

탄소나노튜브의 혼입량 변화가 고온에 노출된 시멘트 페이스트의 역학적 성능 회복에 미치는 영향

Effects of Carbon nanotube Incorporation on the Mechanical Recovery of Portland Cement Paste Exposed to High Temperatures

서 형 원*

박 태 훈**

배 성 철***

Suh, Heong-Won

Park, Tae-Hoon

Bae, Sung-Chul

Abstract

When concrete is exposed to fire, the decomposition of Portland cement paste results in critical damage to the concrete structure of a building. Although the behavior of cement pastes after heating provides crucial information with respect to the reuse of the building exposed to fire, 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) has been increasing recently, however, investigation of CNT 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 and compressive 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.

키 워 드 : 화재, 탄소나노튜브, 재수화

Keywords : fire, carbon nanotube, rehydration

1. 서 론

시멘트 페이스트는 화재와 같은 고온에 장시간 노출 될 경우 역학적 성능이 저하되므로, 적정 첨가물로 내화성능 향상 및 화재 피해 후 역학 성능 향상 등의 회복 효과에 대한 연구들이 과거부터 진행되어왔다. 본 연구에서는 탄소나노튜브(CNT)가 혼입된 시멘트 페이스트의 가열 온도 및 재수화 방법에 따른 표면, 인장강도, 압축강도의 변화와 X-ray diffraction (XRD)을 측정하여 CNT가 시멘트 페이스트의 역학적 성능 회복에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

2. 재료 및 시험체 제작

탄소나노튜브는 Multi-walled carbon nanotubes (ID: 5-10nm, OD: 10-20nm, Length: 10-30 μ m, Bulk density: 0.22g/cm³) 를 사용하였다. 각 샘플별 재료 물성비는 표 1과 같이 제작되었다. 증류수를 사용하였으며, 페이스트 교반기(SPS1)를 이용하여 8분간 배합하였다. 압축 강도는 5×5×10 mm³ 크기의 샘플로 측정하였고, 인장 강도는 \varnothing 10×20 mm의 원형 샘플을 사용하여 할렬인장강도 측정법으로 측정하였다. 각 샘플은 28일의 수중 양생 후 실험에 사용되었다.

표 1. 샘플별 재료 물성 비

	Cement(g)	CNT(g)	Water(g)	SP(g)
0.1CNTOPC	100	0.1	40	0.1
0.25CNTOPC	100	0.25	40	0.28
0.4CNTOPC	100	0.4	40	0.33

* 한양대학교 건축공학부 석·박통합과정

** 한양대학교 건축공학부 석사과정

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

3. 실험 결과

가열 전 CNT 함유량에 따른 압축 강도와 인장 강도는 0.25CNTOPC가 가장 높게 나타났다. 페이스트가 고온에 노출 된 후 강도 변화는 온도별로 상이하였으나, 전체적인 경향은 다음과 같이 나타났다. i) 200℃ 가열 직후에는 가열 도중 고온에 의하여 매트릭스 내 존재하던 미수화 클링커가 수화되면서 추가적인 수화물 생성으로 인해 강도가 증가하였다. ii) 500℃ 가열 직후 크랙이 생겼음에도 가열 도중 추가적으로 생성된 수화물로 인해 강도가 미세하게 증가하였다. iii) 800℃ 가열 직후에는 CNT가 분해되는 540℃ 보다 높은 온도이므로 강도가 급격하게 강도가 감소하였다. CNT 함유량에 따른 인장강도는 아래 그림 1과 같이 0.4CNTOPC, 0.1CNTOPC, 0.25CNTOPC 순으로 강도 증가율이 높게 나타났으며 압축강도에서도 동일한 경향을 보였다. 이는 0.25CNTOPC가 두 조건들에 비하여 가열 이전 양생 과정에서 CNT 주변 수화물 생성이 활발했기 때문에 미수화 클링커가 매트릭스 내 CNT 주변에 적게 분포하는 결과를 야기하여, 이후 고온의 가열 중 추가 수화로 인한 강도 증진이 적게 나타난 것으로 해석된다. CNT 함유량에 따른 재수화 조건 이후 역학적 성능 회복 성상은 다음과 같다. 200℃ 가열 이후에는 수중 재수화 시, 수분 침투로 인한 매트릭스 손상으로 강도가 감소하였다. 500℃, 800℃ 가열 이후에는 수중 양생을 3시간 한 샘플들에 비하여 24시간 양생할 시 강도 증진이 두드러지게 나타났다. 800℃ 가열 이후에는 가열 직후 수중 재수화 시 샘플들이 가루와 같이 분해되어 강도 측정을 하지 못했지만, 24시간 안정을 취한 후 재수화 시 강도 증진효과가 뛰어남을 확인할 수 있었다. CNT 함유량에 따라서는 500℃와 800℃ 가열 이후 수중 재수화로 인한 강도회복이 0.1CNTOPC, 0.4CNTOPC, 0.25CNTOPC 순으로 높게 나타났다. 이는 CNT가 분해되는 500℃에서 CNT의 양이 많은 0.4CNTOPC가 CNT의 분해로 인한 강도 저하가 0.1CNTOPC에 비하여 상대적으로 강했을 것으로 판단되며, 0.25CNTOPC는 가열 직후 강도가 상대적으로 낮은 것과 같은 이유로 매트릭스 내 CNT 주변에 미수화 클링커가 적게 남아있어 재수화로 인한 강도 증진 현상이 약하게 나타난 것으로 해석된다.

