



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0085204
(43) 공개일자 2024년06월14일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C04B 14/02 (2006.01) C04B 20/00 (2006.01)
C04B 24/22 (2006.01) C04B 24/26 (2006.01)
C04B 28/02 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
C04B 14/022 (2013.01)
C04B 14/026 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2023-0175470
(22) 출원일자 2023년12월06일
심사청구일자 2023년12월06일
- (30) 우선권주장
1020220169813 2022년12월07일 대한민국(KR)
- (71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)
- 한국화학연구원
대전광역시 유성구 가정로 141 (장동)
- (72) 발명자
이제욱
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 경희대학교 공학관512
- 안석환
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 경희대학교 공학관512
- 문수영
대전광역시 유성구 가정로 65, 107동 102호 (신성동, 대림두레아파트)
- (74) 대리인
특허법인 천지

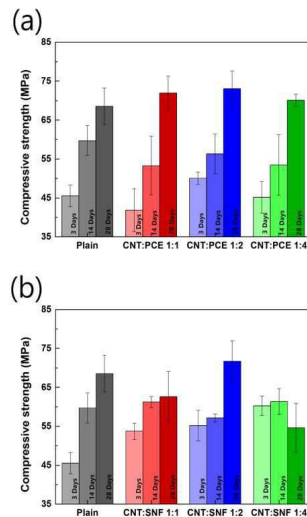
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 탄소 재료를 포함하는 시멘트 조성물 및 시멘트 복합재의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 시멘트 및 탄소 재료 분산액을 포함하는 시멘트 조성물로서, 상기 탄소 재료 분산액은, 상기 탄소 재료, 혼화제 및 물을 포함하며, 상기 탄소 재료와 상기 혼화제를 1:0.3 내지 1:4의 중량 비율로 포함하는 것을 제공한다. 상기 시멘트 조성물로 제조된 시멘트 복합재는 우수한 압축 강도를 나타낸다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

C04B 20/0008 (2013.01)

C04B 24/226 (2013.01)

C04B 24/2641 (2013.01)

C04B 28/02 (2013.01)

C04B 2201/50 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615012369
과제번호	158351
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	나노기술을 활용한 다기능 경량하이퍼콘크리트기술개발(R&D)
연구과제명	나노소재 활용 시멘트 복합체 제조 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국건설기술연구원
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

시멘트 및 탄소 재료 분산액을 포함하는 시멘트 조성물로서,
상기 탄소 재료 분산액은,
상기 탄소 재료, 혼화제 및 물을 포함하며,
상기 탄소 재료와 상기 혼화제를 1:0.3 내지 1:4의 중량 비율로 포함하는 것인, 시멘트 조성물.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 탄소 재료는,
탄소나노튜브, 탄소나노플레이트, 그래파이트, 그래핀 및 그래핀옥사이드로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상인, 시멘트 조성물.

청구항 3

제2항에 있어서,
상기 탄소 재료는,
평균 직경이 8 내지 13 nm이고, 평균 길이가 0.1 내지 0.2 μm 인 탄소나노튜브인, 시멘트 조성물.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 시멘트 조성물은,
상기 시멘트의 전체 중량을 기준으로 상기 탄소 재료를 0.1 내지 1.0 중량%로 포함하는 것인, 시멘트 조성물.

청구항 5

제1항에 있어서,
상기 혼화제는,
폴리카르복실레이트계 및 나프탈렌계 중 1종 이상을 포함하는 것인, 시멘트 조성물.

청구항 6

제1항에 있어서,
상기 시멘트 조성물은,
상기 시멘트의 전체 중량을 기준으로 20 내지 40 중량%의 물을 포함하는 것인, 시멘트 조성물.

청구항 7

탄소 재료와 혼화제를 포함하는 탄소 재료 수분산액을 제조하는 단계;
상기 탄소 재료 수분산액과 시멘트를 혼합하여 시멘트 조성물을 제조하는 단계; 및
상기 시멘트 조성물을 건조하는 단계를 포함하는 시멘트 복합재의 제조 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 탄소 재료 수분산액을 제조하는 단계는

상기 탄소 재료와 상기 혼화제를 물에 분산시켜 제1 수분산액을 제조하는 단계; 및

상기 제1 수분산액을 원심분리하여 얻어진 침전물을 물에 분산시켜 제2 수분산액을 제조하는 단계를 포함하는 것인, 시멘트 복합재의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 시멘트와 탄소 재료 분산액을 포함하는 시멘트 조성물과, 상기 시멘트 조성물로 시멘트 복합재를 제조하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 시멘트(cement)는 물질과 물질을 접착하는 재료를 통칭하나, 일반적으로는 주택, 빌딩, 도로, 다리 등 건축이나 토목 재료로 사용되는 접합 재료를 의미한다. 시멘트는 구체적인 용도와 요구되는 물성에 따라, 시멘트에 자갈이나 모래와 같은 골재와 물을 혼합하여 경화시킨 콘크리트의 형태로 사용할 수 있다.

[0003] 콘크리트는 철망이나 철근과 함께 건축 및 토목 재료로 사용되어 높은 강도를 제공할 수 있으나, 시공 후 시간 경과에 따라 원하지 않는 균열이나 부서짐이 발생할 수 있다. 콘크리트의 균열이나 부서짐 원인은 점토 함량이 높은 골재 등 저품질의 골재를 사용함에 따라 발생하는 재료 조건, 콘크리트의 주위 온도나 습윤 상태, 염화물 침투 여부 등에 의한 환경 조건, 및 콘크리트가 적용된 구조에 의해 영향을 받는 외력 조건으로 구분할 수 있다. 상기 환경 조건 및 외력 조건에 의한 균열은 콘크리트의 설치 환경과 주변 온도 및 습도를 고려하여 타설 순서와 속도, 건조 및 양생 조건을 제어함으로써 개선하고 있으며, 재료 조건에 의한 균열은 보강 재료의 첨가, 콘크리트 조성의 제어를 통해 개선이 이루어지고 있다.

[0004] 최근에는 재료 조건의 개선 측면에서 시멘트 자체의 강도를 강화하여, 시멘트 자체의 균열과 상기 시멘트를 포함하는 콘크리트의 강도 향상과 균열 발생을 저감하기 위한 방안이 연구되고 있다. 기계적 강도가 우수한 탄소 재료를 첨가하여 시멘트의 강도를 향상시키는 방안이 연구되고 있으나, 탄소 재료는 물에 대한 분산성이 낮아 시멘트 조성물에 적용하기 위한 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명의 목적은 혼화제에 의해 분산된 탄소 재료를 포함하는 시멘트 조성물 및 이로부터 제조된 시멘트 복합재를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 측면은 시멘트 및 시멘트 및 탄소 재료 분산액을 포함하는 시멘트 조성물로서, 상기 탄소 재료 분산액은, 상기 탄소 재료, 혼화제 및 물을 포함하며, 상기 탄소 재료와 상기 혼화제를 1:0.3 내지 1:4의 중량 비율로 포함하는 것인, 시멘트 조성물을 제공한다.

[0007] 상기 상기 탄소 재료는, 탄소나노튜브, 탄소나노플레이트, 그래파이트, 그래핀 및 그래핀옥사이드로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상일 수 있다.

[0008] 상기 탄소 재료는, 평균 직경이 8 내지 13 nm이고, 평균 길이 0.1 내지 0.2 μm 인 탄소나노튜브일 수 있다.

[0009] 상기 시멘트 조성물은, 상기 시멘트의 전체 중량을 기준으로 상기 탄소 재료를 0.1 내지 1.0 중량%로 포함할 수 있다.

[0010] 상기 혼화제는, 폴리카르복실레이트계 및 나프탈렌계 중 1종 이상을 포함할 수 있다.

