



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년09월20일
(11) 등록번호 10-1888481
(24) 등록일자 2018년08월08일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 <i>C04B 14/48</i> (2006.01) <i>C04B 14/06</i> (2006.01)
 <i>C04B 14/42</i> (2006.01) <i>C04B 18/14</i> (2006.01)
 <i>C04B 20/00</i> (2006.01) <i>C04B 28/02</i> (2006.01)
 <i>C04B 111/90</i> (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 <i>C04B 14/48</i> (2013.01)
 <i>C04B 14/06</i> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2017-0085977
 (22) 출원일자 2017년07월06일
 심사청구일자 2017년07월06일</p> <p>(30) 우선권주장
 1020170054353 2017년04월27일 대한민국(KR)</p> <p>(56) 선행기술조사문헌
 KR1020120052544 A*
 KR1020150113869 A*
 JP2014195957 A
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌</p> | <p>(73) 특허권자
 세종대학교산학협력단
 서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)</p> <p>(72) 발명자
 김동주
 서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 광개토관 321호
 김민경
 서울특별시 광진구 능동로 209 세종대학교 충무관 706호</p> <p>(74) 대리인
 특허법인(유)화우</p> |
|--|--|

전체 청구항 수 : 총 10 항

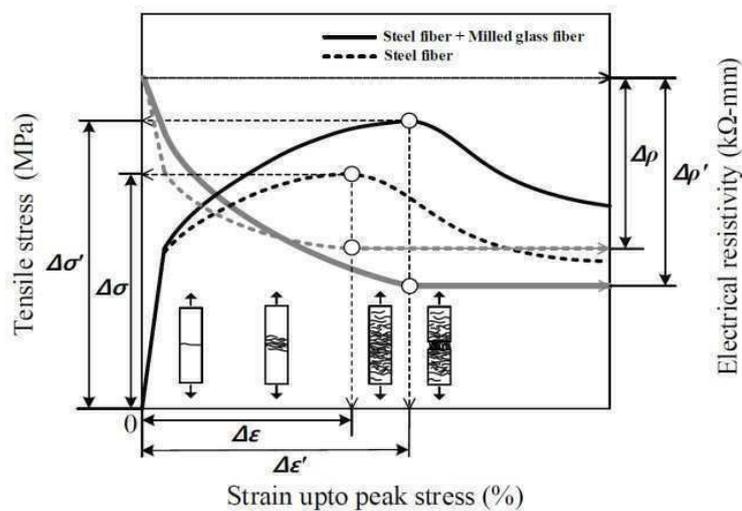
심사관 : 문영준

(54) 발명의 명칭 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은, 초단유리섬유가 혼입되어, 균열 및 손상을 자기 감지(self-detected) 할 수 있는 강섬유 보강 시멘트 복합재료 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 초단유리섬유를 포함함으로써 균열 발생 전과 후의 전기저항 변화율이 커 구조물의 손상에 따른 감지 능력이 우수하다. 또한, 시멘트 복합재료의 높은 기계적 성능을 유지하기 위하여 포함되는 강섬유의 일부를 초단유리섬유로 대체할 수 있도록, 강섬유와 초단유리섬유를 같이 혼합함으로써, 구조물의 손상에 따른 감지 능력이 우수할 뿐만 아니라 우수한 기계적 물성을 부여할 수 있는 장점이 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

- C04B 14/42* (2013.01)
- C04B 18/146* (2013.01)
- C04B 20/0052* (2013.01)
- C04B 28/02* (2013.01)
- C04B 2111/90* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615008676
부처명	국토교통부
연구관리전문기관	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	국토교통기술촉진연구사업
연구과제명	SOC 시설물 재해·재난 방지를 위한 자가센싱 섬유보강 시멘트 복합재료 기반의 스마트 모
니터링 시스템	
기여율	1/1
주관기관	세종대학교 산학협력단
연구기간	2016.06.22 ~ 2018.06.21

명세서

청구범위

청구항 1

균열 자기 감지를 위한 시멘트 복합재료에 있어서,

시멘트, 실리카 흙, 실리카 샌드, 플라이 애쉬, 고강도 혼화제, 섬유 및 용매를 포함하고,

상기 섬유는 강섬유(steel fiber) 및 유리섬유(glass fiber)를 포함하며,

상기 유리섬유(glass fiber)는, 평균 직경이 10 ~ 14 μm 이고, 평균 길이가 280 ~ 320 μm 인 초단유리섬유(milled glass fiber)인 것을 특징으로 하는, 초단유리 섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 강섬유(steel fiber)는, 서로 다른 길이를 갖는 복수 개의 강섬유로 이루어진 혼합물이며,

상기 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 1.5 ~ 2.5 vol% 포함되는 것을 특징으로 하는, 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 강섬유(steel fiber)는,

섬유의 길이가 28 ~ 32 mm인 장섬유(long smooth steel fiber); 및

섬유의 길이가 17 ~ 21 mm인 중섬유(medium smooth steel fiber);를 포함하는 것을 특징으로 하는, 초단유리 섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 강섬유(steel fiber)는, 장섬유와 중섬유가 1:0.5 ~ 1.5의 부피 비율로 혼합된 혼합물인 것을 특징으로 하는, 초단유리 섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료.

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 초단유리섬유(milled glass fiber)는, 상기 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 4 ~ 6 vol% 포함되는 것을 특징으로 하는, 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료.

청구항 7

유리섬유를 분쇄하여 초단유리섬유(milled glass fiber)를 제조하는 단계;

시멘트, 실리카 흙, 실리카 샌드, 플라이 애쉬, 고강도 혼화제, 강섬유(steel fiber) 및 용매를 혼합하여 혼합물을 제조하는 단계; 및

상기 혼합물에 초단유리섬유(milled glass fiber)를 혼합하는 믹싱단계;를 포함하는, 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료의 제조방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 초단유리섬유를 제조하는 단계는,

유리섬유를 분쇄하여 평균 직경이 10 ~ 14 μm 이고, 평균 길이가 280 ~ 320 μm 인 초단유리섬유를 제조하는 것을 특징으로 하는, 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료의 제조방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 혼합물을 제조하는 단계는, 시멘트, 실리카 흙, 실리카 샌드, 플라이 애쉬, 고강도 혼화제, 강섬유(steel fiber) 및 용매를 혼합하되,

상기 강섬유는, 시멘트 복합재료 내 1.5 ~ 2.5 vol%로 포함되는 것을 특징으로 하는, 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료의 제조방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 믹싱단계는,

상기 혼합물에 제조된 초단유리섬유가 시멘트 복합재료 내 4 ~ 6 vol% 되도록 혼합하는 것을 특징으로 하는, 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료의 제조방법.

