



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0072038
(43) 공개일자 2025년05월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01M 3/24 (2006.01) F17C 5/06 (2006.01)
G01N 29/14 (2006.01) G01N 29/44 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01M 3/243 (2013.01)
F17C 5/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0158755
(22) 출원일자 2023년11월16일
심사청구일자 2023년11월16일

(71) 출원인
울산대학교 산학협력단
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)
(72) 발명자
김종면
울산광역시 울주군 범서읍 장검길 88, 106동 180
2호 (울산 문수산 더샵)
이상호
경기도 성남시 분당구 장미로 101, 821동 806호
(야탑동, 장미마을)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 18 항

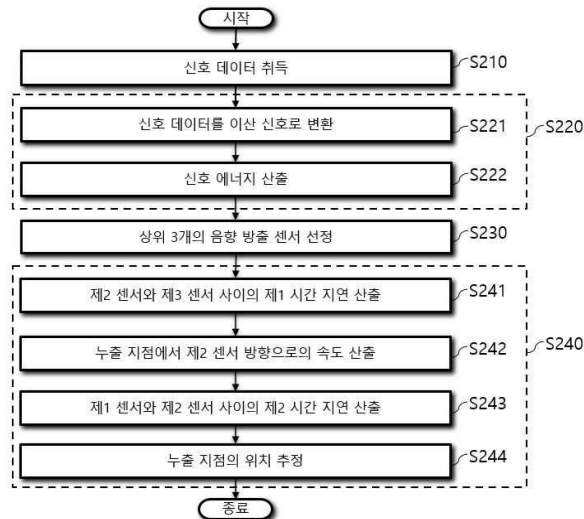
(54) 발명의 명칭 배관 누출 위치 추정 방법 및 이를 이용한 시스템

(57) 요약

본 발명은 배관 누출 위치 추정 방법 및 이를 이용한 시스템에 관한 것이다. 본 발명에 따르면 배관 누출 위치 추정 방법에 있어서, 신호 데이터 취득부가 복수의 음향 방출 센서로부터 신호 데이터를 취득하는 단계; 에너지 산출부가 상기 취득된 신호 데이터로부터 누출을 감지하고, 누출이 감지되면 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출하는 단계; 센서 선정부가 상기 산출된 신호 에너지가 가장 큰 순서대로 상위 3개의 음향 방출 센서를 제1 센서 내지 제3 센서로 선정하는 단계; 및 누출 지점 추정부가 제2 센서와 제3 센서 사이의 제1 시간 지연을 산출하여 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출하고, 제1 센서와 제2 센서 사이의 제2 시간 지연 및 누출 지점과 제1 센서까지의 거리를 산출하여 누출 지점의 위치를 추정하는 단계를 포함할 수 있다.

이와 같이 본 발명에 따르면, 배관 내의 가스의 실시간 속도를 추정하여 가스 누출의 위치를 추정할 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01N 29/14 (2013.01)

G01N 29/4472 (2013.01)

(72) 발명자

김재영

울산광역시 남구 대학로121번길 59, 103동 906호
(무거동, 무거현대아파트)

임기창

경상남도 진주시 소호로19번길 11, 107동 705호 (충무공동, 진주혁신도시 중흥에스-클래스 더프라임)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415188056

과제번호 00234827

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원

연구사업명 천연가스배관망수소혼입안전성검증및안전기술개발(R&D)

연구과제명 (총괄)도시가스 배관망 수소 혼입 전주기(제조-공급-사용) 안전성 검증 기술개발/실

증

기 여 율 1/2

과제수행기관명 한국가스안전공사

연구기간 2023.04.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2022090500

과제번호 SG20220905

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국산업단지공단

연구사업명 울산미포 스마트 그린산단 통합관제센터 구축 사업

연구과제명 울산미포 스마트 그린산단 통합관제센터 구축 사업

기 여 율 1/2

과제수행기관명 울산광역시

연구기간 2022.12.26 ~ 2024.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

신호 데이터 취득부가 복수의 음향 방출 센서로부터 신호 데이터를 취득하는 단계;

에너지 산출부가 상기 취득된 신호 데이터로부터 누출을 감지하고, 누출이 감지되면 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출하는 단계;

센서 선정부가 상기 산출된 신호 에너지가 가장 큰 순서대로 상위 3개의 음향 방출 센서를 제1 센서 내지 제3 센서로 선정하는 단계; 및

누출 지점 추정부가 상기 제1 센서 내지 제3 센서의 신호 에너지를 기초로 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도와 누출 지점의 위치를 추정하는 단계를 포함하는 배관 누출 위치 추정 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 신호 에너지를 산출하는 단계는,

