



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년07월02일  
(11) 등록번호 10-2272116  
(24) 등록일자 2021년06월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
E01D 19/14 (2006.01) E01D 22/00 (2006.01)  
E01D 101/26 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
E01D 19/14 (2013.01)  
E01D 22/00 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2019-0027130  
(22) 출원일자 2019년03월08일  
심사청구일자 2019년03월08일  
(65) 공개번호 10-2019-0107583  
(43) 공개일자 2019년09월20일  
(30) 우선권주장  
1020180028411 2018년03월12일 대한민국(KR)  
(56) 선행기술조사문헌  
KR101552793 B1\*  
KR101670415 B1\*  
KR1020030090600 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
세종대학교산학협력단  
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)  
(72) 발명자  
김동주  
서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 광개토관 321호  
노현우  
서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 충무관 706호  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
유병욱, 한승범

전체 청구항 수 : 총 7 항

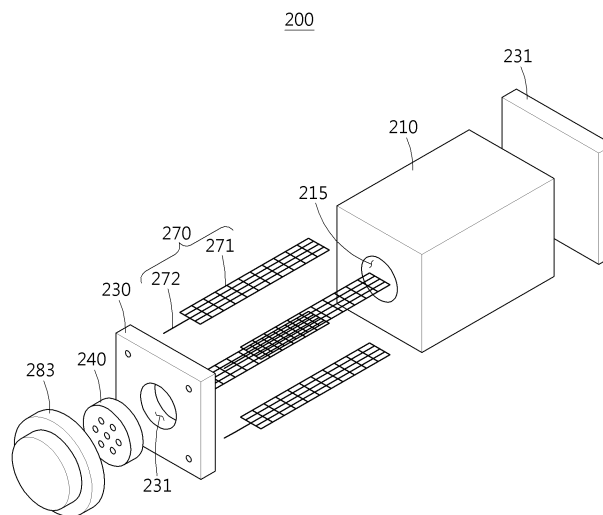
심사관 : 이형우

(54) 발명의 명칭 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물 및 스마트 콘크리트 정착구 시스템

(57) 요약

본 발명에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물은, 시멘트, 실리카 흙(silica fume), 실리카 파우더(silica powder), 고성능 감수제(super plasticizer) 및 물을 포함하고, 실리카 샌드(silica sand) 또는 스틸 슬래그(steel slag) 중 적어도 어느 하나를 포함하여, PSC 구조물의 핵심요소인 긴장재의 관리적 측면에서 긴장응력 변화를 확인함으로써 구조물의 안전성을 확보할 수 있다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류  
E01D 2101/26 (2013.01)

(72) 발명자

**최성익**

서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 충무관  
706호

**황라환**

서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 충무관  
706호

**이선열**

서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 충무관  
706호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615010279
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	국토교통기술촉진연구사업
연구과제명	긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	세종대학교산학협력단
연구기간	2018.04.17 ~ 2018.12.31

---

**명세서**

**청구범위**

**청구항 1**

스마트 콘크리트 조성물에 있어서,

시멘트, 실리카 흙(silica fume), 실리카 파우더(silica powder), 고성능 감수제(super plasticizer) 및 물을 포함하고, 실리카 샌드(silica sand) 또는 스틸 슬래그(steel slag) 중 어느 하나를 포함하며,

실리카 흙 및 실리카 파우더는 각각 시멘트의 중량에 대하여 15% 및 25%의 중량으로 혼입되고, 고성능 감수제는 시멘트의 중량에 대하여 4.8% 또는 4.9%의 중량으로 혼입되며, 실리카 샌드 또는 스틸 슬래그는 시멘트의 중량에 대하여 100%의 중량으로 혼입되어,

스마트 콘크리트 조성물을 포함하는 스마트 콘크리트로 형성되는 구조물에 반복적으로 작용하는 압축 하중에 대해 하기 수학적식으로 정의되는 전기저항 변화율(FCR)이 동일한 거동을 나타내고, 구조물에 작용하는 압축 하중의 변화에 따른 전기저항 변화율이 선형적으로 감소하는 것을 특징으로 하는 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물.

[수학적식]

$$FCR = \frac{R_n - R_0}{R_0} \times 100$$

[수학적식]에서 n은 전기저항 측정시의 압축 하중 값,  $R_0$ 는 압축 하중을 받고 있지 않을 때의 전기저항 값,  $R_n$ 은 압축 하중 n에서의 전기저항 값이다.

**청구항 2**

삭제

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

제1항에 따른 스마트 콘크리트 조성물을 포함하는 스마트 콘크리트로 형성되며, PSC 구조물에 마련된 긴장재에 걸리는 긴장력 또는 긴장응력의 변화를 감지하는 정착구를 포함하는 것을 특징으로 하는 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템.

**청구항 7**

제6항에 있어서,

상기 스마트 콘크리트는, 상기 긴장재에 걸리는 긴장력 또는 긴장응력의 변화에 따라 정착구에 가해지는 힘의 변화를 감지하고 상기 힘의 변화를 전기적 신호로 출력하는 것을 특징으로 하는 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템.

**청구항 8**

제6항에 있어서,

상기 스마트 콘크리트는, 상기 긴장재에 걸리는 긴장력 또는 긴장응력의 변화에 따라 정착구에 가해지는 힘의 변화를 감지하는 전기-역학적 특성을 가지는 것을 특징으로 하는 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템.

**청구항 9**

제6항에 있어서,

상기 스마트 콘크리트는 상기 정착구 부피의 2%에 해당하는 섬유 보강재를 포함하는 것을 특징으로 하는 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템.

**청구항 10**

시멘트, 실리카 흙(silica fume), 실리카 파우더(silica powder), 고성능 감수제(super plasticizer) 및 물을 포함하고, 실리카 샌드 또는 스틸 슬래그 중 적어도 어느 하나를 포함하며, 실리카 흙 및 실리카 파우더는 각각 시멘트의 중량에 대하여 15% 및 25%의 중량으로 혼입되는 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물을 포함하는 스마트 콘크리트로 형성되며, PSC 구조물에 마련된 긴장재에 걸리는 긴장력 또는 긴장응력의 변화를 감지하는 정착구를 포함하고,

상기 정착구의 길이방향 모서리 쪽에는 전극부가 마련되며,

상기 전극부는 상기 정착구의 내부에 매립되는 메쉬 타입의 전극 본체 및 상기 전극 본체의 일단에 형성되어 상기 정착구의 외면에서 돌출되도록 마련되는 전극 프로브를 포함하는 것을 특징으로 하는 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템.

**청구항 11**

제10항에 있어서,

상기 정착구의 마주 보는 2면을 따라 각각 2개씩 배치된 상기 전극부는 상기 전극 본체가 서로 마주 보도록 배치된 것을 특징으로 하는 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물 및 스마트 콘크리트 정착구 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 PS(Pre-Stressing: 프리 스트레스) 긴장재 정착구의 재질을 전기-역학적 특성을 가지는 자기 감지(셀프 센싱)이 가능한 스마트 콘크리트로 형성함으로써 긴장재의 긴장 응력 저하를 모니터링 할 수 있는 스마트 콘크리트 조성물 및 이를 포함하는 스마트 콘크리트로 형성된 정착구 시스템에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 일반적으로 콘크리트는 압축응력에는 강하지만 인장응력에는 약하다. 이러한 단점을 보완하기 위해 인장력에 강한 철근을 넣은 것을 철근 콘크리트(RC; Reinforced Concrete)라고 한다. 하지만, 콘크리트 자체의 자중이 너무

무거워 RC 구조로는 지간장이 긴 교량에 적용하기에는 무리가 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 제안된 기술이 프리 스트레스 콘크리트(PSC; Pre-Stressing concrete)이다.

- [0003] 프리 스트레스 콘크리트는 "미리 응력을 준 콘크리트"라는 의미라고 할 수 있다. 교량의 거더를 형성하는 콘크리트 속에 긴장재 또는 강연선(이하 "긴장재"라 함)을 넣고 강력하게 잡아당겨서 긴장재의 양단을 정착구에 고정시키면, 긴장재에 걸리는 인장력 때문에 콘크리트에 압축응력이 작용하게 되고 거더를 형성하는 콘크리트는 휨응력에 강한 콘크리트가 된다.
- [0004] 프리 스트레스 콘크리트(이하에서는 "PSC"라 함)의 종류에는, 미리 긴장재를 인장하고 콘크리트를 타설하는 프리 텐션 방법과, 굳은 콘크리트에 긴장재를 넣어 인장하는 포스트 텐션 방법이 있다.
- [0005] 프리 스트레스 콘크리트 (PSC) 구조물의 공칭 휨 강도는 긴장재에 도입된 긴장재의 크기에 따라서 달라지게 된다. 따라서, PSC 구조물에 작용하고 있는 긴장력의 변화를 모니터링 해야 할 필요성이 있다.
- [0006] 프리 스트레스 콘크리트 (PSC) 구조물의 긴장재에 걸리는 긴장응력을 모니터링 하거나 긴장재의 파손 관리를 모니터링 하는 종래의 방법들은 광섬유 센서, 압전소재의 센서, EM 센싱 기반, 진동법 등을 사용하고 있다.
- [0007] 이 중 광섬유센서를 이용하는 것은 7연선 강연선(7가닥의 연선을 꼬아서 만든 강연선)의 중심에 광섬유(Fiber bragg grating, FBG) 센서를 삽입하여 긴장재의 응력변화를 측정하는 방안이다. 압전소재 센서를 이용하는 것은, 피에조 일렉트릭(Piezoelectric) 압전센서를 정착구에 결합하여 긴장재의 임피던스를 계측하여 텐던(tendon)의 긴장응력을 지속적으로 모니터링 하는 방안이다. EM 센싱 기반의 방안은 일렉트로 마그네틱(Electro-magnetic) 센서를 이용하여 외부 긴장재의 응력을 측정하고 측정된 응력 값을 로드셀(load cell)을 이용한 결과와 비교하여 모니터링 하는 방안이다. 진동법은 직접 하중 재하법, 탄성파에 의한 긴장력 추정, 진동 특성으로 긴장응력을 추정하여 실험과 분석을 통해 모니터링 하는 방안이다.
- [0008] 그러나, 이러한 종래의 기술들은 다음과 같은 단점이 있다. 광섬유센서를 이용하는 종래기술은 스마트 강연선 자체의 재료적 특성상 광섬유센서가 유리재질로 되어 있기 때문에 현장 적용 시 광섬유센서의 파손과 모니터링 신뢰도 측면에서의 낮은 효율성과 센서의 수량 자체가 많아야 한다는 점에서 경제성이 낮은 문제가 있다. 압전소재 센서를 이용하는 종래기술은 센서를 구성하는 재료 자체가 외력에 취약하고 센서 자체의 비용이 높아 경제성 및 내구성이 낮은 문제가 있다. EM 센싱 기반의 종래기술은 PSC 구조물 외부의 정착구에만 설치가 가능하기 때문에 구조물 내부에 사용되는 긴장재에 대한 모니터링은 불가능한 문제가 있다. 진동법은 PS 강제 긴장응력 측정법으로 지속적인 모니터링이 불가능하고 일시적 검사만 가능하다는 문제가 있다.
- [0009] 본 출원인은, 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명을 제안하게 되었다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0010] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-1303622호(2013.08.29.)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0011] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 종래기술들의 한계점을 극복하며, PS 강제 정착구가 구조부재로서의 역할을 함과 동시에 긴장재의 긴장응력 저하를 모니터링 할 수 있는 스마트 콘크리트 조성물 및 이를 포함하는 스마트 콘크리트로 형성된 정착구 시스템을 제공한다.
- [0012] 본 발명은 기존 PSC 강제 정착구의 할렬 또는 파열 균열 방지를 위한 나선철근을 배치할 필요가 없는 스마트 콘크리트 조성물 및 이를 포함하는 스마트 콘크리트로 형성된 정착구 시스템을 제공한다.

