

시멘트 페이스트 내에서 셀룰로오스 나노크리스탈과 산화 그래핀의 시너지 효과

A Synergetic Combination of Cellulose Nanocrystal and Graphene Oxide for Cementitious Materials

○ 이 윤 경* 김 지 현** 정 철 우***
Lee, Yun-Kyung Kim, Ji-Hyun Chung, Chul-Woo

Abstract

The purpose of this study was to determine whether the synergistic effect of CNC and GO was also observed in cement paste. The results showed that co-dispersing CNC and GO in an appropriate ratio improved the dispersion stability of the suspension. Furthermore, the number of chemical bonds in the cement paste also increased. Therefore, the simultaneous use of CNC and GO confirmed that dispersibility and physical performance could be improved.

키워드 : 시멘트 페이스트, 셀룰로오스 나노크리스탈, 산화 그래핀, 시너지 효과, 나노 소재

Keywords : cement paste, cellulose nanocrystal, graphene oxide, synergy, nano material

1. 서 론

나노물질은 적어도 한 차원에서 100 nm 이하의 크기를 가지며, 매우 높은 비표면적으로 인해 시멘트 복합체의 미세구조를 보강하고 미세균열의 발생을 억제하는 등 시멘트 복합체의 성능 향상에 크게 기여하는 것으로 알려져 있다. 그러나 이를 균일하게 분산되지 않으면 시멘트 복합체 내에 오히려 취약부를 형성할 수 있다.

이러한 특성은 셀룰로오스 나노크리스탈(cellulose nano crystal, 이하 CNC)과 산화 그래핀(graphene oxide, 이하 GO)에도 동일하게 적용된다. CNC 및 GO는 모두 친수성 특성을 가져, 주로 표면의 하이드록실기 사이에 강한 수소 결합 때문에 응집 현상이 발생하지만 CNC 및 GO에 포함된 각각의 풍부한 하이드록실기와 산소 원자가 서로 상호 작용하게 되면 균일한 분산이 가능하다는 연구[1]가 존재한다. 또한 물리적 측면에서는 CNC가 인접한 GO 시트를 가교시켜 응집을 억제하고, CNC가 GO시트 사이에 고르게 분포하면 GO 시트의 folding 현상을 완화시켜 함께 사용할 경우, 훨씬 더 큰 비표면적을 가진다고 보고된 바 있다[2].

본 연구는 이러한 시너지 효과가 시멘트 페이스트 내에

서도 발현되는지를 규명하고자, CNC 및 GO 현탁액의 UV-Vis 흡광도를 측정하였고, CNC 및 GO를 혼입한 시멘트 페이스트의 화학적 결합수량을 통해 수화도를 평가하였다.

2. 실험 방법

2.1 CNC 및 GO 현탁액 분산

자력교반기(300rpm, HSD120-03P, Misung Co., Ltd., Republic of Korea) 및 초음파 분산(200W, Sonics & Material, Inc, USA)을 30분간 동시에 진행하여 CNC 및 GO를 수분산하였다. 또한 초음파 사용 시 발생하는 열이나 나노 재료의 품질을 손상시키는 것을 방지하기 위해 분산은 얼음 수조 내에서 진행하였으며, GO 분산 시에는 polycarboxylate ester 계열 고성능 감수제(PCE)를 GO와 동량 사용하여 분산하였다.

2.2 시멘트 페이스트 배합 및 양생

ASTM C 305를 참고하여 배합을 진행하였으며, w/c는 0.3으로 설정하였다. CNC와 GO의 혼입량은 각각 시멘트 대비 0~0.15 wt.%, 0~0.05 wt.%로 하였다. 배합이 완료된 후 5×5×5 cm 입방형 몰드에 타설하였으며, 23±0.5 °C 조건에서 24시간 후 탈형하여 27일간 수증양생하였다.

2.3 UV-Vis 및 열중량분석

CNC와 GO의 분산도를 평가하기 위해 UV-Vis(V-770, JASCO, Japan)분석을 진행하였고, 이를 혼입한 시멘트 페이스트의 수화도를 추정하기 위해 열중량분석(TGA N-1000, SCINCO Co., Ltd., Republic of Korea)을 진행하였다. 열중량분석 시 온도 조건은 25~1,000 °C, 가열속도는 10 °C

* 국립부경대학교 건축소방공학부 건축공학전공 박사과정

** 국립부경대학교 건축공학과 조교수

*** 국립부경대학교 건축공학과 교수, 교신저자

(Corresponding author : Department of Architectural Engineering, Pukyong National University, cwchung@pknu.ac.kr)

이 논문은 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2019R11A2A0305037312).

/min, 시료량은 10 ± 0.1 mg으로 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 분산도 분석

용액의 흡광도는 입자가 얼마나 균질하게 분포하는지를 가늠할 수 있는 지표로 활용된다. 특히 GO와 같이 색이 어두운 물질의 경우, 용액 내 골고루 분포하게 되면 빛을 다량 흡수하고, 반대로 응집되어 있는 경우에는 빛의 투과량이 증가하여 흡광도가 낮게 나타난다.

시멘트 페이스트에 혼입된 CNC 및 GO의 혼입률은 시멘트 중량 대비 각각 0.05~0.15 wt.%, 0.05~0.10 wt.%이다. CNC 및 GO 용액의 UV-Vis를 측정하기 위해 이를 배합수 중량 기준으로 환산하여 측정하였으며, 해당 현탁액의 농도는 CNC는 0.17~0.67 wt.%, GO는 0.17~0.33 wt.%이다.