[0011] 상기 시멘트 조성물은, 상기 시멘트의 전체 중량을 기준으로 20 내지 40 중량%의 물을 포함할 수 있다.

[0012] 본 발명의 다른 일 측면은 탄소 재료와 혼화제를 포함하는 탄소 재료 수분산액을 제조하는 단계, 상기 탄소 재

료 수분산액과 시멘트를 혼합하여 시멘트 조성물을 제조하는 단계, 및 상기 시멘트 조성물을 건조하는 단계를 포함하는 시멘트 복합재의 제조 방법을 제공한다.

[0013] 상기 탄소 재료 수분산액을 제조하는 단계는, 상기 탄소 재료와 상기 혼화제를 물에 분산시켜 제1 수분산액을 제조하는 단계, 및 상기 제1 수분산액을 원심분리하여 얻어진 침전물을 물에 분산시켜 제2 수분산액을 제조하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0014] 본 발명의 일 측면에 따른 탄소 재료 분산액은 시멘트와의 친화도가 우수하여, 상기 탄소 재료가 시멘트 조성물 중에서도 균일하게 분산되며, 상기 시멘트 조성물로 제조한 시멘트 복합재는 우수한 압축 강도를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1(a) 내지 (c)는 각각 제조예 1-1 내지 1-3에 따라 제조한 탄소나노튜브 수분산액 중에 포함된 탄소나노튜브의 분산 정도를 확인한 광학현미경 이미지이다.

도 2(a) 내지 (c)는 각각 제조예 2-1 내지 2-3에 따라 제조한 탄소나노튜브 수분산액 중에 포함된 탄소나노튜브의 분산 정도를 확인한 광학현미경 이미지이다.

도 3은 제조예 1-1(CNT/PCE 1:1), 1-2(CNT/PCE 1:2) 및 1-3(CNT/PCE 1:4)의 탄소나노튜브 수분산액을 양생 조건이 상이한 시멘트 판에 적하하였을 때의 접촉각을 나타낸 결과이다.

도 4는 제조예 2-1(CNT/SNF 1:1), 2-2(CNT/SNF 1:2) 및 2-3(CNT/SNF 1:4)의 탄소나노튜브 수분산액을 양생 조건이 상이한 시멘트 판에 적하하였을 때의 접촉각을 나타낸 결과이다.

도 5(a)는 실시예 1-1(CNT:PCE 1:1), 1-2(CNT:PCE 1:2) 및 1-3(CNT:PCE 1:4)의 시멘트 복합재의 양생 조건에 따른 압축 강도를 측정된 결과이며, (b)는 실시예 2-1(CNT:SNF 1:1), 2-2(CNT:SNF 1:2) 및 2-3(CNT:SNF 1:4)의 시멘트 복합재의 양생 조건에 따른 압축 강도를 측정된 결과이다.

도 6은 실험예 4-1에서 (a) 제조예 1-2 분산액의 원심분리 1회 침전물(CNT/PCE C1), 2회 침전물(CNT/PCE C2)와 탄소나노튜브(CNT), 혼화제(PCE)의 열 중량 분석 결과이며, (b)는 제조예 2-2 분산액의 원심분리 1회 침전물(CNT/SNF C1), 2회 침전물(CNT/SNF C2)와 탄소나노튜브(CNT), 혼화제(SNF)의 열 중량 분석 결과이다.

도 7은 실험예 4-1에서 (a) 제조예 1-2 분산액의 원심분리 1회 침전물(CNT/PCE C1), (b) 2회 침전물(CNT/PCE C2), (c) 제조예 2-2 분산액의 원심분리 1회 침전물(CNT/SNF C1), (d) 2회 침전물(CNT/SNF C2)에 포함된 탄소나노튜브의 분산 정도를 확인한 광학현미경 이미지이다.

도 8은 실험예 4-3에서 제조예 1-2 분산액의 원심분리 1회 침전물(CNT/PCE C1)로 제조한 시멘트 복합재(CNT:PCE), 제조예 2-2 분산액의 원심분리 1회 침전물(CNT/SNF C1)로 제조한 시멘트 복합재(CNT:SNF), 대조군(Plain)에 30 내지 70 MPa의 압력을 인가하였을 때 표면의 Crack 형성여부를 확인한 이미지이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 이하, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 각 구성을 보다 상세히 설명하나, 이는 하나의 예시에 불과할 뿐, 본 발명의 권리범위가 다음 내용에 의해 제한되지 아니한다.

[0017] 본 명세서에 사용된 "포함한다"는 용어는 본 발명에 유용한 재료, 조성물, 장치, 및 방법들을 나열할 때 사용되며 그 나열된 예에 제한되는 것은 아니다.

[0018] 이하에서, "시멘트 복합재"는 본 발명의 시멘트 조성물을 타설하고 양생하여 얻어지는 구조물 또는 상기 시멘트 조성물에 혼화제나 골재를 첨가한 뒤 타설 및 양생하여 얻어지는 구조물을 포괄하여 지칭한다.

[0020] 본 발명의 일 구체례는 시멘트 및 탄소 재료 분산액을 포함하는 시멘트 조성물로서, 상기 탄소 재료 분산액이 상기 탄소 재료, 혼화제 및 물을 포함하며, 상기 탄소 재료와 상기 혼화제를 1:0.3 내지 1:4의 중량 비율로 포함하는 것을 제공한다.

