스템은 가스터빈 등 각종 연소기의 연소불안정을 탐지하고, 탐지한 연소불안정에 대응하여 부하를 감소시키는 방향으로 제어함으로써 가스터빈의 안정적이고 효율적인 운전이 가능

하도록 한다.

[0030] 구체적으로 본 발명의 일 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 시스템의 구성을 살펴보면, 연소부(10)에는 연소를 위한 압축공기와 연료가 공급될 수 있다. 즉, 연소부(10)에서 연소된 가스는 가스터빈을 구동할 수 있는 동력원이 될 수 있다. 이러한 연소부(10) 내에서는 가스터빈의 동작 중에 압축공기, 연료의 부족, 혼합 비율 등의 다양한 원인으로 연소불안정이 발생할 수 있다.

[0031] 또한, 연소부(10) 내에는 연소부 내부에 장착되어 연소부 내부의 연소 동압을 측정하는 동압센서(100)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 동압센서(100)는 연소부(10) 내에 장착되며, 연소부(10)와 연결되는 도관을 통해 연결될 수도 있다. 즉, 동압센서(100)는 연소불안정을 측정하기 위한 것으로 연소부(10) 내부의 연소 동압을 측정하여, 연소 동작 중에 연소부(10) 내부의 진동과 공진현상을 측정할 수 있다.

[0032] 예를 들어, 동압센서(100)는 연소부(10) 내부의 동적 압력을 측정할 수 있는 센서가 될 수 있다. 또한, 연소부(10)는 동압센서(100)와 인접하게 연소부(10)의 연소 과정에서의 동압 신호를 측정하는 압력센서(120)와 압력센서(120)에서 발생한 신호를 측정하는 신호측정부(140) 등을 포함할 수 있다.

[0033] 이렇게 동압센서(100)를 통해 측정되는 연소부(10) 내부의 연소불안정은 일종의 공진현상이라 할 수 있다. 즉, 연소불안정으로 인한 공진현상으로 특정 주파수 성분이 지배적으로 커지는 현상을 의미한다.

[0034] 연소부(10)의 동압센서(100)와 신호측정부를 통해 연소부(10)의 연소 과정에서 발생한 동압 신호는 제어 프로세서(20)로 전송될 수 있다. 즉, 제어 프로세서(20)로 전송된 동압 신호는 현재 연소 동작의 불안정 또는 안정 여부를 확인할 수 있는 데이터로 사용될 수 있다.

[0035] 도 1을 참조하여, 제어 프로세서(20)에 대해 자세히 살펴보면, 제어 프로세서(20)는 민감도 분석부(22), 진단부(24), 연소제어부(26) 등을 포함하여 구성될 수 있다.

[0036] 민감도 분석부(22)는 동압센서(100)에서 측정된 연소 동압에 따른 연소 동압 신호의 프레임의 개수 또는 프레임의 특정 길이를 결정하기 위하여 민감도를 분석하는 장치이다.

[0037] 구체적으로 민감도란, 연소부(10)의 내부에서 측정된 동압 신호를 바탕으로 연소불안정 판별인자를 계산할 때, 계산되는 연소 동압 신호의 개수에 따라 판별인자의 수치(판별인자의 신뢰도)가 바뀌는 정도를 의미한다. 즉, 어느 일정 시간 동안의 연소 동작 중에 측정된 동압 신호에서 원하는 정보(연소불안정 판별인자)를 얻고자 할 때, 특정 신호 전체 영역이 아닌 특정 시간 길이를 갖는 프레임만 선택하여 계산할 수 있다.

[0038] 예를 들어, 동압센서(100)가 연소부 내부에서 동압 신호를 10kHz 주기로 측정하였다면, 1초 동안 10,000개의 연소 동압 신호를 획득할 수 있다. 여기에서 연소불안정 여부를 판단하기 위해서 1초 동안을 하나의 프레임으로 잡고 10,000개의 동압 신호를 이용하여 판별인자를 계산하는 것도 가능하나 연산량이 너무 많게 된다. 따라서, 각 프레임(계산할 특정 길이)을 특정 길이인 0.001~0.1초 구간으로 설정하면 10개 ~ 1000개의 측정 데이터를 연산하게 되므로 연산량을 감소시킬 수 있다.

[0039] 이때, 특정 길이를 선정하기 위해 고려해야 할 것은, 특정 프레임 내에 충분한 신호(주파수)가 포함되어 있는지 여부이며, 이를 위해 특정 프레임 안의 신호 개수를 결정할 수 있도록 민감도 분석이 이루어지는 것이다. 즉, 민감도 분석부(22)는 민감도 분석 결과를 기초로 하나의 프레임에서 분석 가능한 분석 데이터 개수를 결정할 수 있는 것이다.

[0040] 다만, 하나의 프레임 안에 포함되는 분석 데이터의 개수가 너무 적은 경우에는 연산량을 감소 시킬 수 있으나, 분석 데이터의 개수가 적어서 연소불안정 판별인자의 판별값에 오류를 포함하게 되거나 잘못된 결과를 나타낼 수 있다. 따라서, 하나의 프레임에서 분석 가능한 데이터 개수의 결정은 연소불안정 판별인자의 오류 가능성, 연산량 등을 고려하여 충분한 개수를 가지도록 결정하여야 한다.

[0041] 따라서, 이러한 민감도 분석으로 인해, 연소불안정 판별인자의 판별값을 구체화할 수 있다. 즉, 한 번의 계산(하나의 프레임)에서 사용 되는 데이터 개수를 선정하여 그 기준 값을 명확하게 하고, 이를 통해 계산되는 연소불안정 판별인자를 통해 연소 상태를 즉각적으로 판단 할 수 있다. 이러한 민감도 분석을 통해서 한번의 계산에서 사용되는 분석 데이터 개수를 감소시킴으로써 연산량을 감소시킬 수 있으며, 충분한 분석 데이터 개수를 선정함으로써 시계열의 분해능을 향상시킬 수 있다.

[0042] 본 발명의 일 실시예에 따른 진단부(24)는 민감도 분석부(22)를 통해서 분석된 민감도를 기초로 연소불안정 여부를 판단할 수 있다.

[0043] 예를 들어, 민감도 분석부(22)를 통해서 하나의 프레임당 분석 데이터의 개수가 결정되면, 진단부(24)는 동압센서(100)에서 측정된 연소 동압 신호를 신호처리하고, 신호처리된 연소 동압 신호 데이터를 기 설정된 시간 간격으로 프레이밍(framing)하여 프레이밍 데이터를 획득할 수 있다.

[0044] 이러한 구성의 가스터빈 연소불안정 진단 시스템을 이용하여 연소불안정 판별 과정을 살펴보면, 동압센서(100)가 연소부(10)에서 가스가 연소되는 동안 발생한 동압 신호를 측정하여 연소 동압 신호 데이터를 획득하면, 진단부(24)는 획득된 연소 동압 신호 데이터의 신호처리과정을 수행할 수 있다. 예를 들어, 진단부(24)는 측정된 연소 동압 신호에 포함된 잡음을 제거하는 작업을 수행하면서 측정된 연소 동압 신호 데이터를 신호처리할 수 있다.

[0045] 일반적으로 동압센서(100)가 연소부(10) 내부의 동압 신호를 측정할 때, 측정되는 상황에 따라 직류성분(주파수가 0인 성분)이 포함될 수 있다. 이러한 직류성분의 신호는 진단부(24)를 통해서 다음의 조건으로 제거될 수 있다.