청구항 11

제1항 내지 제4항 및 제6항 중 어느 한 항에 기재된 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 또는

제7항 내지 제10항 중 어느 한 항에 기재된 제조방법으로 제조된 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료로 시공된 균열 자기감지형 구조물.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 초단유리섬유가 혼입되어, 균열 및 손상을 자기 감지(self-detected) 할 수 있는 강섬유 보강 시멘트 복합재료 및 이의 제조방법에 관한 것으로, 통상적으로 하이브리드 섬유가 보강된 시멘트 복합재료를 사용한 구조물의 제조에 사용되는 강섬유 보강 시멘트 복합재료 조성물 중에서 강섬유의 일부를 초단유리섬유로 대체함으로써, 매트릭스의 전기저항을 증대하여 손상 및 균열의 발생으로 인한 전기저항변화를 극대화하여, 구조물 손상에 따른 감지 능력이 향상될 뿐만 아니라, 역학적인 물성은 동등 이상을 갖는, 강섬유 보강 시멘트 복합재료 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 시멘트와 골재 등의 복합재료를 통해 제조되는 콘크리트 구조물은 도시 건축물 및 사회기반시설 건립에 가장 폭 넓게 이용되고 있는 건축 구조물로서, 오랜 기간 동안 안전하고 견고하게 유지될 수 있도록 상기 콘크리트 구조물의 균열 및 손상으로 인한 붕괴 등의 위험을 실시간 혹은 사전에 감지하거나 예측할 수 있는 시스템에 관한 요구가 증가하고 있다.

[0004] 기존의 콘크리트 구조물의 손상을 감지하는 시스템에는 다양한 종류의 변형률 또는 변위 측정장치들을 추가적으로 설치하여 실시간 측정함으로써, 구조물의 손상 및 건전도를 측정하는 모니터링 시스템 및 안전진단 방법 등

이 수행되어 왔다.

- [0005] 또한, 다양한 전기화학적 방법들이 적용될 수 있는데, 그 중에서도 전기 비저항법은 콘크리트 구조물에 전류를 통전시켜 비저항을 측정하여 철근의 부식 정도를 조사하는 비파괴 부식진단법이 대표적인 예에 해당한다.
- [0006] 공개특허 제2011-0010853호에는 철근콘크리트 구조물의 전기비저항을 직접 측정하여 철근의 부식 환경 및 그 상태를 평가할 수 있는 비파괴부식진단시스템이 제시되어 있으며, 철근 직상부의 콘크리트 표면 외측에 두 개의 전류전극과, 내측에 두 개의 전압전극을 동일한 간격으로 철근 길이방향과 평행하게 설치하여 전류원에 의해 발생한 응답전압을 측정하여, 철근의 부식환경을 나타내는 철근 표면비저항을 추정하도록 함으로써 콘크리트 구조물의 철근의 부식 및 내구성에 관한 정기검사 및 상시 모니터링을 진행하는 것을 기술적 특징으로 하고 있다.
- [0007] 하지만, 이러한 콘크리트 구조물의 철근부식 및 내구성 상시 모니터링 방법은 단순히 콘크리트 내부에 형성된 전기 전도성 재질인 철근의 부식 정도만을 측정할 수 있는 한계가 있고, 전체적인 콘크리트 구조물의 균열과 같은 손상에 관한 정보를 제공할 수 없다는 문제점이 존재한다.
- [0008] 별도의 변형률 또는 변위를 측정하는 센서를 구조물에 별도로 부착 또는 매립하는 현재의 모니터링 시스템들은 구조물의 수명과 비교하여 볼 때, 매우 짧은 센서의 내구수명으로 인해 구조물의 전체 수명 동안 계속하여 사용될 수 없다는 문제점이 있다. 또한, 센서를 부착한 모니터링 시스템의 경우, 센서 위치에서만 응답을 가지고 전체 구조물의 건전성을 판단하기에는 다소 무리가 있다.
- [0009] 또한, 공개특허 제2005-0018744호에는 시멘트 페이스트 또는 모르타르에 폴리에틸렌(PE)섬유나 폴리비닐알코올(PVA)섬유 또는 폴리프로필렌(PP)섬유를 마이크로 섬유로, 강섬유(SF)나 스틸코드(SC) 또는 폴리비닐알코올(PVA)섬유를 매크로 섬유로 사용하여 제조된 고인성 시멘트 복합체가 제시되어 있는데, 이러한 고인성 시멘트 복합체는 휨 및 인장하중 작용 하에서 변형 경화특성과 멀티플 크랙 특성을 갖고 있어 높은 휨 및 인장강도, 변형능력 및 에너지 흡수능력을 발휘할 수 있을 뿐만 아니라 균열 폭을 제어함으로써 각종 열화인자의 침투를 억제할 수 있는 장점이 제시되어 있다.
- [0010] 최근 폴리비닐알코올(PVA) 섬유를 사용한 고인성 시멘트 복합체에 전도성이 우수한 카본블랙(Carbon black)을 혼입하여 균열 및 손상을 감지하는 결과를 발표한 바 있으나, 폴리비닐알코올 섬유의 낮은 전기전도성으로 인해 균열이 발생함에 따라 전기저항이 오히려 증가하였다.
- [0011] 기존 구조물 손상을 감지하기 위해, 다양한 전도성 재료(Carbon fiber, CNT, Carbon black, Nickel powder 등)가 보강된 자기감지 시멘트계 복합재료는 균열이 생기기 이전의 선탄성 구간 내에서만 변형 감지 특성을 갖고, 균열 발생 이후 그 감지능력을 잃어버리는 문제점이 존재한다.
- [0012] 이러한 단점을 보완하기 위해 강섬유를 혼입한 strain-hardening steel-fiber-reinforced concrete (SH-SFRC) 또는 강섬유와 carbon black을 함께 혼입한 시멘트계 복합재료의 손상 감지 능력에 관한 연구 역시 진행된 바 있으며, 강섬유 또는 강섬유와 carbon black의 혼입이 시멘트계 복합체 자체의 전기전도성을 증가시킴과 동시에 균열 발생 이후에도 감지능력이 유지되는 것으로 알려져 있다.
- [0013] 하지만, 강섬유는 경제적인 측면에서 비효율적이므로 고가인 강섬유의 사용량을 줄여 SH-SFRC의 높은 인장강도를 유지하면서도 손상에 따른 전기저항 변화를 크게 하여 손상에 대한 감지능력을 향상시키기 위한 방안이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0015] (특허문헌 0001) 공개특허 제2011-0010853호
- (특허문헌 0002) 공개특허 제2005-0018744호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0016] 본 발명은 앞서 종래기술에서 살펴본 강섬유 보강 시멘트 복합재료(SH-SFRC)와 같이 높은 인장강도가 높게 유지

되면서도, 손상에 따른 전기저항 변화 (ΔR 또는 $\Delta \rho$)를 극대화시킬 수 있고, 동시에 경제적인 측면에서 효율적인 자기 감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료(self-sensing steel-fiber-reinforced concrete, SS-SFRC) 및 이의 제조 방법에 관한 것으로, 이러한 강섬유 보강 시멘트 복합재료의 구성 성분 중에서, 비교적 고가의 강섬유의 사용량을 줄이고 초단유리섬유를 보강하는 것을 기술적 특징으로 하고 있다.

