(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0082597
(43) 공개일자 2021년07월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01M 5/00 (2006.01) *G01B 11/16* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01M 5/0041 (2013.01)
G01B 11/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0174674
(22) 출원일자 2019년12월26일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
이종재
서울특별시 광진구 능동로 209, 세종대학교 충무관 709호 (군자동)
김남규
서울특별시 광진구 능동로 209, 세종대학교 충무관 203A호 (군자동)
(74) 대리인
유병욱, 한승범

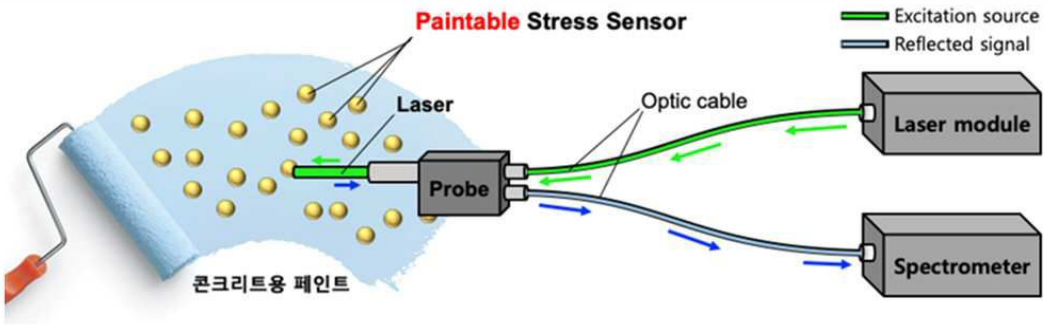
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 **페인터블 센서를 이용한 콘크리트 구조물 응력 측정 시스템 및 방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시예에 따른 페인터블 센서를 이용한 콘크리트 구조물 응력 측정 시스템은 레이저 기반 페인터블 센서를 이용하여 비접촉식으로 콘크리트에 작용하는 응력을 측정할 수 있다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615010937
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	국토교통기술촉진연구(R&D)
연구과제명	콘크리트 구조물에 적합한 페인터블 응력 측정센서 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교산학협력단
연구기간	2019.04.15 ~ 2019.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

레이저 기반 페인터블 센서를 이용하여 비접촉식으로 콘크리트에 작용하는 응력을 측정하는 것을 특징으로 하는 페인터블 센서를 이용한 콘크리트 구조물 응력 측정 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 페인터블 센서를 이용한 콘크리트 구조물 응력 측정 시스템 및 방법을 제공한다.

배 경 기 술

[0002] 콘크리트의 비파괴/비접촉식 응력 측정 방법의 개발은 토목분야에서 오래된 숙제이다. 응력 측정에 일반적으로 사용되는 접촉식 변형률계(센서)를 이용하여 토목 구조물의 응력을 측정할 경우, 매우 많은 숫자의 변형률계(센서)를 구조물에 설치해야 하며, 전선작업(wiring)도 같이 수행해야 한다. 따라서, 장대교량 또는 고층건물의 모니터링을 위해서는 다량의 센서를 구조물 표면에 설치해야 한다.

[0003] 이와 같은 방법의 단점을 보완하기 위하여, 레이저를 이용한 콘크리트의 비접촉식 응력 측정방법이 개발되고 있다. 이 방법에서는, 콘크리트 배합과정 중에 응력 센싱용 물질(미립자)을 추가하여 배합한다. 하지만, 시멘트, 잔골재, 굵은 골재 및 물 등이 혼합되어 비균질한 콘크리트 재료 특성상, 그 재료의 컨트롤이 쉽지 않다. 즉, 레이저를 이용하여 콘크리트의 응력을 측정할 경우, 레이저가 조사(irradiation)되는 부위에 응력 센싱을 위한 물질(혹은 미립자)이 존재하지 않거나 매우 소량 존재 할 수 있고, 이는 응력 측정에 부정적으로 작용할 수 있다.

