

화재피해를 입은 콘크리트의 물성변화에 관한 실험적 연구

조봉석, 김용로*, 강석표**, 권영진***, 김무한****

충남대학교 대학원 건축공학과 석사과정, *충남대학교 대학원 건축공학과 박사과정,

한일시멘트(주) 중앙연구소 주임연구원·공박, *홍용건설(주) 전무이사·공박,

****충남대학교 건축공학과 교수·공박

A Experimental Study on the Changes of properties by Fire Damages in Concrete

Cho Bong Suk, Kim Yong Ro*, Kang Suk Pyo, Kwon Young Jin***, Kim Mu Han******

Chungnam National University Master of the Architectural Engineering

**Chungnam National University Doctor's Course of the Architectural Engineering*

***Hanil Cement Co., Ltd., ***Hoyong Refresh Co., Ltd.*

*****Chungnam National University Professor of the Architectural Engineering*****

1. 서론

경제발전과 더불어 난방 및 취사연료의 형태가 전기, 가스, 유류 등으로 변화되었고 에너지의 다양화와 각종 위험물질의 증가에 따라 화재발생은 날로 증가되고 있는 실정이다. 또한 현대 도시의 고밀도화·산업화에 따른 건축물의 밀집과 고층화의 환경에서 화재발생은 더욱 치명적인 인적·물적피해를 가져올 수 있다.

이에 따라 화재발생을 사전에 억제하는 구조물의 방화·내화구조 및 피난계획, 소화설비 등에 대한 방재연구와 화재발생 후의 원인조사 및 구조물의 재사용여부 또는 보강의 필요성 판단 등 신뢰성 있는 안정성 평가에 대한 연구가 촉구되고 있다.

콘크리트구조물은 화재에 대하여 비교적 우수한 것으로 보고¹⁾되어 있으며 이를 바탕으로 수많은 구조물이 화재피해 후 보수·보강을 통하여 재사용되고 있다. 이를 위해서 화재피해를 입은 콘크리트 구조물의 적절한 보수·보강은 내화성능 및 화재피해의 정도에 따라서 이루어져야 하며, 구조물의 안전성과 경제성에 대한 치밀한 고려가 선행되어야 한다. 그러나 현재까지는 화재발생 후 구조물의 재사용과 보강여부의 판단 및 신뢰성 있는 안전성 평가를 위한 이론적·실험적 연구가 매우 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 화재피해를 입은 콘크리트의 내구성 저하정도를 파악하고 더 나아가 보수·보강의 평가방법 및 안전성 평가의 기준 마련을 위해 수열온도별 화재피해를 입은 콘크리트의 잔여강도 및 물성의 변화를 파악함으로써 철근콘크리트구조물의 체계적인 보수·보강시스템 개발을 위한 기초적 자료를 제시하고자 한다.

2. 화재의 메커니즘

콘크리트가 화열을 받게 되면 열팽창계수가 상이한 시멘트경화물과 골재는 각각 다른 팽창수축거동을 하여 균열발생 및 박락현상 등의 열화현상이 나타난다. 즉 가열온도의 상승에 따라 콘크리트 중의 시멘트수화물은 화학적으로 변질되며 약 600℃까지 시멘트페이스트부는 수축하나, 골재는 팽창하는 상반되는 거동을 나타낸다.

또한 콘크리트중의 자유수가 팽창하여 내부응력을 증가시킴으로서 내부조각이 파괴되어 강도 및 탄성 등의 역학적 성질이 저하한다.

300℃까지는 강도의 저하현상이 그다지 현저하게 나타나지 않으나 500℃를 넘으면 가열에 의한 저하정도가 50% 까지 나타나며 탄성계수도 동일한 저하 거동을 나타낸다. 가열에 따라 저하한 강도는 화재 피해 후 어느 기간이 경과하면 재사용이 가능한 상태까지 회복된다고 보고되어 있다²⁾.

화재를 입은 콘크리트의 표면에는 일반적으로 크고 작은 균열이 발생한다. 시멘트 경화물은 유리수 외에 다량의 결정수를 가지고 있어 100℃이상에서는 이들의 분리·소실해감에 따라 수축하고 약 700℃에서는 완전하게 탈수하여 불가역 변화하게 된다³⁾.

한편, 콘크리트는 500℃~580℃의 수열온도에서는 콘크리트 내의 수산화칼슘(Ca(OH)₂)이 열분해하여 알칼리성을 소실해가는 화학적 피해를 입는다. 이러한 현상에 따라 철근을 방식하는 능력은 저감하여 철근콘크리트구조물의 내구성이 현저하게 소실되는 것이다⁴⁾.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구의 실험체는 설계기준강도를 210kgf/cm², 240kgf/cm², 300kgf/cm², 400kgf/cm², 500kgf/cm², 600kgf/cm², 800kgf/cm²의 보통강도에서 고강도에 이르는 7수준으로 하여 배합을 계획하였으며, 사진 1에서 보는 바와 같이 수직 가열로를 이용하여 실제 화재발생상황과 최대한 동일 설정하여 각 수열온도를 비가열, 100℃, 200℃, 300℃, 400℃, 600℃, 800℃의 총 6수준으로 하였다.