상기 취득된 신호 데이터에서 누출이 감지되면 신호 데이터를 이산 신호로 변환하는 단계; 및

상기 변환된 이산 신호를 이용하여 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출하는 단계를 포함하는 배관 누출 위치 추정 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 신호 에너지를 산출하는 단계는,

상기 변환된 이산 신호를 다음의 수학식에 적용하여 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출하는 배관 누출 위치 추정 방법:

$$E_N = \sum_{n=n_N}^{n_{N+1}} |x[n]|^2$$

여기서, E_N 은 N번째 음향 방출 센서 내지 N+1번째 음향 방출 센서의 신호 에너지이고, $|x[n]|$ 은 이산 신호의 크기이다.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 3개의 음향 방출 센서를 선정하는 단계는,

상기 산출된 신호 에너지를 내림차순으로 나열하여 상위 3개의 음향 방출 센서를 각각 제1 센서, 제2 센서 및 제3 센서로 선정하는 배관 누출 위치 추정 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 누출 지점의 위치를 추정하는 단계는,

상기 제2 센서와 제3 센서 사이의 제1 시간 지연을 산출하는 단계;

상기 제1 시간 지연을 이용하여 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출하는 단계;

상기 제1 센서와 제2 센서 사이의 제2 시간 지연을 산출하는 단계; 및

상기 산출된 제2 시간 지연을 이용하여 누출 지점과 제1 센서까지의 거리를 산출하여 누출 지점의 위치를 추정하는 단계를 포함하는 배관 누출 위치 추정 방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 제1 시간 지연을 산출하는 단계는,

상기 제2 센서의 신호 에너지와 제3 센서의 신호 에너지를 다음의 수학식에 적용하여 제1 시간 지연을 산출하는 배관 누출 위치 추정 방법:

$$R_{AB}(\tau_j) = \sum_{i=0}^n a_{i+j} b_i$$

$$\Delta t = \max(R_{AB}(\tau_j))$$

여기서, Δt 는 제1 시간 지연이고, a_{i+j} 는 제2 센서의 신호 에너지이고, b_i 는 제3 센서의 신호 에너지이며,

$R_{AB}(\tau_j)$ 는 제2 센서의 신호 에너지와 제3 센서의 신호 에너지의 교차상관관계(Cross-correlation) 값이다.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출하는 단계는,

상기 산출된 제1 시간 지연을 다음의 수학식에 적용하여 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출하는 배관 누출 위치 추정 방법:

$$v = \frac{D}{\Delta t}$$

여기서, v 는 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도이고, D 는 제2 센서와 제3 센서 사이의 거리이며, Δt 는 산출된 제1 시간 지연이다.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 제2 시간 지연을 산출하는 단계는,

상기 제1 센서의 신호 에너지와 제2 센서의 신호 에너지를 다음의 수학식에 적용하여 제2 시간 지연을 산출하는 배관 누출 위치 추정 방법:

$$R_{CA}(\tau_j) = \sum_{i=0}^n c_{i+j} a_i$$

$$\Delta t = \max(R_{CA}(\tau_j))$$

여기서, Δt 는 제2 시간 지연이고, c_{i+j} 는 제1 센서의 신호 에너지이고, a_i 는 제2 센서의 신호 에너지이며, $R_{CA}(\tau_j)$ 는 제1 센서의 신호 에너지와 제2 센서의 신호 에너지의 교차상관관계 값이다.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 누출 지점의 위치를 추정하는 단계는,

상기 산출된 제2 시간 지연과 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 다음의 수학식에 적용하여 누출 지점의 위치를 산출하는 배관 누출 위치 추정 방법:

$$d = \frac{D - (\Delta t \times v)}{2}$$

여기서, d 는 누출 지점과 제2 센서 사이의 거리이고, D 는 제1 센서와 제2 센서 사이의 거리이며, Δt 는 산출된 제2 시간 지연이고, v 는 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도이다.

청구항 10

배관에 부착된 복수의 음향 방출 센서;

상기 복수의 음향 방출 센서로부터 신호 데이터를 취득하는 신호 데이터 취득부;

상기 취득된 신호 데이터로부터 누출을 감지하고, 누출이 감지되면 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출하는 에너지 산출부;

상기 산출된 신호 에너지가 가장 큰 순서대로 상위 3개의 음향 방출 센서를 제1 센서 내지 제3 센서로 선정하는 센서 선정부; 및

상기 제1 센서 내지 제3 센서의 신호 에너지를 기초로 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도와 누출 지점의 위치를 추정하는 누출 지점 추정부를 포함하는 배관 누출 위치 추정 시스템.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 에너지 산출부는,

상기 취득된 신호 데이터에서 누출이 감지되면 신호 데이터를 이산 신호로 변환하고, 상기 변환된 이산 신호를 이용하여 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출하는 배관 누출 위치 추정 시스템.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 에너지 산출부는,

상기 변환된 이산 신호를 다음의 수학식에 적용하여 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출하는 배관 누출 위치 추정 시스템:

$$E_N = \sum_{n=n_N}^{n_{N+1}} |x[n]|^2$$

여기서, E_N 은 N번째 음향 방출 센서 내지 N+1번째 음향 방출 센서의 신호 에너지이고, $|x[n]|$ 은 이산 신호의 크기이다.