**과제의 해결 수단**

- [0013] 상기한 바와 같은 과제를 달성하기 위한 본 발명에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물은, 시멘트, 실리카 흙(silica fume), 실리카 파우더(silica powder), 고성능 감수제(super plasticizer) 및 물을 포함하고, 실리카 샌드(silica sand) 또는 스틸 슬래그(steel slag) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있

다.

- [0014] 실리카 샌드(Silica sand) 또는 스틸 슬래그(steel slag) 중 어느 하나가 포함되는 경우에 실리카 샌드(Silica sand) 또는 스틸 슬래그(steel slag)는 시멘트의 중량에 대하여 100%의 중량으로 혼입될 수 있다.
- [0015] 실리카 샌드(Silica sand) 및 스틸 슬래그(steel slag)가 모두 포함되는 경우에는 실리카 샌드(silica sand) 및 스틸 슬래그(steel slag)는 각각 시멘트의 중량에 대하여 50%의 중량으로 혼입될 수 있다.
- [0016] 실리카 흙(silica fume) 및 실리카 파우더(silica powder)는 각각 시멘트의 중량에 대하여 15% 및 25%의 중량으로 혼입될 수 있다.
- [0017] 고성능 감수제(super plasticizer)는 시멘트의 중량에 대하여 4.8~4.9%의 중량으로 혼입될 수 있다.
- [0018] 한편, 본 발명에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템은, 상기한 스마트 콘크리트 조성을 포함하는 스마트 콘크리트로 형성되며, PSC 구조물에 마련된 긴장재에 걸리는 긴장력 또는 긴장응력의 변화를 감지하는 정착구를 포함할 수 있다.
- [0019] 상기 스마트 콘크리트는, 상기 긴장재에 걸리는 긴장력 또는 긴장응력의 변화에 따라 정착구에 가해지는 힘의 변화를 감지하고 상기 힘의 변화를 전기적 신호로 출력할 수 있다.
- [0020] 상기 스마트 콘크리트는, 상기 긴장재에 걸리는 긴장력 또는 긴장응력의 변화에 따라 정착구에 가해지는 힘의 변화를 감지하는 전기-역학적 특성을 가질 수 있다.
- [0021] 상기 스마트 콘크리트는 상기 정착구 부피의 2%에 해당하는 섬유 보강재를 포함할 수 있다.
- [0022] 상기 정착구의 길이방향 모서리 쪽에는 전극부가 마련되며, 상기 전극부는 상기 정착구의 내부에 매립되는 메쉬 타입의 전극 본체 및 상기 전극 본체의 일단에 형성되어 상기 정착구의 외면에서 돌출되도록 마련되는 전극 프로브를 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 정착구의 마주 보는 2면을 따라 각각 2개씩 배치된 상기 전극부는 상기 전극 본체가 서로 마주 보도록 배치될 수 있다.

**발명의 효과**

- [0024] 본 발명에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물 및 스마트 콘크리트 정착구 시스템은 PSC 구조물의 핵심요소인 긴장재의 관리적 측면에서 긴장응력 변화를 확인함으로써 구조물의 안전성을 확보할 수 있다.
- [0025] 본 발명에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물 및 스마트 콘크리트 정착구 시스템은 긴장재의 긴장응력을 모니터링 하기 위해 별도의 센서가 필요하지 않기 때문에 유지 보수 비용을 낮추고 경제성을 높일 수 있다.
- [0026] 본 발명에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물 및 스마트 콘크리트 정착구 시스템은 섬유 보강재를 포함하는 스마트 콘크리트로 마련되기 때문에 기존의 정착구에 보강되는 나선철근의 배치 없이도 정착구에 걸리는 국부적인 압축응력에 의한 콘크리트 내부의 파열 또는 균열을 방지하거나 예방할 수 있다.
- [0027] 본 발명에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물 및 스마트 콘크리트 정착구 시스템은 긴장재를 재긴장하는 보수 보강시에도 스마트 콘크리트 정착구는 손상 없이 동일한 긴장재 손실 감지 성능을 확보할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템을 도시한 분해 사시도이다.
- 도 2는 도 1에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템의 단면도이다.
- 도 3은 도 1에 따른 스마트 콘크리트 정착구의 성능 검증 시스템을 예시적으로 도시한 분해 사시도이다.
- 도 4는 도 1에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템을 포함하는 긴장재의 긴장력 모니터링 시스템의 구성을 개략적으로 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템을 도시한 분해 사시도이다.

도 6은 도 5에 따른 정착구 시스템의 일부 단면도 및 측면도이다.

도 7은 본 발명에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템에 대한 압축 하중 크기에 따른 전기-역학적 응답 특성의 실험 결과를 보여주는 그래프이다.

도 8 및 도 9는 본 발명에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템에 대한 반복 압축하중에 대한 전기저항 변화율에 대한 실험 결과 및 전기저항 변화율과 압축 하중 간의 상관관계를 보여주는 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0029] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템을 도시한 분해 사시도, 도 2는 도 1에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템의 단면도, 도 3은 도 1에 따른 스마트 콘크리트 정착구의 성능 검증 시스템을 예시적으로 도시한 분해 사시도, 도 4는 도 1에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템을 포함하는 긴장재의 긴장력 모니터링 시스템의 구성을 개략적으로 도시한 도면이다.
- [0031] 도 1 및 도 2에 도시된 본 발명의 일 실시예에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템(100)은, PSC 구조물에 마련된 긴장재(120)에 걸리는 긴장력 또는 긴장응력의 변화를 감지하는 스마트 콘크리트로 형성된 정착구(110)를 포함할 수 있다.
- [0032] PSC 교량 등 PSC 구조물의 내부에는 콘크리트의 인장강도가 약한 단점을 보완하기 위해 강연선 등의 긴장재(120)가 마련되어 있다. 이러한 긴장재(120)를 당긴 상태로 고정하면 긴장재(120)에 인장력이 걸리게 되고 PSC 구조물에도 긴장재(120)의 인장력에 따른 압축력이 걸리므로 PSC 구조물이 큰 휨 인장강도를 가질 수 있다.
- [0033] 여기서, 긴장재(120)는 단선이 사용되기 보다는 다수개가 다발로 사용되는 것이 바람직하다.
- [0034] 한편, 정착구(110)는 긴장재(120)를 당긴 상태에서 고정하기 위한 부재이다. 도 1 및 도 2를 참조하면, 정착구(110)는 대략 직육면체 형상을 가지며 그 내부에는 긴장재(120)의 다발이 통과하는 구멍(미도시)이 형성될 수 있다.
- [0035] 도 1 및 도 2의 경우에는, 긴장재(120)의 좌측단이 정착구(110)에 고정되는 형태이다. 긴장재(120)의 길이방향에 따른 정착구(110)의 일단에는 스틸 플레이트(130)가 마련되어 정착구(110)의 내부에 마련된 상기 구멍을 막을 수 있고, 정착구(110)의 반대쪽 일단에는 PSC 콘크리트와 접하게 된다. 스틸 플레이트(130)에도 긴장재(120)의 한 가닥이 통과하는 다수개의 구멍(미도시)이 형성될 수 있다.
- [0036] 스틸 플레이트(130)에 형성된 다수개의 구멍을 둘러싸도록 스틸 플레이트(130)의 일측에는 앵커 헤드(140)가 마련될 수 있다. 앵커 헤드(140)에도 긴장재(120)의 단선(한 가닥)이 통과하는 다수개 구멍(미도시)이 형성되어 있다. 여기서, 스틸 플레이트(130)에 형성된 다수개의 구멍과 앵커 헤드(140)에 형성된 다수개의 구멍은 서로 동일한 위치에 놓이는 것이 바람직하다.
- [0037] 한편, 앵커 헤드(140)에 형성된 구멍의 단면은 사다리꼴 형태로 형성되는 것이 바람직하다. 왜냐하면, 앵커 헤드(140)의 구멍에는 긴장재(120)의 일단 측에 결합되어 있는 쉘기(160)가 삽입되기 때문이다. 긴장재(120)의 일단에 결합된 쉘기(160)가 앵커 헤드(140)의 구멍에 삽입됨으로써 긴장재(120)가 앵커 헤드(140)에 고정될 수 있다.
- [0038] 긴장재(120)의 타측, 즉 쉘기(160)가 결합된 일측의 타측에는 긴장재(120)의 다발을 둘러싸는 쉬스 파이프(150, Sheath pipe)가 마련될 수 있다.
- [0039] 또한, 정착구(110)의 적어도 일측 측, 긴장재(120)의 길이방향으로의 적어도 일측에는 전극부(170)가 마련될 수 있다. 도 2에 도시된 정착구(110)의 경우에는 정착구(110)의 좌측 상단과 하단에 전극부(170)가 마련되어 있다.
- [0040] 전극부(170)는 정착구(110)의 내부에서 생성된 전기적 신호를 출력하는 부재이다.
- [0041] 본 발명에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템(100)에 있어서, PSC 구조물에 마련된 긴장재(120)를 고정하는 정착구(110)는 상기 정착구(110)는 긴장재(120)에 걸리는 긴장력 또는 긴장응력의 변화를 감지하는 스마트 콘크

리트로 형성될 수 있다. 즉, 정착구(110)의 재질이 자기 감지(Self-sensing)가 가능한 스마트 콘크리트로 형성된다.