3.2 가열방법 및 시간

양생을 마친 시험체는 사진 1의 수직가열로에 위치하도록 하여 100℃~800℃의 온도로 3시간 동안 가열하였다.

3.3 측정방법 및 항목

수열온도가 시험체의 압축강도에 영향을 미치는 정도 즉, 콘크리트의 내구성 저하정도를 측정하기 위하여 시험체를 목표로 한 수열온도까지

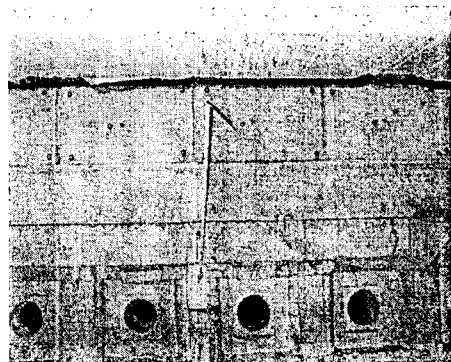


사진 1. 수직가열로

이르게 한 후 실내온도까지 냉각시켜 파괴시험을 수행하는 UR (specimen heated Unstressed, tested at Room temperature) 측정방법을 선정하였다⁵⁾.

또한 각 수열온도별 설계기준강도의 압축강도와 동탄성계수, 초음파속도 및 육안관찰분석을 측정항목으로 하였다.

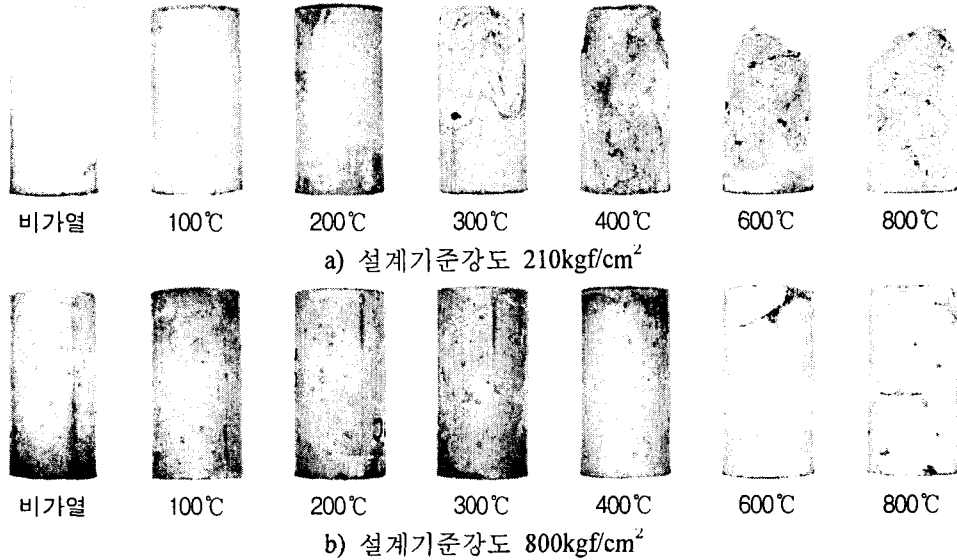


사진 2. 수열온도에 따른 외관의 변화성상

4. 실험결과 분석 및 고찰

4.1 육안관찰 및 분석

설계기준강도가 낮을수록 변색이 시작되는 수열온도가 낮으며 설계기준강도가 높을수록 변색이 시작되는 수열온도가 높은 것으로 나타났다.

설계기준강도 210kgf/cm²의 경우 200°C 이상부터 현저한 변색과 박락 및 폭열을 나타내며 설계기준강도 800kgf/cm²의 경우 400°C 이상부터 표면의 변화를 나타내기 시작하였다.

