

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2020-0076848
(43) 공개일자 2020년06월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

C04B 14/30 (2006.01) C04B 14/02 (2006.01)
C04B 14/06 (2006.01) C04B 28/02 (2006.01)
G01J 3/00 (2006.01) G01N 21/31 (2006.01)

(52) CPC특허분류

C04B 14/303 (2013.01)
C04B 14/022 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0165750

(22) 출원일자 2018년12월20일

심사청구일자 2019년12월20일

(71) 출원인

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

이종재

서울특별시 광진구 능동로 209, 층무관 710호 (군자동)

김남규

서울특별시 광진구 능동로 209, 층무관 710A호 (군자동)

(74) 대리인

유병욱, 한승범

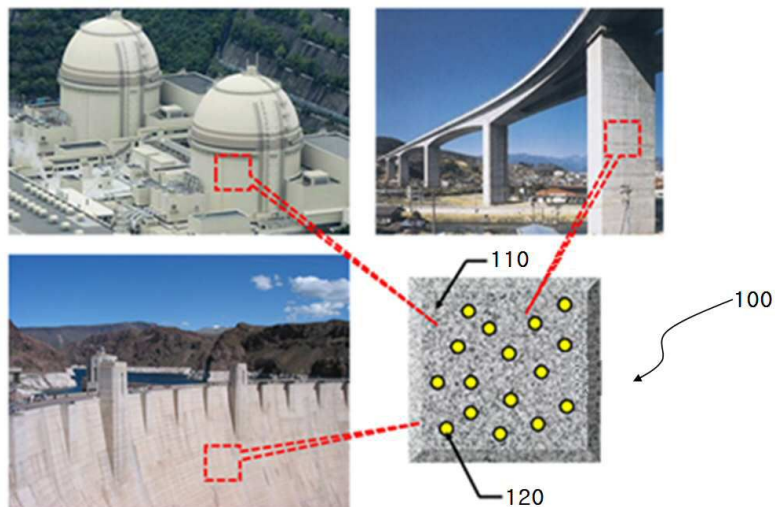
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물 및 응력 측정 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물은, 시멘트 및 응력에 반응하여 스펙트럼 이동이 발생하는 응력 센싱 물질을 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C04B 14/06 (2013.01)

C04B 14/307 (2013.01)

C04B 14/308 (2013.01)

C04B 28/02 (2013.01)

G01J 3/00 (2013.01)

G01N 21/31 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1615010282

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국토교통기술촉진연구

연구과제명 비접촉식 절대응력 측정이 가능한 스마트 콘크리트 개발

기 여 율 1/1

주관기관 세종대학교산학협력단

연구기간 2018.04.17 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

시멘트 및 응력에 반응하여 스펙트럼 이동이 발생하는 응력 센싱 물질을 포함하는, 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 응력 센싱 물질이 시멘트 100 중량부에 대해서 20 내지 80 중량부로 포함되는, 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 응력 센싱 물질은 물을 제외한 콘크리트 조성물의 전체 중량에 대해 5~13 중량 %로 포함되는, 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 응력 센싱 물질은 시멘트의 중량에 대해서 17~ 44 중량 %로 포함되는, 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 응력 센싱 물질은 Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , 그래핀 중 어느 하나인, 자가 능력 측정이 가능한 콘크리트 조성물.

청구항 6

제5항에 따른 콘크리트 조성물로 된 대상물에 레이저를 조사하는 단계;

상기 대상물에서 산란 또는 반사되는 빛을 분광기에 수집하는 단계;

상기 분광기에서 수집된 빛의 스펙트럼 이동량을 구하는 단계; 및

상기 스펙트럼 이동량으로부터 상기 대상물에 유도된 응력을 구하는 단계;

를 포함하는, 응력 측정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물 및 응력 측정 방법에 관한 것으로, 고분광 물질이 포함된 콘크리트 및 레이저를 이용한 응력 측정 기술을 제공한다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 콘크리트(Concrete)는 강재와 함께, 토목, 건축 분야의 주요 자재이며, 원자력 발전소, 댐, 터널, 교량 등의 국가 주요 자산인 대부분의 SOC 건설에 주요부재로 사용되어 큰 압축응력의 지지를 담당한다.

[0003] 특히, 대규모 인명 피해로 이어질 수 있는 SOC 사고를 피하기 위하여, 원자력 격납 구조물의 내압 측정, 댐에 가해지는 자중 및 수압, 터널 콘크리트 라이닝에 가해지는 수압, 지반압, 상재 하중, 교량에 가해지는 사하중 및 활하중 등은 반드시 지속적으로 잔존응력 및 응력 변화량 측정이 되어야 한다.

[0004] 이를 측정하기 위하여, 일반적으로 매립형 변형률계가 설치되며, 적용 구조물에 따라서, 로드셀, 토압계, 수압계 등의 형태로 설치된다.

[0005] 또한, 시공 전 유한요소 해석 등을 통하여 응력 집중부위를 예측하고, 해당 위치에 변형률계를 매립하지만, 시공오차, 환경적인 요인 등으로 인하여 기존에 예측했던 변형률계의 매립 위치 이외의 다른 위치에서도 응력을 측정해야 할 필요성이 있다. 이를 위하여, 콘크리트 표면에 변형률계를 추가적으로 설치하지만, 센서의 부착표면 열화, 시간적인 변화 등으로 인하여 계측 결과의 신뢰도가 크지 않으며, 센서를 부착하기 이전의 응력 이력에 대해서는 확인할 수 없다.

[0006] 이러한 한계를 극복하기 위하여, 콘크리트 구조물의 다양한 접촉, 비접촉 센싱 기법의 적용이 시도되고 있다. 그러나, 이는 주로 콘크리트 내부의 철근 배근상태, 철근부식, 중성화 깊이, 콘크리트 내부 공극 또는 표면 균열 측정을 통한 내구성 평가 방법일 뿐이며, 콘크리트가 받고 있는 응력을 직접적으로 측정할 수 있는 기술에 대한 연구는 아직 부족하다.