- [0042] 본 발명에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템(100)의 정착구(110)는, 긴장재(120)에 걸리는 긴장응력 또는 긴장력의 변화에 따라 정착구(110)에 가해지는 긴장력 또는 압축력 등 힘의 변화를 감지하고 이러한 힘의 변화를 전기적 신호로 출력할 수 있는 특성을 가진 콘크리트 즉, 스마트 콘크리트로 형성될 수 있다.
- [0043] 이와 같이, 스마트 콘크리트 재질로 형성된 정착구(110)는, PSC 구조물의 핵심요소인 긴장재의 관리적 측면에서 긴장응력 변화를 확인함으로써 구조물의 안전성을 관리 또는 확보할 수 있으며, 콘크리트 구조물 자체(예를 들면, 정착구)를 센서로 이용하기 때문에 종래기술과는 확연한 차이가 있다.
- [0044] 또한, 본 발명에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템(100)의 정착구(110)는, 긴장재(120)에 걸리는 긴장응력 또는 긴장력의 변화에 따라 정착구(110)에 가해지는 긴장력 또는 압축력 등 힘의 변화를 감지하는 전기-역학적 특성을 가지는 스마트 콘크리트로 형성될 수 있다.
- [0045] 긴장재(120)를 당긴 상태에서 그 일단을 앵커 헤드(140)로 고정하면, 긴장재(120)는 원래의 상태로 복귀하려는 성질에 의해서 압축력이 스틸 플레이트(130)에 걸리게 된다. 긴장재(120)에 걸리는 긴장응력 또는 긴장력은 긴장재(120)의 일단을 고정지지하고 있는 정착구(110)에도 걸리게 된다. 따라서, 긴장재(120)에 긴장응력 또는 긴장력이 도입된 상태에서 긴장재(120)에 의해 압축응력을 받고 있는 정착구(110)는 힘이 가해져 있는 상태 즉, 탄성 영역 내의 압축 하중 상태를 유지하게 된다.
- [0046] 긴장재(120)에 손상이 생기거나 긴장재(120)가 파단되는 경우, 긴장재(120)에 걸리는 힘은 약해지거나 크기가 변하게 되는데 이러한 변화는 스마트 콘크리트로 형성된 정착구(110)에도 동일하게 발생할 수 있다. 정착구(110)를 이루는 스마트 콘크리트는, 정착구(110)에 걸리는 힘의 변화를 감지하고 이러한 힘의 변화를 전기적 신호로 변환하여 출력할 수 있는 재질 또는 조성물로 형성될 수 있다.
- [0047] 이와 같이, 본 발명에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템(100)의 정착구(110)는 자기 감지(Self-sensing) 정착구로서 스마트 콘크리트의 전기-역학적 특성을 기반으로 정착구(110)의 탄성영역에서의 민감도를 극대화하여 긴장재의 긴장응력의 변화를 별도의 센서 부착 없이 실시간으로 측정하거나 모니터링 할 수 있다.
- [0048] 또한, 정착구(110)의 재료인 상기 스마트 콘크리트는 콘크리트 배합물과의 부착 특성 및 인장 강도가 우수한 섬유 보강재(미도시)를 포함할 수 있다. 즉, 정착구(110)를 형성하는 스마트 콘크리트 조성물에는 상기 섬유 보강재가 더 혼입될 수 있다. 여기서, 상기 섬유 보강재는 합성섬유 또는 강섬유 보강재를 포함할 수 있다. 상기 섬유 보강재는 소정의 길이를 가지며, Polyvinyl Alcohol (PVA) Fiber, Smooth Steel Fiber, Twisted Steel Fiber, Hooked Steel Fiber 등과 같은 섬유를 포함할 수 있다.
- [0049] 섬유 보강재는 콘크리트 혼합물에 보강되었을 때, 섬유의 형상 등과 같은 섬유의 특성에 따라 각각 다른 역학적 성능을 보이지만, 인장강도 측면에서는 섬유의 보강으로 보강재와 콘크리트 혼합물의 부착 성능이 뛰어나 콘크리트의 인장강도를 높일 수 있다. 이러한 섬유 보강재가 보강된 스마트 콘크리트 정착구는 긴장재(120)에 긴장력이 도입됨에 따라 정착구(110)에 발생하는 국부적인 압축응력으로 인해 정착구(110)의 내부에 파열 또는 균열이 발생하는 것을 기존 나선철근의 배치 없이 방지하거나 균열의 진전을 예방할 수 있다.
- [0050] 본 발명의 일 실시예에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템(100)은 스마트 콘크리트에 섬유 보강재가 혼입되어 있기 때문에, 종래기술에서 정착구 콘크리트의 파열 또는 균열의 발생을 방지하고 지연시키기 위한 나선철근을 사용하지 않아도 된다.
- [0051] 도 3에는 본 발명의 일 실시예에 따른 스마트 콘크리트 정착구(110)의 성능을 검증하기 위한 성능 검증 시스템을 예시적으로 도시되어 있다. 참고로, 도 3에 도시된 스마트 정착구 시스템은 도 1 및 도 2에 도시된 정착구 시스템과 동일하기 때문에 도 1 및 도 2와 동일한 부분에 대한 도면 부호는 생략한다.
- [0052] 도 3을 참조하면, 쉬스 파이프(150)가 위치하는 정착구(110)의 일측에는 별도의 스틸 플레이트(131)가 마련될 수 있다. 쉬스 파이프(150)와 인접한 스틸 플레이트(131)의 외측면에는 쉬스 파이프(150) 또는 스틸 플레이트(131)를 정착구(110)에 고정하기 위한 볼트(181)가 마련될 수 있다.
- [0053] 쉘기(160)가 결합된 긴장재(120)의 일단측에는 로드셀(182)과 유압잭(183)이 마련될 수 있다. 예를 들면, 유압잭(183)을 사용하여 긴장재(120)의 일단을 당기고 이 때 긴장재(120)에 걸리는 힘은 로드셀(182)에 의해 측정할 수 있다. 이 상태에서 정착구(110)의 스마트 콘크리트에 걸리는 힘은 전극부(170)를 통해 전기적 신호로 출력할 수 있다. 이러한 성능 검증을 통해서, 긴장력의 크기와 정착구(110)로부터 얻어진 전기적 출력을 비교함으로써



정착구(110)의 재질인 스마트 콘크리트의 자기 감지(Self-sensing) 성능을 확인할 수 있다.

