



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0038000
(43) 공개일자 2016년04월06일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F28F 27/00 (2006.01) F01K 5/02 (2006.01)
F28G 15/00 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
F28F 27/00 (2013.01)
F01K 5/02 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2016-7005161</p> <p>(22) 출원일자(국제) 2014년10월14일
심사청구일자 2016년02월26일</p> <p>(85) 번역문제출일자 2016년02월26일</p> <p>(86) 국제출원번호 PCT/JP2014/077311</p> <p>(87) 국제공개번호 WO 2015/060158
국제공개일자 2015년04월30일</p> <p>(30) 우선권주장
JP-P-2013-218494 2013년10월21일 일본(JP)</p> | <p>(71) 출원인
미츠비시 히타치 파워 시스템즈 가부시키키가이샤
일본 가나가와켄 요코하마시 니시쿠 미나토미라이 3쵸메 3-1</p> <p>(72) 발명자
구보 히로요시
일본 도쿄도 미나토쿠 고난 2쵸메 16반 5고 미츠비시 주교교 가부시키키가이샤 내
아오타 히로미
일본 도쿄도 미나토쿠 고난 2쵸메 16반 5고 미츠비시 주교교 가부시키키가이샤 내
(뒷면에 계속)</p> <p>(74) 대리인
제일특허법인</p> |
|--|---|

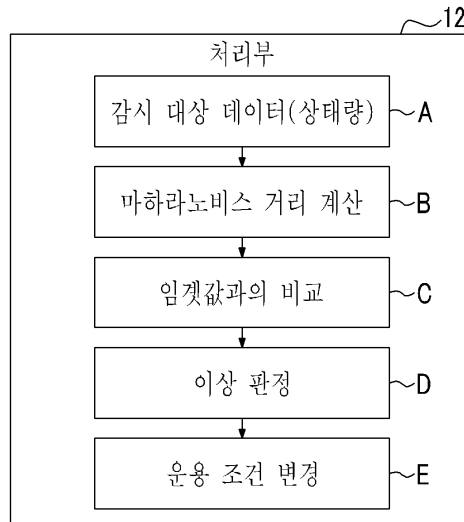
전체 청구항 수 : 총 3 항

(54) 발명의 명칭 탄소 함유 연료 열교환기의 감시·운전 방법

(57) 요약

이 탄소 함유 연료 열교환기의 감시·운전 방법은, 탄소 함유 연료 열교환기의 열교환기 전열면의 흐름 방향에 있어서의 복수의 위치의 온도에 근거하여 마하라노비스 거리를 연산하는 과정과, 상기 마하라노비스 거리에 따라 상기 전열면의 이상의 유무를 판정하는 과정과, 제거 장치의 운용 조건을 변경하는 과정을 갖는다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

F28G 15/00 (2013.01)

F28G 15/003 (2013.01)

F28F 2200/00 (2013.01)

Y02E 20/16 (2013.01)

Y02E 20/18 (2013.01)

(72) 발명자

시바타 야스나리

일본 도쿄도 미나토쿠 고난 2초메 16반 5고 미즈비
시 슈고교 가부시키키가이샤 내

우라카타 유이치로

일본 도쿄도 미나토쿠 고난 2초메 16반 5고 미즈비
시 슈고교 가부시키키가이샤 내

명세서

청구범위

청구항 1

탄소 함유 연료 열교환기의 열교환기 1차측의 흐름 방향에 있어서의 복수의 위치의 온도를 요소로 하는 행렬에 근거하여 마하라노비스 거리를 연산하는 과정과,
 상기 마하라노비스 거리에 의하여 상기 전열면의 이상의 유무를 판정하는 과정을 갖는 탄소 함유 연료 열교환기의 감시 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,
 상기 마하라노비스 거리의 산출 과정에서는, 상기 1차측의 흐름 방향에 있어서의 복수의 위치의 온도에 더하여, 추가로 1차측의 입출구의 차압, 1차측의 유량, 상기 열교환기의 2차측의 흐름 방향의 복수의 온도 또는 2차측의 유량 중 적어도 어느 하나를 요소로 하는 행렬에 근거하여 상기 마하라노비스 거리를 산출하는 탄소 함유 연료 열교환기의 감시방법.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 따른 탄소 함유 연료 열교환기의 감시 방법에 의하여 상기 전열면에 이상이 있다고 판정된 경우에, 상기 열교환기에 구비된 제거 장치의 운용 조건을 변경하는 과정을 갖는 탄소 함유 연료 열교환기의 운전 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 탄소 함유 연료 열교환기의 감시운전 방법에 관한 것이다.

[0002] 본원은, 2013년 10월 21일에, 일본에 출원된 특허출원 2013-218494호에 근거하여 우선권을 주장하고, 그 내용을 여기에 원용한다.

배경 기술

[0003] 가스 터빈 발전 플랜트나, 원자력 발전 플랜트, 혹은 화학 플랜트와 같은 각종 플랜트에 있어서, 감시 장치는, 플랜트가 정상적으로 운전되고 있는지 여부를 감시하기 위하여, 온도 및 압력 등의 플랜트의 상태량을 취득하고, 감시한다. 즉, 감시 장치는, 감시 대상인 복수의 감시 항목의 상태량을 소정 시간 간격으로 계측한다. 감시 장치는, 감시 항목 마다의 상태량의 평균과 분포를 계산하여 정규화한다. 감시 장치는, 각 감시 항목의 상태량의 상관관계를 계산하여, 마하라노비스 거리를 계산한다. 감시 장치는, 그 마하라노비스 거리가, 미리 설정한 임계값을 초과한 경우, 플랜트에 이상 징후가 있다고 판정한다. 특허문헌 1에는, 이러한 마하라노비스 거리를 이용한 플랜트 운전 상태 감시 방법이 개시되어 있다.

