

탄소나노튜브와 나노실리카의 혼입량 변화가 고온에 노출된 시멘트 페이스트의 역학적 성능 회복에 미치는 영향

Effects of Carbon Nanotube and Nanosilica Incorporation on the Mechanical Recovery of Portland Cement Paste Exposed to High Temperatures

서 형 원*
Suh, Heongwon

지 현 석**
Jee, Hyeonseok

박 태 훈**
Park, Taehoon

배 성 철***
Bae, Sungchul

Abstract

When concrete is exposed to fire, the decomposition of Portland cement paste results in critical damage to the concrete structure of a building. However the recovery process of the damaged concrete structure has not yet been fully elucidated. In addition, research on appropriate additives such as carbon nanotube (CNT) and nanosilica has been increasing recently, however, investigation of CNT and nanosilica incorporated cement paste after decomposition of CNT by high temperature is not fully investigated. In this study, we investigated the physicochemical properties of CNT incorporated cement paste under different temperatures (200°C, 500°C and 800°C). Also, the effects of different rehydration conditions (20°C 60% RH and in water for different curing times) on the recovery of the paste were studied. The changes in tensile strength, surface observation of the specimens were characterized. In addition, the decomposition and formation of hydrates in the paste due to the heating process were studied using X-ray diffraction. The results showed that incorporation of nanosilica enhanced tensile strength after heating to each target temperatures.

키 워 드 : 화재, 탄소나노튜브, 재수화
Keywords : fire, carbon nanotube, rehydration

1. 서 론

시멘트 페이스트는 내화 재료로 알려져 있으나, 고온에 장시간 노출 시 역학적 성능이 저하되므로, 내화성능 향상 및 화재 피해 후 역학적 성능 향상 등의 회복 효과에 대한 연구들이 과거부터 진행되어왔다. 본 연구에서는 탄소나노튜브(CNT)와 나노실리카가 혼입된 시멘트 페이스트의 가열 온도 및 재수화 방법에 따른 표면, 인장강도의 변화와 X-ray diffraction (XRD)을 측정하여 CNT와 나노실리카의 혼입이 시멘트 페이스트의 역학적 성능 회복에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

2. 재료 및 시험체 제작

탄소나노튜브는 Multi-walled carbon nanotubes (ID: 5–10 nm, OD: 10–20 nm, length: 10–30 μ m, bulk density: 0.22 g/cm³) 를 사용하였고, w/b 비는 0.4로 나노실리카(SG-SO100, particle size 100 nm, Sukgyung, Korea) 혼입과 함께 표 1과 같이 제작되었다. 증류수를 사용하였으며, 페이스트 교반기를 이용하여 8 분간 배합하였다. 인장 강도는 $\phi 10 \times 20$ mm의 원형 샘플을 사용하여 할렬 인장강도 측정법으로 측정하였다. 각 샘플은 28 일 양생 후 실험에 사용되었다.

표 1. 샘플별 재료 물성 비

	Cement(g)	CNT(g)	Water(g)	Nanosilica (g)	SP (g)
CNT0.25NS0	100	0.1	40	0	0.1
CNT0.25NS5	100	0.25	40	5	0.28
CNT0.25NS10	100	0.4	40	10	0.33
NS10	100	0	40	10	0

* 한양대학교 건축공학부 석·박통합과정

** 한양대학교 건축공학부 석사과정

*** 한양대학교 건축공학과 조교수, 교신저자(sbae@hanyang.ac.kr)

3. 실험 결과

그림 1에서와 같이 가열 전 인장강도는 나노실리카의 혼입이 증가함과 무관하게 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 나노실리카의 함유가 가열 전 샘플들의 인장강도의 증가에 큰 영향을 미치지 않았음을 알 수 있다.

