(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2014 년 11 월 6 일 (06.11.2014)

WIPO | PCT

(10) 국제공개번호
WO 2014/178518 A1

(51) 국제특허분류:
G01B 17/04 (2006.01) *G01N 29/14* (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2013/012037

(22) 국제출원일: 2013 년 12 월 23 일 (23.12.2013)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2013-0048072 2013 년 4 월 30 일 (30.04.2013) KR

(71) 출원인: **한국과학기술원 (KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY)** [KR/KR]; 305-701 대전시 유성구 대학로 291, Daejeon (KR).

(72) 발명자: **손훈 (SOHN, Hoon)**; 305-701 대전시 유성구 대학로 291, Daejeon (KR). **임형진 (LIM, Hyung Jin)**; 305-701 대전시 유성구 대학로 291, Daejeon (KR). **양수영 (YANG, Su Young)**; 305-701 대전시 유성구 대학로 291, Daejeon (KR). **리우페이페이 (LIU, Peipei)**; 305-701 대전시 유성구 대학로 291, Daejeon (KR).

(74) 대리인: **맹성재 (MAENG, Sung Jae)** 등; 302-120 대전시 서구 청사로 220, 수협빌딩 5 층, Daejeon (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

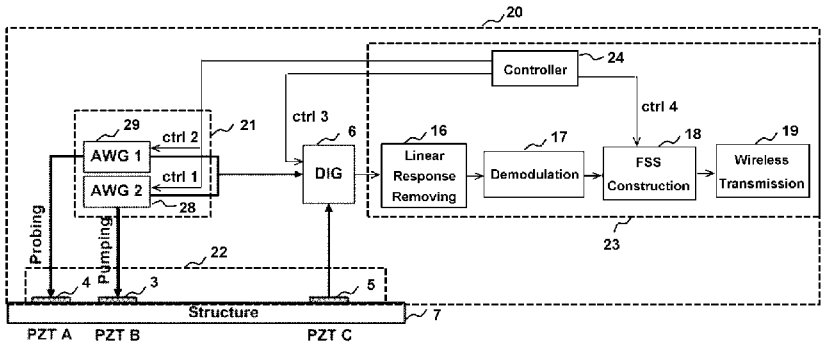
(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

(54) **Title**: APPARATUS FOR WIRELESSLY DIAGNOSING STRUCTURE USING NONLINEAR ULTRASONIC MODULATION TECHNIQUE AND DIAGNOSIS METHOD FOR ASSURING SAFETY USING SAME

(54) **발명의 명칭** : 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 무선 진단장치 및 그를 이용한 안전진단 방법



(57) **Abstract**: A method for diagnosing a structure to assure the safety thereof according to the present invention includes the steps of: making the structure vibrate by applying all signals of different frequencies; converting the responses of the structure elicited by the vibration into digital signals; generating primary modulation signals by synchronizing and demodulating the digital signals rid of the harmonics and the linear response of the signals of different frequencies; generating a first sideband spectrogram by combining the primary modulation signals corresponding with frequencies, the primary modulation signals being extracted by continuously changing the frequencies of the signals; and judging whether the structure is fissured based on the first sideband spectrogram, precisely detecting a flaw in spite of the very small power of the ultrasonic wave applied to the structure compared to the conventional technology, thus decreasing the power consumption.

(57) **요약서**: 본 발명은 서로 다른 주파수의 신호들을 모두 인가하여 구조물을 진동시키는 단계, 상기 진동에 의해 발생한 상기 구조물의 응답을 디지털 신호로 변환하는 단계, 상기 디지털 신호로부터 상기 주파수 신호들의 고조파 응답과 선형 응답을 제거하고 동기복조하여 일차 변조 신호를 생성하는 단계, 상기 서로 다른 주파수의 신호들의 주파수를 연속 변화시켜 일차 변조 신호들을 추출하고, 주파수별 일차 변조 신호들을 결합하여 제 1 측파대 스펙트로그램(first sideband spectrogram)을 생성하는 단계 및 상기 제 1 측파대 스펙트로그램으로부터 상기 구조물의 균열유무를 판별하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 구조물의 안전진단 방법에 관한 발명으로서, 구조물에 인가되는 초음파의 전력이 종래 기술에 비해 매우 작음에도 손상유무를 정밀하게 판별할 수 있으므로 전력 소비를 감소시킬 수 있다.

WO 2014/178518 A1

명세서

발명의 명칭: 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 무선 진단장치 및 그를 이용한 안전진단 방법

기술분야

[1] 본 발명은 구조물의 무선 진단장치에 관한 것으로서, 상세하게는 선형신호제거기법과 제1 측파대 스펙트로그램 생성기법에 의해 구조물의 손상여부를 정밀하게 감지하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 무선 진단장치에 관한 것이다.

배경기술

[2] 일반적으로 교량, 대형 시설물, 지하 매설물 등의 기간산업 시설물들은 사회 구성원들의 다양한 요구에 부응하여 점점 대형화 및 첨단화되고 있다. 이에 따라 여러 가지 신기술, 신공법, 신소재 등이 도입되고 있으며 이러한 새로운 기술을 도입하기 위한 선결 조건인 안전성 등의 검증에 대한 필요성이 요구되고 있다. 또한, 준공 후 수십 년이 지난 노후한 구조물의 수는 점차 많아지고 있으며, 구조물의 현재 상태를 평가하기 위한 정밀 안전진단 기술이나 유지관리를 위한 계측 시스템의 도입이 가속화되는 추세이다.

[3] 이러한 사회기반시설물의 안전진단관리 시스템은 보편적으로 안전검사자격증을 소지한 검사자의 비파괴 검사 수행을 통해 이루어지고 있다. 그러나 이러한 안전진단 검사는 정기적으로 수행되기 때문에 손상의 즉각적인 감지가 어렵다는 점, 검사 중에는 구조물 가동이 중지된다는 점, 그리고 육안으로 일일이 검사해야하므로 인건비를 포함한 검사 비용이 많이 드는 점 등의 문제점이 있다. 또한 금속 구조물 손상의 약 90%는 피로균열에 의해 발생되는데, 피로균열은 눈에 보이지 않을 정도로 작은 크기에서 시작되어 총 피로균열 수명의 80%에 도달해야 기존의 손상 감지 방식으로는 확인이 가능하다. 피로균열이 커지게 되어 이를 복구하는 비용이 증가하는 문제점이 있다.

[4] 한국등록특허 제0784582호(2007년 12월 04일 등록)는 압전소자를 이용한 구조물의 손상계측장치 및 방법에 관한 기술이나, 공급 전력이 약할 경우에 균열유무를 정밀하게 감지하지 못하는 문제점이 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[5] 본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위하여 선형신호제거 기법과 동기복조 기법에 의해 일차 변조 신호를 추출하고, 초음파 주파수를 변화시켜가며 추출된 일차 변조 신호들을 결합하여 제1 측파대 스펙트로그램을 생성하고, 제1 측파대 스펙트로그램으로부터 구조물의 균열유무를 진단하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 무선 진단장치를 제공하고자 한다.

과제 해결 수단

[6] 상기의 과제를 해결하기 위한 본 발명에 의한 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 안전진단 방법은, 서로 다른 주파수의 신호들을 모두 인가하여 구조물을 진동시키는 단계, 상기 진동에 의해 발생한 상기 구조물의 응답을 디지털 신호로 변환하는 단계, 상기 디지털 신호로부터 상기 주파수 신호들의 고조파 응답과 선형 응답을 제거하고 동기복조하여 일차 변조 신호를 추출하는 단계, 상기 서로 다른 주파수의 신호들의 주파수를 변화시켜 일차 변조 신호들을 추출하고 상기 일차 변조 신호들을 결합하여 제1 측파대 스펙트로그램(FSS)을 생성하는 단계 및 상기 제1 측파대 스펙트로그램으로부터 상기 구조물의 균열을 진단하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[7] 본 발명의 또 다른 실시예로서, 본 발명에 의한 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 피로균열 계측 방법은, 서로 다른 두 주파수의 초음파 중 하나의 초음파를 구조물에 부착된 동심 이중 압전변환기의 내측에 인가하고, 다른 하나의 초음파를 상기 동심 이중 압전변환기의 외측에 인가하여 상기 구조물을 진동시키는 단계, 상기 진동에 의해 상기 구조물에 발생한 응답을 제1 디지털 신호로 변환하는 단계, 상기 하나의 초음파만을 상기 동심 이중 압전변환기에 인가함에 따른 상기 구조물의 응답을 제2 디지털 신호로 변환하는 단계, 상기 다른 하나의 초음파만을 상기 동심 이중 압전변환기에 인가함에 따른 상기 구조물의 응답을 제3 디지털 신호로 변환하는 단계 및 상기 제1 디지털 신호로부터 상기 제2 디지털 신호와 상기 제3 디지털 신호를 제거한 후 이를 동기복조한 출력으로부터 상기 구조물의 균열유무를 판별하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[8] 본 발명의 또 다른 실시예로서 본 발명에 의한 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 피로균열 계측 시스템은 제1 제어 신호에 따라 고주파수의 초음파를 생성하는 고주파 생성부, 제2 제어 신호에 따라 저주파수의 초음파를 생성하는 저주파 생성부, 상기 구조물에 부착되어 상기 저주파수의 초음파를 상기 구조물에 인가하는 제1 압전변환기, 상기 구조물에 부착되어 상기 고주파수의 초음파를 상기 구조물에 인가하는 제2 압전변환기, 상기 초음파들에 의해 발생된 구조물의 응답을 전기 신호로 변환하는 제3 압전변환기, 상기 제3 압전변환기의 출력을 디지털 신호로 변환하는 디지타이저, 상기 제1 제어 신호와 상기 제2 제어 신호의 활성화 타이밍을 제어하는 제어부 및 상기 디지타이저의 출력으로부터 선형 응답과 고조파 응답을 제거하고 동기복조하여 상기 구조물의 피로균열 정보를 출력하는 디지털 신호 처리부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[9] 본 발명의 또 다른 실시예로서 본 발명에 의한 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 무선 진단장치는, 서로 다른 주파수의 펌핑 신호와 탐침 신호를 출력하는 주파수 생성부, 상기 펌핑 신호와 상기 탐침 신호를 구조물에