청구항 13

제 10 항에 있어서,

상기 센서 선정부는,

상기 산출된 신호 에너지를 내림차순으로 나열하여 상위 3개의 음향 방출 센서를 각각 제1 센서, 제2 센서 및 제3 센서로 선정하는 배관 누출 위치 추정 시스템.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 누출 지점 추정부는,

상기 제2 센서와 제3 센서 사이의 제1 시간 지연을 산출하고, 상기 제1 시간 지연을 이용하여 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출하며, 상기 제1 센서와 제2 센서 사이의 제2 시간 지연을 산출하고, 상기 산출된 제2 시간 지연을 이용하여 누출 지점과 제1 센서까지의 거리를 산출하여 누출 지점의 위치를 추정하는 배관 누출 위치 추정 시스템.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 누출 지점 추정부는,

상기 제2 센서의 신호 에너지와 제3 센서의 신호 에너지를 다음의 수학식에 적용하여 제1 시간 지연을 산출하는 배관 누출 위치 추정 시스템:

$$R_{AB}(\tau_j) = \sum_{i=0}^n a_{i+j} b_i$$

$$\Delta t = \max(R_{AB}(\tau_j))$$

여기서, Δt 는 제1 시간 지연이고, a_{i+j} 는 제2 센서의 신호 에너지이고, b_i 는 제3 센서의 신호 에너지이며,

$R_{AB}(\tau_j)$ 는 제2 센서의 신호 에너지와 제3 센서의 신호 에너지의 교차상관관계(Cross-correlation) 값이다.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 누출 지점 추정부는,

상기 산출된 제1 시간 지연을 다음의 수학식에 적용하여 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출하는 배관 누출 위치 추정 시스템:

$$v = \frac{D}{\Delta t}$$

여기서, v 는 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도이고, D 는 제2 센서와 제3 센서 사이의 거리이며, Δt 는 산출된 제1 시간 지연이다.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 누출 지점 추정부는,

상기 제1 센서의 신호 에너지와 제2 센서의 신호 에너지를 다음의 수학식에 적용하여 제2 시간 지연을 산출하는 배관 누출 위치 추정 시스템:

$$R_{CA}(\tau_j) = \sum_{i=0}^n c_{i+j} a_i$$

$$\Delta t = \max(R_{CA}(\tau_j))$$

여기서, Δt 는 제2 시간 지연이고, c_{i+j} 는 제1 센서의 신호 에너지이고, a_i 는 제2 센서의 신호 에너지이며,

$R_{CA}(\tau_j)$ 는 제1 센서의 신호 에너지와 제2 센서의 신호 에너지의 교차상관관계 값이다.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 누출 지점 추정부는,

상기 산출된 제2 시간 지연과 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 다음의 수학식에 적용하여 누출 지점의 위치를 산출하는 배관 누출 위치 추정 시스템:

$$d = \frac{D - (\Delta t \times v)}{2}$$

여기서, d 는 누출 지점과 제2 센서 사이의 거리이고, D 는 제1 센서와 제2 센서 사이의 거리이며, Δt 는 산출된 제2 시간 지연이고, v 는 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도이다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 배관 누출 위치 추정 방법 및 이를 이용한 시스템에 관한 것으로서, 더욱 상세하게 설명하면 복수의 센서로부터 취득한 신호 데이터를 이용하여 배관 누출 위치를 추정하기 위한 누출 신호 속도를 추정하는 배관 누출 위치 추정 방법 및 이를 이용한 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 가스 및 상하수도 공급을 위해 사용되는 배관의 누출은 사회적, 환경적 및 경제적문제를 야기시킨다. 이러한 누수 발생에 대한 대응책 중 하나는 배관의 누출 지점을 실시간으로 탐지하고 수리를 수행하는 것이다.

