



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년06월29일
(11) 등록번호 10-2127983
(24) 등록일자 2020년06월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C04B 40/06 (2006.01) C04B 14/02 (2006.01)
C04B 14/38 (2006.01) C04B 16/04 (2006.01)
C04B 18/14 (2006.01) C04B 20/00 (2006.01)
C04B 28/02 (2006.01) C04B 40/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류
C04B 40/0675 (2013.01)
C04B 14/026 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0094271

(22) 출원일자 2018년08월13일

심사청구일자 2018년08월13일

(65) 공개번호 10-2020-0018892

(43) 공개일자 2020년02월21일

(56) 선행기술조사문헌

JP2005306701 A*

KR101248960 B1*

KR101815122 B1

KR101804202 B1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국과학기술연구원

서울특별시 성북구 화랑로14길 5 (하월곡동)

(72) 발명자

이민옥

전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92

양범주

전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

김영철, 김 순 영

전체 청구항 수 : 총 9 항

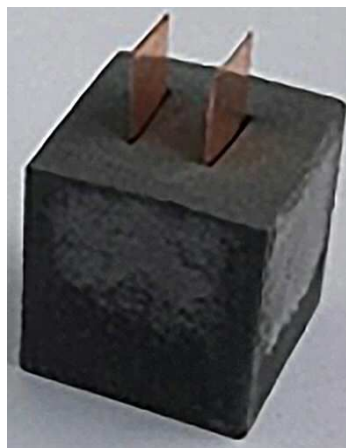
심사관 : 안국현

(54) 발명의 명칭 전도성 필러 및 고분자 필러를 포함하는 셀프힐링 시멘트 복합체

(57) 요약

셀프힐링(self-healing)이 가능한 시멘트 복합체는, 시멘트, 상기 시멘트에 분산된 전도성 필러 및 상기 전도성 필러 주위에 분포하는 열가소성 고분자 필러를 포함한다. 상기 전도성 필러의 전기 발열을 통한 상기 열가소성 고분자 필러의 용융에 의해 균열을 메워 셀프힐링이 가능한 시멘트 복합체를 제공할 수 있다.

대표도 - 도1



- (52) CPC특허분류
CO4B 14/386 (2013.01)
CO4B 16/04 (2013.01)
CO4B 18/146 (2013.01)
CO4B 20/008 (2013.01)
CO4B 28/02 (2013.01)
CO4B 40/0032 (2013.01)

유재상

전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92

김민국

전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92

- (72) 발명자

박형민

전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92

양철민

전라북도 완주군 봉동읍 추동로 92

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711072600

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 나노·소재기술개발

연구과제명 산화그래핀 기반 고분산/고농도 전도성 그래핀-고분자 중간재 제조기술 개발

기여율 1/1

주관기관 한국과학기술연구원

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.01.31

명세서

청구범위

청구항 1

셀프힐링(self-healing)이 가능한 시멘트 복합체로서,
 시멘트;
 상기 시멘트에 분산된 전도성 필러; 및
 상기 전도성 필러의 주위에 분포하는 열가소성 고분자 필러;를 포함하며,
 상기 전도성 필러는 상기 시멘트 복합체에 전기가 인가되는 경우 발열되고,
 상기 열가소성 고분자 필러는 상기 전도성 필러의 발열에 의해 용융되어 상기 시멘트 복합체에 발생한 균열을 메우는, 시멘트 복합체.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 전도성 필러는 나노스케일의 전도성 필러와 마이크로스케일의 전도성 필러를 포함하는, 시멘트 복합체.

청구항 4

제3항에 있어서,
 상기 나노스케일의 전도성 필러는 상기 시멘트의 중량대비 0.3 내지 0.5wt% 포함되고,
 상기 마이크로스케일의 전도성 필러는 상기 시멘트의 중량대비 0.5 내지 1wt% 포함되는, 시멘트 복합체.

청구항 5

제3항에 있어서,
 상기 나노스케일의 전도성 필러는 단일벽 탄소나노튜브(Single-walled carbon nanotube, SWCNT), 다중벽 탄소나노튜브(Multi-walled carbon nanotube, MWCNT) 및 그래핀(graphene)으로 구성되는 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는, 시멘트 복합체.