[0004] 따라서, 응력 측정이 요구되는 부분에 응력 센싱용 물질이 균일하게 분포될 수 있도록 하는 방법의 개발이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 콘크리트 표면에 응력 센싱용 페인트를 도포하고, 레이저를 이용하여 비접촉식으로 응력을 측정하는 시스템 및 방법을 제공할 수 있다.

[0006] 본 발명은 레이저 및 페인트를 이용한 콘크리트의 비접촉식 비파괴 응력 측정 기술을 제공하고 레이저 기반 응력 센싱 물질이 포함된 페인트를 제공할 수 있다.

[0007] 본 발명은 피에조 분광기술을 기반으로 한 콘크리트 구조물 응력 측정용 페인터블 센서를 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기한 바와 같은 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 페인터블 센서를 이용한 콘크리트 구조물 응력 측정 시스템은 레이저 기반 페인터블 센서를 이용하여 비접촉식으로 콘크리트에 작용하는 응력을 측정할 수 있다.

발명의 효과

[0009] 본 발명은 산화알루미늄과 같은 센싱 물질이 포함된 페인트를 응력 측정이 요구되는 위치에 바르고, 해당 표면에 레이저를 조사(irradiate)하여 콘크리트에 작용되는 응력을 비접촉식으로 측정함으로써 콘크리트의 응력을 측정하고, 이를 설계 하중과 비교하는 것을 통하여 콘크리트 구조물의 안전성 검토를 수행할 수 있다.

[0010] 본 발명은 레이저 조사와 스펙트럼 계측이 거의 동시에 이루어지기 때문에 응력 측정에 소요되는 시간을 줄일

수 있고, 시공비가 저렴한 센싱 물질을 이용하기 때문에 유지 비용을 절감할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 페인터블 센서를 이용한 콘크리트 구조물 응력 측정 시스템을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 시스템에 있어서 응력이 없는 상태의 산화알루미늄 형광 스펙트럼을 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 시스템에 있어서 응력 상태에서의 산화알루미늄 R1, R2 band의 파수 이동을 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이하, 첨부된 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예들에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예들에 한정되지 않는다.

[0013] 도면들은 개략적이고 축적에 맞게 도시되지 않았다는 것을 일러둔다. 도면에 있는 부분들의 상대적인 치수 및 비율은 도면에서의 명확성 및 편의를 위해 그 크기에 있어 과장되거나 감소되어 도시되었으며 임의의 치수는 단지 예시적인 것이지 한정적인 것은 아니다. 그리고 둘 이상의 도면에 나타나는 동일한 구조물, 요소 또는 부품에는 동일한 참조 부호가 유사한 특징을 나타내기 위해 사용된다.

[0014] 본 발명의 실시예는 본 발명의 이상적인 실시예들을 구체적으로 나타낸다. 그 결과, 도면의 다양한 변형이 예상된다. 따라서 실시예는 도시한 영역의 특정 형태에 국한되지 않으며, 예를 들면 제조에 의한 형태의 변형도 포함한다.

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 페인터블 센서를 이용한 콘크리트 구조물 응력 측정 시스템을 개략적으로 도시한 도면, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 시스템에 있어서 응력이 없는 상태의 산화알루미늄 형광 스펙트럼을 도시한 도면, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 시스템에 있어서 응력 상태에서의 산화알루미늄 R1, R2 band의 파수 이동을 도시한 도면이다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 페인터블 센서를 이용한 콘크리트 구조물 응력 측정 시스템 및 방법은 응력에 반응하여 스펙트럼 이동이 발생하는 응력 센싱 물질을 포함하는 페인트를 콘크리트 등 응력 측정 대상 구조물에 바르고 페인트에 레이저를 조사하여 응력을 측정할 수 있는 시스템 및 방법이다.

