



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0023967  
(43) 공개일자 2019년03월08일

<p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.) C04B 14/06 (2006.01) C04B 18/14 (2006.01) C04B 28/04 (2006.01) C04B 40/00 (2006.01) C04B 111/00 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류 C04B 14/062 (2013.01) C04B 18/141 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2017-0110454 (22) 출원일자 2017년08월30일 심사청구일자 2017년08월30일</p>	<p>(71) 출원인 부산대학교 산학협력단 부산광역시 금정구 부산대학로63번길 2 (장전동, 부산대학교)</p> <p>(72) 발명자 김태완 부산광역시 동래구 총렬대로238번가길 58, 다동 405호(수안동 반도보라맨션)</p> <p>(74) 대리인 김성현</p>
--	---

전체 청구항 수 : 총 9 항

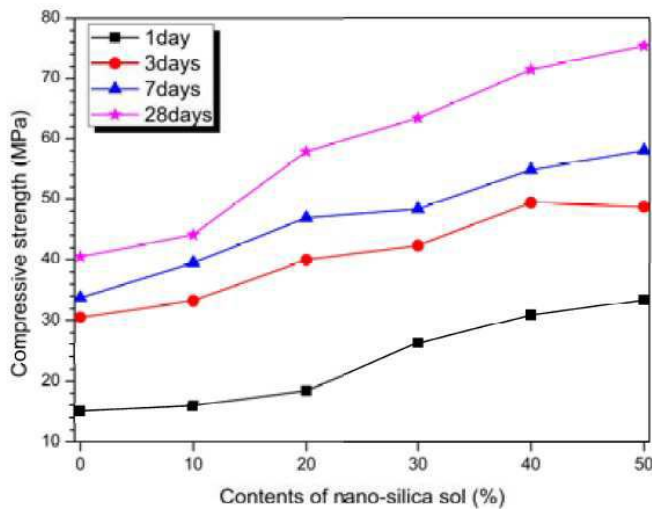
(54) 발명의 명칭 나노 실리카 졸을 이용한 친환경 시멘트 복합재료의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 나노 실리카 졸을 배합수 중량 대비 치환하여 기존 결합재의 중량 및 물성을 유지하면서, C-S-H의 생성을 촉진할 수 있는 나노 실리카 졸을 이용한 친환경 시멘트 복합재료의 제조방법에 관한 것으로, 포틀랜드 시멘트, 배합수 및 나노 실리카 졸을 배합하는 제1단계; 및 상기 제1단계에서 배합한 혼합물을 교반하는 제2단계를 포함하며, 상기 나노 실리카 졸은 상기 배합수 100 중량부에 대하여 5 내지 120 중량부의 비율로 배합되고, 상기 나노 실리카 졸의 pH는 9 ~ 10인 것을 특징으로 한다.

이에 따라, 나노 실리카 졸을 배합수 중량 대비 치환하여 배합함으로써, 기존 결합재의 중량 및 물성을 유지하면서 C-S-H 생성을 촉진하여 강도를 향상시킬 수 있으며, 산업부산물을 포틀랜드 시멘트 중량 대비 치환하여 더 배합함으로써, 포틀랜드 시멘트의 사용량을 줄여 친환경적인 시멘트 복합재료를 제조할 수 있는 효과가 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

*C04B 28/04* (2013.01)

*C04B 40/0032* (2013.01)

*C04B 2111/00017* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2016907797

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 일반연구자지원사업(지역대학우수과학자지원사업)

연구과제명 나노실리카졸을 사용한 친환경 삼성분계 콘크리트의 개발

기여율 1/1

주관기관 부산대학교 산학협력단

연구기간 2016.06.01 ~ 2017.05.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

포틀랜드 시멘트, 배합수 및 나노 실리카 졸을 배합하는 제1단계; 및  
 상기 제1단계에서 배합한 혼합물을 교반하는 제2단계;를 포함하며,  
 상기 나노 실리카 졸은 상기 배합수 100 중량부에 대하여 5 ~ 120 중량부로 배합되고,  
 상기 나노 실리카 졸의 pH는 9 ~ 10인 것을 특징으로 하는 나노 실리카 졸을 이용한 시멘트 복합재료의 제조방법.

#### 청구항 2

포틀랜드 시멘트, 배합수 및 나노 실리카 졸을 배합하는 제1단계; 및  
 상기 제1단계에서 배합한 혼합물을 교반하는 제2단계;를 포함하며,  
 상기 나노 실리카 졸은, 상기 배합수 대 나노 실리카 졸을 구성하는 물의 비율이 100 : 0.01~0.1 중량부로 배합되고,  
 상기 나노 실리카 졸의 pH는 9 ~ 10인 것을 특징으로 하는 나노 실리카 졸을 이용한 시멘트 복합재료의 제조방법.

#### 청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,  
 상기 나노 실리카 졸에 혼합된 나노 실리카 입자의 입경은 10 ~ 20nm인 것을 특징으로 하는 나노 실리카 졸을 이용한 시멘트 복합재료의 제조방법.

#### 청구항 4

제1항 또는 제2항에 있어서,  
 상기 나노 실리카 졸은 20 ~ 45 중량%의 나노 실리카 입자를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노 실리카 졸을 이용한 시멘트 복합재료의 제조방법.

#### 청구항 5

포틀랜드 시멘트, 배합수 및 나노 실리카 졸을 배합하는 (a)단계;  
 상기 (a)단계 후, 산업부산물을 더 배합하는 (b)단계; 및  
 상기 (b)단계에서의 혼합물을 교반하는 (c)단계;를 포함하며,  
 상기 나노 실리카 졸은 상기 배합수 100 중량부에 대하여 5 ~ 120 중량부로 배합되고,  
 상기 나노 실리카 졸의 pH는 9 ~ 10인 것을 특징으로 하는 나노 실리카 졸을 이용한 시멘트 복합재료의 제조방법.

#### 청구항 6

포틀랜드 시멘트, 배합수 및 나노 실리카 졸을 배합하는 (a)단계;  
 상기 (a)단계 후, 산업부산물을 더 배합하는 (b)단계; 및  
 상기 (b)단계에서의 혼합물을 교반하는 (c)단계;를 포함하며,  
 상기 나노 실리카 졸은, 상기 배합수 대 나노 실리카 졸을 구성하는 물의 비율이 100 : 0.01~0.1 중량부로 배합

되고,

상기 나노 실리카 졸의 pH는 9 ~ 10인 것을 특징으로 하는 나노 실리카 졸을 이용한 시멘트 복합재료의 제조방법.

**청구항 7**

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 산업부산물은 상기 포틀랜드 시멘트 100 중량부에 대하여 5 ~ 150 중량부로 배합되는 것을 특징으로 하는 나노 실리카 졸을 이용한 시멘트 복합재료의 제조방법.

**청구항 8**

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 산업부산물은 고로슬래그 미분말, 레드머드슬래그 미분말, 스테인레스슬래그 미분말, 동제련슬래그 미분말, 플라이 애시, 제지 애시 및 이들의 혼합물로 이루어진 군으로부터 선택되는 어느 하나인 것을 특징으로 하는 나노 실리카 졸을 이용한 시멘트 복합재료의 제조방법.

**청구항 9**

제5항 또는 제6항에 있어서,

상기 산업부산물은 고로슬래그 미분말 및 플라이 애시의 혼합물이고,

상기 고로슬래그 미분말 및 플라이 애시는 상기 포틀랜드 시멘트 100 중량부에 대하여 5 ~ 150 중량부로 각각 혼합되고,

상기 고로슬래그 미분말의 함량과 상기 플라이 애시의 함량이 동일하거나, 상기 플라이 애시에 비해 고로슬래그 미분말이 상대적으로 많이 함유되는 것을 특징으로 하는 나노 실리카 졸을 이용한 시멘트 복합재료의 제조방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 나노 실리카 졸을 이용한 친환경 시멘트 복합재료의 제조방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 나노 실리카 졸을 배합수 중량 대비 치환하여 기존 결합재의 중량 및 물성을 유지하면서, C-S-H의 생성을 촉진할 수 있는 시멘트 복합재료의 제조방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 건축과 토목에 있어서 시멘트는 결합재로 널리 쓰인다. 통상적으로 시멘트라고 하면 포틀랜드 시멘트를 의미하며, 그 주성분은 석회, 실리카, 알루미늄, 산화철 등이다. 시멘트는 이것들을 함유한 원료를 적당한 비율로 충분히 혼합하여, 그 일부가 용융·소성된 클링커(clinker)에 적당량의 석고를 가하여 분말화 하는 과정을 통해 만들어진다.

[0003] 포틀랜드 시멘트는 수산화칼슘이 고온에서 탈수되면서 붕괴의 원인이 되므로 내화성이 낮다. 또한 산류(酸類), 염류(鹽類), 아황산가스 등의 화학물질로 인해 열화되고 침식되기 쉬워서, 화학공장이나 식품공장의 시설, 해양 환경 등에서 배출되는 화학물질에 의한 침식 및 하수도 시설 내에서 발생하는 아황산가스에 의한 콘크리트 구조물의 조기 열화가 발생하는 단점이 있다.

[0004] 이러한 단점을 해소하기 위해 포틀랜드 시멘트에 실리카 분말을 혼합함으로써, 포틀랜드 시멘트의 강도를 크게 향상시키는 C-S-H(Calcium Silicate Hydrate)의 생성을 촉진하는 방법이 주로 이용되었다.

[0005] 이때, 상기 종래기술은 포틀랜드 시멘트의 중량비 또는 부피비에 대해 실리카 분말을 치환하므로, 첨가된 실리카 분말의 중량만큼 포틀랜드 시멘트의 중량이 감소하게 된다.

[0006] 이에 따라, 상기 종래기술은 시멘트의 전체적인 물성과 특성이 저하되어 포틀랜드 시멘트의 배합을 재조정하는 공정을 더 거쳐야 하고, 다른 혼합재료의 추가에 따라 배합비율을 자주 조정해야 하는 문제점이 있다.

[0007] 그리고 실리카 분말의 치환율이 10% 이상일 경우 유동성이 급격히 저하되고, 적정 유동성의 확보를 위해 고성능

감수제를 사용해야 하는데, 감수제의 사용으로도 일정 수준 이상의 유동성 확보는 어려우며 점성의 증가로 치밀한 조직을 형성하는데 부정적인 영향을 미치는 문제점이 있다.

[0008] 또한, 분말형의 실리카를 사용하므로, 혼합시 뭉침 현상이 발생하여 균일한 분산이 어렵고, 배합 작업시 분진이 발생하여 작업자에게 유해한 문제점이 있다.

[0009] 한편, 최근에 친환경의 중요성이 산업 전반에 걸쳐 부각되면서 건설과 토목 분야에 있어서도 시멘트의 사용량을 줄이기 위한 방안이 활발히 연구되고 있으며, 이러한 방안 중 하나로 고로슬래그, 플라이애시 등과 같은 산업부산물을 이용하여 시멘트를 대체하기 위한 연구가 끊임없이 진행되고 있다.