[0004] 특허문헌 2에는, 석탄 가스화 복합 발전 시스템의 열교환기의 전열관에 이물이 부착되는 것을 억제하는 기술이 개시되어 있다. 특허문헌 2에 나타내는 석탄 가스화 복합 발전 시스템의 열교환기와 같은 탄소 함유 연료 열교환기에는, 가스의 종류에 따라서는 그을음이 열교환기의 전열면에 부착되는 경우가 있다. 이러한 탄소 함유 연료 열교환기의 이상은, 조기에 발견되지 않으면, 부착된 그을음이 소결되어, 그을음을 제거하는 것이 곤란해진다. 그로 인하여, 탄소 함유 연료 열교환기의 이상을 감시하고, 조기에 이상을 발견하는 것이 바람직하다.

- [0005] (선행기술문헌)
- [0006] (특허문헌)
- [0007] 특허문헌 1: 일본 공개특허공보 2010-181188호
- [0008] 특허문헌 2: 일본 공개특허공보 2001-254086호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 특허문헌 1에는, 가스 터빈의 회전축의 돌레 방향을 따르는 복수 개소의 상태량에 근거하여 마하라노비스 거리를 산출함으로써, 적절히 플랜트 운전 상태를 감시하는 기술이 개시되어 있다. 한편, 특허문헌 1에는, 탄소 함유 연료 열교환기의 이상을 조기에 발견하기 위한 구성은 개시되어 있지 않다.
- [0010] 본 발명의 목적은, 탄소 함유 연료 열교환기의 이상을 조기에 발견할 수 있는 탄소 함유 연료 열교환기의 감시 운전 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0011] 본 발명의 제1 양태는, 탄소 함유 연료 열교환기의 1차측의 흐름 방향에 있어서의 복수의 위치의 온도에 근거하여 마하라노비스 거리를 연산하는 과정과, 상기 마하라노비스 거리에 따라 상기 전열면의 이상의 유무를 판정하는 과정을 갖는 탄소 함유 연료 열교환기의 감시 방법이다.
- [0012] 본 발명의 제2 양태는, 제1 양태에 따른 탄소 함유 연료 열교환기의 감시 방법에 있어서, 상기 마하라노비스 거리의 산출 과정은, 상기 1차측의 흐름 방향에 있어서의 복수의 위치의 온도에 더하여, 추가로 1차측의 입출구의 차압, 1차측의 유량, 탄소 함유 연료 열교환기의 2차측의 흐름 방향의 복수의 온도 또는 2차측의 유량에 근거하여 상기 마하라노비스 거리를 산출하는 과정이다.
- [0013] 본 발명의 제3 양태는, 탄소 함유 연료 열교환기의 운전 방법이다. 본 발명의 제3 양태의 운전 방법은, 제1 또는 제2 양태에 따른 탄소 함유 연료 열교환기의 감시 방법에 의하여 상기 전열면에 이상이 있다고 판정된 경우에, 상기 열교환기에 구비된 제거 장치의 운용 조건을 변경하는 과정을 갖는다.

발명의 효과

- [0014] 상기 양태에 의하면, 1차측의 흐름 방향에 있어서의 복수의 위치의 온도에 근거하여 마하라노비스 거리를 연산함으로써, 전열면의 일부의 폐색에 의하여 열교환의 효율이 저하되는 것을 검지할 수 있다. 이로써, 탄소 함유 연료 열교환기의 이상을 조기에 판정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 도 1은 제1 실시형태에 관한 이상 감시 장치의 구성예를 나타내는 모식도이다.
- 도 2는 도 1의 처리부를 구체적으로 설명하기 위한 모식도이다.
- 도 3은 마하라노비스 거리의 개념을 나타내는 개념도이다.
- 도 4는 본 실시형태에 관한 탄소 함유 연료 열교환기의 감시운전 방법의 순서를 나타내는 플로차트이다.
- 도 5는 제2 실시형태에 관한 처리부를 구체적으로 설명하기 위한 모식도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] (제1 실시형태)
- [0017] 이하, 본 발명의 제1 실시형태에 대하여 도 1~도 4를 참조하여 설명한다. 또한, 이 발명을 실시하기 위한 형태(이하, 실시형태라고 한다)에 의하여 이 발명이 한정되는 것은 아니다. 또, 하기 실시형태에 있어서의 구성요소에는, 당업자가 용이하게 상정할 수 있는 것, 실질적으로 동일한 것, 이른바 균등한 범위의 것이 포함된다.
- [0018] 도 1은, 본 실시형태에 관한 이상 감시 장치의 구성예를 나타내는 모식도이다. 이상 감시 장치(10)는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 운전 중 상태를 감시한다. 이상 감시 장치(10)는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)가 정상적

으로 운전되고 있는지 여부를 판정한다.