[0046] [수학식 1]

[0047] 잡음이 제거된 신호=Signal[i] - Mean(signal)

[0048] (여기서, Signal[i]는 측정된 신호 전체에서 특정 프레임에서의 i번째 신호이고, Mean(signal)은 특정 프레임 내의 신호들의 평균이다)

[0049] 진단부(24)는 <수학식 1>을 이용하여, 측정된 동압 신호에서 직류 성분(주파수가 0인 성분)을 제거한 신호, 즉 신호처리된 연소 동압 신호 데이터를 도출할 수 있다. 이때, 진단부(24)는 민감도 분석부(22)를 통해서 결정된 하나의 프레임에서 분석 가능한 분석 데이터 개수에 따라서 연소 동압 신호 데이터를 프레이밍(framing)하여 프레이밍 데이터를 획득할 수 있다.

[0050] 즉, 프레이밍 간격 및 하나의 프레임에 포함되는 분석 데이터의 개수는 민감도 분석부(22)를 통해서 결정될 수 있으며, 하나의 프레임에서 신뢰도가 보장되는 시간 간격을 미리 설정하기 위해서 민감도 분석부(22)를 미리 동작시켜 프레이밍 되는 간격을 기 설정된 시간 간격으로 설정하는 것도 가능하다.

[0051] 또한, 진단부(24)는 연소불안정 여부를 판단하기 위해서 획득된 프레이밍 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득할 수 있다.

[0052] 구체적으로 진단부(24)는 프레이밍 데이터에 프리 앰퍼시스 필터링(Pre-emphasis filtering)을 수행하고, 필터링 후 데이터에 해밍 윈도우(Hamming window)를 적용하고, 해밍 윈도우 적용 후 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득할 수 있다.

[0053] 프리 앰퍼시스 필터(Pre-emphasis filter)란 신호 대 잡음비(SNR: Signal to Noise Ratio), 주파수 특성, 일그러짐 특성 등을 개선하기 위하여, 신호의 주파수 중 높은 주파수 성분을 강화하는 데 사용되는 필터이다.

[0054] 즉, 프리 앰퍼시스 필터링을 수행하면 주파수 스펙트럼의 밸런스를 맞출 수 있으며, 푸리에 변환 중 발생하는 수치 문제를 회피할 수 있게 되고, 신호 대 잡음비(SNR)를 개선시킬 수 있다.

[0055] 프리 앰퍼시스 필터링은 다음의 <수학식 2>에 의해 수행될 수 있다.

[0056] [수학식 2]

[0057] $$y(t)=x(t)-\alpha*x(t-1) \qquad t: 시간,\ \alpha: 0.97(Default)$$

[0058] 또한, 진단부(24)는 프리 앰퍼시스 필터링을 수행한 후 획득한 데이터에 해밍 윈도우(Hamming window)를 적용할 수 있다.

[0059] 진단부(24)는 연소불안정 여부를 판단하기 위해서, 신호를 처리할 때는 프레임 단위로 나누어 처리한다. 이 때, 진단부(24)는 프레임 단위로 계산하기 때문에, 프레임의 처음과 끝에서 불연속이 발생할 수 있다. 따라서, 이러한 불연속에 의해서 스펙트럼(Frequency domain)에서 왜곡이 발생할 수 있는데, 이를 방지하기 위해서 프레이밍 데이터에 프리 앰퍼시스 필터링을 수행한 후 획득한 데이터에 해밍 윈도우(Hamming window)를 적용할 수 있다.

[0060] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 해밍 윈도우를 적용하는 방법을 나타낸 도면이다. 도 3의 (a)는 0.02초의 길이에 대한 해밍 윈도우(Hamming window)를 나타낸 도면이고, 도 3의 (b)는 0.02초의 길이의 동압 신호(프리 앰퍼시스 필터링 후 데이터)를 나타낸 도면이고, 도 3의 (c)는 0.02초의 길이의 동압 신호(프리 앰퍼시스 필터

링 후 데이터)에 해밍 윈도우를 적용한 결과를 나타낸 도면이다.

[0061] 여기에서, 해밍 윈도우는 다음의 <수학식 3>으로 표현될 수 있다.

[0062] [수학식 3]

[0063] $$\text{Hamming window } w(n)=0.54-0.46\cos\left(2\pi\frac{n}{N}\right),\ 0\le n\le N$$

단, Window 길이 L=N+1

[0064] 즉, 도 3을 참조하면, 도 3의 (a)의 해밍 윈도우 함수에 도 3의 (b)의 0.02초의 길이의 동압 신호(프리 앰퍼시스 필터링 후 데이터)를 곱셈(multiplication)함으로써, 도 3의 (c)의 해밍 윈도우를 적용한 결과를 계산할 수 있다.

[0065] 다음으로, 진단부(24)는 해밍 윈도우 적용 후 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득할 수 있다.

[0066] 본 발명의 일 실시예에 따른 진단부(24)는 고속 푸리에 변환 데이터에 필터 뱅크(FB: Filter Bank)를 적용하여 필터 뱅크 데이터를 획득할 수 있다.

[0067] 필터 뱅크(FB)란, 입력 신호의 주파수 대역을 다수 개의 대역 통과 필터에 의해 분할하고, 분할된 필터군으로부터 출력에 의해 신호 분석을 하는 경우의 필터군을 의미할 수 있다.

[0068] 예를 들어, 필터 뱅크(FB)는 주로 기계 학습(Machine Learning)에서 주어진 신호의 주파수영역의 특징을 나타내는 방법 중 하나가 될 수 있다. 필터 뱅크(FB)는 비선형(Nonlinear)적인 신호를 모사하기 위해서 복수(일반적으로 40개)의 밴드 패스 필터(Band Pass Filter)를 적용하여 입력된 신호의 주파수들을 복수(일반적으로 40개)의 요소들로 나누어 표현할 수 있다.

[0069] 예를 들어, 진단부(24)는 고속 푸리에 변환 데이터를 이용하여 연소 동압 신호의 파워 스펙트럼(power spectrum)을 계산하고, 트라이앵귤러 필터(triangular filter)를 생성하고, 파워 스펙트럼 및 트라이앵귤러 필터를 이용하여 필터 뱅크 데이터를 획득할 수 있다.

[0070] 고속 푸리에 변환 데이터를 이용한 연소 동압 신호의 파워 스펙트럼(power spectrum)의 계산은 다음의 <수학식 4>로 표현될 수 있다.

[0071] [수학식 4]

[0072] $$\text{Power Spectrum } P=\text{Mag}(\text{FFT}(x))^2$$

[0073] <수학식 4>를 참조하면, 파워 스펙트럼은 고속 푸리에 변환 데이터에서 진폭(신호의 값)의 제곱으로 표현될 수 있다.

[0074] 또한, 진단부(24)는 필터 뱅크(FB) 데이터를 획득하기 위해서 대역 통과 필터 역할을 하기 위한 트라이앵귤러 필터를 생성할 수 있다.

[0075] 다만, 트라이앵귤러 필터는 연소 동압 신호의 비선형적 특성을 고려하여, 저주파 부분은 민감하게 구별하고 고주파 부분은 덜 민감하게 구별하도록 멜 스케일(Mel scale)로 변환되어 생성될 수 있다.

[0076] 환언하면. 트라이앵귤러 필터의 영역이 고주파로 갈수록 넓어지도록, 주파수가 비선형적인 로그 스케일로 표현되는 멜 스케일(Mel scale)로 변환시켜 생성할 수 있다. 즉, 트라이앵귤러 필터가 멜 스케일 영역에서 동 간격으로 생성되면, 일반 주파수 영역에서는 고주파로 갈수록 넓어지는 필터로 생성된다.