청구항 6

제3항에 있어서,
 상기 마이크로스케일의 전도성 필러는 PAN계 탄소섬유(PAN-based carbon fiber), Pitch계 탄소섬유(Pitch-based carbon fiber) 및 흑연으로 구성되는 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는, 시멘트 복합체.

청구항 7

제1항에 있어서,
 상기 열가소성 고분자 필러는 PEO(polyethylene oxide), 폴리에틸렌(polyethylene), 폴리우레탄(polyurethane), 폴리카보네이트(polycarbonate) 및 폴리카프로락톤(polycaprolactone)으로 구성되는 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는, 시멘트 복합체.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 열가소성 고분자 필러는 상기 시멘트의 중량 대비 1 내지 5wt% 포함되는, 시멘트 복합체.

청구항 9

셀프힐링(self-healing)이 가능한 시멘트 복합체의 제조 방법으로서,

시멘트, 실리카폼, 전도성 필러 및 열가소성 고분자 필러를 건비빔하는 단계; 및

건비빔한 혼합물에 물과 계면활성제를 혼합한 용매를 추가하여 믹싱하는 단계;를 포함하며,

상기 시멘트 복합체는 시멘트, 상기 시멘트에 분산된 전도성 필러, 및 상기 전도성 필러의 주위에 분포하는 열가소성 고분자 필러를 포함하며, 상기 전도성 필러는 상기 시멘트 복합체에 전기가 인가되는 경우 발열되고, 상기 열가소성 고분자 필러는 상기 전도성 필러의 발열에 의해 용융되어 상기 시멘트 복합체에 발생한 균열을 메우는, 시멘트 복합체의 제조 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 물과 계면활성제를 혼합한 용매를 추가하여 믹싱하는 단계는,

상기 시멘트의 중량대비 20 내지 40wt%의 물과 1.4 내지 1.8wt%의 계면활성제를 혼합한 용매를 추가하여 믹싱하는 단계를 포함하는, 시멘트 복합체의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 전도성 필러 및 고분자 필러를 포함하는 셀프힐링 시멘트 복합체에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 전기 발열에 의해 시멘트 내부 미세 균열을 셀프힐링(self-healing)할 수 있도록 전도성 필러 및 열가소성 고분자 필러를 포함하는 시멘트 복합체에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 시멘트 소재는 토목, 건축 및 플랜트에 이르기까지 대부분의 구조물을 건설하는 데에 가장 널리 사용되고 있는 재료 중 하나이다. 시멘트 소재는 취성 소재로 진동과 인장에 의한 하중에 의해 손쉽게 균열(crack)이 발생할 수 있다. 구조물의 건축 후 일정 기간이 경과하면 그 성능이 점차 저하되고 노후화되는데, 이러한 성능 저하에 결정적 영향을 미치는 것이 바로 균열이다.

[0003] 구조물에 균열이 발생하면 균열을 통해 유해한 외기나 수분, 화학 성분이 침투하여 성능 저하가 더욱 촉진된다. 즉, 시멘트 소재 내부에 균열이 한번 발생하게 되면 그 균열을 시작점으로 손상이 빠르게 전파된다.

[0004] 시멘트 소재 내부에 침투한 수분, 염화물 이온 등에 의해 구조물 내부의 철근에 부식이 발생하여 추가적인 균열이 발생하거나, 철근 부식에 의해 철근 단면이 감소하는 등 성능 저하로 인해 결과적으로 구조물의 붕괴까지 초래할 수 있다. 따라서, 소재의 수명 연장을 늘리고 추가적인 손상을 방지하기 위해서는 발생된 미세균열의 빠른 복구가 필수적이다.

[0005] 건축 구조물은 그 특성상 내부에 균열이 발생하면 해당 부위만의 복구가 어렵다. 종래에는 구조물 외벽을 통해 에폭시와 몰탈과 같은 물질을 채워 넣는 방식으로 균열에 대한 보수가 이루어졌다. 자외선을 통해 가교되는 자가치유 물질이 포함된 캡슐을 콘크리트 표면에 도포하여 사용한 예가 있으나, 이 방법 또한 자외선의 침투 한계에 따라 그 효과가 매우 제한적이다.