[0007] 또한, 압전 저항 소자의 역압전 효과를 이용한 콘크리트의 자기진단 방법, 강섬유가 포함된 콘크리트에 전기장을 발생시켜 자기 임피던스 효과에 의하여 콘크리트 내부에 발생한 응력을 측정하는 비접촉식 방법 등이 제안되고 있으나, 전극의 매설이나 전원 공급이 필요하거나, 대상 시편의 크기에 제한이 있다.

[0008] 한편, 압분광 기술은 레이저를 이용한 비접촉식 비파괴 응력 측정이라는 기술의 우수성을 바탕으로 재료 및 기계 응력 측정 분야(전투기 날개 압력측정, 엔진의 차열피막의 응력 측정 등)에서 적용되고 있다. 하지만, 현재까지는 그 적용 범위가 강재(steel member)로 제한적이라는 문제가 있다.

[0009] 따라서, 본 출원인은, 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해서 본 발명을 제안하게 되었으며, 이와 관련된 선행 기술문헌으로는, 일본 등록특허공보 제4386709호 (발명의 명칭: 레이저 초음파에 의한 재료의 비파괴 검사 방법 및 장치)가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 목적은 압분광법을 기반으로 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물 및 응력 측정 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 상기한 바와 같은 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물은, 시멘트 및 응력에 반응하여 스펙트럼 이동이 발생하는 응력 센싱 물질을 포함할 수 있다.

[0012] 상기 응력 센싱 물질이 시멘트 100 중량부에 대해서 20 내지 80 중량부로 포함될 수 있다.

[0013] 상기 응력 센싱 물질은 물을 제외한 콘크리트 조성물의 전체 중량에 대해 5~13 중량 %로 포함될 수 있다.

[0014] 상기 응력 센싱 물질은 시멘트의 중량에 대해서 17~ 44 중량 %로 포함될 수 있다.

[0015] 상기 응력 센싱 물질은 Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , 그래핀 중 어느 하나일 수 있다.

[0016] 한편, 발명의 다른 분야에 의하면, 본 발명은 응력 센싱 물질을 포함하는 콘크리트 조성물로 된 대상물에 레이저를 조사하는 단계; 상기 대상물에서 산란 또는 반사되는 빛을 분광기에 수집하는 단계; 상기 분광기에서 수집

된 빛의 스펙트럼 이동량을 구하는 단계; 및 상기 스펙트럼 이동량으로부터 상기 대상물에 유도된 응력을 구하는 단계;를 포함하는, 응력 측정 방법을 제공할 수 있다.

발명의 효과

- [0017] 본 발명은, 압분광법을 기반으로 자가 응력측정이 가능한 콘크리트를 구조물 시공에 사용할 경우, 응력 측정을 위한 센서를 설치할 필요가 없으며, 콘크리트 구조물 전면에서 응력을 측정할 수 있다.
- [0018] 또한, 본 발명은, 레이저를 이용하여 비접촉 비파괴 방식으로 응력을 측정하기 때문에 현장 적용성이 우수하다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물 및 콘크리트 조성물이 적용된 대상물을 예시적으로 나타낸 도면이다.
- 도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물을 이용한 응력 측정 시스템을 예시적으로 나타낸 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물을 이용한 응력 측정 방법을 설명하기 위한 순서도이다.
- 도 5 내지 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물을 이용한 실험 결과를 보여주는 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물로부터 응력을 측정하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 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.
- [0021] 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.
- [0022] 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.
- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물 및 콘크리트 조성물이 적용된 대상물을 예시적으로 나타낸 도면, 도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물을 이용한 응력 측정 시스템을 예시적으로 나타낸 도면, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물을 이용한 응력 측정 방법을 설명하기 위한 순서도, 도 5 내지 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물을 이용한 실험 결과를 보여주는 도면이다.
- [0024] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물(이하 "콘크리트 조성물"이라 함)은, 시멘트 및 응력에 반응하여 스펙트럼 이동이 발생하는 응력 센싱 물질(120)을 포함할 수 있다.
- [0025] 본 발명의 일 실시예에 따른 콘크리트 조성물은 원자력 발전소의 격납 구조물, 댐, 교량의 교각 등의 구조물을 짓는데 사용되는 콘크리트(100)를 형성할 수 있다.
- [0026] 이하에서 본 발명의 일 실시예에 따른 콘크리트(100)는 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물을 포함하여 형성된 것을 의미한다.
- [0027] 본 발명의 일 실시예에 따른 콘크리트(100)는 시멘트(110) 및 상기 시멘트(110)에 혼합된 응력 센싱 물질(120)을 포함할 수 있다.