[0077] 여기에서, 주파수의 멜 스케일(Mel scale)로의 변환은 다음의 <수학식 5>로 표현될 수 있다.

[0078] [수학식 5]

[0079] $$m=2595\log_{10}\left(1+\frac{f}{700}\right)$$

[0080] 따라서, 주파수는 역으로 <수학식 5>에서 계산될 수 있으며, 다음 <수학식 6>과 같이 표현될 수 있다.

[0081] [수학식 6]

[0082] $$f=700(10^{\frac{m}{2595}}-1)$$

[0083] 도 4는 트라이앵귤러 필터를 나타낸 도면이다. 구체적으로 도 4의 (a)는 트라이앵귤러 필터 1을 나타낸 도면이고, 도 4의 (b)는 트라이앵귤러 필터 2를 나타낸 도면이다.

[0084] 도 4를 참조하면, 트라이앵귤러 필터 1은 f1의 위치에서 크기가 1이고, f>f2 이면 0인 필터이며, 트라이앵귤러 필터 2는 f2위치에서 크기가 1이고, f>f3 또는 f<f1 이면 0인 필터를 나타낸다.

[0085] 즉, 트라이앵귤러 필터는 다음의 <수학식 7>로 표현될 수 있다.

[0086] [수학식 7]

$$\text{Triangular Filter}_m(freq)\begin{cases}0 & freq<f(m-1)\\ \frac{freq-f(m-1)}{f(m)-f(m-1)} & f(m-1)\le freq\le f(m)\\ 1 & freq=f(m)\\ \frac{f(m+1)-freq}{f(m+1)f(m)} & f(m)\le freq\le f(m+1)\\ 0 & freq>f(m+1)\end{cases}$$

$$\text{단, } f(m): f=700(10^{\frac{m}{2595}}-1)$$

[0087]

[0088] 예를 들어, 연소불안정 여부 판단을 위해서 필터 뱅크를 40구간으로 나누어 판단하려면, 트라이앵귤러 필터의 개수는 40개가 필요하게 된다. 이때 저주파 부분은 민감하게 구별하고 고주파 부분은 덜 민감하게 구별하도록 해당 신호가 가질 수 있는 주파수의 범위를 멜 스케일로 40등분하여 트라이앵귤러 필터를 생성할 수 있다.

[0089] 예를 들어, 해당 신호가 가질 수 있는 주파수의 범위를 0~8kHz 로 가정하면, <수학식 5>를 이용하여, f0=0 일 때의 멜 스케일 m0 값과 f41=8,000 일 때의 멜 스케일 m41 값을 계산할 수 있다. 즉, <수학식 5>를 이용하여 f0=0 및 f41=8,000 값에서 멜 스케일에서의 최소값인 m0=0 및 최대값 m41=2840.023 값을 계산할 수 있고, 이 구간을 동 간격으로 구분하여 m1~m40 의 값을 계산할 수 있다. 즉, 멜 스케일에서 m0 ~ m41 구간 (0~2840.023) 구간을 동 간격으로 41등분하여, m1=69.269, m2=138.538, ..., m39=2701.485, m40=2770.754 값을 획득할 수 있다.

[0090] 여기에서 m1~m40 값을 <수학식 6>에 적용시켜 f1~f40 에 해당하는 주파수 값 f1=44.374, f2=91.561, ..., f39=6993.656, f40=7481.369 값을 획득할 수 있고, 각 해당 주파수 f1, f2, ..., f39, f40 에서의 트라이앵귤러 필터 40개를 생성할 수 있다.

[0091] 도 5 및 도 6은 파워 스펙트럼 및 트라이앵귤러 필터를 이용하여 필터 뱅크 데이터를 획득하는 방법을 나타낸 도면이다.

[0092] 구체적으로 도 5는 트라이앵귤러 필터 1을 이용하여 필터 뱅크 컴포넌트 1 영역의 데이터를 획득하는 방법을 나타낸 도면이고, 도 6은 트라이앵귤러 필터 2를 이용하여 필터 뱅크 컴포넌트 2 영역의 데이터를 획득하는 방법을 나타낸 도면이다.

[0093] 도 5 및 도 6을 참조하면, 필터 뱅크 컴포넌트 1 영역의 데이터는 동압 신호의 파워 스펙트럼에 트라이앵귤러 필터 1을 곱셈한 결과로 획득되고, 필터 뱅크 컴포넌트 2 영역의 데이터는 동압 신호의 파워 스펙트럼에 트라이앵귤러 필터 2을 곱셈한 결과로 획득될 수 있다.

[0094] 이러한 방법으로 진단부(24)는 동압 신호의 파워 스펙트럼에 f1~f40 에서의 트라이앵귤러 필터 40개를 적용하여 필터 뱅크 컴포넌트 40개를 계산할 수 있다. 또한, 계산된 필터 뱅크 컴포넌트를 dB 스케일로 변환하여 필터 뱅

크 데이터를 획득할 수 있다.

[0095] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 연소 동압 신호에 필터 뱅크를 적용하여 획득된 필터 뱅크 데이터를 나타낸 도면이다.

[0096] 구체적으로 도 7의 (a)는 시간 영역에서 측정된 연소 동압 신호를 나타낸 도면이고, 도 7의 (b)는 측정된 연소 동압 신호에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 나타낸 도면이다.

[0097] 즉, 도 7의 (b)는 도 7의 (a)의 측정된 연소 동압 신호를 신호처리하고, 신호처리된 연소 동압 신호 데이터를 기 설정된 시간 간격으로 프레이밍(framing)하여 프레이밍 데이터를 획득하고, 획득된 프레이밍 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득하고, 고속 푸리에 변환 데이터에 필터 뱅크(Filter bank)를 적용하여 획득된 필터 뱅크 데이터를 나타낸 도면이다.

[0098] 또한, 진단부(24)는 획득된 필터 뱅크 데이터와 기 설정된 연소불안정 판별 기준값을 비교하여 연소불안정 여부를 판단할 수 있다.

[0099] 즉, 진단부(24)는 연소불안정 여부의 판단을 위해서 연소부 내부의 연소 동압 신호에서 계산된 필터 뱅크 데이터와 기 설정된 연소불안정 판별 기준값을 비교하여 판단하는데, 연소불안정 판별 기준값은 기 측정된 안정 상태(Fully developed stable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터 및 기 측정된 불안정 상태(Fully developed unstable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 기초로 설정될 수 있다.

[0100] 즉, 필터 뱅크의 각 컴포넌트들은 입력된 신호의 주파수 영역에서의 크기를 나타내므로, 미리 안정 상태와 불안정 상태에서의 필터 뱅크 데이터를 획득하고, 획득된 각 상태의 필터 뱅크 데이터의 각 컴포넌트의 크기를 비교하여 산출되는 최대값을 이용함으로써 연소불안정 여부를 판단하는 연소불안정 판별 기준값을 설정할 수 있다.

[0101] 예를 들어, 연소불안정 판별 기준값을 획득하기 위해서, 연소기를 안정 상태(Fully developed stable)에 이르도록 작동시킨 다음에, 안정 상태(Fully developed stable)에서의 연소 동압 신호 데이터를 획득하여, 획득된 연소 동압 신호 데이터에서 안정 상태(Fully developed stable)의 필터 뱅크 데이터를 획득할 수 있다. 여기에서 안정 상태(Fully developed stable)는 안정한 상태가 충분히 지속되어 안정한 상태가 계속 유지되는 상태를 의미한다.

