



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년12월21일
 (11) 등록번호 10-1931686
 (24) 등록일자 2018년12월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G01B 17/04 (2006.01) G01B 17/02 (2006.01)
 G01D 1/18 (2006.01) G01D 7/00 (2006.01)
 G01N 29/04 (2006.01) G06F 17/10 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 G01B 17/04 (2013.01)
 G01B 17/02 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2017-0066781
 (22) 출원일자 2017년05월30일
 심사청구일자 2017년05월30일
 (65) 공개번호 10-2018-0130771
 (43) 공개일자 2018년12월10일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP2013217867 A*
 KR1020080016140 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

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

전체 청구항 수 : 총 12 항

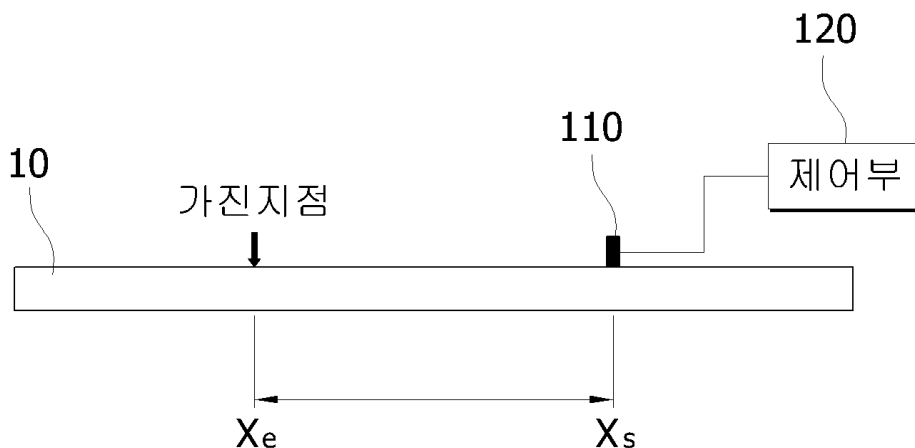
심사관 : 김윤선

(54) 발명의 명칭 **배관의 감육상태 감시 시스템 및 그 방법**

(57) 요약

배관의 감육상태 감시 시스템 및 그 방법이 제공된다. 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템은 유체가 흐르는 배관에서 충격이 가해진 위치로부터 제1거리로 이격 배치되어 충격에 의한 상기 배관 내의 압력파를 감지하는 센서부; 압력파의 분산특성을 디스플레이하는 표시부; 및 감지된 압력파에 대하여 시간-주파수 변환하고, 변환 그래프를 산출하여 표시부에 디스플레이하도록 제어하고, 산출된 변환 그래프의 특징선의 휨 정도에 의해 배관의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 상기 배관의 감육상태에 따른 기준 휨 정도를 제공하는 제어부를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

- G01D 1/18 (2013.01)
- G01D 7/00 (2013.01)
- G01N 29/04 (2013.01)
- G06F 17/10 (2013.01)

박진호

대전광역시 유성구 관평1로 12, 701동 1301호 (관평동, 대덕테크노밸리7단지아파트)

(72) 발명자

양봉수

제주특별자치도 제주시 신성로 14-27 (도남동)

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

명세서

청구범위

청구항 1

유체가 흐르는 배관에서 충격이 가진된 위치로부터 제1거리로 이격 배치되어 상기 충격에 의한 상기 배관 내의 압력파를 감지하는 센서부;

상기 압력파의 분산특성을 디스플레이하는 표시부; 및

상기 감지된 압력파에 대하여 시간-주파수 변환하고, 시간-주파수 변환 그래프를 산출하여 상기 표시부에 디스플레이하도록 제어하고, 상기 산출된 시간-주파수 변환 그래프의 특징선의 휨정도에 의해 상기 배관의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 상기 배관의 감육상태에 따른 기준 휨정도를 제공하는 제어부;를 포함하고,

상기 시간-주파수 변환 그래프의 특징선은 상기 배관의 두께가 감소할수록 고주파성분에서의 변화가 증가하여 상기 휨정도가 증가하며,

상기 제어부는 상기 시간-주파수 변환 그래프의 특징선의 휨정도를 산출하고, 상기 기준 휨정도와 비교하여 상기 배관의 두께를 산출하는 배관의 감육상태 감시 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

사전에 측정된 상기 배관의 두께에 따른 시간-주파수 변환 그래프의 상기 기준 휨정도가 저장된 저장부를 더 포함하는 배관의 감육상태 감시 시스템.

청구항 3

유체가 흐르는 배관에서 충격이 가진된 위치로부터 제1거리로 이격 배치되어 상기 충격에 의한 상기 배관 내의 압력파를 감지하는 센서부;

상기 압력파의 분산특성을 디스플레이하는 표시부; 및

상기 감지된 압력파에 대하여 앰비규티(ambiguity) 변환하고, 주파수변화-시간지연 변환 그래프를 산출하여 상기 표시부에 디스플레이하도록 제어하고, 상기 산출된 주파수변화-시간지연 변환 그래프의 특징선의 기울기에 의해 상기 배관의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 상기 배관의 감육상태에 따른 기준 기울기를 제공하는 제어부;를 포함하고,

상기 주파수변화-시간지연 변환 그래프의 특징선은 상기 배관의 두께가 감소할수록 원점을 중심으로 한 기울기가 증가하며,

상기 제어부는 상기 주파수변화-시간지연 변환 그래프의 특징선의 기울기를 산출하고, 상기 기준 기울기와 비교하여 상기 배관의 두께를 산출하는 배관의 감육상태 감시 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

사전에 측정된 상기 배관의 두께에 따른 앰비규티 변환 그래프의 상기 기준 기울기가 저장된 저장부를 더 포함하는 배관의 감육상태 감시 시스템.

청구항 5

제1항 또는 제3항에 있어서,

상기 센서부는 상기 제1거리보다 작은 제2거리에 배치되어 상기 배관의 표면진동파를 더 감지하며,

상기 제어부는 상기 센서부의 감지결과로부터 상기 표면진동파를 필터링하며 상기 표면진동파에 대한 시간-주파

수 변환 또는 앰비규티 변환을 더 수행하는 배관의 감육상태 감시 시스템.

