



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년08월19일
(11) 등록번호 10-2434431
(24) 등록일자 2022년08월16일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 27/04 (2006.01) B28C 7/02 (2006.01)
C04B 14/38 (2006.01) C04B 40/00 (2006.01)
G01N 33/38 (2020.01) C04B 111/94 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01N 27/041 (2013.01)
B28C 7/024 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2022-0033571
(22) 출원일자 2022년03월17일
심사청구일자 2022년03월17일
- (56) 선행기술조사문헌
KR1020160074186A*
JP2007039996A
KR1020160028569A
KR1020160074186 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자
건양대학교산학협력단
충청남도 논산시 대학로 121 (내동)
- (72) 발명자
허광희
대전광역시 서구 관저북로 52(관저동, 대자연마을 아파트) 108동 103호
박중진
전라북도 익산시 무왕로 21길 64 리첸시빌아파트 504동 904호
서동주
전라북도 완주군 봉동읍 제내신촌1길 56-84
- (74) 대리인
특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 8 항

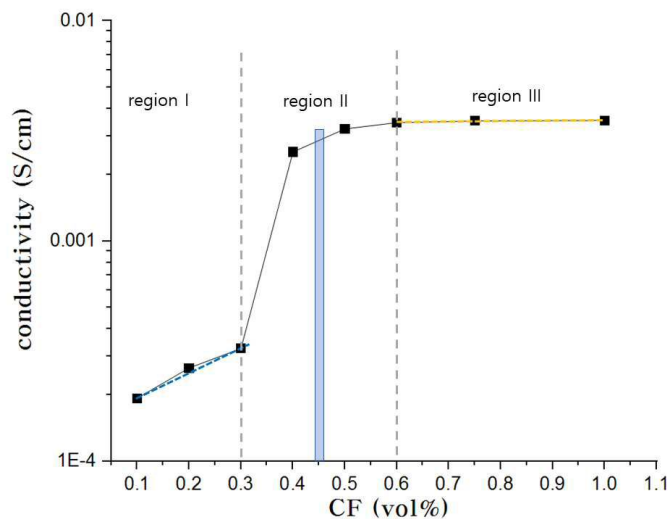
심사관 : 김동원

(54) 발명의 명칭 섬유보강 시멘트 복합체의 전도성 섬유 함량 설정 방법

(57) 요약

본 발명은 소수성 표면 특성을 갖는 전도성 섬유를 함유하는 섬유보강 시멘트 복합체의 기계적 물성을 향상시키기 위한 전도성 섬유 함량의 설정 방법이며, 본 발명에 따른 방법은 전도성 섬유의 함량에 따른 시멘트 복합체의 전기전도도를 측정하여, 전도성 섬유 함량을 x축으로, 시멘트 복합체의 전기전도도를 로그 스케일의 y축으로 한 세미-로그 그래프를 기반으로, 전도성 섬유의 함량을 설정한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C04B 14/386 (2013.01)

C04B 40/0096 (2013.01)

G01N 33/383 (2013.01)

C04B 2111/94 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345331775
과제번호	NRF-2018R1A6A1A03025542
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학학술연구기반구축(R&D)
연구과제명	생체적 재난대응을 위한 시설물의 감재기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	건양대학교
연구기간	2018.06.01 ~ 2027.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

소수성 표면 특성을 갖는 전도성 섬유를 함유하는 섬유보강 시멘트 복합체의 기계적 물성을 향상시키기 위한 전도성 섬유 함량의 설정 방법이며,

시멘트 복합체를 제조하기 위한 시멘트 모르타르 기준, 시멘트 모르타르가 함유하는 전도성 섬유의 부피%인 전도성 섬유의 함량에 따른 시멘트 복합체의 전기전도도를 측정하여, 전도성 섬유 함량을 x축으로, 시멘트 복합체의 전기전도도를 로그 스케일의 y축으로 한 세미-로그 그래프를 기반으로, 전도성 섬유의 함량을 설정하되,

상기 방법은,

- 상기 세미-로그 그래프를 얻는 단계;
- 상기 세미-로그 그래프에서 낮은 함량에서 높은 함량 측으로, 제1영역, 제2영역 및 제3영역을 순차적으로 구획하되, 함량에 전기전도도가 선형적으로 비례하는 영역을 제1영역으로 규정하고, 함량이 증가하여도 전기전도도가 일정하게 유지되는 포화 영역을 제3영역으로 규정하고, 제1영역과 제3영역의 사이를 제2영역으로 규정하는 단계;
- 제2영역의 중심 영역에 해당하는 함량을 산출하는 단계; 및
- 산출된 함량 범위를, 기계적 물성을 향상시키고자 하는 섬유보강 시멘트 복합체의 전도성 섬유 함량으로 설정하는 단계;를 포함하는 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 c) 단계에서, 제2영역의 중심 영역은 x-축 기준 제2영역의 중심 $\times 0.95$ 내지 제2영역의 중심 $\times 1.05$ 인 방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 a) 단계에서, 시멘트 복합체의 전기전도도는 시멘트 복합체에 삽입된 메쉬형 금속 전극에 의해 측정되는 방법.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 시멘트 복합체에는, 적어도 4개의 메쉬형 금속 전극이 서로 등간격으로 이격 삽입된 방법.

청구항 6

제 4항에 있어서,

상기 메쉬형 금속 전극의 눈의 크기는 2mm 내지 10mm인 방법.