[0102] 또한, 연소불안정 판별 기준값을 획득하기 위해서, 연소기를 불안정 상태(Fully developed unstable)에 이르도록 작동시킨 다음에, 불안정 상태(Fully developed unstable)에서의 연소 동압 신호 데이터를 획득하여, 획득된 연소 동압 신호 데이터에서 불안정 상태(Fully developed unstable)의 필터 뱅크 데이터를 획득할 수 있다. 여기에서 불안정 상태(Fully developed unstable)는 불안정한 상태가 충분히 지속되어 불안정한 상태가 계속 유지되는 상태를 의미한다.

[0103] 도 8은 안정 상태(Fully developed stable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 나타낸 도면이고, 도 9는 불안정 상태(Fully developed unstable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 나타낸 도면이다.

[0104] 도 8을 참조하면, 도 8의 (a) 내지 도 8의 (f)는 연소기가 안정 상태(Fully developed stable)에 도달한 경우에 6개의 안정 상태에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 표현하고 있다.

[0105] 도 8의 (a) 내지 도 8의 (f)를 참조하면, 각 6개의 안정 상태에서 필터 뱅크 컴포넌트 22에서 최대값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 안정 상태에서 최대값을 가지는 영역이 필터 뱅크 컴포넌트 22 영역으로 확인되며, 필터 뱅크 컴포넌트 22 영역에서 -90 ~ -100 사이의 최대값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

[0106] 또한, 도 9를 참조하면, 도 9의 (a) 내지 도 9의 (f)는 연소기가 불안정 상태(Fully developed unstable)에 도달한 경우에 6개의 불안정 상태에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 표현하고 있다.

[0107] 도 9의 (a) 내지 도 9의 (f)를 참조하면, 각 6개의 불안정 상태에서 필터 뱅크 컴포넌트 18에서 최대값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 불안정 상태에서 최대값을 가지는 영역이 필터 뱅크 컴포넌트 18 영역으로 확인되며, 필터 뱅크 컴포넌트 18 영역에서 -20 ~ -22 사이의 최대값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

[0108] 즉, 연소기는 안정 상태(Fully developed stable)에서 필터 뱅크 컴포넌트 22 영역에서 -90 ~ -100 사이의 최대값을 가지고, 불안정 상태(Fully developed unstable)에서는 필터 뱅크 컴포넌트 18 영역에서 -20 ~ -22 사이의 최대값을 가지는 것을 확인할 수 있으며, 연소불안정 판별 기준값은 안정 상태의 -90 ~ -100 사이의 최대값과 불안정 상태의 -20 ~ -22 사이의 최대값 사이에 존재할 수 있다. 즉, 연소불안정 판별 기준값은 안정 상태

의 최대값 영역과 불안정 상태에서의 최대값 영역인 -20 ~ -100 사이의 값에서 결정될 수 있다.

[0109] 여기에서, 연소불안정 판별 기준값은 안정과 불안정을 판단할 때 큰 값을 가지면서 명확하게 판별할 수 있는 기준이 되어야 하므로, 안정 상태(Fully developed stable)에서 최대값을 가지는 필터 뱅크 컴포넌트 22 영역에서 평균값 -95 (-90 ~ -100 의 평균값) 및 불안정 상태(Fully developed unstable)에서 최대값을 가지는 필터 뱅크 컴포넌트 18 영역에서 평균값 -21(-20 ~ -22 의 평균값)의 산술 평균값인 -58 ($\frac{(-95)+(-21)}{2}$)로 결정될 수 있다.

[0110] 다시 말하면, 연소불안정 판별 기준값은 안정 상태(Fully developed stable)에서 최대값을 가지는 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 평균값 및 불안정 상태(Fully developed unstable)에서 최대값을 가지는 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 평균값의 산술 평균값으로 결정될 수 있다.

[0111] 또한, 연소불안정 판별 기준값은 안정 상태(Fully developed stable)에서 최대값을 가지는 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 최대값 및 불안정 상태(Fully developed unstable)에서 최대값을 가지는 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 최대값의 산술 평균값으로 결정될 수도 있으며, 연소불안정 판별 기준값을 산술 평균값 뿐만 아니라 기하 평균값 또는 조화 평균값을 이용하는 것도 가능하다.

[0112] 즉, 진단부(24)는 미리 안정 상태(Fully developed stable) 및 불안정 상태(Fully developed unstable)에서 연소 동압 신호 데이터를 획득하고, 획득된 연소 동압 신호 데이터로부터 필터 뱅크 데이터를 획득하고, 안정 상태(Fully developed stable)에서 최대값을 가지는 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 평균값 및 불안정 상태(Fully developed unstable)에서 최대값을 가지는 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 평균값의 산술 평균값을 연소불안정 판별 기준값으로 기 설정할 수 있다.

[0113] 따라서, 진단부(24)는 기 설정된 연소불안정 판별 기준값과 연소 동작 동안에 측정된 연소 동안 신호로부터 획득된 필터 뱅크 데이터를 비교함으로써 연소불안정 여부를 판단할 수 있다.

[0114] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라서 연소불안정 판별 여부를 적용한 결과를 나타낸 도면이다.

[0115] 도 10의 (a)는 연소부 내부에서 측정된 연소 동압 신호 데이터를 나타낸 도면이고, 도 10의 (b)는 측정된 연소 동압 신호 데이터로부터 0.02 초마다 필터 뱅크를 적용하여 계산된 필터 뱅크 데이터를 나타낸 도면이다.

[0116] 도 10의 (b)를 참조하면, 연소 동작 중에 측정된 연소 동압 신호의 필터 뱅크 데이터의 컴포넌트 18에서 최대값이 존재함을 확인할 수 있다. 여기에서, 필터 뱅크 데이터의 컴포넌트 18에 도 8 및 도 9에서 계산된 기 설정된 연소불안정 판별 기준값 -58을 적용하면, 필터 뱅크 데이터의 컴포넌트 18 영역에서 1.94초 이후부터 연소불안정 판별 기준값 -58을 초과하고 있음을 확인할 수 있다.

[0117] 즉, 진단부(24)는 연소 동작 동안 측정된 연소 동압 신호 데이터로부터 필터 뱅크 데이터를 획득하고, 획득된 필터 뱅크 데이터에서 최대값을 가지는 필터 뱅크의 컴포넌트를 검출하고, 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 영역에서 기 설정된 연소불안정 판별 기준값을 초과하는 영역을 연소불안정 영역으로 판별할 수 있다.

[0118] 즉, 진단부(24)는 연소 동작 중에 획득된 필터 뱅크 데이터의 컴포넌트에 포함된 어느 하나의 값이라도 연소불안정 판별 기준값을 초과하면, 연소불안정 상태로 판별하게 된다.

[0119] 연소제어부(26)는 진단부(24)의 연소불안정 판별 여부를 기초로 연소부(10)의 운전을 제어할 수 있다.

[0120] 예를 들어, 연소제어부(26)는 진단부(24)가 0.06초 이상 연소불안정 상태로 판단하면, 연소불안정 상태에 대한 알람을 표시할 수 있으며, 0.1초 이상 연소불안정 상태가 유지된 것으로 판단하면 가스터빈의 부하를 감소시키도록 제어할 수 있다.

[0121] 이하 도 11을 참조하여 가스터빈 연소불안정 진단 방법에 대해 살펴보기로 한다.

[0122] 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0123] 도 11을 참조하면, 단계 S10에서, 동압센서(100)는 연소부(10)에서 가스가 연소되는 동안 발생한 연소부 내부의 연소 동압을 측정할 수 있다.

[0124] 단계 S20에서, 진단부(24)는 동압센서(100)에 의해 측정된 연소 동압 신호를 신호처리할 수 있다.