- [0017] 본 발명의 SS-SFRC는 균열이 발생한 이후에 균열 부위를 연결하는 고전도성의 강섬유를 통하여 전류가 흐르게 되어 균열 발생 후 전기저항이 감소하는 경향을 갖는다. 이러한 원리를 토대로 하여 매트릭스에 시멘트의 일부를 대체하여 초단유리섬유를 사용함으로써, 전기저항의 감소를 극대화 시키고자 한다.
- [0018] 본 발명에서 사용되는 초단유리섬유는, 통상적으로 섬유 보강제로써의 역할을 하는 유리섬유를 분말화시킨 재료로써, 단순한 섬유보강제가 아닌 SS-SFRC 매트릭스의 전기저항성을 향상시키는 역할을 한다.
- [0019] 일반적으로 SH-SFRC의 경우, 재료의 경제적인 비용을 절감하기 위해 콘크리트의 인장강도를 향상시키는 강섬유의 보강량을 줄일 경우에는 SH-SFRC의 인장강도가 감소하게 되지만, 본 발명의 경우에는 초단유리섬유를 추가로 사용함으로써 오히려 초단유리섬유의 보강 효과로 인해 SS-SFRC의 변형능력 및 인장강도를 향상시킬 수 있다.
- [0020] 특히 이러한 거동은 저장도 매트릭스에서 더욱 크게 나타나는데, 이는 고강도 매트릭스에서는 silica fume이 이미 공극을 메워 초단유리섬유가 자가 센싱 능력 향상에만 기여할 수 있으나, silica fume이 사용되지 않은 저장도 매트릭스의 경우에는, 초단유리섬유가 자가 센싱 능력 향상 역할과 동시에 공극을 메우는 역할을 수행하기 때문이다.

과제의 해결 수단

- [0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 유리섬유가 혼입된 균열 자기 감지를 위한 강섬유 보강 시멘트 복합재료는, 시멘트, 실리카 흙, 실리카 샌드, 플라이 애쉬, 고강도 혼화제, 섬유(fiber) 및 용매를 포함하고, 상기 섬유는 강섬유(steel fiber)와 유리섬유(glass fiber)의 혼합물인 것을 특징으로 한다.
- [0023] 바람직하게는 상기 강섬유(steel fiber)는, 서로 다른 길이를 갖는 복수 개의 강섬유로 이루어진 혼합물이며, 상기 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 1.5 ~ 2.5 vol% 포함될 수 있다.
- [0024] 더욱 바람직하게는 상기 강섬유(steel fiber)는, 섬유의 길이가 28 ~ 32 mm인 장섬유(long smooth steel fiber); 및 섬유의 길이가 17 ~ 21 mm인 중섬유(medium smooth steel fiber);를 포함할 수 있다.
- [0025] 또한, 상기 강섬유(steel fiber)는, 장섬유와 중섬유가 1:0.5 ~ 1.5의 부피 비율로 혼합된 혼합물인 것을 사용할 수 있다.
- [0026] 반면에, 상기 유리섬유(milled glass fiber)는, 평균 직경이 10 ~ 14 μm 이고, 평균 길이가 280 ~ 320 μm 인 초단유리섬유(milled glass fiber)인 것을 사용할 수 있으며, 바람직하게는 상기 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 4 ~ 6 vol% 포함될 수 있다.
- [0027] 한편, 본 발명의 다른 실시 형태는, 유리섬유를 분쇄하여 초단유리섬유(milled glass fiber)를 제조하는 단계; 시멘트, 실리카 흙, 실리카 샌드, 플라이 애쉬, 고강도 혼화제, 강섬유(steel fiber) 및 용매를 혼합하여 혼합물을 제조하는 단계; 및 상기 혼합물에 초단유리섬유(milled glass fiber)를 혼합하는 믹싱단계;를 포함하여 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료를 제조하는 방법에 관한 것이다.
- [0028] 상기 초단유리섬유를 제조하는 단계는, 유리섬유를 분쇄하여 평균 직경이 10 ~ 14 μm 이고, 평균 길이가 280 ~ 320 μm 인 초단유리섬유를 제조할 수 있다.
- [0029] 구체적으로 상기 혼합물을 제조하는 단계는, 시멘트, 실리카 흙, 실리카 샌드, 플라이 애쉬, 고강도 혼화제, 강섬유(steel fiber) 및 용매를 혼합하되, 상기 강섬유는, 시멘트 복합재료 내 1.5 ~ 2.5 vol%로 포함될 수 있다.
- [0030] 상기 믹싱단계는, 상기 혼합물에 제조된 초단유리섬유가 시멘트 복합재료 내 4 ~ 6 vol% 되도록 혼합하는 것이 바람직하다.
- [0031] 본 발명의 또 다른 실시 형태는, 앞서 언급된 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 및 앞에서 기재된 제조방법으로 제조된 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료로 시공된 균열 자기감지형 구조물이다.

발명의 효과

[0033] 본 발명의 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료는 초단유리섬유를 포함함으로써 균열 발생 전과 후의 전기저항 변화율이 커 구조물의 손상에 따른 감지 능력이 우수하다.

[0034] 또한, 시멘트 복합재료의 높은 기계적 성능을 유지하기 위하여 포함되는 강섬유의 일부를 초단유리섬유로 대체하여도 높은 변형능력 및 인장강도를 가짐으로써 우수한 기계적 물성을 가져 구조물 자체로서의 기능도 수행할 수 있으며, 뿐만 아니라 강섬유에 비해 비교적 저렴한 초단유리섬유를 사용하여 경제적이면서도 다방면에서 효율적인 우수한 재료를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0036] 도 1은 시멘트 복합 재료 내 포함되는 초단유리섬유 유무에 따른 전기저항 변화를 측정한 그래프이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예의 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 포함되는 강섬유의 물성을 나타낸 데이터이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예의 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 포함되는 초단유리섬유의 물성을 나타낸 데이터이다.

도 4(4a 내지 4f)는 본 발명의 일 실시예를 통해 제조된 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 초단유리섬유의 함량 유무 및 함량 변화에 따른 인장 하중 하에서 자기 센싱 능력을 측정할 그래프이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예를 통해 제조된 강섬유 보강 시멘트 복합재료의 초단유리섬유의 함량 유무에 따른 전기 저항의 감소를 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0037] 이하에서는 본 발명의 실시예와 도면을 참조하여 본 발명을 좀 더 상세히 설명한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위해 예시적으로 제시한 것일 뿐, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되지 않는다는 것은 이 기술분야에서 통상의 지식으로 자명한 것이다.

[0038] 또한, 달리 정의하지 않는 한, 본 명세서에서 사용되는 모든 기술적 및 과학적 용어는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상적으로 이해되는 바와 동일한 의미를 가지며, 상충되는 경우에는, 정의를 포함하는 본 명세서의 기재가 우선할 것이다.

[0039] 본 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함" 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미하며, 특정 물질의 농도를 나타내기 위하여 사용되는 "%"는 별도의 언급이 없는 경우, 고체/고체는 (중량/중량)%, 고체/액체는 (중량/부피)%, 그리고 액체/액체는 (부피/부피)% 이다.

[0041] 먼저, 본 발명의 일 실시 형태는 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료에 관한 것으로, 바람직하게는 상기 시멘트 복합재료는, 시멘트, 실리카 흙, 실리카 샌드, 플라이 애쉬, 고강도 혼화제, 섬유 및 용매를 포함할 수 있으며, 이때 사용되는 섬유는 강섬유(steel fiber) 및 유리섬유(glass fiber)를 포함할 수 있다.