청구항 7

삭제

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 a) 단계에서 전기전도도가 측정되는 전도성 섬유 함량 범위는 0 부피%에서 1.0 부피%인 방법.

청구항 9

제 1항에 있어서,

상기 전도성 섬유의 종횡비는 500 내지 2000인 방법.

청구항 10

제 1항에 있어서,

상기 전도성 섬유는 탄소 섬유인 방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 섬유보강 시멘트 복합체의 전기전도성(이하, 전도성) 섬유 함량 설정 방법에 관한 것으로, 상세하게, 시멘트 복합체의 전기적 특성을 통해 우수한 기계적 물성을 확보할 수 있는 전도성 섬유의 함량을 설정할 수 있는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 시멘트 기반 복합재료는 압축력은 우수하나 휨·인장력에 취약할 뿐만 아니라 취성적인 성질을 갖는 단점을 지니고 있다. 이러한 단점을 개선하기 위한 방법으로 섬유보강 시멘트 모르타르(fiber-reinforced cement mortar, FRCM)에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 시멘트 모르타르에 단섬유를 혼입하면 매트릭스 내부에 불연속적으로 배열된 섬유의 가교작용을 통해 균열전전을 억제하고 이에 따라 휨인장강도, 인성, 충격강도, 변형능력 및 연성이 크게 향상된다.
- [0003] 아울러, 오늘날 시장이 요구하는 다기능성 FRCM의 개발을 위해 역학적 성능뿐만 아니라 전기적 특성에 대한 연구가 다양한 측면에서 수행되고 있다. 일반적으로 전기가 통하지 못하게 되는 부도체의 전기적 특성을 갖고 있는 시멘트 모르타르에 전도성 섬유를 혼입하여 전기전도성을 부여하게 되면 FRCM의 응용분야를 다방면으로 확대할 수 있으며, 새로운 수요의 창출도 가능할 것으로 기대된다.
- [0004] 탄소섬유를 이용하는 전기적 특성을 부여하는 경우, 탄소섬유의 높은 전기전도성, 열전도성, 내열성, 불연성 및 부식에 대한 저항성 등의 우수한 특성에 의해, 자체감지, 자체 모니터링, 교통 모니터링, 결빙된 도로포장의 제설/제빙(de-icing), 철근의 부식 방지, 접지저항 저감재, 정전기 방지재료 및 전자파 차폐재료 등과 같은 다양한 응용 분야에 활용될 수 있다.
- [0005] 그러나, 알려진 바와 같이, 탄소섬유는 소수성의 특성을 가져 시멘트, 잔골재 및 물을 기본 물질로 하는 시멘트 모르타르와 혼합할시 뭉침 현상이 발생하기 쉬우며, 탄소섬유의 뭉침과 탄소섬유와 매트릭스인 시멘트 사이에 미세 공극이 형성될 수 있어, 그 기계적 물성이 오히려 섬유상을 함유하지 않는 시멘트 복합체 자체보다도 떨어질 위험이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0006] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제2019-0074425호 A

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명은 소수성 표면 특성을 갖는 전도성 섬유를 함유하는 시멘트 복합체에서, 우수한 기계적 물성이 담보되는 전도성 섬유의 함량을 설정할 수 있는 방법을 제공하는 것이며, 나아가, 우수한 기계적 물성과 높은 전기전도도를 모두 확보할 수 있는 전도성 섬유의 함량 설정 방법이다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명에 따른 전도성 섬유의 함량 설정 방법은, 소수성 표면 특성을 갖는 전도성 섬유를 함유하는 섬유보강 시멘트 복합체의 기계적 물성을 향상시키기 위한 전도성 섬유 함량의 설정 방법이며, 전도성 섬유의 함량에 따른 시멘트 복합체의 전기전도도를 측정하여, 전도성 섬유 함량을 x축으로, 시멘트 복합체의 전기전도도를 로그 스케일의 y축으로 한 세미-로그 그래프를 기반으로, 전도성 섬유의 함량을 설정한다.
- [0009] 일 구체예에 따른 전도성 섬유의 함량 설정 방법은 a) 상기 세미-로그 그래프를 얻는 단계; b) 상기 세미-로그 그래프에서 낮은 함량에서 높은 함량 측으로, 제1영역, 제2영역 및 제3영역을 순차적으로 구획하되, 함량에 전기전도도가 선형적으로 비례하는 영역을 제1영역으로 규정하고, 함량이 증가하여도 전기전도도가 일정하게 유지되는 포화 영역을 제3영역으로 규정하고, 제1영역과 제3영역의 사이를 제2영역으로 규정하는 단계; c) 제2영역의 중심 영역에 해당하는 함량을 산출하는 단계; 및 d) 산출된 함량 범위를, 기계적 물성을 향상시키고자 하는 섬유보강 시멘트 복합체의 전도성 섬유 함량으로 설정하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0010] 일 구체예에 따른 전도성 섬유의 함량 설정 방법에 있어, 제2영역의 중심 영역은 x-축 기준 제2영역의 중심 $x \times 0.95$ 내지 제2영역의 중심 $x \times 1.05$ 일 수 있다.
- [0011] 일 구체예에 따른 전도성 섬유의 함량 설정 방법에 있어, 상기 a) 단계에서, 시멘트 복합체의 전기전도도는 시멘트 복합체에 삽입된 메쉬형 금속 전극에 의해 측정될 수 있다.
- [0012] 일 구체예에 따른 전도성 섬유의 함량 설정 방법에 있어, 상기 시멘트 복합체에는, 적어도 4개의 메쉬형 금속 전극이 서로 등간격으로 이격 삽입될 수 있다.
- [0013] 일 구체예에 따른 전도성 섬유의 함량 설정 방법에 있어, 상기 메쉬형 전극의 눈의 크기는 2mm 내지 10mm일 수 있다.
- [0014] 일 구체예에 따른 전도성 섬유의 함량 설정 방법에 있어, 상기 a) 단계의 전도성 섬유 함량은 시멘트 복합체를 제조하기 위한 시멘트 모르타르 기준, 시멘트 모르타르가 함유하는 전도성 섬유의 부피%일 수 있다.
- [0015] 일 구체예에 따른 전도성 섬유의 함량 설정 방법에 있어, 상기 a) 단계에서 전기전도도가 측정되는 전도성 섬유 함량 범위는 0 부피%에서 1.0 부피%일 수 있다.
- [0016] 일 구체예에 따른 전도성 섬유의 함량 설정 방법에 있어, 상기 전도성 섬유의 종횡비는 500 내지 2000일 수 있다.
- [0017] 일 구체예에 따른 전도성 섬유의 함량 설정 방법에 있어, 상기 전도성 섬유는 탄소 섬유일 수 있다.
- [0018] 본 발명은 상술한 전도성 섬유의 함량 설정 방법에 의해 설정된 전도성 섬유의 함량을 이용하여 시멘트 복합체를 형성하는 방법을 포함한다.

