(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2015 년 3 월 12 일 (12.03.2015)

WIPO | PCT

(10) 국제공개번호
WO 2015/034133 A1

(51) 국제특허분류:
F23R 3/00 (2006.01) *F23N 5/00* (2006.01)
F02C 9/00 (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2013/010580

(22) 국제출원일: 2013 년 11 월 20 일 (20.11.2013)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2013-0106596 2013 년 9 월 5 일 (05.09.2013) KR

(71) 출원인: **한발대학교 산학협력단 (HANBAT NATIONAL UNIVERSITY INDUSTRY-ACADEMIC CO-OPERATION FOUNDATION)** [KR/KR]; 305-719 대전시 유성구 동서대로 125 (덕명동), Daejeon (KR). **현대중공업 주식회사 (HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.)** [KR/KR]; 682-792 울산시 동구 전하동 1 번지, Ulsan (KR).

(72) 발명자: **차동진 (CHA, Dong Jin)**; 305-759 대전시 유성구 하기동 송림마을아파트 603-1402, Daejeon (KR). **송원준 (SONG, Won Joon)**; 314-805 충청남도 공주시 옥룡동 393-21(오동나무 2 길 18-7 번), Chungcheongnam-do (KR). **안광호 (AHN, Kwang Ho)**; 300-802 대전시 동구 가양 2 동 덕산빌라 가동 302 호, Daejeon (KR). **류광년 (RYU, Gwang Nyeon)**; 152-753 서울시 구로구 남부순환로 95 길 54 105 동 2306 호(개봉동, 삼환아파트), Seoul (KR).

(74) 대리인: **특허법인 태백 (TAEBAEK INTELLECTUAL PROPERTY LAW FIRM)**; 153-803 서울시 금천구 가산디지털 1 로 151 이노플렉스 1 차 601 호, Seoul (KR).

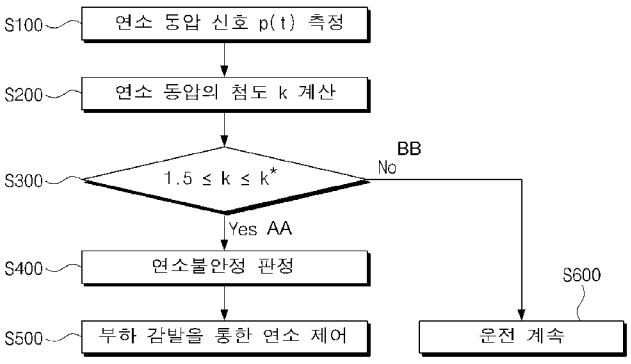
(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[다음 쪽 계속]

(54) **Title**: COMBUSTION INSTABILITY CONTROL DEVICE AND CONTROL METHOD FOR SAME

(54) **발명의 명칭** : 연소불안정 제어장치 및 그 제어방법



S100 ... Measure dynamic pressure signals (p(t))
S200 ... Calculate kurtosis value (k) of dynamic pressure signals
S300 ... Is k 1.5-k*?
S400 ... Determine combustion instability
S500 ... Control combustion through load rejection
S600 ... Continue operation
AA ... Yes
BB ... No

(57) **Abstract**: The present invention provides a gas turbine combustion instability control device, which is combustion instability device for controlling the operation of a gas turbine by measuring the combustion dynamics of the gas turbine, and the device comprises: a combustion unit provided with a hollow combustion chamber, a gas turbine connected to the inside of the combustion chamber and a dynamic pressure sensor which is provided to the inside of the combustion chamber and measures the combustion dynamics of the inside of the combustion chamber; a diagnosis module which processes combustion dynamic pressure signals (p) according to the combustion dynamics measured by the dynamic pressure sensor to calculate the kurtosis value (*k*) of the dynamic pressure signals, and compares the same with a kurtosis reference value (*k*) to evaluate the combustion instability; and a combustion control unit for controlling the operation of the combustion part according to the determination of the diagnosis module. Accordingly, the present invention enables: combustion instability to be readily determined by measuring the combustion dynamics of the gas turbine and by carrying out signal-processing on the basis of the measured data; and the uncertainty of the root mean square of the combustion dynamics and the damping ratio used as factors in the conventional methods for diagnosing the combustion instability to be overcome. In addition, the measured combustion dynamics are not converted into frequency domains but directly analyzed, in real time, in time domains, thereby requiring no additional signal processing.

(57) **요약서**:

[다음 쪽 계속]

WO 2015/034133 A1

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

본 발명은 가스터빈의 연소동압을 측정하여 상기 가스터빈의 운전을 제어하는 연소불안정 제어 장치 있어서 , 중공의 연소실과, 연소실 내부에 연결되는 가스터빈과, 상기 연소실 내부에 장착되어 상기 연소실 내부의 연소동압을 측정하는 동압센서를 구비하는 연소부; 동압센서에서 측정된 연소동압에 따른 연소동압신호(p)를 신호 처리하여, 연소동압신호(p)의 첨도 값(*k*)을 계산하고, 이를 첨도의 기준 값(k_{th})과 비교하여 연소불안정을 평가하는 진단모듈; 및 진단모듈의 판정에 따라 상기 연소부의 운전을 제어하는 연소제어부를 포함하는 가스터빈 연소불안정 제어장치를 제공한다 . 따라서 가스터빈의 연소동압을 측정하고 측정된 데이터를 바탕으로 신호 처리를 통하여 용이하게 연소불안정을 판단할 수 있으며, 종래의 연소불안정 진단 방법의 인자로 사용되는 연소동압의 실효값(Root mean square) 및 감쇠비(Damping ratio)의 불확실성을 극복하고, 측정된 연소동압을 주파수 영역으로 변환하지 않고 직접 시간영역에서 실시간으로 분석하여 이에 따른 추가적인 신호 처리가 불필요하다.

명세서

발명의 명칭: 연소불안정 제어장치 및 그 제어방법

기술분야

[1] 본 발명은 가스터빈의 연소동압을 측정하는 장치에 관한 것으로 보다 상세하게는 연소기 내부의 연소불안정을 측정하여 제어하는 제어장치 및 그 제어방법에 관한 것이다.

