(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년11월13일
(11) 등록번호 10-1201088
(24) 등록일자 2012년11월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01V 1/00 (2006.01) *G21C 17/00* (2006.01)
G21C 19/20 (2006.01) *F16L 7/00* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2010-7006135
(22) 출원일자(국제) 2008년09월10일
심사청구일자 2010년06월29일
(85) 번역문제출일자 2010년03월19일
(65) 공개번호 10-2010-0085904
(43) 공개일자 2010년07월29일
(86) 국제출원번호 PCT/CA2008/001601
(87) 국제공개번호 WO 2009/033274
국제공개일자 2009년03월19일
(30) 우선권주장
60/971,423 2007년09월11일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
CA2517421 A1
US4909980 A
US4613477 A
전체 청구항 수 : 총 18 항

(73) 특허권자
오토믹 에너지 오브 캐나다 리미티드
캐나다 온타리오 제이0제이 1제이0 초크 리버 플랜트 로드 1
(72) 발명자
킹 제임스 엠
캐나다 온타리오주 케이0제이 1피0 딥 리버 피.오. 박스 1236 아본 크레슨트 9
스미스 브루스 에이 더블유
캐나다 온타리오주 케이0제이 1피0 딥 리버 피. 오. 박스 801 캐봇 플레이스 12
페엔스트라 폴
캐나다 온타리오주 케이0제이 1피0 딥 리버 라샐 드라이브 17
(74) 대리인
신정건, 김태홍

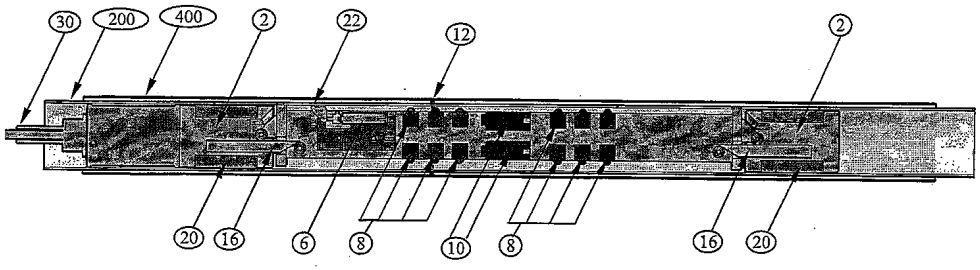
심사관 : 김혜원

(54) 발명의 명칭 **원자로 내 환형 스페이서 검출 및 위치 변경을 위한 방법 및 장치**

(57) 요 약

본 발명은 원자로의 칼란드리아관 내에서 압력관의 위치를 유지시키기 위해 사용되는 환형 스페이서를 검출 및/또는 위치 변경하기 위한 장치를 제공한다. 본 발명의 방법은 압력관의 한 섹션을 진동에 대해 고립시키는 단계; 상기 고립된 섹션 내 상기 압력관의 벽을 진동시키는 단계; 상기 고립된 섹션 내 2개의 축방향 위치 중 최소 위치의 벽의 진동을 검출하는 단계; 및 잔여 축방향 위치와 비교하여 상기 축방향 위치의 하나 이상의 벽의 진동 수준의 감소를 검출하는 단계를 포함한다. 본 발명의 장치는 압력관 안으로 삽입되는 공구대를 포함하며, 공구대는 제 1 단부 및 제 2 단부를 포함하고, 각 단부에 제 1 및 제 2 클램핑 블록을 포함한다. 클램핑 블록은 상기 단부들 사이에 위치한 압력관의 한 섹션을 진동에 대해 고립시키기 위해 사용된다. 장치는 또한 상기 압력관을 진동시키기 위한 피에조 액추에이터; 및 상기 압력관의 진동을 측정하기 위하여 사용되는 가속도계를 포함한다.

대 표 도 - 도3b



특허청구의 범위

청구항 1

내측관과 접촉하는 원통형 내면과 동축의 외측관과 접촉하는 원통형 외면을 갖는 환형 스페이서를 검출하는 방법으로서,

(a) 내측관의 일부 섹션을 진동에 대해 고립시키는 단계;

(b) 상기 고립된 섹션 내에서 상기 내측관의 벽을 진동시키는 단계;

(c) 상기 고립된 섹션 내에서 최소 2개의 축방향 위치의 벽에서 진동을 측정하는 단계; 및

(d) 잔여 축방향 위치(들)와 비교하여 하나 이상의 상기 축방향 위치에서 벽의 진동 수준의 감소를 검출하는 단계

를 포함하고, 진동 수준의 감소는 상기 진동의 감소가 검출되는 축방향 위치 또는 이 축방향 위치 부근의 환형 스페이서의 존재를 나타내는 것인 환형 스페이서 검출 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 내측관의 일부 섹션을 진동에 대해 고립시키는 단계는 제 1 위치와 제 2 위치에서 내측관의 벽의 내면에 압력을 인가하는 것을 포함하며, 상기 제 1 위치와 제 2 위치는 상기 진동에 대해 고립된 섹션의 경계를 결정하는 것인 환형 스페이서 검출 방법.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 상기 내측관의 벽을 진동시키는 단계는 내측관의 고유 주파수의 진동을 사용하는 것인 환형 스페이서 검출 방법.

청구항 4

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 상기 내측관의 벽을 진동시키는 단계는 100 Hz 내지 1,500 Hz 주파수 범위의 진동을 사용하는 것인 환형 스페이서 검출 방법.

청구항 5

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 상기 내측관의 벽을 진동시키는 단계는 주파수가 400 Hz, 625 Hz 또는 1,096 Hz인 진동을 사용하는 것인 환형 스페이서 검출 방법.

청구항 6

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 상기 진동을 측정하는 단계는 하나 이상의 축방향 위치 각각에서 상기 내측관의 상부 및 하부에서 측정된 진동 주파수의 주파수 응답비를 계산하는 것을 포함하는 것인 환형 스페이서 검출 방법.

청구항 7

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 상기 진동을 측정하는 단계는 상기 내측관의 상부 및 저부에 있어서 상기 하나 이상의 축방향 위치에서 측정된 진동 주파수의 주파수 응답비를 계산하는 것을 포함하고, 주파수 응답비의 감소를 검출하는 것을 더 포함하며, 상기 주파수 응답비의 감소는 주파수 응답비의 감소가 검출되는 축방향 위치 또는 이 축방향 위치 부근의 환형 스페이서의 존재를 나타내는 것인 환형 스페이서 검출 방법.

청구항 8

내측관과 접촉하는 원통형 내면과 동축의 외측관과 접촉하는 원통형 외면을 갖는 환형 스페이서를 축방향으로 위치 변경하는 방법으로서,

(a) 환형 스페이서에 인접한 내측관의 벽의 일부 섹션을 진동에 대해 고립시키는 단계;

(b) 하중 상태에서 무하중 상태로 상기 환형 스페이서를 움직이게 하는 단계; 및

(c) 환형 스페이서가 초기 위치에서 새로운 위치로 길이방향으로 이동하도록 소망하는 주파수로 벽의 고립된 섹션을 진동시킴으로써 환형 스페이서를 진동시키고, 이에 의해 환형 스페이서의 진동이 내측관 상의 환형 스페이서의 장력을 극복하기에 충분한 가속도를 생성하는 단계

를 포함하는 환형 스페이서 위치 변경 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 상기 단계 (a) 이전에,

(i) 상기 고립된 섹션 내에서 상기 내측관의 벽을 진동시키는 단계;

(ii) 상기 고립된 섹션 내에서 최소 2개의 축방향 위치에서 벽의 진동을 측정하는 단계; 및

(iii) 잔여 축방향 위치(들)와 비교하여 하나 이상의 상기 축방향 위치에서 벽의 진동 수준의 감소를 검출하는 단계

를 포함하는 방법을 이용하여 환형 스페이서의 초기 위치를 결정하고, 상기 진동 수준의 감소는 진동의 감소가 검출된 축방향 위치 또는 이 축방향 위치 부근의 환형 스페이서의 존재를 나타내는 것인 환형 스페이서 위치 변경 방법.

청구항 10

제 8 항 또는 제 9항에 있어서, 상기 내측관의 일부 섹션을 진동에 대해 고립시키는 단계는 제 1 위치와 제 2 위치에서 내측관의 벽의 내면에 압력을 인가하는 것을 포함하며, 상기 제 1 위치 및 제 2 위치는 상기 진동에 대해 고립된 섹션의 경계를 정하는 것인 환형 스페이서 위치 변경 방법.

청구항 11

제 8 항 또는 제 9 항에 있어서, 상기 환형 스페이서는 초기 위치에서 요구되는 위치로 이동되고, 상기 단계 (c)에 후속하여,

(i) 상기 고립된 섹션 내에서 상기 내측관의 벽을 진동시키는 단계;

(ii) 상기 고립된 섹션 내에서 최소 2개의 축방향 위치에서 벽의 진동을 측정하는 단계; 및

(iii) 잔여 축방향 위치(들)와 비교하여 하나 이상의 상기 축방향 위치에서의 벽의 진동 수준의 감소를 검출하는 단계

를 포함하는 방법을 이용하여 환형 스페이서의 새로운 위치를 결정하고, 상기 진동 수준의 감소는 진동의 감소가 검출된 축방향 위치 또는 이 축방향 위치 부근의 환형 스페이서의 존재를 나타내며, 상기 단계 (a) 내지 단계 (c)는 환형 스페이서를 상기 내측관 둘레에서 요구되는 위치로 이동시키기 위해 필요한 경우 반복되는 것인 환형 스페이서 위치 변경 방법.