발명의 효과

- [0019] 본 발명에 따른 전도성 섬유의 함량 설정 방법은, 전도성 섬유에 의해 통전성이 부여되는 시멘트 복합체의 전기적 특성으로부터 우수한 기계적 물성을 나타내는 전도성 섬유의 함량 범위를 산출할 수 있는 특징이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따라 영역이 구획되고 향상된 기계적 물성을 갖는 시멘트 복합체가 제조될 수 있는 전도성 섬유 함량 범위가 설정된, 함량-전기전도도의 세미 로그 그래프를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명의 섬유-강화 시멘트 복합체 내 전도성 섬유의 함량 설정 방법을 상세히 설명한다. 다음에 소개되는 도면들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서

제공되는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있으며, 이하 제시되는 도면들은 본 발명의 사상을 명확히 하기 위해 과장되어 도시될 수 있다. 이때, 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명 및 첨부 도면에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.

- [0022] 또한 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 사용되는 단수 형태는 문맥에서 특별한 지시가 없는 한 복수 형태도 포함하는 것으로 의도할 수 있다.
- [0023] 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 제1, 제2 등의 용어는 한정적인 의미가 아니라 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하는 목적으로 사용된다.
- [0024] 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 포함하다 또는 가지다 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 또는 구성 요소가 존재함을 의미하는 것이고, 특별히 한정하지 않는 한, 하나 이상의 다른 특징들 또는 구성요소가 부가될 가능성을 미리 배제하는 것은 아니다.
- [0025] 본 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서, 막(층), 영역, 구성 요소 등의 부분이 다른 부분 위에 또는 상에 있다고 할 때, 다른 부분과 접하여 바로 위에 있는 경우뿐만 아니라, 그 중간에 다른 막(층), 다른 영역, 다른 구성 요소 등이 개재되어 있는 경우도 포함한다.
- [0026] 본 출원인은 탄소 섬유로 대표되는 소수성 표면 특성을 갖는 전도성 섬유가 도입된 시멘트 복합체의 기계적 물성과 전기적 특성을 연구하는 과정에서, 시멘트 복합체의 전기적 특성과 기계적 물성이 긴밀하게 연관되어 있으며, 전기적 특성을 통해 우수한 기계적 물성을 나타내는 탄소섬유 함량을 결정할 수 있음을 발견하였다.
- [0027] 상술한 발견에 기반한 본 발명에 따른 방법은 소수성 표면 특성을 갖는 전도성 섬유를 함유하는 섬유보강 시멘트 복합체의 기계적 물성을 향상시키기 위한 전도성 섬유 함량의 설정 방법이며, 전도성 섬유의 함량에 따른 시멘트 복합체의 전기전도도를 측정하여, 전도성 섬유 함량을 x축으로, 시멘트 복합체의 전기전도도를 로그 스케일의 y축으로 한 세미-로그 그래프를 기반으로, 전도성 섬유의 함량을 설정(결정)한다. 즉, 로그 스케일의 시멘트 복합체 전기전도도를 y축으로, 시멘트 복합체 전도성 섬유 함량을 x축으로 갖는 세미-로그 그래프를 이용하여, 섬유보강 시멘트 복합체가 향상된 기계적 물성을 나타낼 수 있는 전도성 섬유의 함량을 결정할 수 있다. 세미-로그 그래프는, 전도성 섬유의 함량이 증가함에 따라 서로 연결되지 않던 전도성 섬유가 서로 연결되며 변화되는 전도도의 변화가 명확하게 도시될 수 있어 유리하다.
- [0028] 일 구체예에서, 소수성 표면 특성을 갖는 전도성 섬유는 탄소 섬유일 수 있다. 탄소 섬유는 탄소섬유(Carbon Fiber, CF)는 적어도 92% 이상의 탄소원소로 이루어진 섬유를 의미할 수 있으며, 제조 방법 및 원료에 따라 폴리아크릴로니트릴(Polyacrylonitrile, PAN)계 탄소섬유, 피치계 탄소섬유 및 레이온계 탄소섬유등으로 대별할 수 있다. 탄소섬유는 우수한 전기전도도, 고강도, 고탄성, 높은 열전도성, 우수한 내열성, 불연성 및 우수한 내부식성등을 가져 높아 시멘트 복합체와의 복합화에 유리하다.
- [0029] 일 구체예에서, 전도성 섬유는 단섬유, 장섬유 또는 이들의 혼합물일 수 있으며, 구체적으로, 단섬유일 수 있다. 전도성 섬유의 중형비는 500 내지 2000, 구체적으로 600 내지 1500일 수 있다. 전도성 섬유의 평균길이는 1 내지 20 mm, 구체적으로 2 내지 15 mm 수준일 수 있다. 전도성 섬유의 중형비와 평균길이는 전도성 네트워크 형성에 유리하면서 압축강도 등의 저하에 따른 문제가 발생하지 않으면서 휨성능, 내충격성 등의 기계적 물성을 향상시키기에 유리한 중형비와 평균길이이다.
- [0030] 전도성 섬유에 의해 기계적 물성을 향상시키고자 하는 시멘트 복합체(이하, 타겟 시멘트 복합체)는 통전성 확보와 섬유보강을 위한 전도성 섬유와 함께, 시멘트 및 잔골재를 포함할 수 있다. 또한, 필요시 타겟 시멘트 복합체는 종래 콘크리트나 시멘트 또는 모르타르에 통상적으로 사용되는 혼화제를 더 함유할 수 있으며, 구체 용도를 고려하여 필요시 굵은 골재를 더 포함할 수 있다. 이때, 타겟 시멘트 복합체는 타겟 시멘트 모르타르 조성물의 양생에 의해 전도성 섬유, 시멘트 및 잔골재를 함유하는 시멘트 복합체가 제조될 수 있다. 이에, 본 발명에서 설정되는 전도성 섬유의 함량은 '시멘트 복합체'의 기계적 물성을 향상시키는 함량이다.
- [0031] 타겟 시멘트 복합체에서 시멘트는 기경성 시멘트, 수경성 시멘트, 특수 시멘트, 포트랜드 시멘트, 혼합 시멘트 등 건축, 토목 분야에 통상적으로 사용되는 시멘트이면 족하다.
- [0032] 잔골재는 콘크리트나 모르타르 등의 건축, 토목 분야에서 사용되는 것이라면 다양한 것들이 사용될 수 있으며, 구체적 종류의 예로 모래 등을 들 수 있다. 상기 잔골재의 비중은 크게 제한되는 것은 아니며, 일 예로 2.5 내