인가하여 진동을 유발하고 상기 구조물의 응답을 전기 신호로 출력하는 압전변환기부, 상기 압전변환기부의 출력을 디지털 신호로 변환하는 디지타이저, 상기 디지타이저의 출력을 선형신호제거하고 동기복조하여 일차 변조 신호를 추출하고 제1 측파대 스펙트로그램을 생성하는 디지털 신호 처리부 및 상기 제1 측파대 스펙트로그램을 무선 전송하는 무선 전송부를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[10] 본 발명은 구조물의 가동을 중지하지 않은 상태에서 손상을 감지할 수 있으므로, 피로균열의 초기부터 감지가 가능하고 진단 결과를 무선으로 원격지의 검사 시스템으로 전송함으로써 구조물의 균열이 커지는 것을 미연에 방지할 수 있다.

[11] 본 발명은 구조물의 진단 결과의 무선 전송에 의해 실시간 안전 검사가 가능하므로 인력 투입에 따른 검사 비용을 크게 절감할 수 있다.

[12] 본 발명에 의한 독특한 신호 처리 기법과 계측 방법에 의해, 손상유무를 정밀히 판별할 수 있는 주파수를 발견하고, 해당 주파수의 초음파를 구조물에 가진하여 손상을 진단하므로, 인가되는 초음파의 전압 레벨이 종래 기술에 비해 매우 작음에도 손상 유무를 정밀하게 판별할 수 있으므로 진단장치의 전력 소비를 크게 감소시킬 수 있다.

[13] 본 발명은 피로균열의 초기에서부터 감지하고, 균열이 커지는 것을 사전에 예방할 수 있으므로, 사회기반 시설물, 항공기 및 철도 차량 등의 수명을 연장시킬 수 있으며, 이러한 시설물들의 안전성을 확보할 수 있다.

[14] 본 발명은 저전력 공급에도 정밀 진단이 가능하고, 진단센서를 소형화시킬 수 있다. 따라서 진단센서의 크기에 제약받지 않고 광범위하게 활용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[15] 도 1은 구조물의 손상유무에 따른 주파수 응답 특성.

[16] 도 2는 본 발명에 사용된 항공기의 동체와 날개를 연결시키는 피팅 러그(fitting-lug) 구조물의 실물모형.

[17] 도 3은 본 발명에 의한 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 무선 진단장치의 구성도.

[18] 도 4는 본 발명에 의한 구조물의 안전진단 실험을 수행하기 위한 계측 시스템의 개략도.

[19] 도 5는 본 발명에 의한 신호처리 기법과 구조물의 손상 여부에 따른 출력 특성.

[20] 도 6은 본 발명의 제1 주파수 대역에서의 제1 측파대 스펙트로그램의 출력 특성.

[21] 도 7은 본 발명의 제2 주파수 대역에서의 FSS 출력 특성.

[22] 도 8은 본 발명에 의한 선형신호제거 처리기법을 설명하기 위한 도면.

발명의 실시를 위한 형태

[23] 이하 본 발명의 실시를 위한 구체적인 실시예를 도면을 참고하여 설명한다. 예시된 도면은 발명의 명확성을 위하여 핵심적인 내용만 확대 도시하고 부수적인 것은 생략하였으므로 도면에 한정하여 해석하여서는 아니 된다.

[24] 본 발명은 손상으로 인해 구조물에 발생한 비선형성을 감지하여 손상진단에 활용하는 발명으로서, 구조물에 서로 다른 주파수의 초음파들을 조사하여 구조물에서 감지한 변조 성분을 선형신호제거(linear response subtraction, 이하 "LRS"라 함)와 동기복조(synchronous demodulation, 이하 "SD"라 함) 및 제1 측파대 스펙트로그램(first sideband spectrogram, 이하 "FSS"라 함) 생성 기법에 의해 FSS를 생성하여 구조물의 손상유무를 진단하고, 진단결과를 원격지에 있는 검사 시스템으로 무선 전송함으로써 구조물의 균열 유무를 실시간으로 검사할 수 있고 구조물의 균열이 크게 발생하는 것을 미연에 방지할 수 있다.

[25] 도 1(a)와 도 1(b)는 구조물의 손상유무에 따른 주파수 특성을 도시한 것으로서, 도 1(a)와 같이, 금속 구조물에 피로손상(fatigue damage)이 없을 경우에는 구조물에 초음파를 조사하면 주파수 응답은 두 초음파 주파수의 신호만이 계측된다. 그러나 도 1(b)와 같이, 금속 구조물에 피로손상이 있을 경우, 손상영역은 국부적으로 비선형성을 갖게 되므로, 초음파가 해당 손상영역을 통과할 때 초음파 주파수 성분의 고조파(harmonics) 및 변조(modulation)가 발생한다. 본 발명은 종래 기술과는 달리 서로 다른 주파수의 두 초음파를 구조물에 가진시키고, 손상영역으로부터 발생된 신호 응답으로부터 선형신호제거 기법 및 동기복조 기법에 의해 일차 변조 성분을 추출하여, 초음파들의 주파수 가변에 따라 다른 값을 갖는 일차 변조 성분들을 결합하여 제1 측파대 스펙트로그램을 생성하고, 제1 측파대 스펙트로그램으로부터 구조물의 피로손상을 진단하는 발명이다.

[26] 본 발명은 도 2에 도시된 바와 같이, 항공기의 동체와 날개를 연결시키는 피팅 러그(fitting-lug) 구조물 실물 모형으로 테스트한 결과이다. 도 2(a)와 도 2(b)는 실험에 사용된 피팅 러그이고, 도 2(c)는 피로손상 모사를 위한 반복하중 시험이다. 도 2(a)와 도 2(b)에 도시된 바와 같이, 피팅 러그에 동심 이중 압전변환기를 부착한다. 저주파의 펌핑(pumping) 신호는 동심 이중 압전변환기(ACT)의 외측부분의 압전변환기에 인가하고, 고주파의 탐침(probing) 신호는 동심 이중 압전변환기(ACT)의 내측 부분의 제2 압전변환기(4)를 통해 가진하고, 응답신호는 상기 동심 이중 압전변환기의 타측에 부착된 두개의 압전변환기의 내측으로부터 동시에 계측한다. 도 2(c)는 실제 항공기의 비행시간인 1000 시간에 해당되는 반복하중을 가할 수 있는 장비에 시편을 설치한 모형이며, 도 2(d)는 반복 하중에 의해 약 40 mm 길이의 피로손상이 발생된 시편을 도시한 것이다.

[27] 도 3은 본 발명에 의한 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 무선 진단장치(20)를 도시한 것으로서, 도 2에 도시된 구조물과 같은 피로균열을 진단할 수 있다. 서로 다른 주파수 신호를 출력하는 저주파 생성부(28)와 고주파

생성부(29)로 구성된 주파수 생성부(21), 상기 저주파 생성부(28)와 고주파 생성부(29)로부터 고주파와 저주파를 입력받아 구조물을 진동시키고 구조물로부터의 초음파를 감지하는 압전변환기부(22) 및 압전변환기부(22)의 출력을 디지털 신호로 변환하는 디지타이저(digitizer), LRS 및 SD 처리하여 일차 변조 성분을 추출하고, 초음파의 주파수를 가변시켜 추출한 일차 변조 성분의 결합으로부터 제1 측파대 스펙트로그램을 생성하고, 제1 측파대 스펙트로그램으로부터 균열유무를 진단하고, 진단 결과를 검사자 또는 검사 시스템에 무선 전송하는 디지털 신호처리부(23)를 포함한다.