[0017] 여기서, 페인트에 포함되는 응력 센싱 물질은 고분광 물질이며, 산화알루미늄(Al_2O_3), 이산화규소(SiO_2), 삼산화철(Fe_2O_3), 산화크롬(Cr_2O_3), 그래핀(Graphene) 중 어느 하나가 이용될 수 있다.

[0018] 상기 응력 센싱 물질은 콘크리트에 가해지는 응력을 측정하기 위해서 콘크리트의 표면에 도포되는 페인트의 한 성분으로서, 응력 센싱 물질의 압분광 특성으로 인해서 자체적으로 응력을 측정하거나 계산하는 것이 가능하다.

[0019] 응력 센싱 물질을 포함하는 페인트는 압분광 효과에 의해서 비접촉/비파괴 방식으로 응력을 측정할 수 있다.

[0020] 라만 또는 형광 분광법은 대상물에 레이저를 조사하고, 산란 또는 반사되는 레이저로부터 대상물질의 분자구조를 분석하는 방법인데, 대상물이 압축 또는 인장 응력을 받으면, 해당 스펙트럼의 피크 이동(peak shift)이 발생하고, 스펙트럼 첨두값(피크값)의 이동량이 응력의 크기에 비례하게 되는데, 이를 압분광법 또는 압분광 효과라고 한다. 본 발명의 일 실시예에 따른 시스템 및 방법은 응력 측정의 대상이 되는 콘크리트에 압분광 효과를 가지는 응력 센싱 물질(예를 들면, 산화알루미늄)을 포함하는 페인트를 도포한 후 페인트에 레이저를 조사하여 응력을 측정하기 때문에 별도의 계측기 없이도 응력을 측정할 수 있다.

[0021] 본 발명의 일 실시예에 따른 응력 측정 시스템 및 방법은, 페인트에 함유되는 응력 센싱 물질의 첨가 비율 또는 조성비를 조절함으로써, 응력 측정의 계측 민감도를 조절하거나 높일 수 있다.

[0022] 콘크리트와 같은 구조물에 인가된 응력을 페인트를 이용하여 비접촉식으로 측정하기 위해서는 해당 페인트에 고분광 물질 즉, 응력 센싱 물질이 포함되어 있어야 하며, 응력 센싱 물질이 1)라만 또는 형광 스펙트럼을 가지며, 2)스펙트럼의 선명도 또는 분광검출율(intensity)이 높고 쉽게 구별할 수 있는 단일(또는 여러 개의) 첨둣값(peak)을 가져야 하며, 3) 그 소재의 압분광 효과(Piezo spectroscopic effect)가 규명되어 있어야

한다.

[0024] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 페인터블 센서를 이용한 콘크리트 구조물 응력 측정 시스템(이하 "응력 측정 시스템"이라 함)은 레이저 모듈(Laser module), 분광기(Spectrometer), 레이저를 페인트에 조사하는 프로브(Probe), 프로브와 레이저 모듈 및 분광기를 각각 연결하는 광케이블(Optic cable)을 포함할 수 있다. 여기서, 레이저가 조사되는 페인트에는 응력 센싱 물질(Paintable Stress Sensor)이 포함되어 있고, 이러한 페인트를 콘크리트 구조물의 표면에 바른 상태에서 레이저를 조사하게 된다.

[0025] 레이저 모듈에서 발사되는 레이저는 광케이블을 거쳐 프로브를 통해 페인트에 조사되고(Excitation source), 페인트에서 반사된 신호(Reflected signal)은 프로브를 통해 광케이블을 거친 후 분광기에 입력된다.

[0026] 상기 분광기는 라만 분광법 또는 형광 분광법을 이용하며, 라만 분광기와 형광 분광기가 별도로 마련될 수도 있고 일체로 마련될 수도 있다.