- [0019] 또한, 탄소 함유 연료 열교환기(1)를 감시하기 위한 상태량으로서는, 예를 들면, 열교환기(2)의 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 복수의 위치의 온도(열교환기(2)의 입구 온도와 출구 온도 등), 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 입출구의 차압, 1차측의 유량, 2차측의 흐름 방향(W)의 복수의 온도, 전열관(4) 내의 열교환 매체의 유량 등이 있다. 열교환기(2)의 1차측이란, 고온측이다. 즉, 본 실시형태에 있어서 열교환기(2)의 1차측이란 연료가 흐르는 측이다. 열교환기(2)의 2차측이란, 저온측이다. 즉, 본 실시형태에 있어서 열교환기(2)의 2차측이란 열교환 매체가 흐르는 측이다. 이들 상태량은 감시 대상 데이터로서 나타난다.
- [0020] 감시 대상인 탄소 함유 연료 열교환기(1)는, 열교환기(2), 연료 유로(3), 전열관(4), 그을음 제거 장치(5)를 구비한다. 연료는, 연료 유로(3)를 통하여 열교환기(2)의 내부로 공급된다. 연료의 예로서는, 예를 들면 연료 가스가, 분체 연료를 들 수 있다. 열교환기(2)의 내부에는, 전열관(4)이 통하고 있다. 당해 전열관(4)에 의하여 전열면(6)이 구성된다. 당해 전열면(6)에 있어서, 연료 유로(3)로부터 열교환기(2)에 흐르는 연료와, 전열관(4)을 흐르는 열교환 매체의 사이에서 열교환이 이루어진다. 열교환 매체의 예로서는, 예를 들면 물 등을 들 수 있다. 그을음 제거 장치(5)는, 전열관(4)으로 구성되는 전열면(6)에 부착된 그을음을 제거한다. 당해 그을음은, 연료에 포함되는 탄소로부터 생성되는 그을음이다. 그을음 제거 장치(5)로서는, 전열면(6)에 진동을 부여하는 진동식 그을음 제거 장치, 전열면(6)에 경구(硬球)를 낙하시키는 경구 낙하식 그을음 제거 장치, 전열면(6)에 압축 가스(질소, 증기 등)를 분사하는 분사식 그을음 제거 장치(예를 들면, 수트 블로워) 등을 이용할 수 있다.
- [0021] 이상 감시 장치(10)는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태를 감시한다. 본 실시형태에 있어서 이상 감시 장치(10)는, 한 대의 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태를 감시하지만, 복수대의 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 운전 상태를 감시해도 된다. 이상 감시 장치(10)는, 예를 들면, 컴퓨터이고, 입출력부(I/O)(11)와, 처리부(12)와, 기억부(13)를 구비하여 구성된다. 이상 감시 장치(10)는, 이른바 퍼스널컴퓨터를 이용하여 구성되어도 되고, CPU(Central Processing Unit)와 메모리를 조합하여 구성되어도 된다.
- [0022] 처리부(12)는, 각종 상태량 검출 수단(센서류)으로부터, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태량을 수신한다. 각종 상태량 검출 수단은, 입출력부(11)를 통하여 탄소 함유 연료 열교환기(1)에 장착된다. 각종 상태량 검출 수단은, 기동 개시부터 소정의 시간 간격으로 정기적으로 대응하는 상태량을 취득한다. 각종 상태량 검출 수단은, 입출력부(11)를 통하여 상태량을 처리부(12)에 입력한다.
- [0023] 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태량을 나타내는 감시 대상 데이터군은, 전기 신호의 형태로 이상 감시 장치(10)의 처리부(12)로 보내진다. 처리부(12)는, 예를 들면, CPU로 구성된다. 처리부(12)는, 기억부(13) 상에 존재하는 프로그램(컴퓨터 프로그램)이라고 불리는 명령 시퀀스를 순서대로 불러와, 해석한다. 처리부(12)는, 해석의 결과에 따라 데이터를 이동하거나 가공하거나 한다.
- [0024] 다른 실시형태에 관한 처리부(12)는, 전용 하드웨어에 의하여 실현되는 것이어도 된다.
- [0025] 다른 실시형태에 관한 처리부(12)는, 이하의 순서에 의하여 본 실시형태에 관한 감시운전 방법의 처리 순서를 실행해도 된다. 처리부(12)의 기능을 실현하기 위한 컴퓨터 프로그램이 컴퓨터가 읽기 가능한 일시적이지 않은 기록 매체에 기록된다. 처리부(12)는, 이 기록 매체에 기록된 컴퓨터 프로그램을 컴퓨터 시스템으로 불러와, 실행한다. 여기에서 말하는 “컴퓨터 시스템”이란, OS나, 주변기기 등의 하드웨어를 포함하는 것으로 한다.
- [0026] “컴퓨터가 읽기 가능한 일시적이지 않은 기록 매체”란, 플렉시블 디스크, 광자기 디스크, ROM, CD-ROM 등의 포터블 미디어, 혹은 컴퓨터 시스템에 내장되는 하드 디스크와 같은 기록 장치를 말한다. “컴퓨터가 읽기 가능한 기록 매체”란, 인터넷이나, 전화 회선 등의 통신회선을 통하여 컴퓨터 프로그램을 송신하는 경우의 통신회선과 같이, 단시간 동안, 동적으로 컴퓨터 프로그램을 유지하는 것을 포함한다. “컴퓨터가 읽기 가능한 기록 매체”란, 컴퓨터 프로그램을 수신하는 서버나, 클라이언트가 되는 컴퓨터 시스템 내부의 휘발성 메모리와 같이, 일정 시간 컴퓨터 프로그램을 유지하고 있는 것을 포함하는 것으로 한다. 상기 컴퓨터 프로그램은, 상술한 기능의 일부를 실현하기 위한 것이어도 된다. 상기 컴퓨터 프로그램은, 상술한 기능을 컴퓨터 시스템에 미리 기록되어 있는 컴퓨터 프로그램과 조합하여 실현될 수 있는 것이어도 된다.
- [0027] 본 실시형태에 관한 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시·운전 방법은, 미리 준비된 컴퓨터 프로그램을 퍼스널 컴퓨터나, 워크 스테이션 등의 컴퓨터에서 실행함으로써 실현될 수 있다. 이 컴퓨터 프로그램은, 인터넷 등의 통신회선을 통하여 배포할 수 있다. 또, 이 컴퓨터 프로그램은, 하드 디스크, 플렉시블 디스크(FD), CD-ROM, MO, DVD 등의 컴퓨터로 읽기 가능한 기록 매체에 기록되어, 컴퓨터가 그 기록 매체로부터 불러와 실행하도록 해도 된다.