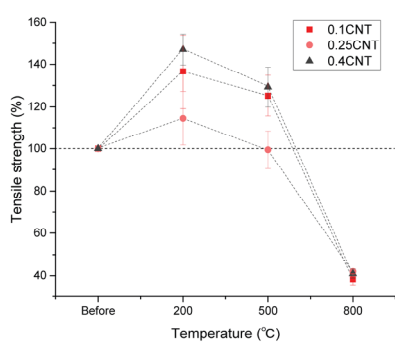


그림 1. 가열 직후 인장 강도 성상

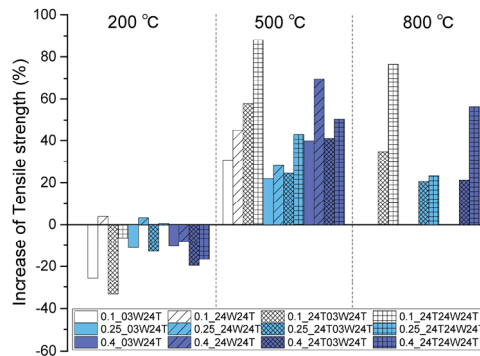


그림 2. 재수화 조건별 인장 강도 변화

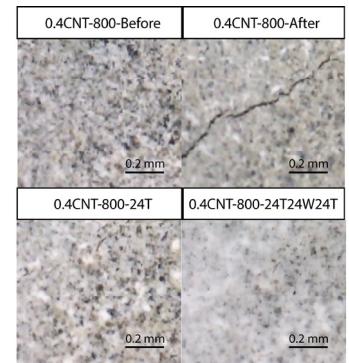


그림 3. 800℃ 가열 및 재수화 후 표면 균열 회복

4. 결 론

CNT를 혼입한 시멘트 페이스트의 가열 및 재수화 후 강도 측정 결과, 가열 전 강도가 가장 높았던 0.25CNTOPC에서 가열 이후 강도 증진 현상과 재수화로 인한 강도 회복 현상이 상대적으로 약하게 나타났음을 알 수 있었다. 이는 0.25CNTOPC의 가열 이전 양생 과정 중 CNT 주변 수화물 생성이 활발하여 미수화 클링커가 CNT 주변에 적게 분포하는 결과를 야기하였고, 이후 고온 가열 중 추가 수화로 인한 강도 증진 현상이 약하게 나타난 것으로 해석된다.

Acknowledgement

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

참 고 문 헌

1. Pawel Sikora, Mechanical and microstructural properties of cement pastes containing carbon nanotubes and carbon nanotube-silica core-shell structures, exposed to elevated temperature, Cement and Concrete Composites, Vol.95, pp.193~204