[28] 예를 들면, 고주파는 80 kHz ~ 110 kHz의 초음파이고 탐침 신호(probing signal)라 한다. 저주파는 10 kHz ~ 20 kHz의 초음파이고 펌핑 신호(pumping signal)라 한다. 상기 저주파 생성부(28)는 제1 제어 신호(ctrl1)에 따라 저주파인 펌핑 신호를 생성한다. 예를 들면 펌핑 신호는 16.5 kHz, 12V의 사인파(sine wave)이다. 상기 고주파 생성부(29)는 제2 제어 신호(ctrl2)에 따라 고주파인 탐침 신호를 생성한다. 예를 들면, 탐침 신호는 80 kHz ~ 110 kHz 주파수 대역을 갖는 12V의 선형 처프(linear chirp) 신호이다. 본 발명에 사용되는 초음파의 전압 레벨이 종래 기술보다 매우 작음에도 손상유무의 진단이 가능하므로, 저전력 소모의 무선 진단센서를 구현할 수 있다. 상기 저주파 생성부(28)와 상기 고주파 생성부(29)는 디지털 아날로그 컨버터로 구현할 수 있다. 추가로 상기 저주파 생성부(28)와 상기 고주파 생성부(29)는 필터와 증폭기를 더 포함할 수 있다.

[29] 도 3의 구성을 구체적으로 설명하면, 상기 압전변환기부(22)는 상기 저주파신호를 상기 구조물에 가진하는 제1 압전변환기(3), 상기 고주파 신호를 상기 구조물에 가진하는 제2 압전변환기(4) 및 상기 저주파와 상기 고주파에 의한 구조물의 응답을 전기신호로 출력하는 제3 압전변환기(5)를 포함한다.

[30] 상기 제1 압전변환기(3)와 제2 압전변환기(4)는 구조물에 부착하여 서로 다른 주파수의 초음파를 구조물에 인가하고 진동을 유발하며, 도 2(a), 2(b) 및 2(d)에 도시된 동심 이중 압전변환기를 사용하여 구현할 수 있다. 동심 이중 압전변환기는 중심이 동일한 두개의 압전변환기로 구성되며, 하나(제1 압전변환기(3))는 중심에 원형 센서이고, 다른 하나(제2 압전변환기(4))는 원형 센서와 소정 거리로 이격되어 형성된 링 형태의 센서이다. 도 2(d)를 참조하면, 상기 제1 압전변환기(3)는 저주파 신호가 제1 입력단자(31)를 통해 인가되며, 상기 제2 압전변환기(4)는 고주파 신호가 제2 입력단자(32)를 통해 인가된다. 동심 이중 압전변환기를 사용하면 서로 다른 위치에서 초음파를 인가하여도 같은 위치에서 인가된 것과 동일한 효과가 나타난다.

[31] 상기 제3 압전변환기(5)는 구조물(7)에 부착되어 진동에 의해 상기 구조물(7)에 발생된 응답을 전기신호로 변환한다.

[32] 상기 디지타이저(6)는 제3 제어 신호(ctrl3)에 따라 상기 제3 압전변환기(5)의 출력을 계측하고, 아날로그 신호 형태인 제3 압전변환기(5)의 출력을 디지털 신호로 변환한다. 상기 디지타이저(6)는 아날로그 디지털 컨버터로 구현할 수

있다.

[33] 상기 고주파 생성부(29)와 상기 저주파 생성부(28)의 출력은 상기 제1 압전변환기(3)와 상기 제2 압전변환기(4)에 인가되며, 상기 제3 압전변환기(5)의 출력은 상기 디지타이저(6)로 인가된다. 고주파 생성부(29), 저주파 생성부(28), 디지타이저(6)와 압전변환기(3,4,5)들은 케이블 또는 전송선 등에 의해 연결된다.

[34] 상기 디지털 신호 처리부(23)는 상기 주파수 신호들에 의해 구조물에 발생한 응답으로부터 선형신호제거 처리 및 동기복조처리하여 일차 변조 신호를 추출하고, FSS를 생성하여 이로부터 구조물의 손상 유무를 판별하고, 진단 결과를 원격에 위치한 안전관리 검사자 또는 검사 시스템에 전송한다. 상기 디지털 신호 처리부(23)는 선형신호제거부(16), 동기복조부(17), FSS 생성부(18) 및 무선 전송부(19)를 포함한다.

[35] 선형신호제거 기법은 펌핑 신호와 탐침 신호가 동시에 가진되었을 때의 구조물의 응답으로부터 펌핑 신호와 탐침 신호가 각각 따로 가진되었을 때의 구조물의 응답을 뺀 기법으로서, 본 발명만의 독특한 신호처리 기법이다.

[36] 선형신호제거 기법을 구체적으로 설명하면 아래와 같다. 구조물에 펌핑 신호와 탐침 신호를 동시에 가진함에 따라 발생한 구조물의 응답을 제3 압전변환기(5)가 아날로그 전기신호로 변환하고, 디지타이저(6)는 상기 아날로그 전기 신호를 제1 디지털 신호로 변환한다. 그리고 펌핑 신호와 탐침 신호의 선형 응답과 고조파 응답을 제거하기 위해, 이번에는 펌핑 신호만을 구조물(7)에 가진하여 발생한 구조물의 응답을 제3 압전변환기(5)와 디지타이저(6)는 제2 디지털 신호로 변환한다. 그 다음에는 탐침 신호만을 구조물(7)에 가진하여 발생한 구조물의 응답을 제3 압전변환기(5)와 디지타이저(6)는 제3 디지털 신호로 변환한다. 상기 선형신호제거부(16)는 상기 제1 디지털 신호에서 상기 제2 디지털 신호와 상기 제3 디지털 신호를 제거한다. 여기서, 각 주파수 신호들이 인가되는 시간차에 의한 오차는 없는 것으로 가정한다. 따라서 도 5(d)를 참조하면, 상기 선형신호제거부(16)는 디지타이저의 출력으로부터 측파대의 신호만을 추출할 수 있다.

[37] [수학식 1]

[38] $$u^{(3)} = u^{T} - u^{(1)} + u^{(2)}$$

[39] [수학식 2]

[40] $$u^{(3)} = \hat{u}_{b\pm a} e^{i((k_b \pm k_a)z-(w_b \pm w_a)t+(\theta_b \pm \theta_a))} + \alpha(u^{(1)} + u^{(2)}) + c.c, \quad \alpha \approx 0$$

[41] 도 8을 참조하면, 상기 선형신호제거부(16)는 수학식 1과 같이, 구조물로부터의 출력 신호(u^{T})로부터 전체 주파수 대역의 신호들로부터 선형 응답(linear response)($u^{(1)}$)을 제거하고, 고조파 응답(harmonic response)($u^{(2)}$)을 제거하여 측파대(baseband)의 신호($u^{(3)}$)만을 추출할 수 있다. 또는 상기 선형신호제거부(16)는 수학식 2를 적용하여 LRS 처리하여 실제 상황에서

발생하는 오차가 제거된 측파대 신호를 추출할 수 있다. 수학식 1에 의한 신호($u^{(3)}$)는 이론적으로 가능한 선형신호제거 처리된 값이고, 수학식 2의 신호($\hat{u}^{(3)}$)는 실제 상황에서 발생하는 오차들을 고려하여 선형신호제거 처리된 값이다.

[42] 상기 동기복조부(17)는 상기 선형신호제거부(16)의 출력을 동기복조한다. 동기복조 기법은 일반적인 통신에서 사용하는 신호처리 기법이다.

[43] 상기 제어부(24)는 상기 저주파 생성부(28)와 고주파 생성부(29)의 출력 주파수를 가변시키고, 상기 구조물에 저주파와 고주파가 모두 인가되거나, 저주파만 인가되거나, 고주파만 인가되도록, 상기 저주파 생성부(28)와 고주파 생성부(29)의 신호 출력 타이밍을 제어한다. 상기 제어부(24)는 상기 제1 측파대 스펙트로그램으로부터 가장 큰 값의 일차 변조 신호를 출력하는 주파수를 선택하여 상기 펌핑 신호와 상기 탐침 신호의 주파수로 설정한다.

[44] 상기 FSS 생성부(18)는 제4 제어 신호(ctrl4)에 따라 고주파와 저주파의 주파수 가변에 따라 상기 동기복조부(17)의 출력 신호를 입력받아 일차 변조 신호만을 추출하여 FSS를 생성한다. 상기 제어부(24)가 상기 저주파 생성부(28)와 고주파 생성부(29)의 출력되는 주파수를 가변시키면, 변동된 주파수에 따라 상기 동기복조부(17)에서 추출된 일차 변조 성분들을 상기 FSS 생성부(18)에서 결합하여 제1 측파대 스펙트로그램을 생성한다.

