



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년08월04일
(11) 등록번호 10-1541978
(24) 등록일자 2015년07월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 17/02 (2006.01) G01N 29/14 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0168727
(22) 출원일자 2013년12월31일
심사청구일자 2013년12월31일
(65) 공개번호 10-2015-0078894
(43) 공개일자 2015년07월08일
(56) 선행기술조사문헌
JP06201364 A*
JP2004325224 A*
JP2013217867 A*
JP07086450 B2
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국원자력연구원
대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)
(72) 발명자
한순우
경기 화성시 메타폴리스로 6, 308동 1601호 (반송동, 시범다운마을삼성래미안아파트)
윤두병
대전 유성구 엑스포로123번길 65-38, 201동 2304호 (도룡동, 스마트시티주상복합아파트)
(74) 대리인
특허법인이름
(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 6 항

심사관 : 김홍래

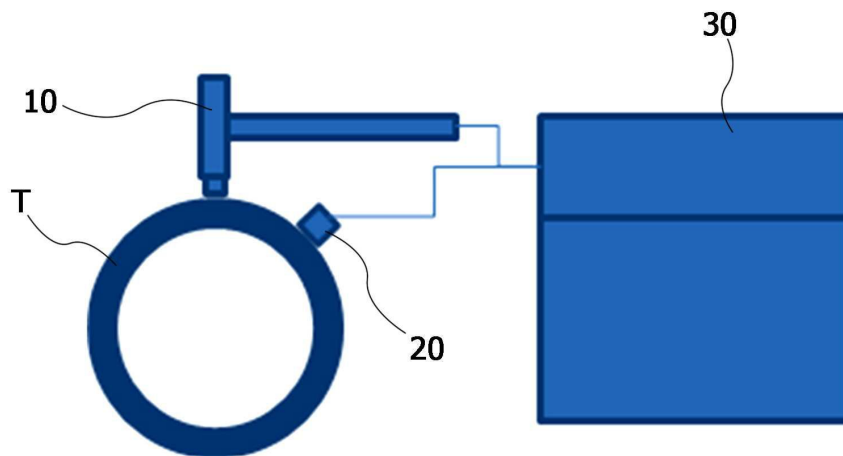
(54) 발명의 명칭 배관 감육 검사장치 및 검사방법

(57) 요약

본 발명은 배관의 고유 진동수를 측정하여 배관의 감육 정도를 판단하는 배관 감육 검사장치 및 검사방법을 개시한다.

본 발명은 측정하고자 하는 배관(T)을 타격하는 타격부재(10)와, 상기 타격부재(10)의 타격으로 인해 상기 배관(T)에서 발생하는 고유진동수를 측정하는 진동측정센서(20)와, 상기 진동측정센서(20)에서 측정되는 고유진동수와 감육이 발생되지 않은 정상 배관에서 발생하는 고유진동수를 비교하여 상기 배관(T)의 감육 정도를 판단하는 제어부(30)로 구성됨으로써, 배관의 감육정도를 신속하게 파악할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

박진호

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

김홍표

대전 유성구 어은로 57, 135동 1404호 (어은동, 한
빛아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 522320-13

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기관고유사업

연구과제명 원전 재료/기기 신뢰성 검증 사업

기 여 율 1/1

주관기관 한국원자력연구원

연구기간 2013.01.01 ~ 2013.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

타격부재(10)의 타격으로 인해 측정하고자 하는 배관(T)에서 발생하는 고유진동수를 계산하기 위해 진동신호를 측정하는 진동측정센서(20); 및

상기 진동측정센서(20)로부터 측정된 신호에 기초하여 상기 배관(T)의 감육 여부 및 감육 형상을 추정하는 제어부(30);

를 포함하고,

상기 배관(T)의 감육 여부는 상기 진동측정센서(20)에서 측정되는 진동신호로부터 계산되는 고유진동수와 감육이 발생되지 않은 정상 배관에서 발생하는 고유진동수를 비교에 기초하여 추정되고,

상기 배관(T)의 감육 형상은 상기 배관(T)의 동일 차수 내 분기된 고유 진동수 간의 비율 또는 차이에 기초하여 추정되는 배관 감육 검사장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 배관(T) 내부에 감육이 균일하게 발생하는 경우, 정상적인 배관에 비하여 고유 진동수가 감소되고, 상기 제어부(30)가 이를 감지하여 배관(T)의 감육정도를 판단하는 것을 특징으로 하는 배관 감육 검사장치.