- [0028] 여기서, 응력 센싱 물질(120)은 고분광 물질이며, Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , 그래핀(Graphene) 중 어느 하나가 이용될 수 있다.
- [0029] 응력 센싱 물질(120)은 콘크리트(100)를 구성하는 조성물 중 하나로서, 시멘트(120) 및 나머지 조성물질에 혼합됨으로써 원자력 발전소의 격납 구조물, 댐, 교량의 교각 등 비접촉 비파괴 방식의 응력 측정이 필요한 구조물(이하 "대상물"이라 함)에 가해지는 응력을 측정하는데 사용될 수 있다.
- [0030] 응력 센싱 물질(120)이 포함된 콘크리트(100)에 가해지는 응력을 측정하기 위해서 콘크리트(100)의 내부에 매립되거나 표면에 부착되어야 하는 변형률계 등과 같은 별도의 계측기가 필요하지 않다. 응력 센싱 물질(120)의 특성으로 인해서 자체적으로 응력을 측정하거나 계산하는 것이 가능하다.
- [0031] 응력 센싱 물질(120)을 포함하는 콘크리트(100) 내지 콘크리트 조성물은 압분광 효과에 의해서 비접촉/비파괴 방식으로 응력을 측정할 수 있다.
- [0032] 라만 또는 형광 분광법은 대상물에 레이저를 조사하고, 산란 또는 반사되는 레이저로부터 대상물질의 분자구조를 분석하는 방법인데, 대상물이 압축 또는 인장 응력을 받으면, 해당 스펙트럼의 이동(peak shift)이 발생하고, 스펙트럼 침두값(피크값)의 이동량이 응력의 크기에 비례하게 되는데, 이를 압분광법 또는 압분광 효과라고 한다. 본 발명의 일 실시예에 따른 콘크리트(100) 또는 콘크리트 조성물은 압분광 효과를 가지는 응력 센싱 물질(120)을 포함하고 있기 때문에 별도의 계측기 없이도 응력을 측정할 수 있다.
- [0033] 콘크리트 타설에 사용되는 시멘트 및 결합재의 주요 성분들은 강한 산란 특성과 압분광 효과를 가지고 있다. CaCO_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 등의 응력 센싱 물질(120)이 이에 해당하며, 콘크리트 타설 후에도 콘크리트 내부와 표면에 존재하게 된다. 따라서, 응력 센싱 물질(120)의 첨가 비율 또는 조성비를 조절함으로써, 응력 측정의 계측 민감도를 조절하거나 높일 수 있다.
- [0034] 도 2 및 도 3에는 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물 또는 콘크리트(100)에서 응력을 측정하는 시스템(10, 이하 "응력 측정 시스템"이라 함)이 개략적으로 도시되어 있다.
- [0035] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 응력 측정 시스템(10)은 레이저 발생기(200)에서 조사되는 레이저(250)를 대상물의 콘크리트(100)에 조사하고, 콘크리트에서 반사되거나 산란되는 빛 또는 레이저를 수집하여 스펙트럼의 이동량을 분석한다. 도 2의 우측 그래프에서 파란색 실선 그래프는 응력이 없는 경우 콘크리트에서 산란 또는 반사된 빛의 스펙트럼을 나타내고, 빨간색 실선 그래프는 응력을 받은 경우 콘크리트에서 산란 또는 반사된 빛의 스펙트럼을 나타낸다. 두 스펙트럼 사이의 피크값(침두값) 이동량을 분석하여 응력을 크기를 구할 수 있다.
- [0036] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 응력 측정 시스템(10)은 레이저 발생기(200), 필터(300), 분광기(400), CCD(500) 및 판독부(600)를 포함할 수 있다.
- [0037] 레이저 발생기(200)에서 조사되는 레이저(250)는 필터(300)를 통과하여 대상물의 콘크리트(100)에 조사된다. 대상물의 콘크리트(100)는 응력 센싱 물질(120)을 포함하고 있다.
- [0038] 응력을 받은 응력 센싱 물질(120)은 조사된 레이저(250)를 산란시켜서 반사시키게 되는데 이러한 산란광은 필터(300)를 거쳐 분광기(400)로 수집된다. 분광기(400)에 수집된 산란광은 판독부(600)으로 보내지고, 판독부(600)은 스펙트럼의 이동량을 구해 최종적으로 응력을 계산하게 된다.
- [0039] 판독부(600)는 분광기(400)에 수집된 산란광으로부터 스펙트럼을 추출한 후 응력이 없는 상태에서 동일 콘크리트로부터 수집한 산란광의 스펙트럼과 비교하여, 스펙트럼의 이동량을 판독한다. 판독부(600)는 스펙트럼의 이동량으로부터 대상물에 유도된 응력의 크기를 계산할 수 있다.
- [0040] 한편, 도 4에는 본 발명의 일 실시예에 따른 응력 측정 방법을 설명하기 위한 순서도가 도시되어 있다.
- [0041] 본 발명의 일 실시예에 따른 응력 측정 방법은 상기한 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물로 된 콘크리트 또는 대상물에 적용될 수 있다.
- [0042] 본 발명의 일 실시예에 따른 응력 측정 방법은, 응력 센싱 물질(120)을 포함하는 콘크리트 조성물로 된 대상물에 레이저를 조사하는 단계(1100); 상기 대상물에서 산란 또는 반사되는 빛을 분광기(400)에 수집하는 단계(1200); 상기 분광기(400)에서 수집된 빛의 스펙트럼 이동량을 구하는 단계(1300); 및 상기 스펙트럼 이동량으로부터 상기 대상물에 유도된 응력을 구하는 단계(1400);를 포함할 수 있다.

- [0043] 응력 센싱 물질(120)을 포함하는 콘크리트 조성물로 된 대상물에 레이저를 조사하는 단계(1100)는, 응력 센싱 물질(120)을 포함하는 콘크리트(100) 또는 대상물에 레이저 발생기(200)에서부터 레이저를 조사함으로써 수행될 수 있다.
- [0044] 상기 대상물에서 산란 또는 반사되는 빛을 분광기(400)에 수집하는 단계(1200)는, 응력이 작용하는 콘크리트(100) 또는 대상물에 포함된 응력 센싱 물질(120)에 의해 조사된 레이저(250)가 산란 또는 반사되고 이러한 반사 또는 산란광을 분광기(400)에서 수집함으로써 수행될 수 있다.
- [0045] 상기 분광기(400)에서 수집된 빛의 스펙트럼 이동량을 구하는 단계(1300)는, 판독부(600)가 분광기(400)에 수집된 산란광으로부터 스펙트럼을 추출한 후 응력이 없는 상태에서 동일 콘크리트로부터 수집한 산란광의 스펙트럼과 비교하여 수행될 수 있다. 여기서, 스펙트럼의 이동량은 파수 변화라고 하기도 한다. 스펙트럼의 이동량 내지 파수 변화는 스펙트럼의 피크값(첨두값)의 이동량으로부터 구할 수 있다.
- [0046] 상기 스펙트럼 이동량으로부터 상기 대상물에 유도된 응력을 구하는 단계(1400)는, 판독부(600)에 의해 스펙트럼의 이동량으로부터 대상물에 유도된 응력의 크기를 계산함으로써 수행될 수 있다. 판독부(600)는 Voigt profile을 이용하여 curve fitting을 하고 이로부터 파수 변화-응력 관계를 얻음으로써 응력을 계산할 수 있다.
- [0047] 판독부(600)는 분광기(400)에서 전달 받은 산란광으로부터 스펙트럼의 이동량을 구하기 전에 스펙트럼에 포함된 노이즈 즉, Background 신호를 먼저 제거한다. 이때, Background 신호는 선형으로 가정한다.
- [0048] 판독부(600)는 Voigt profile을 이용하여 curve fitting을 하고 각각의 첨두값을 측정한다. 이어서, 각각의 하중 단계별로 측정된 첨두값을 연결한다. 이러한 과정으로부터 얻어진 파수 변화-응력 관계를 이용하여 대상물의 응력을 측정하거나 계산할 수 있다.
- [0049] 한편, 본 발명의 발명자들은 응력 센싱 물질(120)의 최적 조성비를 찾기 위해서 다음과 같은 실험을 하였다.