청구항 12

제 8 항 또는 제 9 항에 있어서, 상기 단계 (c)에서 환형 스페이서의 진동은 소정의 시구간 동안 계속되는 것인 환형 스페이서 위치 변경 방법.

청구항 13

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 상기 내측관은 CANDU® 원자로 연료 채널의 압력관이고 상기 외측관은 CANDU® 원자로 연료 채널의 칼란드리아관(calandria tube)인 것인 환형 스페이서 검출 방법.

청구항 14

제 8 항 또는 제 9 항에 있어서, 상기 내측관은 CANDU® 원자로 연료 채널의 압력관이고 상기 외측관은 CANDU® 원자로 연료 채널의 칼란드리아관인 것인 환형 스페이서 위치 변경 방법.

청구항 15

내측관과 접촉하는 원통형 내면과 동축인 외측관과 접촉하는 원통형 외면을 갖는 환형 스페이서를 검출하거나, 위치 변경하거나, 또는 안내하고 위치 변경하기 위한 장치로서,

(a) 제 1 단부 및 제 2 단부를 갖는 공구대;

(b) 상기 공구대의 상기 제 1 단부 및 제 2 단부 각각에 있는 제 1 클램핑 블록 조립체 및 제 2 클램핑 블록 조립체;

(c) 상기 공구대와 관련되고 상기 내측관을 진동시키도록 작동 가능한 하나 이상의 피에조 액추에이터(piezo-actuator); 및

(d) 상기 공구대와 관련되고 상기 내측관의 진동을 측정하기 위한 하나 이상의 가속도계

를 포함하는 장치.

청구항 16

제 15 항에 있어서, 와상 전류 갭 측정 프로브를 더 포함하는 장치.

청구항 17

제 15 항 또는 제 16 항에 있어서, 상기 공구대를 외부 전력 공급장치, 외부 제어국, 또는 외부 전력 공급장치와 외부 제어국으로 연결하기 위한 전기, 유압 또는 공기 케이블이나 호스, 또는 이들의 조합으로 구성되는 연결선(umbilical)을 더 포함하는 장치.

청구항 18

제 8 항 또는 제 9 항에 있어서, 상기 단계 (a)는 제 1 위치와 제 2 위치에서 내측관의 벽의 내면에 압력을 인가하는 것을 포함하고, 상기 제 1 위치와 제 2 위치는 상기 진동에 대해 고립된 섹션의 경계를 정하며, 상기 환형 스페이서는 초기 위치에서 요구되는 위치로 이동되고, 단계 (c)에 후속하여 환형 스페이서의 새로운 위치가

(i) 상기 고립된 섹션 내에서 상기 내측관의 벽을 진동시키는 단계;

(ii) 상기 고립된 섹션 내에서 최소 2개의 축방향 위치에서 벽의 진동을 측정하는 단계; 및

(iii) 잔여 축방향 위치(들)와 비교하여 하나 이상의 상기 축방향 위치에서 벽의 진동 수준의 감소를 검출하는 단계

를 포함하는 방법을 이용하여 결정되고, 상기 진동 수준의 감소는 진동의 감소가 검출된 축방향 위치 또는 이 축방향 위치 부근의 환형 스페이서의 존재를 나타내며, 상기 단계 (a) 내지 단계 (c)는 환형 스페이서를 상기 내측관 둘레에서 요구되는 위치로 이동시키기 위해 필요한 경우 반복되는 것인 환형 스페이서 위치 변경 방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 일반적으로 관(tube)과 관련되고 관에 대하여 길이 방향으로 움직임이 억제되는 환형 요소(스페이서)를 위치 변경하는 방법에 관한 것이며, 스페이서는 기계적인 위치 변경 수단에 의해 직접 접근 가능하지 않도록 관 벽의 일측면 상에 위치된다.

배 경 기 술

[0002] 본 발명은 특히 CANDU® 원자로와 같은 원자로 내의 스페이서의 위치 변경에 적용 가능하다. CANDU® 원자로에서, 연료 다발을 포함하는 압력관(pressure tube)은 각각 칼란드리아관(calandria tube) 내에 위치된다. 고온의 압력관을 상대적으로 저온의 칼란드리아관으로부터 열적으로 절연시키는 가스 및 칼란드리아관 외측의 공간을 흐르는 중수(heavy water) 감속재(減速材)의 순환을 허용하기 위해 압력관과 칼란드리아관 사이에 환

형의 공간을 유지하는 것이 필요하다.

[0003] 환형 공간은 CANDU® 원자로의 연료 채널을 구성하는 하나의 구성 요소인 환형 스페이서에 의해 유지된다. 이들 스페이서는 2개의 동축 관들인 내측 압력관과 외측 칼란드리아관 사이의 반경 방향 공간을 유지하고, 칼란드리아관이 내측의 압력관을 지지하도록 돕는다. 구성면에서 상이한 루즈 피팅(loose-fitting) 및 스너그 피팅(snug-fitting)이 존재한다.

[0004] 루즈 피팅 스페이서는 사각 단면의 와이어로 제작되고 원형 띠(girdle) 와이어 상에 조립되어 원환체(torus)를 형성하는 촘촘한 코일 스프링을 포함한다. 루즈 피팅 스페이서의 띠 와이어는 고정된 크기의 연속 루프를 형성하도록 용접된다. 루즈 피팅 스페이서의 소직경은 압력관의 외경보다 약간 크도록 된다. 따라서, 스페이서는 압력관 주위에서 헐겁게 조립된다. 스페이서는 스프링 장력에 의해서가 아니라 마찰력만으로 그 장착 위치에 유지된다. 루즈 피팅 스페이서는 초기의 CANDU® 원자로에서 사용되었다.

[0005] 스너그 피팅 스페이서는 사각 단면의 와이어로 제작되고 원형 띠 와이어 상에 조립되어 원환체를 형성하는 촘촘한 코일 스프링을 포함한다. 띠 와이어는 용접되지 않고, 따라서 스페이서의 유효 소직경은 코일 스프링이 연장되도록 장력을 인가하는 것에 의해 증가될 수 있다. 스너그 피팅 스페이서의 구성은 코일 스프링이 압력관 상에 장착될 때 약간의 장력을 받아, 스너그핏(snug fit) 상태가 되도록 구성된다. 환형 스페이서의 구성은 제위치에 견고하게 고정되지 않도록 구성된다. 스페이서는 스프링 장력 및 마찰력에 의해 제위치에 유지된다. 스너그 피팅 스페이서는 통상적으로 그 소망하는 초기 위치를 유지하지만, 스페이서가 소망하는 위치로부터 움직일 수도 있고, 원자로의 작동 과정 중에 스페이서의 위치를 움직이는 것이 바람직할 수도 있다.

[0006] 통상적으로 4개의 스페이서가 연료 채널에 사용되며, 각 스페이서는 상이한 축방향 위치에 배치된다. 요구되는 지지를 제공하기 위해서, 환형 스페이서는 적절한 위치에 배치되어야 하며, 스페이서가 위치를 벗어나면 고온의 압력관이 보다 저온의 칼란드리아관과 접촉하게 될 수 있다. 내측 압력관과 외측 칼란드리아관 사이의 그러한 접촉은 부적절하다.

[0007] 그러한 원자로 내 스페이서의 장착 중에, 또는 상술한 바와 같이 그 작동 중에, 스페이서는 그 요구 위치로부터 변위될 수 있고, 그 결과 압력관이 원자로의 작동시에 분배되는 하중을 지지하기 위해 필요한 지지 구성을 잃게 되고, 이들 관의 처짐(sagging)으로 인해 심각한 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 장착 이후에 또는 심지어 원자로가 소정 시간 동안 작동한 이후에 스페이서를 검출하고 (필요하다면) 위치 변경 행하기 위한 몇몇 방법을 갖는 것이 바람직하다. 스페이서의 최적의 위치는 원자로의 작동 수명 중에 약간 변경될 수 있다. 스페이서의 본래 장착 위치는 원자로 수명 전반에 걸친 지지 조건에 기초한다. 그러나, 수명의 막바지 조건에 보다 적합하도록 원자로에서 스페이서를 늦게 위치 변경하는 것이 바람직할 수도 있다. 수명 중 늦게 스페이서를 위치 변경하는 것은 원자로의 작동 수명을 수년 만큼 연장할 수 있고, 결과적으로 막대한 경제적 이익을 가져온다.

[0008] 이러한 환형 스페이서는 압력관과 칼란드리아관 사이에 위치되며 기계적 수단에 의해 직접 접근 가능하지 않다. 스페이서의 위치는 기계적으로 고정되지 않기 때문에, 스페이서의 위치를 검출하기 위한 수단을 갖는 것이 바람직하다.

[0009] 미국 특허 제4,613,477호(이하, "US '477 특허"라고 함)는 유체 냉각식 원자로의 냉각제관 및 칼란드리아관 사이의 환형 스페이서로서 사용되는, 가터 스프링(garter spring)을 위치 변경하기 위한 방법을 개시한다. 이러한 가터 스프링은 기계적 수단에 의해 직접 접근 가능하지 않다. US '477 특허의 방법에서, 선택된 연료 채널을 따라 가터 스프링에 인접한 위치로 전자기 코일이 전진되고, 전류 펄스가 코일을 통과하며, 그에 따라 가터 스프링 상에 요구되는 변위 방향의 성분을 갖는 전자기 반발력이 가해진다. 이러한 기술은 용접된 띠 와이어를 갖는 루즈 피팅 스페이서에 적용 가능하다. 루즈 피팅 스페이서의 용접된 띠 와이어는 전자기 기반 기술에 필요한 연속 전기 회로를 형성한다. 전자기 기술은 타이트 피팅(tight fitting) 스페이서에 대해 효과가 없는데, 그 이유는 용접되지 않은 띠 와이어는 스페이서 내에 연속된 전기 경로를 제공하지 않기 때문이다.

