



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년10월22일  
(11) 등록번호 10-2035266  
(24) 등록일자 2019년10월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01M 3/24 (2006.01) G01B 17/04 (2006.01)  
G01H 5/00 (2006.01) G01N 29/12 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01M 3/24 (2013.01)  
G01B 17/04 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2017-0040267  
(22) 출원일자 2017년03월29일  
심사청구일자 2017년03월29일  
(65) 공개번호 10-2018-0110543  
(43) 공개일자 2018년10월10일  
(56) 선행기술조사문헌  
JP10160615 A\*  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
한국원자력연구원  
대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)  
한국전자통신연구원  
대전광역시 유성구 가정로 218 (가정동)  
(72) 발명자  
윤두병  
대전광역시 유성구 엑스포로123번길 65-38 201동  
2304호  
문순성  
대전광역시 유성구 유성대로 1741 105동 1308호(전민동, 세종아파트)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인씨엔에스

전체 청구항 수 : 총 10 항

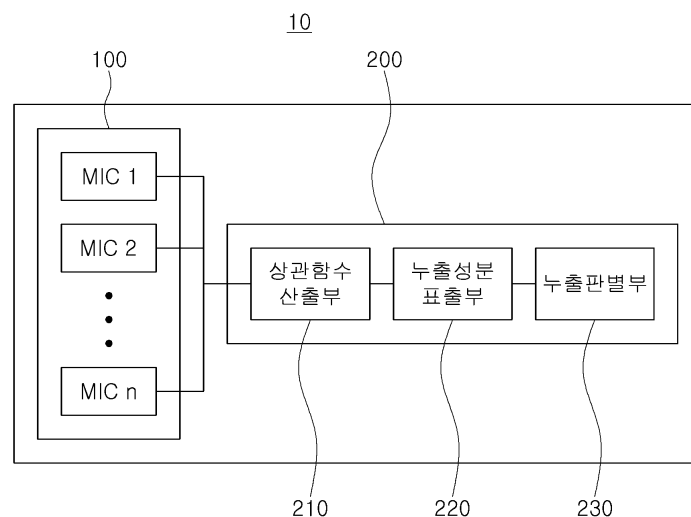
심사관 : 홍기정

(54) 발명의 명칭 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지 장치 및 이를 이용한 미세누출 탐지 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예는, 누출탐지 대상으로부터 발생하는 누출음을 포함하는 음향 신호를 감지하는 감지부; 및 상기 감지부가 감지한 음향 신호를 분석하여 상기 누출탐지 대상의 누출 여부를 판별하는 신호처리부;를 포함하고, 상기 신호처리부는, 상기 음향 신호의 상관함수를 산출하는 상관함수산출부; 상기 상관함수에 포함되어 있는 상기 누출음의 누출신호성분을 표출하는 누출성분표출부; 및 상기 누출신호성분에서 델타함수 형태의 피크가 검출되면, 상기 누출탐지 대상에서 누출이 발생한 것으로 판별하는 누출판별부;를 포함하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지장치를 제공한다.

대표도 - 도1



- (52) CPC특허분류  
**G01H 5/00** (2013.01)  
**G01N 29/12** (2013.01)
- (72) 발명자  
**양봉수**  
 제주특별자치도 제주시 신성로 14-27 (도남동)
- 박진호**  
 대전광역시 유성구 관평1로 12, 701동 1301호 (관평동, 대덕테크노밸리7단지아파트)
- 김관중**  
 대전광역시 서구 신갈마로 102, 302동 601호
- 배지훈**  
 대전광역시 유성구 배울2로 42, 504동 201호
- 오세원**  
 대전광역시 서구 둔지로 75, 103동 705호
- 임완선**  
 대전광역시 유성구 지족로 317, 106동 1004호(지족동, 반석마을아파트1단지)
- 김내수**  
 대전광역시 대덕구 동춘당로 178, 104동 1303호
- 표철식**  
 대전광역시 서구 청사로 148번지 1914호
- (56) 선행기술조사문헌  
 JP10281921 A\*  
 JP2008051776 A\*  
 KR100883446 B1\*  
 KR100888320 B1\*  
 WO2014050358 A1\*  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	CRC-15-05-ETRI
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	국가과학기술연구회
연구사업명	융합연구사업(미래선도형 융합연구단사업)
연구과제명	자가학습형 지식융합 슈퍼브레인 핵심기술 개발
기 여 율	1/1
주관기관	한국전자통신연구원 KSB융합연구단
연구기간	2015.12.01 ~ 2018.11.30

공지예외적용 : 있음

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

누출탐지 대상에서 누출이 발생된 영역으로부터 발생하는 누출음을 포함하는 음향 신호를 감지하는 감지부; 및 상기 감지부가 감지한 음향 신호를 분석하여 상기 누출탐지 대상의 누출 여부를 판별하는 신호처리부;를 포함하고,

상기 신호처리부는,

상기 음향 신호의 상관함수를 산출하는 상관함수산출부;

상기 상관함수에 포함되어 있는 상기 누출음의 누출신호성분을 표출하는 누출성분표출부; 및

상기 누출신호성분에서 델타함수 형태의 피크가 검출되면, 상기 누출탐지 대상에서 누출이 발생한 것으로 판별하는 누출판별부;를 포함하며,

상기 누출성분표출부는 상기 상관함수를 웨이블릿 변환(wavelet transform)하여 상기 누출신호성분을 표출하고,

상기 델타함수 형태의 피크의 폭은, 상기 누출탐지 대상에서 상기 누출이 발생된 영역의 크기를 음속으로 나눈 값과 같은 것을 특징으로 하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세 누출 탐지장치.