[0051] * 시편 제작

- [0052] 응력 센싱 물질(120)로 산화알루미늄(Al_2O_3)을 선택하였고, [표 1]과 같은 배합비를 가지는 총 4개의 콘크리트 시편을 제작하여 실험을 하였다.

표 1

구분	시편종류	산화알루미늄 분말 첨가 시편			
	시편번호	시편1	시편2	시편3	시편4
1	전체 콘크리트(물 제외) 중량 대비 산화알루미늄 첨가 비율	5%	8%	11%	13%
2	산화알루미늄/시멘트	17%	29%	38%	44%
3	시멘트:산화알루미늄	1:0.2	1:0.4	1:0.6	1:0.8

- [0054] [표 1]에서 구분 1은 시편 1~4에 대해서, 물을 제외한 콘크리트 조성물의 전체 중량에 대해 첨가된 응력 센싱 물질(120)인 산화알루미늄의 비율로 나타낸 것이다. 시편 1은 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 물을 제외한 콘크리트 조성물의 전체 중량에 대해 5 중량 %로 포함된 것이고, 시편 2는 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 물을 제외한 콘크리트 조성물의 전체 중량에 대해 8 중량 %로 포함된 것이며, 시편 3은 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 물을 제외한 콘크리트 조성물의 전체 중량에 대해 11 중량 %로 포함된 것이고, 시편 4는 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 물을 제외한 콘크리트 조성물의 전체 중량에 대해 13 중량 %로 포함된 것이다.
- [0055] 따라서, 상기 응력 센싱 물질은 물을 제외한 콘크리트 조성물의 전체 중량에 대해 5~13 중량 %로 포함될 수 있다.
- [0056] [표 1]에서 구분 2는 시편 1~4에 대해서, 콘크리트 조성물 중 시멘트(110)의 중량에 대한 응력 센싱 물질인 산화알루미늄의 비율로 나타낸 것이다. 시편 1은 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 시멘트의 중량에 대해서 17 중량 %로 포함된 것이고, 시편 2는 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 시멘트의 중량에 대해서 29 중량 %로 포함된 것이며, 시편 3은 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 시멘트의 중량에 대해서 38 중량 %로 포함된 것이고, 시편

4는 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 시멘트의 중량에 대해서 44 중량 %로 포함된 것이다.

[0057] 따라서, 상기 응력 센싱 물질은 시멘트의 중량에 대해서 17~ 44 중량 %로 포함될 수 있다.

[0058] [표 1]에서 구분 3은 시편 1~4에 대해서, 콘크리트 조성물 중 시멘트(110)의 중량을 100이라고 할 때 첨가되는 응력 센싱 물질인 산화알루미늄의 중량으로 나타낸 것이다. 시편 1은 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 시멘트 100 중량부에 대해서 20 중량부로 포함된 것이고, 시편 2는 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 시멘트 100 중량부에 대해서 40 중량부로 포함된 것이며, 시편 3은 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 시멘트 100 중량부에 대해서 60 중량부로 포함된 것이고, 시편 4는 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 시멘트 100 중량부에 대해서 80 중량부로 포함된 것이다.

[0059] 따라서, 상기 응력 센싱 물질이 시멘트 100 중량부에 대해서 20 내지 80 중량부로 포함될 수 있다.

[0060] 한편, [표 1]의 구분 3에서 시편 1은 시멘트 21.2 중량%, 산화알루미늄 4.2 중량%, 모래 62.3 중량%, 물 12.3%를 포함한다. 시편 2는 시멘트 18.2 중량%, 산화알루미늄 7.2 중량%, 모래 62.3 중량%, 물 12.3 중량%를 포함한다. 여기서, 시멘트의 1 중량%에 해당하는 폴리카본산계 고성능 감수제가 더 추가될 수도 있다.

[0062] * 분광 검출물 실험

[0063] 응력 센싱 물질(120)로 산화알루미늄이 첨가된 상기 시편 1 ~ 4로부터 형광 스펙트럼을 수집하는 것을 통하여, 각 시편 내부의 산화알루미늄의 존재에 대해서 확인하고 산화알루미늄의 함유량 또는 함량비에 따른 스펙트럼 첨두값의 선명도(intensity) 차이를 확인하였다.

[0064] 도 5는 분광 검출물 실험의 결과를 보여준다. 도 5의 (a) 내지 (d)는 각각 [표 1]의 시편 1 내지 4에 대한 분광 검출물 실험 결과이다. 산화알루미늄이 첨가된 경우에 얻은 스펙트럼은 첨두값(피크값)이 2개 나타난다. 시편 1 내지 4의 스펙트럼에 2개의 첨두값이 보이는 것을 확인할 수 있다. 다만, 시편 1 및 2 보다 시편 3 및 4의 경우가 스펙트럼의 형태 또는 첨두값이 명확하게 구분됨을 알 수 있다. 즉, 시편 1 및 2 보다 시편 3 및 4의 경우에 스펙트럼 첨두값의 선명도가 명확함을 알 수 있다.

[0065] 도 6은 응력 센싱 물질인 산화알루미늄의 함량비에 따른 스펙트럼 선명도(Intensity)를 비교한 그래프이다. 도 6에는 [표 1]의 구분 1에 해당하는 시편 1 내지 4에 대한 스펙트럼 선명도가 표시되어 있다. 도 6을 참조하면, 산화알루미늄 즉, 응력 센싱 물질이 [표 1]에 기재된 함유량 또는 함량비로 첨가될 경우 스펙트럼 첨두값이 나타남을 알 수 있고, 함유량 또는 함량비가 높을수록 선명도가 커짐을 알 수 있다.