청구항 6

제1항 또는 제3항에 있어서,

상기 센서부는 복수 개로 구비되어 상기 배관의 미리 설정된 복수 개의 위치에 배치되며, 감지결과를 무선통신을 통해 상기 제어부로 전송하는 배관의 감육상태 감시 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제어부는 상기 복수 개의 센서부에 대응하는 위치별로 상기 배관의 감육상태를 디스플레이하도록 제어하는 배관의 감육상태 감시 시스템.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 복수 개의 센서부로부터 일정거리 이격된 위치에서 상기 배관에 충격을 가진하는 충격 발생기를 더 포함하는 배관의 감육상태 감시 시스템.

청구항 9

제2항 또는 제4항에 있어서,

상기 제어부는 미리 설정된 상기 배관의 두께 임계치를 설정하고, 상기 판단된 배관의 두께와 상기 임계치를 비교하여 상기 배관의 두께가 상기 임계치에 도달하면, 배관을 교체하도록 경보를 발생시키거나 미리 지정된 단말로 통지하는 배관의 감육상태 감시 시스템.

청구항 10

제2항 또는 제4항에 있어서,

상기 유체는 액체 또는 기체인 배관의 감육상태 감시 시스템.

청구항 11

유체가 흐르는 배관에 충격을 가진하는 단계;

가진된 위치로부터 제1거리로 이격 배치된 센서부에 의해 상기 충격에 의한 상기 배관 내의 압력파를 감지하는 단계;

상기 감지된 압력파에 대하여 시간-주파수 변환하는 단계;

상기 변환 결과에 따른 시간-주파수 변환 그래프를 산출하여 표시부에 디스플레이하는 단계;

상기 산출된 시간-주파수 변환 그래프의 특징선의 휨정도에 의해 상기 배관의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 상기 배관의 감육상태에 따른 기준 휨정도를 제공하는 단계; 및

상기 시간-주파수 변환 그래프의 특징선의 휨정도를 산출하고, 상기 기준 휨정도와 비교하여 상기 배관의 두께를 산출하는 단계;를 포함하고,

상기 시간-주파수 변환 그래프의 특징선은 상기 배관의 두께가 감소할수록 고주파성분에서의 변화가 증가하여 상기 휨정도가 증가하는 배관의 감육상태 감시 방법.

청구항 12

유체가 흐르는 배관에 충격을 가진하는 단계;

가진된 위치로부터 제1거리로 이격 배치된 센서부에 의해 상기 충격에 의한 상기 배관 내의 압력파를 감지하는 단계;

상기 감지된 압력파에 대하여 앰비규티 변환하는 단계;

상기 변환 결과에 따른 주파수변화-시간지연 변환 그래프를 산출하여 표시부에 디스플레이하는 단계;

상기 산출된 주파수변화-시간지연 변환 그래프의 특징선의 기울기에 의해 상기 배관의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 상기 배관의 감육상태에 따른 기준 기울기를 제공하는 단계; 및

상기 주파수변화-시간지연 변환 그래프의 특징선의 기울기를 산출하고, 상기 기준 기울기와 비교하여 상기 배관의 두께를 산출하는 단계;를 포함하고,

상기 주파수변화-시간지연 변환 그래프의 특징선은 상기 배관의 두께가 감소할수록 원점을 중심으로 한 기울기가 증가하는 배관의 감육상태 감시 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 배관의 감육상태 감시 시스템 및 그 방법에 관한 것으로, 특히, 하나의 센서만으로 특정 위치에 대한 배관의 감육상태를 감시할 수 있는 배관의 감육상태 감시 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 발전소를 포함한 플랜트의 경우, 초기 건설 시에 설치된 배관의 노후화에 따라, 배관의 감육(wall thinning) 및 파단이 발생한 사례가 보고되고 있다. 특히 일본 미하마 원전에서의 배관 감육 및 파단 사고가 발생한 이후, 배관의 감육상태를 파악하기 위한 기술에 대한 관심이 증가하고 있다.

[0003] 발전소의 경우, 배관의 감육상태를 파악하기 위하여 초음파방식의 두께측정기법이 현장에 널리 적용되고 있다. 이러한 방식은 배관 두께를 정확하게 측정할 수 있으나, 배관 표면에 분포하는 다수의 측정점을 일일이 측정하므로 많은 시간이 소요된다. 이 때문에, 수천 개 이상의 검사대상 배관이 존재하는 발전소에서 예방정비기간(약 30일) 내에 배관을 검사하는 것이 어려운 실정이다.

[0004] 최근에는, 배관 감육이 발생하면 배관을 전파하는 진동파의 전파속도가 변화하는 현상을 감육 감지에 이용하고자, 진동파의 전파속도를 측정하는 방법이 연구되었으나, 이 방법은 전파속도를 측정하기 위하여 두 개의 센서를 사용하여야 한다. 또한, 전파속도를 정확하게 측정하기 위해서는 샘플링주파수(시간영역 분해능)가 높은 하드웨어를 구비하여야 한다.

[0005] 더욱이, 두 개의 센서를 이용하므로 정확하게 두 개의 센서에 도달하는 진동파의 도달시간 지연(또는 전파속도)을 측정하기 위해서는 두 개의 센서간의 시간 동기화(time synchronization)가 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) JP 4012237 B (2007.09.14 등록)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시예는 하나의 센서를 이용하여 특정 위치에 대한 배관의 길이방향의 전반적인 감육상태를 감시 및 진단할 수 있는 배관의 감육상태 감시 시스템 및 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 위와 같은 과제를 해결하기 위한 본 발명의 제1측면에 따르면, 유체가 흐르는 배관에서 충격이 가진된 위치로부터 제1거리로 이격 배치되어 상기 충격에 의한 상기 배관 내의 압력파를 감지하는 센서부; 상기 압력파의 분산 특성을 디스플레이하는 표시부; 및 상기 감지된 압력파에 대하여 시간-주파수 변환하고, 변환 그래프를 산출하

여 상기 표시부에 디스플레이하도록 제어하고, 상기 산출된 변환 그래프의 특징선의 휨정도에 의해 상기 배관의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 상기 배관의 감육상태에 따른 기준 휨정도를 제공하는 제어부;를 포함하는 배관의 감육상태 감시 시스템이 제공된다.