- [0003] 배관에서 누출이 발생할 때 생성되는 누출음은 배관의 누출 지점을 식별하기 위해 사용될 수 있으나, 청음봉, 하이드로폰 등의 장치는 누출은 탐지하나 누출 지점을 식별하기 어렵다는 한계가 있었다.
- [0004] 또한, 가스 배관 일부에 압력계를 설치하여 가스 누출에 따른 압력을 검출하고 시간경과에 따라 검출된 압력이 기 설정된 기준치 이하로 떨어지는 경우 가스 누출을 감지하는 기술이 개시되어 있으나 어느 지점에서 가스 누출이 발생하였는지를 추정하지 못한다는 한계가 존재한다.
- [0005] 따라서, 배관에서 누출이 발생하면 배관 내의 가스 또는 상하수도에 대한 실시간 속도를 추정하여 누출의 위치를 추정하는 기술이 필요한 실정이다.
- [0006] 본 발명의 배경이 되는 기술은 한국 등록특허 제10-1594455호(2016.02.16. 공고)에 개시되어있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 이와 같이 본 발명에 따르면, 복수의 센서로부터 취득한 신호 데이터를 이용하여 배관 누출 위치를 추정하기 위한 누출 신호 속도를 추정하는 배관 누출 위치 추정 방법 및 이를 이용한 시스템을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0008] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면 배관 누출 위치 추정 방법에 있어서, 신호 데이터 취득부가 복수의 음향 방출 센서로부터 신호 데이터를 취득하는 단계; 에너지 산출부가 상기 취득된 신호 데이터로부터 누출을 감지하고, 누출이 감지되면 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출하는 단계; 센서 선정부가 상기 산출된 신호 에너지가 가장 큰 순서대로 상위 3개의 음향 방출 센서를 제1 센서 내지 제3 센서로 선정하는 단계; 및 누출 지점 추정부가 상기 제1 센서 내지 제3 센서의 신호 에너지를 기초로 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도와 누출 지점의 위치를 추정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0009] 상기 신호 에너지를 산출하는 단계는, 상기 취득된 신호 데이터에서 누출이 감지되면 신호 데이터를 이산 신호로 변환하는 단계; 및 상기 변환된 이산 신호를 이용하여 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0010] 상기 신호 에너지를 산출하는 단계는, 상기 변환된 이산 신호를 다음의 수학적식에 적용하여 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출할 수 있다:

$$E_N = \sum_{n=n_N}^{n_{N+1}} |x[n]|^2$$

- [0011]
- [0012] 여기서, E_N 은 N번째 음향 방출 센서 내지 N+1번째 음향 방출 센서의 신호 에너지이고, $|x[n]|$ 은 이산 신호의 크기이다.
- [0013] 상기 3개의 음향 방출 센서를 선정하는 단계는, 상기 산출된 신호 에너지를 내림차순으로 나열하여 상위 3개의 음향 방출 센서를 각각 제1 센서, 제2 센서 및 제3 센서로 선정할 수 있다.
- [0014] 상기 누출 지점의 위치를 추정하는 단계는, 상기 제2 센서와 제3 센서 사이의 제1 시간 지연을 산출하는 단계; 상기 제1 시간 지연을 이용하여 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출하는 단계; 상기 제1 센서와 제2 센서 사이의 제2 시간 지연을 산출하는 단계; 및 상기 산출된 제2 시간 지연을 이용하여 누출 지점과 제1 센서까지의 거리를 산출하여 누출 지점의 위치를 추정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 제1 시간 지연을 산출하는 단계는, 상기 제2 센서의 신호 에너지와 제3 센서의 신호 에너지를 다음의 수학적식에 적용하여 제1 시간 지연을 산출할 수 있다:

$$R_{AB}(\tau_j) = \sum_{i=0}^n a_{i+j} b_i$$

$$\Delta t = \max(R_{AB}(\tau_j))$$

여기서, Δt 는 제1 시간 지연이고, a_{i+j} 는 제2 센서의 신호 에너지이고, b_i 는 제3 센서의 신호 에너지이며, $R_{AB}(\tau_j)$ 는 제2 센서의 신호 에너지와 제3 센서의 신호 에너지의 교차상관관계(Cross-correlation) 값이다.

상기 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출하는 단계는, 상기 산출된 제1 시간 지연을 다음의 수학식에 적용하여 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출할 수 있다:

$$v = \frac{D}{\Delta t}$$

여기서, v 는 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도이고, D 는 제2 센서와 제3 센서 사이의 거리이며, Δt 는 산출된 제1 시간 지연이다.

상기 제2 시간 지연을 산출하는 단계는, 상기 제1 센서의 신호 에너지와 제2 센서의 신호 에너지를 다음의 수학식에 적용하여 제2 시간 지연을 산출할 수 있다:

$$R_{CA}(\tau_j) = \sum_{i=0}^n c_{i+j} a_i$$

$$\Delta t = \max(R_{CA}(\tau_j))$$

여기서, Δt 는 제2 시간 지연이고, c_{i+j} 는 제1 센서의 신호 에너지이고, a_i 는 제2 센서의 신호 에너지이며, $R_{CA}(\tau_j)$ 는 제1 센서의 신호 에너지와 제2 센서의 신호 에너지의 교차상관관계 값이다.