청구항 3

삭제

청구항 4

제 1항에 있어서, 상기 제어부(30)는

상기 타격부재(10)가 휴대용 헤머로 이루어지는 경우, 고유 진동수 측정 시 자기파워스펙트럼(APS) 측정으로 고유진동수 정보를 추출할 수 있는 것을 특징으로 하는 배관 감육 검사장치.

청구항 5

측정하고자 하는 배관(T)이 타격될 때, 상기 배관(T)에 설치된 진동측정센서(20)가 진동신호를 계측하는 계측단계(S1);

상기 배관(T)의 고유 진동수가 측정되는 고유 진동수 측정단계(S2);

측정된 고유 진동수를 바탕으로 제어부가 상기 배관(T)의 동일 차수 내 분기된 고유 진동수 간 비율 또는 차이를 계산하는 계산단계(S3); 및

상기 계산단계(S3)에서 계산된 수치를 기반으로 상기 제어부가 상기 배관(T)의 감육 여부 및 감육 형상을 판단하는 판단단계(S4)를 진행하여 배관의 감육여부 및 감육 형상을 추정하는 것을 특징으로 하는 배관 감육 검사방법.

청구항 6

제 5항에 있어서, 상기 배관(T)에 장착되는 타격부재(10)를 이용하여 상기 배관(T)이 타격되는 경우,

상기 고유 진동수 측정단계(S2) 이전에 상기 진동측정센서(20)가 상기 타격부재(10)의 진동신호를 계측하는 충격신호계측단계(S5)를 실시하는 것을 특징으로 하는 배관 감육 검사방법.

청구항 7

제 5항에 있어서, 휴대용 해머를 이용하여 상기 배관(T)이 타격되는 경우,

상기 고유 진동수 측정단계(S2)는 상기 진동측정센서(20)에서 측정된 진동신호의 자기파워스펙트럼(APS)에서 고유 진동수 정보가 추출되는 것을 특징으로 하는 배관 국부 감육 검사방법.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 배관 감육 검사장치 및 검사방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 배관의 고유진동수 변화를 감지하고 이를 해석하여 배관의 감육을 검사할 수 있도록 하는 배관 감육 검사장치 및 검사방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 플랜트의 경우 초기 건설 시에 설치된 배관의 노후화에 따라 배관의 감육(Wall thinning) 및 파단이 발생한 사례가 보고되고 있으며, 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 초음파 측정장치를 이용한 두께측정기법이 현장에서 널리 적용되고 있다. 그러나 이러한 측정방법은 배관 표면에 분포하는 다수개의 측정지점을 일일이 측정해야하므로 검사에 많은 시간이 소요되는 문제점이 있다. 다수개의 측정지점을 측정하지 않으면 측정결과에 신뢰도가 저하된다.

[0004] 따라서 배관 두께 측정의 정확도를 유지하면서도 기존 방법에 비하여 신속하게 배관 감육 발생여부를 검사할 수 있는 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 1차적으로 배관의 감육여부 및 그 정도를 신속하게 파악하고 이를 통해 정밀하게 감육을 감시할 배관을 선정하고, 이후 이 배관에 대해 지속적이고 집중적인 모니터링을 실시할 경우, 기존 감육 측정방법에 비해 감육 감시의 효율성을 증대시키고 나아가 시설의 안정성을 향상시킬 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본공개특허 특개 2012-107918호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 상기와 같은 점을 감안하여 안출한 본 발명의 목적은 감육이 발생된 배관의 고유진동수는 감육이 발생되지 않은 배관의 고유진동수에 비해 감소되는 특징을 이용하여 배관의 감육여부를 판단함으로써, 측정시간을 단축시킬 수 있는 배관 감육 검사장치 및 검사방법을 제공함에 있다.

[0007] 또한 본 발명의 목적은 배관의 감육이 발생되면 같은 차수의 고유진동수가 두 개로 분기되는 현상을 이용하여 배관의 감육여부를 판단함으로써, 측정시간을 단축함과 동시에 판단의 신뢰성을 향상시키는 배관 감육 검사장치 및 검사방법을 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기와 같은 본 발명의 목적을 달성하기 위한 배관 감육 검사장치는 측정하고자 하는 배관을 타격하는 타격부재; 상기 타격부재의 타격으로 인해 상기 배관에서 발생하는 고유진동수를 측정하는 진동측정센서; 및 상기 진동측정센서에서 측정되는 고유진동수와 감육이 발생되지 않은 정상 배관에서 발생하는 고유진동수를 비교하여 상기 배관의 감육 정도를 판단하는 제어부를 포함한다.