[0010] 따라서, 상술한 종래기술의 문제점들을 해소하면서, 시멘트의 사용량을 줄여 친환경적인 시멘트 복합재료의 제조방법에 관한 지속적인 연구개발이 요구되고 있다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1138061호 (2012년 04월 12일)

(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허공보 제10-0906459호 (2009년 06월 30일)

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 실리카 또는 다른 혼합제의 첨가 시, 물성을 유지하기 위해 시멘트의 전체적인 배합비율을 재조정하는 단계가 불필요한 나노 실리카 졸을 이용한 친환경 시멘트 복합재료의 제조방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0013] 또한, 실리카의 혼합을 증가에 따른 적정 유동성 확보를 위해 추가적인 배합수 또는 고가의 혼화제의 사용량을 최소화하거나 사용하지 않고도 균일하게 분산시킬 수 있는 나노 실리카 졸을 이용한 친환경 시멘트 복합재료의 제조방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0014] 또한, 포틀랜드 시멘트와의 혼합시 입자를 균일하게 분산시킬 수 있고, 분진 발생을 방지하여 배합 작업환경을 개선할 수 있는 나노 실리카 졸을 이용한 친환경 시멘트 복합재료의 제조방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0015] 또한, 산업부산물을 이용하여 시멘트의 사용량을 줄일 수 있는 나노 실리카 졸을 이용한 친환경 시멘트 복합재료의 제조방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

#### 과제의 해결 수단

[0016] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 나노 실리카 졸을 이용한 친환경 시멘트 복합재료의 제조방법은 포틀랜드 시멘트, 배합수 및 나노 실리카 졸을 배합하는 제1단계; 및 상기 제1단계에서 배합한 혼합물을 교반하는 제2단계;를 포함하며, 상기 나노 실리카 졸은 상기 배합수 100 중량부에 대하여 5 내지 120 중량부의 비율로 배합되고, 상기 나노 실리카 졸의 pH는 9 ~ 10인 것을 특징으로 한다.

[0017] 또한, 본 발명에 따른 나노 실리카 졸을 이용한 친환경 시멘트 복합재료의 제조방법은 포틀랜드 시멘트, 배합수 및 나노 실리카 졸을 배합하는 (a)단계; 상기 (a)단계 후, 산업부산물을 더 배합하는 (b)단계; 및 상기 (b)단계에서의 혼합물을 교반하는 (c)단계;를 포함하며, 상기 나노 실리카 졸은 상기 배합수 100 중량부에 대하여 5 내지 120 중량부의 비율로 배합되고, 상기 나노 실리카 졸의 pH는 9 ~ 10인 것을 특징으로 한다.

#### 발명의 효과

[0018] 상기 과제의 해결 수단에 의해, 본 발명의 나노 실리카 졸을 이용한 시멘트 복합재료의 제조방법은 나노 실리카 졸을 배합수 중량 대비 치환하여 배합함으로써, 기존 결합제의 중량 및 물성을 유지하면서 C-S-H 생성을 촉진하여 강도를 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

[0019] 또한, 배합수 중량에 대비하여 나노 실리카 졸을 치환하여 사용할 수 있으므로, 나노 실리카 졸의 치환율을 최

대 50%까지 증가시킬 수 있어서 종래의 실리카 분말을 사용한 경우보다 물리적 특성을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

[0020] 또한, 나노 실리카 졸을 사용하므로, 배합수 중량 대비 치환되는 나노 실리카 졸의 치환율이 50%까지 증가하여도, 균일한 분산, 기포제거, 점성 감소 등을 위한 혼화제의 사용량을 최소화하거나 불필요하여 경제적인 효과가 있다.

[0021] 또한, 액상의 나노 실리카 졸을 사용하므로, 포틀랜드 시멘트와 혼합시 입자를 균일하게 분산시킬 수 있고, 분진이 발생하지 않아 작업환경을 개선할 수 있는 효과가 있다.

[0022] 또한, 산업부산물을 포틀랜드 시멘트 중량 대비 치환하여 더 배합함으로써, 포틀랜드 시멘트의 사용량을 줄여 친환경적인 시멘트 복합재료를 제조할 수 있는 효과가 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0023] 도 1은 실시예 1-1 ~ 1-5 및 비교예 1-1의 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다.
- 도 2는 실시예 1-3, 1-5 및 비교예 1-1의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 3은 실시예 2-1 ~ 2-15 및 비교예 2-1 ~ 2-2의 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다.
- 도 4는 실시예 2-3, 2-5 및 비교예 2-1의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 5는 실시예 2-8, 2-10 및 비교예 2-2의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 6은 실시예 2-13, 2-15 및 비교예 2-3의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 7은 비교예 2-1 ~ 2-3의 XRD 분석 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 8은 실시예 2-5, 2-10 및 2-15의 XRD 분석 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 9는 비교예 2-1 ~ 2-3의 SEM/BSE를 나타낸 이미지이다.
- 도 10은 실시예 2-5, 2-10 및 2-15의 SEM/BSE를 나타낸 이미지이다.
- 도 11은 실시예 3-1 ~ 3-15 및 비교예 3-1 ~ 3-3의 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다.
- 도 12는 실시예 3-15 및 비교예 3-3의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 13은 실시예 3-10 및 비교예 3-2의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 14는 실시예 3-5 및 비교예 3-1의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프이다.
- 도 15는 실시예 4-1 ~ 4-5 및 비교예 4-1의 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다.
- 도 16은 실시예 5-1 ~ 5-15 및 비교예 5-1 ~ 5-3의 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0024] 이하, 첨부된 도면들을 참조하면서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 상세히 설명하기로 한다. 한편, 해당 기술분야의 통상적인 지식을 가진자로부터 용이하게 알 수 있는 구성과 그에 대한 작용 및 효과에 대한 도시 및 상세한 설명은 간략히 하거나 생략하고 본 발명과 관련된 부분들을 중심으로 상세히 설명하도록 한다.

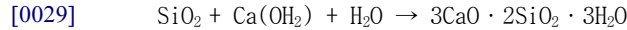
[0025] 본 발명에 따른 나노 실리카 졸을 이용한 시멘트 복합재료의 제조방법은 포틀랜드 시멘트, 배합수 및 나노 실리카 졸을 배합하는 제1단계 및 상기 제1단계에서 배합한 혼합물을 교반하는 제2단계를 포함한다.

[0026] 먼저, 제1단계는 포틀랜드 시멘트, 배합수 및 나노 실리카 졸을 배합하는 단계이다.

[0027] 나노 실리카 졸은 규소와 산소의 화학적 결합체인 나노 실리카(nano silica, SiO<sub>2</sub>) 입자를 물에 용해하여 분산시킨 것을 일컬으며 콜로이달 실리카(colloidal silica)라고도 불리는데, 본 발명에서는 '나노 실리카 졸'로 통일하기로 한다. 나노 실리카 졸은 공극 충전효과로 인해 반응 생성물의 조적을 치밀하게 형성시킴으로써, 기계적 물성, 내염해성 및 내화학적성을 향상시킬 수 있어 내구성이 뛰어난 시멘트 복합재료를 제조할 수 있는 특성이 있다.

[0028] 나노 실리카 입자는 포틀랜드 시멘트 입자들의 결합력을 증가시켜 시멘트 복합재료로 제조된 콘크리트의 강도를

크게 향상시키고, 시멘트 수화 시 발생하는 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)과 포졸란(Pozzolan) 반응을 일으켜 칼슘실리케이트계 수화물(Calcium Silicate Hydrate, 이하 C-S-H 라 칭함)을 생성한다. 포졸란 반응의 반응식은 아래와 같다.



[0030] 이때, 나노 실리카 졸이 아닌 실리카 폼을 사용할 경우, 아래와 같은 문제점이 발생하게 된다. 먼저, 실리카 폼이 포틀랜드 시멘트의 중량비 또는 부피비에 대해 치환됨에 따라 치환된 실리카 폼의 중량만큼 포틀랜드 시멘트의 중량이 감소하게 되므로, 시멘트의 전체적인 물성과 특성의 저하를 방지하기 위해 포틀랜드 시멘트 또는 혼합재료의 배합비율을 자주 조정해야 한다.

[0031] 그리고 실리카 폼의 치환율이 10% 이상일 경우 유동성이 급격히 저하되는데, 이때 감수제의 사용으로도 일정 수준 이상의 유동성을 확보하기 어려우며 점성의 증가로 치밀한 조직을 형성하기 어렵다. 또한, 분말형의 실리카를 사용하므로, 혼합시 뭉침 현상이 발생하게 분산이 어렵고, 배합 작업시 분진이 발생하여 작업자에게 유해하다.

[0032] 이러한 실리카 폼과 비교하였을 때, 본 발명의 나노 실리카 졸은 배합수 중량 대비 치환되므로 포틀랜드 시멘트 또는 혼합재료의 중량 및 물성을 유지하면서 C-S-H 생성을 촉진하여 강도를 향상시킬 수 있다. 그리고 나노 실리카 졸은 감수제 또는 혼화제의 사용량을 종래의 나노 실리카 폼 대비 현저하게 줄이거나 사용하지 않고, 50%까지 치환하여도 일정 수준 이상의 유동성을 확보하여 치밀한 조직을 형성할 수 있으며, 혼합시 입자를 균일하게 분산시킬 수 있고 분진이 발생하지 않아 작업환경을 개선할 수 있는 장점이 있다.

[0033] 상기 제1단계에서 배합수의 중량에 대비하여 치환하는 방법으로서, 배합수 일정 중량을 나노 실리카 졸의 중량으로 치환하는 방법(이하, '제1 배합수 치환방법'이라 함) 또는 나노 실리카 졸을 구성하고 있는 물의 중량으로 치환하는 방법(이하, '제2 배합수 치환방법'이라 함)을 이용할 수 있다.

[0034] 먼저, 제1 배합수 치환방법을 구체적으로 살펴보면, 나노 실리카 졸은 상기 배합수 100 중량부에 대하여 5 내지 120 중량부의 비율로 배합될 수 있고, 바람직하게는 10 내지 110 중량부, 더욱 바람직하게는 15 내지 100 중량부로 배합될 수 있다.

[0035] 나노 실리카 졸이 배합수 100 중량부에 대하여 5 중량부 미만일 경우 나노 실리카 입자의 보충량이 적어 시멘트의 수화반응이 약해져 시멘트 복합재료로 제조된 콘크리트의 기계적 물성을 향상시키는 효과가 미미하고, 120 중량부를 초과할 경우 분산제, AE(air entraining agent) 등의 혼화제가 다량 필요하여 제조 단가가 상승하는 문제가 있다.

[0036] 예를 들어, W/B(물-결합재 비)가 0.4이며 결합재(B, 포틀랜드 시멘트) 1000g, 배합수(W) 400g이 준비되고, 나노 실리카 졸을 배합수의 20% 만큼 치환할 경우, 나노 실리카 졸은 80g이 사용되며, 배합수는 320g 배합될 수 있다.

[0037] 다음으로, 제2 배합수 치환방법을 구체적으로 살펴보면, 나노 실리카 졸은, 배합수 대 나노 실리카 졸을 구성하는 물의 비율이 100 : 0.01~0.1 중량부가 되도록 배합될 수 있다. 이때, 상기한 범위 내에서 배합수 대 나노 실리카 졸을 구성하는 비율을 조절함으로써, 나노 실리카의 보충량이 적어 시멘트 복합재료로 제조된 콘크리트의 기계적 물성 향상효과가 미미한 문제를 방지하고, 시멘트 복합재료의 적정 유동성을 확보할 수 있어 바람직하다. 또한, 나노 실리카 졸은 30~40%의 나노 실리카와 60~70%의 물로 이루어질 수 있다.