[45] 상기 무선 전송부(19)는 상기 FSS 생성부(18)의 출력을 원격지에 있는 검사자 또는 검사 시스템에 무선 전송함으로써 검사자가 구조물의 피로균열 여부를 즉각 확인할 수 있다. 상기 무선 전송부(19)는 CDMA(code division multiple access), 직비(zigbee), 블루투스(bluetooth), 와이파이(WIFI), 와이브로(wireless broadband internet), 와이맥스(world interoperability for microwave access) 등의 무선 통신방식에 의해 데이터를 전송한다.

[46] 도 5는 본 발명에 의한 LRS 및 SD 신호처리 기법과 구조물의 손상 여부에 따른 디지타이저(6), 선형신호제거부(16) 및 동기복조부(17)의 출력 특성을 도시한 것이다.

[47] 도 5(a)와 도 5(b)는 손상이 있는 구조물과 손상이 없는 구조물로부터 출력(디지타이저(6)의 출력)된 신호를 시간-주파수 대역에서 분석한 결과이며, 손상유무에 따라 큰 차이가 없으므로 구조물로부터 출력된 신호만을 갖고는 손상유무를 판별할 수 없다.

[48] 도 5(c)와 도 5(d)는 디지타이저(6)의 출력을 선형신호제거부(16)에서 LRS 처리된 신호를 시간-주파수 영역에서 분석한 결과이며, 선형신호제거부(16)는 손상이 있는 구조물(도 5(d))로부터는 일차 변조 신호를 발생시키고, 손상이 없는 구조물(도 5(c))로부터는 일차 변조 신호를 발생시키지 않는다. 또한, 도 5(e)와 도 5(f)는 구조물의 응답에 LRS 기법 이 후 동기복조 기법을 적용하여 디지타이저(6)의 출력으로부터 일차 변조 신호만을 추출한 신호이다. 동기복조부(17)에서는 손상이 발생하였을 때만 변조된 신호가 발생하므로, 변조

신호의 발생 유무에 의해 구조물의 손상을 감지할 수 있다.

[49] 도 6은 본 발명의 주파수 대역에서의 FSS 출력 특성으로서, 구조물에 발생한 비선형성에 의한 주파수 응답은 변조를 위해 가진한 두 초음파의 주파수 조합에 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 따라서 광대역의 주파수 조합에 대한 신호를 계측하여 가장 큰 출력 신호를 제공하는 주파수를 손상진단에 활용하면 된다. 그에 따라 본 발명은 탐침 신호의 주파수는 고정시키고, 펌핑 신호의 주파수를 변화시키면서 디지타이저의 출력 신호를 계측하고, 계측된 신호를 LRS 및 동기복조하여 일차 변조 성분만을 추출하고, 주파수별 일차 변조 성분을 결합하여 FSS를 생성한다.

[50] 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 의한 구조물의 안전진단 실험을 수행하기 위한 계측 시스템으로서, 도 3보다 구조물의 응답을 출력하기 위해 다수개의 압전변환기(12,13)를 부착한 것으로서, 압전변환기의 구조물에 부착된 위치에 따라 측정 결과의 오차 발생 유무를 테스트하기 위한 구성이다. 도 4의 계측 시스템에는 구조물의 손상을 감지하는 압전변환기를 위치가 다른 두 군데에 부착한다. 두 압전변환기(12,13)의 위치에 따른 측정 결과의 차이는 도 6과 도 7을 참조하면, 미미한 것으로 분석된다. 상기 디지타이저(14) 이후의 구성(선형신호제거부, 동기복조부, FSS 생성부 및 무선 전송부)에 관한 설명은 도 3에 도시된 구성과 동일하므로 생략한다.

[51] 도 6은 펌핑 신호의 주파수를 10 ~ 20 kHz, 탐침 신호의 주파수를 80 kHz ~ 110 kHz로 연속 변화시켜 생성한 제1 측파대 스펙트로그램을 도시한 것이다. 도 6(a)와 도 6(c)는 도 4에 도시된 계측 시스템의 측정 결과로서, 구조물에 손상이 없을 때의 제6 압전변환기(12)와 제7 압전변환기(13)로부터 디지타이저(14)의 신호를 펌핑 신호와 탐침 신호를 주파수별로 연속 변화시켜 FSS를 생성한 결과이다. 측정 시, 펌핑 신호의 주파수를 10 kHz부터 20 kHz까지 500 Hz씩 증가시키고, 탐침 신호의 주파수는 80 kHz에서 110 kHz로 일정하게 유지시킨다. 구조물의 손상이 없을 때는 일차 변조 성분이 발생하지 않음을 알 수 있다.

[52] 도 6(b)와 도 6(d)는 구조물에 손상이 있을 때의 제6 압전변환기(12)와 제7 압전변환기(13)로부터 FSS 생성부(18)의 출력 신호를 펌핑 신호와 탐침 신호를 주파수별로 연속 변화시켜 FSS를 생성한 결과이다.

[53] 도 6을 살펴보면, 구조물에 손상이 있을 때 제6 압전변환기(12)와 제7 압전변환기(13)에서 모두 일차 변조 성분이 발생함을 관찰할 수 있다. 특이한 점은 구조물에 손상이 있더라도, 주파수 조합에 따라 변조 성분이 발생하지 않는 주파수 대역이 있다는 점이다. 따라서 상기 펌핑 신호의 주파수는 10 kHz ~ 20 kHz이고, 탐침 신호의 주파수는 80 kHz ~ 110 kHz 로 설정할 때, 구조물의 손상 유무에 따른 일차 변조 신호의 출력 레벨은 확연히 차이가 나므로, 80 kHz ~ 110 kHz의 주파수 대역에서 탐침 신호의 주파수를 선택함으로써 종래의 안전진단 방법에 비해 구조물의 손상유무를 정밀하게 감지할 수 있다. 그에 따라 구조물의 피로균열을 정밀하게 감지하는 진단센서를 제조하려면 탐침 신호의 주파수를

상기의 주파수로 선택하면 된다. 이를 일반화하면, 펌핑 신호와 탐침 신호의 주파수는 제1 측파대 스펙트로그램으로부터 가장 높은 출력 특성을 갖는 신호의 주파수를 선택하는 것이 안전 진단장치 구현에 바람직하다.

[54] 도 7은 펌핑 신호의 주파수는 50 ~ 150 kHz, 탐침 신호의 주파수는 400 ~ 500 kHz까지 증가시켰을 때의 계측 결과이다. 주파수를 도 6의 실험에 비해 증가시킨 결과, 손상유무에 따른 제1 측파대 스펙트로그램의 변화가 도 6에 비해 매우 작다. 따라서 도 7의 주파수를 사용하는 진단장치는 압전변환기에 더 큰 전력의 탐침 신호와 펌핑 신호를 인가해야 한다. 도 7을 통해 도 6에 도시된 주파수 대역을 사용하는 것이 저전력 센서 구현에 유리함을 알 수 있다.

[55] 제어부는 고주파 생성부와 저주파 생성부가 해당 주파수의 탐침 신호와 펌핑 신호를 출력하도록 제어함으로써, 온도나 구조물의 특성에 따라 정밀도를 향상시킨 진단 센서를 구현할 수 있다.

[56] 이상에서는 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

산업상 이용가능성

[57] 본 발명은 사회기반 시설물, 항공기, 철도 차량 등을 포함한 각종 구조물의 안전진단관리 분야의 안전 진단센서로 광범위하게 활용할 수 있다.

청구범위

[청구항 1] 구조물의 안전진단 방법에 있어서,
서로 다른 주파수의 신호들을 모두 인가하여 구조물을 진동시키는 단계;
상기 진동에 의해 발생한 상기 구조물의 응답을 디지털 신호로 변환하는 단계;
상기 디지털 신호로부터 상기 주파수 신호들의 고조파 응답과 선형 응답을 제거하고 동기복조하여 일차 변조 신호를 추출하는 단계;
상기 서로 다른 주파수의 신호들 중 적어도 하나의 주파수를 변화시킴에 따라 추출된 일차 변조 신호들을 결합하여 제1 측파대 스펙트로그램(first sideband spectrogram)을 생성하는 단계 및
상기 제1 측파대 스펙트로그램으로부터 상기 구조물의 균열유무를 판별하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 안전진단 방법.

[청구항 2] 제1항에 있어서,
상기 진동에 의해 발생한 상기 구조물의 응답을 디지털 신호로 변환하는 단계 이후에,
상기 주파수 신호들 중 하나를 인가하여 상기 구조물에 발생한 응답을 제2 디지털 신호로 변환하는 단계 및
상기 주파수 신호들 중 다른 하나를 인가하여 상기 구조물에 발생한 응답을 제3 디지털 신호로 변환하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 안전진단 방법.