[0009] 본 발명의 제2측면에 따르면, 유체가 흐르는 배관에서 충격이 가진된 위치로부터 제1거리로 이격 배치되어 상기 충격에 의한 상기 배관 내의 압력파를 감지하는 센서부; 상기 압력파의 분산특성을 디스플레이하는 표시부; 및 상기 감지된 압력파에 대하여 앰비규티(ambiguity) 변환하고, 변환 그래프를 산출하여 상기 표시부에 디스플레이하도록 제어하고, 상기 산출된 변환 그래프의 특징선의 기울기에 의해 상기 배관의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 상기 배관의 감육상태에 따른 기준 기울기를 제공하는 제어부;를 포함하는 배관의 감육상태 감시 시스템이 제공된다.

[0010] 본 발명의 제3측면에 따르면, 유체가 흐르는 배관에 충격을 가진하는 단계; 가진된 위치로부터 제1거리로 이격 배치된 센서부에 의해 상기 충격에 의한 상기 배관 내의 압력파를 감지하는 단계; 상기 감지된 압력파에 대하여 시간-주파수 변환하는 단계; 상기 변환 결과에 따른 변환 그래프를 산출하여 표시부에 디스플레이하는 단계; 및 상기 산출된 변환 그래프의 특징선의 휨정도에 의해 상기 배관의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 상기 배관의 감육상태에 따른 기준 휨정도를 제공하는 단계;를 포함하는 배관의 감육상태 감시 방법이 제공된다.

[0011] 본 발명의 제4측면에 따르면, 유체가 흐르는 배관에 충격을 가진하는 단계; 가진된 위치로부터 제1거리로 이격 배치된 센서부에 의해 상기 충격에 의한 상기 배관 내의 압력파를 감지하는 단계; 상기 감지된 압력파에 대하여 앰비규티 변환하는 단계; 상기 변환 결과에 따른 변환 그래프를 산출하여 표시부에 디스플레이하는 단계; 및 상기 산출된 변환 그래프의 특징선의 기울기에 의해 상기 배관의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 상기 배관의 감육상태에 따른 기준 기울기를 제공하는 단계;를 포함하는 배관의 감육상태 감시 방법이 제공된다.

발명의 효과

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템 및 방법은 하나의 센서를 이용하여 특정 위치의 배관의 노화 또는 감육상태를 감시함으로써 대량의 배관검사에 요구되는 센서의 수를 감소하여 전체 비용을 절감할 수 있다.

[0013] 또한, 본 발명은 압력파의 분산특성을 이용하여 배관의 감육상태를 용이하게 파악할 수 있도록 배관의 감육상태에 따른 사전 시뮬레이션 결과를 제공함으로써, 플랜트 배관계의 노화상태를 조기에 감지할 수 있으므로 플랜트 사고를 사전에 예방할 수 있는 동시에 안정성을 향상시킬 수 있다.

[0014] 또한, 본 발명의 복수 개의 센서를 관심 대상 위치별로 설치하고 위치별로 배관의 상태를 감시함으로써, 대량의 검사대상 배관을 검사하는데 소요되는 시간을 단축할 수 있다.

[0015] 또한, 본 발명은 복수 개의 센서를 복수의 위치에 설치하고 무선통신으로 감지된 결과를 전송함으로써, 플랜트 배관계의 체계적인 노화관리 및 유지보수가 가능하므로 유지보수 비용을 절감할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템이 설치된 상태를 개략적으로 나타낸 구성도이고,
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템의 블록도이며,
- 도 3은 배관 두께에 따른 전파 속도의 변화를 나타낸 그래프이고,
- 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템에서 압력파의 시간-주파수 영역의 응답특성을 나타낸 그래프이며,
- 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템에서 압력파의 앰비규티 영역의 응답특성을 나타낸 그래프이고,
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 방법의 일례의 순서도이며,
- 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템의 다른 예의 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가

진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 붙였다.

[0018] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템을 보다 상세히 설명하도록 한다. 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템이 설치된 상태를 개략적으로 나타낸 구성도이다.

[0019] 본 발명의 일 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 도 1에 도시된 바와 같이, 유체가 흐르는 배관(10)에 적용한다. 즉, 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 배관(10)에서 충격이 가해진 임의의 위치(xe)로부터 일정거리 이격된 위치(xs)에 하나의 센서부(110)가 구비되고, 가해진 충격에 의해 배관(10) 내에 흐르는 유체에 의한 압력파의 분산특성(dispersive characteristic)을 이용하여 배관 감육상태를 감시하기 위한 것이다.

[0020] 즉, 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 배관(10) 내부에 흐르는 유체에 의한 압력파를 감지할 수 있는 하나의 센서부(110)를 구비하고, 주기적으로 가진에 의한 압력파를 측정하고 분산특성을 잘 나타낼 수 있도록 신호변환하며, 감육이 진행되지 않은 배관(10)의 초기 상태에서의 측정값(초기치)과 비교함으로써, 배관(10) 내부의 전반적인 감육상태를 파악한다.

[0021] 또한, 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 관리하고자 하는 배관(10)의 두께 임계치(h_{th})가 설정된 경우, 해당 두께 임계치(h_{th})에 대한 시뮬레이션을 통하여 해당 감육상태에 대한 변환을 통해 변환 그래프를 산출하고, 변환 그래프의 특성선의 속성을 산출함으로써, 미리 설정된 기준값 또는 임계치와 비교하여 배관(10)의 감육상태를 감시 및 관리한다.

[0022] 이에 의해, 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 배관(10)에 충격을 가진하고 두 개 이상의 센서를 이용하여 배관(10)의 길이방향의 진동과 전파속도를 구한 후, 이를 기반으로 배관(10)의 감육상태를 파악하는 기존의 방법에 비하여, 하나의 센서를 이용하여 저렴한 비용으로 배관(10)의 길이방향의 전반적인 감육상태를 감시 및 진단할 수 있다.

[0023] 이때, 배관(10)을 통해 흐르는 유체는 냉각수 또는 원유 등과 같은 액체일 수 있다. 즉, 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 발전소의 냉각수용 배관, 하수공급 및 상수공급용 배관 또는 원유공급용 배관에 적용할 수 있다.

[0024] 또한, 배관(10)을 통해 흐르는 유체는 가스 등과 같은 기체일 수 있다. 즉, 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 가스공급용 배관에 적용할 수 있다. 이때, 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 유체의 밀도가 액체보다 기체가 작음에 기인하여 센서에 의해 감지되는 압력파가 미세하기 때문에 감지된 압력파를 변환하기 이전에 추가적인 신호처리를 수행할 수 있다.