[0028] 한편, 응력 센싱 물질 중 하나인 산화알루미늄은 페인트 광택 효과를 내기 위하여 페인트에 일부 포함된 물질로써, 전기 절연이 우수하고, 기계강도 및 압축강도가 높다. 또한, 높은 내부식성 및 내마모성 특징으로 코팅재료로 사용될 수 있다. 이와 같은 산화알루미늄은 도 2에 도시된 바와 같이 형광 스펙트럼과 라만 스펙트럼을 모두 갖고 있으며, 형광 스펙트럼의 경우에는 14,402 cm^{-1}와 14,432 cm^{-1}에서 첨듯값을 가진다.

[0029] 도 3은 산화알루미늄의 압축응력 상태에서 R1 line, R2 line이 이동하는 것을 보여 주는 도면이다. 즉, 산화알루미늄이 압축응력을 받을 경우, 두 첨듯값은 응력을 받지 않는 상태의 형광 스펙트럼의 좌측으로 이동(Shift)하고, 반대(인장)의 경우에는 우측으로 이동하는 특성을 가지며, 그 이동량은 인가된 응력과 선형적인 관계를 가진다는 것을 알 수 있다.

[0031] 삼산화철은 가장 안정한 산화철이며, 전자기적 특징과 낮은 가격, 낮은 독성 및 열적/화학적으로 안정한 재료이다. 이와 같은 삼산화철은 라만 스펙트럼을 가지며, 224 cm^{-1}, 243 cm^{-1}, 290 cm^{-1}, 408 cm^{-1} 에서 주요 첨듯값을 가진다. 삼산화철이 압축응력을 받을 경우, 그 라만 스펙트럼은 응력을 받지 않는 상태의 라만 스펙트럼의 우측으로 이동하며, 각각의 첨듯값은 인가된 응력에 대하여 각기 다른 민감도를 가진다.

[0033] 이산화규소는 실리카라고도 알려진 규소의 산화물로, 라만 스펙트럼을 가지며, 464 cm^{-1} 주변에서 주요 첨듯값을 가진다. 이산화규소가 압축응력을 받을 경우, 그 라만 스펙트럼은 응력을 받지 않는 상태의 라만 스펙트럼의 우측으로 이동하게 된다.

[0035] 산화크롬은 화학적으로 안정하고, 산화알루미늄과 유사하게 내열성, 내부식성 및 내마모성이 우수한 특성이 있다. 산화크롬은 라만 스펙트럼을 가지며, 550 cm-1에서 주요 첨듯값을 가진다. 산화크롬이 압축응력을 받을 경우, 그 라만 스펙트럼은 응력을 받지 않는 상태의 라만 스펙트럼의 우측으로 이동하게 된다.

[0037] 그래핀은 화학적으로 비활성이며 우수한 물리적 성질을 가지는 물질로서, 라만 스펙트럼을 가지며, 1,350 cm^{-1}(D band), 1,580 cm^{-1}(G band), 2,700 cm^{-1}(2D band) 주변에서 주요 첨듯값을 가진다. 그래핀이 압축응력을 받을 경우, 그 라만 스펙트럼은 응력을 받지 않는 상태의 라만 스펙트럼의 우측으로 이동하고, 반대의 경우 좌측으로 이동하게 된다.

[0039] 상기한 응력 센싱 물질 중에서 산화알루미늄이 쉽게 구별할 수 있는 단일(또는 여러 개의) 첨듯값을 가지며, 그 첨듯값의 분광검출율(intensity)이 높기 때문에 가장 적합한 응력 센싱 물질이라고 할 수 있다.

[0040] 본 발명에 사용하는 산화알루미늄의 입자 크기는 약 2~4 ㎛이며, 약 99.7%의 α-산화알루미늄으로 구성될 수 있다. 산화알루미늄의 분말 화학 구성성분비는 아래 [표 1]과 같다.

표 1

[0041]

구성성분	H_2O	L.O.I	Fe_2O_3	SiO_2	Na_2O	Al_2O_3
조성범위(%)	0.04	0.05	0.01	0.01	0.26	99.7

[0042] [표 1]에서 L.O.I는 Loss of Ignition을 의미한다.