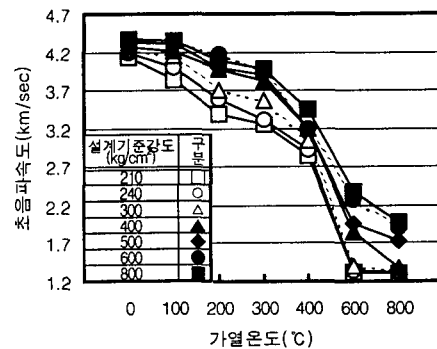


그림 1. 수열온도와 설계기준강도별 초음파속도

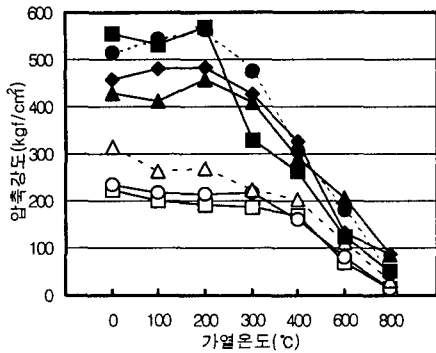


그림 2. 수열온도에 따른 설계기준강도별 잔여압축강도

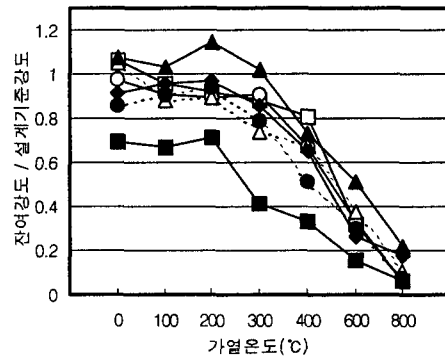


그림 3. 수열온도에 따른 설계기준강도별 잔여압축강도와 설계기준강도의 비

4.2 초음파속도 및 잔여압축강도의 측정결과

그림 1은 수열온도에 따른 설계기준강도별 초음파속도를 나타낸 것으로 동일온도에서는 설계기준강도가 높을수록 초음파속도가 높은 값을 나타내고 있으나 수열온도가 높아질수록 초음파속도는 저하하는 것으로 나타났다. 또한 수열온도 600°C에서는 초음파속도가 상대적으로 급격한 감소를 나타내고 있다. 이는 500°C~580°C의 수열온도에서 수산화칼슘(Ca(OH)₂)이 열분해하여 알칼리성을 소실함으로써 조직의 밀실도가 저하하는 현상과 관계가 있는 것으로 사료된다.

그림 2는 수열온도에 따른 설계기준강도별 잔여압축강도를 나타낸 것으로 수열온도가 높아질수록 잔여압축강도는 저하하며 이는 설계기준강도별 초음파속도와 유사한 경향을 나타내고 있어 초음파속도가 압축강도와 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있다.

그림 3은 수열온도에 따른 잔여강도와 설계기준강도의 비를 나타낸 것으로 수열온도가 높을수록 낮은 값을 나타내고 있다. 또한 대체적으로 300°C까지는 강도 저하현상이 그다지 현저하게 나타나지 않았으나 그 이상의 온도에서 400kgf/cm² 이상의 고강도콘크리트의 경우 50% 이상의 강도저하현상을 나타내기도 하였다.

5. 결론

화재피해를 입은 콘크리트의 내구성 저하정도를 파악·검토하기 위하여 수열온도 및 설계기준강도별 화재피해를 입은 콘크리트의 외관 및 물성 변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 설계기준강도가 낮을수록 변색이 시작되는 수열온도가 낮으며 설계기준강도가 높을수록 변색이 시작되는 수열온도도 높은 것으로 나타났다.
- 2) 동일온도에서 설계기준강도가 높을수록 초음파속도가 높은 값을 나타내며 수열온도

가 높아질수록 초음파속도는 저하하는 것으로 나타났다. 또한 수열온도 600℃에서는 초음파속도가 상대적으로 급격한 감소를 나타내고 있다.

- 3) 수열온도가 높아질수록 잔여압축강도는 저하하며 이는 설계기준강도별 초음파속도와 유사한 경향을 나타내고 있어 초음파속도가 압축강도와 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있다.
- 4) 잔여강도와 설계기준강도의 비는 수열온도가 높을수록 낮은 값을 나타내고 있다. 또한 대체적으로 300℃까지는 강도 저하현상이 그다지 현저하게 나타나지 않았으나 그 이상의 온도에서 400kgf/cm² 이상의 고강도콘크리트의 경우 50% 이상의 강도저하현상을 나타내기도 하였다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, “최신콘크리트공학” 기문당 1999.
2. 日本コンクリート工學協會, 콘크리트 診断技術'01[基礎編] 2001.
3. 박현준, 권영웅, “콘크리트의 피복두께와 내화성,” 콘크리트 학회지, 11권 4호, pp. 25-31, 1999.9
4. 조재열, “고온에 노출된 콘크리트의 잔류압축강도 특성에 관한 연구,” 서울대학교 석사학위 논문, 1995.
5. “Guide for Determining the Fire Endurance of Concrete Elements, ACI216, American Concrete Institute, Detroit, 1989”
6. 허은진, “철근콘크리트 휨 부재의 내력성능에 관한 해석적 연구,” 부산대학교 석사학위 논문, 2001.
7. H.L.Malhotra, "The Effect of Temperature on the Compressive Strength of Concrete", Magazine of Concrete Research, Aug., 1965.