[0125] 예를 들어, 진단부(24)는 측정된 연소 동압 신호에 포함된 잡음을 제거하는 작업을 수행하면서 측정된 연소 동

압 신호 데이터를 신호처리할 수 있다.

[0126] 일반적으로 동압센서(100)가 연소부(10) 내부의 동압 신호를 측정할 때, 측정되는 상황에 따라 직류성분(주파수가 0인 성분)이 포함될 수 있는데, 이러한 직류성분의 신호는 진단부(24)를 통해서 상기 <수학식 1>의 조건으로 제거될 수 있다.

[0127] 단계 S30에서, 진단부(24)는 신호처리된 연소 동압 신호 데이터를 기 설정된 시간 간격으로 프레이밍(framing)하여 프레이밍 데이터를 획득할 수 있다.

[0128] 예를 들어, 진단부(24)는 민감도 분석부(22)를 통해서 결정된 하나의 프레임에서 분석 가능한 분석 데이터 개수에 따라서 연소 동압 신호 데이터를 프레이밍(framing)하여 프레이밍 데이터를 획득할 수 있다.

[0129] 즉, 프레이밍 간격 및 하나의 프레임에 포함되는 분석 데이터의 개수는 민감도 분석부(22)를 통해서 결정될 수 있으며, 하나의 프레임에서 신뢰도가 보장되는 시간 간격을 미리 설정하기 위해서 민감도 분석부(22)를 미리 동작시켜 프레이밍 되는 간격을 기 설정된 시간 간격으로 설정하는 것도 가능하다.

[0130] 단계 S40에서, 진단부(24)는 획득된 프레이밍 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득할 수 있다.

[0131] 구체적으로 진단부(24)는 프레이밍 데이터에 프리 엠퍼시스 필터링(Pre-emphasis filtering)을 수행하고, 필터링 후 데이터에 해밍 윈도우(Hamming window)를 적용하고, 해밍 윈도우 적용 후 데이터를 고속 푸리에 변환(FFT)하여 고속 푸리에 변환 데이터를 획득할 수 있다.

[0132] 단계 S50에서, 진단부(24)는 고속 푸리에 변환 데이터에 필터 뱅크(Filter bank)를 적용하여 필터 뱅크 데이터를 획득할 수 있다.

[0133] 예를 들어, 진단부(24)는 고속 푸리에 변환 데이터를 이용하여 연소 동압 신호의 파워 스펙트럼(power spectrum)을 계산하고, 트라이앵귤러 필터(triangular filter)를 생성하고, 파워 스펙트럼 및 트라이앵귤러 필터를 이용하여 필터 뱅크 데이터를 획득할 수 있다.

[0134] 단계 S60에서, 진단부(24)는 획득된 필터 뱅크 데이터와 기 설정된 연소불안정 판별 기준값을 비교하여 연소불안정 여부를 판단할 수 있다.

[0135] 즉, 진단부(24)는 연소불안정 여부의 판단을 위해서 연소부 내부의 연소 동압 신호에서 계산된 필터 뱅크 데이터와 기 설정된 연소불안정 판별 기준값을 비교하여 판단하는데, 연소불안정 판별 기준값은 기 측정된 안정 상태(Fully developed stable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터 및 기 측정된 불안정 상태(Fully developed unstable)의 연소 동압 신호 데이터에서 획득된 필터 뱅크 데이터를 기초로 설정될 수 있다.

[0136] 다시 말하면, 연소불안정 판별 기준값은 안정 상태(Fully developed stable)에서 최대값을 가지는 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 평균값 및 불안정 상태(Fully developed unstable)에서 최대값을 가지는 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 평균값의 산술 평균값으로 결정될 수 있다.

[0137] 또한, 연소불안정 판별 기준값은 안정 상태(Fully developed stable)에서 최대값을 가지는 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 최대값 및 불안정 상태(Fully developed unstable)에서 최대값을 가지는 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 최대값의 산술 평균값으로 결정될 수도 있으며, 연소불안정 판별 기준값을 산술 평균값 뿐만 아니라 기하 평균값 또는 조화 평균값을 이용하는 것도 가능하다.

[0138] 즉, 진단부(24)는 미리 안정 상태(Fully developed stable) 및 불안정 상태(Fully developed unstable)에서 연소 동압 신호 데이터를 획득하고, 획득된 연소 동압 신호 데이터로부터 필터 뱅크 데이터를 획득하고, 안정 상태(Fully developed stable)에서 최대값을 가지는 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 평균값 및 불안정 상태(Fully developed unstable)에서 최대값을 가지는 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 평균값의 산술 평균값을 연소불안정 판별 기준값으로 기 설정할 수 있다.

[0139] 따라서, 진단부(24)는 기 설정된 연소불안정 판별 기준값과 연소 동작 동안에 측정된 연소 동안 신호로부터 획득된 필터 뱅크 데이터를 비교함으로써 연소불안정 여부를 판단할 수 있다.

[0140] 예를 들어, 진단부(24)는 연소 동작 동안 측정된 연소 동압 신호 데이터로부터 필터 뱅크 데이터를 획득하고, 획득된 필터 뱅크 데이터에서 최대값을 가지는 필터 뱅크의 컴포넌트를 검출하고, 해당 필터 뱅크 컴포넌트의 영역에서 기 설정된 연소불안정 판별 기준값을 초과하는 영역을 연소불안정 영역으로 판별할 수 있다.

[0141] 즉, 진단부(24)는 연소 동작 중에 획득된 필터 뱅크 데이터의 컴포넌트에 포함된 어느 하나의 값이라도 연소불안정 판별 기준값을 초과하면, 연소불안정 상태로 판별하게 된다.

[0142] 진단부(24)에 의해서 연소불안정 여부가 판단되면, 연소제어부(26)는 진단부(24)의 연소불안정 판별 여부를 기초로 연소부(10)의 운전을 제어할 수 있다.

[0143] 예를 들어, 연소제어부(26)는 진단부(24)가 0.06초 이상 연소불안정 상태로 판단하면, 연소불안정 상태에 대한 알람을 표시할 수 있으며, 0.1초 이상 연소불안정 상태가 유지된 것으로 판단하면 가스터빈의 부하를 감소시키도록 제어할 수 있다.

[0144] 본 발명의 일 실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 진단 방법에 관련하여서는 전술한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템에 대한 내용이 적용될 수 있다. 따라서, 가스터빈 연소불안정 진단 방법과 관련하여, 전술한 가스터빈 연소불안정 진단 시스템에 대한 내용과 동일한 내용에 대하여는 설명을 생략하였다.

[0145] 본 발명의 일 실시예는 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터 저장 매체를 모두 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다.

[0146] 전술한 본 발명의 설명은 예시를 위한 것이며, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 예를 들어, 단일형으로 설명되어 있는 각 구성 요소는 분산되어 실시될 수도 있으며, 마찬가지로 분산된 것으로 설명되어 있는 구성 요소들도 결합된 형태로 실시될 수 있다.