[0066] 또한, 분광 검출물 실험의 결과로부터, 산화알루미늄 즉, 응력 센싱 물질이 시편 4 보다 더 많이 첨가되는 경우에는 더 큰 선명도를 가지는 스펙트럼 첨두값이 나타난다는 것을 예상할 수 있다.

[0067] 도 7은 [표 1]의 구분 1에 기재된 시편 1 내지 4에 대해서 하중을 다르게 가하면서 파수 변화를 관찰한 실험 결과이다. 도 7의 (a) 내지 (d)는 각각 시편 1 내지 4에 대해서 가해지는 하중을 다르게 할 때의 파수 변화를 나타낸 그래프이다. 도 7의 (a) 내지 (d)의 그래프에서 가로축은 시편에 가해지는 응력(Applied stress, 단위 MPa)을 나타내고 세로축은 응력에 대한 스펙트럼의 파수 변화 (Wavenumber shift, 단위 cm^{-1})를 나타낸다.

[0068] 참고로, 도 7에서 실선구간은 스펙트럼 첨두값의 선명도(Intensity)가 $2,000 \text{ cm}^{-1}$ 이상이고, 점선구간은 스펙트럼 첨두값의 선명도가 $2,000 \text{ cm}^{-1}$ 이하이다.

[0069] 약 20 MPa 이하의 압축하중 구간에서 압축하중-파수 변화(변위)가 선형임을 확인하였고, 이로부터 80%의 안전축인 16 MPa을 최대 압축하중으로 선정하여 압분광 효과를 분석하기 위한 압축하중실험을 수행하였다. 가해진 하중의 크기는 0, 4, 8, 12, 16 MPa 이다.

[0070] 도 7을 참조하면, 시편마다 산화알루미늄의 첨가 비율(첨가량)은 다르지만 16 MPa 이하의 구간에서는 압축하중-파수 변화가 선형임을 확인하였고, 최대 하중상태(16 MPa)에서 유사한 파수 변화(음의 방향으로 2.5 cm^{-1})가 있음을 확인할 수 있다. 즉, 응력 센싱 물질인 산화알루미늄이 첨가된 경우, 스펙트럼의 파수 변화가 시편에 인가된 응력(압축하중)에 비례(음의 방향으로)함을 알 수 있다.

[0071] 따라서, 콘크리트의 전체 중량 대비(물 제외) 5% 이상의 응력 센싱 물질을 시멘트/콘크리트 배합시 사용함으로써 대상물의 응력을 측정할 수 있다.

- [0072] 한편, 도 2의 우측 상단 그래프에서, 파란색 실선은 하중을 받지 않았을 때의 시멘트 모르타(50.8mm x 50.8mm)의 형광 스펙트럼이고, 빨간색 실선은 약 4톤(ton)의 하중을 받았을 경우의 형광 스펙트럼을 나타낸다.
- [0073] 압축하중을 받을 경우 스펙트럼이 좌측으로 이동하고, 인장하중을 받을 경우 스펙트럼은 우측으로 이동한다. 여기서, 스펙트럼이 이동한 양(파수 변화)은 응력의 크기에 비례한다. 따라서, 스펙트럼 침투값의 파수 변화를 이용하여 시멘트/콘크리트에 인가된 응력을 크기를 측정할 수 있다.
- [0074] 앞서 언급한 바와 같이, 본 발명에서는 해당 침투값의 파수 변화를 보다 정확하고 자세하게 측정하기 위해서, Voigt profile을 이용하여 curve fitting하고 이로부터 파수 변화-응력 관계를 얻을 수 있다.
- [0075] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물로부터 응력을 측정하는 과정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0076] 도 8의 (a)는 고분광 물질 즉, 응력 센싱 물질이 포함된 시멘트/콘크리트에서부터 분광기(400)에 의해 수집된 라만/형광 스펙트럼을 나타낸다. 이러한 수집 스펙트럼의 파수 변화를 분석하기 위해서는 수집된 스펙트럼이 가지고 있는 Background 신호를 먼저 제거해야 한다. 이 때, Background 신호는 선형으로 가정한다.
- [0077] 도 8의 (b)는 수집된 스펙트럼과 Background 신호가 제거된 스펙트럼을 나타낸다. 도 8의 (b)에서 파란색 실선은 수집된 스펙트럼(Raw spectrum), 점선은 Background 신호, 빨간색 실선은 수집된 스펙트럼에서 Background 신호가 제거된 후의 스펙트럼(Background removed spectrum)을 나타낸다.
- [0078] 도 8의 (c)는 Voigt profile을 이용한 curve fitting을 나타낸다. 도 8의 (c)에서 다수개의 검은색 점들은 Raw data, 녹색 실선은 Voigt profile 1, 빨간색 실선은 Voigt profile 2, 파란색 실선은 Fitted line을 나타낸다.
- [0079] 도 8의 (d)는 각각의 하중 단계별로 측정된 스펙트럼의 침투값을 연결한 그래프이다.
- [0080] 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물에 대해서 응력을 측정하는 시스템(10) 및 응력 측정 방법은 도 8의 (a) 내지 (d)에 도시된 바와 같은 과정을 거쳐서 얻어진 파수 변화-응력 관계를 이용하여 본 발명의 일 실시예에 따른 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 조성물로 된 구조물 내지 대상물의 응력을 측정하거나 계산할 수 있다.
- [0081] 상기한 바와 같이 본 발명은, 압분광법을 기반으로 자가 응력 측정이 가능한 콘크리트 또는 콘크리트 조성물을 구조물 시공에 사용할 경우, 응력 측정을 위한 센서를 설치할 필요가 없으며, 콘크리트 구조물 전면에서 응력 측정이 가능하다는 장점을 기대할 수 있다.