[0025] 도 1에서, 배관계에 유체가 유동할 때, 배관(10)의 길이방향으로 전파하는 진동 전파모드(propagating mode)가 존재하며, 이러한 모드는 유체를 둘러싼 배관(10)의 표면을 따라 전파하는 표면진동파와 배관(10) 내부에 포함된 유체와 배관(10) 표면이 함께 연성(coupling)되어 전파하는 압력파로 구분할 수 있다.

[0026] 이때, 배관(10)에 발생하는 압력파의 전파속도는 이론적으로 수학적 식 1과 같이 표현될 수 있다.

수학적 식 1

$$c = c_f \left(1 + \frac{2B_f/r}{Eh/r^2 - \rho h \omega^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

[0028] 여기서, C_f는 유체의 음속, B_f는 유체의 체적탄성 계수, r은 배관의 반지름, h는 배관의 두께(h), E는 배관재료의 영계수(Young's modulus), ρ는 배관의 밀도, ω는 각주파수(ω=2πf)이다.

[0029] 이때, 수학적 식 1로부터 알 수 있는 바와 같이, 압력파의 전파속도(c)는 배관의 두께(h) 및 재료의 영계수(E), 및 주파수(ω)에 따라서도 변화함을 알 수 있다.

- [0030] 도 3은 배관 두께(h)에 따른 전파 속도의 변화를 나타낸 그래프이다. 도 3에서 배관(10)의 지름은 150mm이다.
- [0031] 이러한 압력파는 배관(10)의 길이방향으로 전파하며, 전파속도(c)가 도 3에 도시된 바와 같이, 배관의 두께(h)에 따라 변하므로, 압력파의 전파속도(c)를 측정하면 배관(10)의 감육정도를 파악할 수 있다.
- [0032] 그러나 배관(10)에서의 압력파의 전파속도를 측정하려면 통상적으로는 두 개 이상의 센서가 필요하며, 더욱이 전파속도를 정확하게 측정하기 위해서는 두 개의 센서에 도달하는 압력파의 시간지연을 정확하게 측정해야 하므로, 샘플링주파수(시간 분해능)가 높은 하드웨어를 구비해야 한다.
- [0033] 더욱이, 두 개의 센서간의 시간지연을 측정하기 위해서는 두 개의 센서간의 시간 동기화(time synchronization)가 되어 있어야 한다.
- [0034] 특히, 유선방식이 아닌 무선방식의 센서들을 사용할 경우에는 동기화(time synchronization)를 구현하는데 많은 비용이 소요될 뿐만 아니라, 현재 저가의 무선센서들은 대부분 동기화를 지원하지 않으므로 고가의 무선센서가 요구된다.
- [0035] 아울러, 실제 플랜트 현장에서 센서의 개수의 증가는 설치/유지비용의 증가를 초래하므로, 실제 플랜트현장에서 적용성을 향상시키기 위해서는 상술한 바와 같은 사항들을 고려해야 한다.
- [0036] 도 1에 도시된 바와 같이, 배관상의 임의의 지점(x_e)에서 가진에 의해 압력파(p_e)가 가진되었다고 가정하면, 해당 지점(x_e)에서 가진된 압력파는 배관(10)의 길이방향으로 전파하며, 이로부터 일정거리 이격된 위치(x_s)에서 센서부(110)에서 측정되는 압력파(p_s)는 다음의 수학적 식 2로 표현할 수 있다.

수학적 식 2

[0037]
$$p_s = p_e e^{-jk(x_s-x_e)} = p_e e^{-j\frac{\omega}{c}(x_s-x_e)}$$

- [0038] 여기서 p_e는 가진에 의한 압력파의 크기, k는 압력파의 파수(wave number), ω는 각주파수(ω=2πf), c는 압력파의 전파속도이다.
- [0039] 이때, 수학적 식 2의 전파속도(c)는 수학적 식 1로 표현되며, 주파수(ω)에 따라 다른 값을 갖는다. 즉, 압력파는 저주파성분과 고주파성분이 다른 전파속도로 전파하는 분산특성을 가짐을 알 수 있다.
- [0040] 즉, 배관(10)이 설치된 후 유체가 유동하면서, 배관(10)과의 마찰 등에 의해 배관(10)의 감육현상이 발생하므로, 시간이 경과함에 따라 점진적으로 배관(10)의 두께가 미세하게 감소하게 된다. 이와 같이, 배관(10)의 두께가 감소하면, 배관(10) 내의 유체의 유동 특성이 변화하기 때문에 배관(10) 내부의 유체에 의한 압력파의 분산특성이 변화하게 된다.
- [0041] 따라서 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 배관(10) 내부를 따라서 전파하는 압력파의 분산특성을 이용하여 하나의 센서에 의해 배관(10)의 감육상태를 감시하기 위한 방안을 제시한다. 이때, 본 발명은 압력파의 분산특성을 용이하게 파악할 수 있는 변환을 이용한다.
- [0042] 일례로, 이러한 분산특성은 하나의 센서부(110)에서 측정된 진동응답에 대한 시간-주파수 분석(time-frequency analysis)에 의해 분석할 수 있다.
- [0043] 이때, 수학적 식 2와 같은 압력파에 대한 시간-주파수 분석은 하기의 수학적 식 3으로 표현될 수 있다.

수학적 식 3

[0044]
$$W(t,f) = \int p_s\left(t+\frac{\tau}{2}\right) p_s^*\left(t-\frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi f\tau} d\tau$$