[0038] 예를 들어, W/B(물-결합재 비)가 0.4이며 결합재(B, 포틀랜드 시멘트) 1000g, 배합수(W) 400g이 준비되고 나노 실리카 졸의 구성이 나노 실리카 30%, 물 70%일 때, 나노 실리카 졸을 구성하고 있는 물을 배합수의 20% 만큼 치환할 경우, 나노 실리카 졸을 구성하고 있는 물은 배합수 중량 400g의 20%인 80g, 나노 실리카 졸을 구성하고 있는 나노 실리카는 34.3g이므로, 114.3g의 나노 실리카 졸을 사용할 수 있다.

[0039] 상술한 배합수 중량에 대비하여 치환하는 두가지 방법은 시멘트 복합재료의 역학적 특성에 큰 영향을 미치는 것은 아니나, 제2 배합수 치환방법이 제1 배합수 치환방법보다 상대적으로 나노 실리카 졸의 중량이 많이 함유되어서 근소한 차이로 유동성 등 물리적 특성이 향상될 수 있으므로, 작업환경, 사용목적 등에 따라 더 적합한 방법을 적용하여 시멘트 복합재료를 제조할 수 있다.

[0040] 한편, 나노 실리카 졸의 pH는 9 ~ 10인 것이 바람직한데, 이는 포틀랜드 시멘트를 자극하는 과정에서 반응핵으로 작용하여 초기반응을 촉진하고 반응성을 향상시키기 위함이다.

- [0041] 그리고, 나노 실리카 졸에 혼합된 나노 실리카 입자의 입경은 1~100nm일 수 있고, 바람직하게는 10~20nm 일 수 있다. 이는 미세한 입자로 시멘트 복합재료의 내부공극을 채울 수 있다는 점을 착안하여 이용성과 반응성을 고려한 범위이다.
- [0042] 또한, 나노 실리카 졸은 20 ~ 45 중량%의 나노 실리카 입자를 포함할 수 있다. 나노 실리카 졸에 포함된 나노 실리카 입자가 20 중량% 미만일 경우 나노 실리카 입자의 비율이 낮아 시멘트의 수화반응이 약해져 콘크리트의 기계적 물성을 향상시키는 효과가 미미하고, 45중량%를 초과할 경우 배합 시 점성이 증가하여 강도 향상에 부정적인 영향을 미치는 문제가 있다.
- [0043] 다음으로, 제2단계는 상기 제1단계에서 배합한 혼합물을 교반하는 단계이다.
- [0044] 이때, 교반기를 통해 일정 속도로 혼합물을 교반하여 혼합물의 입자들을 균일하게 분산시킨다.
- [0045] 덧붙여, 제2단계에서 혼합물을 교반한 후, 혼합물을 양생하는 단계를 더 포함할 수 있다. 양생은 혼합물을 혼련, 성형한 후 응고 경화를 위해 온도, 습도 등의 조건을 적정하게 유지하여 콘크리트의 균열 또는 강도 저하를 방지하기 위해 이루어지는 작업이다.
- [0046] 한편, 본 발명에 따른 바람직한 일실시예에 따르면 나노 실리카 졸을 이용한 시멘트 복합재료의 제조방법은 포틀랜드 시멘트, 배합수 및 나노 실리카 졸을 배합하는 (a)단계, 상기 (a)단계 후, 산업부산물을 더 배합하는 (b)단계 및 상기 (b)단계에서의 혼합물을 교반하는 (c)단계를 포함할 수 있다.
- [0047] 먼저, (a)단계는 포틀랜드 시멘트, 배합수 및 나노 실리카 졸을 배합하는 단계이다.
- [0048] 상기 (a)단계에서 배합수의 중량에 대비하여 치환하는 방법으로서, 배합수 일정 중량을 나노 실리카 졸의 중량으로 치환하는 방법(제1 배합수 치환방법) 또는 나노 실리카 졸을 구성하고 있는 물의 중량으로 치환하는 방법(제2 배합수 치환방법)을 이용할 수 있다.
- [0049] 먼저, 제1 배합수 치환방법을 구체적으로 살펴보면, 나노 실리카 졸은 상기 배합수에 100 중량부에 대하여 5 내지 120 중량부의 비율로 배합될 수 있고, 바람직하게는 10 내지 110 중량부, 더욱 바람직하게는 15 내지 100 중량부로 배합될 수 있다.
- [0050] 다음으로, 제2 배합수 치환방법을 구체적으로 살펴보면, 나노 실리카 졸은, 배합수 대 나노 실리카 졸을 구성하는 물의 비율이 100 : 0.01~0.1 중량부가 되도록 배합될 수 있다. 이때, 나노 실리카 졸은 3~40%의 나노 실리카와 6~70%의 물로 이루어질 수 있다.
- [0051] 그리고 나노 실리카 졸의 pH는 9~10인 것이 바람직하고, 나노 실리카 졸에 혼합된 나노 실리카 입자의 입경은 1~100nm일 수 있고 바람직하게는 10~20nm일 수 있으며, 나노 실리카 졸은 20~45 중량%의 나노 실리카 입자를 포함할 수 있다.
- [0052] 상기 제(a)단계에 대한 구체적인 설명은 상술한 제1단계에서 설명한 바와 동일하다.
- [0053] 다음으로, (b)단계는 (a)단계 후에 산업부산물을 더 혼합하는 단계이다.
- [0054] 산업부산물은 포틀랜드 시멘트 100 중량부에 대하여 5 내지 150 중량부의 비율로 배합될 수 있고, 바람직하게는 10 내지 140 중량부, 더욱 바람직하게는 15 내지 130 중량부로 배합될 수 있다.
- [0055] 산업부산물이 포틀랜드 시멘트 100 중량부에 대하여 5 중량부 미만일 경우 반응성이 낮아 C-S-H 수화물의 생성량이 다소 적어지므로 강도 증진 효과가 미미하며, 친환경 시멘트 복합재료로서의 의미가 떨어지게 된다. 그리고 산업부산물이 포틀랜드 시멘트 100 중량부에 대하여 150 중량부를 초과할 경우 응결 및 경화 지연으로 작업성이 저하되고 초기 강도가 감소하는 문제가 있다.
- [0056] 포틀랜드 시멘트의 주요 성분을 포함하고, 시멘트 복합재료 제조에 필요한 석회석, 규석, 점토, 철광석의 성분을 함유한 물질이라면 산업부산물로서 시멘트 복합재료 제조시 첨가하여 사용할 수 있다.
- [0057] 구체적으로, 산업부산물은 고로슬래그 미분말, 레드머드슬래그 미분말, 스테인레스슬래그 미분말, 동제련슬래그 미분말, 플라이 애시, 제지 애시 및 이들의 혼합물로 이루어진 균으로부터 선택되는 어느 하나일 수 있다.
- [0058] 이러한 산업부산물로 포틀랜드 시멘트를 대량 치환하여 사용함으로써, 시멘트 소비량을 줄여 시멘트 생산에 따른 탄소 배출량을 줄일 수 있어 친환경적이고, 콘크리트의 초기강도 저하 문제를 크게 개선할 수 있는 장점이 있다.



- [0059] 특히, 잠재수경성을 가지는 고로슬래그 미분말은 알칼리 물질의 존재 하에 물과 반응하면, 고로슬래그 미분말에 함유되어 있는 산화칼슘과 이산화규소 성분이 용출하여 C-S-H를 형성하면서 경화한다.
- [0060] 구체적으로, 알칼리 물질로서 시멘트 수화시 발생한 수산화칼슘 및 나노 실리카 졸이 고로슬래그 미분말에 수산 이온(OH<sup>-</sup>)을 흡착시켜 유리구조를 파괴하여 이산화규소, 산화알루미늄, 산화칼슘, 산화마그네슘 등의 용출을 촉진한다. 이러한 반응 때문에 액상 중의 각 이온농도가 높아져 현저한 수경성을 나타내고 일단 반응이 시작되면 자신이 용출하는 성분에 의해 용액이 높은 pH를 지속하여 반응은 계속된다. 결국에는 고로슬래그 미분말의 유리 질을 구성하고 있는 불규칙한 -O-Si-O-Al-O-의 3차원 망상 구조체의 쇄상결합이 알칼리 분위기에 의해 절단되고 그 망상 구조 내에 들어있던 칼슘, 마그네슘, 알루미늄 등의 이온이 용이하게 용출될 수 있다. 용출한 각 이온은 포틀랜드 시멘트의 경우와 같이 규산칼슘 수화물이나 알루미늄산칼슘 수화물을 생성하여 단단하게 경화될 수 있다.
- [0061] 플라이 애시는 포졸란 반응에 의한 포틀랜드 시멘트 입자 사이의 공극 충전으로 인한 영향으로 시멘트 복합재료로 제조된 콘크리트의 내구성에 긍정적인 영향을 미친다.
- [0062] 구체적으로, 플라이 애시의 입자들은 반대로 대전한 포틀랜드 시멘트 입자들에 흡착하여 입자들이 응집되지 않도록 한다. 이에 따라 포틀랜드 시멘트 입자들은 더욱 효과적으로 분산되어 소요 작업성을 얻기 위한 단위수량을 감소시키는 효과가 있다.
- [0063] 또한, 플라이 애시는 구형 모양과 매끄러운 표면을 가지고 있으므로, 시멘트 복합재료에서 상호 입자 마찰을 줄일 수 있는데, 이로 인해 유동성이 향상되는 효과가 있다. 그리고 플라이 애시의 입자는 포틀랜드 시멘트와 유사한 1~45um 크기의 입자를 가지고 있어 시멘트 복합재료에 있는 공극을 채우는 우수한 충전재 역할을 한다.
- [0064] 산업부산물인 고로슬래그 미분말 및 플라이 애시의 혼합물인 경우, 각각의 중량부는 포틀랜드 시멘트 100 중량부에 대하여 5~150 중량부로 혼합될 수 있고, 바람직하게는 10 내지 140 중량부, 더욱 바람직하게는 15 내지 130 중량부로 혼합될 수 있다. 이로 인해 상술한 고로슬래그 미분말 및 플라이 애시의 효과를 극대화하여 시멘트 복합재료의 강도를 향상시킬 수 있다.
- [0065] 이때, 고로슬래그 미분말의 함량과 플라이 애시의 함량이 동일하거나, 플라이 애시에 비해 고로슬래그 미분말이 상대적으로 많이 함유되는 것이 바람직하다. 이는 플라이 애시가 고로슬래그 미분말보다 수화능력이 부족하므로, 플라이 애시 비율이 높을수록 응결이 지연되고 초기강도가 감소하는 문제를 방지하기 위함이다.
- [0066] 이하, 본 발명을 실시예에 의하여 더욱 상세히 설명하나, 본 발명의 범위가 실시예에 의해 제한되는 것은 아니다.
- [0067] <실시예>
- [0068] 1. (제1 배합수 치환방법) 포틀랜드 시멘트(OPC) + 나노 실리카 졸(NS)
- [0069] 실시예 1-1
- [0070] 배합수 900g, 포틀랜드 시멘트 2000g 및 나노 실리카 졸 100g을 배합하고 일정시간 교반하여 시멘트 복합재료를 제조하였다. 이때, 나노 실리카 졸은 영일화성 사의 YGS-30 제품을 사용하였으며, 평균입경 10~20nm, pH 10±5, 나노 실리카 입자와 물의 비율이 3:7인 특성이 있다.
- [0071] 상기 시멘트 복합재료를 50×50×50mm 몰드에 타설하고 상대습도 85±5%, 온도 23±2℃의 항온항습기에 넣고 1일(24h) 후, 몰드를 제거하였으며, 측정일까지 상기 상대습도 및 온도의 항온항습기에 양생하였다.
- [0072] 실시예 1-2
- [0073] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 200g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 1-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0074] 실시예 1-3
- [0075] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 300g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 1-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0076] 실시예 1-4
- [0077] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 400g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 1-1과 동일한 방법으로 시멘트

복합재료를 제조하였다.