[0010] 타이트 피팅 환형 스페이서를 검출하고 위치 변경하기 위한 방법 및 장치에 관한 요구가 남는다.

[0011] 이러한 배경 정보는 본 출원인이 공지의 것으로 믿는 정보가 본 발명에 가능한 관련성을 갖도록 하기 위한 목적으로 제공된다. 이는 임의의 선행 정보가 본 발명에 대하여 종래기술을 구성한다는 승인을 의도하는 것이 아니며, 또는 이와 같이 해석되어서도 안 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 중수형 원자로의 압력관과 칼란드리아관 사이에서 반경 방향 공간을 유지하기 위해 삽입되며, 기계적인 수단에 의해 직접 접근 가능하지 않은 유형의 환형 스페이서를 검출하고/하거나 위치 변경하기 위한 장치 및 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0013] 본 발명의 일 양태에 따르면, 내측관과 접촉하는 원통형 내면과 대체로 동축의 외측관과 접촉하는 원통형 외면을 갖는 환형 스페이서를 검출하는 방법이 제공되고, 이 방법은 다음의 단계를 포함한다. 내측관의 일부 섹션을 진동에 대해 고립시키는 단계; 상기 고립된 섹션 내에서 상기 내측관의 벽을 진동시키는 단계; 상기 고립된 섹션 내에서 최소 2개의 축방향 위치에서 벽의 진동을 측정하는 단계; 및 나머지 축방향 위치(들)와 비교하여 상기 축방향 위치의 하나 이상에서 벽의 진동 수준의 감소를 검출하는 단계를 포함하며, 상기 진동의 감소는 상기 진동의 감소가 검출된 축방향 위치 또는 그 부근의 환형 스페이서의 존재를 나타낸다.

[0014] 본 발명의 다른 양태에 따르면, 내측관과 접촉하는 원통형 내면과 대체로 동축의 외측관과 접촉하는 원통형 외면을 갖는 환형 스페이서를 위치 변경하는 방법이 제공되고, 이 방법은 다음의 단계를 포함한다. 환형 스페이서 부근의 내측관의 일부 섹션을 진동에 대해 고립시키는 단계; 상기 환형 스페이서가 상기 내측관에 대해서만 접촉하도록 상기 환형 스페이서를 소정의 하중 조건에서 소정의 무하중 조건으로 유도하는 단계; 및 상기 환형 스페이서가 초기 위치에서 소망하는 위치로 길이 방향으로 이동하도록 벽의 고립된 섹션을 소망하는 주파수로 진동시키는 것에 의해 상기 환형 스페이서를 진동시키고, 이에 의해 환형 스페이서의 진동이 내측관에 대한 환형 스페이서의 장력을 극복하기에 충분한 가속도를 생성하는 단계를 포함한다.

[0015] 본 발명의 다른 양태에 따르면, 내측관과 접촉하는 원통형 내면과 대체로 동축의 외측관과 접촉하는 원통형 외면을 갖는 환형 스페이서를 검출하고/하거나 위치 변경하는 장치가 제공되고, 이 장치는 제 1 단부 및 제 2 단부를 갖는 공구대(tool head); 상기 공구대의 제 1 단부와 제 2 단부 각각의 제 1 클램핑 블록 조립체 및 제 2 클램핑 블록 조립체; 상기 공구대와 관련되고 상기 내측관을 진동시키도록 작동 가능한 하나 이상의 피에조 액추에이터(piezo-actuator); 및 상기 공구대와 관련되고 상기 내측관의 진동을 측정하기 위한 2개 이상의 가속도계를 포함한다.

발명의 효과

[0016] 본 발명은 중수형 원자로의 압력관과 칼란드리아관 사이에서 반경 방향 공간을 유지하기 위해 삽입되며, 기계적인 수단에 의해 직접 접근 가능하지 않은 유형의, 예컨대 타이트 피팅 스페이서와 같은 환형 스페이서를 검출하고/하거나 위치 변경하기 위한 장치 및 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 내측 압력관, 외측 칼란드리아관 및 환형 스페이서의 배치를 도시한 도면이다.

도 2는 연료 채널 환형 스페이서, 내측 압력관 및 외측 칼란드리아관을 포함하는, 핵심 구성요소를 보여주는 CANDU® 원자로의 개략도이다.

도 3a는 본 출원의 일 실시예에 따른 공구대를 도시한 도면이고, 도 3b는 내측 압력관 내에 배치된 도 3a의 공구대를 도시한 도면이다.

도 4는 하중을 받는 환형 스페이서의 존재 여부에 따라 압력관에 대한 모드 형상의 차이를 도시하는 단순화한 도면으로, 도 A는 원형 단면에 대한 빔 모드를, 도면 B는 환형 스페이서로부터의 반력의 존재에 의해 "수정된" 원형 단면에 대한 빔 모드를 도시한다.

도 5는 양단이 클램핑된 빔(clamped-clamped beam)에 대한 축방향 진동 모드를 나타낸 도면이다. 화살표는 스페이서 움직임의 방향 - 마루로부터 골을 향한 방향 - 을 가리킨다.

도 6은 원형 단면을 갖는 양단이 클램핑된 빔에 대한 둘레방향 및 축방향 노달 패턴을 표현한 플롯이다.

도 7은 800 mm 섹션의 압력관 대 주파수에 대한 주파수 응답 함수에 관한 플롯이며, 칼란드리아관/압력관 접촉이 없는 경우(하중을 받지 않는 환형 스페이서) 및 스페이서를 통해 칼란드리아관/압력관 접촉이 있는 경우(하중을 받는 환형 스페이서)의 응답 차이를 보여준다.

도 8은 (1,1) 모드에 관한 주파수 범위에서 주파수 응답비 대 스페이서의 축방향 위치에 관한 플롯을 보여준다. 환형 스페이서는 압력관을 따라 450 ㎜에 위치한다. 플롯은 주파수 응답비가 하중을 받는 스페이서 위치에 대응하여 국소 최저값을 나타냄을 도시한다.

도 9는 (2,1) 모드에 관한 주파수 범위에서 주파수 응답비 대 스페이서의 축방향 위치에 관한 플롯을 보여준다. 환형 스페이서는 압력관을 따라 450 ㎜에 위치한다. 플롯은 주파수 응답비가 하중 조건의 스페이서 위치에 대응하여 국소 최저값을 나타냄을 보여준다.

도 10은 환형 스페이서와 압력관 사이의 단일 충격에 대한 가속도계 반응 대 시간의 플롯을 보여준다. 가속도계(3)는 스페이서에 가장 근접하게 위치되고 가속도계(1)는 스페이서로부터 가장 멀리 위치된다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 본 발명에 따른 장치 및 방법은 제 2 관 내에 위치하고 제 2 관과 거의 동축인 제 1 관을 감싸는 하나 이상의 환형 스페이서의 검출 및 위치 변경에 유용하다(도 1 참조). 도 1에 도시된 실시예에서, 환형 스페이서는 제 1 관(예컨대, 내측관) 및 제 2 관(예컨대, 외측관) 사이에 반경 방향 공간을 유지한다. 통상적으로 2개 이상의 환형 스페이서가 제 1 관 및 제 2 관 사이에 반경 방향 공간을 유지하기 위해 협동한다.

[0019] 본 발명의 특정 예에서, CANDU® 원자로에서 확인되는 바와 같이, 내측관은 압력관이고, 외측관은 칼란드리아관이며, 스페이서는 스너그 피팅 환형 스페이서이다. 다른 특정 예에서, 스페이서는 루즈 피팅 환형 스페이서이다. 당업자가 명확히 이해하는 바와 같이, 본 발명의 장치 및 방법은 내측관이 외측관 내에 동축으로 위치하고 이들 관이 하나 이상의 환형 스페이서에 의해 공간이 형성되는 관계를 유지하는 다른 용도에서 사용될 수 있다.

[0020] 이하에서 보다 상세하게 설명하겠지만, 환형 스페이서를 검출하거나, 환형 스페이서를 위치 변경하거나, 환형 스페이서를 검출하고 위치 변경하는 방법 및 장치가 제공된다. 이 방법은 압력관 내부에 삽입되는 공구대와 같은 장치의 사용에 기초한다.

[0021] CANDU® 원자로와 같은 원자로의 경우에, 장치(공구대)는 원자로가 작동을 중단할 때 압력관에 삽입된다. 도 2는 CANDU® 원자로 내에서의 구성요소들의 배치예를 보여준다. 장치(공구대)는 기존의 표준 운반 기기를 사용하여 압력관 안으로 운반된다. 운반 기기는 연료 채널의 일단부에 위치하며 연료 채널 단부와 밀봉 연결될 수 있다. 운반 기기는 연료 채널의 단부로부터 폐쇄 마개를 제거하여 압력관으로의 접근을 허용할 수 있다. 운반 기기는 공구대를 CANDU® 원자로의 연료 채널에 도입하고 연료 채널에 따른 임의의 길이 지점에 배치할 수 있다. 운반 기기는 공구대를 위치시키기 위한 기계적 인터페이스를 제공하고, 전력, 제어/피드백 신호, 공기 공급장치 또는 유압 공급장치와 같은 공구대로의 서비스 연결을 제공한다. 적절한 운반 기기의 예로는 AECL 연료 채널 검사 시스템(AECL Fuel Channel Inspection System)이 있다.