[0042] 바람직하게는 본 발명의 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료는, 일반적으로 시멘트 복합재료의 물리적 강도 개선을 위하여 강섬유가 포함된 시멘트 복합재료와 비교하여 볼 때, 도 1과 같이 인장 강도가 우수할 뿐만 아니라, 균열 발생의 여부에 따른 전기 저항 변화율의 폭이 넓다.

[0043] 이로 인하여 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료를 사용하여 구조물을 건설시, 우수한 물리적 특성을 가질 뿐만 아니라 편차가 큰 전기저항 변화율로 인하여 구조물의 균열 감지가 용이하다는 장점이 있다.

[0044] 구체적으로, 상기 강섬유(steel fiber)는 서로 다른 길이를 갖는 복수 개의 강섬유로 이루어진 혼합물이며, 전체 조성물 내 1.5 ~ 2.5 vol%로 포함될 수 있다. 바람직하게는 상기 강섬유(steel fiber)는, 섬유의 길이가 28 ~ 32 mm인 장섬유(long smooth steel fiber) 및 섬유의 길이가 17 ~ 21 mm인 중섬유(medium smooth steel fiber)가 포함된 혼합물로서, 더욱 바람직하게는 장섬유와 중섬유가 1:0.5 ~ 1.5 부피 비율로 혼합된 혼합물인 것을 사용할 수 있다.

[0045] 상세하게는 상기 강섬유 내 포함되는 장섬유는 지름이 0.25 ~ 0.35 mm, 길이가 28 ~ 32 mm, 밀도가 7.5 ~ 8.3

g/cc, 인장강도가 1800 ~ 2200 MPa, 탄성계수가 190 ~ 210 GPa인 것을 사용할 수 있으며, 바람직하게는 지름이 0.3 mm, 길이가 30 mm, 밀도가 7.9 g/cc, 인장강도가 2000 MPa, 탄성계수가 200 GPa인 것을 사용할 수 있다. 또한, 상기 강섬유 내 포함되는 중섬유는 지름이 0.15 ~ 0.25 mm, 길이가 17 ~ 21 mm, 밀도가 7.5 ~ 8.3 g/cc, 인장강도가 2550 ~ 3000 MPa, 탄성계수가 190 ~ 210 GPa인 것을 사용할 수 있으며, 바람직하게는 지름이 0.2 mm, 길이가 19 mm, 밀도가 7.9 g/cc, 인장강도가 2788 MPa, 탄성계수가 200 GPa인 것을 사용할 수 있다.

[0046] 본 발명의 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 포함되는 상기 초단유리섬유(milled glass fiber)는 시멘트 복합재료를 사용하여 시공된 구조물의 균열 감지능을 향상시키고, 기계적 물성 향상을 위해 포함되는 고가의 강섬유의 일부를 대체함으로써 우수한 경제성을 가짐과 동시에 기계적 물성은 동등이상을 유지함으로써 우수한 효율성을 가진 시멘트 복합재료를 제공하기 위한 것이다.

[0047] 상세하게는 상기 초단유리섬유는 유리섬유를 분말화시켜 제조된 것으로, 평균 직경이 10 ~ 14 μm 이고, 평균 길이가 280 ~ 320 μm 인 초단유리섬유(milled glass fiber)를 사용할 수 있으며, 전체 조성물 내 4 ~ 6 vol% 포함되는 것이 바람직하다. 더욱 바람직하게는 평균 직경이 $12 \pm 1.5 \mu\text{m}$ 이고, 평균 길이가 300 μm 섬유 길이 분포가 50 ~ 550 μm 이며, 함수량이 0.5 %, 부피 밀도가 0.5 ~ 0.65 g/cc인 것을 사용할 수 있다.

[0048] 상기 초단유리섬유는 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 4 ~ 6 vol% 포함될 수 있는데, 이는 초단유리섬유의 함량이 상기 범위를 벗어나게 되면 시멘트 복합재료 내 균질하게 포함되지 못하여 전기저항 변화율 측정에 대한 편차가 커지는 문제가 있다. 더욱 바람직하게는 초단유리 섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료의 초기균열강도와 최종균열강도, 변형능 등 우수한 물리적 특성 위하여, 전체 조성물 내 5 vol%로 포함될 수 있다.

[0049] 본 발명에 따른 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료는 시멘트, 플라이 애쉬(fly ash), 실리카 샌드(silica sand), 실리카 흙(silica fume), 강섬유(steel fiber), 유리 섬유(glass fiber) 및 용매를 포함한다.

[0050] 상기 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 포함되는 시멘트, 플라이 애쉬, 실리카 샌드, 실리카 흙 및 용매는 일반적으로 토목 재료 또는 건설 재료로 사용되는 시멘트, 플라이 애쉬, 실리카 샌드, 실리카 흙 및 용매이면 특별히 한정되지 않고 사용가능하다. 또한, 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료를 사용하여 시공하고자 하는 구조물 또는 건축물, 시공시기, 시공방법, 공사기간에 따라 상기 시멘트, 플라이 애쉬, 실리카 샌드, 실리카 흙 및 용매의 함량은 바람직한 양으로 적절히 조절하여 사용될 수 있다.

[0051] 예를 들어, 본 발명의 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 포함되는 시멘트는 비표면적이 $6020 \text{ cm}^2/\text{g}$ 이고, $3.11 \text{ g}/\text{cm}^3$ 의 밀도를 갖는 통상적으로 상용화된 제품을 사용할 수 있으며, 플라이 애쉬(fly ash) 역시 비표면적이 $4710 \text{ cm}^2/\text{g}$ 이고, $2.34 \text{ g}/\text{cm}^3$ 의 밀도를 갖는 상용화된 제품을 사용할 수 있다. 또한, 실리카 샌드는 입도 크기가 0.15 ~ 0.71mm이고, 수분의 함량이 0.1 % 이하인 제품을 사용할 수 있으며, 실리카 흙 역시 bulk density가 200~350 kg/m^3 이고, 수분 함량이 1.0 % 미만이며, 45 μm 의 체(sieve)로 걸렸을 때, 잔류 정도가 1.5 % 미만인 제품을 사용할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 상기 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 포함되는 용매는 특별히 한정되지 않고 사용가능하나, 일반적으로 시멘트 조성물 내 사용되는 물을 사용할 수 있으며, 고강도 혼화제 역시 시멘트의 강도 향상 및 혼화력을 증가시키기 위하여 시중에 상용화된 제품 중 하나를 사용할 수 있다.

[0053] 한편, 본 발명의 다른 실시 형태는, 상기 언급한 재료들을 혼합하여 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료를 제조하는 방법에 관한 것이다. 상세하게는 유리섬유를 분쇄하여 초단유리섬유(milled glass fiber)를 제조하는 단계; 시멘트, 실리카 흙, 실리카 샌드, 플라이 애쉬, 고강도 혼화제, 강섬유(steel fiber) 및 용매를 혼합하여 혼합물을 제조하는 단계; 및 상기 혼합물에 초단유리섬유(milled glass fiber)를 혼합하는 믹싱 단계를 포함하여 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기 감지를 위한 강섬유 보강 시멘트 복합재료를 제조할 수 있다.