[청구항 3] 제2항에 있어서,
상기 일차 변조 신호를 추출하는 단계는,
상기 디지털 신호로부터 상기 제2 디지털 신호와 상기 제3 디지털 신호를 뺄셈하는 선형신호제거 단계 및
상기 선형신호제거된 신호를 동기복조하여 상기 디지털 신호에서 상기 일차 변조 신호를 추출하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 안전진단 방법.

[청구항 4] 제1항에 있어서,
상기 서로 다른 주파수의 신호들을 인가하여 구조물을 진동시키는 단계는,
상기 서로 다른 주파수 신호 중 하나를 상기 구조물에 부착된 동심 이중 압전변환기의 내측에 인가하고, 다른 하나를 상기 동심 이중

압전변환기의 외측에 인가하는 것을 특징으로 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 안전진단 방법.

[청구항 5] 제1항에 있어서,
상기 제1 측파대 스펙트로그램으로부터 상기 구조물의 균열유무를 판별하는 단계는,
상기 구조물의 손상유무를 원격지에 있는 검사 시스템으로 무선 전송하여 실시간으로 안전진단을 수행하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 안전진단 방법.

[청구항 6] 구조물의 피로균열 계측 방법에 있어서,
서로 다른 주파수의 초음파 중 하나의 초음파를 구조물에 부착된 동심 이중 압전변환기의 내측에 인가하고, 다른 하나의 초음파를 상기 동심 이중 압전변환기의 외측에 인가하여 상기 구조물을 진동시키는 단계;
상기 진동에 의해 상기 구조물에 발생한 응답을 제1 디지털 신호로 변환하는 단계;
상기 하나의 초음파만을 상기 동심 이중 압전변환기에 인가함으로 인해 발생한 상기 구조물의 응답을 제2 디지털 신호로 변환하는 단계;
상기 다른 하나의 초음파만을 상기 동심 이중 압전변환기에 인가함으로 인해 발생한 상기 구조물의 응답을 제3 디지털 신호로 변환하는 단계 및
상기 제1 디지털 신호로부터 상기 제2 디지털 신호와 상기 제3 디지털 신호를 제거한 신호를 동기복조하여 상기 구조물의 균열유무를 판별하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 피로균열 계측 방법.

[청구항 7] 제6항에 있어서,
상기 구조물의 균열유무를 판별하는 단계는,
상기 초음파들의 주파수를 연속 변화시켜가며 상기 일차 변조 신호를 추출하고, 각 주파수별 추출된 일차 변조 신호들을 결합하여 제1 측파대 스펙트로그램을 생성하고, 생성된 제1 측파대 스펙트로그램으로부터 상기 구조물의 균열유무를 판별하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 피로균열 계측 방법.

[청구항 8] 구조물의 피로균열 계측 시스템에 있어서,
제1 제어 신호에 따라 저주파수의 초음파를 생성하는 저주파 생성부;
제2 제어 신호에 따라 고주파수의 초음파를 생성하는 고주파

생성부;
상기 구조물에 부착되어 상기 저주파수의 초음파를 상기 구조물에 인가하는 제1 압전변환기;
상기 구조물에 부착되어 상기 고주파수의 초음파를 상기 구조물에 인가하는 제2 압전변환기;
상기 초음파들에 의해 발생된 구조물의 응답을 전기 신호로 변환하는 제3 압전변환기;
상기 제3 압전변환기의 출력을 디지털 신호로 변환하는 디지타이저;
상기 제1 제어 신호와 상기 제2 제어 신호의 활성화 타이밍을 제어하는 제어부 및
상기 디지타이저의 출력으로부터 선형 응답과 고조파 응답을 제거하고 동기복조하여 상기 구조물의 피로균열 정보로 출력하는 디지털 신호 처리부를 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 피로균열 계측 시스템.

[청구항 9] 제8항에 있어서,
상기 제어부는,
상기 저주파 생성부의 출력 주파수 또는 고주파 생성부의 출력 주파수를 가변시키거나, 상기 구조물에 저주파와 고주파가 모두 인가되거나, 저주파만 인가되거나, 고주파만 인가되도록 상기 저주파 생성부와 고주파 생성부의 신호 출력 타이밍을 제어하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 피로균열 계측 시스템.

[청구항 10] 서로 다른 주파수의 펌핑 신호와 탐침 신호를 출력하는 주파수 생성부;
상기 펌핑 신호와 상기 탐침 신호를 구조물에 인가하여 진동을 유발하고, 상기 구조물의 응답을 전기 신호로 출력하는 압전변환기부;
상기 압전변환기부의 출력을 디지털 신호로 변환하는 디지타이저 및
상기 디지타이저의 출력을 선형신호제거(linear response subtraction)하고 동기복조하여 제1 측파대 스펙트로그램을 생성하는 디지털 신호 처리부 및
상기 제1 측파대 스펙트로그램을 원격지의 검사 시스템으로 무선 전송하는 무선 전송부를 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 무선 진단장치.

[청구항 11] 제10항에 있어서,

상기 디지털 신호 처리부는,
상기 펌핑 신호와 상기 탐침 신호가 모두 인가될 때의 상기 디지타이저의 출력에서 상기 펌핑 신호만 인가될 때의 상기 디지타이저의 출력과 상기 탐침 신호만 인가될 때의 상기 디지타이저의 출력을 제거하는 선형신호제거부 및
상기 선형신호제거부의 출력을 동기복조하여 일차 변조 신호를 생성하는 동기복조부를 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 무선 진단장치.

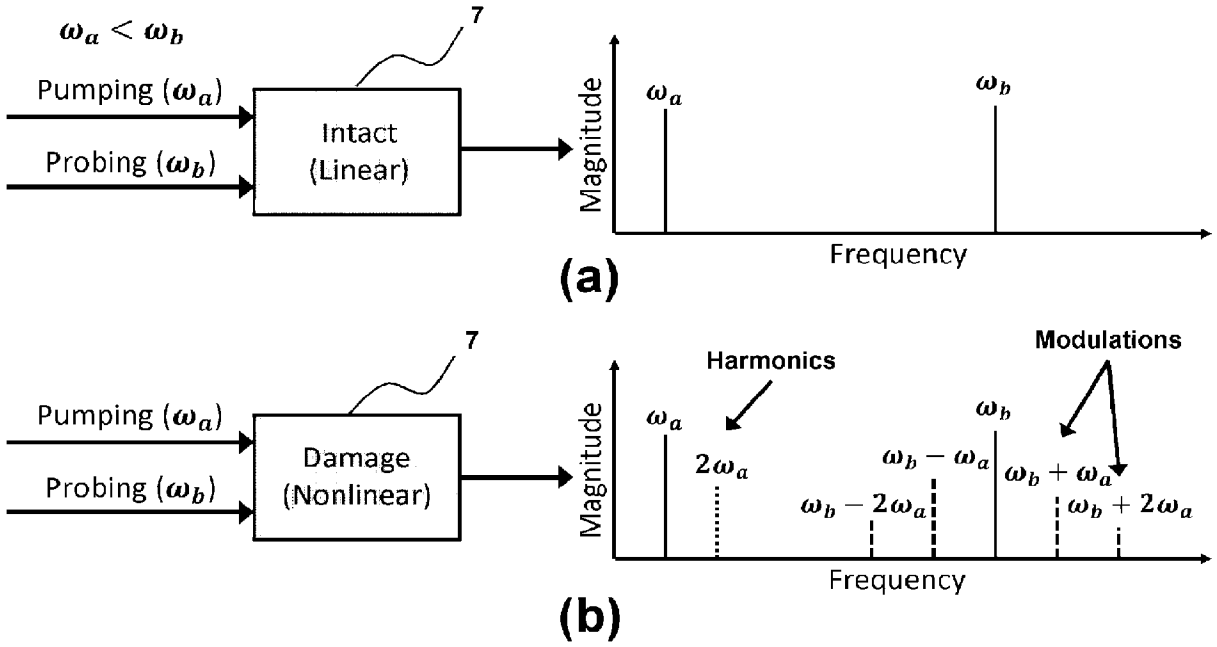
[청구항 12] 제10항에 있어서,
상기 디지털 신호 처리부는,
상기 펌핑 신호의 주파수 또는 상기 탐침 신호의 주파수를 소정 주파수 구간에서 연속 변화시키면서 얻은 주파수별 일차 변조 신호들을 결합하여 제1 측파대 스펙트로그램을 생성하는 FSS(first sideband spectrogram) 생성부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 무선 진단장치.

[청구항 13] 제10항에 있어서,
상기 제어부는,
상기 제1 측파대 스펙트로그램으로부터 가장 큰 값을 갖는 일차 변조 신호에 해당하는 주파수들을 상기 펌핑 신호의 주파수와 상기 탐침 신호의 주파수로 설정하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 무선 진단장치.