**청구항 2**

제1항에 있어서,

상기 감지부는 적어도 하나의 음향센서를 포함하며,

상기 상관함수는 자기상관함수(auto-correlation function)인 것을 특징으로 하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지장치.

**청구항 3**

제1항에 있어서,

상기 감지부는 복수개의 음향센서를 포함하며,

상기 상관함수는 상기 복수개의 음향센서로부터 각각 전송된 음향 신호들의 상호상관함수(cross-correlation function)인 것을 특징으로 하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지장치.

**청구항 4**

제1항에 있어서,

상기 감지부는 복수개의 음향센서를 포함하며,

상기 누출판별부는, 상기 델타함수 형태의 피크가 상기 복수개의 음향센서에서 감지된 음향 신호에서 산출한 각각의 상관함수에서 전부 검출되면 상기 누출탐지 대상에서 누출이 발생한 것으로 판별하는 것을 특징으로 하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지장치.

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

누출탐지 대상에서 누출이 발생된 영역으로부터 발생하는 누출음을 포함하는 음향 신호를 감지하는 단계;

상기 음향 신호의 상관함수를 산출하는 단계;

상기 상관함수에 포함되어 있는 상기 누출음의 누출신호성분을 표출시키는 단계; 및

상기 누출신호성분에서 델타함수 형태의 피크가 검출되면, 상기 누출탐지 대상에서 누출이 발생한 것으로 판별하는 단계;를 포함하며,

상기 상관함수에 포함되어 있는 상기 누출음의 누출신호성분을 표출시키는 단계는 상기 상관함수를 웨이블릿 변환(wavelet transform)하여 상기 누출신호성분을 표출하고,

상기 델타함수 형태의 피크의 폭은, 상기 누출탐지 대상에서 상기 누출이 발생된 영역의 크기를 음속으로 나눈 값과 같은 것을 특징으로 하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지방법.

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

삭제

**청구항 9**

삭제

**청구항 10**

제6항에 있어서,

상기 웨이블릿 변환은 상기 누출탐지 대상에서 상기 누출이 발생된 영역의 크기를 음속으로 나눈 값보다 작거나 같은 폭을 갖는 신호성분의 파형을 웨이블릿 기저함수(wavelet basis function)로 하는 것을 특징으로 하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세 누출 탐지방법.

**청구항 11**

제6항에 있어서,

상기 상관함수는 자기상관함수(auto-correlation function) 또는 상호상관함수(cross-correlation function)인 것을 특징으로 하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지방법.

**청구항 12**

제6항에 있어서,

상기 델타함수 형태의 피크는 시간지연( $\tau$ ) 영역에 대해 랜덤신호(random signal)인 것을 특징으로 하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지방법.

**청구항 13**

제6항에 있어서,

상기 상관함수는 상기 누출탐지 대상의 진동에 의해 발생한 제1 신호 및 상기 누출음에 의해 발생한 제2 신호를 포함하며,

상기 누출신호성분은 상기 제2 신호인 것을 특징으로 하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지방법.

#### 청구항 14

제13항에 있어서,

상기 제1 신호는 상기 제2 신호보다 완만한 형태의 피크를 갖는 것을 특징으로 하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지방법.

#### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지 장치 및 이를 이용한 미세누출 탐지 방법에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 발전소와 같은 플랜트의 경우, 초기 건설 시에 설치된 배관 설비가 노후화됨에 따라, 배관이 감육(wall-thinning)되어 누출(leakage)이 발생할 수 있다. 노후화된 플랜트의 배관 설비에서 발생할 수 있는 누출을 감지하기 위해, 종래에는, 마이크론을 이용하여 배관 설비에서 발생한 음향 신호를 검출하는 방법이 사용되었다. 일 예로, 마이크론에 검출된 음향 신호에 고주파 영역(예를 들어, 40kHz)의 주파수 성분이 있는지를 확인하여 누출여부를 판단하였다.

[0003] 그러나, 플랜트에서는 기계(회전체) 운전에 의해 배관 설비에서 다양한 종류의 고주파 소음이 발생할 수 있으므로, 고주파 영역의 신호를 기준으로 누출여부를 판단할 경우에는 정확도가 낮은 문제가 있었다.

#### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국특허공개 제2012-0060449호 (2012.06.12 공개)

#### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 일 실시예의 목적은, 검출된 음향 신호의 시간적 특성 및 공간적 특성을 고려하여, 정밀도가 높은 미세누출 탐지 장치 및 이를 이용한 미세누출 탐지방법을 제공하고자 하는 데에 있다.