[0006] 종래 기술에 따른 균열 보수 방식의 경우 구조물의 표면 부위에 대해 한정적인 균열 치유에만 효과적인 방식이며, 외관에 드러나지 않은 내부 균열을 메우기는 어렵다. 또한, 최근에 마이크로캡슐을 이용하여 미세 균열을 셀프힐링하는 방식이 제안되었으나, 외부 또는 내부적으로 발생한 손상 부위에 반드시 깨진 마이크로캡슐이 존재할 때만 1회성으로 손상 복구가 가능한 문제가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국특허 제10-2017-0106555호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 전기 발열에 의해 고분자 필러가 용융되면서 내부 균열을 메우는 균열 보수를 위해 전도성 필러 및 고분자 필러를 포함하는 셀프힐링 시멘트 복합체를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 측면에 따르면, 셀프힐링(self-healing)이 가능한 시멘트 복합체로서, 시멘트, 상기 시멘트에 분산된 전도성 필러 및 상기 전도성 필러 주위에 분포하는 열가소성 고분자 필러를 포함하는 시멘트 복합체가 제공된다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전도성 필러는 상기 시멘트 복합체에 전기가 인가되는 경우 발열되고, 상기 열가소성 고분자 필러는 상기 전도성 필러의 발열에 의해 용융되어 상기 시멘트 복합체에 발생한 균열을 메울 수 있다.

[0011] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전도성 필러는 나노스케일의 전도성 필러와 마이크로스케일의 전도성 필러를 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 나노스케일의 전도성 필러는 상기 시멘트의 중량대비 0.3 내지 0.5wt% 포함되고, 상기 마이크로스케일의 전도성 필러는 상기 시멘트의 중량대비 0.5 내지 1wt% 포함될 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 나노스케일의 전도성 필러는 단일벽 탄소나노튜브(Single-walled carbon nanotube, SWCNT), 다중벽 탄소나노튜브(Multi-walled carbon nanotube, MWCNT) 및 그래핀(graphene)으로 구성되는 군에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 마이크로스케일의 전도성 필러는 PAN계 탄소섬유(PAN-based carbon fiber), Pitch계 탄소섬유(Pitch-based carbon fiber) 및 흑연으로 구성되는 군에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 열가소성 고분자 필러는 PEO(polyethylene oxide), 폴리에틸렌(polyethylene), 폴리우레탄(polyurethane), 폴리카보네이트(polycarbonate) 및 폴리카프로락톤(polycaprolactone)으로 구성되는 군에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 열가소성 고분자 필러는 상기 시멘트 중량 대비 1 내지 5wt% 포함될 수 있다.

[0017] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 셀프힐링이 가능한 시멘트 복합체의 제조 방법은, 시멘트, 실리카폼, 전도성 필러 및 열가소성 고분자 필러를 건비빔하는 단계 및 상기 건비빔한 혼합물에 물과 계면활성제를 혼합한 용매를 추가하여 믹싱하는 단계를 포함한다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 물과 계면활성제를 혼합한 용매를 추가하여 믹싱하는 단계는, 상기 시멘트의 중량대비 20 내지 40wt%의 물과 1.4 내지 1.8wt%의 계면활성제를 혼합한 용매를 추가하여 믹싱하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0019] 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 기술은, 전기 인가에 따라 발열이 가능하고, 발열에 의해 고분자 필러가 용융되어 외관에 드러나지 않은 균열을 셀프힐링하는 시멘트 복합체를 제작할 수 있다. 또한, 전기 발열을 통해 미세 균열을 효과적으로 셀프힐링하고, 추가적인 시멘트 복합체의 손상을 방지할 수 있다. 이를 통해, 시멘트 복합체의 미세균열의 빠른 복구 및 수명 연한의 연장을 가능하게 할 수 있다.