지 3.5인 것을 들 수 있다. 하지만 이는 구체적인 일 예로서 설명된 것일 뿐, 본 발명이 이에 제한되어 해석되는 것은 아니다.

- [0033] 굵은 골재는 콘크리트나 모르타르 등의 건축, 토목 분야에서 사용되는 것이라면 다양한 것들이 사용될 수 있으며, 구체적 종류의 예로 자갈 등을 들 수 있다. 굵은 골재의 비중은 크게 제한되는 것은 아니며, 일 예로 2.5 내지 3.5인 것을 들 수 있다.
- [0034] 혼화제의 예로 공기연행제(AE제), 감수제, AE감수제, 발포제 등을 들 수 있으나, 이외에 공지된 다양한 종류의 혼화제가 사용될 수 있으며, 이에 본 발명이 제한되지 않음은 물론이다.
- [0035] 타겟 시멘트 복합체의 제조시 사용되는 시멘트 모르타르 조성물 기준, 시멘트, 잔골재 및 물의 조성비는 크게 제한되는 것은 아니나, 예를 들어 물 100 중량부에 대하여 시멘트 50 내지 800 중량부 및 잔골재 100 내지 1,000 중량부를 포함할 수 있으며, 구체적으로 물 100 중량부에 대하여 시멘트 100 내지 400 중량부 및 잔골재 200 내지 800 중량부를 포함할 수 있다. 혼화제의 함량은 크게 제한되는 것은 아니나, 물 100 중량부 기준 1 내지 50 중량부, 구체적으로 1 내지 20 중량부일 수 있으며, 굵은 골재의 함량은 물 100 중량부에 대하여 100 내지 1,000 중량부, 구체적으로 200 내지 800 중량부를 들 수 있다. 하지만 이는 구체적인 일 예로서 설명된 것일 뿐, 본 발명이 이에 제한되어 해석되는 것은 아니다. 이때, 타겟 시멘트 복합체의 전도성 섬유 함량은 타겟 시멘트 모르타르 조성물에 기준한 전도성 섬유 함량이며, 최종적으로, 본 발명에 따른 방법에 의해 그 함량이 설정됨은 물론이다.
- [0036] 세미-로그 그래프를 얻기 위해 사용되는 시멘트 복합체(이하, 측정용 시멘트 복합체)는 전도성 섬유의 함량을 제외하고, 타겟 시멘트 복합체(타겟 시멘트 복합체 조성물)와 동일한 물질과 조성을 가질 수 있다. 이에, 측정용 시멘트 모르타르 조성물 또한 전도성 섬유의 함량을 제외하고 타겟 시멘트 모르타르 조성물과 동일한 물질과 조성을 가질 수 있다.
- [0037] 일 구체예에 있어, 전도성 섬유 함량의 설정 방법은 a) 전도성 섬유의 함량에 따른 시멘트 복합체의 전기전도도를 측정하여, 전도성 섬유 함량을 x축으로, 시멘트 복합체의 전기전도도를 로그 스케일의 y축으로 한 세미-로그 그래프를 얻는 단계; b) 상기 세미-로그 그래프에서 낮은 함량에서 높은 함량 측으로, 제1영역, 제2영역 및 제3영역을 순차적으로 구획하되, 함량에 전기전도도가 선형적으로 비례하는 영역을 제1영역으로 규정하고, 함량이 증가하여도 전기전도도가 일정하게 유지되는 포화 영역을 제3영역으로 규정하고, 제1영역과 제3영역의 사이를 제2영역으로 규정하는 단계; c) 제2영역의 중심 영역에 해당하는 함량을 산출하는 단계; 및 d) 산출된 함량 범위를, 기계적 물성을 향상시키고자 하는 섬유보강 시멘트 복합체의 전도성 섬유 함량으로 설정하는 단계;를 포함할 수 있다.
- [0038] 상세하게, a) 단계의 세미-로그 그래프에서 전도성 섬유의 함량은 부피%일 수 있으며, 시멘트 복합체의 제조를 위해 사용되는 시멘트 모르타르 조성물 기준 전도성 섬유가 차지하는 부피%일 수 있다. 세미-로그 그래프와 함께 부피%에 기준한 전도성 섬유의 함량을 사용함으로써, 제1영역, 제2영역 및 제3영역이 명확하게 구획될 수 있다.
- [0039] a) 단계의 세미-로그 그래프는 전도성 섬유를 함량이 변화되는 시멘트 모르타르 조성물(측정용 시멘트 모르타르 조성물)을 각주형 형태의 몰드에 투입하고, 몰드 내 시멘트 모르타르 조성물에 전극을 삽입한 후, 양생하고 재령하여 측정용 시멘트 복합체를 제조한 후, 삽입된 전극을 이용하여 시멘트 복합체의 전기저항(R)값을 측정하여 취득될 수 있다. 시멘트 모르타르 조성물에서 전도성 섬유의 함량은 0 부피%에서 2.0 부피% 범위로, 구체적으로 0.05에서 1.5 부피% 범위로, 보다 구체적으로 0.05에서 1.0 부피% 범위로 변화될 수 있다.
- [0040] 알려진 바와 같이, 전기전도도는 비저항의 역수이며, 전극 사이의 간격(L)을 전극과 시멘트 복합체가 접촉한 부분의 면적(A)과 저항(R)의 곱으로 나눠 얻을 수 있다.
- [0041] 이때, 측정용 시멘트 복합체(들)에서 점차 전도성 섬유 함량이 증가하는 방향으로 측정용 시멘트 복합체를 나열할 때, 서로 이웃하는 측정용 시멘트 복합체간 전도성 섬유 함량(부피 %)의 차(측정용 시멘트 복합체에서 전도성 섬유 함량의 증가분)는 0.01 부피% 내지 0.30 부피%, 구체적으로 0.05 부피% 내지 0.25 부피% 수준일 수 있다. 보다 실질적으로 측정용 시멘트 복합체들의 전기전도도가 포화되기 전까지는 0.01 부피% 내지 0.10 부피%의 차를 갖는 것이 좋고, 실질적으로 포화가 된 후에는 0.20 내지 0.30 부피%의 차를 갖는 것이 좋다.
- [0042] 이때, 모든 측정용 시멘트 복합체의 양생 및 재령 조건이 서로 동일함은 물론이며, 모두 동일한 재령 시점에서 전기적 특성(전기저항)이 측정될 수 있음은 물론이다. 구체예로, 전기적 특성이 측정되는 재령 시점은 재령 27

내지 30일일 수 있다.