[0009] 또한, 보다 바람직하게는, 상기 배관 내부에 감육이 균일하게 발생하는 경우, 정상적인 배관에 비하여 고유 진

동수가 감소되고 상기 제어부가 이를 감지하여 배관의 감육정도를 판단한다.

[0010] 또한, 보다 바람직하게는, 상기 제어부는 상기 배관 내부에 감육이 국부적으로 발생하는 경우, 국부적으로 두께가 감소한 배관은 고유 진동수가 두 개 이상으로 갈라지게 되고, 이러한 고유 진동수의 분기현상을 관찰하여 배관의 감육 여부 및 감육 양상을 판단한다.

[0011] 또한, 보다 바람직하게는, 상기 제어부는 상기 타격부재가 휴대용 해머로 이루어지는 경우, 고유 진동수 측정 시 자기파워스펙트럼(APS) 측정으로 고유진동수 정보를 추출한다.

[0012] 상기와 같은 본 발명의 목적을 달성하기 위한 배관 국부 감육 검사방법은 측정하고자 하는 배관에 진동측정센서를 설치하고, 배관을 타격하여 상기 진동측정센서에서 진동신호를 계측하는 계측단계; 상기 배관의 고유 진동수를 측정하는 고유 진동수 측정단계; 측정된 고유 진동수를 바탕으로 제어부에서 상기 배관의 동일 차수 내 분기된 고유 진동수 간 비율 또는 차이를 계산하는 계산단계; 및 상기 계산단계에서 계산된 수치를 기반으로 감육 여부 및 감육 형상을 판단하는 판단단계를 진행하여 배관의 감육여부 및 감육 형상을 추정한다.

[0013] 또한, 보다 바람직하게는, 배관에 장착되는 타격부재를 이용하여 배관을 타격하는 경우, 상기 고유 진동수 측정단계 이전에 상기 타격부재의 충격신호를 계측하는 충격신호계측단계를 실시한다.

[0014] 또한, 보다 바람직하게는, 휴대용 해머를 이용하여 배관을 타격하는 경우, 상기 고유 진동수 측정단계는 상기 진동측정센서에서 측정된 신호의 자기파워스펙트럼(APS)에서 고유 진동수 정보를 추출한다.

발명의 효과

[0015] 이와 같이 본 발명에 의한 배관 감육 검사장치 및 검사방법은 검사 대상 배관이 많은 경우 신속하게 감육여부 및 감육 형상을 판단할 수 있어 정밀한 감육 감시 대상을 빨리 선정할 수 있어 검사 시간이 단축되는 효과가 있다.

[0016] 또한 본 발명에 의한 배관 감육 검사장치 및 검사방법은 배관에 부착하는 타격부재와 진동측정센서의 조합 또는 1개의 진동측정센서를 배관에 부착하고 휴대용 해머로 가격하는 단순 구조로 구성할 수 있어 현장에서의 활용성이 향상되는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0017] 도 1은 본 발명의 바람직한 제1 실시예인 배관 감육 검사장치를 개략적으로 도시한 개략도,
- 도 2는 실험에 사용된 배관의 단면도,
- 도 3은 도 2에 도시된 배관의 감육정도에 따른 고유 진동수 변화 해석 그래프,
- 도 4는 또 다른 실험에 사용된 배관의 단면도,
- 도 5는 도 4에 도시된 배관의 감육 형태에 따른 동일 차수 내 고유 진동수 비율변화 그래프,
- 도 6은 도 2에 도시된 배관의 감육 정도에 따른 고유 진동수 변화 실험 결과 그래프,
- 도 7은 본 발명의 바람직한 제1 실시예인 배관 국부 감육 검사방법을 도시한 플로우 차트,
- 도 8은 본 발명의 바람직한 제2 실시예인 배관 국부 감육 검사방법을 도시한 플로우 차트,
- 도 10은 배관의 고유 모드 형상을 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 본 발명의 바람직한 일 실시예인 배관 감육 검사장치 및 검사방법을 첨부된 도면을 참조하여 보다 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0019] 도 1은 본 발명의 바람직한 제1 실시예인 배관 감육 검사장치를 개략적으로 도시한 개략도이고, 도 2는 실험에 사용된 배관의 단면도이고, 도 3은 도 2에 도시된 배관의 감육정도에 따른 고유 진동수 변화 해석 그래프이고, 도 4는 또 다른 실험에 사용된 배관의 단면도이고, 도 5는 도 4에 도시된 배관의 감육 형태에 따른 동일 차수 내 고유 진동수 비율변화 그래프이고, 도 6은 도 2에 도시된 배관의 감육 정도에 따른 고유 진동수 변화 실험 결과 그래프이고, 도 7은 본 발명의 바람직한 일 실시예인 배관 국부 감육 검사방법을 도시한 플로우 차트이다.