[0020] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 셀프힐링 시멘트 복합체의 제조된 시편의 예를 도시한다.
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 1의 제조된 시편의 성능 시험을 위해 전기 인가를 위한 실험 구성을 도시한다.
 도 3a 및 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 시편의 제작을 위한 재료 함량의 변화에 따라 전기저항 변화 및 온도 변화를 각각 도시한다.
 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 전기 발열에 의한 셀프힐링 메커니즘의 개략도를 도시한다.
 도 5a 및 5b는 시간의 흐름에 따라 일반 시멘트 및 본 발명의 일 실시예에 따른 셀프힐링 시멘트 복합체의 성능 변화를 각각 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 본 발명은 전도성 필러 및 고분자 필러를 포함하는 셀프힐링 시멘트 복합체에 관한 것이다.

[0023] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예들을 첨부한 도면을 참조하여 설명한다. 본문에 개시되어 있는 본 발명의 실시예들은 단지 설명을 위한 목적으로 예시된 것으로서, 본 발명의 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있으며 본문에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다.

[0024] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있는 바, 실시예들은 본 발명을 특정한 개시 형태로 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 할 것이다.

[0026] 건축물에 주로 사용되는 시멘트 소재는 본래 취성소재로 진동과 인장에 의한 하중에 의해 손쉽게 균열이 발생하는 특징이 있다. 역학적 측면에서, 공극을 포함하고 있는 소재에 외부하중이 가해질 경우 균열을 중심으로 응력집중 현상이 일어나며, 전체적인 재료의 손상을 가속화시키는 특징이 있다. 즉, 시멘트 소재 내부에 균열이 한번 발생하게 되면 그 균열을 시작점으로 손상이 빠르게 전파된다. 이러한 균열이 시멘트 구조물의 수명 연장에 결정적으로 영향을 미치기 때문에 내부 균열에 대한 빠른 복구가 필요하다.

[0027] 시멘트 복합체에 전도성 필러(예: 탄소나노섬유(carbon nano tube, CNT), 그래핀(graphene), PAN계 탄소섬유(PAN-based carbon fiber), Pitch계 탄소섬유(Pitch-based carbon fiber), 흑연 등)를 적절히 분산하게 되면 일반 시멘트에 비하여 저항을 현격히 낮출 수 있으며, 이를 이용하여 전기가압에 의한 발열이 가능하게 된다. 본 발명의 일 실시예에 따라, 시멘트 복합체 내부에 열에 의한 용융이 가능한 고분자 필러(예: PEO(polyethylene oxide), 폴리에틸렌(polyethylene), 폴리우레탄(polyurethane), 폴리카보네이트(polycarbonate), 폴리카프로락톤(polycaprolactone) 등)를 추가적으로 구성하였다. 이를 통해, 전기가압에 의해 시멘트 복합체 내부에 고온(예: 40~80℃ 범위)의 열을 발생시킬 수 있으며, 균열 발생 시 고분자 필러가 용융되면서 내부의 미세 균열을 메우는 방식으로 균열을 보수할 수 있다. 이와 같이 전도성 필러 및 고분자 필러를 포함하는 시멘트 복합체의 셀프힐링 방식을 통해, 시멘트 복합체의 추가적인 파단을 방지하고 수명 연장을 늘릴 수 있다.

[0029] 상술한 셀프힐링 시멘트 복합체를 제조하는 방법은, 시멘트와 실리카폼(silica fume), 전도성 필러, 열가소성 고분자 필러를 건비빔하는 단계와, 물과 계면활성제를 혼합한 용매 추가 및 믹싱하는 단계를 포함한다.

[0030] 구체적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 시멘트와 필러 등을 건비빔하는 단계에서는, 시멘트와 시멘트 중량대비 10 ~ 15wt%의 실리카폼, 0.3 ~ 0.5wt%의 나노스케일(nano scale) 전도성 필러(예: 탄소나노튜브, 그래핀 등), 1wt%이하, 바람직하게는 0.5 ~ 1wt%의 마이크로스케일(micro scale) 전도성 필러(예: PAN계 탄소섬유, Pitch계 탄소섬유, 흑연, 강섬유, 폴러린 등), 1 ~ 5wt%의 열가소성 고분자 필러(예: PEO, 폴리에틸렌, 폴리우레탄, 폴리카보네이트, 폴리카프로락톤 등)를 4-5분간 건비빔(dry mixing)한다.