[0054] 상기 초단유리섬유를 제조하는 단계는, 섬유보강제로 사용되는 유리섬유를 밀링 등의 분쇄공정을 통해 분쇄하여 평균 직경이 10 ~ 14 μm 이고, 평균 길이가 280 ~ 320 μm 인 초단유리섬유를 제조하는 것으로, 상기 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기 감지를 위한 강섬유 보강 시멘트 복합재료 내 포함시 단순히 강도 향상을 위한 섬유 보강제로서의 역할을 한다.

- [0055] 뿐만 아니라, 상기 시멘트 복합재료를 사용하여 구조물 시공시, 시공된 구조물 내외부에 균열이 발생시 전기 저항 감소를 더욱 가속화시킴으로써, 구조물의 전기 저항의 변화율을 극대화시켜 균열 감지능을 향상시킬 수 있다.
- [0056] 바람직하게는 혼합물을 제조하는 단계를 통해, 시멘트, 실리카 흙, 실리카 샌드, 플라이 애쉬, 고강도 혼화제, 강섬유(steel fiber) 및 용매를 혼합하되, 상기 강섬유는 시멘트 복합재료 내 1.5 ~ 2.5 vol%로 포함될 수 있으며, 상기 믹싱단계에서는 상기 혼합물에 제조된 초단유리섬유가 시멘트 복합재료 내 4 ~ 6 vol% 되도록 혼합할 수 있다.
- [0057] 상기 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 제조시 사용되는 시멘트, 실리카 흙, 실리카 샌드, 플라이 애쉬, 고강도 혼화제, 용매, 강섬유, 초단유리섬유에 관한 상세한 설명은 앞서 언급하였으므로 여기서는 생략하기로 한다.
- [0059] 반면, 본 발명의 또 다른 실시 형태는 앞서 언급된 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료 및 앞서 언급된 제조방법으로 제조된 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료로 시공된 균열 자기감지형 구조물에 관한 것으로, 상기 구조물은 시멘트 복합재료의 물리적 특성을 향상시키기 위하여 포함되는 섬유 보강재인 강섬유의 일부를 초단유리섬유로 대체하여 제조된 초단유리섬유가 혼입되어, 균열 및 손상을 자기 감지(self-detected) 할 수 있는 강섬유 보강 시멘트 복합재료를 사용하여 시공될 수 있다.
- [0060] 이로 인해, 고가의 강섬유의 함량을 일부 감소시키더라도, 추가로 혼입되는 초단유리섬유가 시멘트 복합재료 내부의 공극을 메워 높은 변형능력 및 인장강도를 가짐으로써 우수한 기계적 물성을 가져, 원가절감을 통해 경제성을 향상시킬 수 있다.
- [0061] 또한, 초단유리섬유를 포함함으로써, 구조물 내의 균열 발생 여부에 따른 전기저항 값의 변화율을 극대화시킴으로써 미세한 균열 감지 및 균열 감지능을 향상시킬 수 있다.
- [0063] 이하에서는, 본 발명의 실시 예를 살펴본다. 그러나 본 발명의 범주가 이하의 바람직한 실시 예에 한정되는 것은 아니며, 당업자라면 본 발명의 권리범위 내에서 본 명세서에 기재된 내용의 여러 가지 변형된 형태를 실시할 수 있다.
- [0065] **[실시예]**
- [0066] 본 발명의 시멘트 복합 재료 조성물에 대하여 초단유리섬유의 유무에 따른 물성의 변화를 확인하기 위하여 하기의 표 1과 같은 조성(중량비)으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

표 1

[0067]

Matrix Type	시멘트 (TypeIII)	초단 유리섬유	실리카 샌드	실리카 흙	플라이 애쉬	고강도 혼화제	강섬유 (장+중섬유)	물
Low matrix_0%	1.00	-	1.00	-	0.15	0.009	0.02 (0.01+0.01)	0.35
Low matrix_3%	0.97	0.03	1.00	-	0.15	0.009	0.02 (0.01+0.01)	0.35
Low matrix_5%	0.95	0.05	1.00	-	0.15	0.009	0.02 (0.01+0.01)	0.35
Low matrix_7%	0.93	0.07	1.00	-	0.15	0.009	0.02 (0.01+0.01)	0.35
High matrix_0%	0.80	-	1.00	0.07	0.20	0.040	0.02 (0.01+0.01)	0.35
High matrix_5%	0.76	0.04	1.00	0.07	0.20	0.040	0.02 (0.01+0.01)	0.35

(단위 : 중량비)

- [0068]
- [0069] 제조된 시멘트 복합재료는 실리카 흙의 함량 유무를 통해 저강도 매트릭스(Low matrix)와 고강도 매트릭스(High matrix)의 서로 다른 두 가지 종류로 제조하였으며, 초단유리섬유의 포함 여부 및 함량에 따른 물성변화를 비교

를 위해 초단 유리섬유가 포함된 경우(3%, 5%, 7%)와 포함되지 않은 경우(0%)로 각각 구분하여 제조하였다.

[0070] 시료에 포함되는 강섬유는 도 2에 제시된 바와 같은 물리적 특성을 가진 것을 사용하였으며, 초단유리섬유 역시 도 3에 제시된 바와 같은 물리적 특성을 가진 것을 사용하였다.

[0072] 이렇게 제조된 SS-SFRC 시멘트 복합 재료 매트릭스에 대해서 만능재료시험기(UTM, Universal Testing Machine)을 사용하여 KS F 2405에 규정된 방법으로 f_{ck} (압축강도)를 측정하였으며, 그 결과는 각각 하기 표 2와 같다.

표 2

[0073]

Matrix Type	압축강도(MPa)
Low matrix_0%	94
Low matrix_3%	94
Low matrix_5%	86
Low matrix_7%	84
High matrix_0%	122
High matrix_5%	97

[0075] 또한, 인장 하중 하에서 자가 센싱 능력을 확인하기 위해 전기 저항의 변화를 측정하였으며, 그 결과를 도 4(a) 내지 4(f)에 나타내었다.

[0076] 상세하게는 초단유리섬유의 포함 여부 및 함량 변화에 따른 전기 저항의 변화를 측정하기 위해, 상기 표 1에 제시된 조성으로 제조된 각각의 SS-SFRC 시멘트 복합 재료 매트릭스의 표면에 고전도성인 실버 페이스트를 도포하고, 그 위에 전극으로 사용되는 구리테이프를 부착하였다. 전기 저항은 4-탐침 저항방식 (four-probe method)를 사용하여 측정하였다.

[0077] 도 4(a) 내지 (f)에서 확인되듯이, 본 발명의 SS-SFRC는 다수의 미세균열이 발생하는 재료로써 변형경화 거동을 공통적으로 나타내었으며, 초기 균열까지 전기저항이 감소하다가 초기균열 이후부터 최종균열까지의 전기저항 변화를 보임을 확인할 수 있었다.

[0078] 뿐만 아니라, 초단유리섬유를 첨가한 경우에는 전체 전기저항 감소의 폭이, 초단유리섬유가 포함되지 않은 경우에 비해 더 커졌음을 알 수 있다.