- [0043] 유리한 일 예에서, 각주형의 시멘트 복합체에 삽입된 전극은 메쉬형 금속 전극일 수 있다. 메쉬형 금속 전극을 사용함으로써, 시멘트 복합체 내 전도성 섬유의 분포와 서로 간 연결 상태의 변화가 민감하게 측정될 수 있으며, 전극과 시멘트 복합체의 서로 다른 물질 사이의 불연속성을 최소화할 수 있고, 전극과 시멘트 복합체 계면에서 전극 삽입이 전극 인근 전도성 섬유의 분포에 미치는 영향을 최소화할 수 있다. 무엇보다, 메쉬형 금속 전극을 사용함으로써, 제3영역, 즉, 포화 영역이 엄밀하고 정확하게 규정될 수 있다. 전기전도도가 시멘트 복합체 내 전체적인 전도성 섬유 분포를 대변하기 위해서는 실질적으로 각주형 형태의 시멘트 복합체의 단면(시편 길이에 수직인 단면)과 상응하거나 유사한 크기의 전극이 삽입되어야 한다. 그러나, 메쉬형이 아닌 박막이나 판형 전극을 사용하는 경우 제2영역(포화 전)과 제3영역(포화 후)에 걸쳐 함량에 비선형적으로 전기전도도가 과장되게 좋게 측정되며, 목적하는 기계적 물성을 향상시키고자 하는 섬유 보강 시멘트 복합체 내 전도성 섬유의 함량이 정확하게 설정되지 못하고, 기계적 물성이 떨어지는 함량이 설정될 위험이 있다.
- [0044] 메쉬형 금속 전극에서 메쉬의 눈의 형상은 정사각 내지 직사각, 마름모등의 사각 형상일 수 있으며, 눈의 중심을 지나는 가장 긴 직경을 눈의 크기로 하여, 메쉬형 눈의 크기는 2mm 내지 10mm 수준, 유리하게, 3 내지 5mm 수준일 수 있다. 메쉬의 눈이 너무 큰 경우 복합체 내 전체적인 전도성 섬유의 분포가 반영된 특성(전기전도도)이 아닌 국부적인 전도성 섬유의 변화에 영향을 받는 특성이 측정될 위험이 있으며, 메쉬형 눈의 크기가 너무 작은 경우 전극과 시멘트 복합체 간의 계면 부근에서 삽입된 전극에 의해 야기되는 전도성 섬유의 분포 변화에 의해 마찬가지로 복합체 내 전체적인 전도성 섬유의 분포가 반영된 특성이 측정되지 않을 위험이 있다.
- [0045] 유리한 일 예에서, 각주형 시멘트 복합체에는 등간격으로 이격된 4개의 메쉬형 전극이 삽입될 수 있다. 메쉬형 전극은 각주형 형태 시멘트 복합체의 길이 방향에 수직인 단면에 상응하는 형상과 크기를 갖되, 일 방향으로 늘어나, 삽입시 늘어난 방향으로 메쉬형 전극의 일부가 돌출되는 형태면 족하다. 메쉬형 금속 전극은 각주형의 길이 방향에 수직이 되도록 삽입되어 위치할 수 있으며, 메쉬형 금속 전극간의 이격 간격은 20 내지 60mm 수준일 수 있다. 각주형의 시멘트 복합체에서 시편의 길이는 4개의 메쉬형 금속 전극이 안정적으로 이격 삽입될 수 있는 길이면 족하며, 일 예로, 80 내지 300mm 수준일 수 있다. 일 예로, 각주형의 시멘트 복합체는 매우 큰 벌크로 제조시에도 벌크 특성을 대변할 수 있도록 20 내지 100mm x 20 내지 100mm x 80 내지 300mm 수준의 크기를 가질 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0046] 4개의 메쉬형 전극 각각을 프루브(probe)로 하여, 4-프루브(4-probe) 방법에 의해 시멘트 복합체의 저항(전기전도도)이 측정될 수 있다. 