- [0054] 도 4에는 본 발명에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템(100)을 포함하는 긴장재의 긴장력 모니터링 시스템의 구성이 개략적으로 도시되어 있다. 도 4를 참조하면, PSC 구조물인 PSC 교량(1)은 슬래브(10), 슬래브(10)를 지지하는 거더(20) 및 교량의 전체 하중을 지지하는 교각(30)을 포함할 수 있다.
- [0055] 교량(1)의 슬래브(10)를 지지하는 거더(20)의 내부에 긴장재(120)가 마련된다. 긴장재(120)의 긴장응력이 약해지거나 변하게 되면 긴장재(120)가 고정된 정착구(110)의 스마트 콘크리트에 걸리는 힘이 변하게 되고, 이러한 힘의 변화는 전기적 신호(ES)로 변환되어 전극부(170)를 통해서 출력된다. 전기적 신호(ES)는 모니터링 수단(200)에 전달될 수 있다.
- [0056] 모니터링 수단(200)은 전극부(170)에서 출력된 전기적 신호(ES)를 정상 상태의 신호와 비교하여 긴장재(120)의 열화 상태를 판단하고, 그 판단 결과를 교량 관리자 등 담당자의 유무선 단말기에 알람 메시지(300) 형태로 전달할 수 있다.
- [0057] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템(200)에 대해서 설명한다.
- [0058] 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템을 도시한 분해 사시도, 도 6은 도 5에 따른 정착구 시스템의 일부 단면도 및 측면도이다.
- [0059] 도 5 및 도 6을 참조하면, 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템(200)은, 대략 직육면체의 형상을 가지며 가운데 부분에는 긴장재(120, 도 1 참조)가 통과하는 구멍(215)이 형성된 정착구(210), 정착구(210)의 길이방향 일단에 마련되는 엔드 플레이트(231), 정착구(210)의 길이방향 타단에 마련되는 스틸 플레이트(230), 스틸 플레이트(230)의 가운데에 형성된 구멍(231)을 복개하는 원형의 앵커 헤드(240), 스틸 플레이트(230)와 마주 보도록 앵커 헤드(240)의 일면에 마련되는 유압잭(283)을 포함할 수 있다.
- [0060] 정착구(210)의 가운데에 형성된 구멍(215)과, 스틸 플레이트(230)의 가운데에 형성된 구멍(231)으로 긴장재(120)의 다발이 통과할 수 있다. 정착구(210)의 가운데 부분에 형성된 구멍(215)에는 트럼펫(trumpet)을 위치시킬 수 있다. 정착구(210)의 가운데 부분에 형성된 구멍(215) 또는 구멍(215)에 마련되는 트럼펫은 원통 모양으로 형성될 수도 있고 깔때기 모양(도 2 참조)으로 형성될 수도 있다.
- [0061] 스틸 플레이트(230)의 구멍(231)을 통과한 긴장재(120)의 다발은 한 가닥씩 앵커 헤드(240)에 형성된 강연선 구멍(220)을 통과할 수 있다.
- [0062] 여기서, 긴장재(120)는 7연선 강연선 7가닥이 사용되는 것이 바람직하다. 즉, 7가닥의 연선을 꼬아서 1가닥의 강연선을 만들고 이와 같은 1가닥의 강연선 7가닥에 의해 긴장재(120)가 형성될 수 있다. 앵커 헤드(240)에 형성된 강연선 구멍(220)에는 7가닥의 연선이 꼬여서 형성된 7가닥의 강연선이 하나씩 통과하게 된다.
- [0063] 정착구(210)에는 전극부(270)가 매립 형성될 수 있다. 여기서, 전극부(270)는 메쉬(mesh) 타입의 전극 본체(271) 및 전극 본체(271)의 일단에 형성된 전극 프로브(272)를 포함할 수 있다.
- [0064] 도 5 및 도 6을 참조하면, 전극부(270)의 전극 본체(271)는 구리 와이어 메쉬 타입으로 형성되고, 전극 프로브(272)는 전극 본체(271)의 길이방향 일단에서 길게 연장 형성될 수 있다. 전극 프로브(272)는 한 가닥의 구리 와이어로 형성되는 반면에 전극 본체(271)는 그 가장자리가 직사각형 모양으로 일정한 면적을 가지도록 형성되는 것이 바람직하다. 이와 같은 형태를 가지기 때문에 전극 본체(271)는 정착구(210)의 길이방향 전체에 걸쳐 정착구(210)에 매립될 수 있다.
- [0065] 도 5를 참조하면, 전극부(270)는 정착구(210)의 길이방향 모서리 쪽에 마련될 수 있다. 구리 와이어 메쉬 타입의 전극 본체(271)는 정착구(210)의 길이방향 전체에 대응하도록 마련되고, 전극 본체(271)의 일단에 연장 형성된 전극 프로브(272)는 정착구(210)의 외면에서 돌출되도록 마련될 수 있다.
- [0066] 여기서, 전극부(270)는 정착구(210)의 모서리에 대응하는 부위에 각각 1개씩 총 4개가 마련될 수 있다. 이때, 정착구(210)의 마주 보는 2면을 따라 각각 2개씩 배치된 전극부(270)는 전극 본체(271)가 서로 마주 보도록 배치될 수 있다. 즉, 도 5에 도시된 바와 같이, 전극 본체(271)의 면 부분이 서로 마주 보도록 2개씩 한 쌍이 되도록 전극부(270)가 정착구(210)에 마련되는 것이 바람직하다.
- [0067] 전극 프로브(272)는 스틸 플레이트(230)의 외부로 노출되어야 한다. 왜냐하면, 테스터(미도시)에 전극 프로브

(272)를 물려야 전기저항 변화를 측정할 수 있기 때문이다. 이를 위해서, 스틸 플레이트(230)에는 프로브 구멍(232)이 관통 형성될 수 있다. 프로브 구멍(232)은 스틸 플레이트(230)의 꼭지점 가까운 부분에 형성되는 것이 바람직하다.

[0068] 이하에서는 본 발명에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템(100,200)의 정착구(110,210)에 사용되는 즉, 정착구(110,210)의 재료가 되는 스마트 콘크리트 조성물에 대해서 설명한다.

[0069] 도 7은 본 발명에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템에 대한 압축 하중 크기에 따른 전기-역학적 응답 특성의 실험 결과를 보여주는 그래프이다.

[0070] 도 8 및 도 9는 본 발명에 따른 스마트 콘크리트 정착구 시스템에 대한 반복 압축하중에 대한 전기저항 변화율에 대한 실험 결과 및 전기저항 변화율과 압축 하중 간의 상관관계를 보여주는 그래프이다.

[0071] 우선, 본 발명에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템(100,200)의 정착구(110,210)를 형성하는 스마트 콘크리트 조성물은, 시멘트(Cement), 실리카 흙(Silica fume), 실리카 파우더(Silica powder), 고성능 감수제(Super plasticizer) 및 물(Water)을 포함하고, 섬유 보강재(Fiber contents)를 포함할 수 있다. 여기에, 실리카 샌드(Silica sand) 또는 스틸 슬래그(Steel slag) 중 적어도 어느 하나를 포함할 수 있다. 즉, 실리카 샌드(Silica sand)만 포함하거나 스틸 슬래그(Steel slag)만 포함하거나 실리카 샌드(Silica sand)와 스틸 슬래그(Steel slag)를 모두 포함할 수도 있다.

표 1

Notation	Cement	Silica sand	Steel slag	Silica fume	Silica powder	Super-plasticizer	Water	$f_{ck}$ (MPa)	Fiber contents (vol, %)
MF20	1.00	2.00	-	0.15	0.25	0.073	0.20	195	2
MF10		1.00				0.048		189	
MSF05		0.50	0.50			0.048		199	
MSF10		-	1.00			0.049		195	
MSF20			2.00			0.072		193	

[0072]

[0073] [표 1]은 본 발명에 따른 스마트 콘크리트 조성물의 혼입량(함유량)에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. [표 1]에서 MF20, MF10, MSF05, MSF10, MSF20은 각각의 조성물을 함유하는 스마트 콘크리트의 매트릭스(시편)을 의미한다. [표 1]에서  $f_{ck}$ 는 압축강도를 의미한다.

[0074] 시멘트, 실리카 흙, 실리카 파우더의 혼입량은 일정하게 하고 실리카 샌드 또는 스틸 슬래그의 혼입량을 다르게 하여 상기 5개의 매트릭스(MF20, MF10, MSF05, MSF10, MSF20)을 구분하였다.

[0075] MF20, MF10은 실리카 샌드는 혼입되어 있지만 스틸 슬래그는 혼입되어 있지 않다. MF20은 시멘트의 중량에 대하여 실리카 샌드 200%의 중량으로 혼입되며, MF10은 시멘트의 중량에 대하여 실리카 샌드가 100%의 중량으로 혼입된다. 즉, MF10은 시멘트와 실리카 샌드가 동일한 중량으로 혼입된다.

[0076] 또한, MSF10, MSF20은 스틸 슬래그는 혼입되어 있지만 실리카 샌드는 혼입되어 있지 않다. MSF10은 시멘트의 중량에 대해서 스틸 슬래그가 100%의 중량으로 혼입되고, MSF20은 시멘트의 중량에 대해서 스틸 슬래그가 200%의 중량으로 혼입된다.

[0077] 마지막으로, MSF05는 실리카 샌드와 스틸 슬래그가 모두 혼입되어 있으며 시멘트의 중량에 대해서 실리카 샌드가 50%의 중량, 스틸 슬래그가 50%의 중량으로 혼입된다.

[0078] 한편, 기능성 필러(Functional filler)로 사용된 섬유 보강재(Fiber contents)는 길이가 짧은 스틸 섬유(short smooth steel fiber)이고 짧은 길이에 인장강도가 우수하고 전기-역학적 응답 특성을 증진시키는 재료로써, 각 매트릭스 별 정착구(110,210)의 부피(체적)에 대해 2%를 혼입하는 것이 바람직하다. 여기서, 정착구(110,210)의 부피는 정착구(110,210)의 가운데에 형성된 구멍을 제외한 정착구(110,210)만의 부피를 의미하며, 섬유 보강재는 이러한 정착구(110,210)의 부피에 대해서 2%의 부피로 혼입되는 것이 바람직하다.

- [0079] 스마트 콘크리트의 조성물로 사용되는 시멘트는 밀도(Density)  $3.14 \text{ g/m}^3$ , 순도(Fineness)  $3630 \text{ cm}^2/\text{g}$ , 안정도(Stability) 1 mm의 물성을 가지는 것을 사용하는 것이 바람직하다.
- [0080] 실리카 샌드는 "규사"라고 불리기도 하며, 입자의 평균 직경(Average diameter) 0.25 mm이고,  $\text{SiO}_2$  99.94%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.0710%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0.0185%,  $\text{CaO}$  0.0029%를 함유할 수 있다.
- [0081] 스틸 슬래그는 "체강슬래그 잔골재"라고 불리기도 하며, 입자의 평균 직경(Average diameter) 0.39 mm이고,  $\text{SiO}_2$  18.2%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  29.8%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  10.9%,  $\text{CaO}$  17.4%를 함유할 수 있다.
- [0082] 실리카 흡은 90%를 넘는 이산화규소(Silicon dioxide), 1%를 넘지 않는 수분(Moisture content), 강열감량(LOI: Loss on Ignition) 0.20%, 체적 밀도(Bulk density)  $200\sim 350 \text{ kg/m}^3$ , 1.5% 보다 작은 Retained on 45 micron sieve를 가진다.
- [0083] 실리카 파우더는 체적 밀도(Bulk density)  $0.73 \text{ kg/m}^3$ , 비중(Specific gravity) 2.65, pH 7.1이고,  $\text{SiO}_2$  99.5%를 함유할 수 있다.
- [0084] 고성능 감수제(Super plasticizer)는 고유동화제 또는 콘크리트 유동화제라고도 불리며, 폴리카복산계(Polycarboxylate type)이고, 비중 1.070, pH 5.0이며, 0.01% 보다 작은 Amount of alkali, 0.01% 보다 작은 Amount of chloride를 가진다.
- [0085] 섬유 보강재는 short smooth steel fiber로서, 직경 0.2 mm, 길이 6 mm, 인장강도(Tensile strength) 2104 MPa, 탄성률(Elastic modulus) 200 GPa이다.
- [0086] PS 콘크리트(PSC) 구조물에 사용되는 PC 강연선 중 7연선 강연선 (15.2 mm)을 사용하는 PS 구조물을 대상으로 강연선 7 가닥을 사용하는 정착구의 긴장재 정착에 필요한 스틸 플레이트(130,230)의 크기, 트럼펫 등을 고려하여 설계안을 다음과 같이 제시할 수 있다.
- [0087] 스마트 콘크리트 정착구(110,210)의 최대 압축 하중은 스틸 플레이트(130,230)와 연결된 단면적이 받는 하중이다. 따라서, 최대 압축력 ( $P_{\max}$ )는 [수학식 1]에 의해 계산될 수 있다.