[0078] 실시예 1-5

[0079] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 500g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 1-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0080] 비교예 1-1

[0081] 나노 실리카 졸을 치환하지 않은 것을 제외하고는 상기 실시예 1-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0082] 상기 실시예 1-1 ~ 1-5 및 비교예 1-1에 따른 복합재료의 함량을 하기 표 1에 나타내었다.

표 1

구분	결합재 구성비(%)		NS의 치환율(%)*
	OPC	총계	
실시예 1-1 (N1)	100	100	10
실시예 1-2 (N2)	100	100	20
실시예 1-3 (N3)	100	100	30
실시예 1-4 (N4)	100	100	40
실시예 1-5 (N5)	100	100	50
비교예 1-1 (N0)	100	100	0

[0084] (\*NS의 치환율(%): 배합수 중량에 대한 나노 실리카 졸의 치환율)

[0085] 2. (제1 배합수 치환방법) 포틀랜드 시멘트(OPC) + 고로슬래그 미분말(GGBFS) + 나노 실리카 졸(NS)

[0086] 실시예 2-1

[0087] 배합수 900g, 포틀랜드 시멘트 1600g, 고로슬래그 미분말 400g 및 나노 실리카 졸 100g을 배합하고 일정시간 교반하여 시멘트 복합재료를 제조하였다. 이때, 나노 실리카 졸은 영일화성 사의 YGS-30 제품을 사용하였으며, 평균입경 10~20nm, pH 10±5, 나노 실리카 입자와 물의 비율이 3:7인 특성이 있다.

[0088] 상기 시멘트 복합재료를 50×50×50mm 몰드에 타설하고 상대습도 85±5%, 온도 23±2℃의 항온항습기에 넣고 1일(24h) 후, 몰드를 제거하였으며, 측정일까지 상기 상대습도 및 온도의 항온항습기에 양생하였다.

[0089] 실시예 2-2

[0090] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 200g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0091] 실시예 2-3

[0092] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 300g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0093] 실시예 2-4

[0094] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 400g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0095] 실시예 2-5

[0096] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 500g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0097] 실시예 2-6

[0098] 배합수 900g, 포틀랜드 시멘트 1200g, 고로슬래그 미분말 800g 및 나노 실리카 졸 100g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

- [0099] 실시예 2-7
- [0100] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 200g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0101] 실시예 2-8
- [0102] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 300g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0103] 실시예 2-9
- [0104] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 400g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0105] 실시예 2-10
- [0106] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 500g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0107] 실시예 2-11
- [0108] 배합수 900g, 포틀랜드 시멘트 800g, 고로슬래그 미분말 1200g 및 나노 실리카 졸 100g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0109] 실시예 2-12
- [0110] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 200g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0111] 실시예 2-13
- [0112] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 300g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0113] 실시예 2-14
- [0114] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 400g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0115] 실시예 2-15
- [0116] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 500g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 2-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0117] 비교예 2-1
- [0118] 나노 실리카 졸을 치환하지 않은 것을 제외하고는 상기 실시예 2-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0119] 비교예 2-2
- [0120] 나노 실리카 졸을 치환하지 않은 것을 제외하고는 상기 실시예 2-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0121] 비교예 2-3
- [0122] 나노 실리카 졸을 치환하지 않은 것을 제외하고는 상기 실시예 2-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0123] 상기 실시예 2-1 ~ 2-15 및 비교예 2-1 ~ 2-3에 따른 복합재료의 함량을 하기 표 2에 나타내었다.

표 2

구분	결합재 구성비(%)			NS의
	OPC	GGBFS	총계	치환율(%) <sup>*</sup>
실시예 2-1 (N8S1)	80	20	100	10
실시예 2-2 (N8S2)	80	20	100	20
실시예 2-3 (N8S3)	80	20	100	30
실시예 2-4 (N8S4)	80	20	100	40
실시예 2-5 (N8S5)	80	20	100	50
실시예 2-6 (N6S1)	60	40	100	10
실시예 2-7 (N6S2)	60	40	100	20
실시예 2-8 (N6S3)	60	40	100	30
실시예 2-9 (N6S4)	60	40	100	40
실시예 2-10 (N6S5)	60	40	100	50
실시예 2-11 (N4S1)	40	60	100	10
실시예 2-12 (N4S2)	40	60	100	20
실시예 2-13 (N4S3)	40	60	100	30
실시예 2-14 (N4S4)	40	60	100	40
실시예 2-15 (N4S5)	40	60	100	50
비교예 2-1 (N8S0)	80	20	100	0
비교예 2-2 (N6S0)	60	40	100	0
비교예 2-3 (N4S0)	40	60	100	0

[0125] (\*NS의 치환율(%): 배합수 중량에 대한 나노 실리카 졸의 치환율)

[0126] 3. (제1 배합수 치환방법) 포틀랜드 시멘트(OPC) + 고로슬래그 미분말(GGBFS) + 플라이 애시(FA) + 나노 실리카 졸(NS)

[0127] 실시예 3-1

[0128] 배합수 900g, 포틀랜드 시멘트 1600g, 고로슬래그 미분말 200g, 플라이 애시 200g 및 나노 실리카 졸 100g을 배합하고 일정시간 교반하여 시멘트 복합재료를 제조하였다. 이때, 나노 실리카 졸은 영일화성 사의 YGS-30 제품을 사용하였으며, 평균입경 10~20nm, pH 10±5, 나노 실리카 입자와 물의 비율이 3:7인 특성이 있다.

[0129] 상기 시멘트 복합재료를 50×50×50mm 몰드에 타설하고 상대습도 85±5%, 온도 23±2℃의 항온항습기에 넣고 1일(24h) 후, 몰드를 제거하였으며, 측정일까지 상기 상대습도 및 온도의 항온항습기에 양생하였다.

[0130] 실시예 3-2

- [0131] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 200g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0132] 실시예 3-3
- [0133] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 300g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0134] 실시예 3-4
- [0135] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 400g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0136] 실시예 3-5
- [0137] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 500g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0138] 실시예 3-6
- [0139] 배합수 900g, 포틀랜드 시멘트 1200g, 고로슬래그 미분말 400g, 플라이 애시 400g 및 나노 실리카 졸 100g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0140] 실시예 3-7
- [0141] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 200g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0142] 실시예 3-8
- [0143] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 300g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0144] 실시예 3-9
- [0145] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 400g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0146] 실시예 3-10
- [0147] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 500g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0148] 실시예 3-11
- [0149] 배합수 900g, 포틀랜드 시멘트 800g, 고로슬래그 미분말 600g, 플라이 애시 600g 및 나노 실리카 졸 100g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0150] 실시예 3-12
- [0151] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 200g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0152] 실시예 3-13
- [0153] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 300g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0154] 실시예 3-14
- [0155] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 400g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0156] 실시예 3-15
- [0157] 배합수 중량 대비 나노 실리카 졸을 500g 치환한 것을 제외하고는 상기 실시예 3-11과 동일한 방법으로 시멘트

복합재료를 제조하였다.

[0158] 비교예 3-1

[0159] 나노 실리카 졸을 치환하지 않은 것을 제외하고는 상기 실시예 3-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0160] 비교예 3-2

[0161] 나노 실리카 졸을 치환하지 않은 것을 제외하고는 상기 실시예 3-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0162] 비교예 3-3

[0163] 나노 실리카 졸을 치환하지 않은 것을 제외하고는 상기 실시예 3-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0164] 상기 실시예 3-1 ~ 3-15 및 비교예 3-1 ~ 3-3에 따른 복합재료의 함량을 하기 표 3에 나타내었다.

**표 3**

[0165]

구분	결합재 구성비(%)				NS의 치환율(%)*
	OPC	GGBFS	FA	총계	
실시예 3-1 (N8T1)	80	10	10	100	10
실시예 3-2 (N8T2)	80	10	10	100	20
실시예 3-3 (N8T3)	80	10	10	100	30
실시예 3-4 (N8T4)	80	10	10	100	40
실시예 3-5 (N8T5)	80	10	10	100	50
실시예 3-6 (N6T1)	60	20	20	100	10
실시예 3-7 (N6T2)	60	20	20	100	20
실시예 3-8 (N6T3)	60	20	20	100	30
실시예 3-9 (N6T4)	60	20	20	100	40
실시예 3-10 (N6T5)	60	20	20	100	50
실시예 3-11 (N4T1)	40	30	30	100	10
실시예 3-12 (N4T2)	40	30	30	100	20
실시예 3-13 (N4T3)	40	30	30	100	30
실시예 3-14 (N4T4)	40	30	30	100	40
실시예 3-15 (N4T5)	40	30	30	100	50
비교예 3-1 (N8T0)	80	10	10	100	0
비교예 3-2 (N6T0)	60	20	20	100	0
비교예 3-3 (N4T0)	40	30	30	100	0

[0166] (\*NS의 치환율(%): 배합수 중량에 대한 나노 실리카 졸의 치환율)

[0167] 4. (제2 배합수 치환방법) 포틀랜드 시멘트(OPC) + 나노 실리카 졸(NS)

[0168] 실시예 4-1

[0169] 포틀랜드 시멘트 2000g, 배합수 906.67g 및 나노 실리카 졸 133.33g을 배합하고 일정시간 교반하여 시멘트 복합 재료를 제조하였다. 이때, 나노 실리카 졸은 영일화성 사의 YGS-30 제품을 사용하였으며, 평균입경 10~20nm, pH 10±5, 나노 실리카 입자와 물의 비율이 3:7인 특성이 있다.

[0170] 상기 시멘트 복합재료를 50×50×50mm 몰드에 타설하고 상대습도 85±5%, 온도 23±2℃의 항온항습기에 넣고 1 일(24h) 후, 몰드를 제거하였으며, 측정일까지 상기 상대습도 및 온도의 항온항습기에 양생하였다.

[0171] 실시예 4-2

[0172] 배합수 813.33g 및 나노 실리카 졸 266.67g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 4-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0173] 실시예 4-3

[0174] 배합수 720g 및 나노 실리카 졸 400g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 4-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0175] 실시예 4-4

[0176] 배합수 626.67g 및 나노 실리카 졸 533.33g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 4-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0177] 실시예 4-5

[0178] 배합수 533.33g 및 나노 실리카 졸 666.67g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 4-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0179] 비교예 4-1

[0180] 나노 실리카 졸을 배합하지 않고, 배합수 1000g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 4-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.

[0181] 상기 실시예 4-1 ~ 4-5 및 비교예 4-1에 따른 복합재료의 함량을 하기 표 4에 나타내었다.