상세하게, 시편의 길이 방향을 따라 등간격으로 이격된 4개의 메쉬형 전극 중 외측 위치하는 두 전극에 직류를 공급하고, 내측에 위치하는 두 전극으로 전압을 측정하여 시멘트 복합체의 저항이 측정될 수 있다. 메쉬형 금속 전극과 4-프루브(4-probe) 방법을 이용하여 시멘트 복합체의 전기적 특성을 측정함으로써, 복합체 내 전체적인 전도성 섬유의 분포가 반영되고 분포의 변화에 의해 민감하게 변화되는 측정값(저항값)을 얻을 수 있다. 세미-로그 그래프의 정확성을 높이기 위해, 동일 함량에 대해 3~10개의 시멘트 복합체(메쉬형 금속 전극이 삽입된 복합체)를 제조한 후, 전기전도도를 측정하고 그 평균을 취하여 세미-로그 그래프를 얻을 수 있음은 물론이다. 그러나, 상술한 바와 같이, 각주형 형태 시멘트 복합체 크기가 벌크 물성을 대변할 수 있을 정도로 크고 메쉬형 전극을 사용하여 전극이 복합체의 전기적 특성(전도성 섬유의 분포와 응집등)에 영향을 미치지 않도록 함에 따라, 함량 별로 1개의 시멘트 복합체로 전기전도도를 측정하여도, 평균값과 유의미한 차이는 발생하지 않는다.
- [0047] a) 단계에 의해, 시멘트 모르타르 조성물에 기준한 전도성 섬유의 부피%를 x-축 값으로, 시멘트 모르타르 조성물을 양생 및 재령하여 수득된 시멘트 복합체의 전기전도도 값을 로그 스케일의 y축 값으로 갖는 세미-로그 그래프를 얻은 후, 영역을 구획하는 b) 단계가 수행될 수 있다.
- [0048] b) 단계에서 세미-로그 그래프에서 낮은 함량에서 높은 함량 측으로, 제1영역, 제2영역 및 제3영역이 순차적으로 위치하는, 세 영역이 구획될 수 있다. 상세하게, 원점(0)에 인근하여, 함량이 증가함에 따라 전기전도도가 선형적으로 비례하는 영역이 제1영역으로 규정될 수 있다. 또한, 최대 함량(일 예로, 1 부피%)에 인근하여, 함량이 증가하여도 전기전도도가 일정하게 유지되는 포화 영역이 제3영역으로 규정될 수 있다. 제1영역과 제3영역이 구획된 후, 제1영역과 제3영역의 사이가 트랜지션 영역인 제2영역으로 규정될 수 있다.
- [0049] 상세하게, 제1영역은 원점에 인근하여 함량이 증가함에 따라 전기전도도가 증가하는 부분을 선형 회귀 분석하여 r^2 값이 0.8 이상, 구체적으로 0.95 이상, 보다 구체적으로 0.98 이상 확보되는 영역이 제1영역으로 규정될 수 있다. 전도성 성분을 함유하지 않는 통상의 시멘트 복합체의 전기전도도가 $10^{-6} \sim 10^{-10}$ S/cm 수준임을 고려할 때,

제1영역 구획을 위해 선형 회귀 분석되는 영역은 전기전도도가 시멘트 복합체(고유)의 전기전도도내지 10^{-4} 오더(order)의 범주에 있는 영역일 수 있다.