배경기술

[2] 일반적으로, 가스터빈은 크게 압축기와 연소기 그리고 터빈으로 구성되어 있으며, 압축기에서 압축된 공기는 연료와 혼합되어 연소기에서 연소된다. 이때 화학에너지는 열에너지를 거쳐 운동에너지로 에너지 변환이 이루어지고, 생성된 가스는 터빈을 구동시키게 된다. 가스터빈 내에서 연소의 형태는 발생되는 연소의 형태에 따라 확산화염에서 예혼합화염의 형태로 변화하였다. 이는 이론공연비 근처에서의 연소는 열적 녹스(NOx)에 의한 배기배출물의 증가라는 부작용이 있고, 또한 환경에 대한 관심이 증가되면서 배기배출규제가 강화되어, 이에 대응하는 노력으로 희박연소의 개념이 중요시 된다.

[3] 그러나 희박연소에서 희박가연한계(Lean limit) 근처에서 연소는 화염이 불안정해지는 단점을 가지고 있다.

[4] 이러한 문제점을 해결하고자, 신호 처리방법으로 연소불안정을 측정하여 제어하기 위한 방법이 제안되었으며, 상기한 바와 같은 연소불안정 측정의 실시예로, 대한민국 공개특허공보 특2003-0036206호는 가스엔진 등의 노킹, 실화나 소염 발생시의 연소상태를 조정하여 엔진의 운전을 원활하게 수행할 수 있도록 하며, 통내 압력 검출의 이상 발생을 신속하게 검지할 수 있게 하여 엔진의 운전을 정지시키지 않고 대처 가능하게 한 내연기관의 연소진단/연소제어장치를 제공하는 것으로, 상기 연소실 내의 압력을 검출하는 통내 압력 검출기로부터의 통내 압력 검출값에 따라 통내 최고압력 (Pp) 과 압축 행정에서의 1 또는 복수의 임의점의 압축압력 (PO) 의 최고압력비 (Pp/P0) 를 산출하는 수단과, 상기 최고압력비 (Pp/P0) 와 진단 카테고리마다 단계적으로 설정된 압력비(이하 임계값 압력비라 함)를 비교하는 수단과, 1 또는 복수의 운전 사이클마다 상기 비교 출력을 판정하고 상기 연소실 내의 통내 압력상태 등의 연소상태를 진단하는 수단(단계)으로 이루어지며, 예컨대 통내 최고압력(Pp)과 압축 행정에서의 임의점의 압축압력 (P0)의 최고압력비(Pp/P0)를 산출하는 수단 및 연소 행정에서의 임의점의 압력(P1)과 상기 압축 행정에서의 임의점의 압력(P0)의 연소압력비(P1/P0)를 산출하는 수단(단계)과 상기 최고압력비 (Pp/P0)가 설정된 허용 최소압력비(Pn) 보다 작고 (Pp/P0 ≤Pn) 또 상기 연소압력비(P1/P0)가 설정된 실화 허용 압력비(Pm) 보다 작아 (P1/P0≤Pm) 진 경우 상기 연소실 내의 실화 발생을 판정 하도록 구성하여 내연기관의 연소를

진단하고 제어할 수 있는 방법을 개시하고 있다.

[5] 그런데, 종래의 내연기관의 연소 진단 장치는 내연기관의 최고압력, 임의점의 압축압력을 측정하여 최고압력비를 산출하고, 연소압력비와 비교하여 상기 연소실 내의 연소 상태를 파악하여, 상기 내연기관의 연소를 진단하는 제어장치이다.

[6] 따라서 최고압력과 임의점에서 압축압력을 측정하여 내연기관의 연소상태를 파악하는 것은 가스터빈의 정밀한 연소불안정을 판단할 수 없는 문제점이 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[7] 본 발명은, 상기한 바와 같은 문제점을 해결하기 위해 창출된 것으로서, 가스터빈의 연소동압을 측정하고, 측정된 데이터를 바탕으로 신호 처리하여 연소불안정 발생여부를 실시간으로 판단할 수 있는 가스터빈의 연소불안정 제어장치 및 그 제어방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제 해결 수단

[8] 본 발명은, 가스터빈의 연소동압을 측정하여 상기 가스터빈의 운전을 제어하는 연소불안정 제어 장치 있어서, 중공의 연소실과, 상기 연소실 내부에 장착되는 가스터빈과, 상기 연소실 내부에 장착되어 상기 연소실 내부의 연소동압을 측정하는 동압센서를 구비하는 연소부; 상기 동압센서에서 측정된 연소동압에 따른 연소동압신호(p)를 신호 처리하여 상기 연소동압신호(p)의 첨도값(k)을 계산하고, 이를 첨도의 기준값(k_{th})과 비교하여 연소안정을 평가하는 진단모듈; 및 상기 진단모듈의 판정에 따라 상기 연소부의 운전을 제어하는 연소제어부를 포함하는 가스터빈 연소불안정 제어장치를 제공한다.

[9] 또한 상기 진단모듈은, 상기 연소동압신호(p)의 첨도값 k를

$$k = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i - \bar{p})^4}{\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i - \bar{p})^2\right]^2}$$

에 의하여 결정된 것을 특징으로 할 수 있다.

[10] 또한 상기 진단모듈은, 상기 연소동압신호(p)의 첨도값(k)를 상기 첨도의 기준값(k_{th})와 비교하여 상기 k 값이 k_{th} 보다 작거나 같은 경우 연소불안정으로 판단하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[11] 또한 상기 첨도의 기준값은 $k_{th} = 1.5 + k_1 + k_2$ 인 것을 특징으로 할 수 있다.

[12] 본 발명의 다른 측면에 의하면, 가스터빈의 연소동압을 측정하여 상기 가스터빈의 운전을 제어하는 연소불안정 제어방법에 있어서, 상기 가스터빈에서 측정된 연소동압에 따른 연소동압신호(p)를 결정하는 단계; 상기 연소동압신호(p)에 기초하여 연소동압의 첨도값(k)를 계산하는 단계; 상기

연소동압신호(p)의 첨도값(k)를 미리 설정된 연소불안정 판단을 위한 기준값(k_{th})과 비교하여 연소동압의 첨도값이 기준값 이하인 경우에는 상기 가스터빈을 연소불안정으로 판단하는 단계; 및 상기 가스터빈의 연소불안정이 결정되면, 부하 감발을 통하여 연소를 제어하는 단계를 포함하는 연소불안정 제어방법을 제공한다.