[0022] 공구대

[0023] 이제 도 3a 및 도 3b를 참조하면, 공구대(100)는 원자로 내 압력관(200)과 같은 제 1 관 내에 삽입되기 위한 크기이고, 환형 스페이서의 검출, 위치 변경 및 검출/위치 변경을 위해 사용되는 액추에이터 및 센서를 포함한다. 공구대(100)는 운반 기기(도시되지 않음)를 이용하여 작동되도록 구성되고, 예컨대 CANDU® 원자로의 압력관(200) 및 외측 칼란드리아관(400) 내에 존재하는 것과 같이 습식 환경에서 사용하기에 적합하다.

[0024] 공구대(100)는 클램핑 블록 조립체(2), 커플링(16), 피에조 액추에이터(6), 가속도계(8) 및 와상 전류 갭 프로브(10)를 포함한다.

[0025] 클램핑 블록 조립체

[0026] 도 3a 및 도 3b에 도시된 바와 같이, 공구대(100)는 공구대(100)의 제 1 단부 및 제 2 단부에 클램핑 블록 조립체(2)를 포함한다. 각 클램핑 블록 조립체(2)는 커플링(16)에 제거 가능하게 부착될 수 있고, 커플링(16) 주위를 회전하도록 되어 있다. 각 클램핑 블록 조립체(2)는 수축 위치에서 확장 위치로 이동 가능한 클램핑 부재(들)(20)를 포함한다. 수축 위치에서, 클램핑 부재(들)(20)는 압력관(200) 내 공구대(100)의 움직임을 방

해하지 않는다. 확장 위치에서, 클램핑 부재(들)(20)는 압력관(200)의 내면에 맞물린다. 바람직하게, 클램핑 부재(들)(20)는 압력관(200)의 내면을 손상시키지도 않고, 허용가능한 공차를 넘어 손상시키지도 않는다. 각 클램핑 블록 조립체(2) 및 클램핑 부재(들)(20)는 압력관 재킹(jacking)(이하에서 더 설명됨)에 사용하도록 작동 가능하고 또한 압력관(200)의 제 1 단부 및 제 2 단부의 각 클램핑 블록 조립체(2) 사이에서 압력관(200)의 일부 섹션을 진동에 대해 고립시키기 위해 사용된다(이하에서 더 설명됨).

[0027] 커플링(16)은 운반 기기로부터 공급되는 유압에 의해 작동된다. 커플링(16)의 작동은 클램핑 블록 조립체(2)와 공구대(100) 사이에 모멘트를 생성한다. 클램핑 블록 조립체(2)가 압력관(200)에 클램핑되고 커플링(16)이 작동되는 경우, 모멘트는 압력관(200)에 인가된다. 압력관(200)에 인가되는 이러한 모멘트는 압력관(200)을 칼란드리아관(400)으로부터 효과적으로 들어올린다. 이러한 동작은 환형 스페이서(12) 상의 임의의 하중을 제거하기 위해 사용될 수 있고 환형 스페이서(12)가 칼란드리아관(400)과의 접촉으로부터 벗어나게 할 수 있다. 환형 스페이서(12)로부터 하중의 제거는 환형 스페이서가 자유롭게 움직이도록 하기 위해 필요하다.

[0028] 피에조 액추에이터

[0029] 공구대(100)는 압력관(200)의 내면을 진동시키도록 작동 가능한 피에조 액추에이터(6)를 포함한다. 통상적으로, 공구대에는 하나의 피에조 액추에이터(6)만이 포함된다. 그러나, 원하거나 필요하다면 공구대(100)에 2개 이상의 피에조 액추에이터(6)가 포함될 수 있다.

[0030] 피에조 액추에이터(6)는 수축 위치로부터 확장 위치로 이동 가능한 베어링 패드(22)를 포함한다. 수축 위치에서, 베어링 패드(22)는 압력관(200) 내 공구대(100)의 움직임을 방해하지 않는다. 확장 위치에서, 베어링 패드(22)는 압력관(200)의 내벽과 접촉하게 된다.

[0031] 클램핑 블록 조립체(2)에 대한 피에조 액추에이터(6)의 위치는 압력관을 소망하는 모드로 진동시키기 위해 전력을 제공하는 피에조 액추에이터(6)의 성능에 영향을 준다. 피에조 액추에이터(6)는 그 이동거리(또는 행정) 및 인가할 수 있는 힘에 대해 한계를 갖는다. 압력관(200)을 진동시키기 위해 요구되는 힘 및 행정의 양은 모드 형상에 대한, 따라서 또한 클램핑 블록 조립체(2)에 대한 피에조 액추에이터(6)의 위치에 좌우되고, 이는 압력관을 진동시키는 세그먼트의 길이를 정의하며 그에 따라 진동 모드에 영향을 준다. 피에조 액추에이터(6)가 소망의 모드 형상(들)을 보다 양호하게 생성하도록 하는 위치 또는 위치 범위가 존재한다. 일반적으로, 힘과 행정 사이에 균형이 달성되어야 한다. 통상적으로, 보다 적은 행정을 요구하는 위치는 또한 더 큰 힘을 요구하며, 보다 큰 행정을 요구하는 위치는 더 작은 힘을 요구한다. 피에조 액추에이터(6)의 성능 특성은 특정 모드 형상(들)의 힘 및 행정 요건에 부합된다.

[0032] 베어링 패드(22)가 압력관(200)의 내벽과 접촉하는 경우에, 피에조 액추에이터(6)는 제어된 방식으로 압력관(200)의 일부분을 진동시키도록 작동 가능하다. 피에조 액추에이터(6)는 증폭기(도시되지 않음) 및 신호 생성기(도시되지 않음)를 사용하여 제어되기 때문에, 소망하는 주파수에서 작동하도록 구성될 수 있다. 피에조 액추에이터(6)의 선택된 진동 주파수는 작동 조건, 사용된 재료, 사용자 선호도, 정규 요건 등과 같은 다양한 비제한적 요인에 좌우될 것이다. 일 실시예에서, 피에조 액추에이터(6)는 압력관(200)의 고유 주파수의 진동을 생성한다. 일 실시예에서, 피에조 액추에이터(6)는 100 Hz 내지 1,500 Hz의 주파수 범위의 진동을 생성한다. 일 실시예에서, 피에조 액추에이터(6)는 (1,1) 모드에 대응하는 대략 400 Hz의 진동을 생성한다. 일 실시예에서, 피에조 액추에이터(6)는 (2,1) 모드에 대응하는 대략 625 Hz의 진동을 생성한다. 본 발명의 일 실시예에서, 피에조 액추에이터(6)는 (3,1) 모드에 대응하는 대략 1,096 Hz의 진동을 생성한다.

[0033] 상술한 바와 같이, 각 클램핑 블록 조립체(2) 및 조립체 클램핑 부재(20)는, 압력관(200)의 제 1 및 제 2 단부에 있는 각 클램핑 블록 조립체(2) 사이의 압력관(200)의 섹션을 진동에 대해 고립시키도록 작동 가능하다. 피에조 액추에이터(6)의 작동 이전에, 조립체 클램핑 부재(20)는 확장 위치로 이동하여 압력관(200)의 내면과 접촉할 수도 있다. 조립체 클램핑 부재(20)가 확장 위치에 있는 경우, 각 클램핑 블록 조립체(2) 사이의 압력관(200)의 일부분은 압력관(200)의 잔여부로부터 진동에 대해 고립된다. 본 명세서에서 사용된 바와 같은, 진동에 대해 고립된다는 것은, 압력관(200)의 잔여부에 대한 진동 효과를 최소화하거나 제거하도록 클램핑 부재(20)에 의해 경계 지어진 압력관(200)의 부분 내에서 피에조 액추에이터(6)에 의해 생성된 진동이 압력관(200)의 잔여부로부터 이격되거나 이 잔여부 반대측에 유지된다는 것을 의미한다.

[0034] 가속도계

[0035] 공구대(100)는 압력관(200)의 진동을 검출할 수 있는 가속도계(8)를 포함한다. 가속도계(들)(8)는 또한 환형 스페이서(12)의 움직임 중에 환형 스페이서(12)와 압력관(200)의 외면 사이의 충격을 검출하기 위해 사용될 수 있다(아래에서 더 설명됨).

[0036] 공구대(100) 내 가속도계(들)(8)의 개수 및 위치는 의도되는 용도에 따라 변경된다. 가속도계는 통상, 일반적으로 한쌍이 공구대 내 축방향 동일 위치에 배치되는 2개의 가속도계(8)로 구성되는 쌍으로 사용되며, 하나의 가속도계(8)는 압력관(200)의 수직 상부의 가속도를 측정하도록 배치되고 하나의 가속도계(8)는 압력관(200)의 수직 하부의 가속도를 측정하도록 배치된다.