[0020] 도 1내지 도 6에 도시된 바와 같이 본 발명의 바람직한 일 실시예인 배관 감옥 검사장치는 측정하고자 하는 배관(T)을 타격하는 타격부재(10)와, 타격부재(10)가 타격하는 위치와 일정간격을 두고 배관(T)에 장착되는 진동 측정센서(20)와, 상기 타격부재(10)를 제어하거나 진동측정센서(20)의 측정신호를 전달받아 감옥 정도를 판단하는 제어부(30)로 구성된다.

[0021] 타격부재(10)는 배관(T)에 장착되어 배관(T)을 타격하는 장치로서, 도시된 바와 같이 피스톤 등의 구동수단에 의해 가동되는 해머로 이루어진다. 구동수단은 유압에 의해 작동되는 피스톤 이외에 전동기나, 공압 피스톤 등을 사용할 수도 있다. 또한 도시되진 않았지만, 구동수단이 구비된 해머 이외에 휴대용 해머를 사용할 수도 있다. 구동수단은 제어부(30)의 제어 신호에 따라 설정된 타격량으로 해머가 배관(T)을 타격할 수 있도록 하는 장치라면 이외에 다양한 장치를 사용할 수도 있다.

[0022] 휴대용 해머를 사용하는 경우에는 후술할 본 발명의 바람직한 제2 실시예와 같이 고유 진동수 측정단계에서 진동측정센서(20)에서 측정된 신호의 자기파워스펙트럼(APS: Auto power Spectrum)에서도 고유 진동수 정보를 추출할 수 있도록 구성된다.

[0023] 제어부(30)는 타격부재(10) 및 진동측정센서(20)와 연결되어 제어신호를 전달하거나 측정신호를 전달받는다. 제어부(30)는 배관(T) 내부의 감옥이 균일하게 발생하는 경우, 정상적인 상태의 배관(T)에 비하여 고유 진동수가 감소된다. 이 고유진동수 변화를 추적하면 배관(T)의 감옥정도를 추정할 수 있는 것이다. 정상적인 상태의 배관에서 측정되는 고유 진동수 보다 작은 고유 진동수가 측정되면 측정하는 사람은 배관에 감옥이 발생되었음을 인지할 수 있게 되는 것이다. 제어부(30)로 노트북 등을 이용하는 경우 배관의 감옥 상태별로 발생하는 고유 진동수 데이터를 저장하는 데이터 스토리지와 시그널 프로세싱 등으로 구성될 수 있다.

[0024] 또한 배관(T) 내부의 감옥이 국부적으로 발생하는 경우에는 측정되는 고유 진동수가 두 개 이상으로 분기된다. 이때 발생하는 고유 진동수의 분기현상을 관찰하면 배관(T)의 감옥 여부와 감옥 양상을 판단할 수 있다.

[0025] 상기와 같이 구성된 배관 감옥 검사장치에 의해 측정된 타격부재(10)의 신호와 진동측정센서(20)의 신호를 조합하면 배관의 원주방향 고유진동수를 측정할 수 있다. 이 고유진동수는 다음과 같은 수학식1로 표현된다.

[0026]
$$f_i = \frac{\lambda_i}{2\pi R} \sqrt{\frac{E}{\rho(1-v^2)}} \dots\dots\dots \text{수학식 1}$$

[0027] 이때, f_i 는 i 번째 차수의 고유 진동수($i=2,3,4,\dots$), R 은 배관의 내경, E 는 탄성계수, ρ 는 배관의 밀도, v 는 포와송(Poisson)비이다.

[0028] 이때 λ_i 는 다음 수학식2와 같이 정해지는 계수이다.

[0029]
$$\lambda_i = \frac{1}{\sqrt{12}} \frac{t}{R} \frac{i(i^2-1)}{\sqrt{1+i^2}} \dots\dots\dots \text{수학식2}$$

[0030] 이때, t 는 배관의 두께이다.

[0031] 수학식 1과 수학식2로부터 배관의 고유진동수는 배관의 두께 및 강성에 따라 변화함을 알 수 있으며, 앞서 설명한 바와 같이 배관 내 감옥이 발생되어 두께가 얇아진 배관은 정상적인 경우에 비하여 고유 진동수가 감소한다.