[13] 또한 상기 연소동압의 첨도값(k)는 에 의하여

$$k = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i-\bar{p})^4}{\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i-\bar{p})^2\right]^2}$$

결정된 것을 특징으로 할 수 있다.

[14] 또한 상기 첨도의 기준값 k_{th}는 $k_{th}=1.5+k_1+k_2$인 것을 특징으로 할 수 있다.

[15]

발명의 효과

[16] 본 발명에 따른 가스터빈 연소불안정 제어방치 및 그 제어방법은 다음과 같은 효과를 제공한다.

[17] 첫째, 가스터빈의 연소동압을 측정하고 측정된 데이터를 바탕으로 신호처리를 통하여 용이하게 연소불안정을 판단할 수 있다.

[18] 둘째, 종래의 연소불안정 진단 방법의 인자로 사용되는 연소동압의 실효값(Root mean square) 및 감쇠비(Damping ratio)의 불확실성을 극복할 수 있다.

[19] 셋째, 측정된 연소동압을 주파수 영역으로 변환하지 않고 직접 시간영역에서 실시간으로 분석하여 이에 따른 추가적인 신호처리가 불필요하다.

도면의 간단한 설명

[20] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 제어장치의 구성도,

[21] 도 2는 연소동압을 측정한 데이터로 가스터빈의 연소가 안정 영역에서 불안정 영역으로 천이되는 예를 나타낸 그래프,

[22] 도 3은 연소동압을 측정한 데이터로 가스터빈의 연소가 안정 영역임을 나타낸 그래프,

[23] 도 4는 연소동압을 측정한 데이터로 가스터빈의 연소가 불안정 영역임을 나타낸 그래프,

[24] 도 5는 연소동압의 측정 데이터에 대한 첨도 값을 시간영역에서 나타낸 그래프,

[25] 도 6은 도 1에 나타낸 가스터빈의 연소불안정 제어장치의 제어방법을 나타낸 흐름도이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

[26] 본 발명은 중공의 연소실과, 연소실 내부에 연결되는 가스터빈과, 상기 연소실

내부에 장착되어 상기 연소실 내부의 연소동압을 측정하는 동압센서를 구비하는 연소부; 동압센서에서 측정된 연소동압에 따른 연소동압신호(p)를 신호 처리하여, 연소동압신호(p)의 첨도 값(k)을 계산하고, 이를 첨도의 기준 값(k_{th})과 비교하여 연소불안정을 평가하는 진단모듈; 및 진단모듈의 판정에 따라 상기 연소부의 운전을 제어하는 연소제어부를 포함하는 가스터빈 연소불안정 제어장치를 제공한다.

발명의 실시를 위한 형태

[27] 이하 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여, 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

[28] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 제어장치의 구성도이고, 도 2는 연소동압을 측정한 데이터로 가스터빈의 연소가 안정 영역에서 불안정 영역으로 천이되는 예를 나타낸 그래프이며, 도 3은 연소동압을 측정한 데이터로 가스터빈의 연소가 안정 영역임을 나타낸 그래프이고, 도 4는 연소동압을 측정한 데이터로 가스터빈의 연소가 불안정 영역임을 나타낸 그래프이며, 도 5는 연소동압의 측정 데이터에 대한 첨도 값을 시간영역에서 나타낸 그래프이다.

[29] 먼저, 도 1을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 가스터빈 연소불안정 제어장치는 가스터빈 등 각종 연소기의 연소불안정을 탐지하고 이를 활용하여 연소불안정을 감소시켜 가스터빈의 안정적이고 효율적인 운전을 가능하게 하는 것을 의미한다. 이를 위해 상기 가스터빈 연소불안전 제어장치(400)는 연소부(100), 진단모듈(200) 및 연소제어부(300)를 포함한다.

[30] 여기서 상기 연소부(100)는 중공의 연소실(110)과 상기 연소실 내부에 되는 가스터빈(120)과 상기 연소실(110) 내부에 장착되어 상기 연소실(110) 내부의 연소동압을 측정하는 동압센서(130)를 구비한다.

[31] 상기 연소실(110)에는 압축공기와 연료가 공급되어 연소가 발생된다. 연소실(110)에서 연소된 가스는 상기 가스터빈(120)을 구동하여 동력을 발생시킬 수 있다. 상기 연소실(110) 내에서 희박가연한계(Lean limit) 근처의 연소가 시작되면 상기 연소실(110) 내부에서는 연소불안정이 나타날 수 있다.

[32] 상기 동압센서(130)는 상기 연소실(110) 내부에 장착되어 있으나. 연소실(110)과 연결되는 도관을 통하여 연결되는 것도 가능하다. 상기 동압센서(130)는 연소실(110) 내부에서 발생하는 연소 열방출율 변동(Heat release fluctuation) 및 연소실(110) 내부 매질의 음압 섭동(Acoustic pressure perturbation)이 상호 작용하면서 생기는 연소불안정을 측정하기 위한 것으로, 이

때 발생하는 음향진동(Acoustic oscillation)은 연소기 구조물 진동(Structural vibration)과 공진현상(Resonance)을 초래할 수 있다.

[33] 상기 동압센서(130)는 압전형 압력센서(Piezoelectric pressure transducer)를 사용할 수 있으며, 압력범위가 0.3 psi 내지 15 psi인 것이 바람직하다. 또한 상기 동압센서(130)는 사용빈도 및 사용조건에 따라 물리적 특성이 변화할 수 있기 때문에 계측전후에 동압센서(130)를 교정할 수 있는 교정시스템을 구비할 수 있다.

[34] 상기 동압센서(130)에 감지된 측정값은 수치적 해석을 위하여 전기신호로 변환하여 연소동압신호(p)를 발생시키고, 이 후에 상기 연소동압신호(p)는 상기 진단모듈(200)로 전달된다.

[35] 상기 연소실(110) 내에서 측정되는 연소불안정은 일종의 공진현상이므로, 공진 주파수 성분에 대한 응답이 다른 주파수 성부에 대한 응답에 비해 지배적으로 커지는 현상이다. 따라서 상기 연소불안정이 발생하게 되면 공진 주파수 성분에 대한 응답은 자연적으로 큰 진폭을 가지는 정현파(Sinusoids)로 나타나게 되고, 나머지 주파수 성분에 대한 응답은 미소한 노이즈 성분으로 나타난다.