**수학식 1**

$$P_{\max} = 0.8 \times f_{pu} \times n_{\text{strand}} \times A_{\text{strand}}$$

- [0088]
- [0089] [수학식 1]에서  $f_{pu}$ 는 강연선의 최대 인장 강도,  $n_{\text{strand}}$ 는 보강된 강연선의 개수,  $A_{\text{strand}}$ 는 강연선의 단면적, 그리고 0.8은 강연선에 가해진 긴장력의 80%만을 고려한 계수이다.
- [0090] 최대 압축 응력 ( $\sigma_{\max}$ )는 [수학식 2]와 같이 계산할 수 있다.

**수학식 2**

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\max}}{A_{\min}} ; A_{\min} = H \times W - \frac{\pi \times (\Phi C)^2}{4}$$

- [0091]
- [0092] [수학식 2]에서  $A_{\min}$ 은 스마트 콘크리트를 관통하는 트럼펫의 직경을 제외한 압축력이 작용하는 콘크리트의 단면적,  $\Phi C$ 는 트럼펫의 직경, 그리고 H와 W는 스마트 콘크리트 정착구의 높이와 폭이다.
- [0093] [수학식 1]과 [수학식 2]에 의하여 계산된 스마트 콘크리트 정착구(110,210)의 강연선에 의한 최대 압축 하중 및 최대 압축 응력을 [표 2]에 나타내었다.

표 2

Strand diameter (mm)	$n_{strand}$ (ea)	$A_{strand}$ (mm <sup>2</sup> )	$f_{pu}$ (MPa)	Tensile strength of strand (MPa)	$P_{max}$ (KN)	$A_{min}$ (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{max}$ (MPa)
7	7	139.4	2160	1728	1678	34458	48.7

[0094]

[0095]

[표 2]에서 Strand diameter는 강연선의 직경, Tensile strength는 강연선의 인장강도,  $A_{min}$ 은 강연선 1가닥의 단면적이다.

[0096]

이에 따라 이론적으로 설계된 스마트 콘크리트 정착구(110,210)에 대하여 스마트 콘크리트 정착구(110,210)의 형상과 사용된 정착판 그리고 트럼펫 등의 규격을 [표 3]에 나타내었다.

표 3

The number of strand, $n_{strand}$ (ea)	Geometry of smart concrete anchorage(mm)					Steel plate, A (mm)
	Concrete			Trumpet		
	Height, H	Depth, W	Length, L	Diameter, $\varnothing C$	Length, F	
7	200	200	300	84	300	200

[0097]

[0099]

\* 시험체 제작

[0100]

본 출원인은 상기한 5개의 스마트 콘크리트 매트릭스에 대해서 전기저항 변화를 실험하기 위해서 시험체를 제작하였다. 7 연선 강연선 7 가닥이 사용될 때의 스마트 콘크리트 정착구 설계를 바탕으로 원통형 준공 단면을 갖는 200\*200\*300 mm 크기의 시험체를 제작 및 사용하였다. 전기-역학적 응답 조사를 위해 45\*300 mm 크기로 제단한 구리 와이어 메쉬 전극을 스마트 콘크리트 정착구 제작 몰드에 150 mm 간격으로 배치 후 고정하였다. 배합은 물과 감수제를 제외한 시멘트와 혼화제를 넣고 진배합을 진행하였으며, 배합수는 재료의 유동성 확보와 재료 분리를 방지하고자 4회에 걸쳐 나누어 투입하였다. 감수제는 배합의 상태에 따라 소량으로 나누어 투입 후, 배합이 끝난 모르타르는 스마트 콘크리트 정착구 제작 몰드에 타설과 진동을 4회 반복하여 시험체를 제작하였다. 시험체 제작일로부터 2일간 25±2℃에서 기건 양생 이후 탈형을 진행하였으며, 탈형이 끝난 시험체는 3일간 90±2℃에서 고온 수중 양생을 실시하였다.

[0102]

\* 실험 과정

[0103]

스마트 콘크리트 정착구(110,210)의 정적 압축 하중상태에 따른 전기-역학적 응답 조사를 목적으로, 만능재료시험기 (Universal Testing Machine, UTM)를 사용해 1 mm/min의 하중속도로 정적 압축 실험을 진행하였으며, 전기-역학적 응답 조사를 위해 교류 전기저항 측정기(Alternating Current measurement, AC)를 사용한 2 탐침 저항 측정방법 (2-probe resistance measurement)으로 압축 하중 상태에 따른 전기 저항의 변화를 측정하였다. 실험시 실제 스마트 콘크리트 정착구가 받는 하중 상태를 재현 하고자, 설계된 정착판과 동일한 크기를 갖는 200\*200 mm의 상부 가압판(스틸 플레이트)을 사용하여 실험을 진행하였다.

[0105]

\* 실험 데이터 분석 방법

[0106]

정적 압축 하중 하에서의 스마트 콘크리트 정착구의 전기-역학적 응답을 확인하기 위해 사용된 AC 전기저항은 정착구의 고유주파수(natural frequency)의 주파수 영역에서의 교류 전기저항 (resistance, R)을 사용하였다.

[0107]

도 7 내지 도 9에서, 전기저항의 변화율(Fractional change in resistance, FCR)은 압축 하중을 받고 있지 않은 스마트 콘크리트 정착구의 전기저항( $R_0$ )을 기준으로 압축 하중이 증가함에 따라 감소하는 전기저항( $R_{10}, R_{20} \dots R_{50}$ )의 변화율로 [수학식 3]과 같이 계산되며, 이때 n은 전기저항 측정시의 압축 하중 값이고  $R_n$ 은

압축 하중 n에서의 전기저항 값이다.

**수학식 3**

$$FCR = \frac{R_n - R_0}{R_0} \times 100$$

[0108]

[0110] \* 실험 결과

[0111] 정적 압축 하중 하에서 개발된 스마트 콘크리트 정착구(110,210)의 전기-역학적 응답 조사 결과를 도 7과 [표 4]에 나타내었다.

**표 4**

Compressive stress (MPa)	Fractional change in resistance, FCR(%)				
	MF20	MF10	MSF05	MSF10	MSF20
10	0.8	2.9	1.2	3.0	0.2
20	1.7	5.5	5.0	7.8	1.7
30	3.3	7.6	8.9	11.1	3.1
40	3.6	9.5	11.5	14.8	4.7
50	4.6	11.3	13.4	17.9	7.4

[0112]

[0113] [표 4]는 스마트 콘크리트 정착구의 배합 별(5개의 매트릭스 별) 압축 하중 크기에 따른 전기-역학적 응답을 나타내며, [표 4]에서 Compressive stress는 압축 하중, Fractional change in resistance(FCR)은 전기저항 변화율을 나타낸다.

[0114] 도 7의 (a)는 5개의 매트릭스에 대해서 압축 하중의 크기에 따른 저항의 변화율을 보여주는 그래프이고, (b)는 5개의 매트릭스에 대해서 압축 하중이 최대(50MPa)일 때의 전기저항 변화율을 보여주는 그래프이다.

[0115] 실험 결과, 도 7의 (a)에 도시된 바와 같이, 긴장재로부터 스마트 콘크리트 정착구(110,210)가 재하 받는 최대 응력 48.7 MPa 범위 내에서 다섯 가지 종류(즉, 5개의 매트릭스)의 스마트 콘크리트 정착구 모두 압축 하중의 크기가 증가함에 따라 전기 저항이 감소하는 경향을 보였다.

[0116] 초기 전기 저항에서부터 50 MPa이 가해지는 지점에서의 전기 저항 변화율의 경우(도 7의 (b) 참조), 스틸 슬래그(제강슬래그 잔골재)가 시멘트 중량 대비 100%의 중량으로 혼입된 MSF10이 17.9%의 전기저항 감소율(변화율)로 가장 우수한 전기-역학적 응답을 나타내었다.

[0117] 실리카 샌드(규사)와 스틸 슬래그(제강슬래그 잔골재)가 각각 시멘트 중량 대비 50%의 중량으로 혼입된 MSF05와, 스틸 슬래그(제강슬래그 잔골재)가 시멘트 중량 대비 200%의 중량으로 혼입된 MSF20의 경우, 50 MPa의 압축 하중에서 각각 13.4%, 7.4%의 전기 저항 변화율을 보였으며, 실리카 샌드(규사)가 시멘트 중량 대비 각각 100%, 200%의 중량으로 혼입된 MF10, MF20의 경우 각각 11.4%, 4.6%의 전기저항 변화율을 나타내었다.

[0118] 도 8는 MSF10 스마트 콘크리트 정착구에 대한 전기-역학적 응답 특성 실험 결과로서, (a)는 MSF10에 대해서 반복 압축하중에서의 전기저항 변화율을 나타내는 그래프이고, (b)는 MSF10에 대해서 전기저항 변화율과 압축 하중 간의 상관관계를 나타내는 그래프이다.

[0119] MSF10 스마트 콘크리트 정착구는 도 7의 (b)에서 알 수 있듯이 17.9%의 가장 높은 전기저항 변화율을 나타냄과 동시에 도 8의 (a)와 같이 반복 압축 하중을 적용하였을 때 동일한 전기-역학적 응답을 보이는 것으로 확인되었다. 도 8의 (a)에서, 가로축은 시간을 나타내고 좌측 세로축은 전기저항 변화율을 나타내며 우측 세로축은 압축 하중을 나타낸다.

