

C-03

화재피해를 입은 콘크리트 구조물의 수열온도 평가에 관한 문헌적 고찰

권영진, 이춘하, 오규형, 박용환, 김무한*
호서대학교 환경안전 공학부 소방학과,
충남대학교 건축공학과*

Literature Study on the Estimation of Temperature in Concrete Structures at Fire Accident

Kwon, Young Jin, Kim, Moo Han, Lee, Chun Ha,
Kyu Hyoung, Park, Young Hwan*

*Hoseo University Professor of Department of Fire Protection Engineering,
Chungnam National University Professor of the Architectural Engineering**

1. 서론

통계에 의하면 국내 화재 건수는 평균 30,000 건/년으로서 주택 및 아파트, 차량, 공장, 음식점 등 주로 건축물에 많이 발생하고 있다¹⁾. 또한 건축물의 주요 구조 부재를 이루는 콘크리트는 화재에 의해 손상이 발생되어 구조시스템에 심각한 영향을 미치게 된다. 따라서 화재 이후 콘크리트 구조물의 성능저하를 정확히 진단할 필요가 있으며, 이를 위한 수열온도 평가는 필연적이라고 할 수 있다.

화재피해를 입은 콘크리트구조물의 수열온도평가는 화재피해를 입은 콘크리트 구조물의 보수 보강 판정 및 재사용 여부 결정을 위한 기본적인 자료로서 정확한 수열온도의 평가는 콘크리트 구조물의 화재 피해 진단에 직결되는 매우 중요한 문제이다.

따라서 본 연구는 화재피해를 입은 콘크리트 구조물의 수열온도 평가를 위해 여러 문헌을 통하여 각 수열온도에서의 콘크리트의 상태변화와 수열온도 추정 기법 및 그 특성 등을 검토함으로써 향후 화재피해를 입은 콘크리트 구조물의 진단을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 화재피해를 입은 콘크리트구조물의 열화 메커니즘

2.1 화재피해를 입은 철근 콘크리트구조물의 열화 메커니즘

콘크리트가 고온을 받게 되면 열 팽창계수가 상이한 시멘트경화물과 골재는 각각 다른 팽창수축거동을 하여 콘크리트의 조직은 연화되고 단부의 구속 등에 의해 나타난 열응력 및 공극수의 증기압 등에 따라 균열이 나타나고 박락하며 이로 인해 철근의 직접적 노출이 발생하게 되어 철근 콘크리트구조물의 부재로서 구조적 기능에 결정적인 결함을 초래하여 구조시스템에 치명적인 손상이 발생할 수 있으며 최종적으로 구조물의 붕괴로 이어진다.

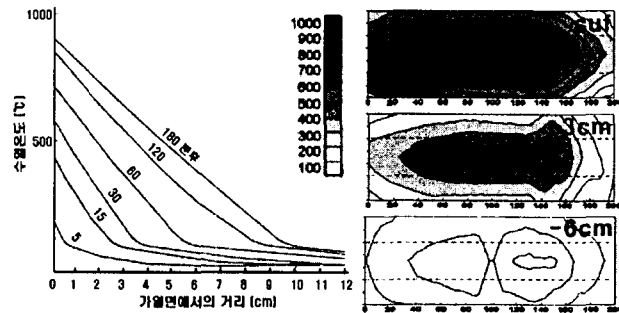


그림 1. 화재시 콘크리트 내부의 온도 일례

2.2 수열온도에 따른 콘크리트의 열화 메커니즘

콘크리트는 비연소성재료로 낮은 전도율을 가지고 있어 열에 접한 구조물의 온도상승을 억제하는 역할을 하게 되고, 콘크리트부재의 전단면이 동시에 고온에 도달하는 경우는 거의 없으며, 수열온도는 표면이 가장 높고 깊이방향으로 서서히 저하하는 온도구배를 가지게 된다. 또한 화재 특성, 콘크리트의 종류, 단면의 형상·최대치수, 부위 등에 따라 수열온도는 각각 다르게 되며 그 일례를 그림 1에 나타내었다.