[36] 상기 진단모듈(200)은 상기 동압센서(130)에서 측정된 연소동압에 따른 연소동압신호(p)를 신호 처리하여 상기 연소동압신호(p)의 첨도 값(k)을 계산하고, 이를 첨도(Kurtosis)의 기준값과 비교하여 연소불안정을 판단한다. 여기서 첨도는 주어진 데이터의 확률적 분포 형태를 묘사하는 인자이다.

[37] 상기 진단모듈(200)은 상기 연소동압신호(p)의 첨도 값 k를 하기식에 의하여 결정된 것을 특징으로 할 수 있다.

[38] 수학식 1

$$k = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i - \bar{p})^4}{\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i - \bar{p})^2\right]^2}$$

[39] 여기서 n은 첨도 계산을 위해 설정된 신호처리 주기 내에 포함된 연소동압의 데이터의 수이고, p_i은 시간 $t=t_i$ (i=1, 2, 3,...,n)에서의 연소동압신호의 실제 측정값이고,

$\bar{p}$

의 값은 연소동압신호(p)의 평균치이다.

[40] 정규 분포(Normal distribution)를 나타낸 데이터에 대한 첨도 값은 3이며, 순수 정현파 형태의 첨도 값은 1.5이다.

[41] 도 2은 연소동압을 측정한 데이터로 가스터빈의 연소가 안정 영역에서 불안정 영역으로 천이되는 예를 나타낸 그래프이고, 도 3은 연소동압을 측정한

데이터로 가스터빈의 연소가 안정 영역임을 나타낸 그래프이며, 도 4는 연소동압을 측정한 데이터로 가스터빈의 연소가 불안정 영역임을 나타낸 그래프이다.

[42] 도면을 참조하면, 영역 I은 상기 연소실(110) 내에서 가스터빈의 연소가 안정적으로 이루어지는 경우이다. 상기 영역 I에 있어서 파형은 도 3의 가스터빈의 연소가 안정 영역일 경우의 그래프 파형과 대조하여 안정 영역에 있음을 확인할 수 있다. 영역 II는 상기 연소실(110) 내에서 가스터빈의 연소불안정이 시작되는 점의 동압의 데이터를 나타낸 그래프이고, 상기 영역 II의 파형은 도 4의 가스터빈의 연소가 불안정 영역일 경우의 그래프 파형과 대조하여 불안정 영역에 있음을 확인할 수 있다.

[43] 노이즈 성분은 상기 영역 I에서만 존재하는 반면 상대적으로 진폭이 큰 정현파의 미소한 노이즈 성분들은 영역 II에서만 실려 있음을 알 수 있다. 연소동압 데이터는 연소불안정이 발생되는 시점에서 공진 주파수에 해당하는 정현파가 지배적으로 나타나기 시작한다.

[44] 도 5는 연소동압에 대한 첨도 값을 시간영역에서 나타낸 그래프이다.

[45] 도면을 참조하면, 상기 정현파에 대한 첨도 값 1.5는 연소동압을 이용한 연소불안정 진단에 대한 기준값을 제공한다. 측정된 상기 연소동압신호(p)의 데이터를 수치적으로 계산한 첨도 값(k)은 상기 연소실(110) 내에서 연소불안정이 발생하여 측정된 연소동압의 파형이 정현파의 특성을 매우 크게 나타내기 때문에 1.5에 근접한다.

[46] 따라서 연소동압에 대한 첨도 값은 시간영역에서 연소불안정성이 커질수록 1.5에 근접한다.

[47] 한편 상기 진단모듈(200)은 상기 연소동압신호(p)의 첨도 값(k)를 상기 첨도의 기준값(k_{th})와 비교하여 상기 첨도값(k)이 기준값(k_{th})보다 작거나 같은 경우에는 연소불안정으로 판단하는 것을 특징으로 할 수 있다.

[48] 여기서 상기 첨도의 기준값은 하기 식으로 정해진다.

[49] 수학식 2

$$k_{th} = 1.5 + k_1 + k_2$$

[50] 상기 식에서 1.5는 정현파 함수에 대한 첨도 값이고, k_1은 정현파 함수의 첨도 1.5에 대한 보정 값으로 연속적인 연소동압 신호를 이산화(Discretization)하는 과정에서 발생하며 연소동압 측정 장비의 샘플링 주파수 및 동압신호의 처리 주기에 따라 계산되는 값이다.

[51] 상기 k_2는 연소 특성에 따라 경험적으로 산출되는 보정 값이며, 운전조건, 안전계수, 경제성을 고려하여 사용자가 선택할 수 있다.

[52]

[53] 이하에서는 상기한 바와 같은 가스터빈 연소불안정 제어장치를 이용한 연소불안정 제어방법에 관하여 설명하기로 한다.

[54] 도 6은 도 1에 나타낸 가스터빈의 연소불안정 제어장치(400)의 제어방법을 나타낸 흐름도이다.

[55] 본 발명의 다른 측면에 의하면 가스터빈 연소불안정 제어방법은 상기 가스터빈 연소불안정 제어장치(400)를 이용하여 가스터빈의 연소불안정을 제어하는 방법이다. 여기서도 상기 가스터빈 연소불안정 제어장치는 연소부(100), 진단모듈(200) 및 연소제어부(300)를 포함한다.

[56] 우선 압축공기 및 연료는 가스터빈에 구비되어 있는 상기 연소부(100)에 분사되고, 상기 가스터빈은 연소가 시작된다. 연소불안정은 상기 연소실(110) 내에서 희박가연한계(Lean limit) 근처의 연소가 시작되어 나타날 수 있다.

[57] 이때 연소동압신호(p)는 상기 가스터빈에서 측정된 연소동압에 따라 결정한다(S100).

[58] 연소동압신호(p)는 상기 연소부(100)에 구비된 동압센서(130)에 감지된 연소동압의 측정값을 신호 처리를 위하여 전기신호로 변환되고, 이 후에 상기 연소동압신호(p)는 상기 진단모듈로 전달된다.