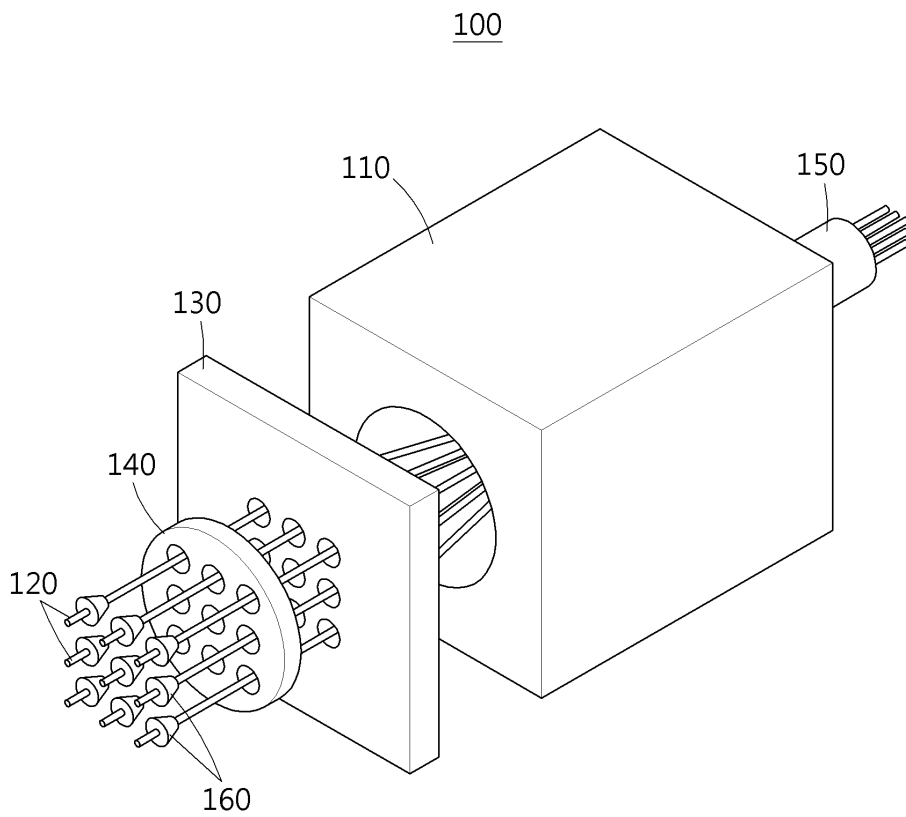
- [0120] 또한, 도 8의 (b)와 같이 압축 하중의 변화에 따른 전기저항의 변화율이 선형적으로 감소하는 것으로 나타났다. 즉, 도 8의 (b)에서, 점선은 압축 하중과 전기저항 변화율의 관계에 대해서 커브 피팅을 한 결과로서 압축 하중이 변함에 따라 전기저항의 변화율이 선형적으로 감소한다고 볼 수 있다.
- [0121] 도 9는 MF10 스마트 콘크리트 정착구에 대한 전기-역학적 응답 특성 실험 결과로서, (a)는 MF10에 대해서 반복 압축하중에서의 전기저항 변화율을 나타내는 그래프이고, (b)는 MF10에 대해서 전기저항 변화율과 압축 하중 간의 상관관계를 나타내는 그래프이다.
- [0122] MSF10의 다음으로 우수한 전기-역학적 응답을 보인 정착구는 실리카 샌드(규사)와 스틸 슬래그(제강슬래그 잔골재)가 각각 시멘트 중량 대비 50%의 중량으로 혼입된 MSF05와, 실리카 샌드(규사)가 시멘트 중량 대비 100%의 중량으로 혼입된 MF10으로 유사한 전기저항 변화량을 나타내었다.
- [0123] MSF05의 경우에는 MF10의 전기저항 변화율 11.4% 비해 2% 높은 13.4%의 전기저항 변화율을 가지는 것으로 나타났다으나, 도 7의 (a)에 도시된 바와 같이 MF10이 MSF05에 비해 선형적인 전기저항 변화율을 나타내기 때문에, 긴장재의 긴장력 감지에는 MSF05 보다 MF10이 적합할 것으로 판단된다.
- [0124] 또한, 도 9에서 알 수 있듯이, MF10은 가장 우수한 전기-역학적 응답을 보인 MSF10과 유사하게 반복 압축하중 하에서의 동일한 전기저항 변화율 거동(도 9의 (a) 참조)을 나타내고, 압축 하중의 변화에 따른 전기저항의 변화율이 선형적으로 감소하는 것(도 9의 (b) 참조)을 알 수 있다.
- [0125] 상기에서 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물은, 실리카 샌드(규사) 또는 스틸 슬래그(제강슬래그 잔골재) 중 어느 하나가 포함되는 경우에는 실리카 샌드(규사) 또는 스틸 슬래그(제강슬래그 잔골재)는 시멘트의 중량에 대하여 100%의 중량으로 혼입될 수 있다(MF10, MSF10 참조).
- [0126] 또한, 실리카 샌드(규사) 및 스틸 슬래그(제강슬래그 잔골재)가 모두 포함되는 경우에는 실리카 샌드(규사) 및 스틸 슬래그(제강슬래그 잔골재)는 각각 시멘트의 중량에 대하여 50%의 중량으로 혼입될 수 있다(MSF05 참조).
- [0127] 한편, [표 1]을 참조하면, 실리카 흙(silica fume)은 시멘트의 중량에 대하여 15%의 중량으로 혼입되고, 실리카 파우더(silica powder)는 시멘트의 중량에 대하여 25%의 중량으로 혼입될 수 있다. 즉, 본 발명에 따른 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물의 경우, 실리카 파우더는 실리카 흙에 대해서 1.67의 중량부로 혼입되는 것이 바람직하다.
- [0128] 고성능 감수제(super plasticizer)는 시멘트의 중량에 대하여 4.8~4.9 %의 중량으로 혼입되는 것이 바람직하다. [표 1]을 참조하면, MF10은 고성능 감수제(super plasticizer)가 시멘트의 중량에 대하여 4.8%의 중량으로 혼입되고, MSF05는 고성능 감수제(super plasticizer)가 시멘트의 중량에 대하여 4.8%의 중량으로 혼입되고, MSF10은 고성능 감수제(super plasticizer)가 시멘트의 중량에 대하여 4.9%의 중량으로 혼입되는 것이 바람직하다.
- [0129] 상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 PSC 구조물 긴장재의 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물 및 스마트 콘크리트 정착구 시스템은, 긴장재가 고정되는 정착구를 전기-역학적 특성을 가지며 자기 감지가 가능한 스마트 콘크리트로 형성함으로써 별도의 센서 없이 긴장재의 손상 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있고 긴장재의 파손시 신속한 대응이 가능하다.
- [0130] 또한, 본 발명에 따른 PSC 구조물 긴장재의 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 조성물 및 스마트 콘크리트 정착구 시스템은 정착구의 형태, 구조 또는 모양에 상관 없이 적용할 수 있다.
- [0131] 또한, MSF10 및 MF10의 조성을 가지는 스마트 콘크리트 정착구는 압축 하중과 전기저항 변화율 사이의 관계식을 바탕으로 정착구의 전기저항을 측정하는 것으로 긴장재의 긴장력과 손실량을 감지할 수 있으며, 긴장재를 재긴장하는 보수보강 시에도 해당 스마트 콘크리트 정착구는 손상 없이 동일한 긴장재 손실 감지성을 유지할 수 있다.
- [0133] 이상과 같이 본 발명의 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.

**부호의 설명**

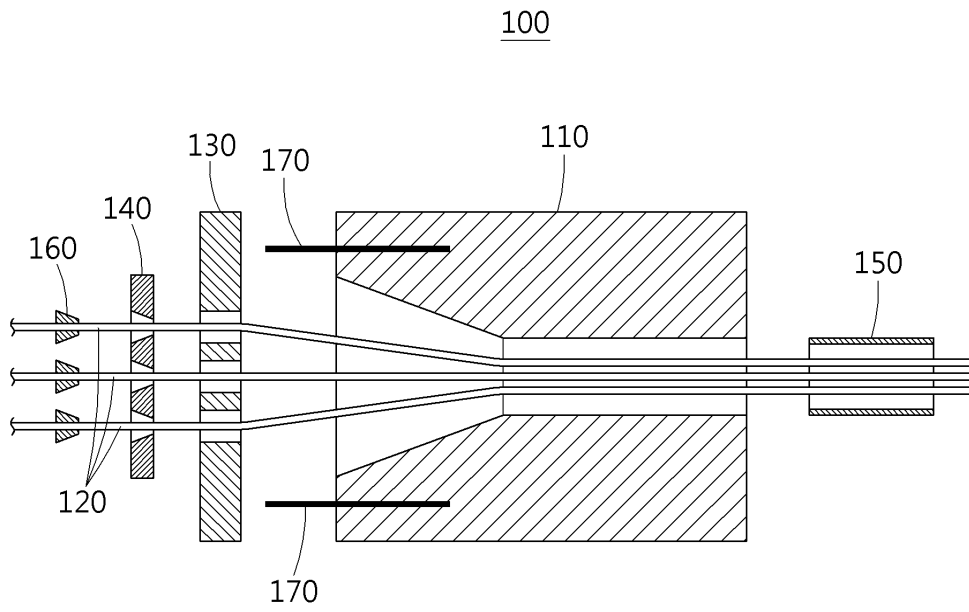
- [0134] 100,200: 긴장력 손실 모니터링을 위한 스마트 콘크리트 정착구 시스템  
 110,210: 정착구 120: 긴장재  
 130,230: 스틸 플레이트 140,240: 앵커 헤드  
 150: 스위스 파이프 160: 썬기  
 170,270: 전극부 271: 전극 본체  
 272: 전극 프로브 ES: 전기적 신호