#### 과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 실시예는, 누출탐지 대상으로부터 발생하는 누출음을 포함하는 음향 신호를 감지하는 감지부; 및 상기 감지부가 감지한 음향 신호를 분석하여 상기 누출탐지 대상의 누출 여부를 판별하는 신호처리부;를 포함하고, 상기 신호처리부는, 상기 음향 신호의 상관함수를 산출하는 상관함수산출부; 상기 상관함수에 포함되어 있는 상기 누출음의 누출신호성분을 표출하는 누출성분표출부; 및 상기 누출신호성분에서 델타함수 형태의 피크가 검출되면, 상기 누출탐지 대상에서 누출이 발생한 것으로 판별하는 누출판별부;를 포함하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지장치를 제공한다.

[0007] 본 발명의 일 실시예는, 누출탐지 대상으로부터 발생하는 누출음을 포함하는 음향 신호를 감지하는 단계; 상기 음향 신호의 상관함수를 산출하는 단계; 상기 상관함수에 포함되어 있는 상기 누출음의 누출신호성분을 표출시키는 단계; 및 상기 누출신호성분에서 델타함수 형태의 피크가 검출되면, 상기 누출탐지 대상에서 누출이 발생한 것으로 판별하는 단계;를 포함하는 누출음의 시공간 특성을 이용한 미세누출 탐지방법을 제공한다.

**발명의 효과**

[0008] 본 발명의 일 실시예에 의하면, 감지된 음향 신호의 상관함수를 산출하고 배관 설비의 잡음성분을 제거(또는 분리)함으로써, 검출된 음향 신호의 시간 지연 영역에서의 시간적 특성 및 공간적 특성을 고려하여 신뢰도가 높은 미세누출 탐지 장치 및 이를 이용한 미세누출 탐지방법을 제공하고자 하는 데에 있다.

[0009] 본 발명의 다양하면서도 유익한 장점과 효과는 상술한 내용에 한정되지 않으며, 본 발명의 구체적인 실시형태를 설명하는 과정에서 보다 쉽게 이해될 수 있을 것이다.

**도면의 간단한 설명**

[0010] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 미세누출 탐지 장치를 개략적으로 도시한 블록도이다.  
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 미세누출 탐지 장치를 배관 설비에 적용한 것을 도시한 도면이다.  
 도 3(a) 및 도 3(b)는 본 발명의 누출음 탐지 원리를 설명하기 위한 도면이다.  
 도 4(a) 내지 도 4(d)는 펌프운전환경에서 누출이 발생하는 경우에 도 2의 MIC1 ~ MIC4에서 감지된 음향 신호 그래프이다.  
 도 5(a) 내지 도 5(d)는 음향 신호의 자기상관함수 그래프이다.  
 도 6(a) 내지 도 6(d)는 누출성분표출과정을 거친 자기상관함수 그래프이다.  
 도 7은 본 발명의 일 실시예에 의한 상관함수의 웨이블릿 변환 그래프이다.  
 도 8(a)는 본 발명의 일 실시예에 의한 상호상관함수 그래프이다.  
 도 8(b)는 도 8(a)의 상호상관함수를 필터링한 결과값을 도시한 것이다.  
 도 8(c)는 도 8(a)의 상호상관함수에 대한 웨이블릿 변환 결과를 도시한 것이다.  
 도 9는 본 발명의 일 실시예에 의한 누출 탐지 방법을 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0011] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 설명한다. 그러나, 본 발명의 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명하는 실시예로 한정되는 것은 아니다. 또한, 본 발명의 실시예는 당해 기술분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 더하여 도면에서 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있다.

[0012] 발전소와 같은 플랜트의 경우, 배관 설비가 노후화됨에 따라, 미세누출(small-leakage)이 발생할 수 있다.

[0013] 종래에는, 미세누출을 검출하기 위해, 마이크로폰을 이용하여 배관 설비에서 발생하는 음향 신호를 감지하고, 감지된 음향 신호에 고주파 영역(예를 들어 40kHz)의 신호가 있는지를 확인하여 누출여부를 판단하였다.

[0014] 그러나, 플랜트에서는 기계 운전에 의해 배관 설비에서 다양한 종류의 고주파 소음이 발생할 수 있으므로, 고주파 영역의 신호를 기준으로 누출여부를 판단할 경우에는 정확도가 낮은 문제가 있었다.

[0015] 본 발명자는 배관 설비와 같은 누출탐지 대상에서 발생하는 음향 신호가 배관 설비 자체에서 발생하는 소음(이

하 '진동음'이라 함)과 미세누출에 의해 발생한 소음(이하 '누출음'이라 함)이 선형 중첩(superposition)된 것임을 알게 되었으며, 배관 설비 자체에서 발생하는 진동음과 작은 구멍에서 발생하는 누출음이 서로 다른 시간적 특성 및 공간적 특성이 있음을 알게 되었다. 이러한 점으로부터, 배관 설비에서 발생한 음향 신호 중에서 누출음을 검출하여, 배관 설비의 누출여부를 판단할 수 있는 미세누출 탐지 장치 및 미세누출 탐지 방법을 발명할 수 있었다.

[0016] 도 3(a) 및 도 3(b)를 참조하여 본 발명의 미세누출 탐지 원리에 대해 설명한다.