- [0028] 처리부(12)는, 도 2에 나타나는 바와 같이, 감시 대상 데이터 취득 과정(A)과, 마하라노비스 거리 연산 과정(B)과, 비교 과정(C)과, 이상 판정 과정(D)과, 운용 조건 변경 과정(E)을 각 연산부에서 행한다.
- [0029] 감시 대상 데이터 취득 과정(A)은, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태량을 나타내는 감시 대상 데이터를 취득하는 과정이다. 마하라노비스 거리 연산 과정(B)은, 취득한 감시 대상 데이터에 근거하여, 마하라노비스 거리를 연산하는 과정이다. 비교 과정(C)은, 연산된 마하라노비스 거리를 임계값과 비교하는 과정이다. 이상 판정 과정(D)은, 마하라노비스 거리와 임계값의 비교 결과에 따라 이상의 유무를 판정하는 과정이다. 운용 조건 변경 과정(E)은, 이상 판정 결과에 근거하여, 그을음 제거 장치(5)의 운용 조건을 변경하는 과정이다.
- [0030] 마하라노비스 거리의 개념을 도 3에 나타낸다. 도 3은, 2개의 파라미터의 상관관계를 나타내는 도이다. 도 3의 가로축 파라미터는, 열교환기(2)의 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 입구 온도와 출구 온도의 차이이다. 도 3의 세로축의 파라미터는, 열교환기(2)의 2차측의 흐름 방향(W)에 있어서의 한 점의 온도이다. 즉, 전열면(6)에 그을음이 축적되면, 연료와 열교환 매체의 열교환 효율이 저하된다. 이로써, 열교환기(2)의 2차측의 임의의 점의 온도가 저하된다. 각 측정 데이터에는 대기 조건이나 운전 상태 등의 차이에 따라 편차가 있다. 그러나, 열교환기(2)의 1차측의 입출구 온도차와 열교환기(2)의 2차측의 임의의 점의 온도의 사이에는 상관관계가 있기 때문에, 각 측정 데이터는, 특정 범위로 좁혀진다. 이상 감시 장치(10)는, 이들을 기준 데이터로하여 기준이 되는 단위 공간을 작성한다. 그 외의 각 상태량에 있어서도, 1차측의 온도차와 2차측의 온도와 같이 상관관계를 구할 수 있다. 그리고, 이상 감시 장치(10)는, 각 상태량의 단위 공간에 대하여, 판단해야 할 데이터가 정상적인지 이상인지를 마하라노비스 거리에 의하여 판단한다.
- [0031] 상술한 마하라노비스의 단위 공간은, 본 실시형태에서는 미리 정해진 이하의 항목에 의하여 얻을 수 있다.
- [0032] (1) 이상 감시 장치(10)는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태를 평가하는 시점으로부터, 소정 기간 전까지의 과거로 거슬러 올라간 과거의 기간에 있어서의 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태량을 나타내는 감시 대상 데이터에 근거하여, 마하라노비스의 단위 공간을 연산한다.
- [0033] (2) 이상 감시 장치(10)는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태를 평가하는 시점의 상태량을 나타내는 감시 대상 데이터에 근거하여, 향후의 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태를 예측한다. 이상 감시 장치(10)는, 예측값에 근거하여 마하라노비스의 단위 공간을 연산한다.
- [0034] (3) 이상 감시 장치(10)는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태를 평가하는 시점의 상태량을 나타내는 감시 대상 데이터, 및 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 기동시에 설정되는 제어 목표 설정값에 근거하여, 향후의 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태를 예측한다. 이상 감시 장치(10)는, 예측값에 근거하여 마하라노비스의 단위 공간을 연산한다.
- [0035] 또한, 이상 감시 장치(10)는, 마하라노비스 거리를 이용하여 탄소 함유 연료 열교환기(1)가 정상인지 여부를 판정하는 경우, 마하라노비스 거리를 사용하여 다차원 데이터를 1차원 데이터로 변환한다. 그리고, 이상 감시 장치(10)는, 단위 공간과 신호 공간의 차이를 마하라노비스 거리로 평가한다. 신호 공간은, 단위 공간과 비교하는 데이터이고, 예를 들면, 탄소 함유 연료 열교환기(1) 상태를 평가할 때의 상태량이다. 본 실시형태에서는, 이상 감시 장치(10)는, 단위 공간으로부터 만들어지는 행렬을 사용하여, 신호 공간의 마하라노비스 거리를 구한다. 이로써, 데이터의 이상성이 표현된다.
- [0036] 이상 감시 장치(10)의 입출력부(11)에는, 출력 수단인 컨트롤 패널(14)이 접속된다. 컨트롤 패널(14)에는, 디스플레이(14D) 및 입력 수단(14C)이 마련된다. 디스플레이(14D)는, 표시 수단이다. 입력 수단(14C)은, 이상 감시 장치(10)에 대한 지령을 입력하는 수단이다. 이상 감시 장치(10)의 기억부(13)는, 예를 들면, RAM(Random Access Memory)과 같은 휘발성 메모리나, ROM(Read Only Memory)과 같은 불휘발성 메모리, 하드 디스크 장치나, 광자기 디스크 장치, CD-ROM 등과 같은 불러오기만 가능한 기억 매체, 혹은 이들을 조합하여 구성된다. 기억부(13)에는, 본 실시형태에 관한 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시·운전 방법을 실현하기 위한 컴퓨터 프로그램 및 데이터 등이 저장되어 있다. 처리부(12)는, 이들 컴퓨터 프로그램 및 데이터를 이용하여, 본 실시형태에 관한 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시·운전 방법을 실현한다. 처리부(12)는, 이들 컴퓨터 프로그램 및 데이터를 이용하여, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 동작을 제어한다. 또한, 다른 실시형태에서는, 기억부(13)가 이상 감시 장치(10)의 외부에 마련되어, 이상 감시 장치(10)가 통신회선을 통하여 기억부(13)에 액세스할 수 있도록 구성되어도 된다.
- [0037] 여기에서, 일반적인 마하라노비스 거리 D를 계산하기 위한 계산식에 대하여 설명한다.