상기 누출 지점의 위치를 추정하는 단계는, 상기 산출된 제2 시간 지연과 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 다음의 수학식에 적용하여 누출 지점의 위치를 산출할 수 있다:

$$d = \frac{D - (\Delta t \times v)}{2}$$

여기서, d 는 누출 지점과 제2 센서 사이의 거리이고, D 는 제1 센서와 제2 센서 사이의 거리이며, Δt 는 산출된 제2 시간 지연이고, v 는 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도이다.

본 발명의 다른 실시예에 따르면, 배관 누출 위치 추정 시스템에 있어서, 배관에 부착된 복수의 음향 방출 센서; 상기 복수의 음향 방출 센서로부터 신호 데이터를 취득하는 신호 데이터 취득부; 상기 취득된 신호 데이터로부터 누출을 감지하고, 누출이 감지되면 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출하는 에너지 산출부; 상기 산출된 신호 에너지가 가장 큰 순서대로 상위 3개의 음향 방출 센서를 제1 센서 내지 제3 센서로 선정하는 센서 선정부; 및 상기 제1 센서 내지 제3 센서의 신호 에너지를 기초로 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도와 누출 지점의 위치를 추정하는 누출 지점 추정부를 포함할 수 있다.

발명의 효과

이와 같이 본 발명에 따르면, 배관 내의 가스의 실시간 속도를 추정하여 가스 누출의 위치를 추정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 배관 누출 위치 추정 시스템을 도시하는 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 배관 누출 위치 추정 방법을 나타내는 순서도이다.
- 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신호 에너지를 산출하는 방법을 도시하는 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따라 3개의 음향 방출 센서를 선정하는 일 예를 도시하는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출하는 일 예를 도시하는 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 누출 지점의 위치를 추정하는 일 예를 도시하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다.
- [0031] 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 있는 것을 의미한다.
- [0032] 또한 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 배관 누출 위치 추정 시스템을 도시하는 도면이다.
- [0034] 도 1에 도시된 바와 같이 배관 누출 위치 추정 시스템(100)은 배관에 부착된 복수의 음향 방출 센서(Acoustic emission sensor, AE sensor)(110), 신호 데이터 취득부(120), 에너지 산출부(130), 센서 선정부(140) 및 누출 지점 추정부(150)를 포함할 수 있다.
- [0035] 먼저, 신호 데이터 취득부(120)는 복수의 음향 방출 센서(110)로부터 신호 데이터를 취득할 수 있다. 이때, 복수의 음향 방출 센서(110)는 3개 이상으로, 배관에 기 설정된 간격(예를 들어, 10m)으로 균일하게 부착되어 있거나 또는 기 지정된 위치에 부착되어 있을 수 있다.
- [0036] 다음으로, 에너지 산출부(130)는 취득된 신호 데이터로부터 누출을 감지하고, 누출이 감지되면 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출할 수 있다. 여기서, 신호 에너지를 산출하는 방법은 후술하는 실시예에서 구체적으로 설명한다.
- [0037] 다음으로, 센서 선정부(140)는 산출된 신호 에너지가 가장 큰 순서대로 상위 3개의 음향 방출 센서를 선정할 수 있다.
- [0038] 구체적으로, 센서 선정부(140)는 산출된 신호 에너지를 내림차순으로 나열하여 상위 3개의 음향 방출 센서를 순차적으로 제1 센서, 제2 센서 및 제3 센서로 각각 선정할 수 있다.
- [0039] 다음으로, 누출 지점 추정부(150)는 제1 센서 내지 제3 센서의 신호 에너지를 기초로 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도와 누출 지점의 위치를 추정하는 할 수 있다.
- [0040] 구체적으로, 누출 지점 추정부(150)는 제1 시간 지연을 산출하여 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출할 수 있다. 여기서, 속도는 배관 내 실시간 속도일 수 있다.
- [0041] 또한, 누출 지점 추정부(150)는 제2 시간 지연 및 누출 지점과 제1 센서까지의 거리를 산출함을 통해 누출 지점의 위치를 추정할 수 있다.
- [0042] 이하에서는 도 2 내지 도 6을 참조하여 배관 누출 위치 추정 방법에 대해 보다 구체적으로 설명한다.
- [0043] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 배관 누출 위치 추정 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0044] 먼저, 신호 데이터 취득부(120)는 복수의 음향 방출 센서(110)로부터 신호 데이터를 취득할 수 있다(S210). 이 때, 복수의 음향 방출 센서(110)는 3개 이상으로, 배관에 기 설정된 간격(예를 들어, 10m)으로 균일하게 부착되

어 있거나 또는 기 지정된 위치에 부착되어 있을 수 있다.

[0045] 다음으로, 에너지 산출부(130)는 취득된 신호 데이터로부터 누출을 감지하고, 누출이 감지되면 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출할 수 있다(S220).