[0017] 도 3(a)에 도시된 바와 같이, 소음원인 배관 설비에서 발생하는 소음을 이격되어 설치된 마이크로폰에서 측정하면, 측정되는 음향 신호(p)는 소음원의 시간적(주파수)특성( $Q(t)$ ) 이외에도 소음원의 공간분포 특성( $Q(\vec{r}_s)$ )에 영향을 받는다.  $Q(t)$

[0018] 이러한 음향 신호의 시간적 공간적 분포( $p(\vec{r}, t)$ )는 아래의 수학적 식 1과 같이 표현할 수 있다.

수학적 식 1

$$p(\vec{r}, t) = \int G(\vec{r}|\vec{r}_s, t) Q(\vec{r}_s, t) d\vec{r}_s$$

[0019]

[0020] 상기 수학적식1에서  $G(\vec{r}|\vec{r}_s, t)$  는 소음원에서 마이크로폰까지의 전달함수이고,  $Q(\vec{r}_s, t)$  는 소음원의 시간적 공간적 분포이다.

[0021] 음향 신호(p)에는 진동음과 누출음이 선형 중첩되어 있으며, 이 중 진동음은 미세누출부의 크기(d)에 비해 훨씬 큰 크기(D)인 구조물이 진동하며 발생하는 소음이므로, 발생된 소음원은 공간적으로 넓게 분포하게 되어, 서로 상관관계(진동 전파)를 갖게 된다. 또한, 시간적으로는 랜덤신호성분을 갖더라도, 진동음의 자기상관함수(auto correlation function)는 시간지연( $\tau$ ) 영역에 대하여 공간 분포에 의한 상관 관계 및 convolution 효과에 의해, 시간 지연 영역에서 완만한 피크의 형태를 갖게 된다. 이때, 파형의 폭( $\Delta \tau_{structure}$ )은 구조물의 크기(D)를 음속(c)로 나눈값과 실질적으로 같다. 따라서, 진동음의 상관함수에는 도 3(b)의 ② 및 ③과 같은 신호가 포함되게 된다.

[0022] 반면에, 일반적으로 누출음은 미세누출부의 작은 구멍을 통해 새어나오며 발생하는 소음이므로, 누출음의 자기상관함수는 공간적으로 파형의 폭( $\Delta \tau$ )이 좁은 델타 함수(delta function)에 가까운 특성을 가지며, 시간적으로는 랜덤 신호(random signal)의 특성을 갖게 된다. 이때, 파형의 폭( $\Delta \tau_{leak}$ )은 미세누출부의 크기(d)를 음속(c)로 나눈값과 실질적으로 같다. 따라서, 누출음의 상관함수에는 누출신호성분인 도 3(b)의 ①과 같은 신호가 포함되게 된다.

[0023] 그러므로, 음향 신호(p)의 상관함수 중 누출음에 해당하는 누출신호성분을 표출하고, 표출된 누출신호성분에서 파형의 폭( $\Delta \tau$ )이 좁은 델타함수 형태의 피크가 있는지를 확인하면, 배관 설비에서 누출이 발생하였는지 확인할 수 있는 것이다.

[0024] 이러한 점을 기초로, 도 1 및 도 2를 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 의한 미세누출 탐지장치에 대해 설명한

다.

