

## 구조기술자의 관점에서 본 내화성능 관리기준

Regulation on Fire Performance Test of Columns and Beams with High Strength Concrete in View of Structural Engineer



정하선\*  
Ha-Sun Jeong

### 1. 서 론

우리나라에 콘크리트라는 재료가 건설분야의 주요 구조재료로 사용된 이래, 콘크리트는 건축물의 화재가 발생했을 때 사람이 대피할 수 있는 시간(2~3시간)은 충분히 확보할 수 있는 구조 재료로 오랫동안 인정되어 왔다. 그러나 최근 빠른 속도로 사용이 늘고 있는 고강도콘크리트의 내화성능에 대한 의문이 제기되면서 국토해양부에서는 “고강도콘크리트 기둥보의 내화성능 관리기준”을 고시하여 시행하기에 이르렀다. 이 기준에 의하면 압축강도 60MPa 이하의 콘크리트를 사용할 경우에는 구조기술사가 내화성능을 확인함으로써 내화시험을 면제할 수 있으나, 콘크리트 압축강도가 60MPa를 초과하는 경우에는 내화시험을 반드시 시행하도록 의무화하고 있다.

그러나 이러한 기준 제정의 근거가 되고 있는 고강도콘크리트에 대한 시험 결과들은 철근콘크리트 구조물의 특성, 구조부재 내의 철근 배근상세가 부재의 내화성능에 미치는 영향 등에 대한 고려가 없었다는 점 등의 의문이 있어 구조기술자의 한 사람으로서 우리나라 내화성능 기준에 대한 다른 관점을 기술하고자 한다.

### 2. 철근콘크리트구조물의 구조적특성

프리카스트 콘크리트판이나 부재를 조립하여 완성하는 구조물 이외의 대부분의 철근콘크리트구조물은 현장에서 콘크리트를 타설함으로써 일체성이 매우 높은, 즉 부정정차수가 매우 높은, 특성을 갖고 있다. 부정정차수가 높은 구조물이라 함은 주요 구조부재 몇 개가 기능을 상실하였다 하더라도, 구조 계획 시 하중대체경도(alternative loading path)를 충분히 고려하였다면, 기둥이나 보 2~3개가 기능을 잃었다 하더라도 순식간에 구조물 전체가 붕괴하지 않는다는 뜻이다. 또한 대부분의 구조물에는 화재 확산 방지를 위한 방화문, 화재 조기 진화를 위한 스프링클러

등을 설치하도록 의무화 되어 있어 여러 개의 주요 구조 부재가 동시에 기능을 잃거나, 장시간 화재에 노출될 가능성은 매우 낮다고 할 수 있다. 우리나라에서 화재로 인하여 붕괴된 경우로 자주 언급되고 있는 스페인의 Windsor Tower의 붕괴는 고강도콘크리트를 이용한 구조물이기 때문이 아니라 너무 오랫동안 화재에 노출되었기 때문으로 판단된다. Windsor Tower에는 압축강도 25MPa 정도의 콘크리트가 사용되었으나 화재가 18~24시간 이상 지속되어 붕괴된 것으로 보고되고 있다. 이렇게 오랫동안 화재에 노출되어도 붕괴되지 않는 구조물은 없을 것이다. 구조물의 내화성능 확보의 목적은 어떠한 경우라도 구조물이 붕괴되어서는 안 된다는 것이 아니라 그 구조물을 이용하고 있던 사람들이 대피할 수 있는 시간을 확보하도록 하는데 있다.

### 3. 배근상세, 시험체 크기의 영향

철근콘크리트 부재의 성능은 같은 양의 철근을 사용하여도 배근상세에 따라 크게 달라진다는 것은 널리 알려진 사실이다. 콘크리트 부재의 내화성능도 철근 배근상세의 영향을 받을 것으로 판단하는 것이 논리적일 것이다. 왜냐하면 철근 배근상세, 특히 횡철근의 배근상세에 따라 내부 콘크리트의 구속정도가 차이가 나기 때문이다. 내부 콘크리트의 구속정도가 높을수록 철근피복이 박리되어도 부재의 내력손실이 완만하게 나타난다. 그러나 놀랍게도 우리나라뿐만 아니라 세계적으로도 콘크리트 부재의 내화성능 실험시 철근 배근상세가 실험 변수가 된 경우는 찾아보기 힘들다. 이는 대부분의 내화성능 실험이 동일한 배근상세를 갖는 상태에서 콘크리트의 압축강도만 변화시켜 실험이 수행되었다는 것을 말한다.

실례로 우리나라 건설회사가 시공하고 있는 세계최고 층인 버즈 두바이 프로젝트의 기둥에는 큐브 강도 80MPa(실린더 강도로 65MPa 정도)의 고강도콘크리트 사용되고 있으나, 이 프로젝트에서는 기둥이 횡보강을 내부콘크리트 구속정도가 높은 나선철근으로 하고 있다는 것이 내화설계의 전부이다.

\* 정회원, 한국콘크리트학회 콘크리트공학연구소 소장  
hasun@kci.or.kr

우리나라에서 내화성능과 관련된 연구를 수행하고 있는 많은 학자들 사이에서 사용되고 있는 고강도콘크리트의 ‘폭렬’ 현상이라는 용어도 너무 과장된 것이 아닌가 생각된다. 미국의 NIST(National Institute of Standards and Technology), 캐나다의 NRC(National Research Council) 등에서 미국의 ASTM E 119에 규정된 방법에 따라 내화시험을 한 결과, 고강도콘크리트의 경우, 피복콘크리트에 약간의 박리와 균열이 발생하였으나 폭렬(explosive spalling)이라고 부를 정도의 현상은 발견하지 못하였다는 보고도 있다.