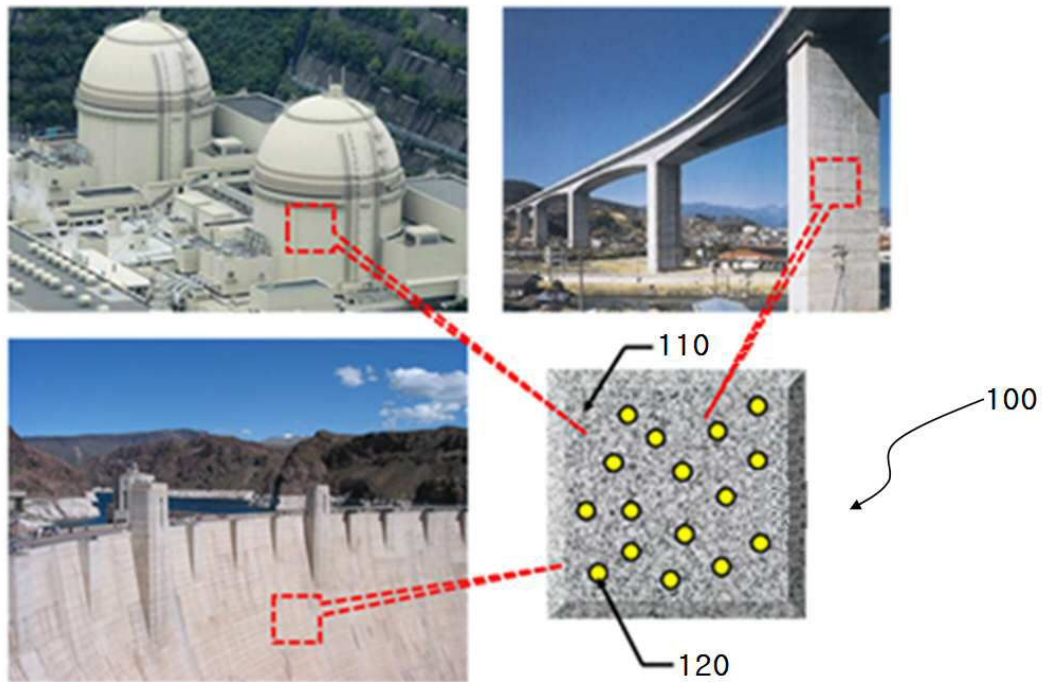
[0083] 이상과 같이 본 발명의 일 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 청구범위뿐만 아니라 이 청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

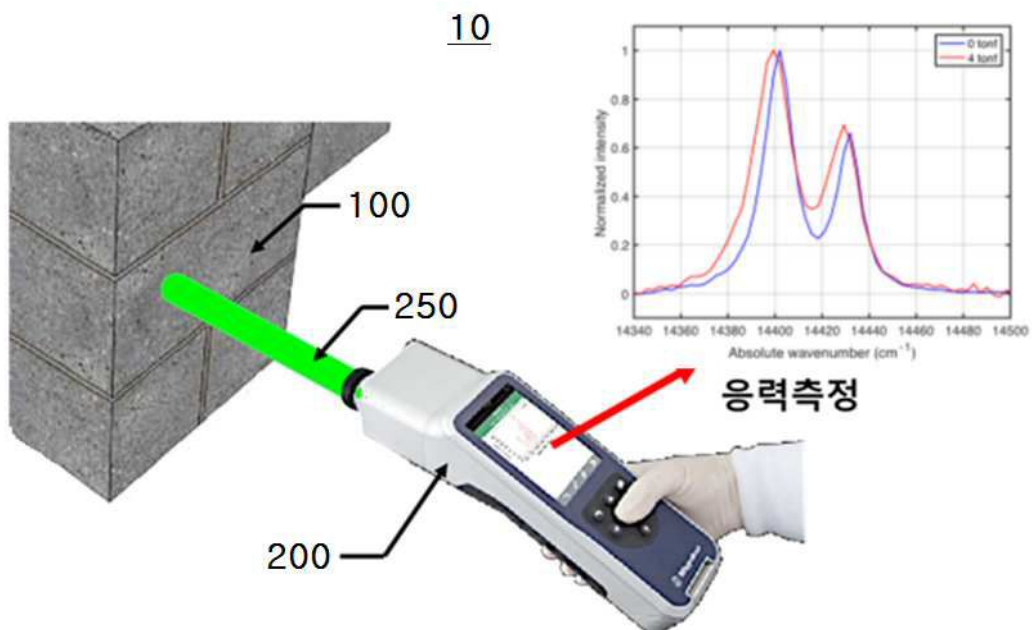
- [0084] 10: 응력 측정 시스템 100: 콘크리트
110: 시멘트 120: 응력 센싱 물질
200: 레이저 발생기 300: 필터
400: 분광기 600: 판독부