[0032] 배관은 각 고유 진동수에서 특정한 형상으로 변형하며 이를 모드 형상(mode shape)이라고 한다. 배관의 고유 진동수 및 모드 형상은 무한개의 차수를 갖고 있으나, 현실에서는 낮은 차수의 고유 진동수 및 고유 모드가 주된 관찰 대상이 되고 가장 낮은 차수가 1이 되고, 가장 낮은 차수에서 값이 증가될수록 그 차수는 순차적으로 2, 3, 4, ...로 지정한다.

[0033] 도 9에 도시된 바와 같이 2차 이상의 모드 형상은 반경 방향으로 $\sin i \theta$ 로 표현되며 본 발명의 제안된 방법에서는 2차에서 5차 사이의 고유 진동수 및 모드 형상을 측정 및 모니터링 대상으로 설정하였다. 즉, 차수가 1차인 경우 모드 형상은 반경 방향으로 $\sin \theta$ 로 표현되고, 차수가 2차인 경우 모드 형상은 반경 방향으로 $\sin 2\theta$ 로 표현되는 것이다.

[0034] 정상적인 두께의 배관(T) 또는 원주 방향을 따라 균일하게 두께가 감소한 배관은 차수별로 하나의 고유 진동수

및 고유 모드를 갖게 되나, 감육에 의해 국부적으로 두께가 감소한 배관은 원주 방향에 따라 강성이 달라지므로 같은 차수에서도 고유 진동수가 두께 이상으로 분기 된다. 이러한 고유 진동수의 분기 현상을 관찰할 경우 배관의 감육 유무 및 양상에 대해 파악할 수 있다. 즉 배관 감육이 국부적으로 발생된 경우 감육의 위치와 감육 정도 등을 파악할 수 있다.

- [0035] 상기와 같이 구성된 본 발명의 바람직한 제1 실시예인 배관 감육 검사장치의 계측 과정은 다음과 같다.
- [0036] 도 7에 도시된 바와 같이 측정하고자 하는 배관(T)에 타격부재(10)와 진동측정센서(20)를 설치하고, 타격부재(10)를 가동시켜 배관(T)을 타격하고 진동측정센서(20)에서 측정되는 진동신호를 계측하는 계측단계(S1)을 실시한다. 이때 타격부재(10)는 해머에 별도의 구동수단이 장착되어 자동으로 배관을 타격하는 구조로 구성된다. 또한 계측단계(S1)와 함께 타격부재(10)가 배관을 타격하면서 발생된 충격신호 계측을 계측하는 충격신호 계측단계(S5)를 실시한다. 타격부재(10)는 제어부에 의해 기 설정된 값으로 타격한다.
- [0037] 계측단계(S1) 및 충격신호 계측단계(S5) 이후에 제어부(30)는 배관(T)의 충격신호 및 진동신호를 바탕으로 배관(T)의 고유 진동수를 측정(=산출)하는 고유 진동수 측정단계(S2)를 실시한다.
- [0038] 다음으로, 측정된 고유 진동수를 바탕으로 제어부(30)에서 배관(T)의 동일 차수 내 분기된 고유 진동수 간 비율 또는 차이값을 계산하는 계산단계(S3)를 실시한다.
- [0039] 그리고 계산단계(S3)에서 계산된 수치를 기반으로 미리 제어부(30)에 데이터로 저장된 배관 형상별 분기된 고유 진동수와 비교하여 배관의 감육 여부 및 감육 형상을 추정하는 판단단계(S4)를 실시함으로써, 배관의 감육 여부 및 형상을 추정한다.
- [0040] 마찬가지로 본 발명의 바람직한 제2 실시예인 배관 감육 검사장치의 계측 과정은 다음과 같다.
- [0041] 도 8에 도시된 바와 같이 측정하고자 하는 배관(T)에 진동측정센서(20)를 설치하고, 타격부재(10)로 배관(T)을 타격하고 진동측정센서(20)에서 측정되는 진동신호를 계측하는 계측단계(S1)을 실시한다. 이때 타격부재(10)는 현장에서 흔히 사용하는 휴대용 해머를 사용하여 계측자가 배관을 타격하는 것으로, 배관(T)에 충격신호를 발생시킬 수 있는 모든 장비의 사용이 가능하다.
- [0042] 계측단계(S1) 제어부(30)는 배관(T)의 진동신호를 바탕으로 고유 진동수를 측정하는 고유 진동수 측정단계(S2)를 실시한다. 이때 휴대용 해머를 사용하는 경우, 고유 진동수 측정단계(S2)는 진동측정센서(20)에서 측정한 신호의 자기파워스펙트럼(APS: Auto power Spectrum)에서 고유 진동수 정보를 추출할 수 있도록 구성된다. 보다 상세히 설명하면 이 기법을 적용하면 배관의 고유 진동수는 임의의 충격 신호를 가속도계로 측정하여 이의 자기파워스펙트럼(APS)만을 관찰하여도 알수 있으므로, 이 기법은 진동측정센서(20)로 하나의 가속도계 및 휴대용 스펙트럼 분석기를 구성하고, 이 두개 만을 이용하여도 현장에서 적용이 가능하다. 이러한 자기파워스펙트럼(APS)은 기존에 업계에서 널리 사용되고 있는 신호처리방법이다.
- [0043] 다음으로, 측정된 고유 진동수를 바탕으로 제어부(30)에서 배관(T)의 동일 차수 내 분기된 고유 진동수 비율을 계산하는 비율 계산단계(S3)를 실시한다.
- [0044] 그리고 계산단계(S3)에서 계산된 수치를 기반으로 미리 제어부(30)에 데이터로 저장된 배관 형상별 분기된 고유 진동수와 비교하여 배관의 감육 여부 및 감육 형상을 추정하는 판단단계(S4)를 실시함으로써, 배관의 감육 여부 및 형상을 추정한다.
- [0045] 본 발명의 측정방법의 타당성을 검증하기 위해, 우선 유한요소해석(FEM) 기법을 이용하여 감육 배관의 고유 진동수를 해석적으로 구하였다.
- [0046] 도 2에 도시된 바와 같이 외경 115mm, 두께 13.5mm 배관에 대하여 정상 배관(T)과 감육량이 각각 다른 감육배관(T1, T2, T3, T4)을 단면을 따라 2차원 모델링하여 고유 진동수 및 고유 모드를 해석하였다.
- [0047] 감육된 배관 T1은 내부 홈부(=감육홈부)의 반경 R이 10.5.mm이고, 중심축과 홈부 중심점까지의 거리 a가 40mm이다. 이때 감육량은 2.3%이다.
- [0048] 감육된 배관 T2는 내부 홈부의 반경 R이 20.5.mm이고, 중심축과 홈부 중심점까지의 거리 a가 30mm이다. 이때 감육량은 3.9%이다.
- [0049] 감육된 배관 T3는 내부 홈부의 반경 R이 30.5.mm이고, 중심축과 홈부 중심점까지의 거리 a가 20mm이다. 이때 감육량은 6.0%이다.