**도면**

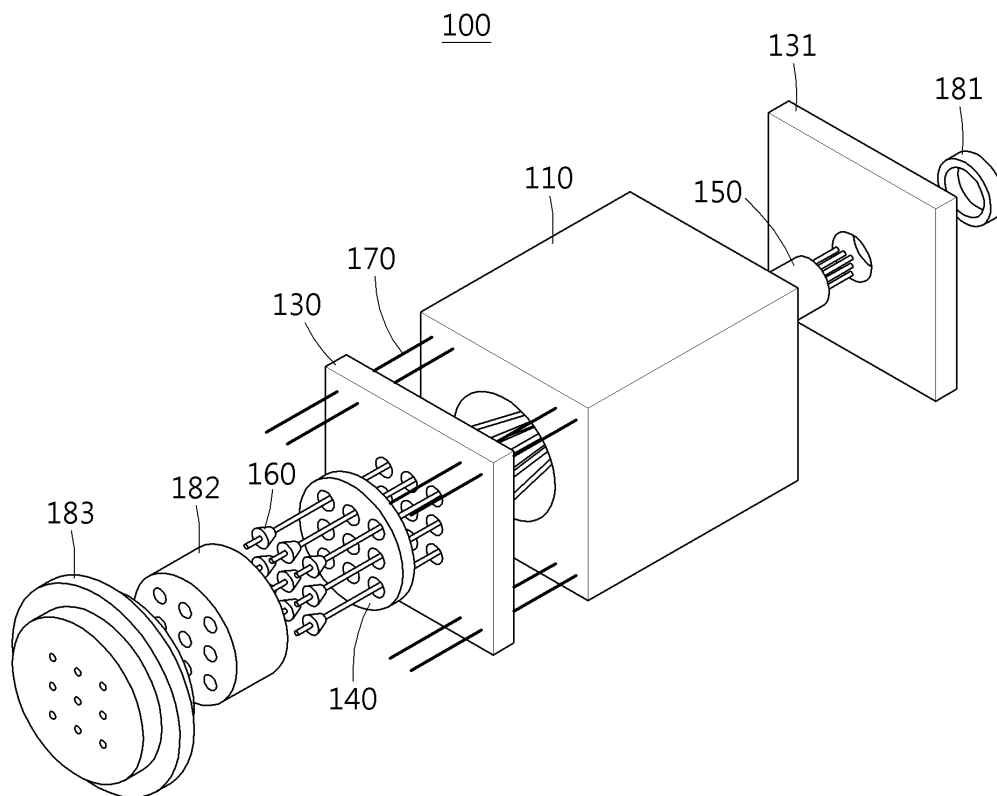
**도면1**



도면2

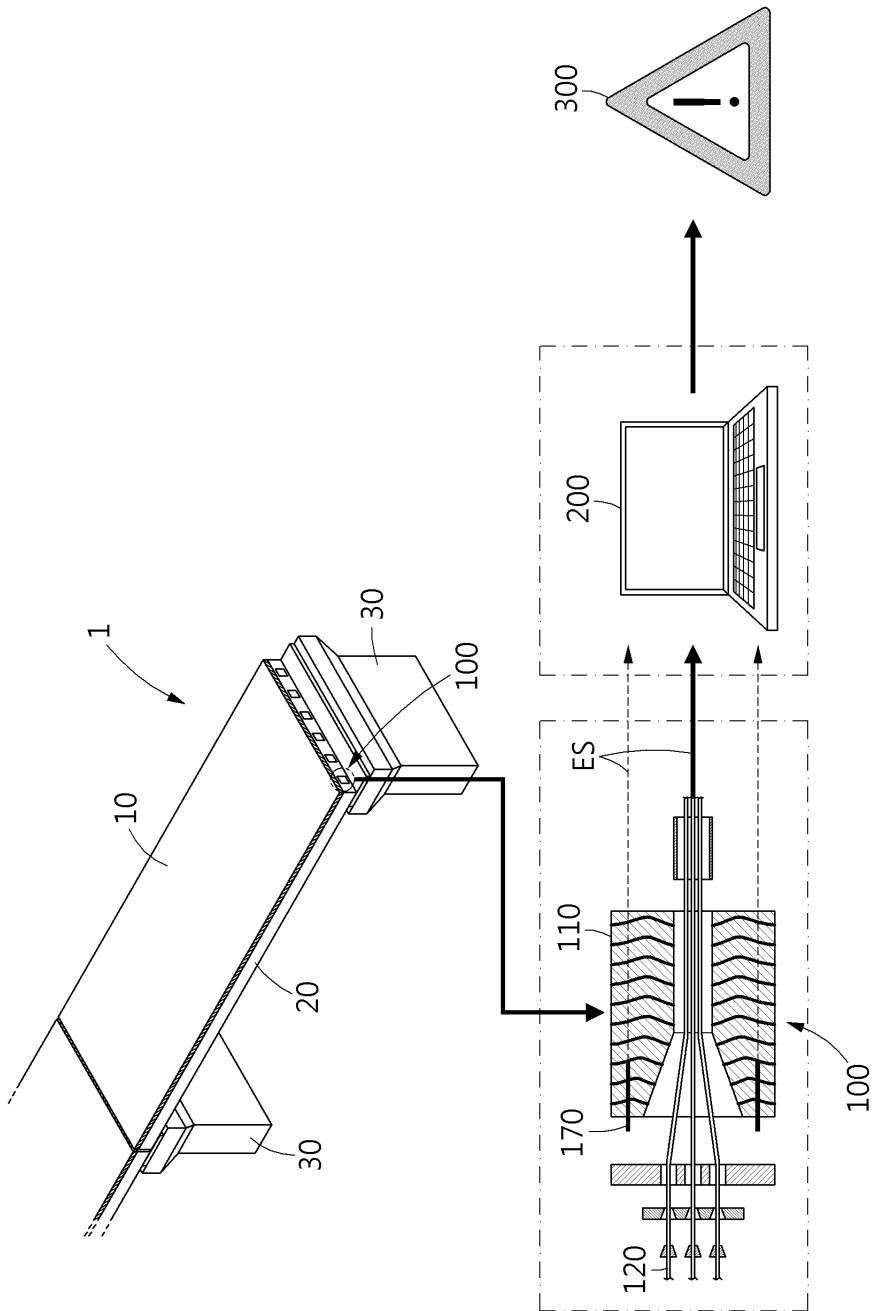


도면3

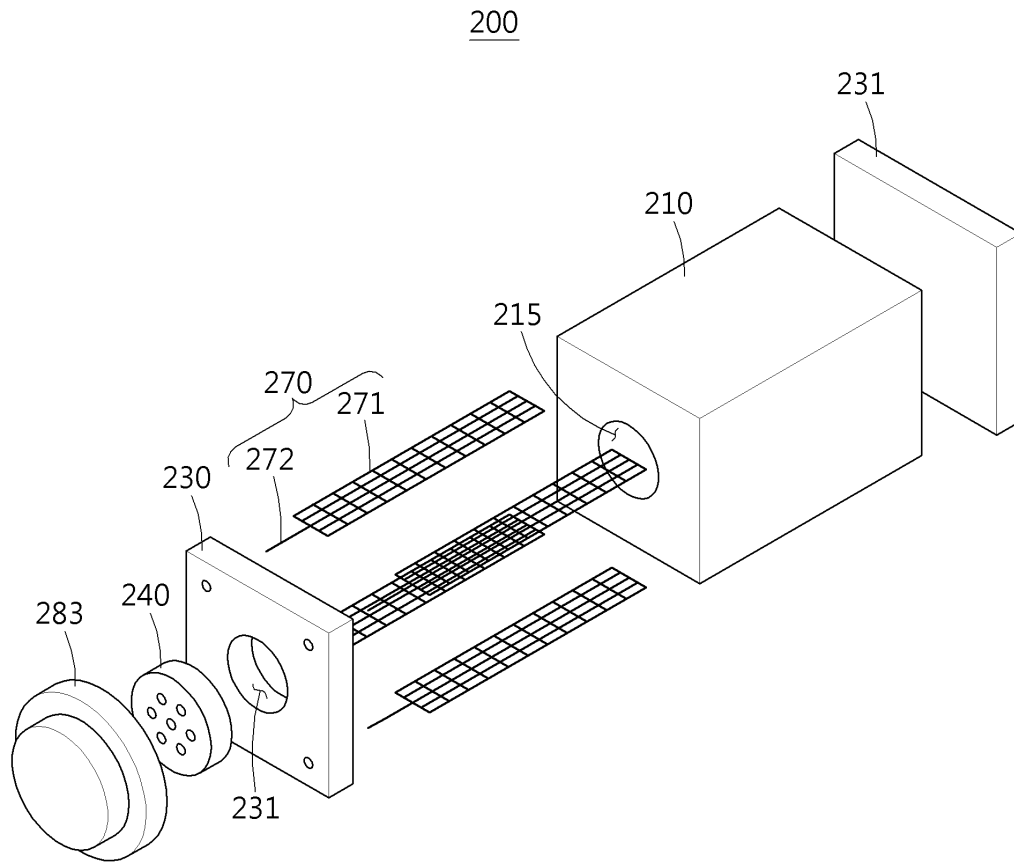




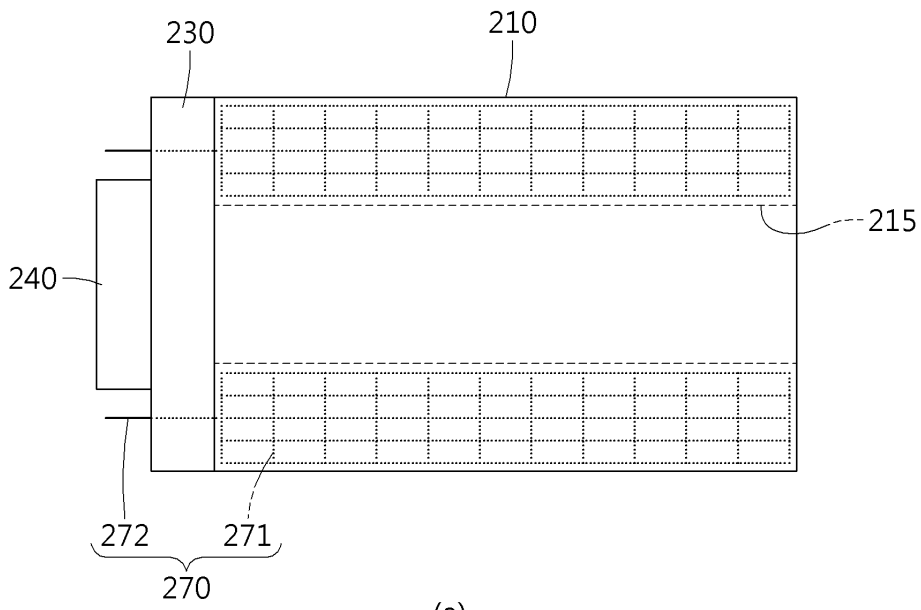
도면4



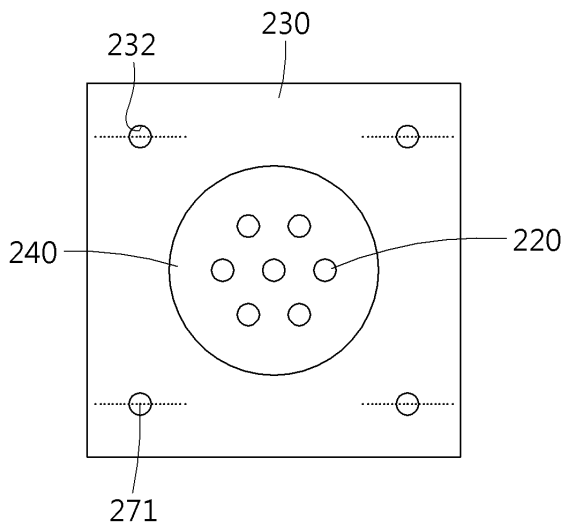
도면5



도면6

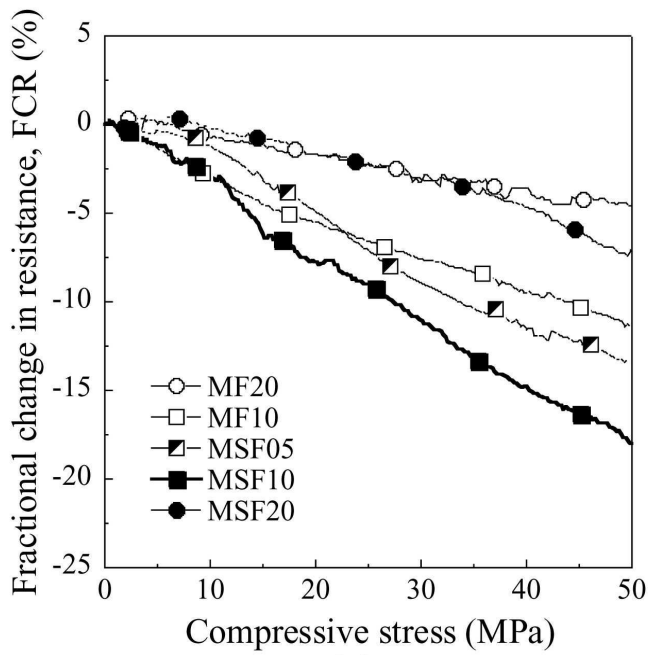