- [0045] 여기서, *는 공액복소수(complex conjugate), f는 주파수, τ 는 시간지연이다.
- [0046] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템에서 압력파의 시간-주파수 영역의 응답특성을 나타낸 그래프이다.
- [0047] 여기서, 도 4는 지름이 150mm인 배관(10)에서 가진 지점(x_e)로부터 10m 이격된 위치(x_s)에서 산출한 압력파의 진동응답을 시뮬레이션한 결과를 나타낸다.
- [0048] 도 4에서 최상단에 도시된 바와 같이 동일하게 가진된 충격에 대하여, 두 번째 그래프에 도시된 바와 같이 배관(10)의 두께(h)가 감소할수록 압력파의 도달지연시간이 증가하며, 최하단에 도시된 바와 같이 분산특성(dispersive characteristic)이 변화함을 관찰할 수 있다.
- [0049] 즉, 도 3에서와 유사하게 배관(10)의 두께(h)가 감소함에 따라 압력파의 전파속도(c)는 감소하는 경향을 보이며, 압력파의 고주파성분에서 분산특성이 점차적으로 크게 나타남을 관찰할 수 있다.
- [0050] 특히, 도 4에서 최하단 그래프에 도시된 바와 같이, 압력파의 시간-주파수 응답을 나타내는 변환 그래프의 특징선(노란색)은 배관(10)의 두께(h)가 감소함에 따라 고주파성분에서 더 큰 변화를 나타냄을 알 수 있다. 이와 같이, 압력파의 시간-주파수 변환 그래프에서 특징선의 휨정도에 따라 배관(10)의 감육상태를 파악할 수 있다.
- [0051] 한편, 이와 같은 배관(10)의 두께(h) 변화에 따른 분산특성의 변화는 앰비규티영역(ambiguity domain)에서 보다 명확하게 알 수 있다.
- [0052] 이때, 수학적 식 2와 같은 압력파에 대한 앰비규티 변환은 하기의 수학적 식 4로 표현될 수 있다.

수학적 식 4

$$A(v, \tau) = \int p_s\left(t + \frac{\tau}{2}\right) p_s^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{-j2\pi vt} dt$$

- [0053]
- [0054] 여기서, *는 공액복소수(complex conjugate), t는 시간, τ 는 시간지연, v는 주파수변화량이다.
- [0055] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템에서 압력파의 앰비규티 영역의 응답특성을 나타낸 그래프이다.
- [0056] 여기서, 도 5는 지름이 150mm인 배관(10)에서 가진 지점(x_e)로부터 10m 이격된 위치(x_s)에서 산출한 압력파의 진동응답을 시뮬레이션한 결과를 나타낸다.
- [0057] 도 5의 하단 그래프에 나타낸 바와 같이, 분산 특성을 갖는 압력파 신호는 앰비규티 영역(ambiguity domain)에서 원점을 지나는 특징선(노란색)의 형태로 표현되며, 따라서, 주파수변화(v)에 따른 시간지연(τ) 변화를 효과적으로 표현할 수 있다.
- [0058] 즉, 배관(10)의 두께(h)가 감소함에 따라 압력파의 앰비규티 영역에서 특징선의 원점을 중심으로 한 기울기 변화를 나타내고 있으며, 특히 배관(10)의 두께(h)가 감소할수록 특징선의 원점을 중심으로 한 기울기의 변화가 크게 나타남을 관찰할 수 있다. 이와 같이, 압력파의 앰비규티 변환 그래프에서 특징선의 원점을 중심으로 한 기울기에 따라 배관(10)의 감육상태를 파악할 수 있다.
- [0059] 상술한 바와 같이, 배관(10) 내의 압력파의 분산특성은 시간-주파수 변환 또는 앰비규티 변환에 의한 변환 그래프로부터 용이하게 파악할 수 있다.
- [0060] 이와 같은 압력파의 분산특성을 이용하는 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 도 2에 도시된다. 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템의 블록도이다.
- [0061] 본 발명의 일 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 센서부(110), 제어부(120), 저장부(130) 및 표시부(140)를 포함한다.
- [0062] 센서부(110)는 배관(10)에서 충격이 가진된 위치(x_e)로부터 제1거리로 이격 배치된다. 이러한 센서부(110)는 배관(10)에 가진된 충격에 의한 배관(10) 내의 압력파를 감지한다.