[0037] 그러나, 통상적으로 적어도 6개의 가속도계(8)(즉, 3개의 가속도계 쌍)이 존재하며, 추가의 가속도계(8) 쌍이 사용될 수도 있다. 바람직하게는, 공구대(100)는 6개 쌍으로서 장착된 12개의 가속도계(8)를 포함한다. 도 3a의 실시예에서, 공구대(100)는 12개의 가속도계(8)를 포함한다. 도 3a 및 도 3b의 실시예는 공구대의 축방향 중앙선의 양측에서 3개 가속도계 쌍(8)을 제공하여, j=2 모드에 대한 마루 위치(anti-node location)에 대응하는, 공구대가 공구대 중앙의 양측면상에서 환형 스페이서(12)의 위치를 측정하게 허용한다. 다른 실시예에서, 공구대 축방향 중앙의 일측면상에 위치되는 오직 6개의 가속도계(8)(3쌍)만이 존재한다. 본 발명의 특정 실시예에서, 공구대는 검출 분해능(detection resolution)을 높이기 위해 공구대 내에 축방향으로 가속도계를 이동시키기 위한 수단을 포함한다. 이는 공구대(100) 내에 이동 가능하게 부착된 구성요소 내에 가속도계(8)를 장착함으로써 달성될 수 있으며, 이동 가능한 구성요소는 전기 모터 및 리드스크류 또는 유압 실린더와 같은 임의의 기계적 v표준 수단에 의해 공구대(100) 내에서 축방향으로 이동할 수 있다.

[0038] 와상 전류 갭 측정 프로브

[0039] 공구대(100)는 또한 환형 스페이서(12)가 압력관 재킹에 뒤따르는 무하중 상태인지를 확인하기 위해 측정값을 얻도록 와상 전류 갭 측정 프로브(10)를 포함한다. 그러한 와상 전류 갭 측정 프로브(10)의 그러한 당업자에게 공지된 것이다. 도 3a 및 도 3b의 실시예에서, 공구대(100)는 2개의 와상 전류 갭 측정 프로브(10)를 포함하여, 압력관(200) 상부 및 하부의 갭을 동시에 측정할 수 있다. 다른 실시예에서, 압력관 하부의 갭을 측정하기 위한 오직 하나의 와상 전류 갭 측정 프로브(10)가 존재한다. 본 발명의 특정 실시예에서, 공구대(100)는 압력관의 상부, 하부 및 한 측면의 갭을 측정하도록 3개의 와상 전류 갭 프로브(10)를 포함한다.

[0040] 연결선

[0041] 공구대(100)는 연결선(30)과 관련하여 작동하도록 구성된다. 연결선(30)은 공구대(100)를 원자로 외부의 전력 장치 및 제어 시스템(도시되지 않음)에 연결시키기 위한 적절한 전기 케이블 및 유압 및/또는 공기 호스를 포함한다. 원자로 외부의 전력 장치는 유압 공급 장치(펌프, 밸브) 및 전력 공급 장치를 포함한다. 이러한 장치는 동력 공급 및 증폭 장치이며, 원자로 부근에 위치할 수도 있고 운반 기기용 설비에 인접하여 위치할 수도 있다.

[0042] 제어국

[0043] 공구대(100)는 바람직하게는 원자로로부터 떨어진 낮은 방사선 환경에 위치한 제어국(control station; 도시되지 않음)에 의해 작동 가능하다. 제어국은 변환기용 신호 조절, 데이터 수집 수단 및 작동 인터페이스와 같은 항목을 포함한다. 공구대(100)를 제어하고 환형 스페이서(12)로부터 검출, 이동 및/또는 검출 및 이동에 관한 결과를 분석하기 위해 전용 소프트웨어가 포함된다. 예를 들어 사용자 메뉴얼에 약술된 전용 절차는 작업자에 대한 환형 스페이서(12) 검출 및/또는 환형 스페이서(12) 위치 변경에 관한 안내/지시를 포함한다. 공구대(100)는 기존 기기를 개장하기 위하여 키트(kit)로서 포함될 수 있다는 점이 명확할 것이다.

[0044] **방법**

[0045] 원자로의 작동 중에, 환형 스페이서(12)가 압력관(200)을 따라 축방향으로 이동하는 것이 가능할 수 있다. 이러한 환형 스페이서(12)의 이동은 원자로의 진동 및/또는 열 사이클링에 기인할 수 있다. 환형 스페이서(들)(12)의 축방향 이동이 발생하는 경우, 환형 스페이서(들)(12)를 위치 변경하는 것이 필요하거나 바람직할

수 있다. 대안으로서 또는 추가적으로, 환형 스페이서(들)(12)의 초기 배치는 최적이 아니거나 바람직하지 않을 수 있으며, 이때 다시 환형 스페이서(들)(12)를 제 1 위치에서 제 2 위치로 위치 변경하는 것이 필요하거나 바람직할 수 있다.

[0046] 공구대(100)는 (ⅰ) 환형 스페이서(들)(12)를 검출하고, (ii) 환형 스페이서(12)를 위치 변경하며, 및/또는 (iii) 위치 변경 중에 환형 스페이서(12)를 검출하기 위해서 사용될 수 있다. 진동 기반 기술이 환형 스페이서(12)의 검출 및 위치 변경 양자에 대해서 사용된다. 다음의 논의는 환형 스페이서를 검출하고/하거나 위치 변경하기 위하여 본 발명의 장치를 사용하는 방법에 관한 세부 사항을 제공하지만, 본 발명으로부터 벗어나지 않으면서, 다음의 방법을 변형할 수 있다는 점이 명확할 것이다. 그러한 방법은 본 출원의 범위에 속한다.

[0047] 환형 스페이서 검출

[0048] 환형 스페이서(12)의 검출은 환형 스페이서(12)의 존재에 의해 야기되는 압력관(200) 진동의 응답 변화를 모니터링함으로써 얻어진다.

[0049] 공구대(100)는 압력관(200) 내에서 초기 위치에 삽입된다. 초기 위치는 사용자가 환형 스페이서(12)가 존재한다고 기대하는 위치에 가까울 수 있다. 대안적으로, 예컨대 사용자가 환형 스페이서(12)가 존재한다고 예상되는 위치를 알지 못한다면, 공구대(100)의 초기 위치는 압력관(200) 내 임의의 위치가 될 수 있다.

[0050] 공구대가 선택된 위치에 배치된 이후에, 압력관의 일부 섹션이 압력관의 잔여부로부터 진동에 대해 고립되는 방식으로 클램핑 부재(20)가 압력관의 내벽에 접촉하게 이동하여 이 내벽에 압력을 인가하도록 작동된다. 진동에 대한 고립은 압력관의 잔여부에 영향을 주는 일 없이 변화량의 검출을 위한 일관된 환경을 확립하기 위해 사용된다. 그 후에 고립된 섹션은 피에조 액추에이터의 작동을 통해 진동하고, 주파수 응답을 결정하기 위해서 가속도계 측정값이 3개 이상의 축방향 위치에서 얻어진다. 상이한 축방향 위치로부터의 측정값이 비교되며 주파수 응답의 상대적 변화량이 하중 조건의 스페이서의 존재를 가리킨다.

[0051] 도 5는 양단이 클램핑된 빔에 대한 제 1 및 제 2 축방향 모드 형상의 플롯을 보여준다. 본 명세서에서 사용되는, "양단이 클램핑된 빔(clamped-clamped beam)"은 공구대(100)가 압력관(200)의 소망하는 위치에 배치되는 경우에 구현될 수 있으며, 각 클램핑 블록 조립체(2)는 조립체 클램핑 부재(20)를 수축 위치에서 확장 위치로 이동시키도록 작동하며, 그에 따라 압력관(200)의 일부분을 진동에 대해 고립시킨다.

[0052] 도 6은 원형 단면을 갖는 양단이 클램핑된 빔에 대한 둘레방향 및 축방향 모드 형상(mode shape)을 묘사한다.

[0053] 환형 스페이서(12)의 위치 검출은 하중 조건의 환형 스페이서(12)의 부근에서 진동하는 압력관(200)의 상부 및 하부에서의 진동 응답의 차이에 기초한다. 환형 스페이서(12)는 압력관의 하부 근처에서 칼란드리아관(400)과 주로 접촉하고, 주로 이 위치에서 압력관(200)에 힘을 전달한다. 피에조 액추에이터(6)를 이용하여 압력관(200)에 무작위 진동을 발생시키고 가속도계(8)를 사용하여 3개 이상의 축방향 위치에서 압력관(200)의 상부 위치 및 하부 위치 모두에서 압력관(200)의 응답을 측정함으로써 검출이 이루어진다. 가속도는 압력관 섹션의 고유 주파수에서 모니터링되며, 이 섹션에서 예상되는 최대 가속도가 가장 높다. 주로 압력관(200)의 하부에서, 환형 스페이서(12)의 존재는 압력관 벽의 국소 가속도 및 검출을 변경한다. 이는 둘레 모드 형상에서 비대칭을 생성한다. 사용 중에, 공구대(100)는 압력관(200) 내부에 배치되고, 무작위 진동은 피에조 액추에이터(6)를 사용하여 발생된다.

[0054] 상부 위치 및 하부 위치에서의 압력관 가속도 사이의 비교는 스페이서 위치(들)를 식별하기 위해 다수의 축방향 위치에서 수행된다. 이는 도 4에 제공된 도에 도시되어 있다. 도 A는 압력관의 빔 모드의 단순한 축방향 단면도를 묘사한다. 도 4에서 a_t 및 a_b로 각각 표시되는 가속도 측정값이 상부 위치 및 하부 위치에서 얻어진다. 도 B는 마치 하중 조건의 환형 스페이서(12)로부터의 반력에 의해 영향 받는 것처럼 "수정된" 빔 모드의 단순한 도면을 보여준다. 환형 스페이서(12)의 존재는 압력관(200)을 따른 다양한 축방향 위치의 가속도 측정값들 a_t 및 a_b를 비교함으로써 결정된다. 환형 스페이서(12)의 부재시에, a_t 및 a_b의 절대값은 대략 동일하다. 그러나, 하중 조건의 환형 스페이서(12)가 존재하는 경우에, a_t 및 a_b의 사이에 차이가 존재한다. a_b의 값은 a_t의 값에 비해 통상 20% 내지 40%의 범위만큼 감소된다. 임의의 소정 주파수에서, 압력관의 상부 및 하부에서 측정된 가속도의 절대값의 비는 그 주파수에서 주파수 응답 함수로서 정의된다.