- [0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 미세누출 탐지 장치를 개략적으로 도시한 블록도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 미세누출 탐지 장치를 배관 설비에 적용한 것을 도시한 도면이다.
- [0026] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 의한 미세누출 탐지장치(10)는 감지부(100) 및 신호처리부(200)를 포함할 수 있다.
- [0027] 상기 감지부(100)는 배관 설비(PF)에서 발생하는 소음의 음향 신호를 검출할 수 있는 적어도 하나의 음향센서를 포함할 수 있다. 일 실시예의 경우, 상기 음향센서가 마이크로폰(MIC1 ~ MICn)인 경우를 예로 들어 설명하고 있으나, 이에 한정하는 것은 아니다. 상기 마이크로폰(MIC1 ~ MICn)은 배관 설비(PF)의 적어도 한 곳에 설치되어, 배관 설비(PF)에서 발생하는 음향 신호를 감지하고 신호처리부(200)로 전송할 수 있다.
- [0028] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 미세누출 탐지 장치를 배관 설비에 적용한 것을 도시한 도면으로, 배관 설비(PF)의 각 모서리에 제1 내지 제4 마이크로폰(MIC1 ~ MIC4)이 배치된 경우를 예로 들어 설명한다. 다만, 마이크로폰의 배치는 도 2에 도시된 위치로 한정하는 것은 아니며, 다양한 위치에 배치할 수 있다. 배관 설비(PF)는 펌프(PUMP) 및 상기 펌프에 연결된 배관을 포함하며, 누출 지점(L)이 제1 마이크로폰(MIC1)에 가까운 배관(P1)에서 발생한 경우를 예를 들어 설명하고 있다. 도 4(a) 내지 도 4(d)는 마이크로폰(MIC1 ~ MIC4)에서 각각 검출된 배관 설비 진동음의 음향 신호 그래프이다.
- [0029] 상기 신호처리부(200)는, 상기 감지부(100)에서 검출된 음향 신호를 분석하여 상기 배관 설비(PF)의 누출여부를 판별하며, 상관함수산출부(210), 누출성분표출부(220) 및 누출판별부(230)를 포함할 수 있다. 일 예에서 상기 신호처리부(200)는 데스크톱 컴퓨터, 랩톱 컴퓨터, 태블릿 PC, 스마트폰 등의 컴퓨터 장치로 구현될 수 있다.
- [0030] 상기 상관함수산출부(210)는, 검출된 음향 신호의 시간지연( $\tau$ ) 영역에 대한 상관함수(correlation function)를 산출하여 누출성분표출부(220)로 전송하며, 상관함수는 자기상관함수(auto-correlation function) 또는 상호상관함수(cross-correlation function)일 수 있다. 자기상관함수(auto-correlation function)는 하나 이상의 마이크로폰이 설치된 경우에 적용할 수 있으며, 상호상관함수(cross-correlation function)는 복수개의 마이크로폰이 설치된 경우에 적용할 수 있다.
- [0031] 도 5(a) 내지 도 5(d)는 상기 상관함수산출부(210)에서 각각 제1 내지 제4 마이크로폰(MIC1 ~ MIC4)에서 감지된 음향 신호에서 산출된 자기상관함수를 도시한 그래프이다. 산출된 자기상관함수는 동일한 소음원로부터 산출되어 전체적으로 유사한 파형을 갖는 것을 볼 수 있다. 누출 지점(L)과 가까운 제1 마이크로폰(MIC1)에서는 파형의 진폭이 더욱 크게 산출되나, 전체적으로 제2 내지 제4 마이크로폰(MIC2 ~ MIC4)에서 검출된 음향 신호에서 산출된 자기상관함수의 파형과 유사함을 알 수 있다.
- [0032] 상기 누출성분표출부(220)는, 산출된 자기상관함수를 필터링(filtering)하거나 웨이블릿 변환(wavelet transform)하여 상기 상관함수에 포함된 누출음성분을 표출시킬 수 있다. 상기 누출성분표출부(220)는 산출된 자기상관함수에서 파형의 폭( $\Delta \tau$ )이 좁은 성분이 표출되도록 필터링함으로써, 산출된 상관함수에서 완만한 피크 형상의 배관 설비의 진동음 성분은 제거되고, 폭이 좁은 델타 함수 형태의 누출음 성분은 남도록, 누출음의 상관함수만 잔존하게 할 수 있다.
- [0033] 구체적으로, 상기 누출성분표출부(220)는 산출된 자기상관함수에서 찾고자 하는 크기의 누출부에서 발생한 누출음 성분을 필터링할 수 있도록, 누출이 발생된 영역의 크기를 음속으로 나눈 값보다 작거나 같은 누출음 성분만 통과하도록 할 수 있다.
- [0034] 도 6(a) 내지 도 6(d)는 필터링을 통해, 누출성분표출과정을 거친 자기상관함수 그래프를 도시한 것으로, 각각 시간지연( $\tau$ ) 영역에 대해 거의 동일한 형상의 델타 함수(delta function) 형태의 피크(DF1 ~ DF4)가 포함된 것을 볼 수 있다.



[0035] 따라서, 제1 내지 제4 마이크로폰(MIC1 ~ MIC4)에서 검출된 음향 신호를 필터링하여 도 6(a) 내지 도 6(d)와 같은 누출음의 자기상관함수를 표출한 후, 델타 함수 형태의 피크가 검출되는 지를 확인하면, 배관 설비(PF)에서 누출이 발생하였는지를 손쉽게 확인할 수 있는 것이다.

[0036] 또한, 누출성분표출부(220)는 웨이블릿 기저함수(basis function)의 폭( $\Delta \tau$ )을 변경하면서 누출음 성분을 표출시킴으로써, 웨이블릿변환 결과의 상부에는 폭이 좁은 델타 함수 형태의 누출음 성분이 잔존하게 할 수 있다. 구체적으로, 상기 누출성분표출부(220)는 산출된 자기상관함수에서 찾고자 하는 크기의 누출부에서 발생한 누출음 성분을 표출할 수 있도록, 누출이 발생된 영역의 크기를 음속으로 나눈 값보다 작거나 같은 폭을 갖는 신호 성분의 파형을 웨이블릿 기저함수(wavelet basis function)로 함으로써, 웨이블릿변환 결과의 상부에는 폭이 좁은 델타 함수 형태의 누출음 성분이 잔존하게 할 수 있다. 도 7은 웨이블릿 변환된 예를 도시한 것으로, 웨이블릿 변환된 결과값의 상부에 파형 폭( $\Delta \tau$ )이 좁은 델타 함수 형태의 성분(DF5)이 검출된 것을 확인할 수 있다. 일 실시예의 경우 맥시칸 햇 기저함수(Mexican Hat basis function)를 웨이블릿 기저함수로 사용하였으나, 이에 한정하는 것은 아니며 다양한 종류의 웨이블릿 변환을 적용할 수 있다.