- [0021] 상기 시멘트는 건축 및 토목 재료로 사용될 수 있는 것이면 그 종류는 한정되지 않는다. 바람직하게는, 상기 시멘트는 수경성 시멘트일 수 있다. 예를 들어, 상기 수경성 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트, 조강 포틀랜드 시멘트, 내황산염 시멘트와 같은 포틀랜드 시멘트, 백색 포틀랜드 시멘트, 콜로이드 시멘트와 같은 포틀랜드계 시멘트, 실리카계 시멘트, 저발열 시멘트, 지열정 시멘트와 같은 혼합 시멘트, 알루미늄 시멘트, 초속경 시멘트, 저알칼리 시멘트와 같은 기타 시멘트로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상일 수 있다.
- [0022] 상기 시멘트 조성물에 포함된 시멘트는 물과 함께 혼합되면서 시멘트의 수화 반응을 통해, 규산 칼슘 수화물 (Calcium Silicate Hydrate, CSH)을 포함한 1종 이상의 수화물과 수산화칼슘을 형성할 수 있다. 상기 수화물은 시멘트의 강도를 발현하며, 상기 수산화칼슘은 시멘트 및 이를 포함하는 콘크리트에서 알칼리성을 발현하여 상기 시멘트와 함께 철근을 사용하는 경우, 상기 철근의 산화를 방지할 수 있다.
- [0023] 상기 탄소 재료는 시멘트 조성물 중에 분산액의 형태로 포함되어, 시멘트 복합체가 우수한 압축 강도를 발현하는 데에 기여할 수 있다. 상기 탄소 재료는 시멘트가 수화 반응을 일으키는 과정에서 시멘트와 시멘트 사이에 발생하는 빈 공간을 연결하여 시멘트 자체의 강도를 향상시킬 수 있다.
- [0024] 시멘트의 수화 반응은 시멘트 입자 표면이 물과 접촉하면서 진행되어 초기에는 빠르게 진행되다가, 시멘트 입자 표면에 상기 규산 칼슘 수화물과 같은 수화물이 형성되어 상기 표면이 덮임에 따라 점차 느려지게 된다. 상기 탄소 재료는 시멘트 입자 표면이 상기 수화물에 의해 완전히 덮이는 것을 방지하고, 물과 시멘트 입자의 접촉을 촉진하여 상기 수화물의 생성 속도를 향상시켜 보다 우수한 강도의 시멘트가 형성되는 데에 기여할 수 있다.
- [0025] 상기 탄소 재료는 탄소나노튜브, 탄소나노플레이트, 그래파이트, 그래핀 및 그래핀옥사이드로 이루어진 군으로부터 선택되는 1종 이상일 수 있다. 바람직하게는, 상기 탄소 재료는 평균 직경이 8 내지 13 nm이고, 평균 길이가 0.1 내지 0.2 μm 인 탄소나노튜브일 수 있다. 보다 바람직하게는 상기 탄소나노튜브는 평균 직경이 10 nm인 것을 사용할 수 있다. 상기 탄소나노튜브가 상기 평균 직경 및 평균 길이 범위 내를 만족할 때, 시멘트의 우수한 압축 강도를 얻을 수 있다. 상기 탄소나노튜브는 단일벽, 다중벽, 다발형 또는 이들의 조합을 포함할 수 있으나, 그 형상이 한정되지는 않는다. 예를 들어, 상기 탄소 재료는 상기 탄소나노튜브로 이루어진 탄소 섬유일 수 있다.
- [0026] 상기 탄소 재료 분산액은 상기 재료, 혼화제 및 물을 포함할 수 있다. 상기 탄소 재료 자체는 적어도 부분적으로 소수성일 수 있으며, 상기 탄소 재료는 분자간 인력이 강해 응집되기 쉬워 미세 입자 상태로 물에 분산되기 어렵다. 상기 혼화제는 상기 탄소 재료를 물에 균일하게 분산시킬 수 있다.
- [0027] 상기 혼화제는 폴리카르복실레이트계 및 나프탈렌계 혼화제 중 1종 이상을 포함할 수 있다. 바람직하게는, 상기 혼화제는 종래의 시멘트 조성물에 사용되는 감수제를 이용할 수 있다. 상기 폴리카르복실레이트계 혼화제는 입체 장애에 의한 상기 탄소 재료의 분산 효과를 제공하는 것으로, 예를 들어, 폴리카르복실레이트 에테르 또는 폴리카르복실레이트 에스테르와 같은 폴리카르복실레이트계 중합체나, 상기 중합체와 말레인산의 공중합체일 수 있다. 보다 바람직하게는, 상기 폴리카르복실레이트계 혼화제는 중량평균분자량 9000 내지 15000의 폴리카르복실레이트 에스테르(PCE)일 수 있다. 상기 나프탈렌계 혼화제는 나프탈렌 모이어티의 $\pi-\pi$ 상호작용을 통해 상기 탄소 재료의 분산 효과를 제공하는 것으로, 예를 들어, 알킬나프탈렌술포산염 또는 상기 염과 리그닌 유도체의 축합물일 수 있다. 보다 바람직하게는, 상기 나프탈렌계 혼화제는 중량평균분자량 5000 내지 9000의 술포화된 폴리나프탈렌(Sulfonated Naphthalene Formaldehyde, SNF)일 수 있다. 이하, 상기 폴리카르복실레이트계 혼화제의 입체 장애 유발 효과 및 상기 나프탈렌계 혼화제의 나프탈렌 모이어티의 $\pi-\pi$ 상호작용을 탄소 재료와 "상호작용"하는 것으로 지칭한다.
- [0028] 상기 탄소 재료 분산액은 상기 탄소 재료와 상기 혼화제를 1:0.3 내지 1:4의 중량 비율로 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 탄소 재료와 상기 혼화제의 중량 비율은 1:0.5 내지 1:4, 1:0.8 내지 1:4, 1:1 내지 1:4, 1:1.5 내지 1:4, 1:2 내지 1:4, 1:0.5 내지 1:3, 1:0.5 내지 1:2.5, 1:0.5 내지 1:2, 1:0.8 내지 1:3, 1:1 내지 1:3, 1:1 내지 1:2 또는 1:1.5 내지 1:2일 수 있다. 상술한 범위에서 상기 탄소 재료와 상기 혼화제의 혼합 비율을 조절함으로써, 상기 탄소 재료의 분산액을 준비할 수 있으며, 상기 분산액을 포함하는 시멘트 조성물로 제조한 시멘트는 우수한 압축 강도를 나타낼 수 있다. 상기 혼화제가 상술한 범위보다 미량으로 포함되면, 탄소 재료가 분산되지 않으면서 시멘트의 충분한 압축 강도를 확보할 수 없다. 상기 혼화제가 상술한 범위를 초과하면, 탄소 재료의 분산은 달성되지만 상기 혼화제가 시멘트에 대한 불순물로 작용하여 시멘트의 압축 강도가 오히려 감소하게 된다.
- [0029] 바람직하게는, 상기 탄소 재료와 상기 혼화제의 중량 비율은 1:0.3 내지 1:0.5일 수 있다. 가장 바람직하게는,

상기 탄소 재료와 상기 혼화제의 중량 비율은 1:0.37 내지 1:0.5일 수 있다. 상술한 범위는 상기 탄소 재료 분산액을 1회 원심분리(10000rpm으로 10분간)하여 얻어지는 침전물을 열 중량 분석하여 도출되는 것으로, 상기 탄소 재료와 상기 혼화제가 상호작용을 하는 함량 비율을 정량화한 것일 수 있다. 상술한 범위의 중량 비율로 탄소 재료와 혼화제를 포함하는 시멘트 조성물로 제조한 시멘트는 압축 강도가 우수하고 30 내지 70 MPa의 압력 인가시 Crack 발생률이 현저히 저감될 수 있다.

[0030] 상기 시멘트 조성물은 상기 시멘트의 전체 중량을 기준으로 상기 탄소 재료를 0.1 내지 1.0 중량%로 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 탄소 재료의 함량은 상기 시멘트의 함량에 대해 0.1 내지 0.9 중량%, 0.1 내지 0.8 중량%, 0.1 내지 0.7 중량%, 0.1 내지 0.6 중량%, 0.1 내지 0.5 중량%, 0.1 내지 0.4 중량%, 0.1 내지 0.3 중량%, 0.1 내지 0.2 중량%, 0.2 내지 1.0 중량%, 0.3 내지 1.0 중량%, 0.4 내지 1.0 중량%, 0.5 내지 1.0 중량%, 0.6 내지 1.0 중량%, 0.7 내지 1.0 중량%, 0.8 내지 1.0 중량%, 0.9 내지 1.0 중량%, 0.2 내지 0.9 중량%, 0.3 내지 0.8 중량%, 0.4 내지 0.7 중량% 또는 0.5 내지 0.6 중량%일 수 있다. 바람직하게는, 상기 탄소 재료의 함량은 상기 시멘트의 중량 대비 0.1 내지 0.2 중량%일 수 있다. 상술한 범위에서 상기 탄소 재료는 상기 시멘트의 수화 과정에서 발생하는 빈 공간 사이를 채우고 시멘트와 시멘트를 연결하여 시멘트의 균열 발생을 방지하고 시멘트의 강도를 향상시킬 수 있다. 상기 탄소 재료가 상술한 범위보다 미량으로 포함되면, 제조되는 시멘트 복합체는 시간 경과에 따라 복합적 조건에 의한 균열이 발생한다. 상기 탄소 재료가 상술한 범위를 초과하면, 시멘트의 수화 반응을 통한 수화물이 균일하게 형성되지 못하여 시멘트의 압축 강도가 오히려 감소하게 된다.

[0031] 상기 시멘트 조성물은 상기 시멘트의 전체 중량을 기준으로 물을 20 내지 40 중량%로 포함할 수 있다. 상기 물의 종류는 한정되지 않으나, 바람직하게는 증류수 또는 초순수를 사용할 수 있다. 상기 시멘트 조성물에 포함된 물은 탄소 재료 분산액 중에 함유된 것까지 포괄하여 의미할 수 있다. 예를 들어, 시멘트 조성물은 탄소 재료 분산액 중에 포함된 물만을 포함하거나, 상기 탄소 재료 분산액과는 별개로 준비된 물을 더 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 물의 함량은 상기 시멘트의 함량에 대해 20 내지 35 중량%, 20 내지 30 중량%, 20 내지 25 중량%, 25 내지 40 중량%, 30 내지 40 중량%, 35 내지 40 중량% 또는 25 내지 35 중량%일 수 있다. 바람직하게는, 상기 물의 함량은 상기 시멘트의 중량 대비 25 내지 35 중량%일 수 있다. 상술한 범위에서 시멘트의 타설이 용이하며, 제조되는 시멘트 복합체의 압축 강도가 우수할 수 있다.