[0050] 감옥된 배관 T4는 내부 홈부의 반경 R이 40.5.mm이고, 중심축과 홈부 중심점까지의 거리 a가 10mm 이다. 이때 감옥량은 10.0.%이다.

[0051] 해석 결과는 도 3에 도시된 바와 같이 감옥 정도가 커짐에 따라 모든 차수에 걸쳐 고유진동수가 감소하며, 차수 별로 고유 진동수가 두 개로 분기되는 것을 확인할 수 있다.

[0052] 유한요소해석을 통해, 감옥량은 동일하나 감옥 형태가 다른 경우의 고유 진동수 변화를 살펴보면 감옥을 형태에 따라 고유 진동수의 변화 양상 및 동일 차수에서의 고유 진동수 분기 정도가 달라지는 것을 확인할 수 있다.

[0053] 즉, 도 2의 감옥 배관 T1과 감옥량은 2.3%로 동일하게 유지하면서 감옥을 형태는 다른 3가지의 배관(T5, T6, T7)을 대상으로 해석을 수행하였고, 이때 해석 대상의 감옥 배관 T5, T6, T7의 형태는 도 4에 도시된 바와 같다. 모두 도시된 우측 중앙부에 감옥이 존재하여 감옥량은 동일하나 감옥의 형태는 모델별로 다르고, 그에 대한 결과표는 도 5와 같다. 도 5에 도시된 바와 같이 감옥을 형태에 따라 고유 진동수의 변화 양상 및 동일 차수에서의 고유 진동수 분기 정도가 달라지는 것을 확인할 수 있다.

[0054] 같은 차수에서 분기된 고유 진동수 간 비율은 도 5의 그래프에 도시된 바와 같다. 감옥이 좁은 범위에서 깊은 두께로 발생할수록 고유 진동수 간 비율이 커지는 것을 확인할 수 있다.