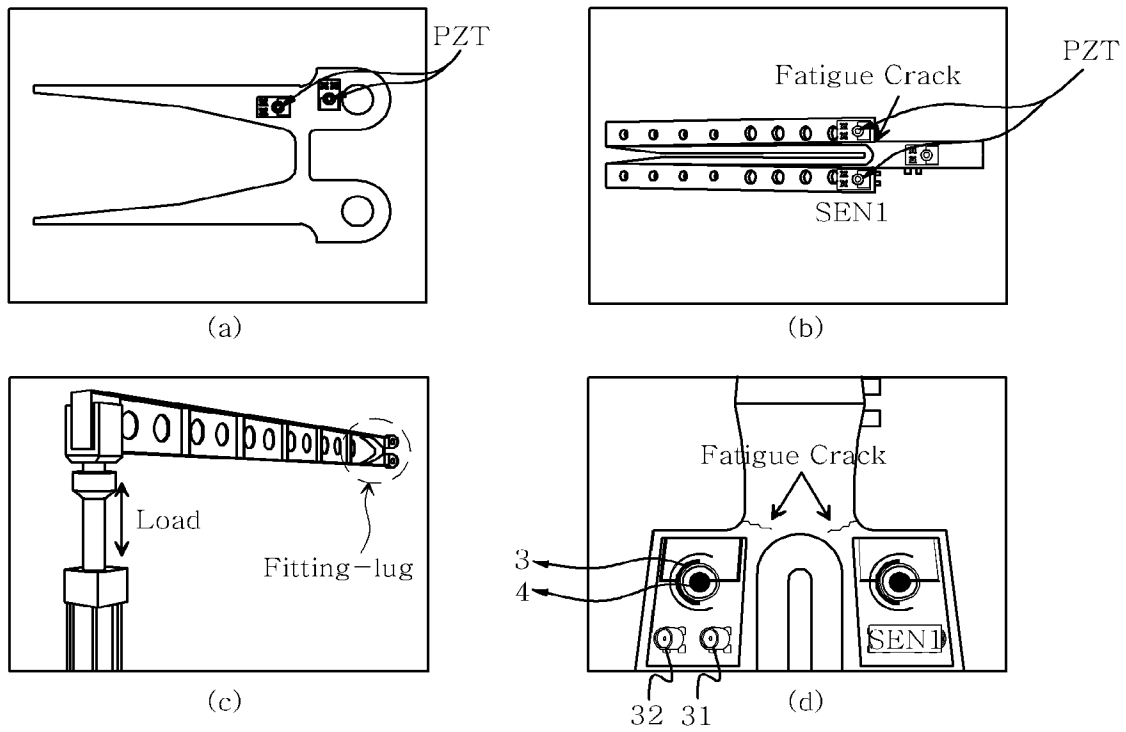
[청구항 14] 제10항에 있어서,
상기 압전변환기부는,
상기 구조물에 부착되어 상기 펌핑 신호를 상기 구조물에 인가하는 제1 압전변환기;
상기 구조물에 부착되어 상기 탐침 신호를 상기 구조물에 인가하는 제2 압전변환기 및
상기 펌핑 신호와 상기 탐침 신호에 의해 발생된 구조물의 응답을 전기 신호로 변환하는 제3 압전변환기를 포함하는 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 무선 진단장치.

[청구항 15] 제10항에 있어서,
상기 펌핑 신호의 주파수는 10 kHz ~ 20 kHz이고, 상기 탐침 신호의 주파수는 80 kHz ~ 110 kHz인 것을 특징으로 하는 비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한 구조물의 무선 진단장치.

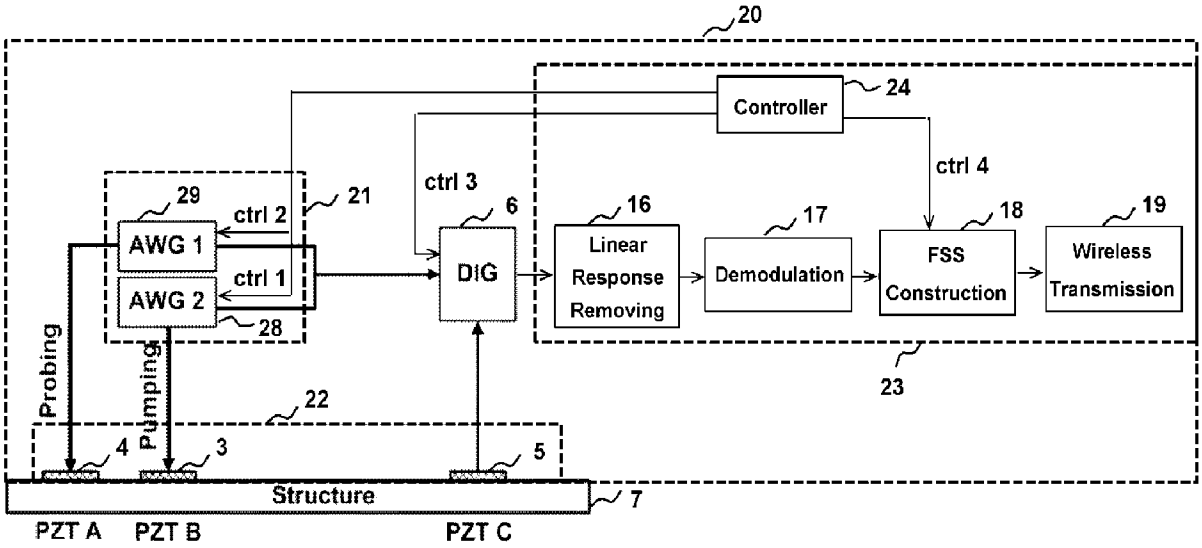
[Fig. 1]


$\omega_a < \omega_b$
Pumping (ω_a)
Probing (ω_b)
7
Intact
(Linear)
Magnitude
ω_a
ω_b
Frequency
(a)
Pumping (ω_a)
Probing (ω_b)
7
Damage
(Nonlinear)
Harmonics
Modulations
Magnitude
ω_a
$2\omega_a$
ω_b
$\omega_b - \omega_a$
$\omega_b + \omega_a$
$\omega_b - 2\omega_a$
$\omega_b + 2\omega_a$
Frequency
(b)

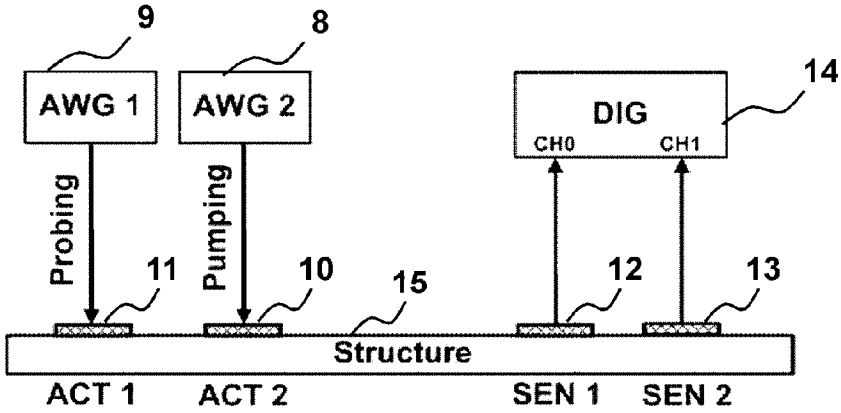
[Fig. 2]


PZT
(a)
Fatigue Crack
PZT
SEN1
(b)
Load
Fitting-lug
(c)
Fatigue Crack
3
4
SEN1
32 31
(d)