[0037] 따라서, 제1 내지 제4 마이크로폰(MIC1 ~ MIC4)에서 검출된 음향 신호를 웨이블릿 변환한 결과값에 델타 함수 형태의 피크가 검출되는 지를 확인하면, 배관 설비(PF)에서 누출이 발생하였는지를 손쉽게 확인할 수 있는 것이다.

[0038] 또한, 이러한 델타 함수 형태의 피크는 복수개의 마이크로폰에서 검출된 음향 신호에서 산출된 상호상관함수에도 적용할 수 있다. 도 8(a) 내지 도 8(c)는 2개의 마이크로폰에서 산출된 상호상관함수와 누출성분이 표출된 결과를 도시한 것이다. 도 8(a)는 본 발명의 일 실시예에 의한 상호상관함수 그래프이고, 도 8(b)는 도 8(a)의 상호상관함수를 필터링한 결과값을 도시한 것이며, 도 8(c)는 도 8(a)의 상호상관함수에 대한 웨이블릿 변환 결과를 도시한 것이다.

[0039] 필터링을 거치면 앞서 설명한 자기상관함수와 유사하게 델타 함수 형태의 피크(DF6)가 표출되는 것을 볼 수 있으며, 웨이블릿 변환한 경우에도 파형 폭( $\Delta \tau$ )이 좁은 델타 함수 형태의 피크가 표출되는 것을 볼 수 있다.

[0040] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 의한 미세누출 탐지 방법을 설명하기 위해 제공되는 흐름도이다.

[0041] 도 9를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 의한 미세누출 탐지 방법은, 배관 설비에서 발생하는 음향 신호를 감지하는 것(S10)으로 시작할 수 있다. 음향 신호를 감지하는 것은 감지부에 의해 이루어질 수 있다. 일 실시예에서, 상기 감지부는 마이크로폰일 수 있다. 감지부는 검출된 음향 신호를 분석하고 배관 설비의 누출 여부를 판별하는 신호처리부로 전송할 수 있다.

[0042] 신호처리부는 검출된 음향 신호에서 상관함수를 산출하고(S20), 산출된 상관함수에서 배관 설비의 진동음신호 성분을 제거하여 누출신호를 표출(S30)한 후, 그 결과값에서 델타 함수 형태의 피크를 검출하여 배관 설비의 미세누출을 판별(S40)할 수 있다.

[0043] 본 발명의 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명하는 실시예로 한정되는 것은 아니다. 또한, 본 발명의 실시예는 당해 기술분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 더하여 도면에서 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있다.