그림 1에 따르면, GO를 0.17 wt.% 혼입한 현탁액의 경우, CNC의 혼입률이 0.5 wt.%까지는 흡광도가 증가하는 추세를 나타내었다. 하지만 GO를 0.33 wt.% 혼입한 현탁액은 CNC의 혼입률이 증가하게 되면 흡광도는 감소하는 경향을 보였다.

따라서 해당 결과를 통해 CNC 및 GO를 적정량 사용하면 용액의 분산도 증진에 효과가 있는 것을 확인하였다.

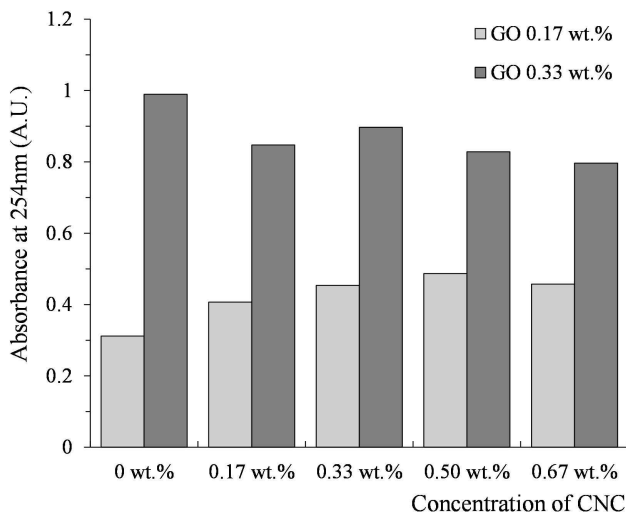


그림1. CNC 및 GO 현탁액의 UV-Vis 측정 결과

3.2 열중량분석

그림 2에 따르면, GO를 혼입하지 않은 시멘트 페이스트보다 GO를 혼입한 시멘트 페이스트의 결합수량이 높은 것을 확인할 수 있다. 또한 CNC 혼입률이 증가함에 따라 화학적 결합수량이 감소하는 경향을 나타내었다. 화학적 결합수는 시멘트 페이스트 내 존재하는 수량 중 자유수의 형태로 존재하는 수량을 제외한 것을 말하며, 이는 수화 생성물 형성 과정에서 발생한 것으로 수화도와 직접적인 관련이 있다.

GO를 혼입하지 않은 시멘트 페이스트의 화학적 결합수는 모든 샘플에서 Plain보다 낮은 값을 나타내었지만, CNC와 GO를 함께 혼입한 시멘트 페이스트에서는 CNC

0.05 wt.%-GO 0.05 wt.% 시편에서 Plain에 비해 수화도 증진의 효과를 확인하였다.

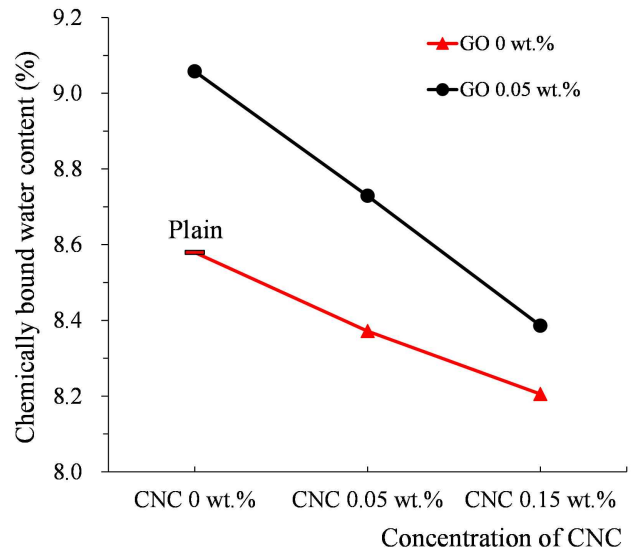


그림2. CNC 및 GO를 혼입한 28일 재령 시멘트 페이스트의 화학적 결합수량

3. 결 론

본 연구는 시멘트 페이스트 내 CNC와 GO의 시너지를 확인하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) CNC와 GO를 단독으로 사용할 때보다 복합적으로 사용할 경우, 현탁액의 분산도를 증진시키는 것으로 나타났다.
- 2) CNC 및 GO를 함께 사용하는 경우 시멘트 페이스트의 수화도를 향상시키는 것을 확인하였다.
- 3) CNC와 GO의 적정 혼입량은 시멘트 중량 대비 CNC 0.05~0.10 wt.%, GO 0.05 wt.%인 것으로 판단된다.

이를 종합적으로 고려해 볼 때, CNC와 GO의 복합사용은 시멘트 페이스트 내에서 분산도가 증진되고, 수화도 또한 향상되는 등 시너지 효과가 큰 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. El Miri, N., El Achaby, M., Fihri, A., Larzek, M., Zahouily, M., Abdelouahdi, K., Barakat, A., & Solhy, A. (2016). Synergistic effect of cellulose nanocrystals/graphene oxide nanosheets as functional hybrid nanofiller for enhancing properties of PVA nanocomposites. Carbohydrate polymers, 137, 239-248.
2. Tao, J., Yang, J., Ma, C., Li, J., Du, K., Wei, Z., Chen, C., Wang, Z., Zhao, C., & Deng, X. (2020). Cellulose nanocrystals/graphene oxide composite for the adsorption and removal of levofloxacin hydrochloride antibiotic from aqueous solution. Royal Society open science, 7(10), 200857.