[0032] 상기 시멘트 조성물은 당업계에 공지된 골재를 더 포함하여, 시멘트 콘크리트 조성물로 제조하여 사용할 수 있다. 예를 들어, 상기 골재는 모래, 자갈, 플라이애쉬, 폴리머, 유리분말 또는 유리강화섬유일 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

[0034] 본 발명의 일 구체례는 탄소 재료와 혼화제를 포함하는 탄소 재료 수분산액을 제조하는 단계, 상기 탄소 재료 수분산액과 시멘트를 혼합하여 시멘트 조성물을 제조하는 단계, 및 상기 시멘트 조성물을 건조하는 단계를 포함하는 시멘트 복합체의 제조 방법을 제공한다. 시멘트 복합체의 제조 방법에 관한 설명 중 앞선 시멘트 조성물의 내용과 동일한 것은 앞선 구체례의 내용으로 같음한다.

[0035] 탄소 재료 수분산액을 제조하는 단계는 물에 미리 정해진 양의 탄소 재료와 혼화제를 투입하고 혼합하여 탄소 재료를 분산시키는 것이다. 예를 들어, 탄소나노튜브와 폴리카복실레이트 에스터를 증류수에 투입하고, 균질기로 10 분 내지 1 시간 동안 처리하여 탄소 재료를 분산시킬 수 있다. 상기 탄소 재료 수분산액을 추가로 초음파 처리하여 탄소 재료를 추가로 분산시킬 수 있다. 상기 초음파 처리는 10분 내지 1 시간이 될 수 있다.

[0036] 구체적으로, 상기 탄소 재료 수분산액을 제조하는 단계는, 물에 미리 정해진 양의 탄소 재료와 혼화제를 투입하고 혼합하여 탄소 재료를 분산시켜 제1 수분산액을 준비하는 단계, 및 상기 제1 수분산액을 원심분리하여 얻어진 침전물을 물에 투입하고 분산시켜 제2 수분산액을 준비하는 단계를 포함할 수 있다.

[0037] 상기 제1 수분산액을 준비하는 단계에서 혼화제와 상호작용한 탄소 재료는 수중에 분산될 수 있으며, 상기 상호작용하지 못한 혼화제는 물에 용해될 수 있다. 상기 제2 수분산액을 준비하는 단계는 상기 제1 수분산액 중에 용해된 혼화제를 제거하고 혼화제와 상호작용한 탄소 재료의 수분산성을 더욱 향상시키는 단계일 수 있다.

[0038] 상기 제2 수분산액을 준비하는 단계는 상기 제1 수분산액을 5000 내지 15000 rpm으로 5분 내지 15분 동안 원심분리하여 얻어지는 침전물을 다시 물에 분산시키는 것일 수 있다. 바람직하게는, 상기 제2 수분산액을 준비하는 단계는 상기 제1 수분산액을 10000 rpm으로 10분 동안 원심분리하여 얻어지는 침전물을 다시 물에 분산시키는 것일 수 있다. 상술한 회전수 및 시간 범위 내에서 제1 수분산액을 1회에 한해 원심분리 하였을 때, 탄소 재료와 상호작용하지 못한 혼화제가 상기 탄소 재료로부터 이탈하여 물에 분산되거나 용해되어 상등액으로 제거될

수 있다. 상술한 회전수 및 시간 범위보다 큰 조건에서 원심분리를 수행하면 탄소 재료와 상호작용한 혼화제가 상기 탄소 재료로부터 이탈하여 상기 탄소 재료의 분산성이 저하될 수 있다.

[0039] 상기 탄소 재료 수분산액은 상기와 같은 원심분리를 거친 침전물의 수분산액(제2 수분산액)일 수 있으며, 상기 제2 수분산액으로 제조한 시멘트 복합재는 원심분리를 거치지 않은 탄소 재료 수분산액으로 제조한 복합재 대비 향상된 압축 강도를 나타낼 수 있다.

[0040] 시멘트 조성물을 제조하는 단계는 앞선 단계에서 제조한 탄소 재료 수분산액과 시멘트를 혼합하는 것이다. 탄소 재료 수분산액 중에 포함된 물의 양을 고려하여, 증류수를 추가로 투입하거나 투입하지 않을 수 있으며, 시멘트의 전체 중량과 물의 양이 미리 정해진 비율을 만족하도록 조절할 수 있다. 상기 혼합물을 균질기로 10 분 내지 1 시간 동안 처리하여 시멘트 조성물을 제조할 수 있다. 상기 단계에서 필요에 따라 시멘트 조성물 중에 방청제, 방수제, 발포제와 같은 추가 혼화제나 골재를 더 첨가할 수 있다.

[0041] 시멘트 조성물을 건조하는 단계는 시멘트 조성물을 미리 정해진 형상으로 타설하고 건조하여 시멘트 복합재를 제조하는 것이다. 상기 건조는 습윤 건조일 수 있다. 상기 시멘트 조성물을 건조하는 단계는 건조된 복합재를 양생하는 단계를 더 포함할 수 있다. 상기 양생은 시멘트가 물과 반응하여 수화 반응이 진행되는 기간을 확보하기 위한 것으로, 예를 들어 습윤 양생, 증기 양생, 전기 양생, 피막 양생 또는 고주파 양생일 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다. 바람직하게는, 상기 양생 방법은 습윤 양생일 수 있다. 상기 습윤 양생은 시멘트 조성물의 타설 후 경화 전까지 직사광선이나 바람에 의한 수분 증발을 방지하고 수분 증발시 살수를 통해 습윤 상태를 유지하는 살수 양생 또는 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 온도의 물에 완전히 침수시키는 수중 양생일 수 있다. 보다 바람직하게는, 상기 양생 방법은 수중 양생일 수 있다.

[0043] 이하에서는, 구체적인 실시예 및 실험예를 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명한다. 하기 실시예 및 실험예는 본 발명을 예시하기 위한 것으로서, 본 발명이 하기 실시예 및 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다.

[0044] 제조예 1-1. 탄소나노튜브 수분산액의 제조

[0045] 탄소 재료로 탄소나노튜브(평균 직경 10 nm, 평균 길이 0.2 μm , JEIO(Korea)) 1.4 g과 혼화제로 폴리카르복실레이트 에스터(WD500, KG chemical(Korea)) 1.4 g을 증류수 138.6g에 투입하였다(탄소 재료와 혼화제의 중량 비율이 1:1인 것이며, 이하 "CNT/PCE 1:1"로 지칭하였다). 균질기를 이용하여 6,000 rpm에서 30 분 동안 처리하여 탄소나노튜브 수분산액을 제조하였다.

[0047] 제조예 1-2. 탄소나노튜브 수분산액의 제조

[0048] 폴리카르복실레이트 에스터 2.8 g을 사용한 것을 제외하고는, 제조예 1-1과 같은 방법으로 탄소나노튜브 수분산액을 제조하였다(탄소 재료와 혼화제의 중량 비율이 1:2인 것이며, 이하 "CNT/PCE 1:2"로 지칭하였다).

[0050] 제조예 1-3. 탄소나노튜브 수분산액의 제조

[0051] 폴리카르복실레이트 에스터 5.6 g을 사용한 것을 제외하고는, 제조예 1-1과 같은 방법으로 탄소나노튜브 수분산액을 제조하였다(탄소 재료와 혼화제의 중량 비율이 1:4인 것이며, 이하 "CNT/PCE 1:4"로 지칭하였다).