[0079] 상기 도 4의 결과를 종합해보면, 콘크리트의 인장강도를 향상시키는 강섬유의 함유량이 감소하였음에도, 초단유리섬유의 추가로 인해 공통적으로 SS-SFRC의 변형능력 및 인장강도가 향상되었음을 알 수 있었으며, 특히 이러한 거동은 저강도 매트릭스(Low matrix)에서 더욱 두드러지게 확인된다.

[0080] 이는 고강도 매트릭스(High matrix)에서는 실리카 흙(silica fume)이 포함되어 있어, 이러한 실리카 흙이 매트릭스 내의 공극을 메워주기 때문에, 추가된 초단유리섬유가 자가 감지 능력 향상의 역할만을 수행하지만, 실리카 흙(silica fume)이 사용되지 않은 저강도 매트릭스(Low matrix)에서는 초단유리섬유가 균열 자가감지 능력 향상 역할과 동시에 매트릭스 내의 공극을 메우는 역할을 하기 때문인 것으로 파악된다.

[0081] 좀 더 구체적으로, 초단유리섬유의 함량 변화에 따른 전기저항 변화거동을 확인하기 위하여 초단유리섬유의 치환 유무에 따른 영향성이 큰(도 4a 내지 도 4f 참조) 저강도 매트릭스(Low matrix) 내 각각 초단유리섬유가 0%, 3%, 5%, 7% 포함된 SS-SFRC 시멘트 복합 재료 매트릭스인 시험체를 3개씩 제조하여 인장변형(Tensile strain), 인장응력(Tensile stress), 전기 저항률(Electrical resistivity), 전기저항변화율(Change in the electrical resistivity)를 측정하였으며, 그 결과는 하기 표 3과 같다. (하기 표 3에서, cc는 초기값을 의미하고, pc는 최종결과값을 의미한다.)

표 3

[0082]

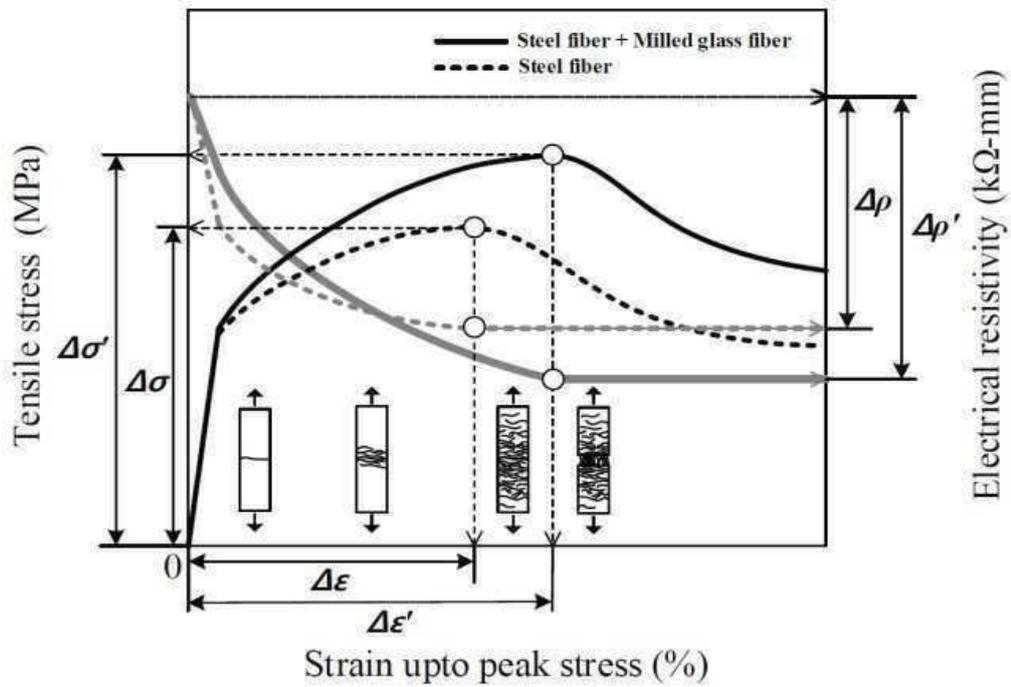
	인장변형 (%)		인장응력 (MPa)		전기 저항률 (kΩ-cm)			전기 저항 변화율 (kΩ-cm)		
	ϵ_{cc}	ϵ_{pc}	σ_{cc}	σ_{pc}	ρ_0	ρ_{cc}	ρ_{pc}	$\Delta\rho$	$\Delta\rho_1$	$\Delta\rho_2$

Low matrix_0%	SP01	0.02	0.63	6.8	10.6	668.9	664.7	647.2	21.7	4.15	17.6
	SP02	0.02	0.58	5.6	8.5	931.9	628.5	619.1	12.8	3.34	9.4
	SP03	0.02	0.63	5.4	10.6	734.6	730.8	717.9	16.6	3.76	12.9
	평균	0.02	0.61	5.9	10.0	678.4	674.7	661.4	17.0	3.75	13.3
Low matrix_3%	SP31	0.03	0.86	3.8	6.5	801.0	584.0	675.3	125.7	217.0	-91.3
	SP32	0.02	0.93	4.1	8.3	668.9	424.9	394.9	274.0	244.0	30.0
	SP33	0.03	0.93	3.8	10.1	799.9	799.4	822.0	-22.1	0.5	-22.6
	평균	0.03	0.91	3.9	8.3	756.6	602.8	630.7	125.9	153.8	-28.0
Low matrix_5%	SP51	0.03	0.82	4.0	9.3	649.1	646.9	576.1	73.0	2.2	70.8
	SP52	0.03	0.74	6.2	10.6	629.6	626.8	535.3	94.3	2.8	91.5
	SP53	0.03	0.66	5.4	10.9	653.9	652.4	584.9	68.9	1.4	67.5
	평균	0.03	0.74	5.2	10.3	644.2	642.0	565.4	78.8	2.2	76.6
Low matrix_7%	SP71	0.04	0.69	6.0	11.2	1079.4	1093.7	984.6	94.8	-14.3	109.1
	SP72	0.03	0.90	4.6	8.5	249.4	249.7	309.1	-59.7	-0.3	-59.4
	SP73	0.04	0.84	5.2	8.9	327.4	216.3	200.3	127.1	111.1	16.0
	평균	0.04	0.81	5.3	9.5	552.1	519.9	198.0	54.1	32.2	21.9