[0055] 이와 같이 배관의 형상 및 감옥정도를 다양하게 측정하고 이를 제어부(30)에 데이터 베이스화 시키고, 배관 검사 시 배관 감옥 검사장치를 통해 측정되는 수치를 저장된 데이터 베이스와 비교하여 측정하고자 하는 배관의 감옥정도 및 감옥형상을 판단할 수 있는 것이다.

[0056] 본 발명의 측정방법의 타당성을 실험적으로도 검증하였다.

[0057] 도 2에 표시한 감옥배관과 동일한 제원의 탄소강 감옥시편을 제작하여 고유 진동수를 실험적으로도 측정하였다.

[0058] 도 6에 도시된 바와 같이 감옥정도에 따른 배관들의 고유 진동수 변화를 실험결과로 얻을 수 있었다.

[0059] 상기와 같이 각 배관별로 감옥 위치 및 형상에 따른 고유 진동수의 변화 및 동일 차수 내 고유진동수의 분기 현상을 제어부에 데이터 베이스화 하고, 이를 이용하면 본 배관 감옥 검사장치를 통해 측정하고자 하는 배관의 감옥 발생여부를 신속하게 검사할 수 있으며 이를 통해 감옥의 형상도 추정할 수 있는 것이다.

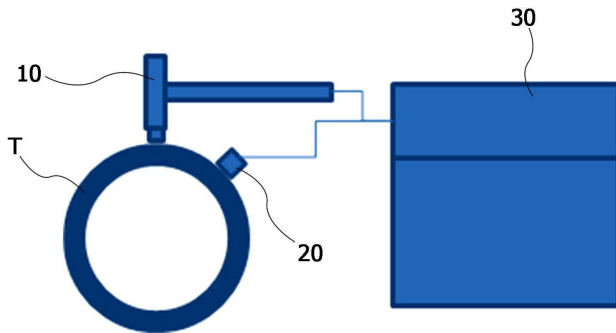
[0060] 본 발명은 상술한 특정의 바람직한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위내에 있게 된다.

부호의 설명

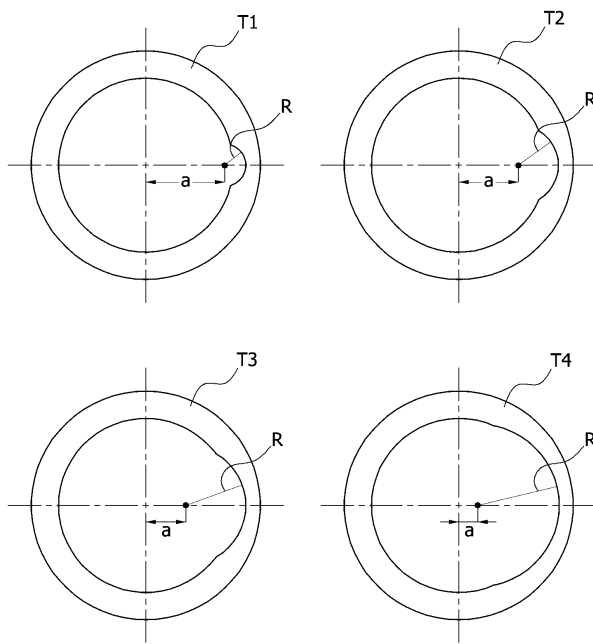
- [0061] S1 : 계측단계 S2 : 고유 진동수 측정단계
- S3 : 비율 계산단계 S4 : 판단단계
- T : 배관 10 : 타격부재
- 20 : 진동측정센서 30 : 제어부