[0053] 제조예 2-1. 탄소나노튜브 수분산액의 제조

[0054] 혼화제로 술폰화된 나프탈렌 포름알데히드(FLOWMIX SUPER1, 동남기업(Korea)) 1.4 g을 사용한 것을 제외하고는, 제조예 1-1과 같은 방법으로 탄소나노튜브 수분산액을 제조하였다(탄소 재료와 혼화제의 중량 비율이 1:1인 것이며, 이하 "CNT/SNF 1:1"로 지칭하였다).

[0056] 제조예 2-2. 탄소나노튜브 수분산액의 제조

[0057] 술폰화된 나프탈렌 포름알데히드 2.8 g을 사용한 것을 제외하고는, 제조예 1-1과 같은 방법으로 탄소나노튜브 수분산액을 제조하였다(탄소 재료와 혼화제의 중량 비율이 1:2인 것이며, 이하 "CNT/SNF 1:2"로 지칭하였다).

[0059] **제조예 2-3. 탄소나노튜브 수분산액의 제조**

[0060] 숯πον화된 나프탈렌 포름알데히드 5.6 g을 사용한 것을 제외하고는, 제조예 1-1과 같은 방법으로 탄소나노튜브 수분산액을 제조하였다(탄소 재료와 혼화제의 중량 비율이 1:4인 것이며, 이하 "CNT/SNF 1:4"로 지칭하였다).

[0062] **실시예 1-1. 시멘트 조성물 및 시멘트 복합재의 제조**

[0063] 먼저 시멘트 1400g(포틀랜드시멘트(1종), 아세아시멘트(Korea))을 교반기에 넣고 4분 동안 건비빔(dry mixing) 진행 후 제조예 1-1에서 제조한 탄소나노튜브 수분산액과 물 281.4g을 첨가하고, 교반기로 3분 동안 혼합하여 시멘트 조성물을 제조하였다.

[0064] 50 mm × 50 mm × 50 mm 크기의 몰드에 상기 시멘트 조성물을 붓고, 2일 동안 습윤 건조하였다. 상기 습윤 건조는 플라스틱 박스 내에 바닥만큼 물을 깔고 상기 몰드를 넣은 뒤 상온에서 밀봉하여 진행하였으며, 습윤 건조 후 탈형하였다. 이후, 1일, 12일, 26일 동안 수중 양생하였다. 상기 수중 양생은 플라스틱 박스 내에 물을 가득 채우고 상기 탈형을 통해 얻은 시멘트를 담귀 상온에서 양생 진행하여 시멘트 복합재를 제조하였다.

[0066] **실시예 1-2. 시멘트 조성물 및 시멘트 복합재의 제조**

[0067] 제조예 1-2에서 제조한 탄소나노튜브 수분산액을 사용한 것을 제외하고는, 실시예 1-1과 같은 방법으로 시멘트 조성물을 제조하고, 상기 시멘트 조성물을 이용하여 시멘트 복합재를 제조하였다.

[0069] **실시예 1-3. 시멘트 조성물 및 시멘트 복합재의 제조**

[0070] 제조예 1-3에서 제조한 탄소나노튜브 수분산액을 사용한 것을 제외하고는, 실시예 1-1과 같은 방법으로 시멘트 조성물을 제조하고, 상기 시멘트 조성물을 이용하여 시멘트 복합재를 제조하였다.

[0072] **실시예 2-1. 시멘트 조성물 및 시멘트 복합재의 제조**

[0073] 제조예 2-1에서 제조한 탄소나노튜브 수분산액을 사용한 것을 제외하고는, 실시예 1-1과 같은 방법으로 시멘트 조성물을 제조하고, 상기 시멘트 조성물을 이용하여 시멘트 복합재를 제조하였다.

[0075] **실시예 2-2. 시멘트 조성물 및 시멘트 복합재의 제조**

[0076] 제조예 2-2에서 제조한 탄소나노튜브 수분산액을 사용한 것을 제외하고는, 실시예 1-1과 같은 방법으로 시멘트 조성물을 제조하고, 상기 시멘트 조성물을 이용하여 시멘트 복합재를 제조하였다.

[0078] **실시예 2-3. 시멘트 조성물 및 시멘트 복합재의 제조**

[0079] 제조예 2-3에서 제조한 탄소나노튜브 수분산액을 사용한 것을 제외하고는, 실시예 1-1과 같은 방법으로 시멘트 조성물을 제조하고, 상기 시멘트 조성물을 이용하여 시멘트 복합재를 제조하였다.

[0081] **실험예 1. 탄소나노튜브 분산액의 분산 정도 확인**

[0082] 제조예 1-1 내지 1-3 및 제조예 2-1 내지 2-3에서 제조한 탄소나노튜브 분산액을 광학현미경(50x, BX51, Olympus)으로 관찰하여, 각각 도 1(a) 내지 1(c) 및 2(a) 내지 2(c)에 정리하였다.

[0083] 도 1 및 2를 참조하면, 탄소나노튜브는 혼화제의 상대적 함량이 증가함에 따라 분산 정도가 우수한 것으로 확인되었다.

[0085] **실험예 2. 탄소나노튜브 분산액의 시멘트에 대한 친밀도 확인**

[0086] 실시예에서 사용한 것과 동일한 종류의 시멘트 200 g을 균질기로 약 4분 동안 건비빔한 뒤 물 60 g를 혼합하고, 균질기를 통해 3분 동안 추가로 혼합하여 시멘트 조성물을 제조하였다. 50 mm × 50 mm × 20 mm 크기의 몰드에 상기 시멘트 조성물을 붓고 습윤 건조 2일 진행 후, 1일, 12일, 26일 동안 수중 양생하여 시멘트 판을 제조하였다. 습윤 건조와 수중 양생은 각각 실시예 1-1에서와 같은 방법으로 수행하였으며, 시멘트 수화 기간(Hydration time)은 습윤 건조와 수중 양생 기간을 합친 것을 의미한다.

[0087] 상기 시멘트 판의 표면에 제조예 1-1 내지 1-3에 따른 탄소나노튜브 분산액을 각각 1.5 μ L씩 적하하고, 접촉각 측정기(Phoenix 300, SEO(Korea))를 사용하여, 상기 분산액과 상기 시멘트 판 사이의 접촉각을 측정하여 하기 표 1 및 도 3에 나타내었다. 같은 방법으로 제조예 2-1 내지 2-3에 따른 분산액을 각각 1.5 μ L씩 적하였을 때 접촉각을 하기 표 2 및 도 4에 나타내었다. 대조군으로는 초순수만을 적하한 경우("DI water"로 지칭하였다)와 각각의 혼화제 수용액(1wt%, 각각 "PCE", "SNF"로 지칭하였다)을 적하한 경우 시멘트와의 접촉각을 확인하였다. 접촉각의 측정은 한 샘플당 10 번씩 수행하여 그 평균값을 나타내었다.