[0046] 도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 신호 에너지를 산출하는 방법을 도시하는 도면이다.

[0047] 도 3에 도시된 바와 같이, 에너지 산출부(130)는 취득된 신호 데이터에서 누출이 감지되면 신호 데이터를 이산 신호로 변환할 수 있다(S221).

[0048] 또한, 에너지 산출부(130)는 변환된 이산 신호를 아래의 [수학식 1]에 적용하여 각 음향 방출 센서의 신호 에너지를 산출할 수 있다(S222).

수학식 1

[0049]

$$E_N = \sum_{n=n_N}^{n_{N+1}} |x[n]|^2$$

[0050] 여기서, E_N 은 N번째 음향 방출 센서 내지 N+1번째 음향 방출 센서의 신호 에너지이고, $|x[n]|$ 은 이산 신호의 크기이다.

[0051] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 1번째 음향 방출 센서 내지 2번째 음향 방출 센서의 신호 에너지는

$$\sum_{n=n_1}^{n_2} |x[n]|^2$$

일 수 있다.

[0052] 다음으로, 센서 선정부(140)는 산출된 신호 에너지가 가장 큰 순서대로 상위 3개의 음향 방출 센서를 선정할 수 있다(S230).

[0053] 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따라 3개의 음향 방출 센서를 선정하는 일 예를 도시하는 도면이다.

[0054] 도 4에 도시된 바와 같이, 에너지 산출부(130)는 누출 발생 시점 이후의 신호 에너지를 산출할 수 있다.

[0055] 또한, 센서 선정부(140)는 산출된 신호 에너지를 내림차순으로 나열하여 상위 3개의 음향 방출 센서를 순차적으로 제1 센서, 제2 센서 및 제3 센서로 각각 선정할 수 있다.

[0056] 다음으로, 누출 지점 추정부(150)는 제1 센서 내지 제3 센서의 신호 에너지를 기초로 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도와 누출 지점의 위치를 추정할 수 있다(S240).

[0057] 구체적으로, 누출 지점 추정부(150)는 제2 센서와 제3 센서 사이의 제1 시간 지연을 산출할 수 있다(S241).

[0058] 이때, 누출 지점 추정부(150)는 아래의 [수학식 2]를 이용하여 제1 시간 지연을 산출할 수 있다.

수학식 2

[0059]

$$R_{AB}(\tau_j) = \sum_{i=0}^n a_{i+j} b_i$$

$$\Delta t = \max(R_{AB}(\tau_j))$$

[0060] 여기서, Δt 는 제1 시간 지연이고, a_{i+j} 는 제2 센서의 신호 에너지이고, b_i 는 제3 센서의 신호 에너지이며, $R_{AB}(\tau_j)$ 는 제2 센서의 신호 에너지와 제3 센서의 신호 에너지의 교차상관관계(Cross-correlation) 값이다.

[0061] 또한, 누출 지점 추정부(150)는 산출된 제1 시간 지연을 이용하여 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출할 수 있다(S242).

[0062] 여기서, 누출 지점 추정부(150)는 아래의 [수학식 3]을 이용하여 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출할 수 있다.

수학식 3

$$v = \frac{D}{\Delta t}$$

[0063]

[0064] 여기서, v 는 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도이고, D 는 제2 센서와 제3 센서 사이의 거리이며, Δt 는 산출된 제1 시간 지연이다.

[0065] 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도를 산출하는 일 예를 도시하는 도면이다.

[0066] 도 5에 도시된 바와 같이, 누출 지점 추정부(150)는 제2 센서의 신호 에너지와 제3 센서의 신호 에너지의 교차상관관계 값(Y)이 가장 클 때 X 값(0.005742s)이 제1 시간 지연(Δt)일 수 있다.

[0067] 또한, 제2 센서와 제3 센서 사이의 거리가 13.0527144m일 때 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도는 2273.2m/s일 수 있다.

[0068] 다음으로, 누출 지점 추정부(150)는 제1 센서와 제2 센서 사이의 제2 시간 지연을 산출할 수 있다(S243).

[0069] 이때, 누출 지점 추정부(150)는 아래의 [수학식 4]를 이용하여 제2 시간 지연을 산출할 수 있다.

수학식 4

$$R_{CA}(\tau_j) = \sum_{i=0}^n c_{i+j} a_i$$

$$\Delta t = \max(R_{CA}(\tau_j))$$

[0070]

[0071] 여기서, Δt 는 제2 시간 지연이고, c_{i+j} 는 제1 센서의 신호 에너지이고, a_i 는 제2 센서의 신호 에너지이며, $R_{CA}(\tau_j)$ 는 제1 센서의 신호 에너지와 제2 센서의 신호 에너지의 교차상관관계 값이다.