**부호의 설명**

- [0044] 10: 누출 탐지장치
- 100: 감지부
- 200: 신호처리부

210: 상관함수산출부

220: 누출성분표출부

230: 누출판별부

MIC1 ~ MICn: 마이크로폰

L: 누출지점

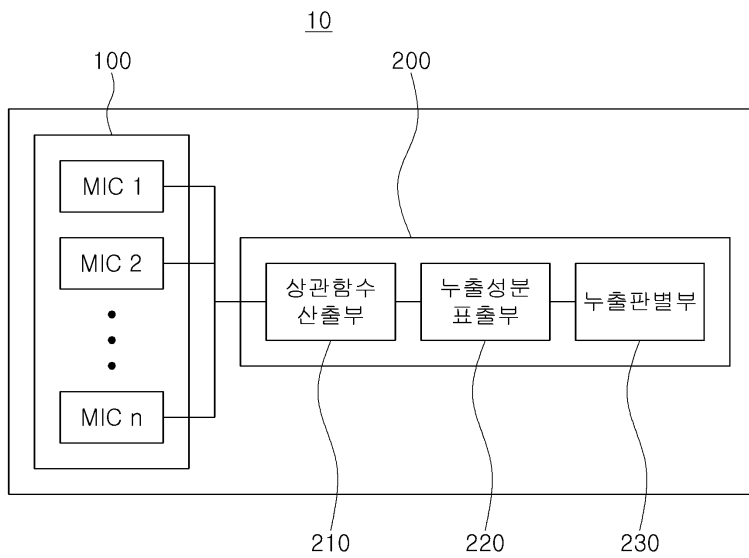
P1: 배관

PF: 배관 설비

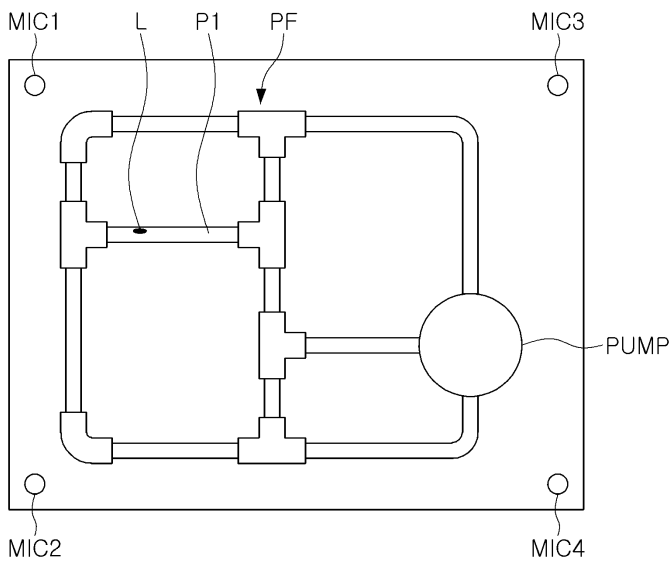
PUMP: 펌프

**도면**

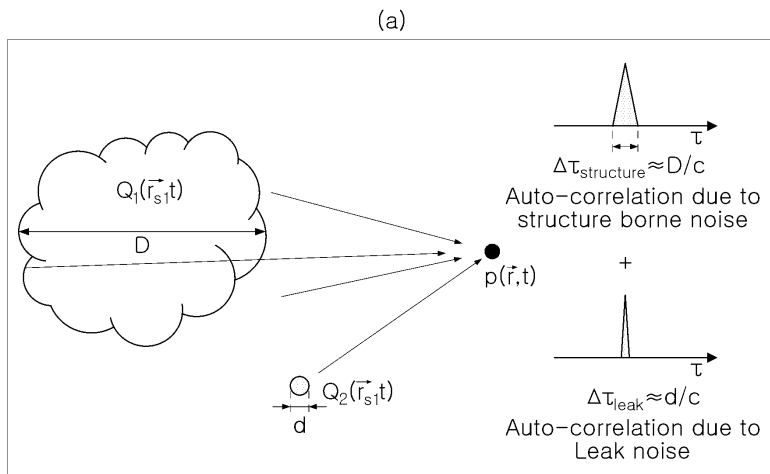
**도면1**



**도면2**



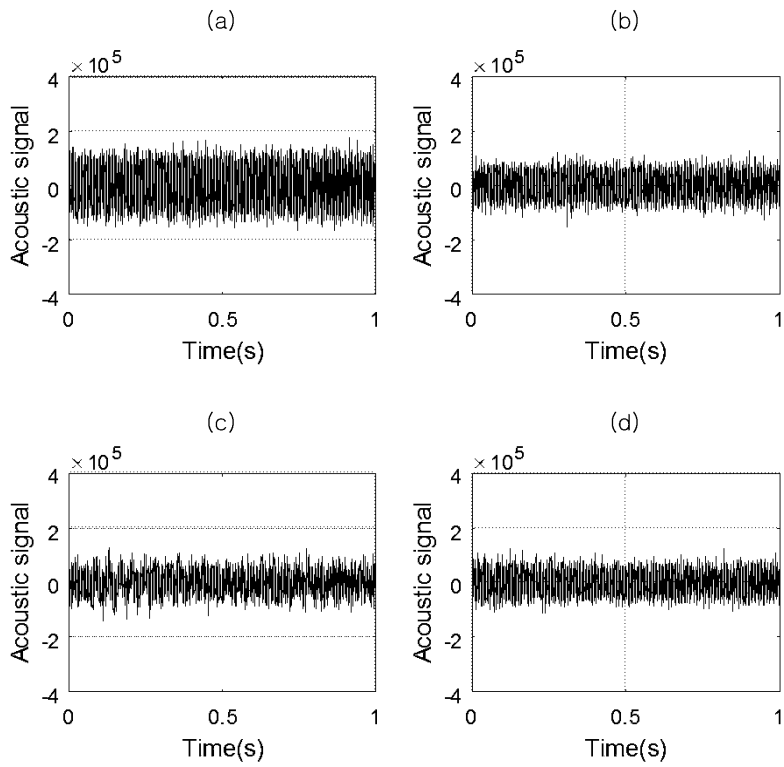
도면3



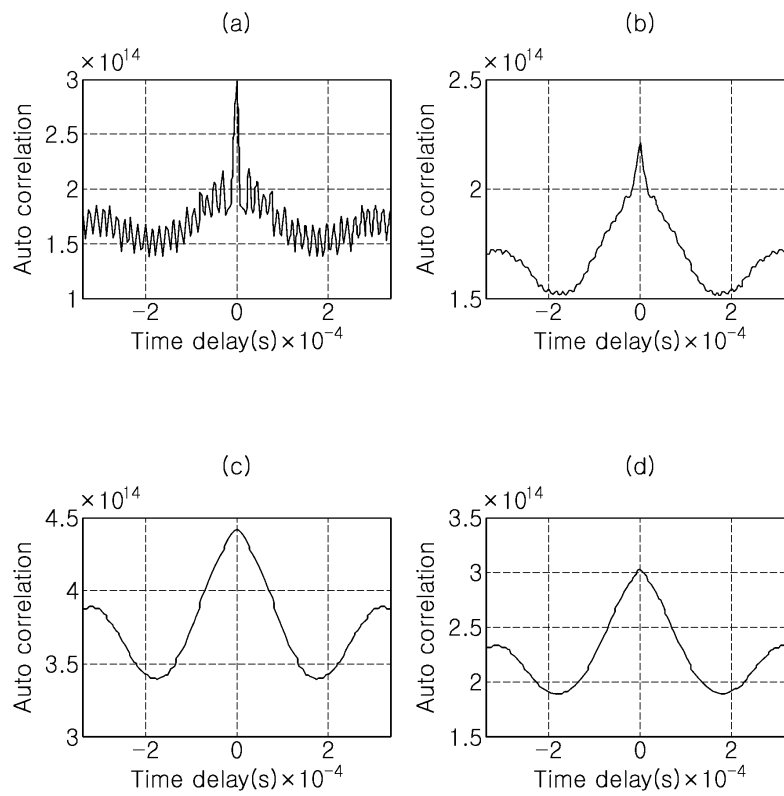
(b)