[59] 연소동압의 첨도 값(k)은 상기 연소동압신호(p)에 기초하여 계산한다(S200).

[60] 여기서 상기 첨도 값(k)은

$$k = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i - \bar{p})^4}{\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i - \bar{p})^2\right]^2}$$

에 의하여 결정된 것을 특징으로 할 수 있다.

[61] 상기 n은 첨도 계산을 위해 설정된 신호처리 주기 내에 포함된 연소동압의 데이터의 수이고, p_i은 시간 $t=t_i$ (i=1, 2, 3,...,n)에서의 연소동압신호의 실제 측정값이고, $\bar{p}$의 값은 연소동압신호(p)의 평균치이다.

[62] 상기 첨도의 기준값 k_{th}는 $k_{th} = 1.5 + k_1 + k_2$인 것을 특징으로 할 수 있다.

[63] 상기 1.5는 정현파 함수에 대한 첨도값이고, k_1은 정현파 함수의 첨도 1.5에 대한 보정값으로 연소동압 측정 장비의 샘플링 주파수 및 연소동압 측정 장비의 샘플링 주파수 및 동압신호의 처리 주기에 따라 계산되는 값이며, k_2는 연소 특성에 따라 경험적으로 산출되는 상수이다.

[64] 연소동압의 첨도 값(k)은 미리 설정된 연소불안정 판단을 위한 기준값(k_{th})과 비교하여(S300), 기준값 이하인 경우에는 상기 가스터빈을 연소불안정으로 판단한다(S400).

[65] 상기 가스터빈을 연소불안정으로 판단하는 단계(S300)는, 상기 계산된 연소동압의 첨도 값(k)을 미리 설정된 연소불안정 판단을 위한 기준값(K_{th})과 비교하여 연소동압의 첨도 값이 기준 값을 초과하는 경우에는 상기 가스터빈의

운전을 계속하는 것(S600)을 특징으로 할 수 있다.

[66] 여기서 연소불안정이 발생하는 것은 연소동압의 첨도 값(k)이 가스터빈의 실제 운전 시 하기의 식을 만족하는 경우이다. 이 경우 연소불안정으로 판단하고(S400), 상기 가스터빈은 부하 감발을 통하여 연소가 제어된다(S500).

[67] 수학식 3

$$1.5 \leq k \leq k_{th}$$

[68] 상기 연소동압의 첨도 값(k)이 정현파의 첨도 값 1.5 이상이고, 첨도의 기준 값(K_{th})이하인 경우에는 연소불안정으로 판단한다(S400).

[69]

[70] 본 발명은 가스터빈의 연소동압을 측정하여 상기 가스터빈의 운전을 제어하기 위하여 연소동압의 첨도를 실시간으로 계산하고 특히 측정된 연소동압신호를 신호 처리하여 정현파에 대한 첨도 값인 1.5에 대한 보정 값을 반영한 첨도 기준 값을 연소불안정 발생 여부에 대한 판정 인자로 선택하여, 종래와 다르게 연소동압신호의 데이터를 주파수 영역으로 변환하지 않고 직접 시간영역에서 실시간으로 분석하여 연소불안정을 진단할 수 있다.

[71] 이상에서 살펴본 바와 같이, 본 발명에 따른 가스터빈 연소불안정 제어장치 및 그 제어방법에 의하면, 가스터빈의 연소동압을 측정하고 측정된 데이터를 바탕으로 신호 처리를 통하여 용이하게 연소불안정을 판단할 수 있으며, 종래의 연소불안정 진단 방법의 인자로 사용되는 연소동압의 실효값(Root mean square) 및 감쇠비(Damping ratio)의 불확실성을 극복하고, 측정된 연소동압을 주파수 영역으로 변환하지 않고 직접 시간영역에서 실시간으로 분석하여 이에 따른 추가적인 신호 처리가 불필요하다.

[72]

[73] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

청구범위

[청구항 1] 가스터빈의 연소동압을 측정하여 상기 가스터빈의 운전을 제어하는 연소불안정 제어장치 있어서,
중공의 연소실과, 상기 연소실 내부에 연결되는 상기 가스터빈과,
상기 연소실 내부에 장착되어 상기 연소실 내부의 연소동압을 측정하는 동압센서를 구비하는 연소부;
상기 동압센서에서 측정된 연소동압에 따른 연소동압신호(p)를 신호 처리하여, 상기 연소동압신호(p)의 첨도 값(k)을 계산하고, 이를 첨도의 기준 값(k_{th})과 비교하여 연소불안정을 평가하는 진단모듈; 및
상기 진단모듈의 판정에 따라 상기 연소부의 운전을 제어하는 연소제어부를 포함하는 가스터빈 연소불안정 제어장치.

[청구항 2] 청구항 1에 있어서,
상기 진단모듈은,
상기 연소동압신호(p)의 첨도 값 k를

$$k = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i - \bar{p})^4}{\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i - \bar{p})^2\right]^2}$$

에 의하여 결정된 것을 특징으로 하는 가스터빈 연소불안정 제어장치.
(여기서 n은 첨도 계산을 위해 설정된 신호처리 주기 내에 포함된 연소동압의 데이터의 수이고, p_i은 시간 $t=t_i$ (i=1, 2, 3,...,n)에서의 연소동압신호의 실제 측정값이고, $\bar{p}$ 의 값은 연소동압신호(p)의 평균치이다.)

[청구항 3] 청구항 1에 있어서,
상기 진단모듈은,
상기 연소동압신호(p)의 첨도 값(k)를 상기 첨도의 기준 값(k_{th})와 비교하여 상기 k 값이 k_{th}보다 작거나 같은 경우 연소불안정으로 판단하는 것을 특징으로 하는 가스터빈 연소불안정 제어장치.

[청구항 4] 청구항 3에 있어서,
상기 첨도의 기준 값은 $k_{th} = 1.5 + k_1 + k_2$인 것을 특징으로 하는 가스터빈 연소불안정 제어장치.
(여기서 1.5는 정현파 함수에 대한 첨도 값이고, k_1은 정현파 함수의 첨도 1.5에 대한 보정 값으로 연소동압 측정 장비의 샘플링

주파수 및 연소동압 측정 장비의 샘플링 주파수 및 동압신호의 처리 주기에 따라 계산되는 값이며, k_2는 연소 특성에 따라 경험적으로 산출되는 상수이다.)