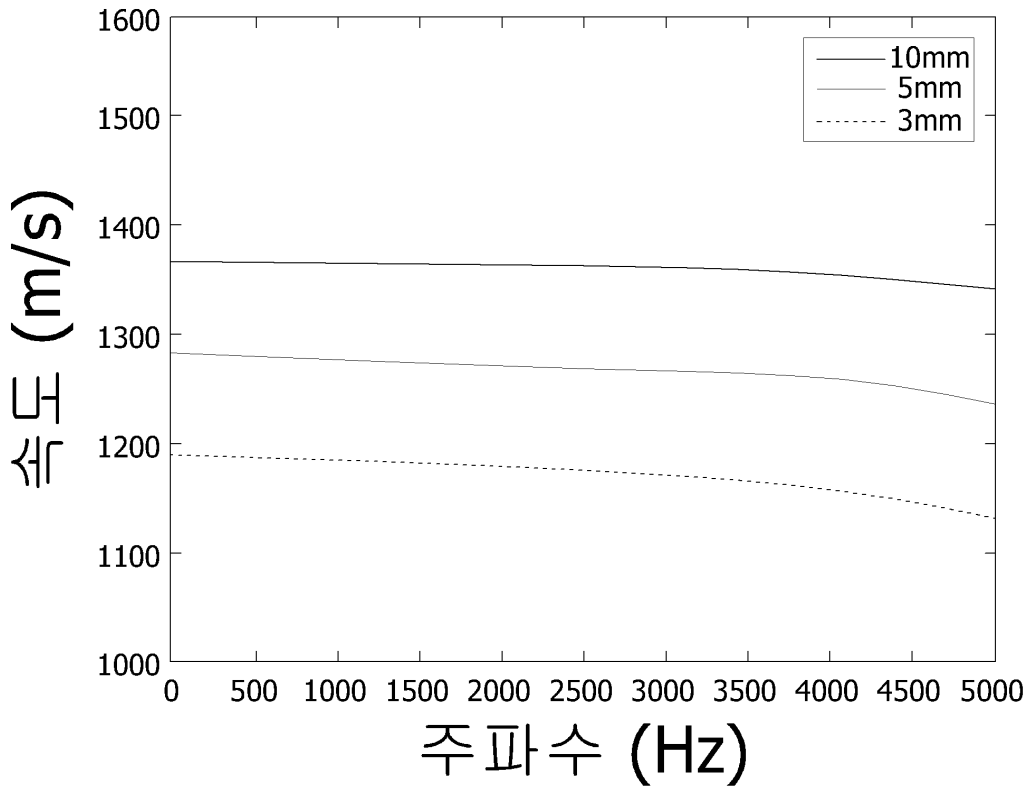
- [0063] 일례로, 센서부(110)는 가속도계와 같은 진동센서이거나 배관(10) 내부에 압력파를 직접 측정할 수 있는 하이드로폰과 같은 압력센서일 수 있다.
- [0064] 제어부(120)는 센서부(110)에서 감지된 압력파에 대하여 분산특성을 파악하기 위해 수학식 3과 같이 시간-주파수 변환하여 변환 그래프를 산출한다.
- [0065] 또한, 제어부(120)는 도 4에 도시된 바와 같은 시간-주파수 변환 그래프를 표시부(140)에 디스플레이하도록 제어한다.
- [0066] 이때, 제어부(120)는 산출된 변환 그래프의 특징선의 휨정도에 의해 배관(10)의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 배관의 감육상태에 따른 기준 휨정도를 제공한다.
- [0067] 즉, 제어부(120)는 사용자가 변환 그래프와 기준 정보를 기초로 배관(10)의 감육상태를 판단할 수 있도록 변환 그래프를 표시부(140)에 디스플레이하는 동시에 배관(10)의 두께에 따른 기준 정보를 제공하도록 제어할 수 있다.
- [0068] 이에 의해, 플랜트 배관계의 노화상태를 조기에 감지할 수 있으므로 플랜트 사고를 사전에 예방할 수 있는 동시에 안정성을 향상시킬 수 있다.
- [0069] 대안적으로, 제어부(120)는 변환 그래프로부터 특징선의 휨정도를 산출하고, 저장부(130)에 저장된 기준 휨정도와 비교하여 배관(10)의 두께(h)를 산출할 수 있다. 이때, 제어부(120)는 이미지 프로세싱에 의해 변환 그래프로부터 특징선을 추출한 후 특징선의 휨정도를 산출하여 기준 휨정도와 비교하여 배관(10)의 두께(h)를 산출할 수 있다.
- [0070] 이에 의해, 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 배관(10)의 감육상태를 사용자에게 의해 판단하지 않고, 자동으로 판단할 수 있다.
- [0071] 저장부(130)는 배관(10)의 두께(h)에 따라 사전에 측정된 시간-주파수 변환 그래프의 기준 휨정도가 저장될 수 있다. 즉, 사전 시뮬레이션 또는 실험에 의해, 배관(10)의 두께(h)별로 압력파를 측정하여 시간-주파수 변환하여 변환 그래프를 산출하고, 산출된 변환 그래프로부터 특징선의 휨정도를 산출함으로써, 두께(h)별 기준 휨정도로 저장될 수 있다.
- [0072] 표시부(140)는 사용자가 변환 그래프에 의해 배관(10)의 감육상태를 판단할 수 있도록 제어부(120)에 의해 산출되는 압력파의 분산특성을 디스플레이한다.
- [0073] 다른 예로서, 제어부(120)는 센서부(110)에서 감지된 압력파에 대하여 분산특성을 파악하기 위해 수학식 4와 같이 앰비규티(ambiguity) 변환하여 변환 그래프를 산출한다.
- [0074] 또한, 제어부(120)는 도 5에 도시된 바와 같은 앰비규티 변환 그래프를 표시부(140)에 디스플레이하도록 제어한다.
- [0075] 이때, 제어부(120)는 산출된 변환 그래프의 특징선의 기울기에 의해 배관(10)의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 배관의 감육상태에 따른 기준기울기를 제공한다.
- [0076] 즉, 제어부(120)는 사용자가 변환 그래프와 기준 정보를 기초로 배관(10)의 감육상태를 판단할 수 있도록 변환 그래프를 표시부(140)에 디스플레이하는 동시에 배관(10)의 두께(h)에 따른 기준정보를 제공하도록 제어할 수 있다.
- [0077] 대안적으로, 제어부(120)는 변환 그래프로부터 특징선의 기울기를 산출하고, 저장부(130)에 저장된 기준 기울기와 비교하여 배관(10)의 두께(h)를 산출할 수 있다. 이때, 제어부(120)는 이미지 프로세싱에 의해 변환 그래프로부터 특징선을 추출한 후 특징선의 기울기를 산출하여 기준 기울기와 비교함으로써 배관(10)의 두께(h)를 산출할 수 있다.
- [0078] 이에 의해, 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 배관(10)의 감육상태를 사용자에게 의해 판단하지 않고, 자동으로 판단할 수 있다.
- [0079] 이때, 저장부(130)는 배관(10)의 두께에 따라 사전에 측정된 앰비규티 변환 그래프의 기준 기울기가 저장될 수 있다. 즉, 사전 시뮬레이션 또는 실험에 의해, 배관(10)의 두께(h)별로 압력파를 측정하여 앰비규티 변환하여 변환 그래프를 산출하고, 산출된 변환 그래프로부터 특징선의 기울기를 산출함으로써, 두께(h)별 기준 기울기로 저장할 수 있다.