[0038] 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태를 나타내는 복수의 상태량의 항목 수를 u 로 한다. u 는 2 이상의 정수이다. u 항목의 상태량을 각각 $X_1 \sim X_u$ 로 한다. 상태량 $X_1 \sim X_u$ 는, 감시 대상 데이터로 나타난다. 이상 감시 장치(10)는, 기준이 되는 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 운전 상태에 있어서, 각 항목의 상태량 $X_1 \sim X_u$ 를, 각각 합계 v 개(2 이상) 수집한다. 예를 들면, 각 항목의 상태량을 60개씩 취득하는 경우, $v=60$ 이 된다. 운전 상태에 있어서 수집된 각 항목의 j 개체의 상태량 $X_{1j} \sim X_{uj}$ 로 한다. j 는 1~ v 까지의 어느 한 값(정수)을 취하며, 각각의 상태량의 개수가 v 개인 것을 의미한다. 즉, 이상 감시 장치(10)는, 상태량 $X_{11} \sim X_{uv}$ 를 수집한다.

[0039] 이상 감시 장치(10)는, 상태량 $X_{11} \sim X_{uv}$ 의 항목 마다의 평균값 M_i 및 표준 편차 σ_i (기준 데이터의 편차 정도)를, 수학적 식 (1) 및 수학적 식 (2)에 따라 구한다. i 는 항목 수(상태량의 수, 정수)이다. 여기에서 i 는, 1~ u 로 설정되어, 상태량 $X_1 \sim X_u$ 에 대응하는 값을 나타낸다. 여기에서, 표준 편차란, 상태량과 그 평균값의 차이를 2제곱했지만 기댓값의 양의 제곱근으로 한다.

[0040] [수학적 식 1]

$$M_i = \frac{1}{v} \sum_{j=1}^v X_{ij} \quad \dots\dots\dots (1)$$

[0041]

[0042] [수학적 식 2]

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{v} \sum_{j=1}^v (X_{ij} - M_i)^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

[0043]

[0044] 상술한 평균값 M_i 및 표준 편차 σ_i 는, 특징을 나타내는 상태량이다. 이상 감시 장치(10)는, 연산된 평균값 M_i 및 표준 편차 σ_i 를 이용하여, 상태량 $X_{11} \sim X_{uv}$ 를, 하기의 수학적 식 (3)에 따라, 기준화된 상태량 $x_{11} \sim x_{uv}$ 로 변환한다. 즉, 이상 감시 장치(10)는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태량 X_{ij} 를, 평균 0, 표준 편차 1의 확률 변수 x_{ij} 로 변환한다. 또한, 하기의 수학적 식 (3)에 있어서, j 는 1~ v 까지의 어느 한 값(정수)을 취한다. 이는, 항목 마다의 상태량 개수가 v 개인 것을 의미한다.

[0045] [수학적 식 3]

$$x_{ij} = (X_{ij} - M_i) / \sigma_i \quad \dots\dots\dots (3)$$

[0046]

[0047] 변량을 평균 0, 분산 1로 표준화한 데이터로 분석을 행하기 위하여, 이상 감시 장치(10)는, 상태량 $X_{11} \sim X_{uv}$ 의 상관관계를 특정한다. 즉, 이상 감시 장치(10)는, 변량 사이의 관련성을 나타내는 공분산 행렬(상관 행렬) R , 및 공분산 행렬(상관 행렬)의 역행렬 R^{-1} 을 하기의 수학적 식 (4)로 정의한다. 또한, 하기의 수학적 식 (4)에 있어서, k 는 항목 수(상태량의 수)이다. 즉 k 는 u 와 동일하다. 또, i 및 p 는, 각 상태량에서의 값을 나타내고, 여기에서는 1~ u 의 값을 취한다.

[0048] [수학식 4]

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

$$R^{-1} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \cdots & a_{kk} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}^{-1} \quad \dots\dots\dots (4)$$

[0049] $r_{ip} = r_{pi} = \frac{1}{v} \sum_{j=1}^v x_{ij} x_{pj}$

[0050] 이상 감시 장치(10)는, 이러한 연산 처리 후에, 특징을 나타내는 상태량인 마하라노비스 거리 D를, 하기의 수학식 (5)에 근거하여 구한다. 또한, 수학식 (5)에 있어서, j는 1~v까지의 어느 한 값(정수)을 취한다. 이는, 항목 마다의 상태량 개수가 v개인 것을 의미한다. 또, k는 항목 수(상태량의 수)이다. 즉 k는 u와 동일하다. 또, $a_{11} \sim a_{kk}$ 는, 상술한 수학식 (4)에 나타내는 공분산 행렬 R의 역행렬 R^{-1} 의 계수이다.