[0147] 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0149] 10: 연소부

22: 민감도 분석부

24: 진단부

26: 연소제어부

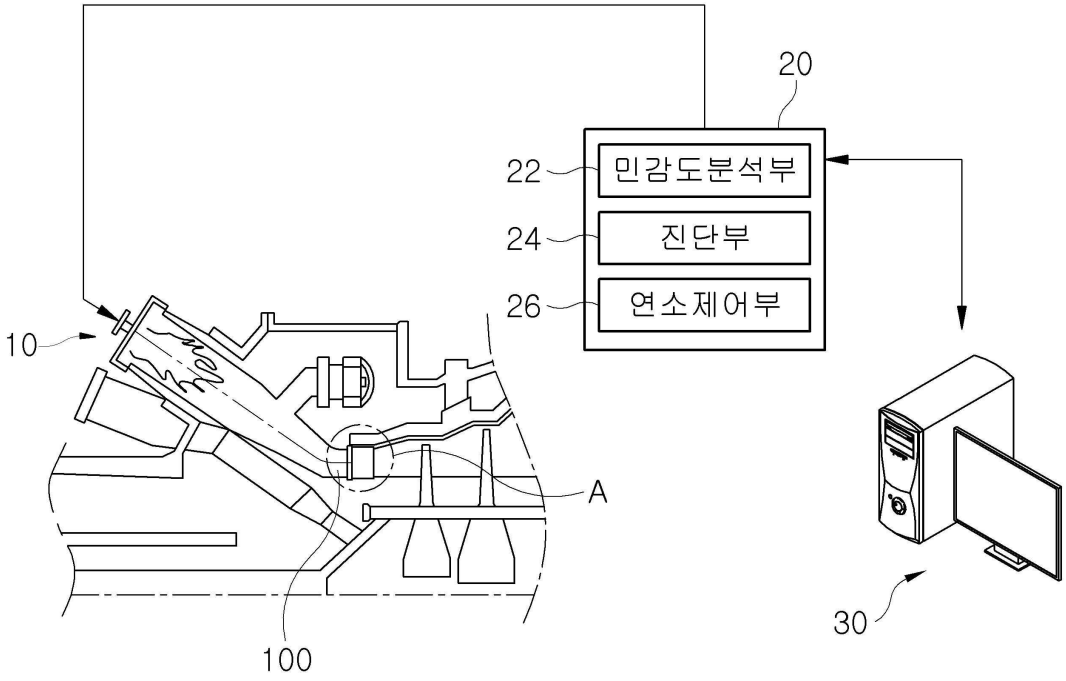
100: 동압센서

120: 압력센서

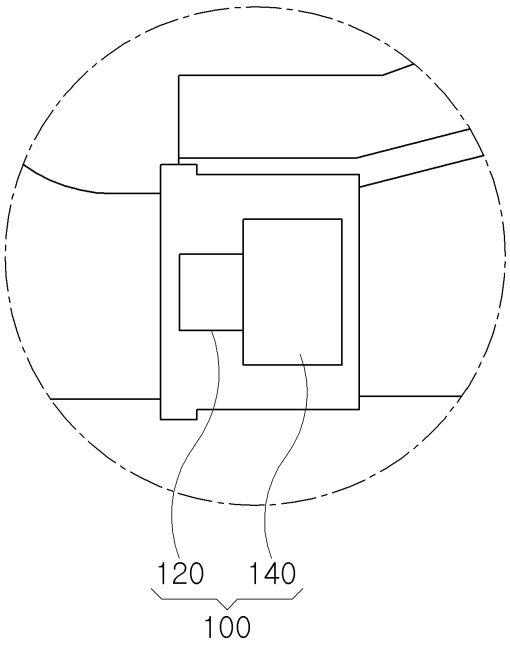
140: 신호측정부

도면

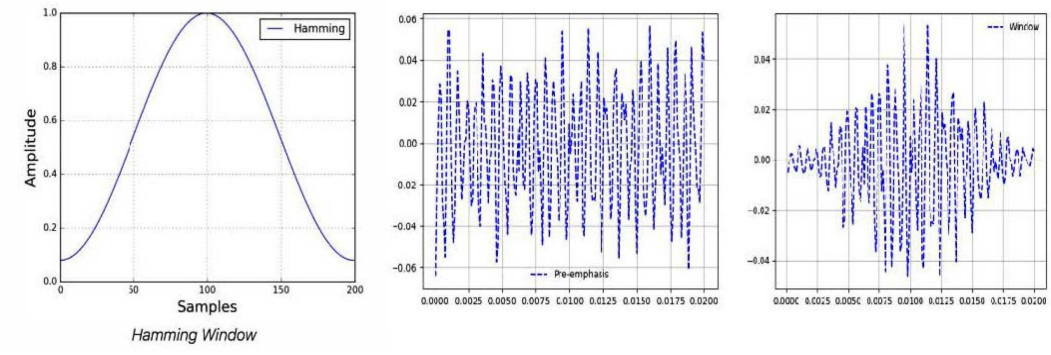
도면1



도면2

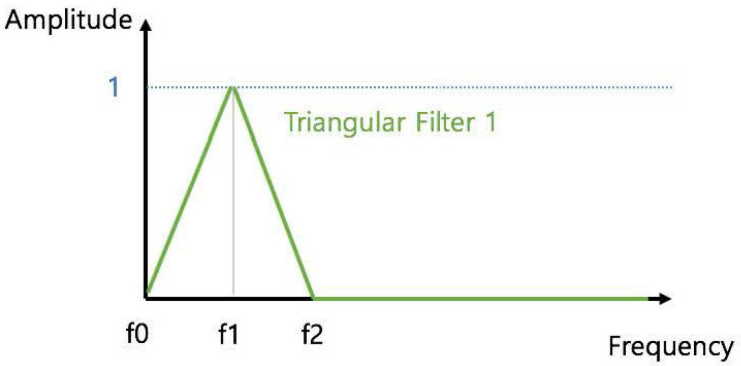


도면3

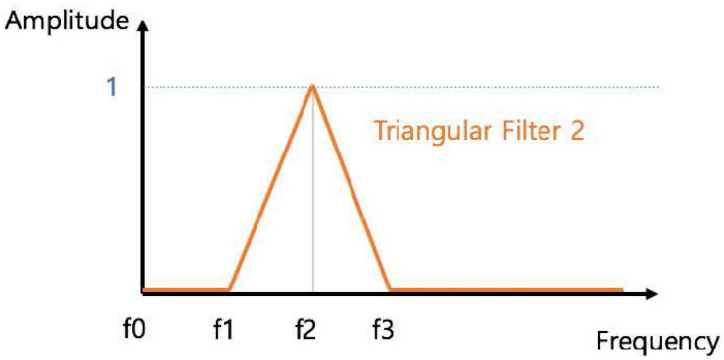


(a) (b) (c)

도면4

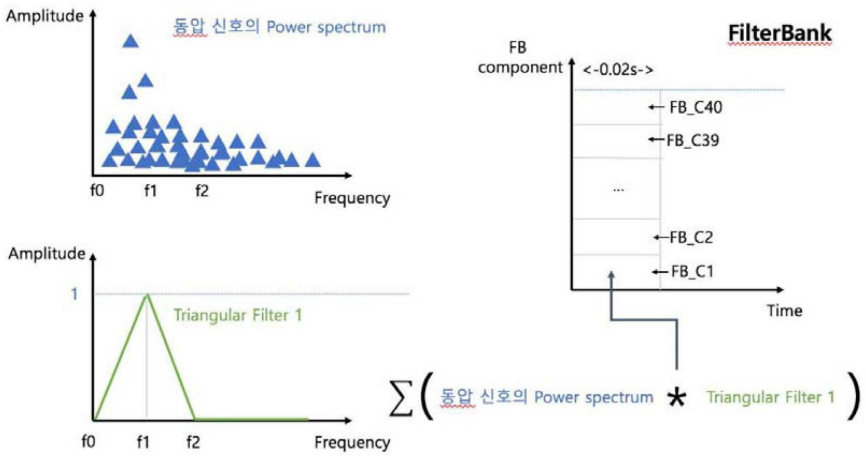


(a)