[청구항 5] 가스터빈의 연소동압을 측정하여 상기 가스터빈의 운전을 제어하는 연소불안정 제어방법에 있어서,

상기 가스터빈에서 측정된 연소동압에 따른 연소동압신호(p)를 결정하는 단계;

상기 연소동압신호(p)에 기초하여 연소동압의 첨도 값(k)를 계산하는 단계;

상기 연소동압신호(p)의 첨도 값(k)를 미리 설정된 연소불안정 판단을 위한 기준값(k_{th})과 비교하여 연소동압의 첨도값이 기준값 이하인 경우에는 상기 가스터빈을 연소불안정으로 판단하는 단계; 및

상기 가스터빈의 연소불안정이 결정되면 부하 감발을 통하여 연소를 제어하는 단계를 포함하는 연소불안정 제어방법.

[청구항 6] 청구항 5에 있어서,

상기 연소동압의 첨도값(k)는 에

$$k = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i - \bar{p})^4}{\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i - \bar{p})^2\right]^2}$$

의하여 결정된 것을 특징으로 하는 가스터빈 연소불안정 제어방법.

(여기서 n은 첨도 계산을 위해 설정된 신호처리 주기 내에 포함된 연소동압의 데이터의 수이고, p_i은 시간 $t=t_i$ (i=1, 2, 3,...,n)에서의 연소동압신호의 실제 측정값이고, $\bar{p}$의 값은 연소동압신호(p)의 평균치이다.)

[청구항 7] 청구항 5에 있어서,

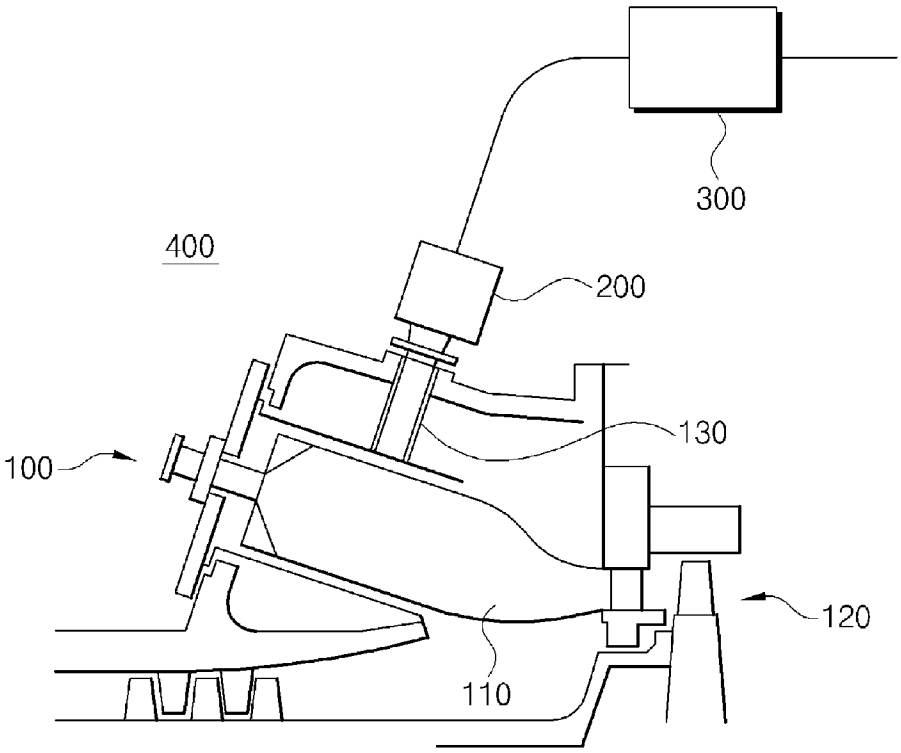
상기 첨도의 기준값 k_{th}는 $k_{th} = 1.5 + k_1 + k_2$인 것을 특징으로 하는 가스터빈 연소불안정 제어장치.

(여기서 1.5는 정현파 함수에 대한 첨도 값이고, k_1은 정현파 함수의 첨도 1.5에 대한 보정 값으로 연소동압 측정 장비의 샘플링 주파수 및 연소동압 측정 장비의 샘플링 주파수 및 동압신호의 처리 주기에 따라 계산되는 값이며, k_2는 연소 특성에 따라 경험적으로 산출되는 상수이다.)

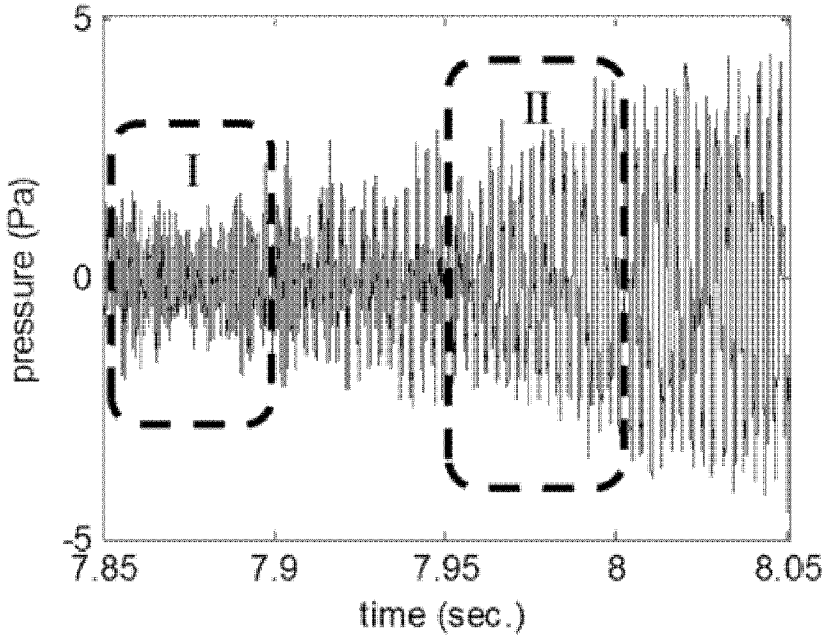
[청구항 8] 청구항 5에 있어서,

상기 가스터빈을 연소불안정으로 판단하는 단계는,
상기 계산된 연소동압의 첨도 값(k)를 미리 설정된 연소불안정 판단을 위한 기준값(k_{th})과 비교하여 연소동압의 첨도 값이 기준 값 초과하는 경우에는 상기 가스터빈의 운전을 계속하는 것을 특징으로 하는 가스터빈 연소불안정 제어방법.