표 1

[0088]

평균 접촉각(Average Contact Angle)					
수화 기간 (Hydration Time)	대조군 (DI water)	대조군 (PCE)	제조예 1-3 CNT:PCE 1:4	제조예 1-2 CNT:PCE 1:2	제조예 1-1 CNT:PCE 1:1
3 Days	63.4°	50.73°	69.25°	62.26	68.35
14 Days	37.48°	55.09°	45.85°	39.85°	53.94°
28 Days	46.9°	47.41°	54°	43.27°	46.75°

표 2

[0090]

평균 접촉각(Average Contact Angle)					
수화 기간 (Hydration Time)	대조군 (DI water)	대조군 (SNF)	제조예 2-3 CNT:SNF 1:4	제조예 2-2 CNT:SNF 1:2	제조예 2-1 CNT:SNF 1:1
3 Days	63.4°	69.47°	74.14°	73.95°	70.5°
14 Days	37.48°	56.92°	50.39°	58.98°	58.31°
28 Days	46.9°	53.53°	64.3°	51.18°	48.52°

[0092] 상기 표 1, 2, 도 3 및 도 4를 참조하면, 3일 양생한 시멘트 판에서는 시멘트의 수화 반응이 진행되지 않아 상기 분산액과 상기 시멘트 판 사이 접촉각이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 14일 양생한 시멘트 판에서는 시멘트의 수화 반응이 진행되는 과정에서 시멘트의 표면 에너지가 낮아져 일시적으로 접촉각이 낮아지는 경향을 나타내었고, 28일 양생한 시멘트 판에서는 상기 수화 반응이 종결되면서 최종 접촉각이 확인되었다. 제조예 1 및 2의 분산액은 초순수만을 사용하거나 혼화제 수용액을 사용한 대조군과 유사한 수준의 접촉각을 나타내어, 시멘트에 대한 친밀도가 우수한 것으로 확인되었다.

[0094] **실험예 3. 시멘트 복합체의 압축 강도 확인**

[0095] 실시예 1 및 2에서 제조한 시멘트 복합체를 압축 강도 측정기(HS-1472, 한신금풍(Korea))로 측정하여 양생 일자에 따른 압축 강도를 하기 표 3 및 도 5에 나타내었다. 대조군으로는 혼화제를 사용하지 않은 것을 제외하고는, 실시예 1-1과 같은 방법으로 제조한 시멘트 복합체를 사용하였다("Plain"으로 지칭하였다). 시멘트 복합체는 6개씩 제조하고 각각의 압축 강도를 측정하여 그 평균 값을 확인하였다. 도 5의 그래프에서 막대그래프 중심선은 표준편차를 나타낸다.

표 3

수화 기간	평균 압축 강도(Average Compressive Strength) (MPa)		
	3일	14일	28일
대조군(Plain)	45.52	59.72	68.52
실시에 1-1(CNT:PCE 1:1)	41.85	53.28	71.92
실시에 1-2(CNT:PCE 1:2)	50.04	56.31	73.05
실시에 1-3(CNT:PCE 1:4)	45.15	53.46	70.08
실시에 2-1(CNT:SNF 1:1)	53.75	61.23	62.58
실시에 2-2(CNT:SNF 1:2)	55.20	57.14	71.72
실시에 2-3(CNT:SNF 1:4)	60.24	61.35	54.63

상기 표 3 및 도 5를 참조하면, 실시에 1에 따른 시멘트 복합체는 대조군 대비 최대 10% 우수한 압축 강도를 나타내었고, 실시에 2에 따른 시멘트 복합체는 대조군 대비 최대 7% 우수한 압축 강도를 나타내었다.

실험예 4-1. 탄소나노튜브와 혼화제의 상호작용 정도 확인

제조예의 탄소나노튜브 분산액에서, 탄소나노튜브와 혼화제는 상호작용하여 상기 용매인 물 중에 분산될 수 있으며, 탄소나노튜브와 상호작용하지 못한 혼화제는 물에 용해될 수 있다. 상기 제조예의 탄소나노 분산액을 원심분리하면, 상기 분산된 탄소나노튜브와 혼화제가 침전될 수 있다. 즉, 탄소나노튜브와 혼화제가 상호작용한 함량만큼 침전물이 형성될 수 있다. 상기 원심분리된 상등액에는 탄소나노튜브와 상호작용하지 못한 혼화제가 분산 또는 용해되어 있을 수 있다. 즉, 상기 원심분리를 통해 실제 탄소나노튜브의 시멘트 조성물 내 분산성 향상에 기여하는 혼화제의 상대적 함량을 특정할 수 있다.

제조예 1-2에서 제조한 탄소나노튜브 분산액을 각각 원심분리기(1248, Labogene)를 이용하여 1회 원심분리(10000rpm, 10분)하여 침전물(CNT/PCE C1) 1.918 g을 수득하였다.

상기 침전물을 증류수 138.6 g에 투입하고, 균질기를 이용하여 6,000 rpm에서 30 분 동안 처리하여 탄소나노튜브 수분산액을 제조한 뒤, 상기 수분산액을 다시 원심분리(10000rpm, 10분)하여, 침전물(CNT/PCE C2) 1.624 g을 수득하였다.

상기 침전물들(CNT/PCE C1, CNT/PCE C2)에 대해 열 중량 분석기(SDT Q600, TA Instruments)를 이용하여 열 중량 분석(승온속도 10℃/분으로, 분당 100 mL의 질소 가스를 투입하며 30℃부터 900℃까지 측정)을 수행하고, 그 결과를 탄소나노튜브(CNT) 및 혼화제(PCE)의 열 중량 분석 결과와 비교하여 도 6의 (a)에 나타내었다. 상기 침전물들(CNT/PCE C1, CNT/PCE C2)을 광학현미경(50x, BX51, Olympus)으로 관찰하여 도 7의 (a) 및 (b)에 나타내었다.

도 6의 (a)를 참조하여, 탄소나노튜브와 혼화제 각각의 열 중량 손실분으로부터, 하기 식 1을 이용하여 각 침전물에서 상호작용에 기여하는 탄소나노튜브에 대한 혼화제의 함량 비율을 산출하였다.

[식 1]

$$\frac{CNT\ mass\ loss\ \%}{100} * (100 - 혼화제\ 비율) + \frac{혼화제\ mass\ loss\ \%}{100} * 혼화제\ 비율 = \frac{원심분리\ 이후\ 침전물\ mass\ loss\ \%}{100} * 100$$

1회 원심분리한 침전물(CNT/PCE C1)에서, PCE는 탄소나노튜브의 중량 대비 37%가 탄소나노튜브와 상호작용하는 것으로 나타났다. 2회 원심분리한 침전물(CNT/PCE C2)에서, PCE는 탄소나노튜브의 중량 대비 16%가 탄소나노튜브와 상호작용하는 것으로 나타났다.

[0110] 상기와 동일한 방법으로, 제조예 2-2에서 제조한 탄소나노튜브 분산액을 이용하여 원심분리 1회 수행하여 침전물(CNT/SNF C1) 2.1 g을 얻고, 이를 다시 수분산시킨 후 원심분리를 수행하여 침전물(CNT/SNF C2) 1.582 g을 얻고, 열 중량 분석을 수행하여 도 6의 (b)에 나타내었다. 상기 침전물들(CNT/SNF C1, CNT/SNF C2)을 광학현미경(50x, BX51, Olympus)으로 관찰하여 도 7의 (c) 및 (d)에 나타내었다.

[0111] 도 6의 (b)을 참조하여 상기 식 1로 산출하면, 1회 원심분리한 침전물(CNT/SNF C1)에서, PCE는 탄소나노튜브의 중량 대비 50%가 탄소나노튜브와 상호작용하는 것으로 나타났다. 2회 원심분리한 침전물(CNT/SNF C2)에서, SNF는 탄소나노튜브의 중량 대비 13%가 탄소나노튜브와 상호작용하는 것으로 나타났다.

[0112] 도 7을 참조하면, (a) 1회 원심분리한 침전물(CNT/PCE C1)에서 분산도가 (b) 2회 원심분리한 침전물(CNT/PCE C2)에서의 분산도 대비 높은 것으로 확인되었다. 또한, (c) 1회 원심분리한 침전물(CNT/SNF C1)에서 분산도가 (b) 2회 원심분리한 침전물(CNT/SNF C2)에서의 분산도 대비 높은 것으로 확인되었다.