[0051] [수학식 5]

$$D_j^2 = \frac{1}{k} (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{kj}) \cdot \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & \cdots & a_{kk} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_{1j} \\ x_{2j} \\ \vdots \\ x_{kj} \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$= \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sum_{p=1}^k a_{ip} x_{ij} x_{pj} = \frac{1}{k} (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{kj}) \cdot R^{-1} \cdot \begin{pmatrix} x_{1j} \\ x_{2j} \\ \vdots \\ x_{kj} \end{pmatrix}$$

[0052] 마하라노비스 거리 D는 기준 데이터이다. 단위 공간의 마하라노비스 거리 D의 평균값은 1이 된다. 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태량이 정상인 상태에서는, 마하라노비스 거리 D는 대략 3 이하로 좁혀진다. 그러나, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태량이 이상인 상태에서는, 마하라노비스 거리 D의 값은 대략 3보다 커진다. 이와 같이, 마하라노비스 거리 D는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태량의 이상 정도(단위 공간으로부터 떨어진 정도)에 따라, 값이 커진다는 성질을 갖는다.

[0054] 본 실시형태에 관한 이상 감시 장치(10)는, 마하라노비스 거리 D를 계산하기 위한 파라미터로서, 적어도, 열교환기(2)의 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 복수의 위치의 온도를 이용한다.

[0055] 열교환기(2)의 전열면(6)에 그을음이 축적되면, 전열면(6)에 있어서의 열교환의 효율이 저하된다. 그로 인하여, 열교환기(2)의 1차측에 있어서 연료의 온도가 저하되기 어려워진다. 이 때, 정상 시에 있어서의 열교환기(2)의 1차측의 입출구의 온도차와 이상 시에 있어서의 열교환기(2)의 1차측의 입출구의 온도차를 비교하면, 이상 시 쪽이 작아진다. 그로 인하여, 이상 감시 장치(10)는, 전열면(6)의 흐름 방향(G)에 있어서의 복수의 위치의 온도에 근거하여 마하라노비스 거리 D를 연산함으로써, 전열면(6)의 일부의 폐색에 의하여 열교환의 효율이 저하되는 것을 검지할 수 있다. 전열면(6)에 그을음이 축적됨으로써 열교환의 효율이 저하되는 상태는, 열교환기(2)의 1차측의 입출구의 차압이 상승하기(전열면(6)의 폐색 말기에 현저해진다) 전에 발생한다. 그로 인하여, 본 실시형태에 관한 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시운전 방법에 따르면, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 이상을, 1차측의 입출구의 차압의 상승이 현저해지기 전에, 판정할 수 있다.

[0056] 본 실시형태에 관한 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시운전 방법의 순서를 설명한다. 본 실시형태에 관한 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시운전 방법은, 도 1에 나타내는 이상 감시 장치(10)의 처리부(12)에서 실현된다.

[0057] 도 4는, 본 실시형태에 관한 탄소 함유 연료 열교환기의 감시운전 방법의 순서를 나타내는 플로차트이다.