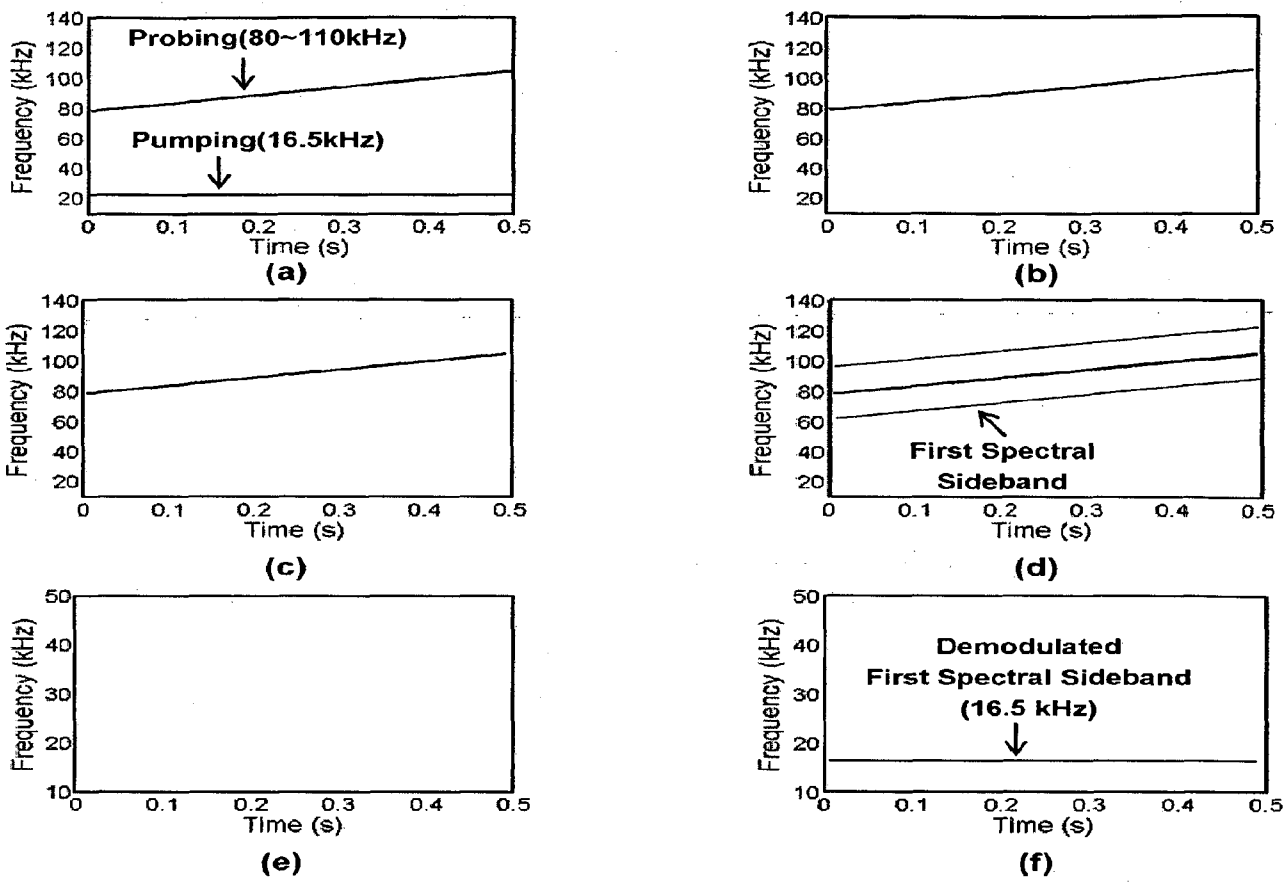
[Fig. 3]


20
Controller
24
ctrl 4
ctrl 3
29
ctrl 2
21
AWG 1
ctrl 1
AWG 2
28
6
DIG
16
Linear Response Removing
17
Demodulation
18
FSS Construction
19
Wireless Transmission
23
Probing
Pumping
22
4
3
5
Structure
7
PZT A
PZT B
PZT C

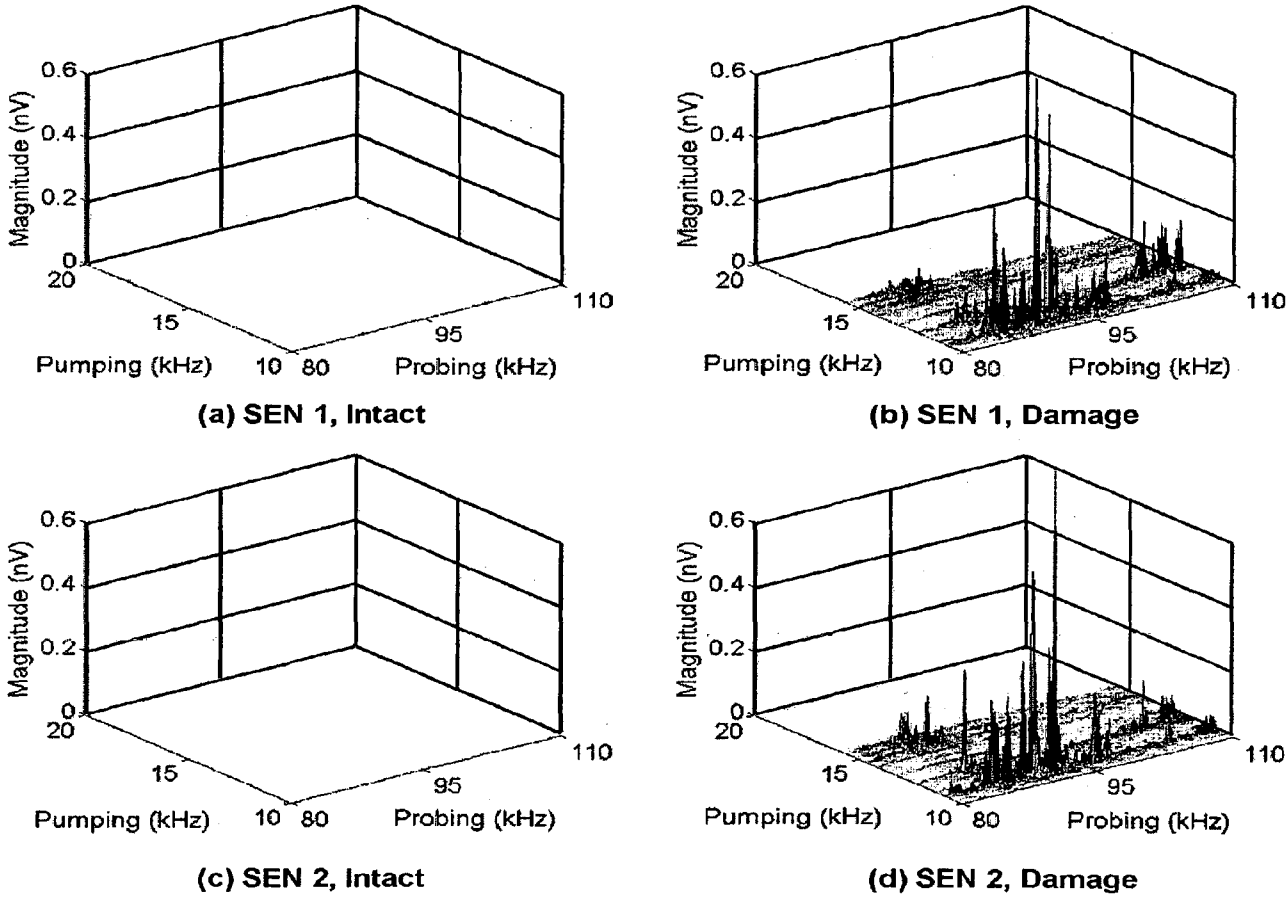
[Fig. 4]


9
8
AWG 1
AWG 2
DIG
14
CH0
CH1
Probing
Pumping
11
10
15
12
13
Structure
ACT 1
ACT 2
SEN 1
SEN 2

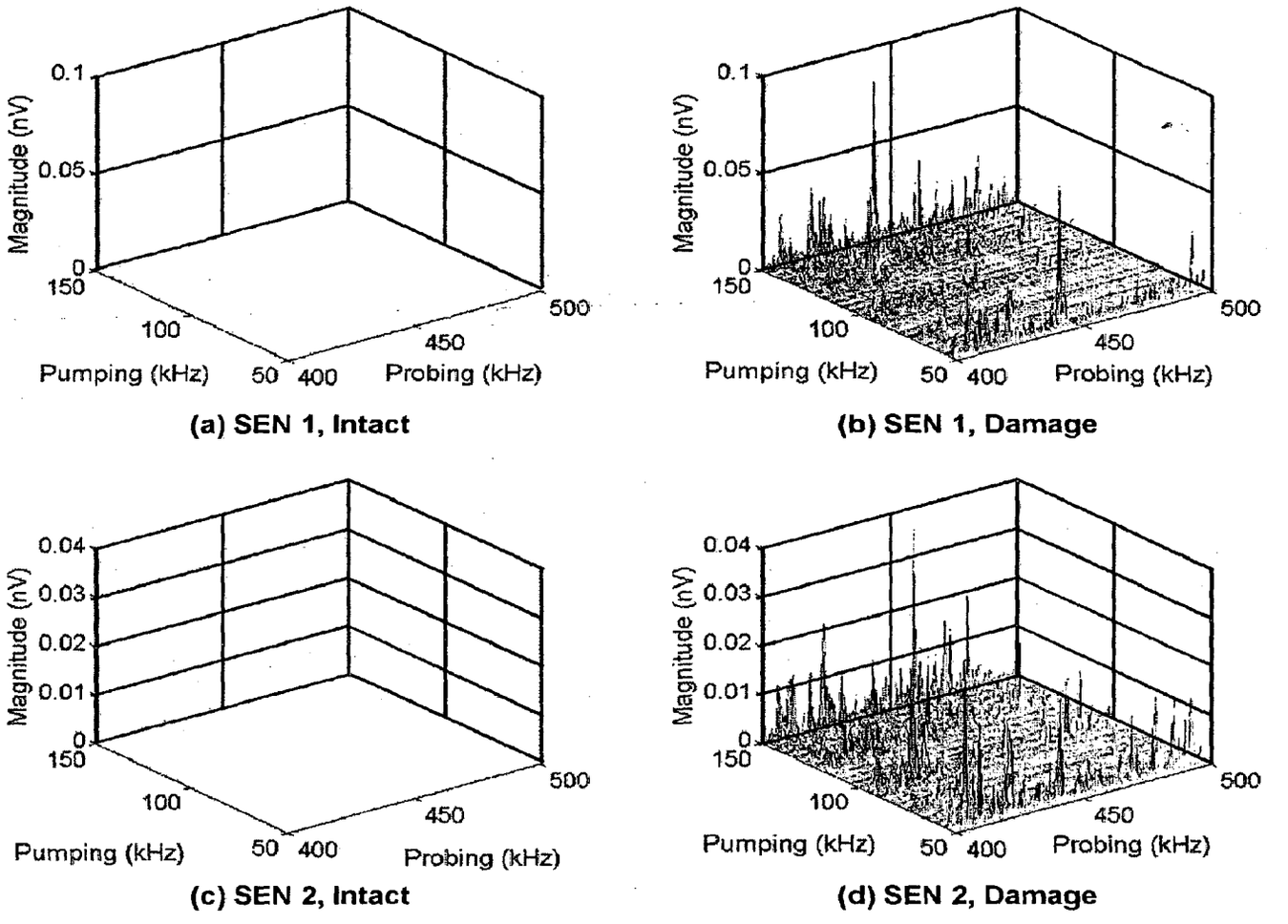
[Fig. 5]