표 4

[0182]

구분	OPC (g)	SiO <sub>2</sub> 중량*	SiO <sub>2</sub> *	시멘트 복합재료의 총 H <sub>2</sub> O			NS 총량 (SiO <sub>2</sub> + NS의 물)
				배합수	NS의 물*	총계	
실시예 4-1 (L1)	2000	2	40	906.67	93.33	1000	133.33
실시예 4-2 (L2)	2000	4	80	813.33	186.67	1000	266.67
실시예 4-3 (L3)	2000	6	120	820.00	280	1000	400.00
실시예 4-4 (L4)	2000	8	160	626.67	373.33	1000	533.33
실시예 4-5 (L5)	2000	10	200	533.33	466.67	1000	666.67
비교예 4-1 (L0)	2000	-	-	1000		1000	-

- [0183] (\*SiO<sub>2</sub>의 중량% : OPC 중량에 대한 NS의 SiO<sub>2</sub>의 중량%)
- [0184] (\*SiO<sub>2</sub>: 나노 실리카 졸을 구성하고 구성하고 있는 나노 실리카)
- [0185] (\*NS의 물: 나노 실리카 졸을 구성하고 있는 물)
- [0186] **5. (제2 배합수 치환방법) 포틀랜드 시멘트(OPC) + 고로슬래그 미분말(GGBFS) + 나노 실리카 졸(NS)**
- [0187] 실시예 5-1
- [0188] 포틀랜드 시멘트 1600g, 배합수 906.67g 및 나노 실리카 졸 133.33g을 배합하고 일정시간 교반하여 시멘트 복합 재료를 제조하였다. 이때, 나노 실리카 졸은 영일화성 사의 YGS-30 제품을 사용하였으며, 평균입경 10~20nm, pH 10±5, 나노 실리카 입자와 물의 비율이 3:7인 특성이 있다.
- [0189] 상기 시멘트 복합재료를 50×50×50mm 몰드에 타설하고 상대습도 85±5%, 온도 23±2℃의 항온항습기에 넣고 1 일(24h) 후, 몰드를 제거하였으며, 측정일까지 상기 상대습도 및 온도의 항온항습기에 양생하였다.
- [0190] 실시예 5-2
- [0191] 배합수 813.33g 및 나노 실리카 졸 266.67g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0192] 실시예 5-3
- [0193] 배합수 720g 및 나노 실리카 졸 400g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0194] 실시예 5-4
- [0195] 배합수 626.67g 및 나노 실리카 졸 533.33g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0196] 실시예 5-5
- [0197] 배합수 533.33g 및 나노 실리카 졸 666.67g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0198] 실시예 5-6
- [0199] 포틀랜드 시멘트 1200g, 고로슬래그 미분말 800g, 배합수 906.67g 및 나노 실리카 졸 133.33g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0200] 실시예 5-7
- [0201] 배합수 813.33g 및 나노 실리카 졸 266.67g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0202] 실시예 5-8
- [0203] 배합수 720g 및 나노 실리카 졸 400g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0204] 실시예 5-9
- [0205] 배합수 626.67g 및 나노 실리카 졸 533.33g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0206] 실시예 5-10
- [0207] 배합수 533.33g 및 나노 실리카 졸 666.67g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0208] 실시예 5-11



- [0209] 포틀랜드 시멘트 800g, 고로슬래그 미분말 1200g, 배합수 906.67g 및 나노 실리카 졸 133.33g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0210] 실시예 5-12
- [0211] 배합수 813.33g 및 나노 실리카 졸 266.67g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0212] 실시예 5-13
- [0213] 배합수 720g 및 나노 실리카 졸 400g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0214] 실시예 5-14
- [0215] 배합수 626.67g 및 나노 실리카 졸 533.33g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0216] 실시예 5-15
- [0217] 배합수 533.33g 및 나노 실리카 졸 666.67g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0218] 비교예 5-1
- [0219] 나노 실리카 졸을 배합하지 않고, 배합수 1000g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-1과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0220] 비교예 5-2
- [0221] 나노 실리카 졸을 배합하지 않고, 배합수 1000g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-6과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0222] 비교예 5-3
- [0223] 나노 실리카 졸을 배합하지 않고, 배합수 1000g을 배합한 것을 제외하고는 상기 실시예 5-11과 동일한 방법으로 시멘트 복합재료를 제조하였다.
- [0224] 상기 실시예 5-1 ~ 5-15 및 비교예 5-1 ~ 5-3에 따른 복합재료의 함량을 하기 표 5에 나타내었다.

**표 5**

구분	결합재(g)			SiO <sub>2</sub> 중량%	SiO <sub>2</sub> *	시멘트 복합재료의 총 H <sub>2</sub> O			NS 총 량 (SiO <sub>2</sub> + NS의 물)
	OPC	GGBFS	총계			배합수	NS의 물*	총계	
실시예 5-1 (S2L1)	1600	400	2000	2	40	906.67	93.33	1000	133.33
실시예 5-2 (S2L2)	1600	400	2000	4	80	813.33	186.67	1000	266.67
실시예 5-3 (S2L3)	1600	400	2000	6	120	720	280	1000	400.00
실시예 5-4 (S2L4)	1600	400	2000	8	160	626.67	373.33	1000	533.33
실시예 5-5 (S2L5)	1600	400	2000	10	200	533.33	466.67	1000	666.67

실시예 5-6 (S4L1)	1200	800	2000	2	40	906.67	93.33	1000	133.33
실시예 5-7 (S4L2)	1200	800	2000	4	80	813.33	186.67	1000	266.67
실시예 5-8 (S4L3)	1200	800	2000	6	120	720	280	1000	400.00
실시예 5-9 (S4L4)	1200	800	2000	8	160	626.67	373.33	1000	533.33
실시예 5-10 (S4L5)	1200	800	2000	10	200	533.33	466.67	1000	666.67
실시예 5-11 (S6L1)	800	1200	2000	2	40	906.67	93.33	1000	133.33
실시예 5-12 (S6L2)	800	1200	2000	4	80	813.33	186.67	1000	266.67
실시예 5-13 (S6L3)	800	1200	2000	6	120	720	280	1000	400.00
실시예 5-14 (S6L4)	800	1200	2000	8	160	626.67	373.33	1000	533.33
실시예 5-15 (S6L5)	800	1200	2000	10	200	533.33	466.67	1000	666.67
비교예 5-1 (S2L0)	1600	400	2000	-	-	1000	-	1000	-
비교예 5-2 (S4L0)	1200	800	2000	-	-	1000	-	1000	-
비교예 5-3 (S6L0)	800	1200	2000	-	-	1000	-	1000	-

[0226] (\* SiO<sub>2</sub>의 중량% : OPC 중량에 대한 NS의 SiO<sub>2</sub>의 중량%)

[0227] (\* SiO<sub>2</sub>: 나노 실리카 졸을 구성하고 구성하고 있는 나노 실리카)

[0228] (\* NS의 물: 나노 실리카 졸을 구성하고 있는 물)

[0229] <실험예>

[0230] 1. (제1 배합수 치환방법) 포틀랜드 시멘트(OPC) + 나노 실리카 졸(NS)

[0231] 본 실험예 1에서는 배합수 및 포틀랜드 시멘트와 함께, 나노 실리카 졸을 배합한 실시예 1-1 ~ 1-5와, 나노 실리카 졸을 배합하지 않은 비교예 1-1의 물리적 특성을 비교 분석하고자 한다.

[0232] 이때, 압축강도는 재령 1일, 3일, 7일 및 28일에서 KS F 2405에 준하여 측정하였으며, 미세구조 분석 실험은 수은압입법(Mercury Intrusion Porosimetry)을 이용하여 진공압 50 $\mu$ mHg, 진공시간 5분, 수은 주입압력 0.49psia

조건에서 실시하였다.

[0233] (1) 재령 별 압축강도 측정 결과

[0234] 도 1은 실시예 1-1 ~ 1-5 및 비교예 1-1의 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다.

[0235] 도 1을 참조하여 실시예 1-5 및 비교예 1-1의 28일 압축강도를 비교하면, 비교예 1-1은 40.48MPa이고 실시예 1-5는 75.41MPa이므로, 압축강도가 186.28% 증가한 것을 알 수 있었다.

[0236] 전체적으로 살펴보면, 비교예 1-1과 비교하여 나노 실리카 졸의 치환율이 증가할수록 초기강도가 증가하고 있음을 확인할 수 있는데, 이는 나노 실리카 졸의 치환율이 증가할수록 Si 성분이 C-S-H 생성에 기여하여 공극 충전 효과와 강도 증진에 영향을 미치기 때문이다.

[0237] 따라서, 실시예 1-1 ~ 1-15에서 비교예 1-1의 경우보다 초기강도 및 28일 압축강도가 더 높은 시멘트 복합재료를 제조할 수 있으며, 또한 나노 실리카 졸의 치환율을 증가시켜 압축강도를 더 향상시킬 수 있다.

[0238] (2) 미세구조 분석 결과

[0239] 도 2는 실시예 1-3, 1-5 및 비교예 1-1의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프로써, 도 2의 (a)는 공극률을 측정 한 그래프이고, 도 2의 (b)는 공극의 크기를 측정한 그래프이다.

[0240] 도 2의 (a)를 참조하면 실시예 1-3, 1-5에서 공극률이 비교예 1-1의 경우보다 y축 값인 공극률이 감소하는 것을 확인할 수 있고, 도 2의 (b)를 참조하면 실시예 1-3, 1-5에서 공극의 크기가 비교예 1-1의 경우보다 x축 값인 공극의 크기가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 공극 충전효과로 인해 조직을 치밀하게 형성하는 나노 실리카 졸에 의한 것으로 판단된다.

[0241] 따라서, 실시예 1-3, 1-5와 같이 나노 실리카 졸을 첨가함으로써, 전체적인 공극률 및 공극의 크기를 감소시키고 내구성의 시멘트 복합재료를 제조할 수 있다.

[0242] **2. (제1 배합수 치환방법) 포틀랜드 시멘트(OPC) + 고로슬래그 미분말(GGBFS) + 나노 실리카 졸(NS)**

[0243] 본 실험에 2에서는 배합수, 포틀랜드 시멘트 및 고로슬래그 미분말과 함께, 나노 실리카 졸을 배합한 실시예 2-1 ~ 2-15와, 실리카 폼을 배합한 비교예 2-1 ~ 2-3 및 나노 실리카 졸을 배합하지 않은 비교예 2-3 ~ 2-6의 물리적 특성을 비교 분석하고자 한다.

[0244] 이때, 압축강도는 재령 1일, 3일, 7일 및 28일에서 KS F 2405에 준하여 측정하였으며, 미세구조 분석 실험은 수은압입법(Mercury Intrusion Porosimetry)을 이용하여 진공압 50 $\mu$ mHg, 진공시간 5분, 수은 주입압력 0.49psia 조건에서 실시하였다.

[0245] (1) 재령 별 압축강도 측정 결과

[0246] 도 3은 실시예 2-1 ~ 2-15 및 비교예 2-1 ~ 2-3의 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다.

[0247] 도 3을 참조하여 28일 압축강도를 비교하면, 실시예 2-5 및 비교예 2-1의 경우, 실시예 2-5는 78.6MPa이고, 비교예 2-1은 51.2MPa이므로, 압축강도가 153.5%가 증가한 것을 알 수 있다.

[0248] 그리고 실시예 2-10 및 비교예 2-2의 경우, 실시예 2-10은 68.5MPa이고, 비교예 2-2는 45.0MPa이므로, 압축강도가 152.1% 증가하였다.