- [0084] 상기 표 3의 결과를 살펴보면, 초단유리섬유가 3 % 또는 7 % 혼입된 저장도 매트릭스의 경우 시험체별 전기저항 변화의 편차가 크기 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 초단유리섬유의 양이 너무 적거나 많아 매트릭스 내부에 초단유리섬유가 균질하게 분포되지 않기 때문인 것으로 예상되었다.
- [0085] 반면에, 초단유리섬유가 5 % 포함된 저장도 매트릭스의 경우 초기균열강도와 최종균열강도, 인장응력이 우수함을 확인할 수 있었으며, 균열 발생에 따른 전기 저항변화율이 극대화됨을 확인할 수 있었다.
- [0087] 또한, 초단유리섬유를 치환한 SH-SFRC의 손상에 따른 전기저항 변화를 측정한 결과는 도 5와 같다(도 5에서 $\Delta \rho$ 는 strain이 0에서 최종균열까지의 전기저항률 감소량($=\Delta \rho_1 + \Delta \rho_2$)을 의미하고, $\Delta \rho_1$ 은 strain 0에서 초기 균열까지의 전기저항률 감소량을 의미하며, $\Delta \rho_2$ 는 초기균열부터 최종균열까지의 전기저항률 감소량을 의미한다).
- [0089] 이상에서 살펴본 바와 같이, 본 발명에 따른 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료를 사용하여 구조물 시공시, 균열 발생 전과 후의 전기저항 변화율이 커 구조물의 손상에 따른 감지 능력이 우수하다.
- [0090] 이에, 본 발명의 초단유리섬유가 혼입된 균열 자기감지 강섬유 보강 시멘트 복합재료는 시멘트 복합재료의 높은 기계적 성능을 유지하기 위하여 포함되는 강섬유의 일부를 초단유리섬유로 대체하여도 높은 변형능력 및 인장강도를 가짐으로써 우수한 기계적 물성을 가져 구조물 자체로써의 기능도 수행할 수 있는 우수한 재료로 다방면에서 효율적인 재료임을 알 수 있다.

도면

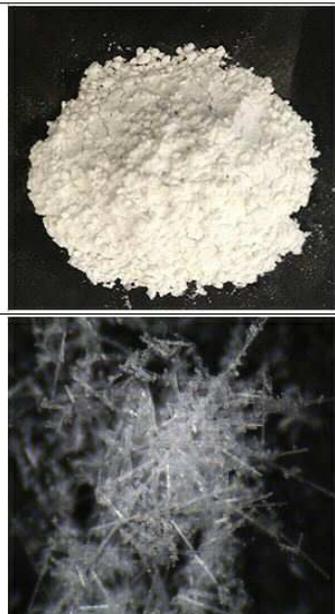
도면1



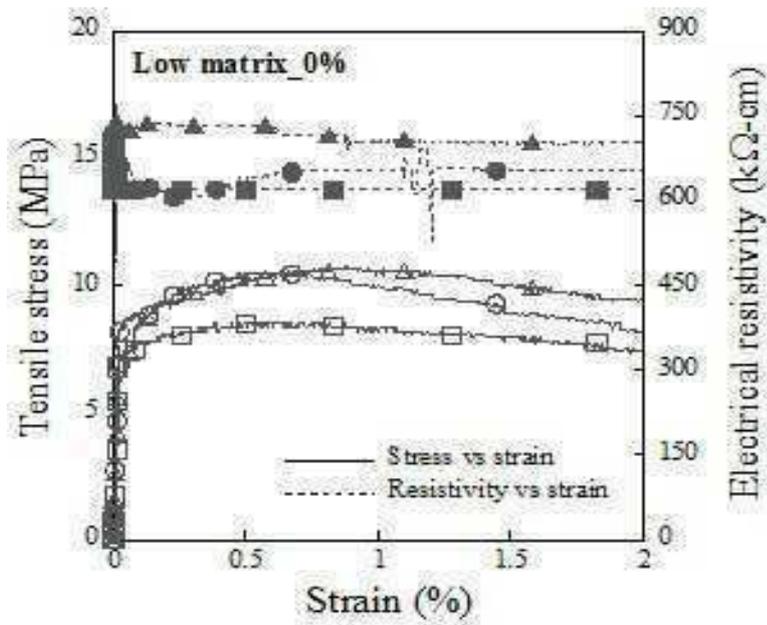
도면2

Fiber type	Diameter (mm)	Length (mm)	Density (g/cc)	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Electrical resistivity, ρ_f (kΩ-cm)	Volume contents (%)
Long smooth 	0.3	30	7.90	2000	200	2.06×10^{-8}	1.0
Medium smooth 	0.2	19	7.90	2788	200	2.06×10^{-8}	1.0

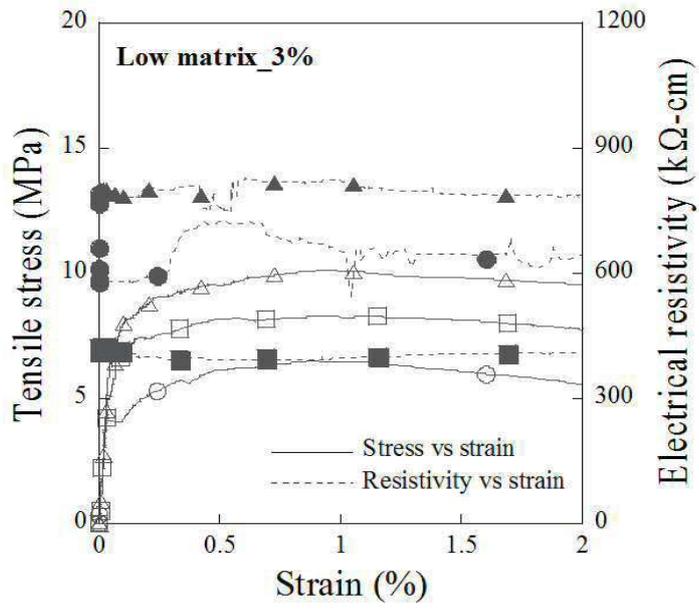
도면3

	Average diameter (μm)	12 ± 1.5
	Average length (μm)	300
	Fiber length distribution (μm)	50-550
	Moisture content (%)	0.5
	Nominal bulk density (g/cc)	0.5-0.65