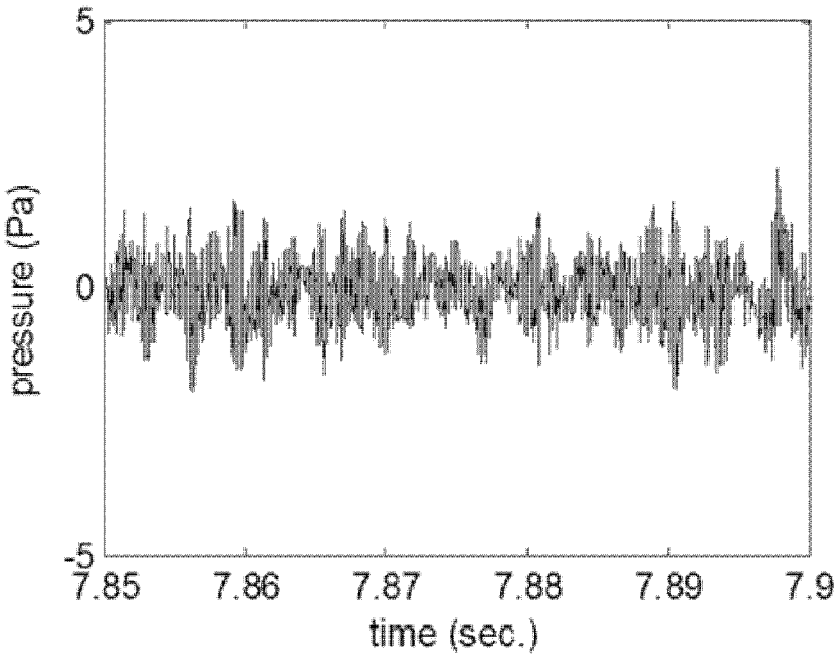
[Fig. 1]


300
400
200
130
100
120
110

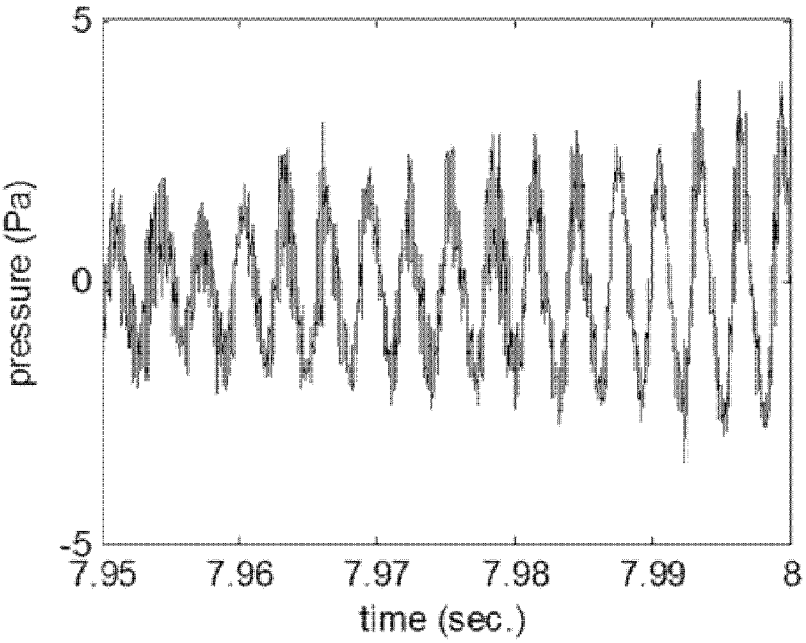
[Fig. 2]


5
0
-5
pressure (Pa)
I
II
7.85
7.9
7.95
8
8.05
time (sec.)

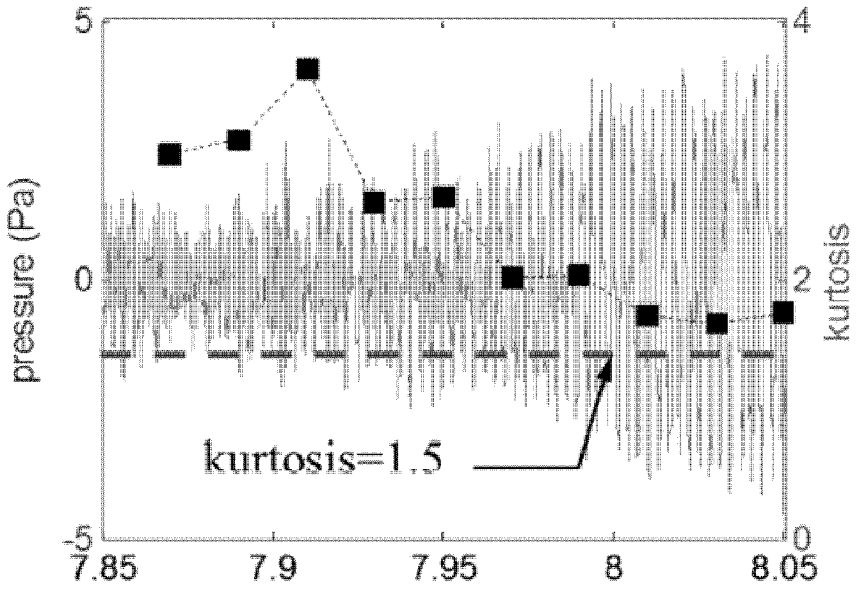
[Fig. 3]


5
0
-5
pressure (Pa)
7.85
7.86
7.87
7.88
7.89
7.9
time (sec.)