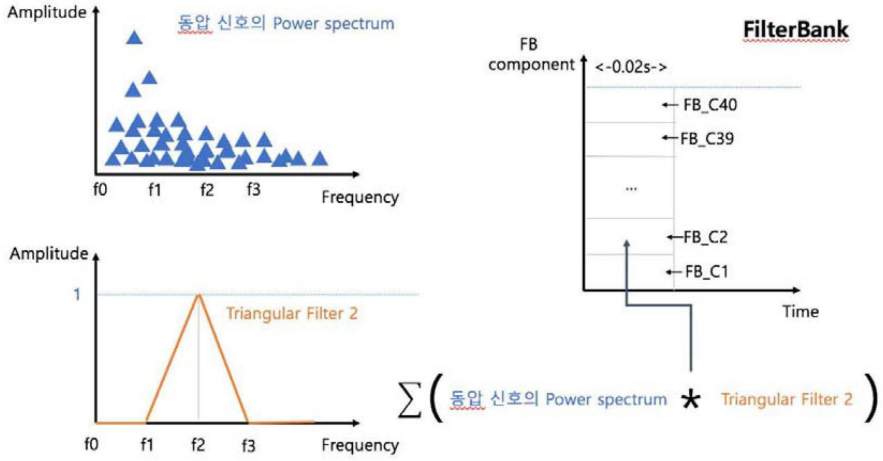


(b)

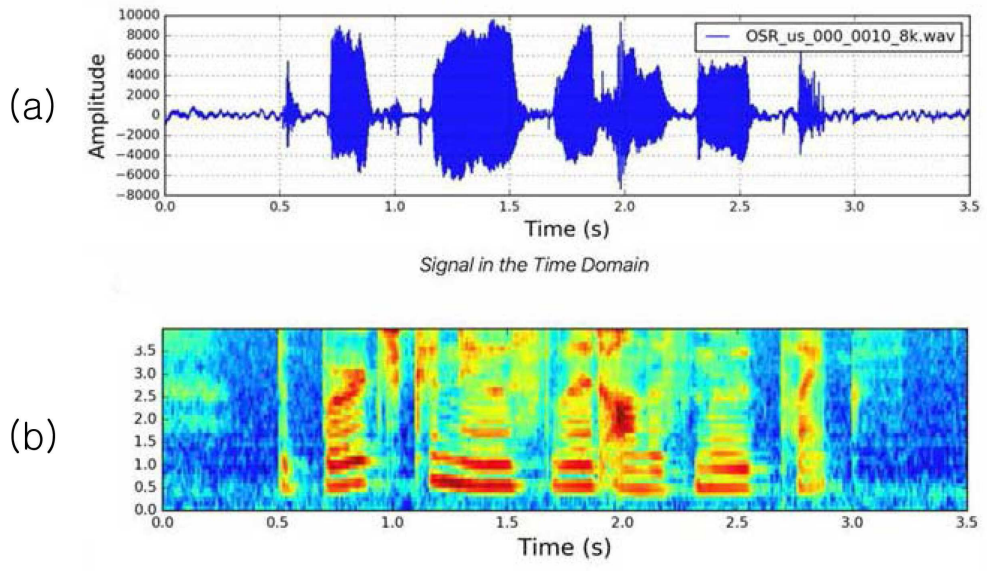
도면5


Amplitude
동압 신호의 Power spectrum
f0
f1
f2
Frequency
FilterBank
FB component
<-0.02s->
FB_C40
FB_C39
...
FB_C2
FB_C1
Time
Amplitude
1
Triangular Filter 1
f0
f1
f2
Frequency
∑(동압 신호의 Power spectrum * Triangular Filter 1)

도면6

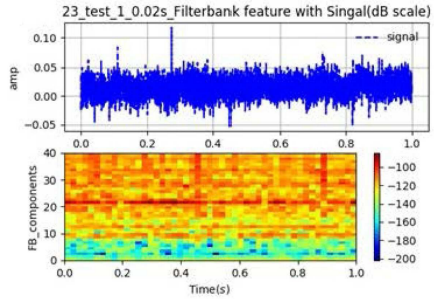

Amplitude
동압 신호의 Power spectrum
f0
f1
f2
f3
Frequency
FilterBank
FB component
<-0.02s->
FB_C40
FB_C39
...
FB_C2
FB_C1
Time
Amplitude
1
Triangular Filter 2
f0
f1
f2
f3
Frequency
∑(동압 신호의 Power spectrum * Triangular Filter 2)

도면7

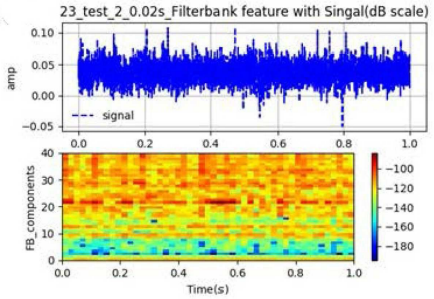

(a)
Amplitude
OSR_us_000_0010_8k.wav
Time (s)
Signal in the Time Domain
(b)
Time (s)

도면8

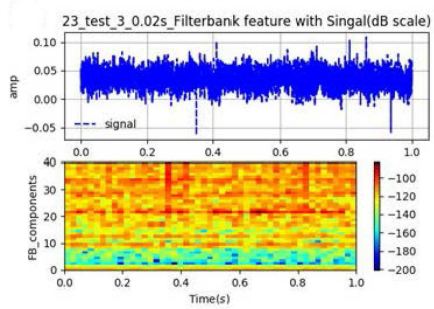
(a)


23_test_1_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
signal
amp
FB_components
Time(s)

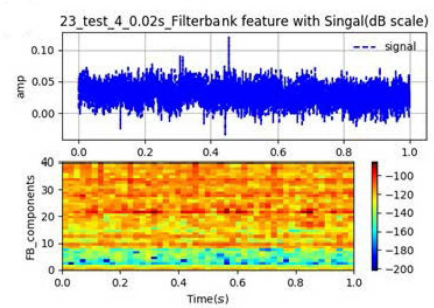
(b)


23_test_2_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
signal
amp
FB_components
Time(s)

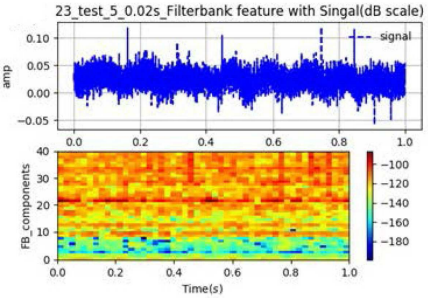
(c)


23_test_3_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
signal
amp
FB_components
Time(s)

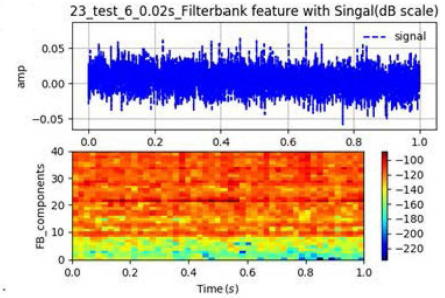
(d)


23_test_4_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
signal
amp
FB_components
Time(s)

(e)

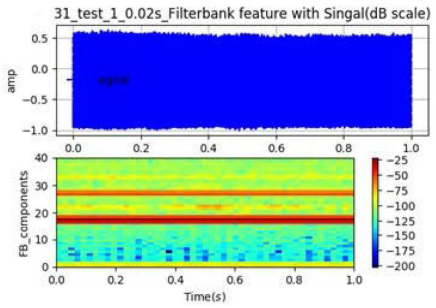

23_test_5_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
signal
amp
FB_components
Time(s)

(f)