[0249] 실시예 2-15 및 비교예 2-3의 경우, 실시예 2-15는 61.7MPa이고, 비교예 2-3은 40.6MPa이므로, 압축강도가 151.9%가 증가하였다.

[0250] 전체적으로 살펴보면, 비교예 2-1 ~ 2-3과 비교하여 실시예 2-1 ~ 2-15에서 나노 실리카 졸의 첨가량을 증가함에 따라 초기강도 및 28일 압축강도가 증가함을 확인할 수 있는데, 이는 알칼리성인 나노 실리카 졸에 의해 고로슬래그 미분말의 초기 수화작용이 촉진되어 시멘트 복합재료의 압축강도가 향상된 것으로 판단된다.

[0251] 따라서, 실시예 2-1 ~ 2-15에서 비교예 2-1 ~ 2-3의 경우보다 초기강도 및 28일 압축강도가 더 높은 시멘트 복합재료를 제조할 수 있으며, 또한 나노 실리카 졸의 치환율을 증가시켜 압축강도를 더 향상시킬 수 있다.

[0252] (2) 미세구조 분석

[0253] ① 공극률 측정

[0254] 도 4는 실시예 2-3, 2-5 및 비교예 2-1의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프이고, 도 5은 실시예 2-8, 2-10 및

비교예 2-2의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프이며, 도 6은 실시예 2-13, 2-15 및 비교예 2-3의 미세구조 분석 결과를 나타낸 그래프이다.

- [0255] 도 4 내지 도 6을 참조하면, 실시예 2-3, 2-5, 2-8, 2-10, 2-13, 2-15에서 공극률이 비교예 2-1 ~ 2-3의 경우보다 감소한 것을 확인할 수 있다. 이는 공극 충전효과로 인해 조직을 치밀하게 형성하는 나노 실리카 졸에 의한 것으로 판단된다.
- [0256] 따라서, 실시예 2-3, 2-5, 2-8, 2-10, 2-13, 2-15와 같이 나노 실리카 졸의 치환율을 증가시킴으로써, 전체적인 공극률을 감소시키고 내구성의 시멘트 복합재료를 제조할 수 있다.
- [0257] ② XRD 분석
- [0258] 도 7은 비교예 2-1 ~ 2-3의 XRD 분석 결과를 나타낸 그래프이고, 도 8은 실시예 2-5, 2-10, 2-15의 XRD 분석 결과를 나타낸 그래프이다.
- [0259] 도 7 및 도 8을 참조하면, 고로슬래그 미분말의 치환율이 증가하고, 포틀랜드 시멘트의 양이 감소함에 따라, 고로슬래그 미분말의 활성화에 따른 반응생성물질 종류가 차이 나는 것을 확인할 수 있다.
- [0260] 구체적으로, 포틀랜드 시멘트의 대표적인 반응생성물질은 에트링가이트(Ettringite)인데, 이는 포틀랜드 시멘트가 수화할 때 가장 먼저 생성되는 물질로 강도가 상대적으로 약한 특성이 있다.
- [0261] 고로슬래그 미분말의 대표적인 반응생성물질은 C-S-H인데, 이는 시멘트 복합재료의 강도 발현에 가장 큰 영향을 미치는 특성이 있다.
- [0262] 이에 따라, 나노 실리카 졸이 고로슬래그 미분말의 수화작용을 촉진하여 반응생성물질을 형성하는 데 기여하는 것을 확인할 수 있다.
- [0263] 따라서, 실시예 2-5, 2-10, 2-15와 같이 나노 실리카 졸 및 고로슬래그 미분말을 치환하여 고 내구성의 시멘트 복합재료를 제조할 수 있다.
- [0264] ③ SEM/BSE (주사전자현미경/후방산란전자, Scanning electron microscope/Backscattered electron detector) 분석
- [0265] 도 9는 비교예 2-1 ~ 2-2의 SEM/BSE를 나타낸 이미지이고, 도 10은 실시예 2-5, 2-10, 2-15의 SEM/BSE를 나타낸 이미지이다.
- [0266] 이때, 실험 시편의 개수가 많고, 나노 실리카 졸의 치환율이 단계적으로 증가하면서 인접한 치환율 단계의 시편체에 대한 SEM/BSE 이미지들의 차이가 미미하므로, 나노 실리카 졸을 치환하지 않은 비교예 2-1 ~ 2-3과 나노 실리카 졸의 치환율이 높은 실시예 2-5, 2-10, 2-15의 시편을 선정하여 나타내었다.
- [0267] 도 9 및 도 10을 참조하면, 실시예 2-5, 2-10, 2-15의 경우가 비교예 2-1 ~ 2-3의 경우에 비해 공극의 크기 및 공극률이 더 적은 것을 확인할 수 있다.
- [0268] 이는 고로슬래그 미분말의 활성화 반응으로 생성된 C-S-H에 의해 형성된 조직에 나노 실리카 졸의 공극 충전효과 및 Si 성분에 의한 반응생성물 형성에 영향을 미친 것으로 판단된다.
- [0269] 즉, 실시예 2-5, 2-10, 2-15와 같이 나노 실리카 졸의 치환율을 증가시킴으로써, 전체적인 공극률을 감소시키고 내구성의 시멘트 복합재료를 제조할 수 있다.
- [0270] 따라서, 나노 실리카 졸 대신 실리카 폼을 사용한 경우 실리카 폼의 치환율이 증가할수록 배합시 점성 증가 및 기포 형성으로 인해 공극률이 증가하고, 나노 실리카 졸을 사용하지 않은 경우 공극이 충전되지 않아 조직이 치밀하게 형성되지 않으므로, 시멘트 복합재료의 강도를 향상시키기 어려운 단점이 있다.
- [0271] 이에 반해, 나노 실리카 졸을 사용하면 공극 충전효과로 인해 조직이 치밀하게 형성될 뿐만 아니라 치환율을 증가시킬수록 압축강도가 더 향상되므로, 나노 실리카 졸을 이용하여 시멘트 복합재료를 제조하는 것이 바람직하다.
- [0272] 3. (제1 배합수 치환방법) 포틀랜드 시멘트(OPC) + 고로슬래그 미분말(GGBFS) + 플라이 애시(FA) + 나노 실리카 졸(NS)
- [0273] 본 실험에 3에서는 배합수, 포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 미분말 및 플라이 애시와 함께, 나노 실리카 졸을 배합한 실시예 3-1 ~ 3-15와, 나노 실리카 졸을 배합하지 않은 비교예 3-1 ~ 3-3의 물리적 특성을 비교 분석하고

자 한다.

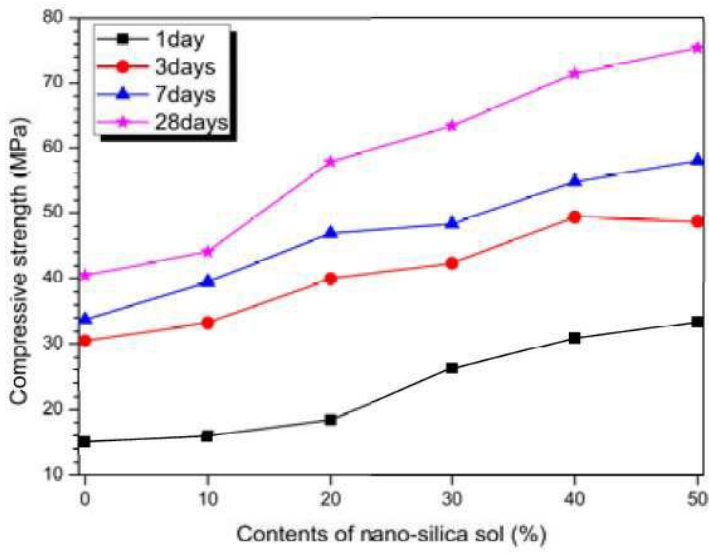
- [0274] 이때, 압축강도는 재령 1일, 3일, 7일 및 28일에서 KS F 2405에 준하여 측정하였으며, 미세구조 분석 실험은 수은압입법(Mercury Intrusion Porosimetry)을 이용하여 진공압 50 $\mu$ mHg, 진공시간 5분, 수은 주입압력 0.49psia 조건에서 실시하였다.
- [0275] (1) 재령 별 압축강도 측정 결과
- [0276] 도 11은 실시예 3-1 ~ 3-15 및 비교예 3-1 ~ 3-3의 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다.
- [0277] 도 11을 참조하여 28일 압축강도를 비교하면, 실시예 3-5 및 비교예 3-1의 경우, 실시예 3-5는 62.7MPa, 비교예 3-1은 44.0MPa이므로, 압축강도가 142.3% 증가한 것을 알 수 있다.
- [0278] 그리고 실시예 3-10 및 비교예 3-2의 경우, 실시예 3-10은 61.17MPa, 비교예 3-2는 45.5MPa이므로, 압축강도가 134.3% 증가하였다.
- [0279] 실시예 3-15 및 비교예 3-3의 경우, 실시예 3-15는 52.7MPa, 비교예 3-3은 36.0MPa이므로, 압축강도가 142.9% 증가하였다. 이는 알칼리성인 나노 실리카 졸에 의해 고로슬래그 미분말의 수화작용이 촉진되기 때문인 것으로 판단된다.
- [0280] 따라서, 실시예 3-1 ~ 3-15에서 비교예 3-1 ~ 3-3의 경우보다 초기강도 및 28일 압축강도가 더 높은 시멘트 복합재료를 제조할 수 있으며, 또한 나노 실리카 졸의 치환율을 증가시켜 압축강도가 더 향상시킬 수 있다.
- [0281] (2) 미세구조 분석
- [0282] 도 12는 실시예 3-15 및 비교예 3-3의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프로서, 도 12의 (a)는 공극률을 측정한 그래프이고, (b)는 공극의 크기를 측정한 그래프이다.
- [0283] 도 13은 실시예 3-10, 비교예 3-2의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프로서, 도 13의 (a)는 공극률을 측정한 그래프이고, (b)는 공극의 크기를 측정한 그래프이다.
- [0284] 도 14는 실시예 3-5, 비교예 3-1의 공극률 측정 결과를 나타낸 그래프로서, 도 14의 (a)는 공극률을 측정한 그래프이고, (b)는 공극의 크기를 측정한 그래프이다.
- [0285] 도 12 내지 도 14를 참조하면, 실시예 3-5, 3-10, 3-15에서 공극률이 비교예 3-1 ~ 3-3의 경우보다 더 적고, 공극의 크기도 더 작은 것을 확인할 수 있다. 이는 공극 충전효과로 인해 조직을 치밀하게 형성하는 나노 실리카 졸에 의한 것으로 판단된다.
- [0286] 따라서, 실시예 3-5, 3-10, 3-15와 같이 다량의 나노 실리카 졸을 첨가함으로써, 전체적인 공극률 및 공극의 크기를 감소시켜 고 내구성의 시멘트 복합재료를 제조할 수 있다.
- [0287] **4. (제2 배합수 치환방법) 포틀랜드 시멘트(OPC) +나노 실리카 졸(NS)**
- [0288] 본 실험에 4에서는 제2 배합수 치환방법을 통해 배합수, 포틀랜드 시멘트 및 나노 실리카 졸을 배합한 실시예 4-1 ~ 4-5와, 나노 실리카 졸을 배합하지 않은 비교예 4-1의 재령별 압축강도를 비교 분석하고자 한다. 이때, 압축강도는 재령 1일, 3일, 7일 및 28일에서 KS F 2405에 준하여 측정하였다.
- [0289] 도 15는 실시예 4-1 ~ 4-5 및 비교예 4-1의 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다.
- [0290] 도 15를 참조하면, 1일 압축강도의 경우 비교예 4-1은 약 18MPa이고, 실시예 4-5는 약 46MPa이므로, 압축강도가 255% 증가하였다. 3일 압축강도의 경우 비교예 4-1은 약 37MPa이고, 실시예 4-5는 약 66MPa이므로, 압축강도가 178% 증가하였다. 7일 압축강도의 경우 비교예 4-1은 약 40MPa이고, 실시예 4-5는 약 70MPa이므로, 압축강도가 175% 증가하였다. 28일 압축강도의 경우 비교예 4-1은 약 54MPa이고, 실시예 4-5는 약 76MPa이므로, 압축강도가 140% 증가하였다.
- [0291] 전체적으로 살펴보면, 나노 실리카 졸의 치환율이 증가할수록 초기강도가 증가하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 나노 실리카 졸의 치환율이 증가할수록 Si 성분이 C-S-H 생성에 기여하여 공극 충전효과와 강도 증진에 영향을 미치기 때문이다.
- [0292] 또한, 제1 배합수 치환방법을 이용한 실시예 1-1 ~ 1-5와 비교하면, 제2 배합수 치환방법을 이용한 실시예 4-1 ~ 4-5은 재령별 압축강도가 유사하거나 다소 높은 수치를 나타내는 것을 알 수 있다. 이를 실시예 1 중에서 나노 실리카 졸의 치환율이 가장 높은 실시예 1-5와, 실시예 4 중에서 나노 실리카(SiO<sub>2</sub>)의 함량이 가장 높은 실