콘크리트는 수열온도의 상승에 따라 100°C이상에서는 자유공극수가 방출되며 100~200°C에서는 물리적 흡착수가 방출되고 이들의 분리·소실에 의해 수축하기 시작하며 수열온도가 300°C 이상이 되면 콘크리트의 중의 시멘트수화물이 화학적으로 변질되며 400°C이상에서는 화학적 결합수가 방출된다. 수열온도가 500°C를 넘으면 가열에 의해 압축강도의 저하가 50%까지 나타나며 500~580°C에서는 콘크리트 내의 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이 열분해되어 알칼리성을 소실하는 화학적 피해를 입게 되므로 철근을 방식하는 능력이 저감되어 철근콘크리트구조물의 내구성을 현저하게 저하시킨다³⁾. 수열온도 600°C까지는 시멘트 페이스트가 수축하고 골재는 팽창하는 상반된 거동을 나타내며, 600°C~800°C에서 부터는 파열하여 손상되고⁴⁾ 최종적으로 1150°C~1200°C에 이르면 용융되기 시작한다.

3. 수열온도의 추정

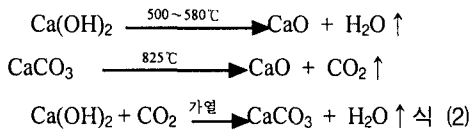
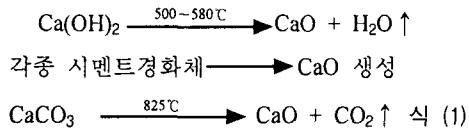
3.1 콘크리트표면의 변색상황

콘크리트표면의 변색상황으로부터 콘크리트표면의 수열온도를 개략적으로 추정하면 다음 표 1과 같다.

표 1. 콘크리트의 변색상황과 수열온도의 관계

변색상황	온도범위
그을음 등이 부착	300℃ 미만
핑크색	300~600℃
회백색	600~950℃
담황색	950~1200℃
용융상태	1200℃ 이상

3.2 페놀프탈레인 용액에 의한 중성화 깊이



콘크리트의 중성화 깊이는 마감재의 품질과 두께에 따라 크게 좌우되기 때문에 중성화 깊이로부터 직접적인 수열온도의 추정은 어려우나 식 (1)을 바탕으로 개략적인 수열온도의 추정이 가능하며 중성화되지 않은 부분은 적어도 500℃ 이하로 추정할 수 있다.

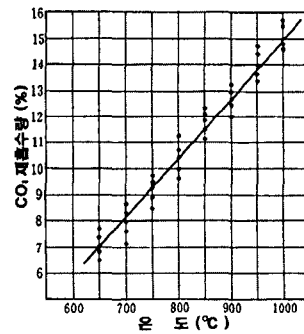


그림 2. 온도별 탄산가스 재흡수량

3.3 중성화깊이와 탄산가스량

시간의 경과에 의해 자연적으로 중성화된 모르타는 CO₂의 방출이 없는 경우에 한하여 15% 정도의 CO₂량이 존재하게된다. 그러나 화재에 의한 중성화의 경우에는 가열에 의해 CaCO₃가 CO₂를 방출하게되므로, 화재현장에서 채취한 중성화부분의 시료를 분석하여 모르타 중의 CO₂가 15%이상이면 화재피해를 받은 것으로 추정 가능하다.

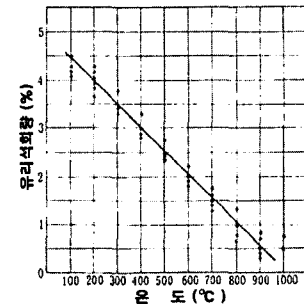


그림 3. 온도별 유리석회량

3.4 탄산가스 재흡수량

탄산가스 재흡수량의 측정은 수열온도의 추정이 어느 정도 가능한 방법으로 식 (2)에 나타낸바와 같이 Ca(OH)₂가 가열에 의해 CO₂와 결합되는 것을 이용하는 방법으로, 1:2 시멘트모르타의 가열 실험을 통해 온도별 탄산가스 재흡수량을 측정한 결과를 그림 2

에 나타내었다⁹⁾.

3.5 유리석회량

탄산가스 재흡수량의 경우와 같이 1:2 시멘트모르터의 가열 실험을 통해 온도별 유리석회량을 측정된 것을 바탕으로 수열온도를 추정하는 것으로, 탄산가스 재흡수량의 경우보다 정밀도가 다소 떨어진다. 수열온도와 유리석회량의 관계는 그림 3에 나타내었다.