[0031] 그 다음, 본 발명의 일 실시예에 따른 물과 계면활성제를 혼합한 용매 추가 및 믹싱 단계에서는, 건비빔한 혼합물에 20 ~ 40wt%의 물과 1.4 ~ 1.8wt%의 계면활성제를 혼합한 용매를 부어 4-5분간 추가로 믹싱하여 최종적으로

시멘트 복합체를 제조한다.

[0032] 본 발명의 일 실시예에 따라, 전도성 필러 및 고분자 필러를 포함하는 시멘트 복합체의 제조 과정에서 전도성 필러로 사용되는 탄소나노튜브는 단일벽 (Single-walled carbon nanotube, SWCNT), 혹은 다중벽 탄소나노튜브 (Multi-walled carbon nanotube, MWCNT)일 수 있으며, 사용되는 탄소섬유의 길이는 5 ~ 20mm로 할 수 있다.

[0034] 이하, 실시예를 들어 본 발명의 구성 및 효과를 보다 구체적으로 설명한다. 그러나 이들 실시예는 본 발명에 대한 이해를 돕기 위해 예시의 목적으로만 제공된 것일 뿐 본 발명의 범주 및 범위가 하기 예에 의해 제한되는 것은 아니다.

[0036] 실시예: 전도성 필러 및 고분자 필러를 포함하는 셀프힐링 시멘트 복합체의 제조

[0037] 포틀랜드 시멘트(portland cement)와, 시멘트 중량대비 10wt%의 실리카폼, 0.5wt%의 탄소나노튜브, 5wt%의 PEO 파우더(Mv200,000, m.p.65℃)와 함께 전도성 필러인 탄소섬유를 각각 [표 1]과 같은 함량으로 넣고 5분간 건비빔하였다. 이후, 30wt%의 물과 1.6wt%의 계면활성제를 비율을 변화시켜 가며 혼합한 용매를 부어 5분간 추가로 믹싱을 하여 제조하였다. 이때, 탄소나노튜브는 저렴한 다중벽 탄소나노튜브를 사용하여, 낮은 제작비용으로 손쉽게 셀프힐링 시멘트 복합체를 제조할 수 있다. 모든 제조과정은 상온(약 23도)에서 수행되었다.

표 1

샘플	탄소섬유(CF) 함량(wt%)
실시예 1	0
실시예 2	0.1
실시예 3	0.5

[0040] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 상술한 제조방법에 의해 제조된 셀프힐링 시멘트 복합체의 시편의 예가 도시된다.

[0042] 비교예

[0043] 탄소나노섬유, 탄소섬유와 같은 전도성 필러와 PEO 파우더와 같은 고분자 필러를 혼입하지 않는 것을 제외하고는, 상기 실시예와 동일하게 시멘트 시험체를 제조하여 시험하였다.

[0045] [실험예 1: 발열 성능 평가]

[0046] 도 1의 제조된 시멘트 복합체 시편에 구리 전극을 연결하여 도2에 도시된 바와 같이 전기 인가를 위한 실험 구성을 하였다. 도 2를 참조하면, 시멘트 복합체 시편에 연결된 구리 전극을 통해 직류 전원에 연결되고, 전기저항 및 온도 변화를 측정하여 데이터를 수집한다.

[0047] 도 3a 및 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 시편의 제작을 위한 재료 함량의 변화에 따라 전기저항 변화 및 온도 변화를 각각 도시한다. 각각의 탄소섬유 함량에 대해 물과 시멘트의 비율은 0.3 내지 0.45 사이로 변화시키며 발열 성능을 측정하였다.

[0049] 1-1 전기저항 측정 결과

[0050] 도 3a는 본 발명의 일 실시예에 따른 시멘트 복합체 시편의 제작을 위한 재료 함량의 변화에 따라, 시편에 연결된 구리 전극을 통해 직류 전원으로 부터 전류를 흘려주었을 때 전기저항 변화를 측정한 결과를 도시한다. 도 3a를 참조하면, 탄소섬유 함량이 증가할수록 전기저항이 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

[0051] 일반적으로 시멘트의 저항은 $10^3(\Omega \cdot \text{cm})$ 인 것에 비해, 적절한 탄소섬유와 물/시멘트 비율로 시편을 제조하였을 때 이보다 현저히 향상된 전기적 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 이것은 탄소섬유 함량이 증가할수록 전도성 물질 간의 연결이 더 촘촘히 이루어졌기 때문이다.