시에 4-5를 비교하여 설명하고자 한다.(도 1 및 도 15 참고)

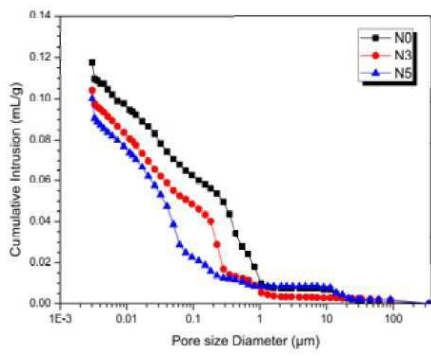
- [0293] 나노 실리카 졸이 30%의 나노 실리카( $\text{SiO}_2$ ) 및 70%의 물( $\text{H}_2\text{O}$ )로 이루어져 있을 때, 실시예 1-5의 경우에는 나노 실리카 졸에 나노 실리카( $\text{SiO}_2$ )가 150g(나노 실리카 졸 500g의 30%) 포함되고, 실시예 4-5의 경우에는 200g의 나노 실리카( $\text{SiO}_2$ )가 포함된다. 즉, 실시예 4-5의 나노 실리카 졸에 포함된 나노 실리카( $\text{SiO}_2$ )가 조금 더 많이 첨가됨에 따라 압축강도가 미미한 차이로 증가하였다.
- [0294] **5. (제2 배합수 치환방법) 포틀랜드 시멘트(OPC) + 고로슬래그 미분말(GGBFS) + 나노 실리카 졸(NS)**
- [0295] 본 실험예 5에서는 제2 배합수 치환방법을 통해 배합수, 포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 미분말 및 나노 실리카 졸을 배합한 실시예 5-1 ~ 5-15와, 나노 실리카 졸을 배합하지 않은 5-1 ~ 5-3의 재령별 압축강도를 비교 분석하고자 한다. 이때, 압축강도는 재령 1일, 3일, 7일 및 28일에서 KS F 2405에 준하여 측정하였다.
- [0296] 도 16은 실시예 5-1 ~ 5-15 및 비교예 5-1 ~ 5-3의 재령별 압축강도를 나타낸 그래프로써, (a)는 실시예 5-1 ~ 5-5와 비교예 5-1, (b)는 실시예 5-6 ~ 5-10와 비교예 5-2 및 (c)는 실시예 5-11 ~ 5-15와 비교예 5-3의 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다.
- [0297] 도 16의 (a)를 참조하여 각 재령별 압축강도를 비교하면, 비교예 5-1은 17MPa, 23MPa, 38MPa 및 43MPa이고, 실시예는 30.5MPa, 48MPa, 66MPa 및 73MPa이므로, 실시예 5-5의 재령별 압축강도는 각각 179%, 208%, 173% 및 169% 만큼 증가하였다.
- [0298] 도 16의 (b)를 참조하여 각 재령별 압축강도를 비교하면, 비교예 5-2는 13.7MPa, 22MPa, 31MPa 및 38MPa이고, 실시예 5-10은 26MPa, 44MPa, 58MPa 및 64MPa이므로, 실시예 5-1의 재령별 압축강도는 각각 192%, 200%, 187% 및 168% 만큼 증가하였다.
- [0299] 도 16의 (c)를 참조하여 각 재령별 압축강도를 비교하면, 비교예 5-3은 10MPa, 19MPa, 28MPa 및 33MPa이고, 실시예 5-15는 20MPa, 40MPa, 56MPa 및 61MPa이므로, 실시예 5-15의 재령별 압축강도는 200%, 210%, 200% 및 184% 만큼 증가하였다.
- [0300] 즉, 고로슬래그 미분말의 존재 하에서도 나노 실리카 졸의 치환율이 증가함에 따라 재령별 압축강도가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 알칼리성인 나노 실리카 졸에 의해 고로슬래그 미분말의 초기 수화작용이 촉진되어 시멘트 복합재료의 압축강도가 향상된 것으로 판단된다.
- [0301] 전술한 내용은 후술할 발명의 청구범위를 더욱 잘 이해할 수 있도록 본 발명의 특징과 기술적 장점을 다소 폭넓게 상술하였다. 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

도면

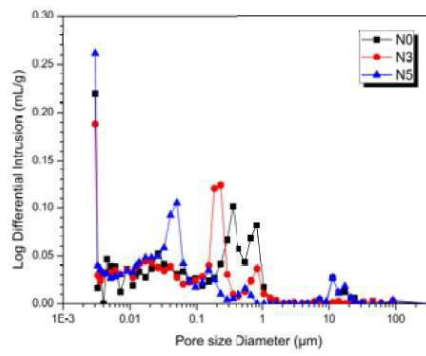
도면1



도면2

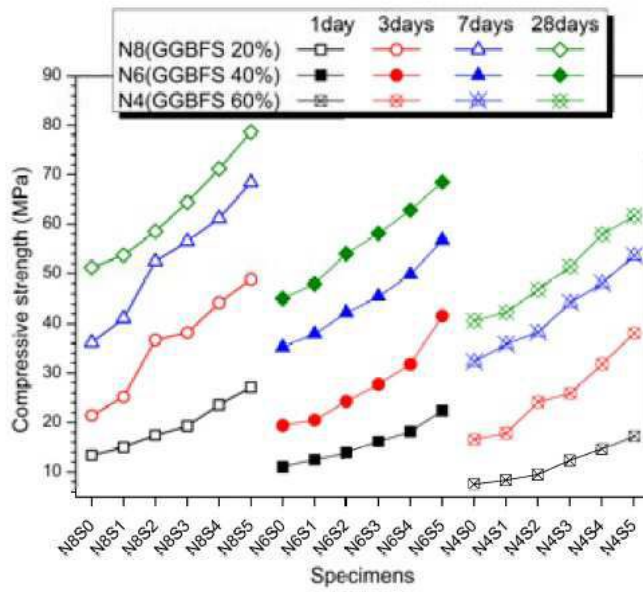


(a)

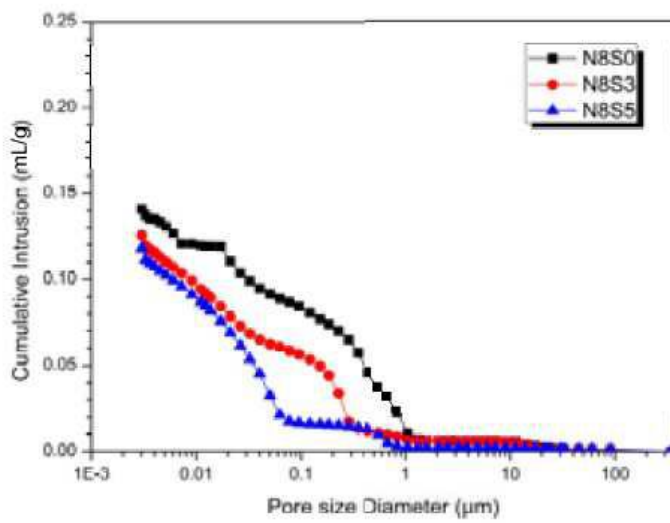


(b)

도면3

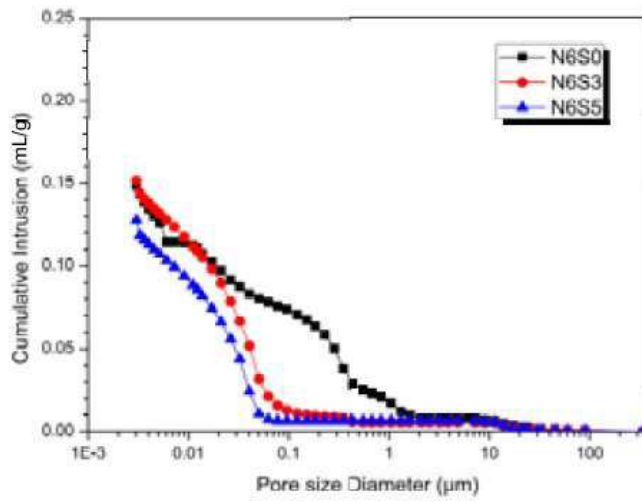


도면4

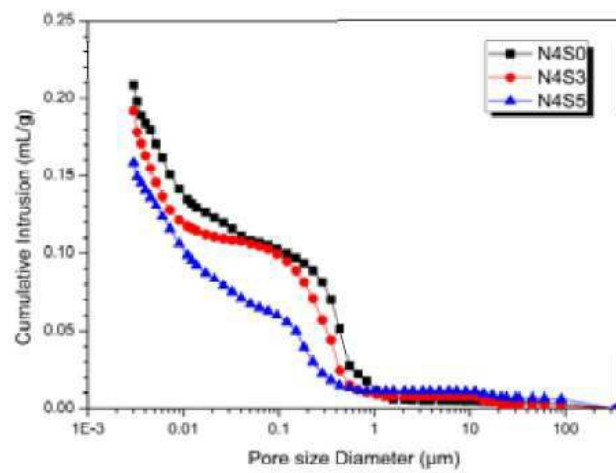




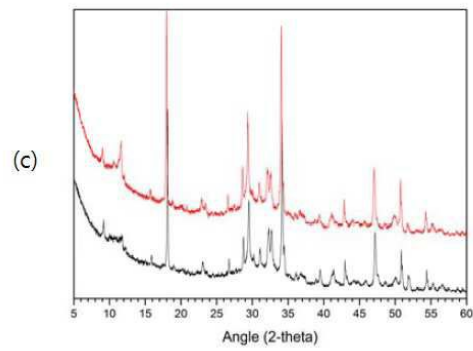
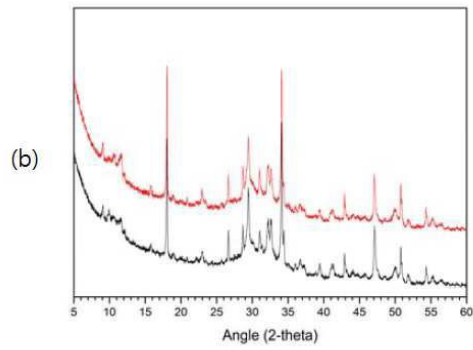
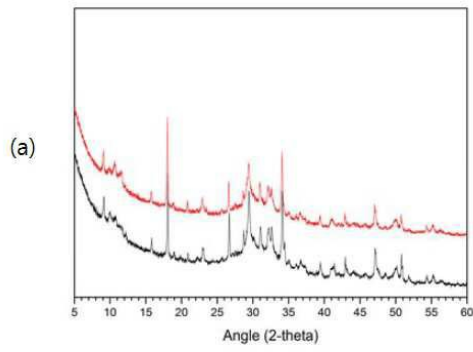
도면5