콘크리트 피복의 박리 정도는 아마도 시험체의 크기와 관계가 있는 것으로 판단된다. 콘크리트 시험체가 클수록 열 흡수 능력이 커, 콘크리트에 발생하는 열응력이 낮아지는 현상 때문에 콘크리트의 박리와 균열정도가 낮아진다고 볼 수 있다. 우리나라에서도 실물 크기의 시험체를 이용하여 일본 연구소시설을 이용하여 내화시험을 할 경우가 있으나, 철근의 횡보강 상세가 실험변수가 아니었던 것으로 알고 있으며, 콘크리트가 갑작스럽게 탈락되어 비산한다는 뜻의 ‘폭렬’ 현상이 발생하였는지는 분명하지 않다.

#### 4. 구조기술사의 판단

앞에서도 언급한 바와 같이 압축강도 60 MPa 이하의 콘크리트 부재에 대해서는 우리나라의 내화성능 관리규정에서 구조기술사의 판단에 따라 내화시험을 면제할 수 있도록 정하고 있다. 그러나 철근상세의 내화성능에 대한 영향, 부재크기의 열 흡수 능력 등에 대한 연구 결과나 지침이 없는 상태에서 우리나라의 구조기술사들이 어떻게 확신을 갖고 콘크리트 부재의 내화성능을 판단할 수 있을지는 의문이다. 이러한 조항은 결국 모든 고강도콘크리트 부재에 대하여 내화시험을 하라는 것과 큰 차이가 없을 것으로 판단된다. 사람의 인명은 매우 소중한 것이다. 그러나 화재로부터 절대 안전한 콘크리트구조물을 축조한다는 것은 과도한 사회적 비용을 요구한다. 공학은 진리만을 추구하는 것이 아니라, 비용도 함께 고려한다는 점에서 과학과는 다르다. 우리나라에 내진설계 기준이라는 것이 있다. 지진은 세기의 측면에서 볼 때 화재 보다 훨씬 불확실성이 큰 재해다. 어떠한 세기의 지진에 대해서도 안전한 구조물은 만든다는 것은 거의 불가능할 뿐만 아니라 비용도 엄청나게 든다. 이러한 연유로 세계적으로도 내진설계 기준은 일정크기 이상의 지진이 발생할 확률과 사회적비용을 고려하여 제정되는 것이 일반적이며 우리나라도 예외는 아니다. 내화설계도 이러한 관점에서 접근할 필요가 있을 것이다.

#### 5. 외국의 내화설계 관련 규정

우리나라의 ‘고강도콘크리트 기둥보의 내화성능 관리기준’은 일본의 내화설계 관련규정을 많이 참고하여 제정된 것으로 보인다. 그러나 미국의 ACI(American Concrete Institute)의

Standard 216.1-06에 의하면 84 MPa에서의 콘크리트 부재에 대한 내화설계에 대해서는 특별한 언급이 없으며, 콘크리트 압축강도가 그 이상일 경우에는 횡보강 철근에 반드시 135° 표준갈고리를 두어 내부 콘크리트의 구속정도를 붙임으로써 지속적인 박리가 일어나지 않도록 규정하고 있다. 유럽의 공통설계기준인 EN1992-1-2 : 2004(E)에서는 화재시 예상되는 최대온도와 콘크리트 압축강도에 따라 콘크리트 부재의 강도 감소계수를 적용하여 설계하도록 규정하고 있다. 이러한 규정은 구조설계자들의 고강도콘크리트 부재 내화성능에 대한 부담을 크게 줄여 줄 수 있는 방안이 될 수 있을 것이다.

#### 6. 결 론

우리의 내화성능관리기준은 철근콘크리트구조물이나 부재의 특성을 고려한 연구 결과가 없는 상태에서 제정된 것이다. 유럽의 모델코드 제정기관이 FIB(Fédération International du Béton)에서도 철근콘크리트구조물에 대한 향후 모델코드 제정 방향을 설명하는 가운데서 전체 구조물 차원에서 내화설계를 검토할 필요가 있다고 언급하고 있다. 고강도콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비하여 밀도가 높아 화재시 콘크리트 내부의 수분이 방출되지 못하고 이로 인한 콘크리트 내부응력이 증가하며 이로 인한 콘크리트 박리현상이 이러날 가능성이 높다는 것은 옳다고 판단되나, 배근상세가 함께 고려된, 특별한 내화설계가 필요한 콘크리트 강도의 한계를 정한다면 인명피해를 최소화 할 수 있는 안전성 확보와 함께 사회적 비용을 절감한다는 차원에서 바람직할 것이다. 이러한 연구 결과를 얻기 위해서는 우리나라의 내화시험시설의 대폭적인 확충이 필요하다. 

#### 참고문헌

1. 건축물의 피난방화구조 등의 기준에 관한 규칙, 국토해양부령 제 136호, 2008. 07.
2. National Institute of Standards and Technology, Fire Performance of High-Strength Concrete; A Report of the State-of-the-Art, 1996.
3. NIST, International Workshop on Fire Performance of High Strength Concrete, 1997.
4. Phan, L. T, Lawson, J. R, and Davis, F. L., "Heating, Spalling Characteristics and Residual Properties of High Performance Concrete," *15th Meeting of the UJND, Panel on Fire Research and Safety*, Mar. 2000.
5. Walraven, J. C., "A New Future-oriented Model Code for Concrete Structures," *International Fib Symposium*, 2008.