

셀룰로오스 나노크리스탈과 산화그래핀이 시멘트 페이스트의 수화열에 미치는 영향

Effects of cellulose nanocrystals and graphene oxide on hydration heat of cement paste

이윤경¹ · 김지현² · 정철우^{3*}

Lee, Yun-Kyung¹ · Kim, Ji-Hyun² · Chung, Chul-Woo^{3*}

Abstract : In this study, the compressive strength and hydration heat of cement paste mixed with cellulose nanocrystal(CNC) and graphene oxide (GO) were evaluated. The difference was compared by mixing 0.1 vol.% ~0.4 vol.% of CNC and 0.05 wt.% ~ 0.1 wt.% of GO in a cement paste with a water cement ratio of 0.3. As a result, it was confirmed that the compressive strength increased as CNC and GO were mixed respectively, and then the compressive strength decreased when the appropriate mixing rate was exceeded. In the hydration heat measurement, there was no significant difference when only CNC was mixed, but it was confirmed that the hydration heat decreased as the amount of CNC mixing increased when used in combination with GO.

키워드 : 셀룰로오스 나노크리스탈, 산화그래핀, 시멘트 페이스트, 수화열

Keywords : cellulose nanocrystal, graphene oxide, cement paste, heat of hydration

1. 서론

나노 재료는 3차원적으로 한 변의 길이가 1nm 이하 크기의 물질을 의미한다. 이러한 나노 재료는 시멘트 매트릭스 내 소량 치환 또는 첨가하는 것만으로도 시멘트 매트릭스 내 공극들이 충전되어 콘크리트의 공극 특성과 역학적 성능을 개선할 수 있다. 나노 재료는 수화 반응에서부터 영향을 끼쳐 강도를 증진시킬 뿐만 아니라, 미세 구조에서 가교 작용(bridging effect)을 통하여 나노 크기의 균열을 방지할 수 있기 때문에 시멘트 기반 건설 재료 보강법으로 주목받고 있다. 건설 분야에서 나노 소재 혼입 시멘트 복합체에 관한 연구는 주로 단일의 무기계 나노 재료 활용한 연구가 대부분이다. 유기계 나노 재료로는 탄소 나노 튜브, 그래핀, 셀룰로오스 나노크리스탈 등이 활용되었으나, 이를 복합적으로 시멘트 복합체에 적용하여 물성의 시너지 효과를 검증한 경우는 거의 없었다.

CNC와 GO의 상호 보완성에 대한 선행연구에서 GO와 GO 시트 사이에 흡착된 CNC는 인접한 두 시트를 가교시켜 응집을 억제한다고 하며, CNC가 GO시트 사이에 고르게 분포하게 하고 GO시트의 folding 현상을 완화시켜 함께 사용할 경우 훨씬 더 큰 비표면적을 가진다고 보고되었다[1]. CNC 및 GO는 모두 친수성 특성을 가져, 주로 표면의 하이드록실기 사이에 강한 수소결합 때문에 응집현상이 발생하지만 CNC 및 GO에 포함된 각각의 풍부한 하이드록실기와 산소 원자가 상호작용하여 균일한 분산이 가능하다고 알려져 있다[2].

따라서 본 연구에서는 셀룰로오스 나노크리스탈과 산화그래핀이 시멘트 페이스트의 수화 발열과 압축 강도에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 S사 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며, CNC는 국외 N사, GO는 국내의 G사 제품을 활용하였다. 압축 강도 측정을 위한 시멘트 페이스트 배합은 w/c 0.3을 기본값으로 하였으며, 작업성을 위해 배합과정에서 polycarboxylate ester계 열고성능 감수제(PCE)를 추가적으로 혼입하였다. 압축강도 시험체 제작은 28일간 수중양생하여 재령 28일 기준으로 측정(H사, 압축 재료 시험기(유압식))하였다. 수화열 측정 샘플은 PCE 혼입량에 따른 오차를 줄이고자 혼입 비율을 시멘트 중량 대비 고행분 기준 0.3%로 고정하여 제작하여 7일간의 발열량을 측정(T사, isothermal calorimetry)하였다.

1) 부경대학교, 건축소방공학부, 석사과정

2) 부경대학교, 융복합인프라기술연구소, 전임연구교수

3) 부경대학교, 건축공학과, 교수, 교신저자(cwchung@pknu.ac.kr)

3. 실험 결과

그림 1에 따르면, GO 0 wt.%에서는 CNC를 0.3 vol.% 혼입한 샘플, GO 0.05 wt.%에서는 CNC를 0.2 vol.% 혼입한 샘플, GO 0.1 wt.%에서는 CNC 0.1 vol.%를 혼입한 샘플의 압축강도가 가장 높게 나타났다. CNC와 GO 두 재료 중 한 가지만 혼입한 샘플보다 두 가지를 함께 사용했을 때의 압축강도가 더 높게 측정되었다. 이는 두 재료를 함께 사용했을 때 침상형의 CNC가 판상형의 GO nano sheets 사이에 혼입되어 nano sheet 간의 거리를 넓혀주고 이로 인해 서로의 응집 현상을 억제해 나타난 현상으로 사료된다. 측정 결과를 종합적으로 고려하면, 두 재료의 적정 혼입률은 CNC 0.2 vol.%-GO 0.05 wt.%인 것으로 사료된다.