[0050] 또한, 최대 함량(일 예로, 1 부피%)에부터 함량이 감소하는 방향으로 선형 회귀 분석하여 r^2 값이 0.65 이상, 구체적으로 0.7 이상, 보다 구체적으로 0.75 이상, 보다 더 구체적으로 0.80 이상 확보되는 영역이 제3영역으로 규정될 수 있다. 상술한 바에 따라 제1영역과 제3영역이 규정되면, 제1영역과 제3영역의 사이가 제2영역으로 규정될 수 있다.

[0051] 영역이 규정된 후, c) 제2영역의 중심 영역에 해당하는 함량을 산출하는 단계가 수행될 수 있다. 이때, 제2영역의 중심 영역은 x 축 기준 중심 영역을 의미한다. 즉, c) 단계는 제2영역의 중심 영역에 해당하는 함량 범위를 산출하는 단계이다. 반드시 이러한 해석에 한정되는 것은 아니나, 전도성 섬유에 의해 시멘트 복합체 내 연속적인 전류 이동 경로가 막 형성되기 시작하는 지점에서 전도성 섬유로 섬유 보강된 시멘트 복합체가 가장 우수한 기계적 물성을 나타낼 수 있으며, 메쉬형 금속 전극을 이용하여 시멘트 복합체의 전기전도도를 측정하여 얻어진 세미-로그 스케일 그래프에서 제2영역의 중심 영역이 이러한 전류 이동 경로가 막 형성되기 시작하는지점을 나타내는 것으로 해석할 수 있다. c) 단계에서, 제2영역의 중심 영역은 x-축 기준 제2영역의 중심(중심 x 값)x0.90에서 제2영역의 중심(중심 x 값)x1.10까지의 범위, 종계는 x-축 기준 제2영역의 중심(중심 x 값)x0.95에서 제2영역의 중심(중심 x 값)x1.05까지의 범위일 수 있다.

[0052] c) 단계에서 산출된 함량 범위는 섬유보강 시멘트 복합체가 가장 우수한 기계적 물성을 나타낼 수 있는 함량으로, 이에, 산출된 함량 범위를, 기계적 물성을 향상시키고자 하는 섬유보강 시멘트 복합체의 전도성 섬유 함량으로 설정할 수 있다. 이때, 앞서 상술한 바와 같이, 산출된 함량 범위를 섬유보강 시멘트 복합체의 전도성 섬유 함량으로 설정한다 함은, 타겟 섬유보강 시멘트 복합체를 제조하기 위해 사용되는 티겟 시멘트 모르타르 조성물에서의 섬유 함량으로 설정함을 의미한다.

[0053] 본 발명은 상술한 방법으로 설정된 함량으로 소수성 표면 특성을 갖는 전도성 섬유를 함유하는 시멘트 모르타르 조성물을 이용한 시멘트 복합체의 형성 방법을 포함한다.

[0054] 상세하게, 시멘트 복합체의 형성 방법은 설정된 함량으로 소수성 표면 특성을 갖는 전도성 섬유를 함유하는 시멘트 모르타르 조성물을 타설하고 양생하여 시멘트 복합체를 형성하는 단계를 포함한다.

[0055] 하기 표 1은 시멘트 모르타르 조성물에서의 전도성 탄소 섬유의 부피%에 따른 시멘트 복합체의 전기전도도(S/cm)를 측정 정리한 것이다.

[0056] (표 1)

탄소섬유 함량 (부피%)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.75	1.0
전기전도도 ($\times 10^{-4}$ S/cm)	1.93	2.65	3.25	25.4	32.3	34.5	35.1	35.3

[0057]

[0058] 표 1의 시멘트 복합체를 제조하기 위해 사용된 시멘트 모르타르 조성물은 보통포틀랜드시멘트(OPC):표준사:배합수의 중량비가 1:2:0.45였으며, 혼화제로 폴리카르복실산계 고성능 AE감수제를 사용하였으며, OPC 질량의 1.5%에 해당하는 양을 첨가하였다. 탄소 섬유는 평균 길이 6 mm 및 중량비 857를 가졌으며, 인장강도와 탄성계수는 각각 4,900 MPa와 230 GPa이었다. 탄소 섬유의 전기저항은 $1.6 \times 10^{-3} \Omega \circ \text{cm}$ 이었고, 탄소함량이 92 % 이상인 아크릴계나이트(polyacrylonitrile, PAN)기반 탄소섬유였다. 40mmx40mmx160mm의 내부 공간을 갖는 몰드에 40mm의 이격 간격으로 4개의 구리 메쉬 전극(40mmx50mm)을 이격 배열하고 시멘트 모르타르 조성물을 타설한 후 약 3분동안 약하게 진동시켜 진동 다짐을 수행하였다. 이후 양생환경에 따른 전도성 영향을 최소화하기 위해 24시간 후 몰드를 탈형하여 재령 27일 동안 항온항습 조건(약 온도 23 °C 및 상대습도 60 %)챔버에 보관하였다. 신뢰할 수 있는 데이터를 획득하기 위해 모든 배합에서 3개씩 시편을 준비하였으며, 최 외각에 위치하는 전극 쌍을 통해 직류 전류를 흘리며 내측에 위치하는 전극으로 전압을 측정하는 4-포인트 프루브 법을 이용하여 저항을 측정하고, 측정된 저항으로 전기전도도를 산출한 후 그 평균값을 취하였다. 모든 시편의 전기저항값은 재령 28일에서 측정되었다.