[0043] 산화알루미늄은 라만 스펙트럼과 형광 스펙트럼을 모두 가지고 있으나, 형광 스펙트럼의 첨둣값이 더 선명하고 분광검출율(Intensity)이 높기 때문에 형광 스펙트럼만을 다루도록 한다.

[0044] 한편, 압분광 효과의 경우, 페인트에 함유된 산화알루미늄의 함량비의 영향을 받는다. 따라서, 본 발명에서는 페인트 첨가제(산화알루미늄)가 시공성을 방해하지 않으면서, 센서의 역할도 할 수 있는 적절한 함량비를 제시한다. 아래 [표 2]는 최종적으로 선택된 산화알루미늄 첨가 페인트 시편의 알루미나 함량비(10%, 20%, 30%)를 나타낸다.

표 2

[0045]

시료번호	추가 알루미나 함량비	시편 분류번호	비고
P1	10 %	P1R10	-
	20 %	P1R20	-
	30 %	P1R30	-
P2	10 %	P2R10	-
	20 %	P2R20	-
	30 %	P2R30	-
P3	10 %	P3R10	-
	20 %	P3R20	-
	30 %	P3R30	-
P4	10 %	P4R10	-
	20 %	P4R20	-
	30 %	P4R30	-
P5	10 %	P5R10	-
	20 %	P5R20	-
	30 %	P5R30	-
P6	0 %	P6	추가 알루미나 없음
P7	0 %	P7	추가 알루미나 없음

[0046] [표 2]는 페인트 시편 함량 및 분류번호를 나타내며, [표 2]에서 함량비는 페인트 중량을 기준으로 한 알루미나(산화알루미늄)의 상대적 비율(중량비)을 의미한다.

[0047] 페인트에 조사되는 레이저의 출력은 형광 스펙트럼 첨둣값들의 분광검출율(Intensity)에 영향을 주고, 동시에 초기 파수의 위치를 결정짓는 중요한 인자 중에 하나이기 때문에, 하중실험을 수행하기 전에 그 값에 대한 검토가 반드시 필요하다. 본 발명에서 사용하는 레이저 모듈은 최대 50㎽의 출력으로 레이저 방출이 가능하며, 레이저 출력을 조절할 수 있다. 레이저 출력이 변함에 따라, 초기 파수 값도 선형적으로 같이 변화함을 확인하였다. 따라서, 본 발명에서는, 100%의 레이저 출력(50㎽)을 모든 실험에 대하여 동일하게 사용하여, 레이저 출력으로 인한 초기 첨두값의 차이를 상쇄하고자 한다. 여기서 낮은 레이저 출력을 사용하지 않은 것은, 레이저의 출력이 낮은 경우, 높은 분광검출율(intensity)의 스펙트럼을 기대하기 어렵고, 대부분의 토목시설물은 실외에 건설되기 때문에, 외부에서 오는 빛에 대한 영향을 줄이기 위하여 가장 큰 레이저 출력을 사용하여 실험을 수행하였다.

[0048] 형광 분광법은 단색광 레이저를 이용한 점단위 측정기술이기 때문에 면적단위의 분광검출율을 측정하기 위해서는 2축 이상의 모터 스테이지를 이용하여 면적스캔(혹은 맵핑)을 수행해야 한다. 본 발명에서는 2축 모터 스테이지와 결합된 형광 분광시스템을 이용하여 페인트 시편에 대한 분광검출율을 측정하였다.

[0049] 분광검출율은 페인트 시편 중심부 20 ㎜ X 20 ㎜ 면적에 대하여 수행된다. 각각의 시편에 대하여 441 지점에 대한 맵핑 시험이 수행되었으며, 스펙트럼의 포화(saturation)를 고려하여 각 지점당 계측시간은 1초로 설정하여 모든 페인트 시편에 대하여 동일하게 적용하였다. 각각의 지점에서 하나의 알루미나 형광스펙트럼을 계측하게 되며, peak deconvolution 과정을 통하여, R1 line과 R2 line의 분광검출율(intensity)을 정밀하게 측정할 수 있다. 따라서, 최종적인 분광검출율은 각 시편으로부터 획득된 해당 분광검출율(intensity) 값들을 평균하여 계산한다.