Probing(80~110kHz)
Pumping(16.5kHz)
Frequency (kHz)
Time (s)
(a)
(b)
(c)
First Spectral Sideband
(d)
(e)
Demodulated First Spectral Sideband (16.5 kHz)
(f)

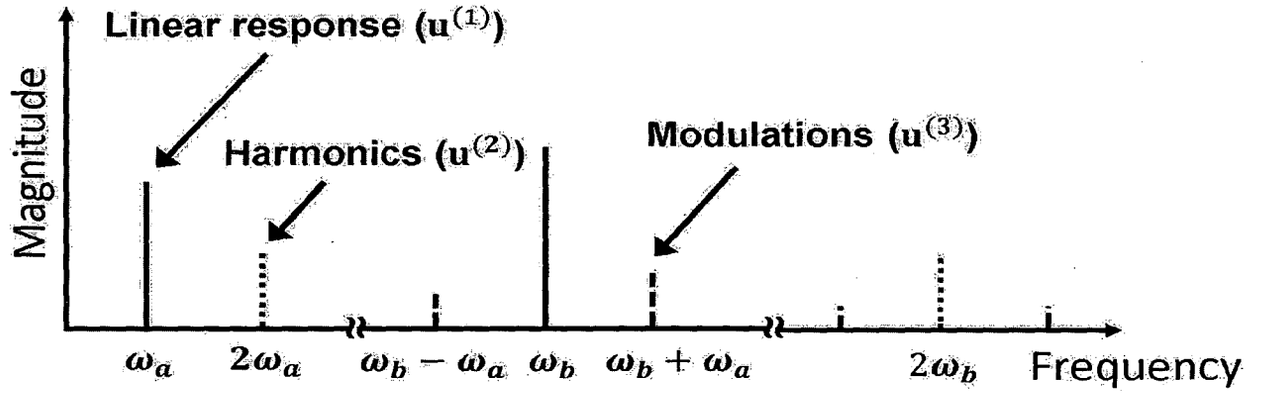
[Fig. 6]


Magnitude (nV)
Pumping (kHz)
Probing (kHz)
(a) SEN 1, Intact
(b) SEN 1, Damage
(c) SEN 2, Intact
(d) SEN 2, Damage

[Fig. 7]


Magnitude (nV)
0.1
0.05
0
150
100
Pumping (kHz)
50
400
450
500
Probing (kHz)
(a) SEN 1, Intact
(b) SEN 1, Damage
0.04
0.03
0.02
0.01
(c) SEN 2, Intact
(d) SEN 2, Damage

[Fig. 8]


Linear response ($u^{(1)}$)
Harmonics ($u^{(2)}$)
Modulations ($u^{(3)}$)
Magnitude
ω_a
$2\omega_a$
$\omega_b - \omega_a$
ω_b
$\omega_b + \omega_a$
$2\omega_b$
Frequency

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/KR2013/012037

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 17/04(2006.01)i, G01N 29/14(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B 17/04; G01N 29/12; G01N 33/38; B65H 5/00; G01M 7/02; G01M 19/00; G01N 29/04; G01N 29/00; G01N 29/14

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Korean Utility models and applications for Utility models: IPC as above
Japanese Utility models and applications for Utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: ultrasonic waves, harmonic, linear, response, modulation, crack, crack, modify, diagnosis

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KR 10-1053422 B1 (POSCO) 01 August 2011 See abstract, claims 1-5 and figures 1-3	1,2,6,8,10
A	JP 2005-053613 A (FUKOKU CO LTD) 03 March 2005 See pages 3-5, claims 1-3 and figures 1-3	1-15
A	JP 2001-337077 A (TANAKA, Shogo) 07 December 2001 See pages 6-8, claims 1-3 and figures 1-6	1-3,6-8,10
A	KR 10-2010-0134989 A (MECHASYS CO., INC. et al.) 24 December 2010 See pages 5-6, claims 1-7 and figures 1-3	1-15
A	WO 2009-101978 A1 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION KYOTO INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 20 August 2009 See pages 4-11, claims 1-8 and figures 1-13	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
14 MARCH 2014 (14.03.2014)	**15 APRIL 2014 (15.04.2014)**
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon, 189 Seonsa-ro, Daejeon 302-701, Republic of Korea Facsimile No. 82-42-472-7140	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2013/012037

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
KR 10-1053422 B1	01/08/2011	NONE	
JP 2005-053613 A	03/03/2005	NONE	
JP 2001-337077 A	07/12/2001	NONE	
KR 10-2010-0134989 A	24/12/2010	NONE	
WO 2009-101978 A1	20/08/2009	CN102066920 A	18/05/2011
		EP 2246695 A1	03/11/2010
		JP 05-224547 B2	03/07/2013
		JP WO20-09101978 A1	20/08/2009
		US 2010-0319452 A1	23/12/2010
		US 8371170 B2	12/02/2013

국 제 조 사 보 고 서

국제출원번호
PCT/KR2013/012037

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

G01B 17/04(2006.01)i, G01N 29/14(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

G01B 17/04; G01N 29/12; G01N 33/38; B65H 5/00; G01M 7/02; G01M 19/00; G01N 29/04; G01N 29/00; G01N 29/14

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 초음파, 고조파, 선형, 응답, 변조, 균열, 크랙, 변형, 진단

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KR 10-1053422 B1 (주식회사 포스코) 2011.08.01 요약, 청구항 1-5 및 도 1-3 참조	1,2,6,8,10
A	JP 2005-053613 A (FUKOKU CO LTD) 2005.03.03 페이지 3-5, 청구항 1-3 및 도 1-3 참조	1-15
A	JP 2001-337077 A (TANAKA SHOGO) 2001.12.07 페이지 6-8, 청구항 1-3 및 도 1-6 참조	1-3,6-8,10
A	KR 10-2010-0134989 A (주식회사 메카시스 외 1명) 2010.12.24 페이지 5-6, 청구항 1-7 및 도 1-3 참조	1-15
A	WO 2009-101978 A1 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION KYOTO INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 2009.08.20 페이지 4-11, 청구항 1-8 및 도 1-13 참조	1-15

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

"A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

"E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

"L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

"O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

"P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

"T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

"X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

"Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

"&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일	국제조사보고서 발송일
2014년 03월 14일 (14.03.2014)	2014년 04월 15일 (15.04.2014)

ISA/KR의 명칭 및 우편주소
대한민국 특허청
(302-701) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사)
팩스 번호 +82-42-472-7140

심사관
김홍래
전화번호 +82-42-481-3301

국제조사보고서
대응특허에 관한 정보

국제출원번호
PCT/KR2013/012037

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-1053422 B1	2011/08/01	없음	
JP 2005-053613 A	2005/03/03	없음	
JP 2001-337077 A	2001/12/07	없음	
KR 10-2010-0134989 A	2010/12/24	없음	
WO 2009-101978 A1	2009/08/20	CN102066920 A	2011/05/18
		EP 2246695 A1	2010/11/03
		JP 05-224547 B2	2013/07/03
		JP WO20-09101978 A1	2009/08/20
		US 2010-0319452 A1	2010/12/23
		US 8371170 B2	2013/02/12