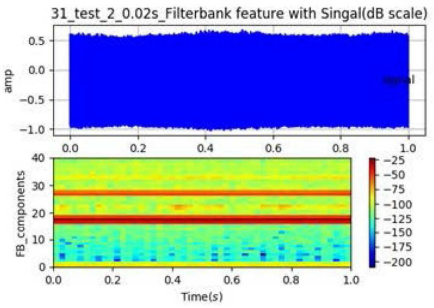

23_test_6_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
signal
amp
FB_components
Time(s)

도면9

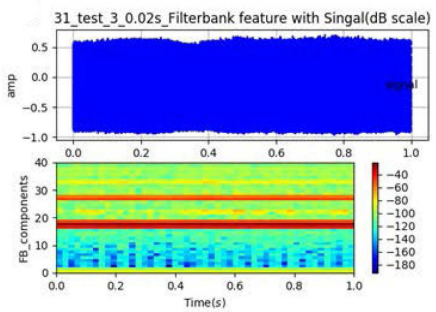
(a)


31_test_1_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
amp
signal
FB_components
Time(s)

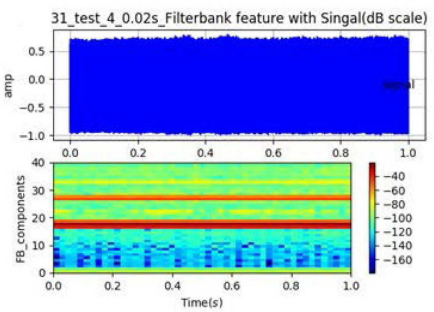
(b)


31_test_2_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
amp
signal
FB_components
Time(s)

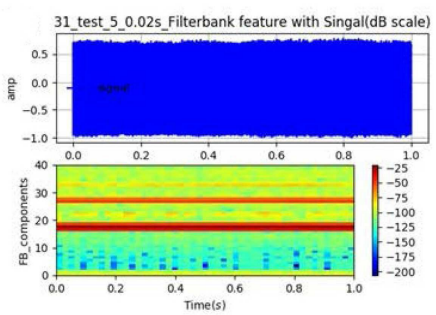
(c)


31_test_3_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
amp
signal
FB_components
Time(s)

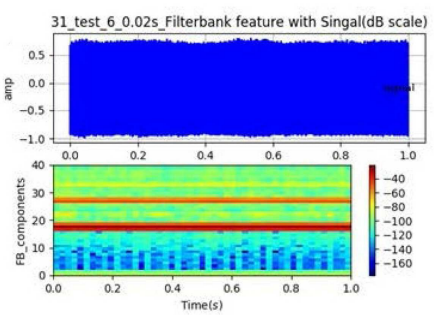
(d)


31_test_4_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
amp
signal
FB_components
Time(s)

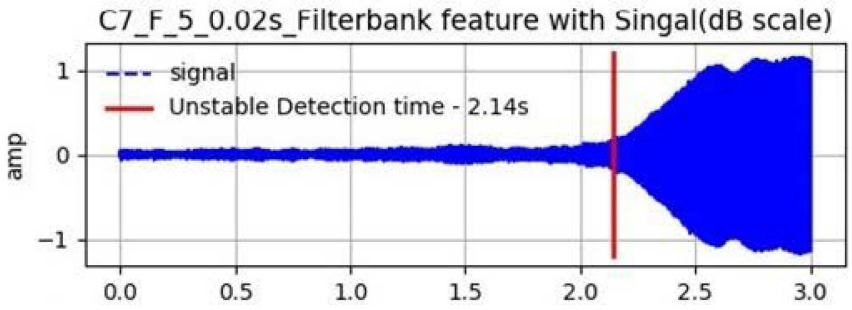
(e)


31_test_5_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
amp
signal
FB_components
Time(s)

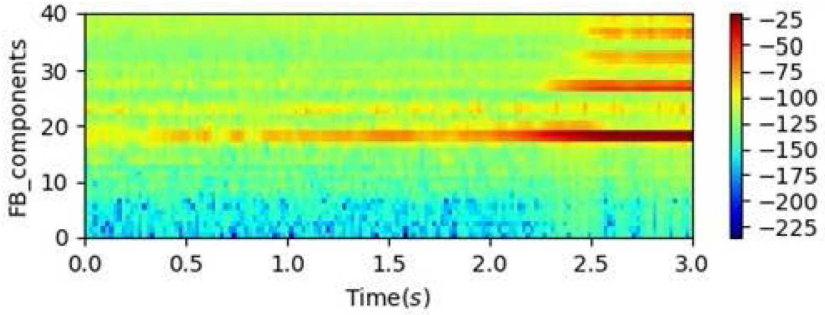
(f)


31_test_6_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
amp
signal
FB_components
Time(s)

도면10

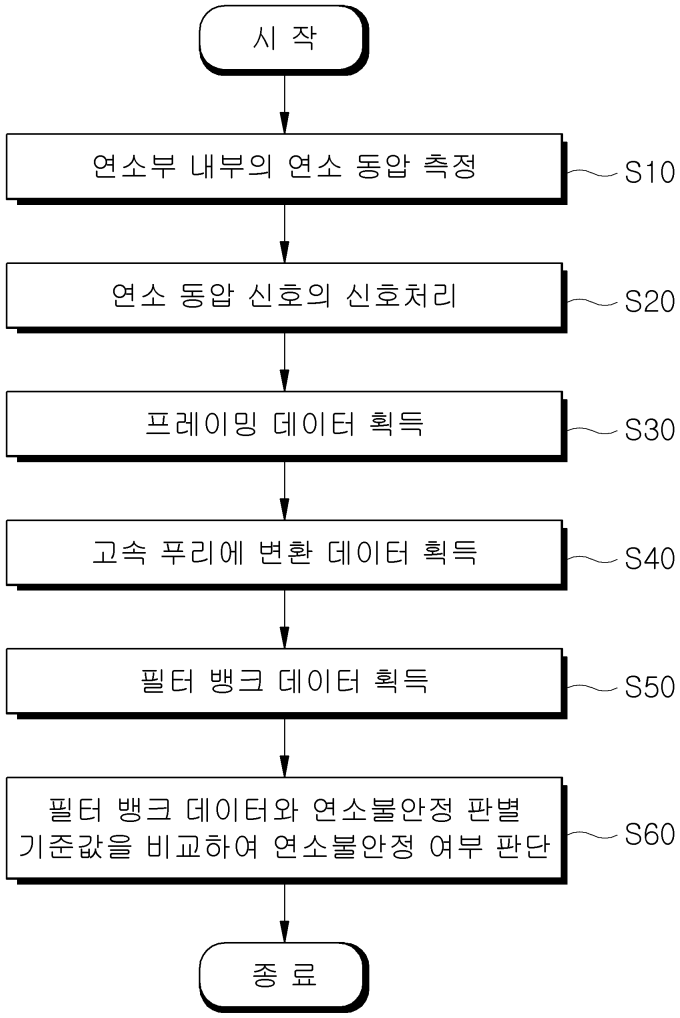

C7_F_5_0.02s_Filterbank feature with Singal(dB scale)
signal
Unstable Detection time - 2.14s
amp
1
0
−1
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0

(a)


FB_components
40
30
20
10
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
Time(s)
−25
−50
−75
−100
−125
−150
−175
−200
−225

(b)

도면11


시 작
연소부 내부의 연소 동압 측정
S10
연소 동압 신호의 신호처리
S20
프레이밍 데이터 획득
S30
고속 푸리에 변환 데이터 획득
S40
필터 뱅크 데이터 획득
S50
필터 뱅크 데이터와 연소불안정 판별 기준값을 비교하여 연소불안정 여부 판단
S60
종 료