(a)

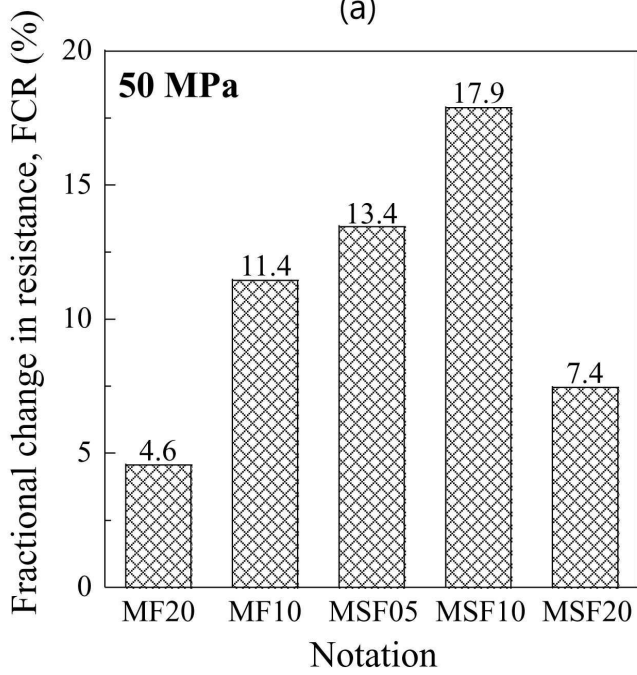


(b)

도면7

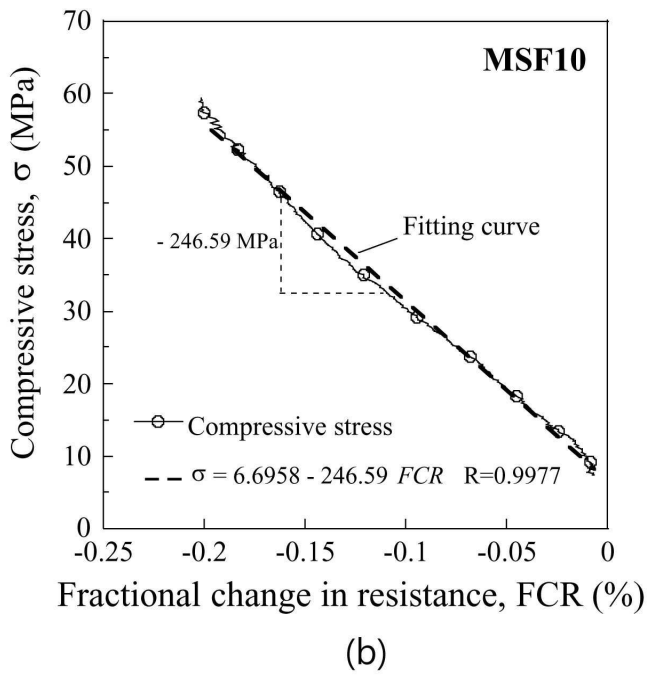
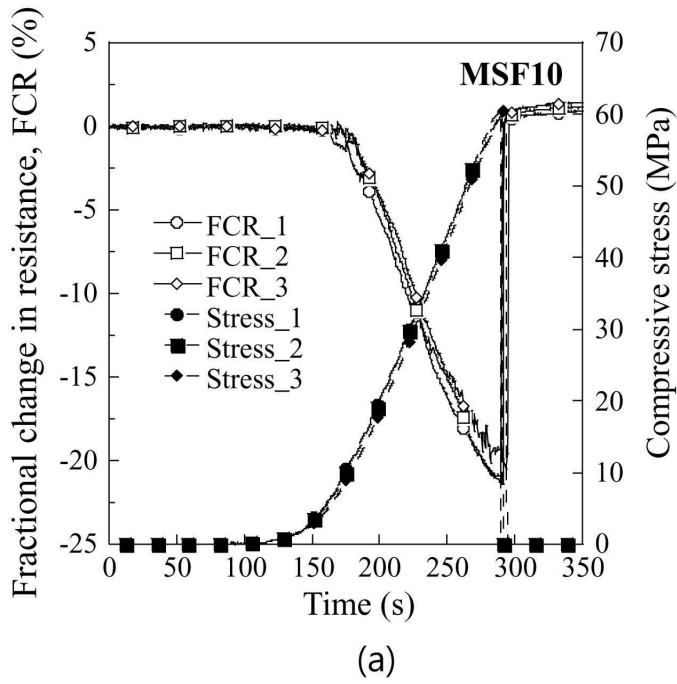


(a)

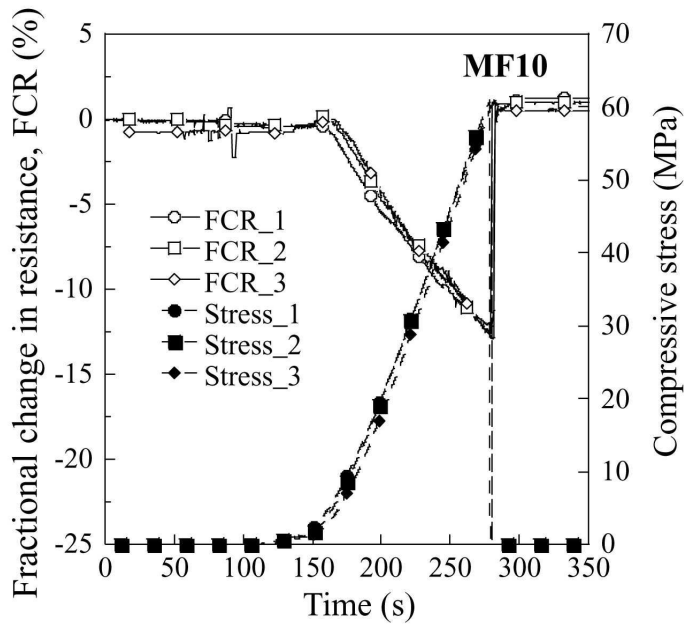


(b)

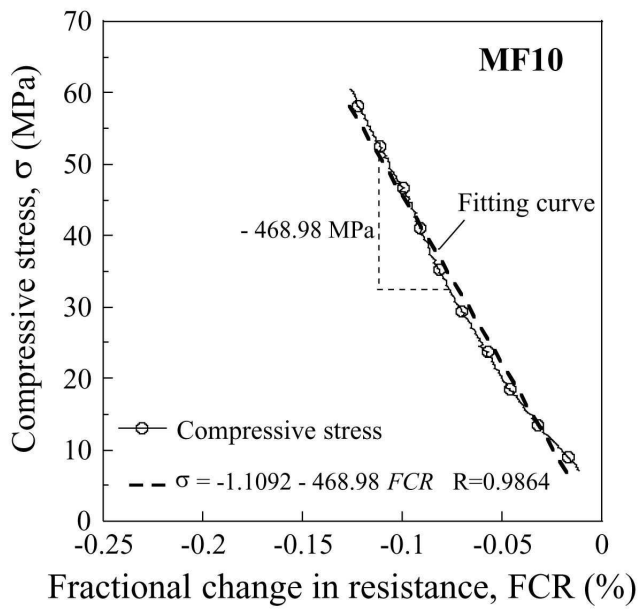
도면8



도면9



(a)



(b)