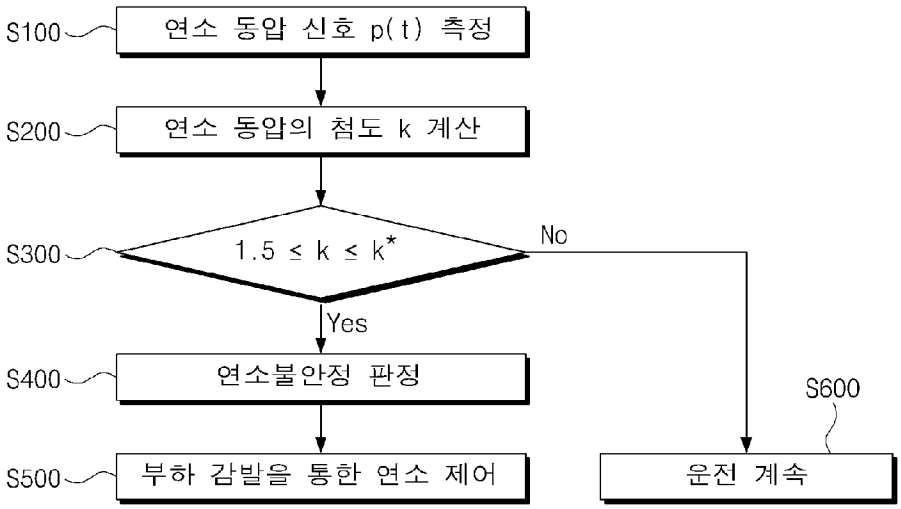
[Fig. 4]


5
0
-5
pressure (Pa)
7.95
7.96
7.97
7.98
7.99
8
time (sec.)

[Fig. 5]


5
4
pressure (Pa)
0
2
kurtosis
kurtosis=1.5
-5
0
7.85
7.9
7.95
8
8.05

[Fig. 6]


S100
연소 동압 신호 p(t) 측정
S200
연소 동압의 첨도 k 계산
S300
1.5 ≤ k ≤ k*
No
Yes
S400
연소불안정 판정
S500
부하 감발을 통한 연소 제어
S600
운전 계속

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2013/010580

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F23R 3/00(2006.01)i, F02C 9/00(2006.01)i, F23N 5/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F23R 3/00; F01D 25/00; F02C 9/00; F02D 45/00; F01D 17/02; G10K 11/178; G10K 11/172; G01M 15/14; F23N 5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above
Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: burning, dynamic pressure, vibration, vibe, sensor, detection, detection, measurement, kurtosis, combustion instability, abnormal combustion, combustion, dynamic pressure, vibration, sensor, detect, kurtosis

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-2013-0060962 A (KOREA ELECTRIC POWER CORPORATION) 10 June 2013 See paragraphs [0032]-[0046]; figures 2-4.	1-8
A	KR 10-2011-0118488 A (SNU R&DB FOUNDATION) 31 October 2011 See paragraphs [0013]-[0028]; figures 1, 2.	1-8
A	KR 10-2004-0037985 A (KOREA ELECTRIC POWER CORPORATION) 08 May 2004 See page 3, lines 15-23; figure 1.	1-8
A	JP 2007-192138 A (MITSUBISHI HEAVY IND., LTD.) 02 August 2007 See paragraphs [0052]-[0062]; figures 1-4.	1-8
A	US 2010-0180674 A1 (ZIMINSKY et al.) 22 July 2010 See paragraphs [0021]-[0026]; figures 1-3.	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
04 MARCH 2014 (04.03.2014)	**04 MARCH 2014 (04.03.2014)**

Name and mailing address of the ISA/**KR**
Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701, Republic of Korea
Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2013/010580

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-2013-0060962 A	10/06/2013	NONE	
KR 10-2011-0118488 A	31/10/2011	KR 10-1138360 B1	26/04/2012
KR 10-2004-0037985 A	08/05/2004	NONE	
JP 2007-192138 A	02/08/2007	JP 4801452 B2	26/10/2011
US 2010-0180674 A1	22/07/2010	CN 101782234 A EP 2211102 A2 JP 2010-169384 A US 7942038 B2	21/07/2010 28/07/2010 05/08/2010 17/05/2011

국 제 조 사 보 고 서

국제출원번호
PCT/KR2013/010580

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

F23R 3/00(2006.01)i, F02C 9/00(2006.01)i, F23N 5/00(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

F23R 3/00; F01D 25/00; F02C 9/00; F02D 45/00; F01D 17/02; G10K 11/178; G10K 11/172; G01M 15/14; F23N 5/00

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 연소, 동압, 진동, 바이브, 센서, 검출, 감지, 측정, 첨도, 연소불안정, 이상연소, combustion, dynamic pressure, vibration, sensor, detect, kurtosis

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KR 10-2013-0060962 A (한국전력공사) 2013.06.10 단락번호 [0032]-[0046]; 도면 2-4 참조.	1-8
A	KR 10-2011-0118488 A (서울대학교산학협력단) 2011.10.31 단락번호 [0013]-[0028]; 도면 1,2 참조.	1-8
A	KR 10-2004-0037985 A (한국전력공사) 2004.05.08 페이지 3, 라인 15-23; 도면 1 참조.	1-8
A	JP 2007-192138 A (MITSUBISHI HEAVY IND., LTD.) 2007.08.02 단락번호 [0052]-[0062]; 도면 1-4 참조.	1-8
A	US 2010-0180674 A1 (ZIMINSKY et al.) 2010.07.22 단락번호 [0021]-[0026]; 도면 1-3 참조.	1-8

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

"A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

"E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

"L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

"O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

"P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

"T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

"X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

"Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

"&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일	국제조사보고서 발송일
2014년 03월 04일 (04.03.2014)	2014년 03월 04일 (04.03.2014)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소
대한민국 특허청
(302-701) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사)
팩스 번호 +82-42-472-7140

심사관
한중섭
전화번호 +82-42-481-5606

국제조사보고서
대응특허에 관한 정보

국제출원번호
PCT/KR2013/010580

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2013-0060962 A	2013/06/10	없음	
KR 10-2011-0118488 A	2011/10/31	KR 10-1138360 B1	2012/04/26
KR 10-2004-0037985 A	2004/05/08	없음	
JP 2007-192138 A	2007/08/02	JP 4801452 B2	2011/10/26
US 2010-0180674 A1	2010/07/22	CN 101782234 A	2010/07/21
		EP 2211102 A2	2010/07/28
		JP 2010-169384 A	2010/08/05
		US 7942038 B2	2011/05/17