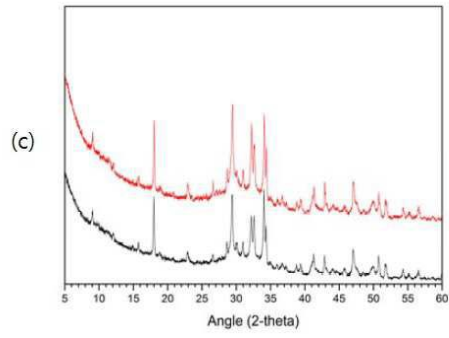
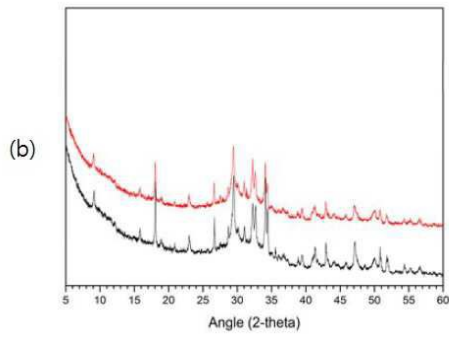
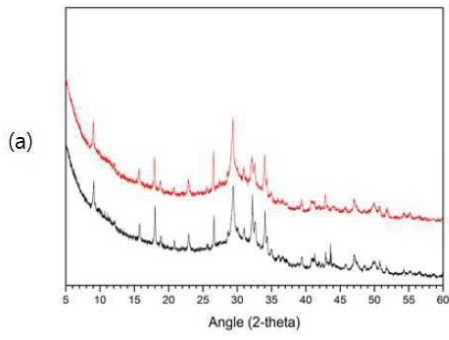
도면6



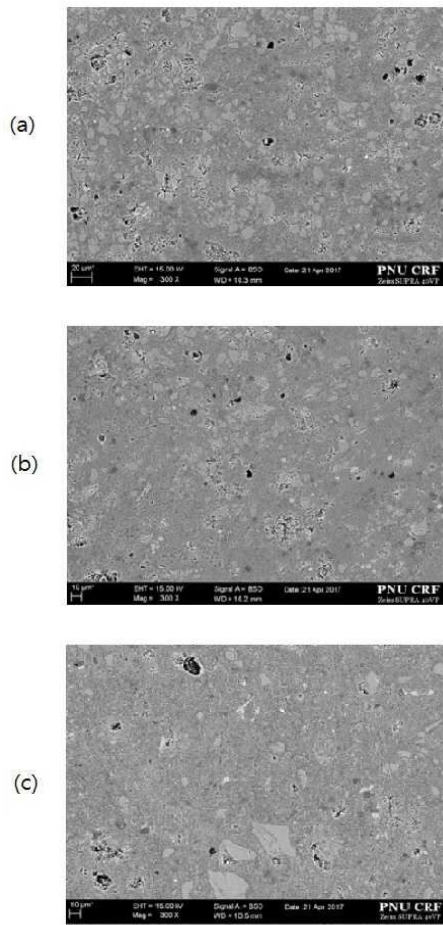
도면7



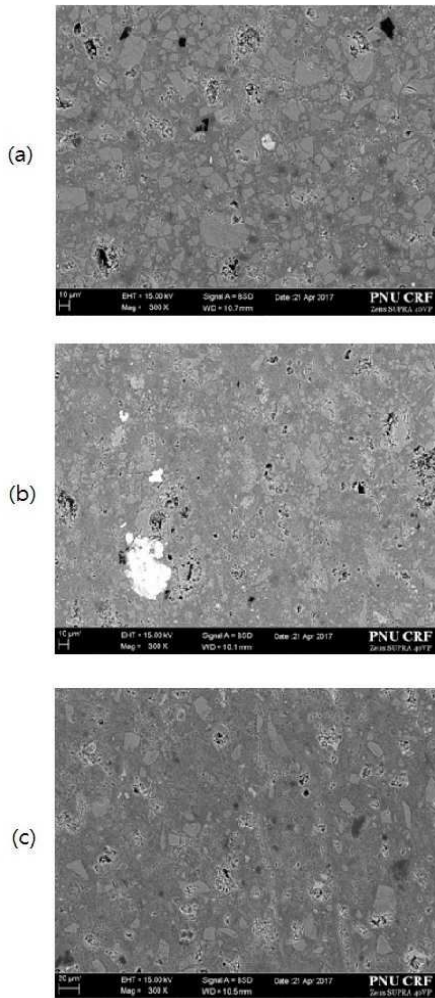
도면8



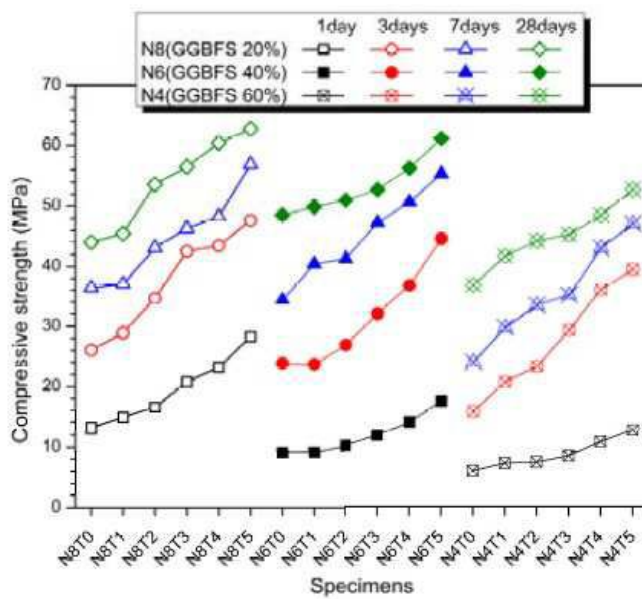
도면9



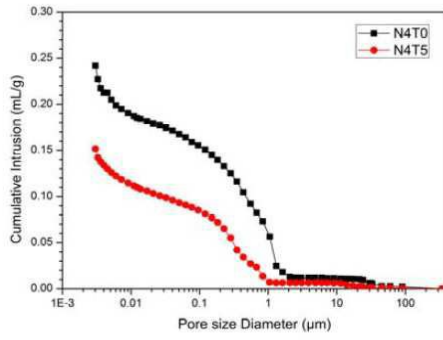
도면10



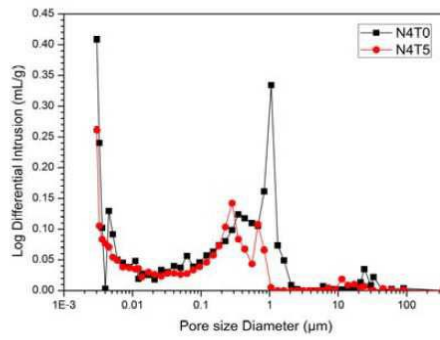
도면11



도면12

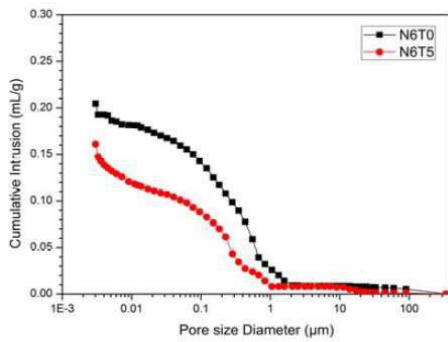


(a)

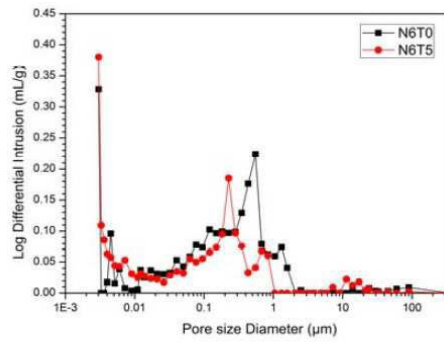


(b)

도면13

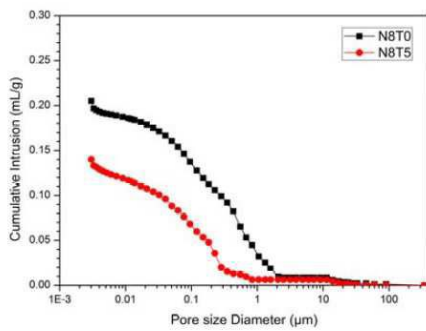


(a)

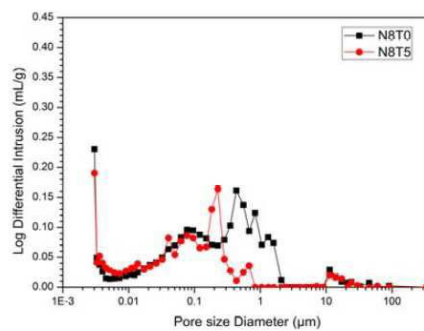


(b)

도면14

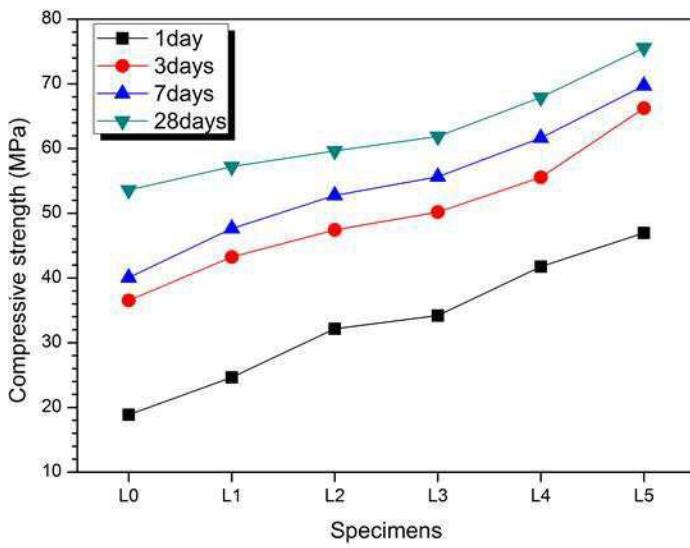


(a)



(b)

도면15



도면16