[0053] 1-2 발열 성능 평가

[0054] 도 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 시멘트 복합체 시편의 제작을 위한 재료 함량의 변화에 따라, 시편에 연결된 구리 전극을 통해 직류 전원으로 부터 전류를 흘려주었을 때 온도 변화를 측정한 결과를 도시한다. 도 3b를 참조하면, 탄소섬유 함량이 증가할수록 대체로 온도가 높게 측정되는 것을 확인할 수 있다.

[0055] 실시예 1의 경우 탄소섬유가 함유되지 않고 CNT만 시멘트 중량대비 0.5wt%함유된 경우로, 대체로 발열 온도가

40 내지 60℃ 사이이고, 물과 시멘트 비율을 조절하면 발열 온도를 더 높일 수 있음을 알 수 있다. 탄소섬유 함량이 높아진 실시예 3에서 발열 온도가 약 80℃로 높은 발열 성능을 확인할 수 있었다.

[0056] 도 3a 및 3b를 참조하면, 일반적으로 저항이 낮아진 경우 같은 전류대비 높은 발열 성능을 내는 것을 확인할 수 있었고, 높은 발열 성능을 내는 경우 열가소성 고분자의 용융을 쉽게 하므로 셀프힐링하는 데 유리한 특성을 갖게 된다.

[0058] [실험예 2: 피로 성능 평가]

[0060] 2-1 셀프힐링 메커니즘

[0061] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 전기 발열에 의한 셀프힐링 메커니즘의 개략도를 도시한다.

[0062] 도 4를 참조하면, 상술한 실시예 1 내지 3과 같이 제작된 시멘트 복합체 시편의 내부 구조는 시멘트 물질(10) 사이에 전도성 필러인 CNT(20)가 PEO 파우더 입자(30)와 접촉하면서 전체적으로 분포한다. 시멘트 복합체에 하중을 가하는 압축 피로 시험을 가하고, 이와 같은 시험이 반복되는 경우, 도 4에 도시된 바와 같이 내부 균열이 생기게 된다. 내부 균열이 발생한 후 전기를 가하여 전기 발열을 유도하는 경우, CNT(20)에 전류가 흘러 발열되고, CNT(20) 부근에 위치한 PEO 파우더 입자(30)가 용융되어 균열 틈을 메우게 된다.

[0063] 도 4와 같은 메커니즘을 통해, 본 발명의 전도성 필러 및 고분자 필러를 포함하는 시멘트 복합체의 균열이 셀프 힐링될 수 있다.

[0065] 2-2 피로 성능 평가

[0066] 도 5a 및 5b는 본 발명의 시간의 흐름에 따라 일반 시멘트 및 본 발명의 일 실시예에 따른 셀프힐링 시멘트 복합체의 성능 변화를 각각 도시한다. 피로 성능 평가는 시멘트에 피로 하중을 가하여, 최대 하중 대비 인가 가능한 하중 비율을 측정하여 이루어졌다.

[0067] 도 5a를 참조하면, 비교예에 따른 일반 시멘트는 약 1000~2000 사이클의 피로시험을 거친 후 급격히 파괴되는 것을 확인할 수 있다. 이것은 비교예의 일반 시멘트를 사용하는 경우 구조물의 수명 연장이 매우 짧아질 수 있음을 의미한다.

[0068] 도 5b를 참조하면, 본 발명의 실시예 3에 따라 포틀랜드 시멘트 1000g, 실리카폼 100g, 탄소나노튜브 5g, PEO 파우더 50g, 탄소섬유 5g, 물 300g, 계면활성제 16g을 혼합하여 제조된 시멘트 복합체는 약 1000 사이클의 피로 시험 후 가열(예를 들어, 전기 인가에 의한 발열)을 통해 PEO 파우더의 용융을 유도하였다. 이후, 8000 사이클 이상의 피로 시험에도 급격한 파괴가 지연되는 것을 확인할 수 있었다. 내부 균열이 발생하더라도, 본 발명의 실시예에 따라 제작된 시멘트 복합체의 경우 전도성 필러를 통한 발열을 유도하고, 발열에 의한 고분자 필러의 용융을 통해 균열을 메움으로써 내부 균열의 효과적인 보수가 가능하고, 도 5b에 도시된 바와 같이 이로 인해 향상된 피로 성능을 확인할 수 있었다.