[0114] 실험예 4-2. 탄소나노튜브 분산액 원심분리 침전물의 시멘트에 대한 친밀도 확인

[0115] 실험예 2와 동일한 방법으로 28일(습윤 건조 2일, 수중 양생 26일)동안 수화시킨 시멘트 판을 준비하였다.

[0116] 상기 시멘트 판의 표면에 상기 실험예 4-1에 따른 침전물(CNT/PCE C1, CNT/PCE C2)의 분산액을 각각 1.5 μ L씩 적하하고, 접촉각 측정기(Phoenix 300, SEO(Korea))를 사용하여, 적하된 액적과 상기 시멘트 판 사이의 접촉각을 측정하여 하기 표 4에 나타내었다. 대조군으로는 초순수를 적하한 경우("DI water"로 지칭하였다) 시멘트와의 접촉각을 확인하였다. 접촉각의 측정은 한 샘플당 10 번씩 수행하여 그 평균값을 나타내었다.

표 4

수화 기간 (Hydration Time)	평균 접촉각(Average Contact Angle)				
	대조군 (DI water)	침전물 (CNT/PCE C1)	침전물 (CNT/PCE C2)	침전물 (CNT/SNF C1)	침전물 (CNT/SNF C2)
28 Days	46.9°	44.46°	54.24°	46.31°	55.81°

[0119] 상기 표 4를 참조하면, 2회 원심분리한 침전물에서는 1회 원심분리한 침전물 대비 액적과 시멘트 사이의 친밀도가 오히려 낮아졌는데 이는 과도한 원심분리로 인해 이미 형성되어 있던 탄소나노튜브와 혼화제 사이의 상호작용이 깨진 결과로 판단된다. 이는 도 7의 (b) 및 (d)에서 2회 원심분리한 침전물의 분산도가 각각 (a), (c) 1회 원심분리한 침전물보다 낮게 나타난 것에 부합하는 결과이다.

[0121] 실험예 4-3. 탄소나노튜브 분산액 원심분리 침전물 분산액으로 제조한 시멘트 복합재의 압축 강도 확인

[0122] 실시예 1-1에서 탄소나노튜브 분산액 대신 실험예 4-1에서 준비한 침전물의 분산액을 사용(원심분리 1회 또는 2회 수행하여 수득한 침전물을 각각 물 138.6 g에 첨가하고 분산시켜 제조한 분산액 사용)한 것을 제외하고는, 상기 실시예 1-1과 같은 방법(습윤 건조 2일, 수중 양생 26일)으로 시멘트 복합재를 제조하였다.

[0123] 상기 시멘트 복합재의 압축 강도를 하기 표 5에 나타내었다. 시멘트 복합재는 6개씩 제조하고 각각의 압축 강도를 측정하여 그 평균 값을 확인하였다. 대조군으로는 혼화제를 사용하지 않은 것을 제외하고는, 실시예 1-1과 같은 방법으로 제조한 시멘트 복합재를 사용하였다("Plain"으로 지칭하였다).

표 5

수화 기간 (Hydration Time)	평균 압축 강도(Average Compressive Strength)				
	대조군 (Plain)	침전물 (CNT/PCE C1)로 제조한 시멘트 복 합재	침전물 (CNT/PCE C2)로 제조한 시멘트 복 합재	침전물 (CNT/SNF C1)로 제조한 시멘트 복 합재	침전물 (CNT/SNF C2)로 제조한 시멘트 복 합재
28 Days	68.52 MPa	78.13 MPa	77.2 MPa	76.97 MPa	75.06 MPa

[0126] 상기 표 3 및 5를 참조하면, 1회 원심분리한 침전물로 제조한 시멘트 복합재 사용시 압축강도가 더 증가하였는데, 이는 탄소나노튜브와 상호작용하지 않는 혼화제가 제거됨에 따라 탄소나노튜브의 시멘트 복합재 내 분산성이 높아지면서 나타난 결과로 판단된다. 반면, 2회 원심분리한 침전물로 제조한 시멘트 복합재는 1회 원심분리한 침전물로 제조한 시멘트 복합재보다 압축강도가 낮아졌는데, 이는 과도한 원심분리로 인해 이미 형성되어 있던 탄소나노튜브와 혼화제 사이의 상호작용이 깨진 결과로 판단된다.

[0128] **실험예 4-4. 탄소나노튜브 분산액 원심분리 침전물 분산액으로 제조한 시멘트 복합재의 Crack test**

[0129] 실험예 4-3에서 제조한 시멘트 복합재(CNT/PCE C1 분산액으로 제조한 시멘트 복합재, CNT/SNF C1 분산액으로 제조한 시멘트 복합재)에 30 MPa부터 80 MPa까지 압력을 각 1분씩 순차적으로 인가하면서 Crack 발생을 면적으로 확인하여 표 6에 정리하고, 압력별 시멘트 복합재 표면의 모습을 도 8에 나타내었다. 대조군으로는 혼화제를 사용하지 않은 것을 제외하고는, 실시예 1-1과 같은 방법으로 제조한 시멘트 복합재를 사용하였다("Plain"으로 지칭하였다).

표 6

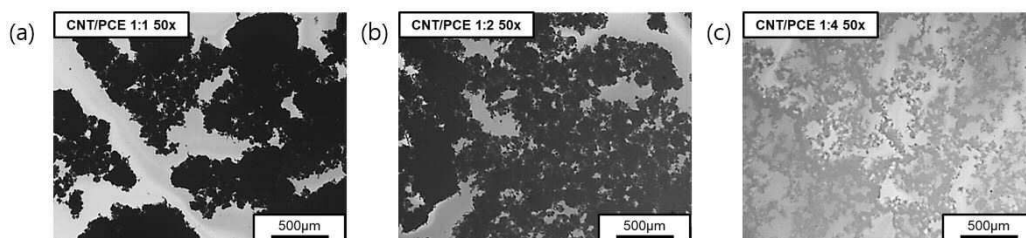
[0130]

	Crack 면적				
	30 MPa	40 MPa	50 MPa	60 MPa	70 MPa
Plain	0.02 cm ²	0.06 cm ²	0.53 cm ²	19.00 cm ²	25.00 cm ²
CNT/PCE C1	0.00 cm ²	0.01 cm ²	0.12 cm ²	6.16 cm ²	15.00 cm ²
CNT/SNF C1	0.00 cm ²	0.00 cm ²	0.04 cm ²	0.13 cm ²	6.18 cm ²

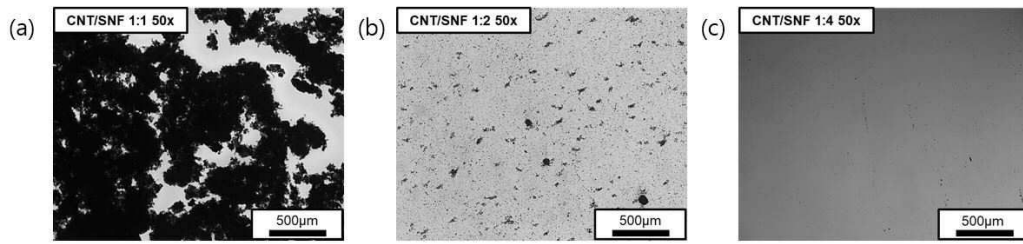
[0132] 표 6 및 도 8을 참조하면, 제조예에 따른 탄소나노튜브 분산액을 원심분리하여 수득한 침전물로 제조한 시멘트 복합재는 대조군 대비 우수한 압축강도를 나타내는 것으로 확인되었다.