[0072] 또한, 누출 지점 추정부(150)는 산출된 제2 시간 지연을 이용하여 누출 지점과 제1 센서까지의 거리를 산출함을 통해 누출 지점의 위치를 추정할 수 있다(S244).

[0073] 여기서, 누출 지점 추정부(150)는 아래의 [수학식 5]를 이용하여 누출 지점의 위치를 산출할 수 있다.

수학식 5

$$d = \frac{D - (\Delta t \times v)}{2}$$

[0074]

[0075]

여기서, d는 누출 지점과 제2 센서 사이의 거리이고, D는 제1 센서와 제2 센서 사이의 거리이며, Δt 는 산출된 제2 시간 지연이고, v는 누출 지점에서 제2 센서 방향으로의 속도이다.

[0076]

도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 누출 지점의 위치를 추정하는 일 예를 도시하는 도면이다.

[0077]

도 6에 도시된 바와 같이, 누출 지점 추정부(150)는 제1 센서의 신호 에너지와 제2 센서의 신호 에너지의 교차 상관관계 값(Y)이 가장 클 때 X 값(0.004473s)이 제2 시간 지연(Δt)일 수 있다.

[0078]

또한, 누출 지점 추정부(150)는 산출된 제2 시간 지연 값을 이용하여 누출 지점과 제2 센서 사이의 거리를 산출하고, 제1 센서와 제2 센서 사이의 거리에서 누출 지점과 제2 센서 사이의 거리를 뺄으로써 제1 센서로부터 누출 지점이 9.9759m에 위치하는 것으로 추정할 수 있다.

[0079]

이때, 실제 누출 지점의 위치는 제1 센서로부터 10m에 위치하는 것으로, 추정 오차가 약 0.3%이다.

[0080]

본 발명의 실시예에 따르면, 배관 내의 가스의 실시간 속도를 추정하여 가스 누출의 위치를 추정할 수 있다.

[0081]

본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 하여 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 아래의 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0082]