[0059] 도 1은 표 1에 따른 탄소 섬유 함량과 전기전도도를 세미 로그 스케일도 도시하고, 제1영역($r^2=0.9846$, 선형 회귀 분석에 의한 피팅 직선을 청색 점선으로 도시), 제2영역 및 제3영역($r^2=0.8287$), 선형 회귀 분석에 의한 피

팅 직선을 황색 점선으로 도시)을 구획하고, 우수한 기계적 물성을 갖는 섬유보강 시멘트 복합체가 제조되는 탄소섬유 함량 범위(설정된 범위)를 하늘색으로 도시한 도면이다. 도 1의 하늘색으로 뜻한 바와 같이, 제2영역의 중심값의 0.95 내지 1.05에 속하는 함량 범위인 0.43 내지 0.47 함량 범위를 설정하였다.

[0060] 설정된 탄소 섬유 함량의 유효성을 검증하기 위해, 표 1의 측정을 위해 사용된 시멘트 모르타르 조성물 중, 탄소섬유 함량이 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.45, 0.5, 0.75, 1.0인 시멘트 모르타르 조성물을 이용하여 40x40x160 mm³ 크기의 각주형 시멘트 복합체(전극 미삽입)를 제조한 후, 기계적 물성을 측정하여 표 2에 정리하였다. 이때, 몰드에 시멘트 모르타르 조성물을 타설한 후 표층을 평평하게 고르고 몰드 옆면을 고무망치를 이용하여 약 25회 정도 타격하여 표면의 요철이 없이 평평하게 될 때까지 충분히 다졌다. 이후 모든 시편의 수분 증발을 방지하기 위하여 플라스틱 필름으로 24시간 동안 상온에서 양생하고, 시편을 몰드에서 탈형하여 양생온도 20±2 °C에서 27일 동안 수조 탱크에 넣고 수증양생을 하였다.

[0061] 휨강도는 시멘트의 강도 시험방법(KS L ISO 679(KATS 2016))에 의거 몰드를 제작하여 모두 재령 28일에 측정하였다. 상세하게, 양생이 완료된 40x40x160 mm³ 크기의 각주형 시편은 100 kN 용량의 만능시험기(제조사: MTDI Co., Ltd, Korea, 모델명: UT-100F)를 이용하여 하중제어 방식으로 50 N/s의 조건에서 중앙점 재하법으로 강도를 측정하였다.

[0062] (표 2)

탄소섬유 함량 (부피%)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.45	0.5	0.75	1.0
휨 강도 (MPa)	3.76	3.85	3.99	4.06	4.92	5.71	5.38	5.21	4.82

[0063] 표 2에서 알 수 있듯이, 선정된 함량 범위에서 탄소 섬유에 의해 섬유보강된 시멘트 복합체가 가장 우수한 기계적 물성을 가짐을 알 수 있다.

[0065] 탄소 섬유의 길이가 13mm인 시멘트 모르타르를 이용하여, 앞서와 유사하게 메쉬형 구리 전극을 이용하여 복합체의 전기전도도를 측정하였다. 이때, 복합체 별 함량 증가분은 0.1부피%에서 0.2 부피% 범위에서는 0.1부피%였으며, 0.2 부피%에서 0.5 부피% 범위에서는 0.05부피% 였으며, 0.5 부피%에서 1부피% 범위에서는 0.25부피% 였다. 메쉬형 구리 전극을 이용하여 함량별 전기전도도의 세미로그 그래프를 얻은 후, 영역을 구획하고, 제2영역의 중심 영역에 해당하는 함량 범위를 설정한 결과, 설정된 함량 범위는 0.29 내지 0.32였다. 0.25 부피%, 0.30 부피% 또는 0.35 부피%로 탄소 섬유를 함유하는 시멘트 모르타르로 시멘트 복합체를 제조하여 휨 강도를 측정한 결과, 0.25 부피%, 0.30 부피% 및 0.35 부피% 조건의 시멘트 복합체의 휨 강도는 5.07 MPa, 5.31 MPa 및 5.18 MPa로 설정된 범위에서 가장 우수한 기계적 물성을 나타냄을 확인하였다.

[0066] 이는, 시멘트 모르타르를 구성하는 시멘트 물질이나 전도성 섬유의 구체 종류와 디멘전이 달라지고, 모르타르의 조성이 달라져도, 별도의 기계적 물성 테스트 없이, 통전성을 확보하고자 투입하는 전도성 섬유에 의한 시멘트 복합체의 전기적 특성을 측정하는 것만으로, 가장 우수한 기계적 물성을 나타내는 전도성 섬유의 함량 범위를 결정할 수 있음을 의미한다.

[0067] 이상과 같이 본 발명에서는 특정된 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 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[0068] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

도면

도면1