- [0080] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 압력파에 더하여 표면진동파를 함께 하나의 센서부(110)로 측정할 수 있다.
- [0081] 이를 위해, 센서부(110)는 제1거리보다 작은 제2거리에 배치되어 배관(10)의 표면진동파를 더 감지할 수 있다.
- [0082] 표면진동파는 빠른 감쇠특성을 가지므로, 가진 위치(x_e)로부터 보다 짧은 거리에 센서부(110)를 배치함으로써, 하나의 센서부(110)로부터 압력파와 표면진동파를 동시에 측정할 수 있다.
- [0083] 이때, 제어부(120)는 센서부(110)에서 동시에 측정된 압력파와 표면진동파를 분리하기 위해 표면진동파를 필터링하고, 압력파와 표면진동파 각각을 시간-주파수 변환 또는 엠비규티 변환을 수행할 수 있다.
- [0084] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 복수의 위치에 대하여 배관(10)의 감육상태를 일괄적으로 모니터링 할 수 있다.
- [0085] 이를 위해, 센서부(110)는 복수 개로 구비되어 배관(10)의 미리 설정된 복수의 위치에 배치될 수 있다. 여기서, 센서부(110)는 감지결과를 무선통신을 통해 제어부(120)로 전송할 수 있지만, 이에 한정되지 않으며, 유선통신을 통해 전송할 수도 있다.
- [0086] 이때, 제어부(120)는 복수 개의 센서부(110)에 대응하는 위치별로 배관(10)의 감육상태를 디스플레이하도록 제어할 수 있다. 일례로, 제어부(120)는 표시부(140) 상에 미리 설정된 개수로 화면을 분할하고, 복수의 위치에 대한 변환 결과를 동시에 디스플레이하도록 제어할 수 있다.
- [0087] 이에 의해, 사전에 복수 개의 센서를 대상 배관(10)에 설치하고 관제소와 같은 하나의 장소에서 제어부(120)를 통해 배관(10)의 감육상태를 일괄적으로 처리함으로써, 배관(10)의 감육상태에 대한 주기적인 측정 및 감시를 무인 모니터링에 의해 수행할 수 있고, 따라서 대량의 검사대상 배관을 검사하는데 소요되는 시간을 단축할 수 있다.
- [0088] 더욱이, 저가의 무선센서를 이용함으로써, 무인 모니터링의 구축 및 변경을 용이하게 달성할 수 있으며, 플랜트 배관계의 체계적인 노화관리 및 유지보수가 가능하므로 유지보수 비용을 절감할 수 있다.
- [0089] 또한, 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 복수 개의 센서부(110)로부터 일정거리 이격된 위치에서 배관(10)에 충격을 가진하는 충격 발생기(미도시)를 더 포함할 수 있다. 여기서, 상기 충격 발생기는 복수 개의 센서부(110)에서 압력파를 검지가능한 거리마다 구비할 수 있다.
- [0090] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템(100)은 미리 설정된 배관(10)의 감육상태에 대한 경보를 발생시킬 수 있다.
- [0091] 이를 위해, 제어부(120)는 사용자에 의해 배관(10)의 두께 임계치(h_{th})가 미리 설정되면, 상술한 바와 같이 산출된 배관(10)의 두께(h)와 두께 임계치(h_{th})를 비교하여 배관(10)의 감육상태에 대한 경보를 발생시킬 수 있다.
- [0092] 즉, 제어부(120)는 산출된 배관(10)의 두께(h)가 두께 임계치(h_{th})에 도달하면, 배관(10)을 교체하거나 보수하도록 경보를 발생시키거나, 미리 지정된 단말로 통지할 수 있다. 여기서, 상기 단말은 컴퓨터, 이동전화기, 스마트폰 및 통신가능한 휴대용 기기일 수 있다.
- [0093] 이에 의해, 배관(10)의 감육상태의 감시뿐만 아니라 배관의 교체 또는 유지보수 시기를 자동으로 판단함으로써, 감육상태 감시를 더 효율적으로 수행할 수 있고 관련인력의 투입을 경감시켜 유지보수 비용을 절감할 수 있다.
- [0094] 이하, 도 6 및 도 7을 참조하여 본 발명의 배관의 감육상태 감시 방법을 설명한다.
- [0095] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 방법의 일례의 순서도이다.
- [0096] 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 방법(200)은 충격을 가진하는 단계(S201), 압력파를 감지하는 단계(S202), 시간-주파수 변환하는 단계(S203), 변환 그래프를 산출 및 디스플레이하는 단계(S204) 및 배관의 감육상태를 판단하는 단계(S205 및 S206)를 포함한다.
- [0097] 보다 상세히 설명하면, 도 6에 도시된 바와 같이, 먼저, 유체가 흐르는 배관(10)에서 센서부(110)가 설치된 위치(x_s)로부터 일정거리 이격된 위치(x_e)에서, 배관(10)에 충격을 가진한다(단계 S201).
- [0098] 다음으로, 센서부(110)에 의해 상기 가진된 충격에 의해 배관(10) 내에 발생하는 압력파를 감지한다(단계 S202). 여기서, 센서부(110)는 가속도계와 같은 진동센서이거나 배관(10) 내부에 압력파를 직접 측정할 수 있는

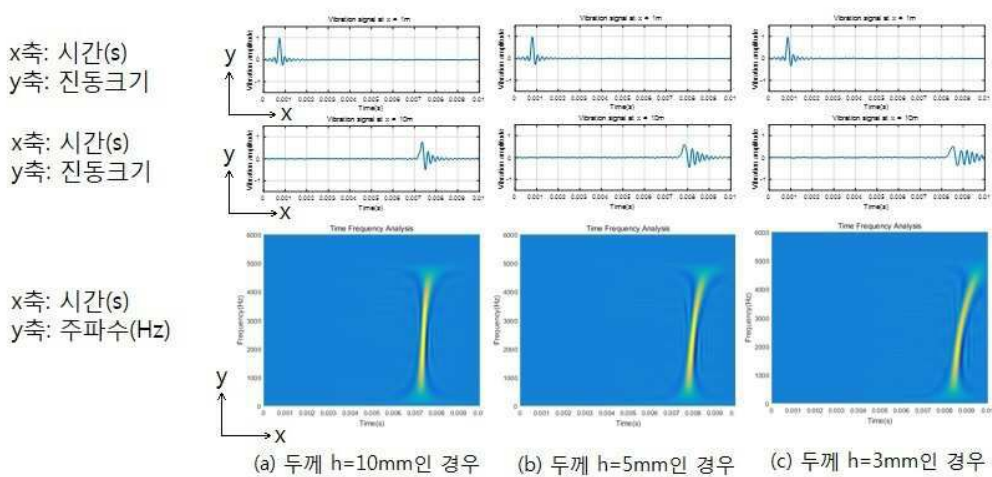
하이드로폰과 같은 압력센서일 수 있다.