3.6 X선회절

건물에 사용되는 각종 시멘트경화 재료를 온도별로 가열하여 X선회절을 통해 결정 모양을 측정된 것을 기준으로 수열온도를 추정하는 방법으로 가열온도와 결정모양의 변화가 어느 정도 명확하게 나타나는 석고보드를 주요 표본으로 이용하며, 그보다 정확도가 떨어지는 모르터 및 콘크리트의 경우에는 개략적인 수열온도의 추정에 사용하고 있다.

3.7 시차가열천평분석 (DTA, TGA)

재령 1년 이상 경과한 1:3 시멘트모르터를 가열하여 흡착수, 화학적 결합수의소실, SiO₂의 상태변화, CO₂가스 방출량의 변화를 조사하여 그 결과를 실제 화재피해를 입은 콘크리트의 수열온도 추정에 이용하는 방법이나, 실제 화재피해를 입은 콘크리트의 경우에는 화재 진압시 사용된 물이 흡수되는 경우가 대부분이므로 직접적인 수열온도의 추정 어렵고 중성화깊이, 탄산가스량 등과 병행 사용한다.

3.8 각종재료의 연화, 용융상태

표 2. 각종재료의 연화, 용융상태와 화재온도

콘크리트의 내부온도 추정은 어려우나 표면의 온도(화재피해 온도) 추정에 유용한 방법으로 각종재료의 연화, 용융상태로부터 화재 온도를 추정하는 방법으로 표 2에 그 대표적인 예를 나타내었다.

화재피해 온도	온도범위
260°C	목재의 착화(마감재, 가구 등)
327°C	납 용해
419°C	아연 용해
600°C	유리용해 (창, 그릇 등)
659°C	알루미늄 용해

4. 결론

화재피해를 입은 콘크리트 구조물의 수열온도 평가를 위해 여러 문헌을 고찰한 결과 콘크리트표면의 변색상황, 페놀프탈레인 용액에 의한 중성화 깊이, 탄산가스량, 유리석회량 등의 측정과 X선회절법 및 시차가열천평분석법 (DTA, TGA) 그리고 각종재료의 연화, 용융상태 등의 관찰을 통해 콘크리트의 수열온도를 추정할 수 있으며, 이를 수열온도에 따른 콘크리트의 열화 메커니즘에 비추어 화재피해를 입은 콘크리트구조물의 성능저하진단이 좀더 합리적이고 객관적으로 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

그러므로 실제 화재 피해를 입은 철근 콘크리트 구조물의 안전성 검토와 재사용 여부의 판단, 재사용을 위한 보수·보강공법의 선정에 있어서 합리적이고 객관적인 자료로서

활용 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 행정자치부, "화재통계연보," 2000.
2. 콘크리트 구조설계기준, 건설교통부, 1999.
3. 岸谷 孝一 他, 火災を受けた鐵筋コンクリート造建物の火害度と受熱溫度の推定, 化學火災事例集, pp 87~88, 日本火災學會, 1996.
4. 日本コンクリート工學協會, 콘크리트診斷技術'01[基礎編] 2001.
5. 森田 武 外, "火災時における高強度コンクリートの爆裂性狀に關する基礎的實驗", 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1999. 9, pp.41~44.
6. 長尾 覺博 外, "火災時における高強度コンクリートの爆裂防止に關する試驗結果", 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1999. 9, pp.245~246.
7. L.T. Phan, "Fire Performance of High-Strength concrete : A Report of the State-of-the-Art", Building and fire research laboratory national institute of standards and technology, 1996. 10.
8. T.D.Lin, R.I.Zwiers, R.G.Burg, T.T.Lie, and R.J.McGrath,"Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns," Portland Cement Association, PCA R&D Serial Nos. 1870 and 1871, 1992.
9. M.Maruta, M.Yamazaki, and T.Miyashita, "A Study on Shear Behavior of Reinforced Concrete Beams Subject to Long-term Heating", Nuclear Engineering and Design, No.156, 1995, pp.29-37.
10. H.L.Malhotra, "The Effect of Temperature on the Compressive Strength of Concrete", Magazine of Concrete Research, Aug., 1965.