도면

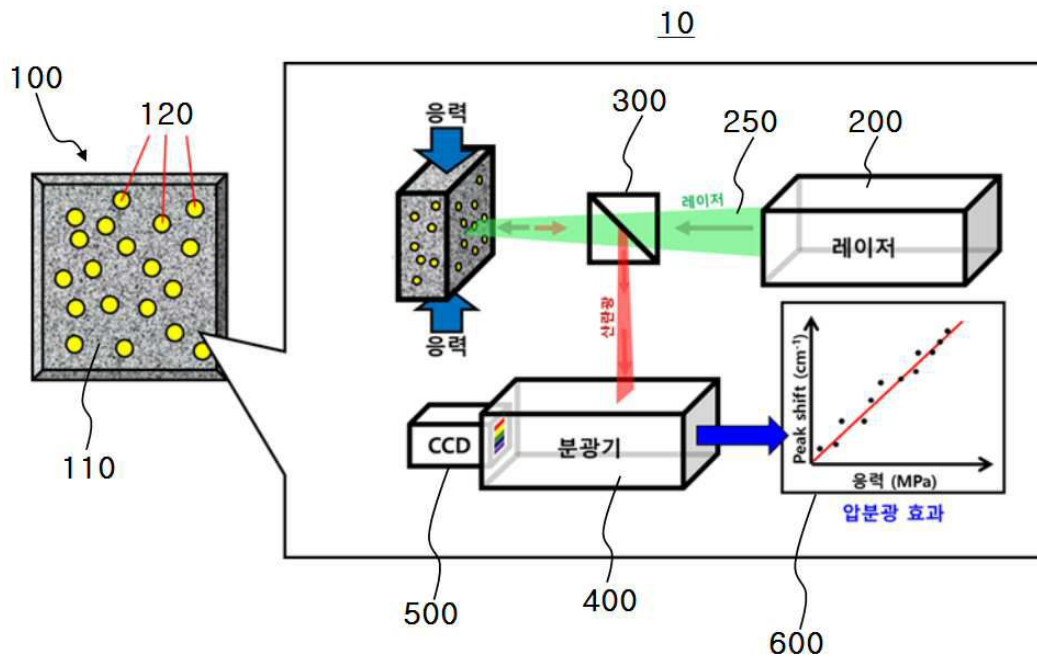
도면1



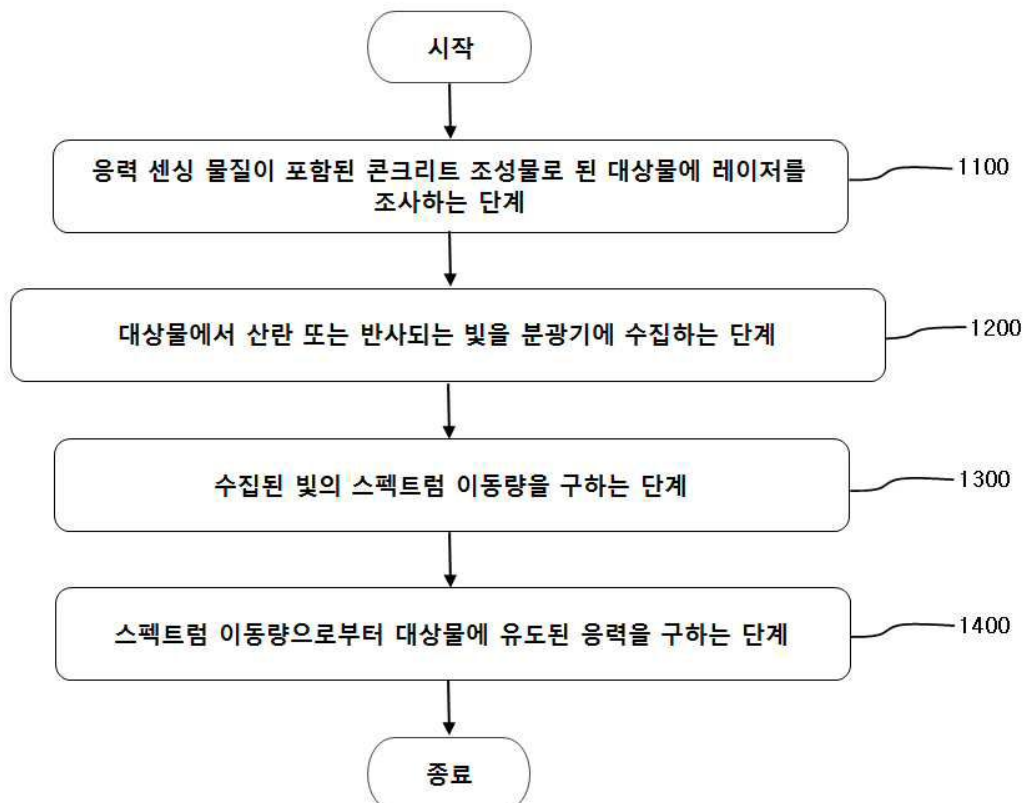
도면2



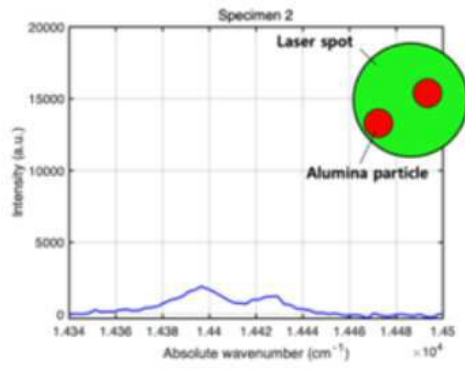
도면3



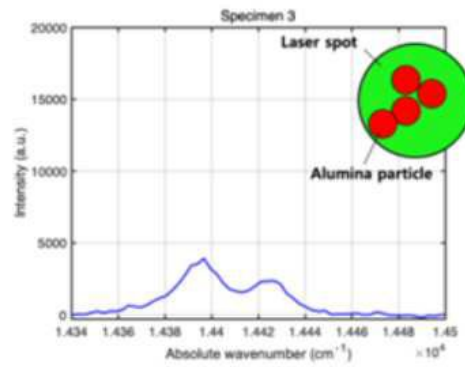
도면4



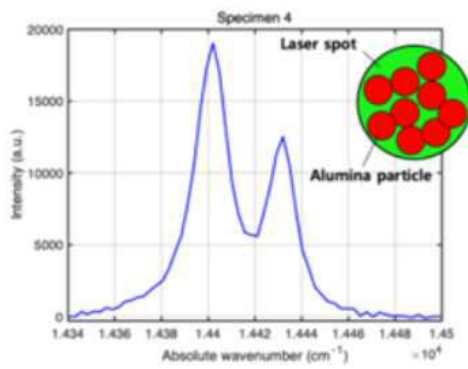
도면5



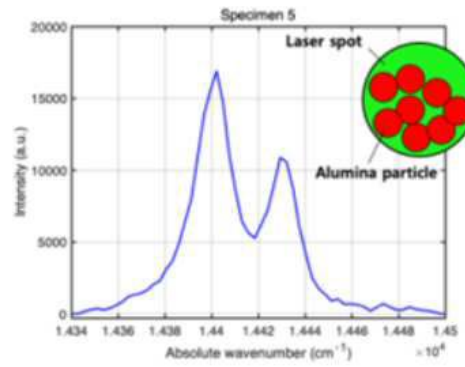
(a)



(b)