[0055] 도 7은 하중 조건의 환형 스페이서의 존재 여부에 따라 압력관의 일부 섹션에 대한 주파수 응답 함수 주파수 스펙트럼의 플롯을 보여준다. 도 7의 플롯은 임의의 주파수 범위에서 하중 조건의 스페이서의 존재 여부에 따

라 주파수 응답 함수에 현저한 차이가 존재한다는 점을 보여준다. 이러한 관계는 식별된 주파수 범위(들) 내에서 가속도를 분석함으로써 스페이서 검출이 이루어지게 한다.

[0056] 도 8은 (1,1) 모드 범위의 주파수에 있어서 압력관을 따른 축방향 위치의 함수로서 주파수 응답비를 나타낸 플롯이다. 하중 조건의 환형 스페이서는 800 ㎜ 길이의 압력관 섹션의 450 ㎜ 축방향 위치에 위치한다. 검사는 400 N의 환형 스페이서 하중으로 시행되었다. 도시된 주파수 응답 함수는 환형 스페이서에 대응하는 축방향 위치에서 대략 0.6의 최소값을 나타낸다.

[0057] 도 9는 (2,1) 모드 범위의 주파수에 있어서 압력관을 따른 축방향 위치의 함수로서 주파수 응답비를 나타낸 플롯이다. 하중 조건의 환형 스페이서는 450 ㎜의 축방향 위치에 배치된다. 도시된 주파수 응답 함수는 환형 스페이서에 대응하는 축방향 위치에서 대략 0.76의 최소값을 나타낸다.

[0058] 압력관 재킹

[0059] 원자로 작동의 일부 구간 이후에, 환형 스페이서(12)는 압력관(200) 및 칼란드리아관(400)과 접촉한 상태이다(하중 상태). 환형 스페이서(12)의 위치 변경을 위해, 환형 스페이서가 자유롭게 이동하도록 환형 스페이서(12)를 칼란드리아관(400)과의 접촉으로부터 벗어나게(무하중 상태) 할 필요가 있다. 환형 스페이서(12)를 하중 상태에서 무하중 상태로 움직이는 것은 공구대(100)를 사용하여 압력관(200)에 모멘트 힘을 인가함으로써 수행된다. 이러한 절차는 또한 압력관 재킹 또는 재킹으로서 당업자에게 알려져 있다. 와상 전류 갭 프로브(들)(10)는 환형 스페이서(12)가 무하중 상태에 있음을 확인하기 위하여, 압력관 대 칼란드리아관 갭을 측정하기 위해 사용된다. 따라서 와상 전류 갭 프로브(들)(10)는 또한 압력관(200)에 모멘트 힘을 인가할 필요가 있는지 결정하기 위해 사용될 수 있다.

[0060] 공구대(100)는 클램핑 블록 조립체(2)를 사용하여 압력관(200)에 모멘트 힘을 인가하도록 구성된다. 상술한 바와 같이, 클램핑 블록 조립체(2)는 커플링(16)을 중심으로 회전하도록 작동 가능하다. 모멘트 힘을 인가하기 위해서, 공구대(100)는 압력관(200) 내에 배치되고 조립체 클램핑 부재(20)는 확장 위치로 이동된다. 각 클램핑 블록 조립체(2)가 (서로에 대해 반대 방향으로) 회전하고 모멘트 힘이 압력관 축선에 평행한 수직 평면에 인가된다. 인가된 모멘트 힘은 외측 칼란드리아관(400)으로부터 내측 압력관(200)을 효과적으로 들어올리며, 그에 따라 환형 스페이서(12)를 칼란드리아관(400)과의 접촉에서 벗어나도록 하고 환형 스페이서(12)를 자유롭게 이동하게 한다. 따라서, 압력관(200)에 모멘트 힘을 인가하는 것에 의해, 환형 스페이서(12)는 하중 상태에서 무하중 상태로 이동한다. 그러한 압력관 재킹은 또한 루즈 핏 스페이서로 알려진 환형 스페이서의 경우에 사용된다.

[0061] 환형 스페이서 위치 변경

[0062] 환형 스페이서(12)의 위치 변경은 제어된 방식으로 압력관의 일부 섹션을 진동시킴으로써 이루어진다. 환형 스페이서(12)를 위치 변경하기 위해, 공구대(100)는 압력관(200) 내에서 환형 스페이서(12)와 관련하여 소망하는 위치에 위치한다. 바람직하게는, 환형 스페이서(12)의 위치는 상술한 바와 같이 결정된다. 일단 공구대(100)가 소망하는 위치에 배치되면, 각 클램핑 블록 조립체(2)가 조립체 클램핑 부재(20)를 수축 위치로부터 확장 위치로 움직이도록 작동되고, 그에 따라 압력관(200)의 일부 부분이 진동에 대해 고립된다. 이러한 진동에 대한 고립은 환형 스페이서(12)의 진동 기반 위치 변경을 위해 2개의 클램핑 블록 조립체(2) 사이에 위치한 표준 고정 길이의 압력관(200)을 제공한다. 공구대(100)는 압력관(200)에 모멘트 힘을 인가하기 위해 사용되며, 압력관을 상승시키고 환형 스페이서(12)로부터 하중을 제거한다. 몇몇 경우에, 환형 스페이서가 정상적으로 무하중 상태라면, 압력관을 재킹하는 일 없이 스너그 피팅 환형 스페이서(12)를 이동시키는 것이 가능하다. 환형 스페이서(12)의 무하중 상태는 와상 전류 갭 프로브(10)를 사용하여 압력관 대 칼란드리아관 갭을 측정함으로써 확인된다. 와상 전류 갭 프로브(10)는 압력관(200)에 인가하기 위해 필요한 모멘트 양을 결정하기 위해 사용되는 정보를 제공한다.

[0063] 환형 스페이서(12)가 제위치에 있고 무하중 상태라면, 피에조 액추에이터(6) 내의 베어링 패드(22)는 수축 위치로부터 확장 위치로 이동한다. 피에조 액추에이터(6)는 소망하는 주파수로 압력관(200)을 진동시키도록 작동 가능하다. 진동 주파수는 고립된 압력관 섹션의 고유 주파수에 부합하도록 선택된다. 통상적으로, (2,1) 모드는 스페이서 위치 변경을 위해 사용되며, 이는 이 모드가 피에조 액추에이터에 의해 공급되는 전력 대 생성된 피크 압력관 가속도 관점에서 가장 높은 효율을 제공하기 때문이다. 그러나, (2,2) 및 (2,3)과 같은 다

른 모드가 사용될 수도 있다. 800 ㎜의 활성 진동 길이를 갖는 물로 채워진 압력관에 있어서, 626 Hz, 793 Hz 및 1,096 Hz의 주파수는 (2,1), (2,2) 및 (2,3) 모드 각각에 대응한다. 선택된 피에조 액추에이터(6)의 진동 주파수는 작동 조건, 실제 압력관 크기, 공구대의 댐핑 효과, 사용자 선호도, 정규 요건 등과 같은 다양한 비제한적 요인에 좌우될 것이다. 생성된 진동 주파수는 작동 중에 생성된 압력관 가속도를 모니터링하는 것에 의해 실제 고유 주파수에 부합하도록 조정될 수 있다. 진동은 환형 스페이서(12)를 또한 진동하도록 한다. 환형 스페이서(12)의 이러한 진동은 스페이서 내 스프링 장력을 극복하기에 충분한 높은 가속도를 생성하고, 스페이서가 압력관의 표면으로부터 들어올려지게 한다. 바람직하게는, 공구대(100)는 진동에 의해 생성된 모드 형상의 골과 마루 사이에 환형 스페이서(12)를 초기 배치하도록 위치 설정된다. 진동은 통상적으로 환형 스페이서(12)가 마루로부터 골을 향하여 이동하도록 한다(도 4). 이는 양단이 클램핑된 빔의 2개의 축방향 모드 형상을 도시한 도 4에 자세하게 나타난다. 모드 형상에 대한 환형 스페이서(12)의 상대 위치는 스페이서의 이동 방향을 결정한다. 다양한 모드 형상이 사용될 수도 있다. 사용되기에 바람직한 모드 개수가 많을수록, 등가의 가속도를 생성하기 위해 요구되는 전력량이 커진다.

[0064] 위치 변경 중의 환형 스페이서 모니터링

[0065] 일례에서, 환형 스페이서(12)의 이동 중에 환형 스페이서(12)의 이동이 모니터링된다. 이는 환형 스페이서(12)가 이동 중에 진동함에 따른 환형 스페이서(12) 및 압력관(200) 사이의 높은 주파수 충격을 검출하는 가속도계(8)를 사용하여 수행된다. 공구대(100) 상의 다양한 위치에서 다수의 가속도계가 사용된다. 충격이 가속도계에 의해 검출되는 때의 차이와 충격의 크기가 스페이서 위치 및 이동을 결정하기 위해 사용된다.