시간적 특성 \ 공간적 특성	랜덤신호 (random signal)	주기적신호 (periodic signal)
미세누출부	①	③
구조물진동	②	③

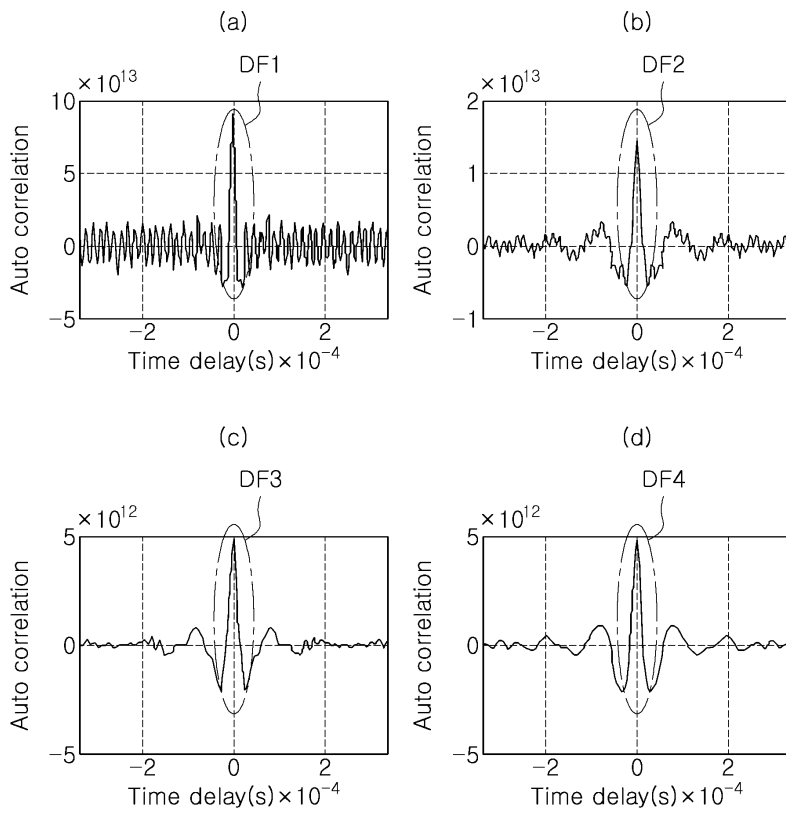
도면4



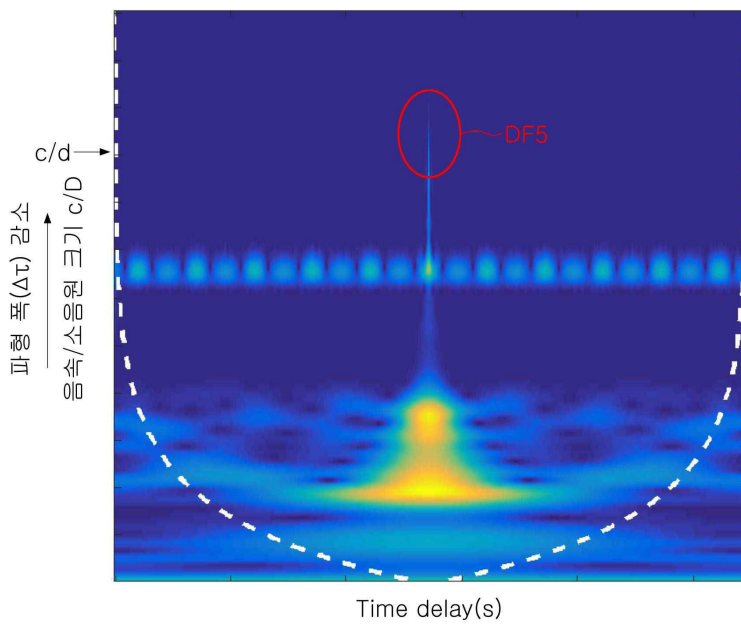
도면5



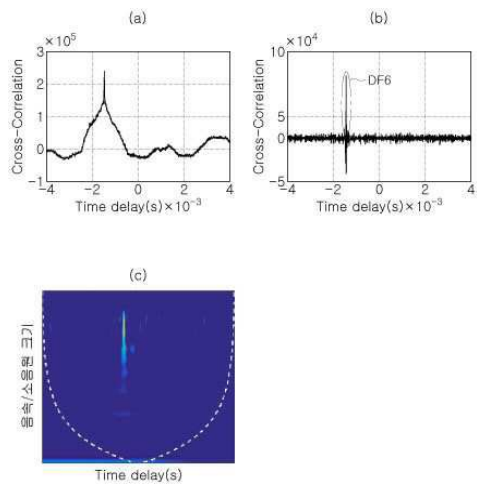
도면6



도면7



도면8



도면9