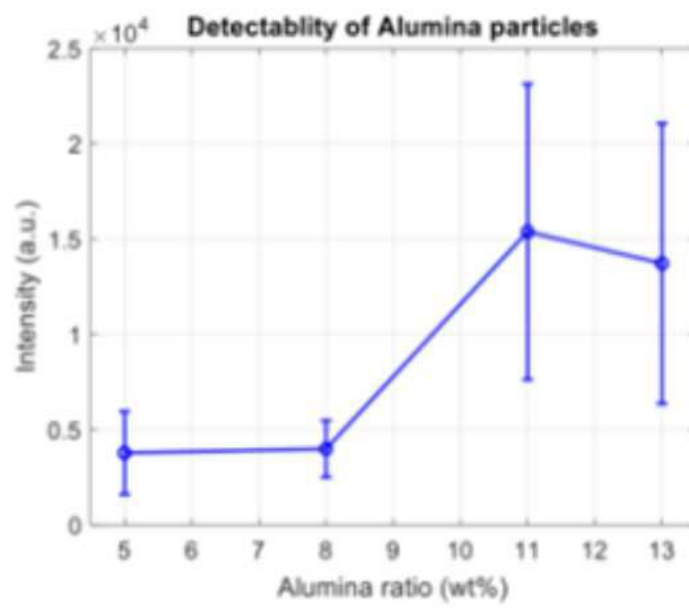


(c)

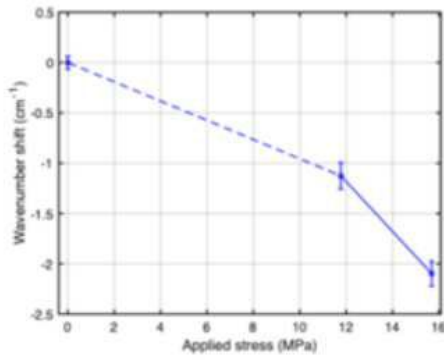


(d)

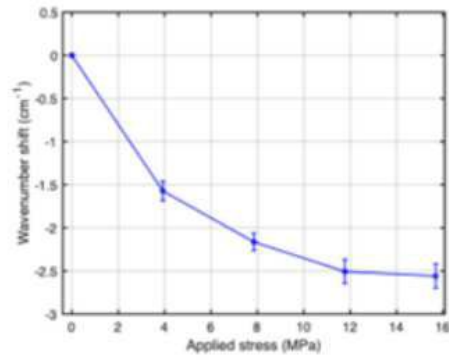
도면6



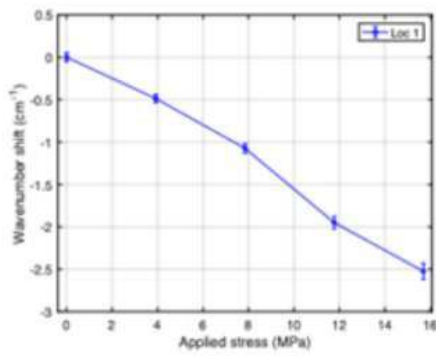
도면7



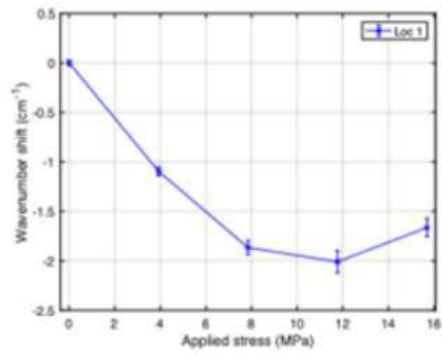
(a)



(b)

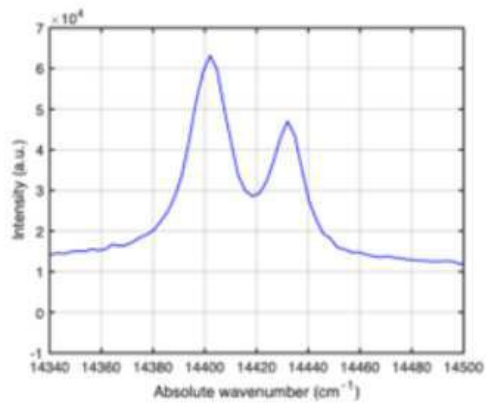


(c)

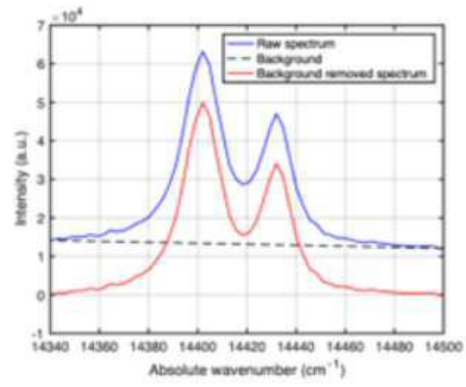


(d)

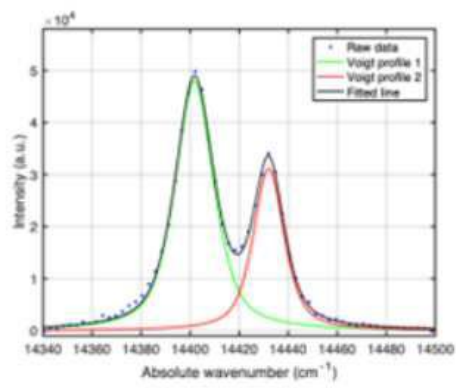
도면8



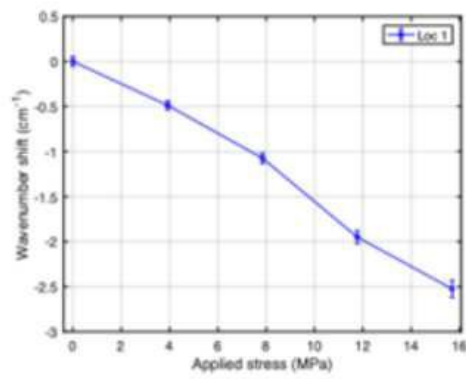
(a)



(b)



(c)



(d)