[0066] 도 10은 공구대(100) 상의 다양한 위치에 배치된 가속도계(8)에서 검출된 시간의 함수서 가속도를 나타낸 그래프이다[3개의 가속도계(8) 각각은 1, 2 및 3으로 표시함]. 압력관(200)에 대한 단일 환형 스페이서(12) 충격으로부터 데이터를 얻었다. 이 예에서, 가속도계(3)는 압력관의 상부 근처에서 환형 스페이서(12)로부터 축방향으로 27 ㎜에 배치하였다. 가속도계(2)는 또한 압력관 상부 근처에서 환형 스페이서(12)로부터 76 ㎜에 위치하였다. 가속도계(1)는 압력관 하부 근처에 위치하고 환형 스페이서(12)로부터 87 ㎜에 위치하였다. 그래프로부터 충격 가속도계(8)로부터 멀리 떨어져 늦게 발생한 가속도 응답의 시작이 위치한다는 점이 주지되어야 한다. 파형 전단부는 약 1,700 m/s의 속도로 이동한다. 가속도계가 환형 스페이서 충격으로부터 멀어질수록 초기 가속도 피크는 감소한다. 시간 지연 및 크기 감소는 환형 스페이서(12) 충격의 위치를 결정하기 위해 사용될 수 있다.

[0067] 키트

[0068] 공구대(100) 및/또는 공구대(100)의 구성요소가 키트(kit)로서 포함될 수 있다는 점이 명확할 것이다. 그러한 키트는 선택적으로 공구대(100)를 사용하기 위한 지시 및/또는 공구대를 작동하기 위한 소프트웨어를 포함할 수도 있다.

[0069] 이 명세서에서 언급된 공보, 특허, 특허 출원 모두는 본 발명이 관련되는 종래기술에의 당업자의 수준을 나타내며, 마치 개개의 공보, 특허 및 특허 출원 각각이 참조에 의해 특정하게 개별적으로 포함되는 것으로 표시되는 것처럼, 동일한 의미로 참조에 의해 본 명세서에 포함된다.

[0070] 따라서 본 발명이 기술되며, 이는 동일한 바가 다양한 방식으로 변경될 수 있다는 점이 자명하다. 그러한 변경은 본 발명의 사상 및 범위로부터 이탈하는 것으로 간주되지 않으며, 모든 그러한 수정이 뒤따르는 특허청구범위의 범위 내에 포함된다는 점이 당업자에게 자명하다.

부호의 설명

[0071] 2: 클램핑 블록 조립체

6: 피에조 액추에이터

8: 가속도계

10: 와상 전류 갭 프로브

12: 환형 스페이서

16: 커플링

20: 클램핑 부재

22: 베어링 패드

30: 연결선

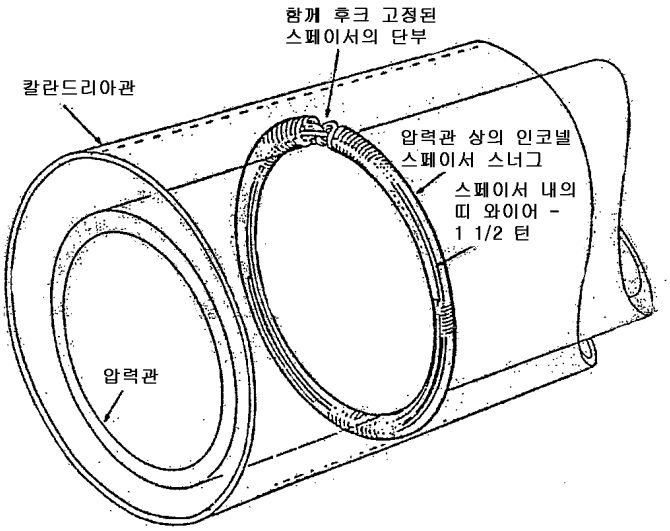
100: 공구대

200: 압력관(내측관)

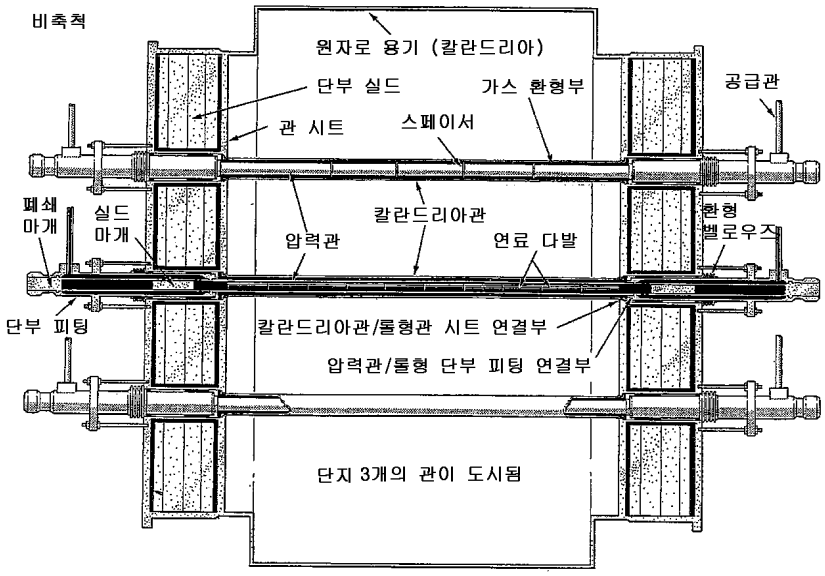
400: 칼란드리아관(외측관)