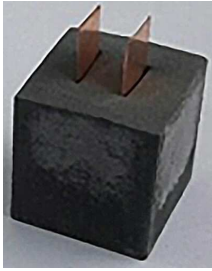
[0069] 실험예에서는 내부 균열이 발생할 시기를 예측하고, 그 시기에 맞춰 전기를 인가하고 발열을 유도하였다. 그러나, 본 발명의 다른 실시예에 따라 전원 장치는 제어 장치와 연결될 수 있고 미리 설정된 주기(예: 24시간, 일주일, 한달 등) 또는 시기(예: 특정 날짜, 특정 시간 등)에 따라, 또는 입력된 명령에 따라, 제어 장치는 전원 장치가 전류를 인가하도록 제어할 수 있다. 예를 들어, 제어 장치는 하나 이상의 프로세서를 포함할 수 있고, 제어 장치의 하나 이상의 프로세서에 의해 전원 장치가 제어될 수 있다.

[0071] 상술한 구체적인 실시예들에서, 발명에 포함되는 구성 요소는 제시된 구체적인 실시예에 따라 단수 또는 복수로 표현되었다. 그러나, 단수 또는 복수 개의 표현은 설명의 편의를 위해 제시한 상황에 적합하게 선택된 것으로서, 상술한 실시예들이 단수 또는 복수 개의 구성 요소에 제한되는 것은 아니며, 복수로 표현된 구성 요소라 하더라도 단수로 구성되거나, 단수로 표현된 구성 요소라 하더라도 복수로 구성될 수 있다.

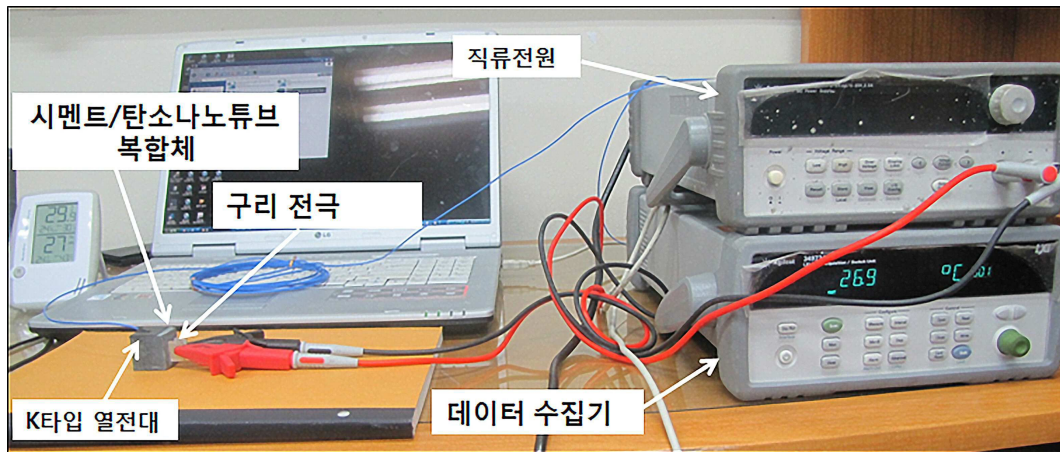
[0072] 한편 발명의 설명에서는 구체적인 실시예에 관해 설명하였으나, 다양한 실시예들이 내포하는 기술적 사상의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며 후술하는 청구범위뿐만 아니라 이 청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면