100: 배관 누출 위치 추정 시스템

110: 음향 방출 센서

120: 신호 데이터 취득부

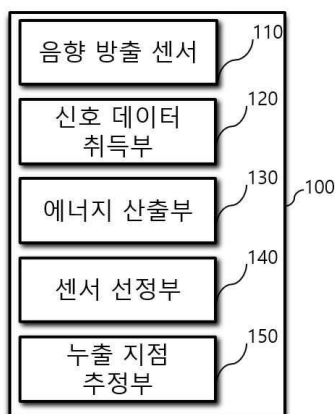
130: 에너지 산출부

140: 센서 선정부

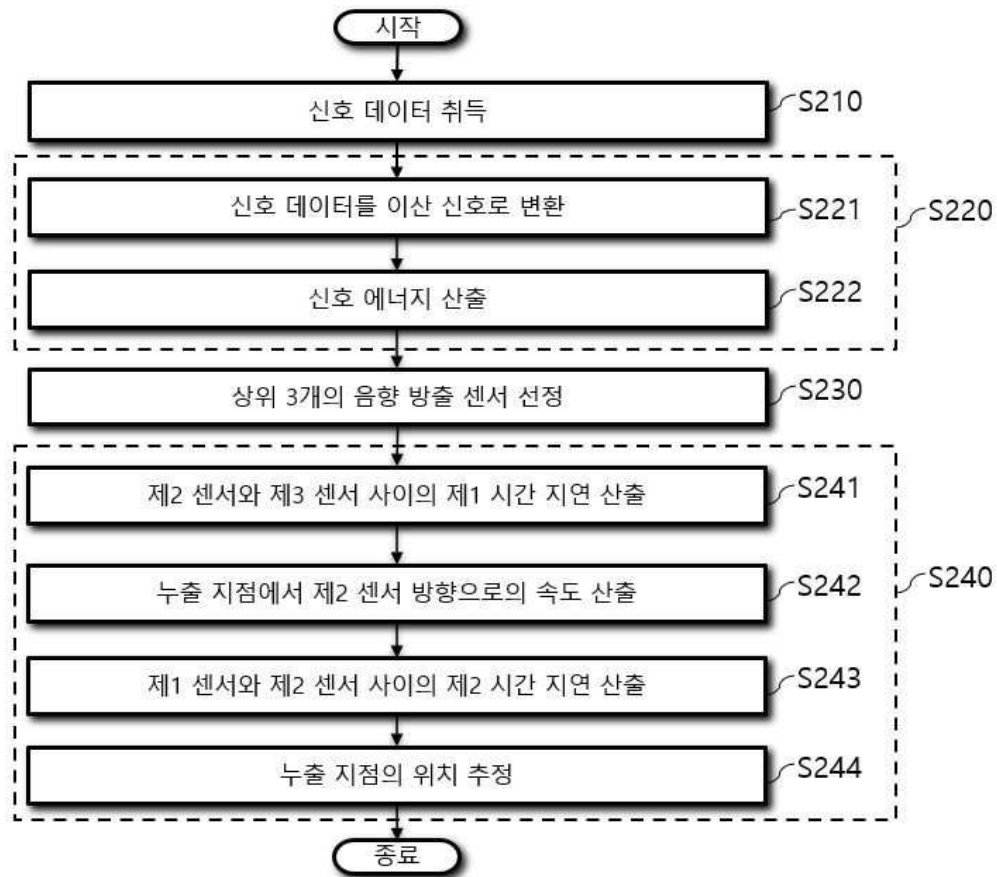
150: 누출 지점 추정부

도면

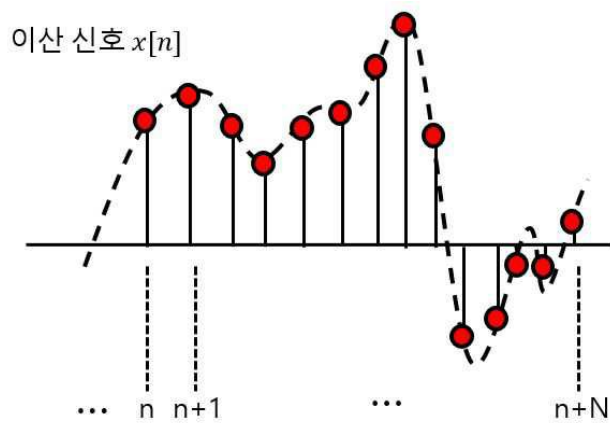
도면1



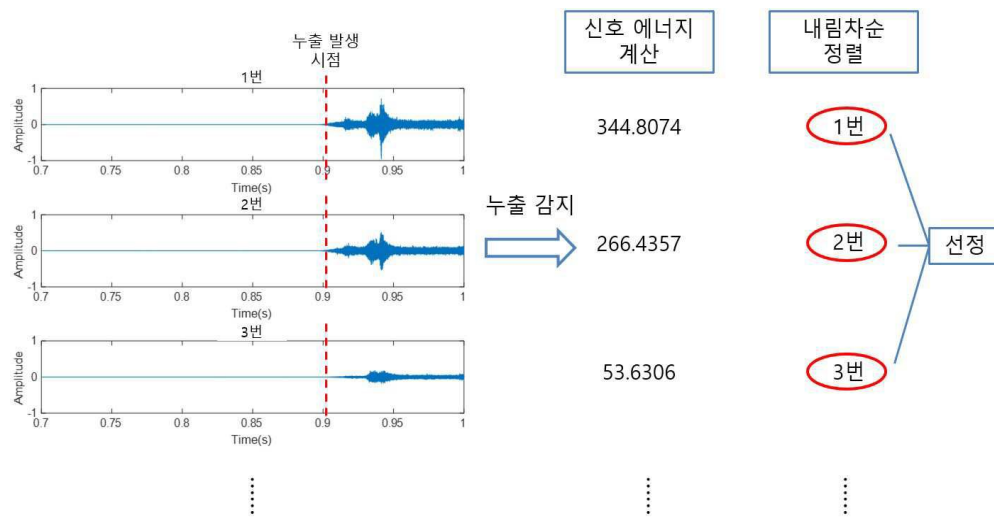
도면2



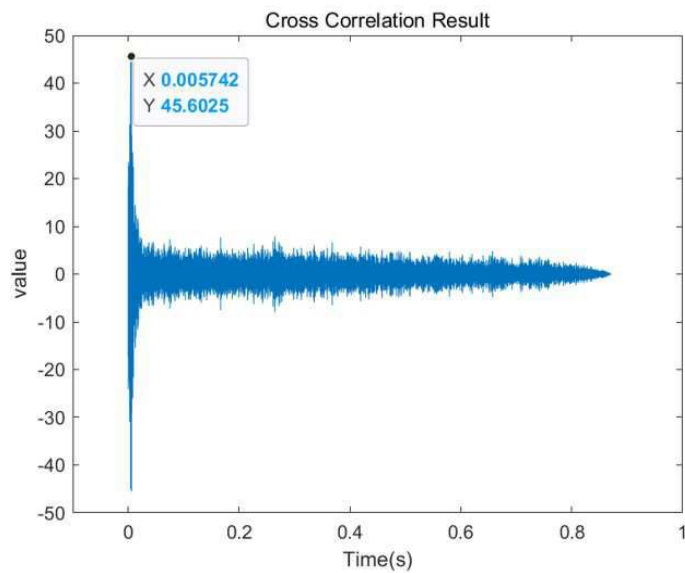
도면3



도면4



도면5



도면6