그림 2에서 Plain의 수화 열량이 267.68 J/g, PCE를 0.3% 혼입한 PCE Plain의 수화 열량이 258.62 J/g으로 PCE를 첨가하였을 때 발열량이 3.38% 감소하였다. CNC만 혼입된 시멘트 페이스트는 CNC가 혼입되지 않은 PCE Plain과 비교했을 때 큰 차이를 보이지 않는다. GO를 시멘트 중량 대비 0.05wt.% 혼입한 샘플의 경우 249.54 J/g으로 PCE Plain에 비해 3.51% 감소하였다. CNC 0.1%-GO 0.05% 샘플의 발열량은 227.90 J/g, CNC 0.3%-GO 0.05% 샘플은 219.69 J/g로 GO만 0.05% 혼입한 샘플에 비해 각각 8.67%, 11.96% 감소하였다. GO만 0.05 wt.% 혼입한 샘플보다 CNC를 함께 혼입한 샘플의 7일간 수화 발열량이 더 낮게 측정된 것으로 보아 GO만 사용한 시멘트 페이스트보다 CNC와 GO를 함께 사용하였을 때 더 수화가 지연되는 것으로 판단된다.

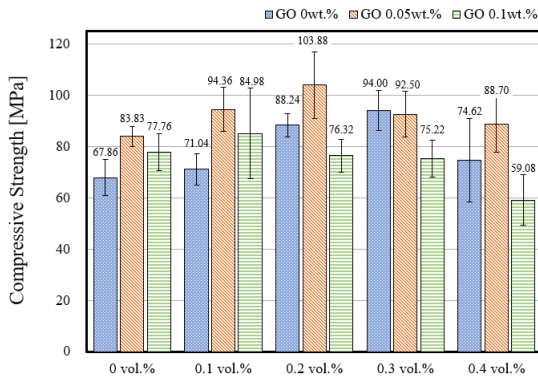


그림 1. CNC와 GO를 혼입한 시멘트 페이스트의 재령 28일 압축강도

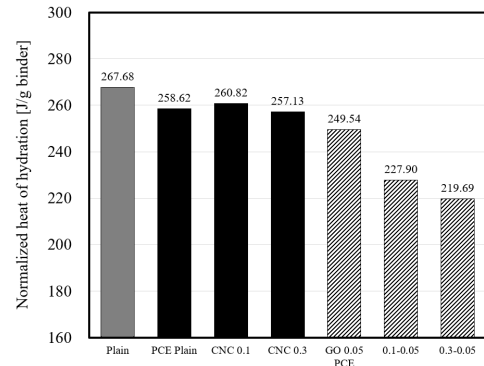


그림 2. CNC와 GO를 혼입한 시멘트 페이스트의 7일간의 수화 열량

4. 결론

셀룰로오스 나노크리스탈과 산화그래핀이 시멘트 페이스트의 수화열에 미치는 영향의 결론은 다음과 같다.

- 1) CNC와 GO를 적정 혼입률로 혼입할 경우 압축강도가 상승하는 것으로 나타났다.
- 2) CNC나 GO를 단독으로 사용했을 때보다 복합적으로 사용했을 때 압축강도가 가장 높은 것으로 보아 CNC와 GO를 함께 사용할 경우 CNC와 GO가 서로의 분산성을 증진시켜 응집현상을 억제한 것으로 판단된다.
- 3) CNC와 GO의 적정 혼입률은 CNC 0.2 vol.%-GO 0.05 wt.%이다.
- 4) CNC를 단독으로 사용하였을 때는 수화 발열에 큰 차이를 보이지 않으나 CNC와 GO를 함께 사용하였을 경우 CNC 혼입량이 증가할수록 수화열이 점차 감소하는 것으로 보아 이는 두 재료를 혼합하며 사용했을 때 수화 지연의 효과가 증가하는 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 23NANO-C156177-04)

참고문헌

1. Dhamodharan D, Dhinakaran V, Ghoderao P, Byun HS, Wu L. Synergistic effect of cellulose nanocrystals-graphene oxide as an effective nanofiller for enhancing properties of solventless polymer nanocomposites. Composites Part B: Engineering. 2022. Vol.238. p. 109918.
2. Tao J, Yang J, Ma C, Li J, Du K, Wei Z, Chen C, Wang Z, Zhao C, Deng X. Cellulose nanocrystals/graphene oxide composite for the adsorption and removal of levofloxacin hydrochloride antibiotic from aqueous solution. Royal Society Open Science. 2020. Vol.7, No.10.