도면

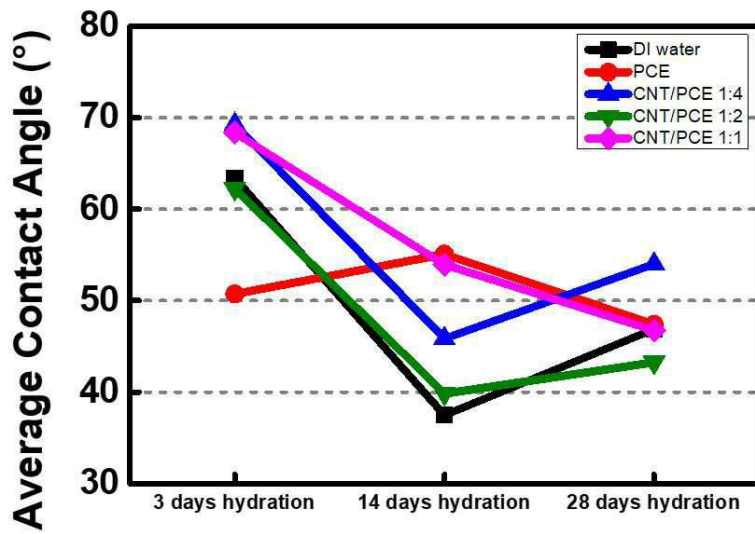
도면1



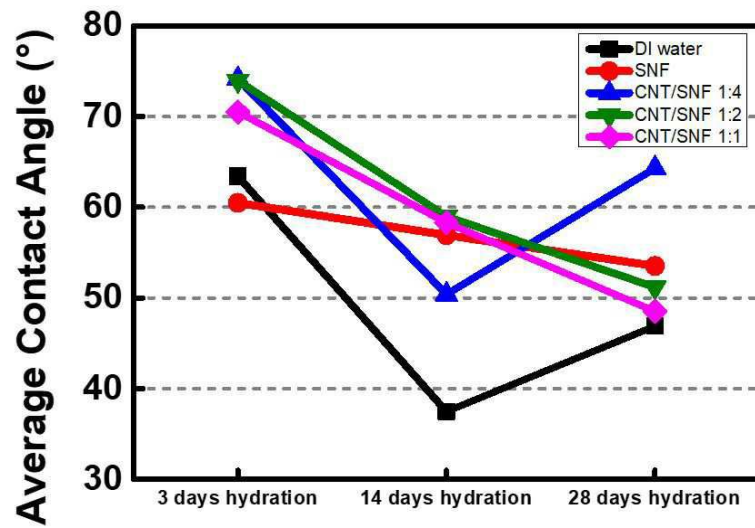
도면2



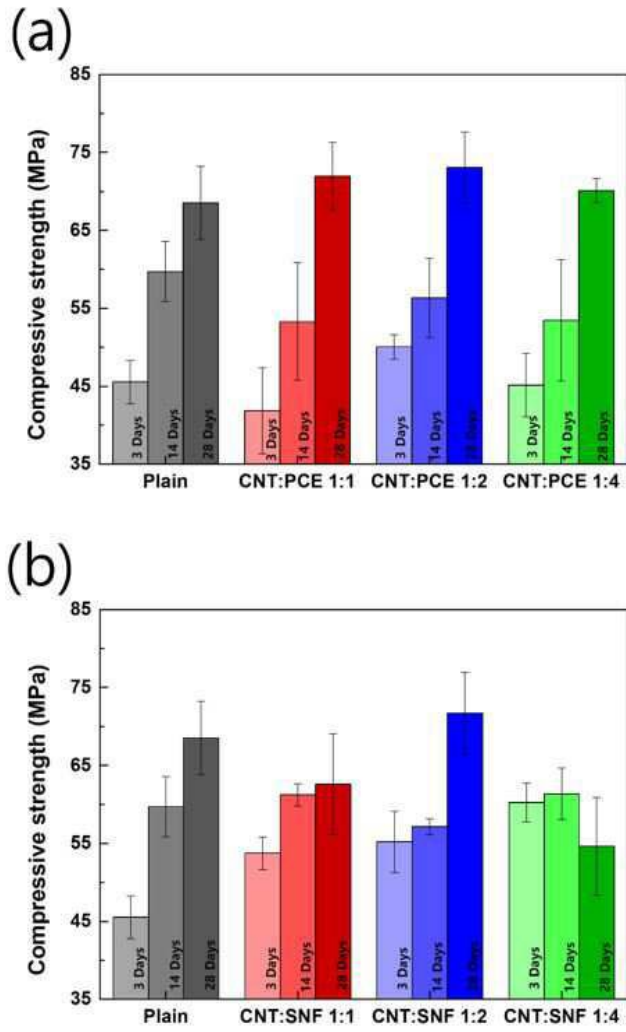
도면3



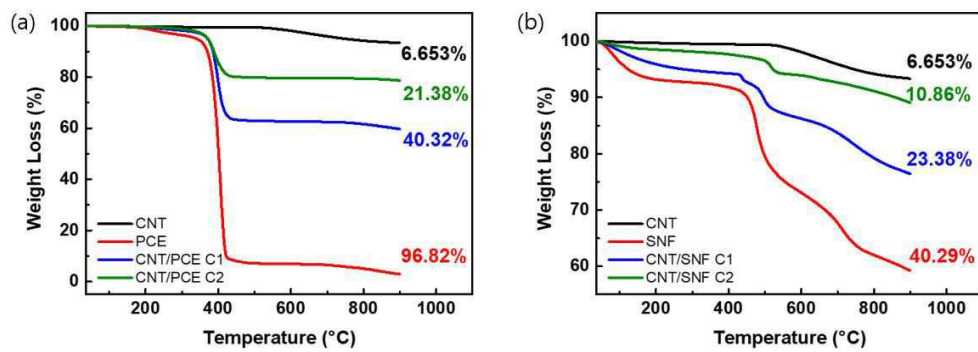
도면4



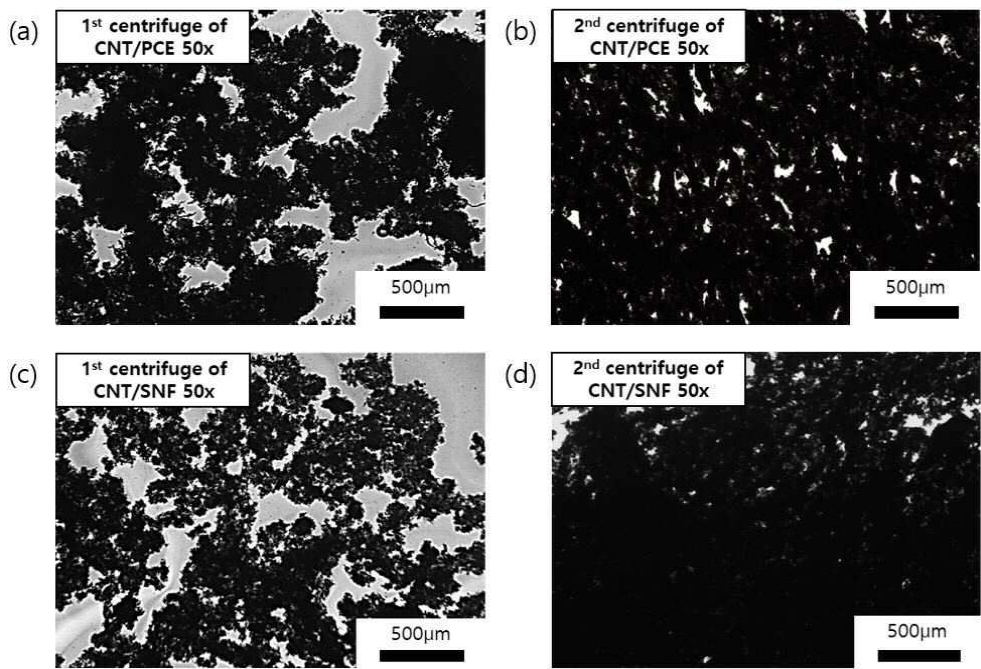
도면5



도면6



도면7



도면8