- [0099] 다음으로, 센서부(110)에 의해 감지된 압력파에 대하여 분산특성을 파악하기 위해 수학적 3과 같이 시간-주파수 변환한다(단계 S203).
- [0100] 다음으로, 상기 시간-주파수 변환의 결과에 따른 변환 그래프를 산출하고 도 4에 도시된 바와 같이 표시부(140)에 디스플레이한다(단계 S204).
- [0101] 다음으로, 디스플레이된 변환 그래프의 특징선의 휨정도에 의해 배관(10)의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 배관(10)의 감육상태에 따른 기준 휨정도를 제공함으로써, 사용자에게 의해 배관(10)의 감육상태를 판단한다(단계 S206).
- [0102] 대안적으로, 배관(10)의 감육상태를 자동으로 판단하는 경우, 단계 S205와 단계 S206 사이에 산출된 변환 그래프의 특징선의 휨정도를 산출한다(단계 S205). 여기서, 이미지 프로세싱에 의해 변환 그래프로부터 특징선을 추출한 후 특징선의 휨정도를 산출할 수 있다.
- [0103] 이때, 단계 S206의 감육상태 판단 단계는 변환 그래프의 특징선의 휨정도와 배관(10)의 두께(h)에 따라 미리 산출된 기준 휨정도를 비교하여 대상 배관(10)의 두께(h)를 산출할 수 있다.
- [0104] 한편, 사용자에게 의해 배관(10)의 두께 임계치(h_{th})가 미리 설정된 경우, 단계 S206의 판단 단계는 산출된 배관(10)의 두께(h)와 두께 임계치(h_{th})를 비교하여 배관(10)의 감육상태에 대한 경보를 발생시킬 수 있다.
- [0105] 즉, 상술한 바와 같이 산출된 배관(10)의 두께(h)가 두께 임계치(h_{th})에 도달하면, 배관(10)을 교체하거나 보수하도록 감육상태에 대한 경보를 발생시키거나, 미리 지정된 단말로 통지할 수 있다. 여기서, 상기 단말은 컴퓨터, 이동전화기, 스마트폰 및 통신가능한 휴대용 기기일 수 있다.
- [0106] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 시스템의 다른 예의 순서도이다.
- [0107] 본 발명의 실시예에 따른 배관의 감육상태 감시 방법(300)은 충격을 가진하는 단계(S301), 압력파를 감지하는 단계(S302), 앰비규티 변환하는 단계(S303), 변환 그래프를 산출 및 디스플레이하는 단계(S304) 및 배관의 감육상태를 판단하는 단계(S305 및 S306)를 포함한다.
- [0108] 보다 상세히 설명하면, 도 7에 도시된 바와 같이, 먼저, 유체가 흐르는 배관(10)에서 센서부(110)가 설치된 위치(x_s)로부터 일정거리 이격된 위치(x_e)에서, 배관(10)에 충격을 가진하고(단계 S301), 센서부(110)에 의해 상기 가진된 충격에 의해 배관(10) 내에 발생하는 압력파를 감지한다(단계 S302).
- [0109] 다음으로, 센서부(110)에 의해 감지된 압력파에 대하여 분산특성을 파악하기 위해 수학적 4와 같이 앰비규티 변환한다(단계 S303).
- [0110] 다음으로, 상기 앰비규티 변환의 결과에 따른 변환 그래프를 산출하고 도 5에 도시된 바와 같이 표시부(140)에 디스플레이한다(단계 S304).
- [0111] 다음으로, 디스플레이된 변환 그래프의 특징선의 기울기에 의해 배관(10)의 감육상태를 판단하도록 미리 측정된 배관(10)의 감육상태에 따른 기준 기울기를 제공함으로써, 사용자에게 의해 배관(10)의 감육상태를 판단한다(단계 S306).
- [0112] 대안적으로, 배관(10)의 감육상태를 자동으로 판단하는 경우, 단계 S305와 단계 S306 사이에 산출된 변환 그래프의 특징선의 기울기를 산출한다(단계 S305). 여기서, 이미지 프로세싱에 의해 변환 그래프로부터 특징선을 추출한 후 특징선의 기울기를 산출할 수 있다.
- [0113] 이때, 단계 S306의 감육상태 판단 단계는 변환 그래프의 특징선의 기울기와 배관(10)의 두께(h)에 따라 미리 산출된 기준 기울기를 비교하여 대상 배관(10)의 두께(h)를 산출할 수 있다.
- [0114] 한편, 사용자에게 의해 배관(10)의 두께 임계치(h_{th})가 미리 설정된 경우, 단계 S306의 판단 단계는 산출된 배관(10)의 두께(h)와 두께 임계치(h_{th})를 비교하여 배관(10)의 감육상태에 대한 경보를 발생시킬 수 있다.
- [0115] 상기와 같은 방법들은 도 1에 도시된 바와 같은 배관의 감육상태 감시 시스템(100)에 의해 구현될 수 있고, 특히, 이러한 단계들을 수행하는 소프트웨어 프로그램으로 구현될 수 있으며, 이 경우, 이러한 프로그램들은 컴퓨터 판독가능한 기록 매체에 저장되거나 전송 매체 또는 통신망에서 반송파와 결합된 컴퓨터 데이터 신호에 의한

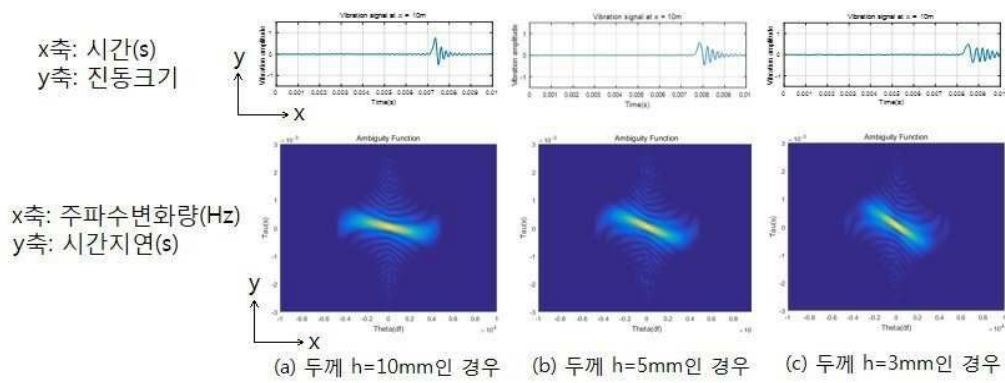
도면3



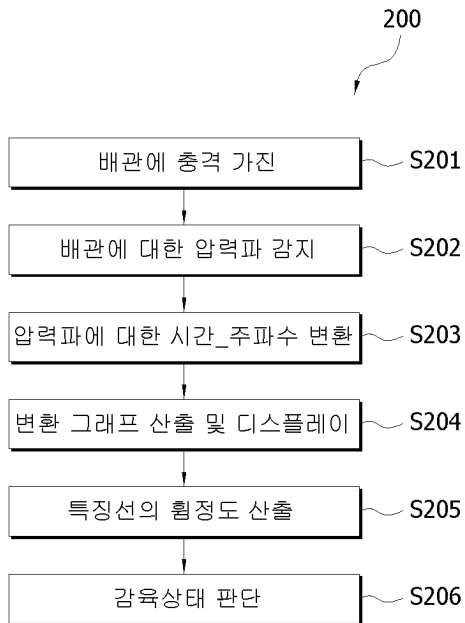
도면4



도면5



도면6



도면7