나노실리카 혼입량에 따른 가열 후 인장 강도 변화는 그림 2와 같으며, 나노실리카를 혼입하지 않고 CNT만 함유된 CNT0.25NS0 샘플은 고온에 노출된 후 인장강도 변화가 다음과 같이 나타났다. i) 200 °C 가열 직후 가열 도중 고온에 의하여 매트릭스 내 존재하던 미수화 클링커가 수화되면서 추가적인 수화물 생성으로 인해 강도가 증가하였다. ii) 500 °C 가열 직후 크랙이 생겼음에도 가열 도중 추가적으로 생성된 수화물로 인해 강도가 증가하였다. iii) 800 °C 가열 직후에는 CNT가 분해되는 540 °C 보다 높은 온도이므로 강도가 급격하게 강도가 감소하였다. 그러나 나노실리카가 혼입 시 인장강도의 성상은 그림 2와 같이 상이하게 나타났다. CNT0.25NS5와 CNT0.25NS10의 200 °C 가열 이후 인장 강도는 가열 이전에 비하여 200 % 증가하였다. 이는 200 °C 가열 시 고온에 의한 수화물 추가 생성이 CNT 주변에서 이루어질 때 나노실리카의 혼입으로 발생하는 포졸란 반응이 시멘트 페이스트 강도에 큰 영향을 주는 calcium silicate hydrates (C-S-H)를 CNT 주변에 생성하였기 때문으로 분석된다. 또한, 나노실리카 양이 많아질수록 500 °C와 800 °C 가열 이후 강도 감소가 적게 나타났다. 이는 나노실리카의 양이 증가할수록 포졸란반응을 통한 CNT 주위 수화물 생성이 활발해져 CNT의 분해 온도 이후에도 CNT 주위 수화물들이 강한 인장 강도를 보여준 것으로 판단된다. 이는 그림 3에서 같은 양의 나노실리카가 함유되었지만 CNT 혼입 유무가 다른 샘플들의 800 °C 가열 이후 인장 강도를 비교 시, CNT가 완전히 분해되는 온도임에도 CNT를 첨가하지 않은 샘플에 비해 CNT가 첨가되었던 샘플의 인장강도가 높다는 결과를 통해 뒷받침 된다. 더불어 CNT0.25NS10의 인장강도가 CNT가 완전히 분해되는 800 °C 가열 이후에도 170 %의 강도를 보이는 원인에는 나노실리카의 혼입 시 800 °C 가열 이후 XRD 결과를 통해 확인된 Wollastonite가 강도발현을 하기 때문으로 판단된다. 더불어 포졸란 반응을 통해 내부 미세 공극들 사이 C-S-H의 생성으로 매트릭스의 강도가 강해져 800 °C 가열 이후에도 강한 내부 응력을 통해 크랙을 형성하지 않았기 때문으로 판단되며, 이는 CNT0.25NS10의 800 °C 가열 이후 표면에서 크랙이 발견되지 않은 현상을 통해 보충 설명 될 수 있다.

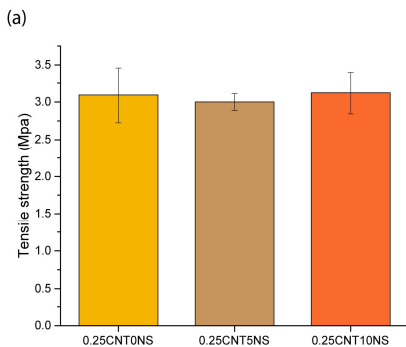


그림 1. 가열 전 인장강도

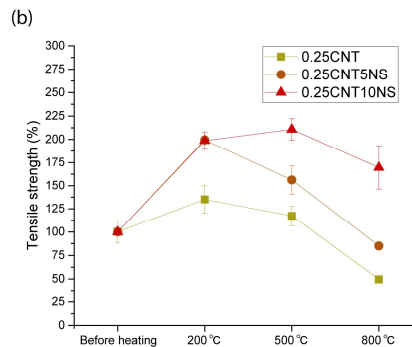


그림 2. 온도 별 가열 후 인장강도 변화

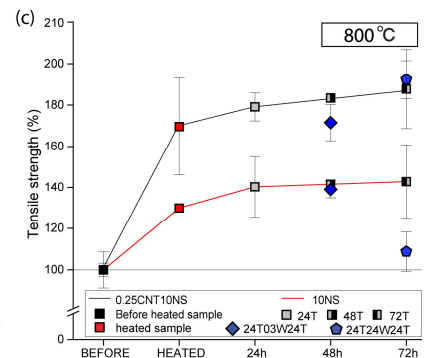


그림 3. CNT 혼입에 따른 800 °C 가열 이후 인장 강도 변화

4. 결 론

CNT와 나노실리카를 혼입한 시멘트 페이스트의 가열 및 재수화 후 강도 측정 결과, 나노실리카의 혼입이 고온 가열 이후 높은 인장강도를 발현하는데 큰 영향을 주었음을 알 수 있었다. 이는 CNT0.25NS10가 고온에 노출 시 CNT 주변에 포졸란 반응을 통해 C-S-H가 생성되었고, 이로 인해 800 °C 가열 이후에도 170 %의 인장 강도를 나타냈다. CNT가 완전히 분해되는 높은 온도임에도 불구하고 강한 인장 강도를 보이는 이유는 CNT 주변에 생성된 수화물들이 가열 이후에도 강한 인장강도를 보이고, 포졸란 반응을 통해 매트릭스의 강도가 강해졌기 때문으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 국토교통기술사업화지원사업의 연구비지원(16TBIP-C111710-01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Wang, G. M., Zhang, C., Zhang, B., Li, Q. and Shui, Z. H., Study on the high-temperature behavior and recurring characteristics of hardened cement paste. Fire and Materials, Vol.39, No.8, pp.741~750, 2015