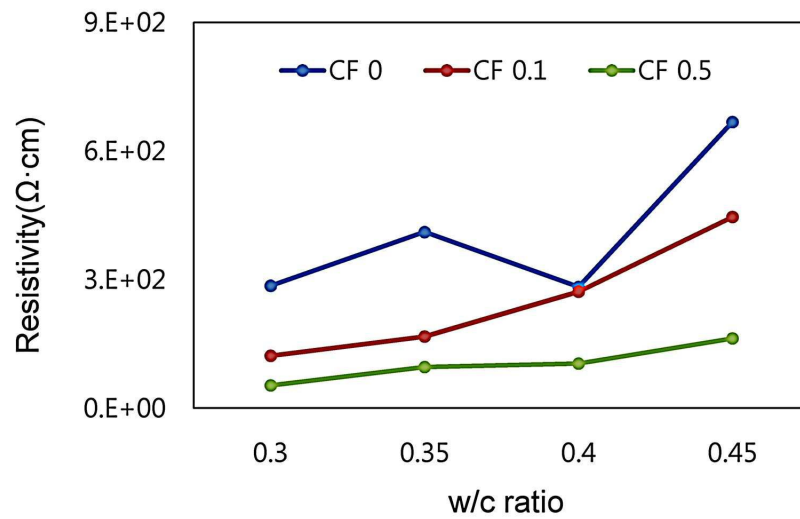
도면1



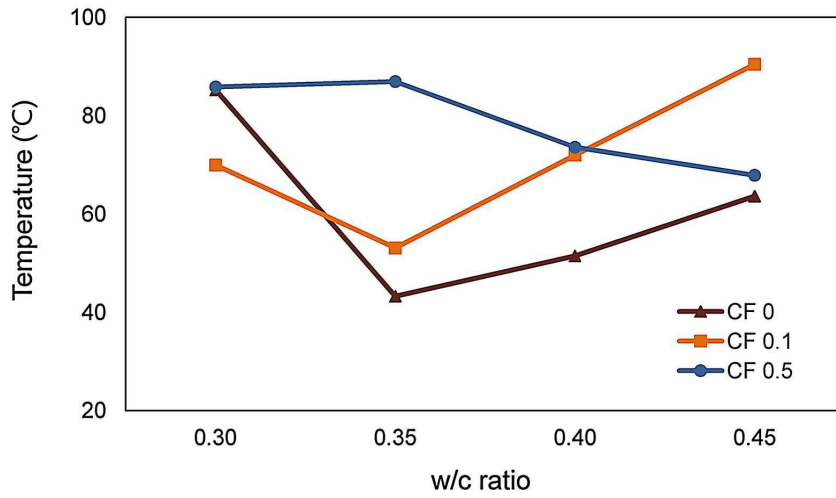
도면2



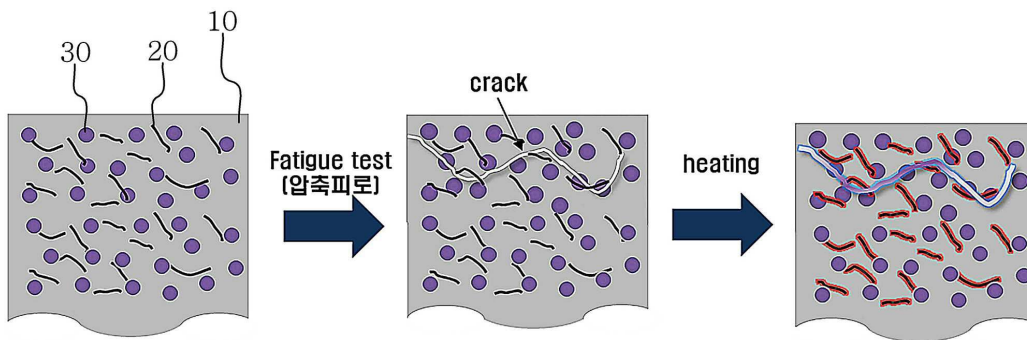
도면3a



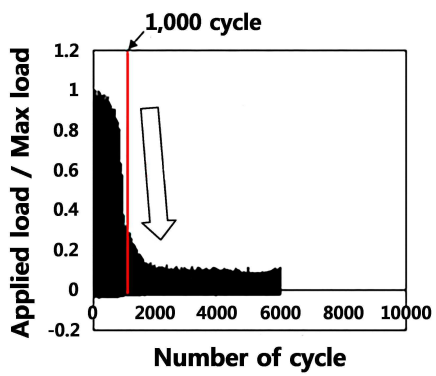
도면3b



도면4



도면5a



도면5b