도면

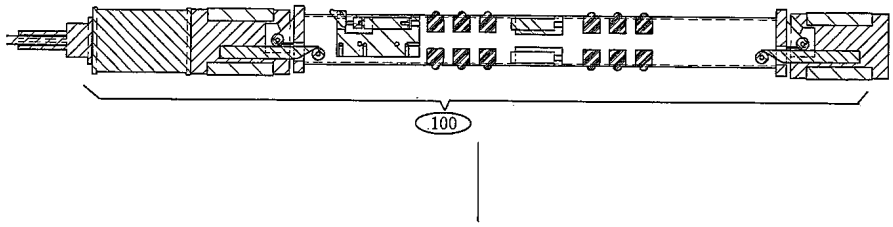
도면1



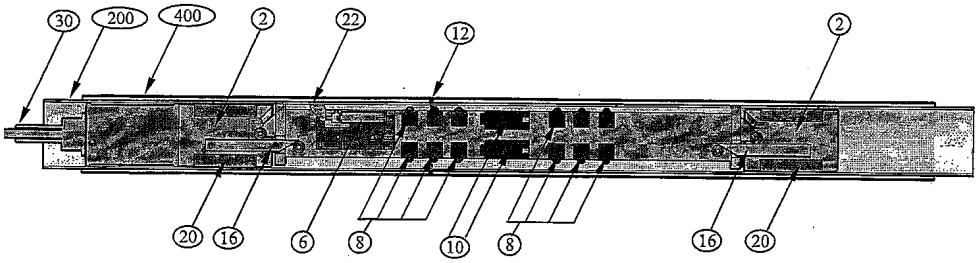
도면2



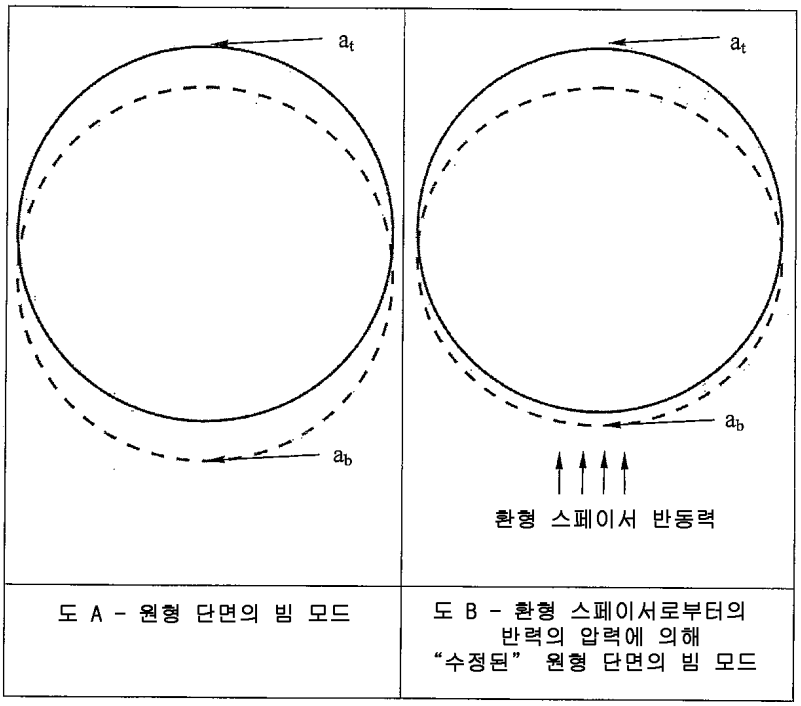
도면3a



도면3b



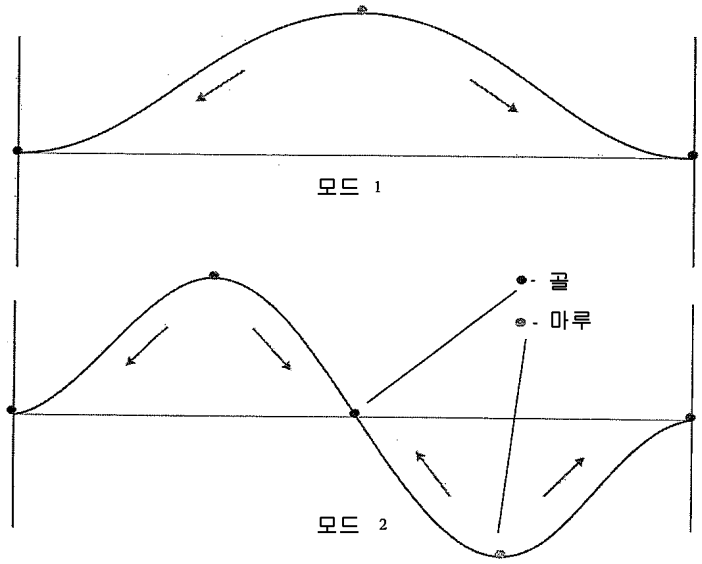
도면4



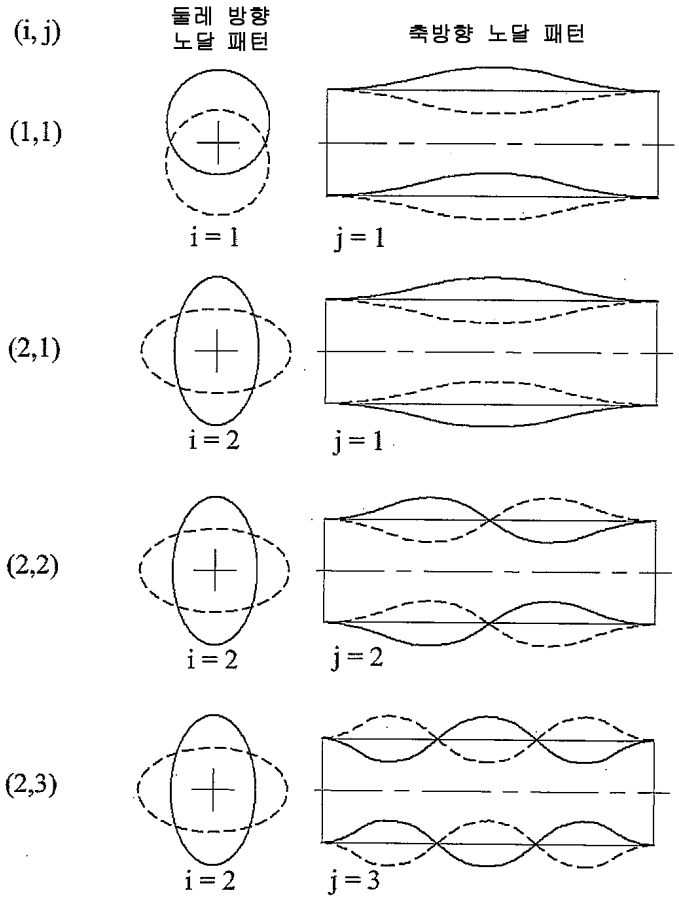
도 A - 원형 단면의 빔 모드

도 B - 환형 스페이서로부터의 반력의 압력에 의해 "수정된" 원형 단면의 빔 모드

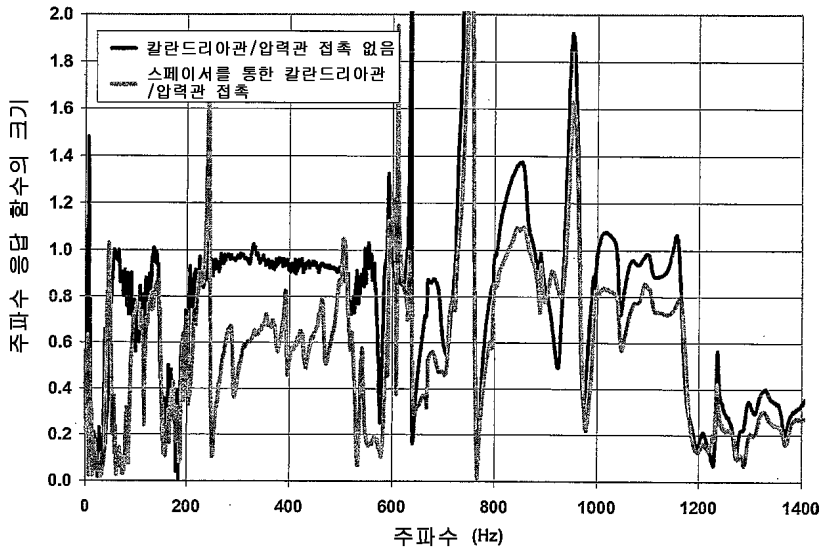
도면5


모드 1
골
마루
모드 2

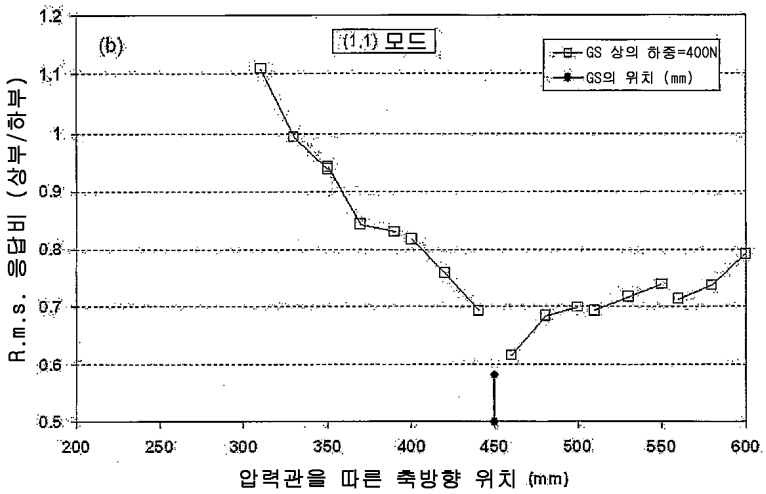
도면6


(i, j)
둘레 방향
노달 패턴
축방향 노달 패턴
(1,1)
i = 1
j = 1
(2,1)
i = 2
j = 1
(2,2)
i = 2
j = 2
(2,3)
i = 2
j = 3

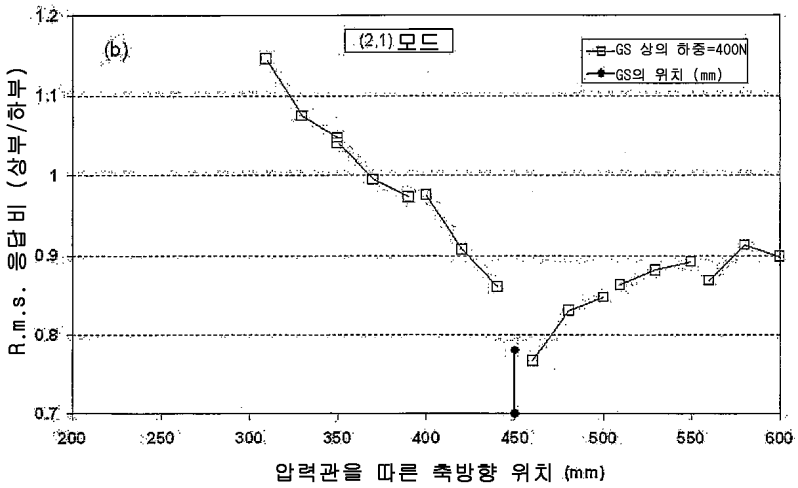
도면7


칼란드리아관/압력관 접촉 없음
스페이서를 통한 칼란드리아관/압력관 접촉
주파수 응답 함수의 크기
주파수 (Hz)
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400

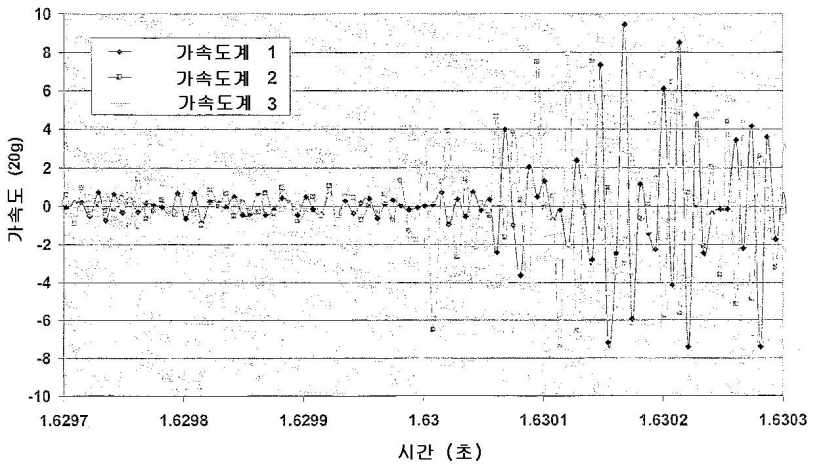
도면8


(b)
(1,1) 모드
GS 상의 하중=400N
GS의 위치 (mm)
R.m.s. 응답비 (상부/하부)
압력관을 따른 축방향 위치 (mm)
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
200
250
300
350
400
450
500
550
600

도면9


(b)
(2,1) 모드
GS 상의 하중=400N
GS의 위치 (mm)
R.m.s. 응답비 (상부/하부)
압력관을 따른 축방향 위치 (mm)
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
200
250
300
350
400
450
500
550
600

도면10


가속도계 1
가속도계 2
가속도계 3
가속도 (20g)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
1.6297
1.6298
1.6299
1.63
1.6301
1.6302
1.6303
시간 (초)