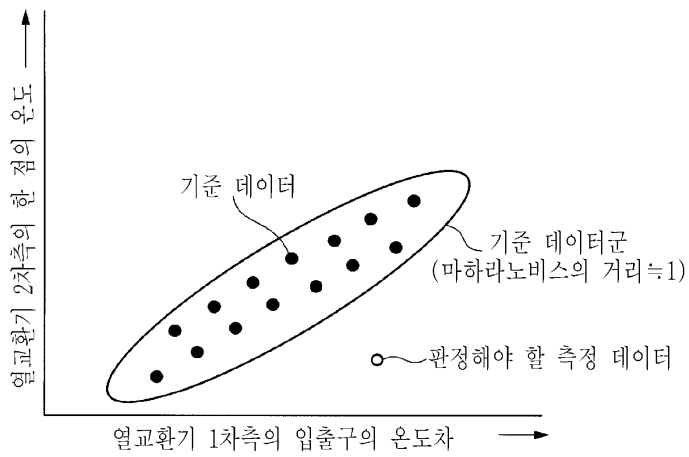
- [0058] 스텝 S1에서는, 처리부(12)가, 현재의 상태량 취득 기간에 있어서, 탄소 함유 연료 열교환기(1)로부터 상태량을 나타내는 감시 대상 데이터를 취득한다. 이 상태량은, 예를 들면, 탄소 함유 연료 열교환기(1)에 장착되는 각종 센서류로부터 미리 정해진 시간 간격으로 정기적으로 취득된다. 상태량은, 이상 감시 장치(10)의 기억부(13)로 저장된다.
- [0059] 스텝 S2에서는, 처리부(12)가, 기억부(13)에 격납된 상태량에 대하여, 상기 수학식에 따라 마하라노비스 거리를 각각 연산한다.
- [0060] 스텝 S3에서는, 처리부(12)가, 미리 설정해둔 임곗값과, 선행하는 스텝 S2에서 구한 마하라노비스 거리를 비교한다. 처리부(12)는, 그 마하라노비스 거리가, 당해 임곗값을 초과하는지 여부를 판단한다. 처리부(12)는, 스텝 S3에서의 판단 결과에 근거하여, 마하라노비스 거리가, 당해 임곗값을 초과한 YES인 경우에 “이상”이라고 판정한다(스텝 S4). 처리부(12)는, 마하라노비스 거리가, 당해 임곗값을 초과하지 않은 NO인 경우에 “정상”이라고 판정한다(스텝 S5).
- [0061] 처리부(12)가, 마하라노비스 거리에 근거하여 탄소 함유 연료 열교환기(1)가 이상이라고 판정한 경우, 스텝 S6에 있어서, 이상 감시 장치(10)는, 그을음 제거 장치(5)의 운용 조건을 변경한다. 이로써, 이상 감시 장치(10)는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)에 그을음이 소결되어 폐색이 발생하기 전에, 그을음 제거 장치(5)에 의하여 그을음 제거를 행할 수 있다. 그을음 제거 장치(5)의 운용 조건의 변경 방법으로서, 예를 들면, 사용 빈도를 늘리는 것 등을 들 수 있다. 운용 조건의 변경으로서 사용 빈도를 늘리는 경우, 이상 감시 장치(10)는, 그을음 제거 장치(5)의 운용 조건을 변경한 다음으로서, 스텝 S4에 있어서 탄소 함유 연료 열교환기(1)가 정상이라고 판정했을 때에, 운용 조건을 되돌리는 것이 바람직하다.
- [0062] 상술한 바와 같이, 마하라노비스 거리는, 단위 공간으로부터 떨어지면 떨어질수록, 이상의 정도에 따라 큰 값을 나타낸다. 마하라노비스 거리 D는, 기준 데이터이다. 단위 공간의 마하라노비스 거리 D의 평균값은 1이 된다. 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태량이 정상인 상태에서는, 마하라노비스 거리 D는, 대략 3 이하로 좁혀진다. 따라서, 예를 들면, 임곗값은, 단위 공간의 최댓값보다 큰 값으로 적절하게 설정될 수 있다. 또, 임곗값은, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 고유의 특성이나, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 제조 편차 등을 고려한 설정값을 이용할 수 있다.
- [0063] 이상 상세하게 설명한 바와 같이 본 실시형태에 나타나는 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시·운전 방법에 따르면, 마하라노비스 거리의 산출에, 적어도, 열교환기(2)의 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 복수의 위치의 온도가 이용된다.
- [0064] 열교환기(2)의 전열면(6)에 그을음이 축적되면, 전열면(6)에 있어서의 열교환의 효율이 저하된다. 그로 인하여, 열교환기(2)의 전열면(6)에 있어서 연료의 온도가 저하되기 어려워진다. 이 때, 정상 시에 있어서의 열교환기(2)의 전열면(6)의 온도와 이상 시에 있어서의 열교환기(2)의 전열면(6)의 온도의 차는, 흐름 방향(G)의 상류보다 흐름 방향(G)의 하류 쪽이 커진다. 그로 인하여, 이상 감시 장치(10)는, 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 복수의 위치의 온도에 근거하여 마하라노비스 거리 D를 연산함으로써, 전열면(6)의 일부의 폐색에 의하여 열교환의 효율이 저하되는 것을 검지할 수 있다. 전열면(6)에 그을음이 축적됨으로써 열교환의 효율이 저하되는 상태는, 열교환기(2)의 1차측의 입출구의 차압이 상승하고, 전열면(6)의 폐색이 현저해지기 전에 발생한다. 그로 인하여, 본 실시형태에 관한 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시·운전 방법에 따르면, 이상 감시 장치(10)는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 이상을, 1차측의 입출구의 차압의 상승이 현저해지기 전에, 판정할 수 있다.
- [0065] 또, 본 실시형태에 나타나는 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시·운전 방법에 따르면, 이상 감시 장치(10)는, 열교환기(2)의 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 복수의 위치의 온도에 더하여, 추가로 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 입출구의 차압, 1차측에 있어서의 유량, 2차측의 흐름 방향(W)의 복수의 온도, 및 전열관(4) 내의 열교환 매체의 유량을 이용하여 마하라노비스 거리를 산출한다. 이로써, 이상 감시 장치(10)는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 이상을 정밀하게 판정할 수 있다. 또한, 본 실시형태에서는, 이상 감시 장치(10)는, 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 입출구의 차압, 1차측에 있어서의 유량, 2차측의 흐름 방향(W)의 복수의 온도, 및 전열관(4) 내의 열교환 매체의 유량을 이용하여 마하라노비스 거리를 산출하는 경우에 대하여 설명했지만, 이에 한정되지 않는다. 예를 들면, 다른 실시형태에서는, 이상 감시 장치(10)는, 열교환기(2)의 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 복수의 위치의 온도에 더하여, 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 입출구의 차압, 1차측에 있어서의 유량, 2차측의 흐름 방향(W)의 복수의 온도, 또는 전열관(4) 내의 열교환 매체의 유량 중 적어도 어느 하나를 이용하여 마하라노비스 거리를 산출해도 된다.