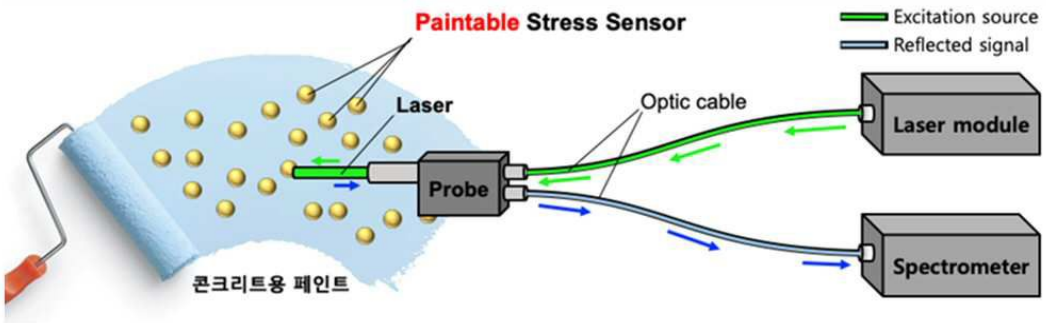
[0050] 분광검출율 맵핑 시험을 통하여, 알루미나(산화알루미늄)가 10% 이상 추가된 페인트 시편에서는 거의 모든 지점에서 알루미나의 형광 스펙트럼을 수집할 수 있음을 확인할 수 있다. 또한, 페인트에 첨가한 알루미나의 비율이 높아질수록, 그 분광검출율이 높아짐을 확인할 수 있다. 이와 함께, 분광검출율 맵 상에서 지역적으로 스펙트럼의 선명도 또는 분광검출율(intensity)이 높은 부분이 존재하는 것을 통하여, 페인트를 도포할 당시에 알루미나 분말이 일부 뭉쳐있거나, 혹은 페인트 도포 두께가 일정하지 않음을 간접적으로 확인할 수 있다.

[0051] 본 발명에서는 레이저를 이용하여 수성/유성 페인트 및 알루미나 코팅재에 대한 형광 스펙트럼을 분석하여, 일부 페인트 경우 알루미나를 포함하고 있음을 실험적으로 검증하였다. 따라서, 페인트에 포함된 알루미나를 응력 센싱 물질로 사용하여, 모재의 응력을 측정하고자 하였다. 다만, 스펙트럼의 선명도 또는 분광검출율(intensity)을 높여 응력 센싱 정확도를 높일 수 있도록, 알루미나를 추가로 페인트에 혼합하여 그 분광검출율 변화를 관찰하였다. 그 결과, 수성/유성 페인트의 경우 알루미나 함량비를 높임에 따라 그 분광검출율이 선형적으로 증가하였고, 함량비가 30% 이상이었을 때, 평균 분광검출율(intensity)이 약 10,000 이상임을 확인할 수 있었다.