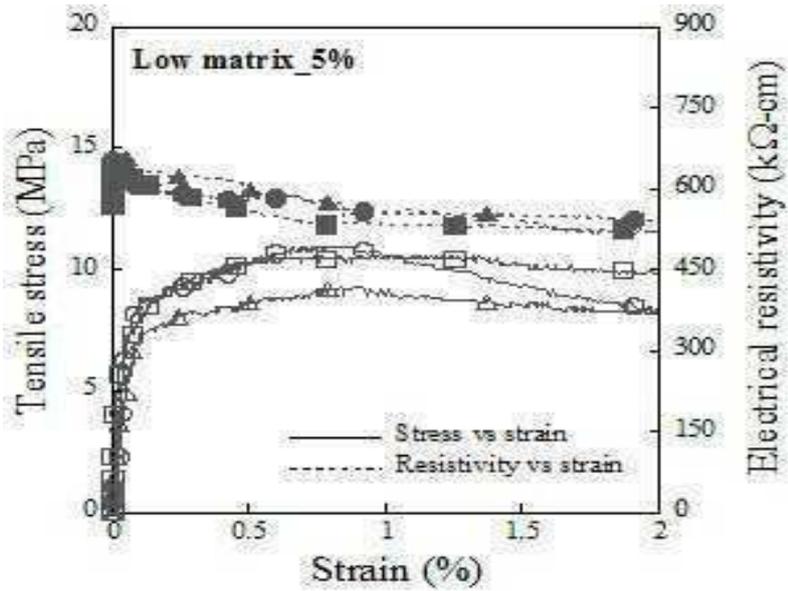
도면4a



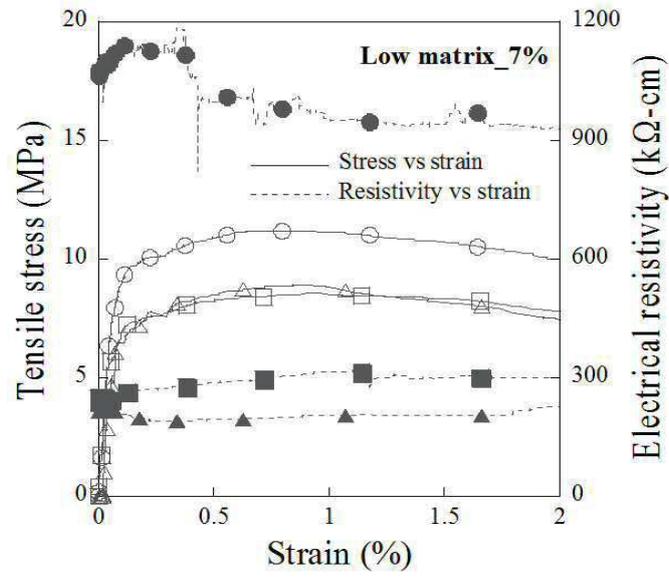
도면4b



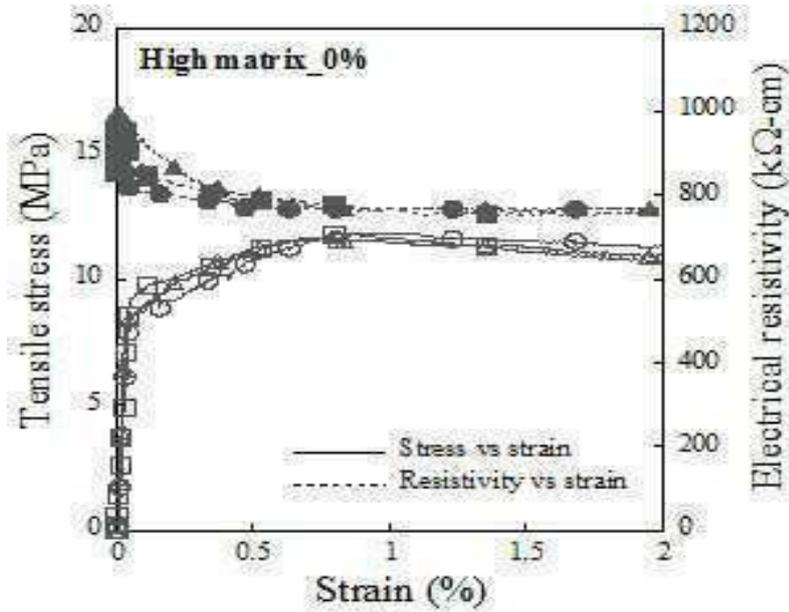
도면4c



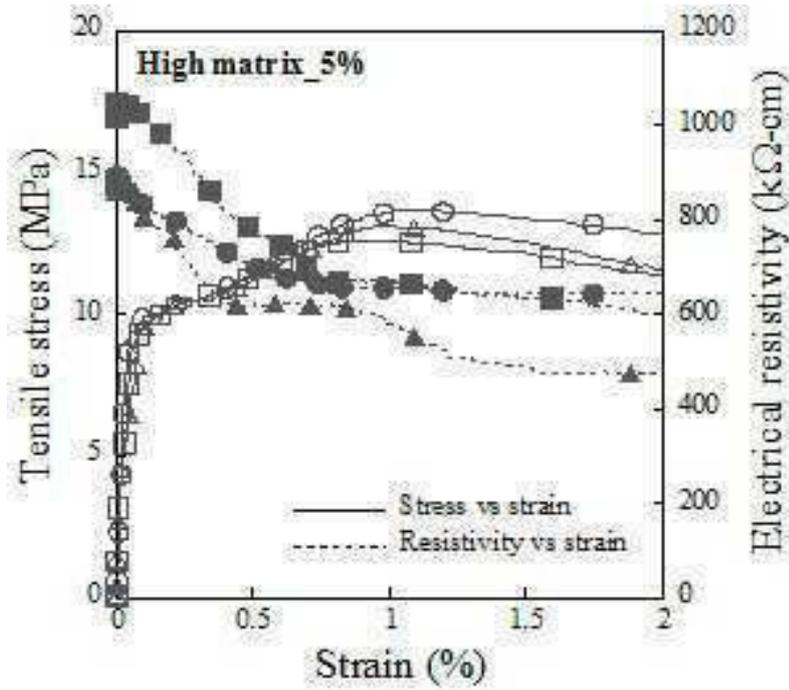
도면4d



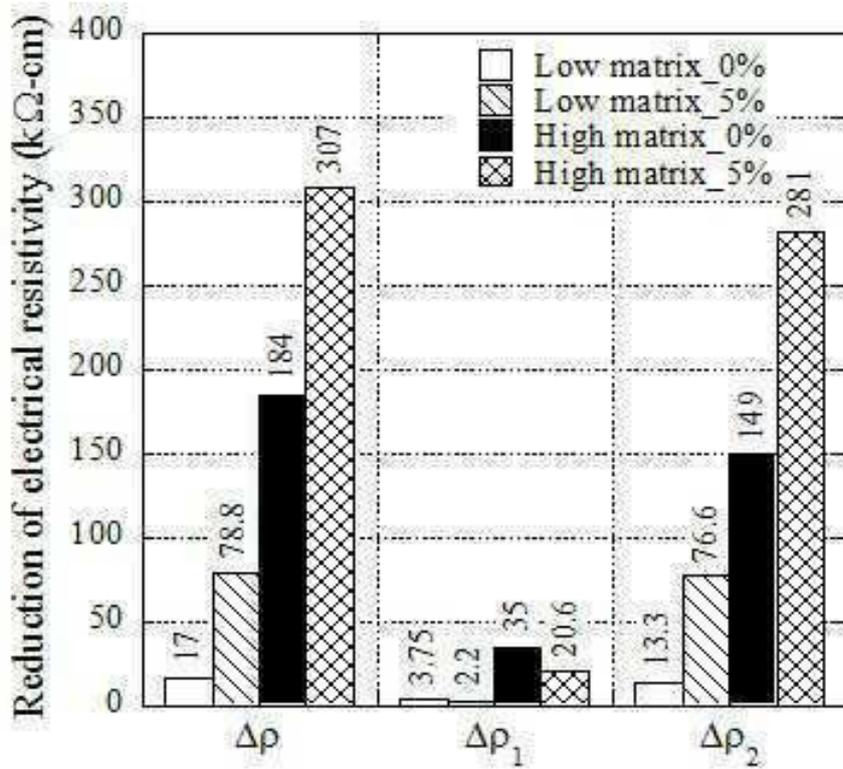
도면4e



도면4f



도면5



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 1, 5제출

【변경전】

상기 유리섬유는(glass fiber)는

【변경후】

상기 유리섬유(glass fiber)는