- [0066] (제2 실시형태)
- [0067] 본 발명의 제2 실시형태에 대하여 도 5를 참조하여 설명한다. 이 제2 실시형태에 나타나는 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시·운전 방법이, 제1 실시형태와 다른 것은, 1차측의 흐름 방향(G)의 복수의 범위의 각각에 대하여, 마하라노비스 거리를 각각 연산하는 점이다.
- [0068] 즉, 도 5에 나타나는 바와 같이, 이상 감시 장치(10)는, 제1 실시형태에 나타나는 마하라노비스 거리를 연산하는 마하라노비스 거리 연산 과정(B)을 대신하여, 부호 B' 로 나타나는 복수의 마하라노비스 거리 연산 과정에서 복수의 마하라노비스 거리를 구한다. 또, 이상 감시 장치(10)는, 제1 실시형태에 나타나는 연산된 마하라노비스 거리를 임곗값과 비교하는 비교 과정(C)을 대신하여, 부호 C' 로 나타나는 복수의 비교 과정에서, 각 마하라노비스 거리와 임곗값을 비교한다.
- [0069] 구체적으로는, 처리부(20)는, 도 5에 나타나는 바와 같이, 감시 대상 데이터 취득 과정(A)과, 마하라노비스 거리 연산 과정(B')과, 비교 과정(C')과, 이상 판정 과정(D)과, 운용 조건 변경 과정(E)을 각 연산부에서 행한다. 감시 대상 데이터 취득 과정(A)은, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 상태량을 나타내는 감시 대상 데이터를 취득하는 과정이다. 마하라노비스 거리 연산 과정(B')은, 취득한 감시 대상 데이터에 근거하여, 1차측의 흐름 방향(G)의 복수의 범위마다, 마하라노비스 거리를 연산하는 과정이다. 비교 과정(C')은, 연산된 각 마하라노비스 거리를 임곗값과 비교하는 과정이다. 이상 판정 과정(D)은, 마하라노비스 거리와 임곗값의 비교 결과에 따라 이상의 유무를 판정하는 과정이다. 운용 조건 변경 과정(E)은, 이상 판정 결과에 근거하여, 그을음 제거 장치(5)의 운용 조건을 변경한다.
- [0070] 이로써, 이상 감시 장치(10)는, 이상 판정 과정(D)에서, 열교환기(2)의 1차측의 흐름 방향(G)의 어느 위치에 있어서, 이상이 발생하고 있는지를 판정할 수 있다. 또, 이로써, 이상 감시 장치(10)는, 운용 조건 변경 과정(E)에서, 열교환기(2) 중 이상이 발생하고 있는 개소에 대하여, 중점적으로 그을음 제거 장치(5)를 동작시키도록, 운용 조건을 변경할 수 있다.
- [0071] 제2 실시형태에 나타나는 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시·운전 방법에서도, 이상 감시 장치(10)는, 제1 실시형태와 동일하게, 적어도, 열교환기(2)의 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 복수의 위치의 온도를 이용한다. 그로 인하여, 본 실시형태에 관한 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시·운전 방법에 따르면, 이상 감시 장치(10)는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 이상을, 1차측의 입출구의 차압의 상승이 현저해지기 전에, 판정할 수 있다.
- [0072] 본 실시형태에 나타나는 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 감시·운전 방법에 따르면, 이상 감시 장치(10)는, 제1 실시형태와 동일하게, 열교환기(2)의 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 복수의 위치의 온도에 더하여, 추가로 1차측의 흐름 방향(G)에 있어서의 입출구의 차압, 1차측에 있어서의 유량, 2차측의 흐름 방향(W)의 복수의 온도, 및 전열관(4) 내의 열교환 매체의 유량을 이용하여 마하라노비스 거리를 산출한다. 이로써, 이상 감시 장치(10)는, 탄소 함유 연료 열교환기(1)의 이상을 정밀하게 판정할 수 있다.
- [0073] 이상, 본 발명의 실시형태에 대하여 도면을 참조하여 상세하게 서술했지만, 구체적인 구성은 이 실시형태에 한정되는 것은 아니고, 본 발명의 요지를 일탈하지 않는 범위의 설계 변경 등도 포함된다.
- [0074] (산업상 이용가능성)
- [0075] 1차측의 흐름 방향에 있어서의 복수의 위치의 온도에 근거하여 마하라노비스 거리를 연산함으로써, 전열면의 일부의 폐색에 의하여 열교환의 효율이 저하되는 것을 검지할 수 있다. 이로써, 탄소 함유 연료 열교환기의 이상을 조기에 판정할 수 있다.

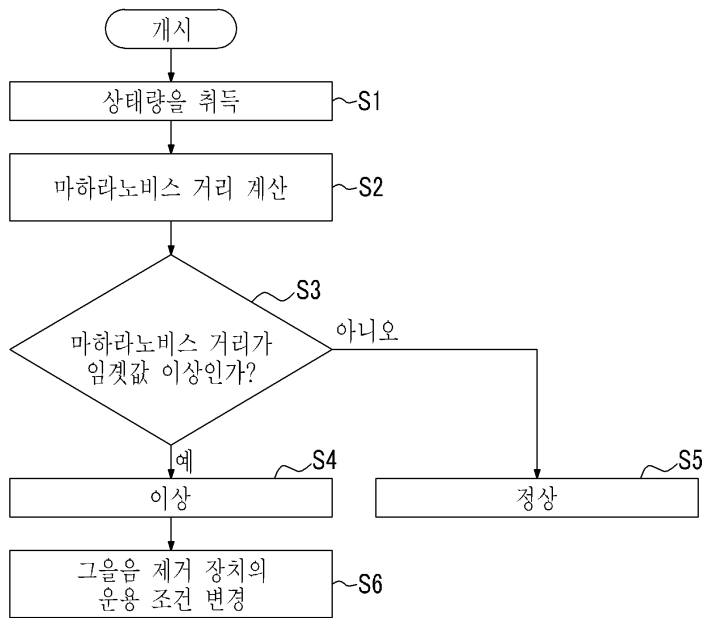
부호의 설명

- [0076] 1 : 탄소 함유 연료 열교환기
- 2 : 열교환기
- 12 : 처리부
- 20 : 처리부

도면3



도면4



도면5