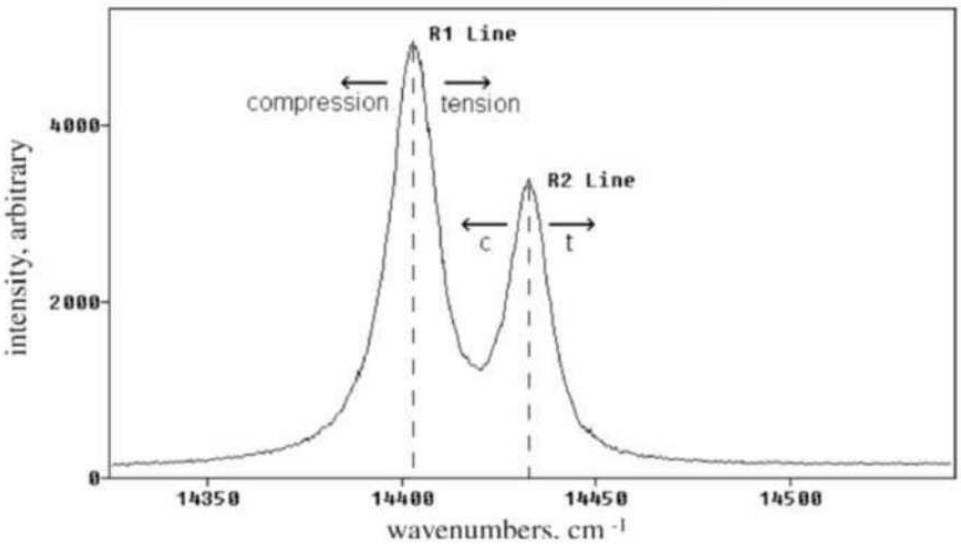
[0053] 이상과 같이 본 발명의 일 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 청구범위뿐 아니라 이 청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면

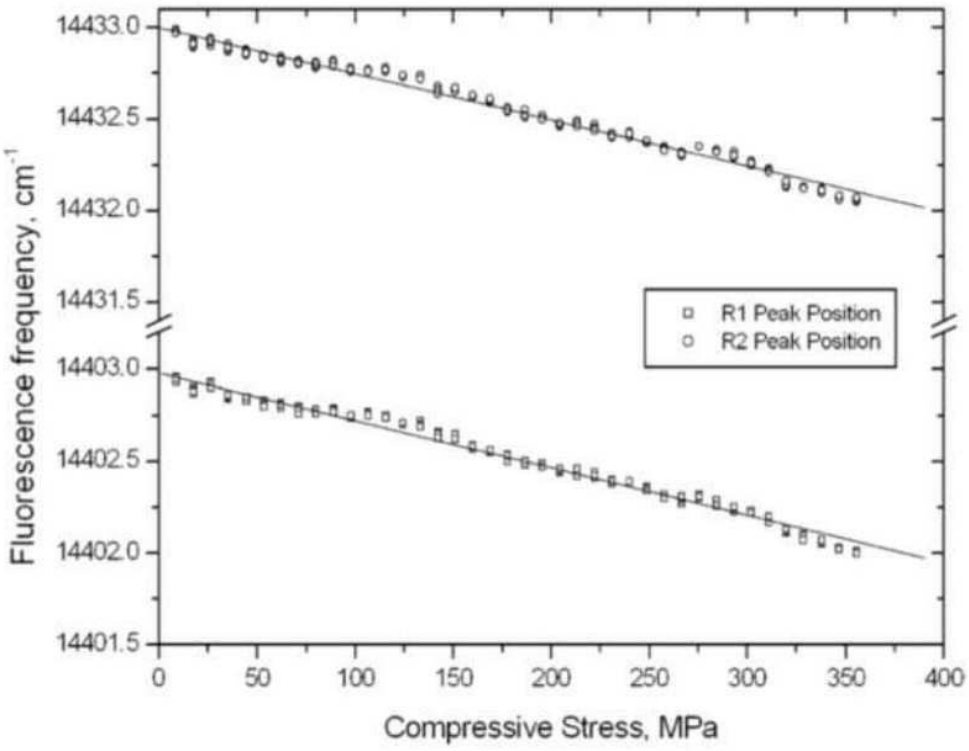
도면1



도면2


R1 Line
compression
tension
R2 Line
c
t
intensity, arbitrary
4000
2000
0
14350
14400
14450
14500
wavenumbers, cm -1

도면3


14433.0
14432.5
14432.0
14431.5
14403.0
14402.5
14402.0
14401.5
Fluorescence frequency, cm-1
R1 Peak Position
R2 Peak Position
0
50
100
150
200
250
300
350
400
Compressive Stress, MPa