도면

도면1

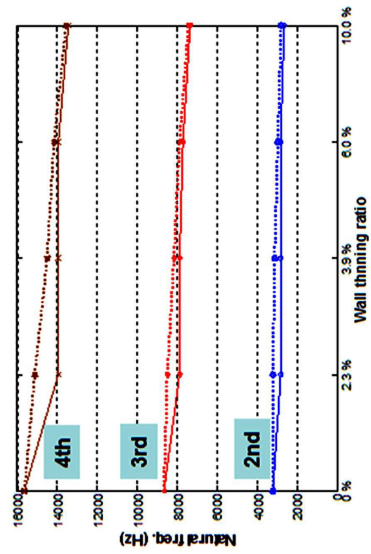


도면2

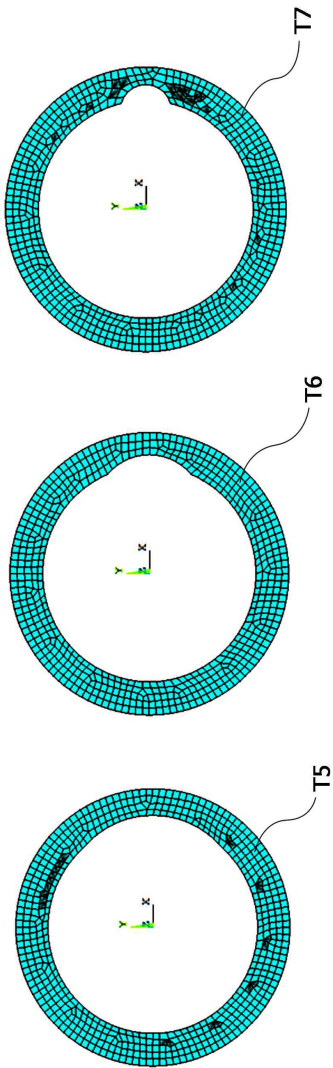


도면3

| 차수 | 2 | 3 | 4 |
|----|-------------|-------------|---------------|
| T | 3215 | 8666 | 15651 |
| T1 | 2823 / 3193 | 7873 / 8483 | 13952 / 15126 |
| T2 | 2807 / 3118 | 7888 / 8142 | 13942 / 14517 |
| T3 | 2821 / 2950 | 7714 / 7875 | 13938 / 14163 |
| T4 | 2651 / 2795 | 7355 / 7423 | 13445 / 13539 |

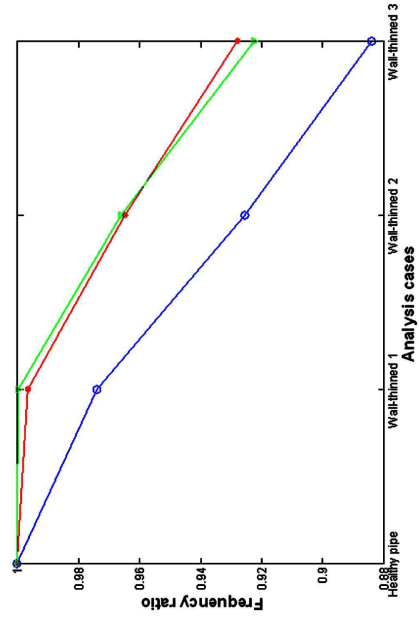


도면4



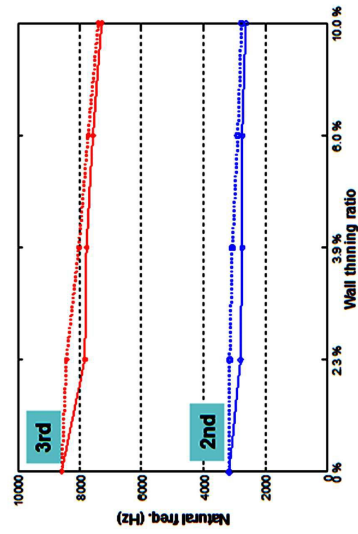
도면5

| 차수 | 2 | 3 | 4 |
|----|-------------|-------------|---------------|
| T | 3215 | 8666 | 15651 |
| T5 | 3054 / 3136 | 8346 / 8375 | 15101 / 15106 |
| T6 | 2943 / 3180 | 8139 / 8435 | 14564 / 15077 |
| T7 | 2823 / 3193 | 7873 / 8483 | 13952 / 15126 |

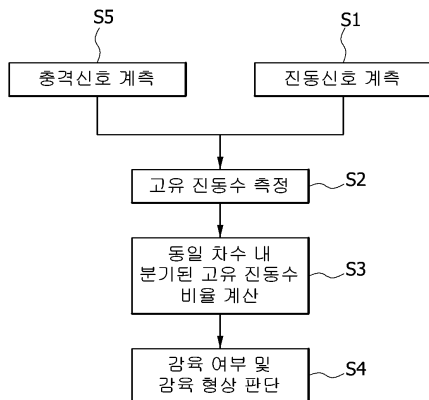


도면6

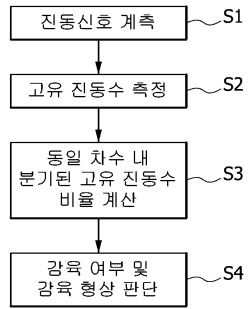
| | | |
|----|-------------|-------------|
| 차수 | 2 | 3 |
| T | 3169 | 8588 |
| T1 | 2806 / 3150 | 7837 / 8431 |
| T2 | 2753 / 3062 | 7793 / 8031 |
| T3 | 2750 / 2887 | 7581 / 7737 |
| T4 | 2631 / 2769 | 7306 / 7401 |



도면7



도면8



도면9

