초고층 건물에서의 고강도 콘크리트 사용

글 • 최동호 한국화재보험협회 부설 방재시험연구원 방내화팀 과장, 공학박사

1. 머리말

최근 국내에서는 초고층 건물[1]의 증가가 두드러지고 있으며, 이러한 초고층 건물의 시공에 적용하기 위해 고강도, 고내구성 등의 구조적 성능이 향상된 고강도 콘크리트[2]의 사용이 증가하고 있다. 초고층 및 대형건물에서 고강도콘크리트는 기둥, 보와 같은 주요 부재에 적용되며, 이러한 고강도콘크리트가 적용된 주요 부재에 대하여 적절한 화재안전을 평가하는 것은 화재 시 인명 및 건물 피해를 최소화하기 위한 건물설계 시 요구되는 기본사항 중의 하나가 된다.

일반적으로 기존의 콘크리트 구조부재는 기둥은 지름 250㎜ 이상, 보는 철근콘크리트 구조인 경우는 모두 3시간 이상의 내화성능이 있다고 인정되어 왔으나, 고강도콘크리트의 경우는 화재 시 고온의 영향에 따른 내부 수증기압의 증가에 의한 폭렬발생 및 이에 따른 부재 단면손실로 인한 내력저하 등의 문제가 발생하여 건물의 안전성에 영향을 미칠 수 있다.

이에 본 고에서는 초고층 건물에 고강도콘크리트를 적용하는 경우 화재 시 나타날 수 있는 콘크리트의 특성 및 건물의 안전을 위한 일반적인 고려사항을 소개하고자 한다.

2. 화재 시 고강도콘크리트 특성

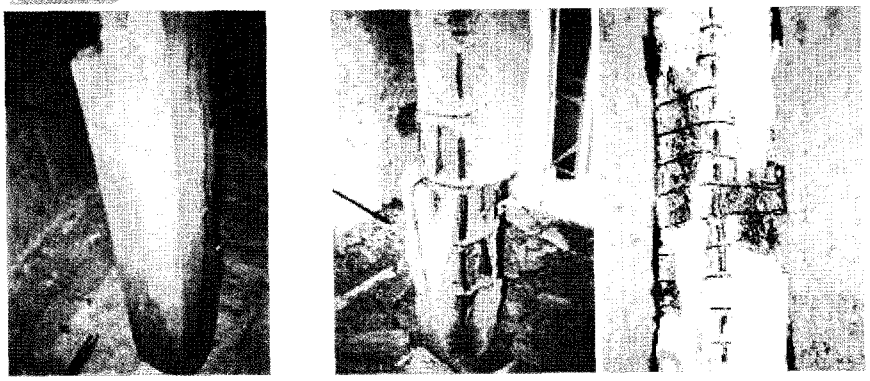
고강도콘크리트는 내구성, 경제성 등 일반적인 콘크리트에 비하여 유리한 점이 많아 외국에서는 이미 그 사용이 활발하게 이루어지고 있다. 미국의 경우 1975년에 이미 60MPa의 고강도콘크리트가 적용된 것을 시작으로 1990년대에는 60층 이상의 건물에 130MPa의 고강도콘크리트가 시공된 바 있다. 특히 일본에서는 지진 위험에도 불구하고 30~40층의 건물에 60~120MPa의 고강도콘크리트를 적용하고 있다. 국내의 경우는 1980년대에 30MPa의 고강도콘크리트적용을 시작으로 현재 60~80MPa 범위의 고강도콘크리트가 60층 이상의 건물에 적용되고 있다.

고강도콘크리트는 철골 대체에 따른 구조체 골조 경비 절감 가능(10% 이상), 강도증가에 따른 부재 단면 감소 · 공간 활용 극대화, 내구성 확보에 의한 구조물 수명 연장 및 조기강도 확보에 의한 시공기간 단축과 같은 장점이 있으나 반대로 일반콘크리트에 비해 시공성 저하, 균열발생 등 품질관리의 어려움 및 화재 시 고온 환경에서 내화성능 저하로 인한 구조 안전성 우려 등과 같은 단점이 있다. 특히 건물에 화재가 발생하여 고강도콘크리트로 시공된 부재가 고열의 영향을 받을 경우 발생하는 폭렬발생의 정도가 일반적인 보통강도콘크리트 보다는 크다는 점은 고강도콘크리트를 초고층 건물에 적용할 경우 건물의 안전성 확보에 필수적으로 고려하여야 할 사항이다.

화재 시 콘크리트 부재에 발생하는 폭렬은 이론상으로 가열 중 발생되는 내부의 증기압력이

1) 초고층 건물의 유래는 1885년 미국 시카고의 홈 인슈어런스 빌딩에서 유래되었으며, 현재 국제 고층건물학회(CTBUH)에서는 지상 50층 이상, 높이 200m 이상의 건물을 초고층 건물로 규정하고 있음. 국내 건축법에서는 11층 이상, 31m 이상의 건물을 고층 건물로 규정하고 있으나 초고층 건물에 대한 별도의 규정은 없음.

2) 국내에서 고강도콘크리트는 한국콘크리트학회에서 정한 압축강도 40MPa 이상의 콘크리트를 말하며, 미국 ACI에서는 42MPa로 정하고 있다. 일본에서 폭렬의 검증을 요구하는 콘크리트 압축강도는 60MPa로 각국의 강도값은 약간씩 차이가 있으며, 기술개발에 따라 강도기준이 상향조정되고 있음.



(a) 보통강도콘크리트 (b) 고강도콘크리트

〈그림 1〉 콘크리트 기둥의 폭렬

원인이며, 고강도콘크리트는 보통강도콘크리트에 비해 낮은 투과성을 지니고 있어 이러한 압력발생에 민감하다. 즉 콘크리트 부재가 화재에 노출 시 부재 내부에 발생되는 매우 높은 수증기 압력은 고강도콘크리트의 높은 밀도 때문에 밖으로 배출되지 못하며, 이 압력이 포화수증기압에 도달(300°C에서 압력은 약 8MPa)하여 고강도콘크리트의 인장강도(약 5MPa)를 상회하게 되면 폭렬이 발생하게 된다. 또한 폭렬이 계속됨에 따라 콘크리트 부재의 단면손실이 증가하게 되고 이러한 과정이 계속 진행되면서 부재 내부 철근으로의 열 전달율을 증가시켜 최종적으로 부재의 구조내력이 상실되게 된다.

3. 초고층 건물에서의 피난

초고층 건물에서의 화재를 대비한 기본적인 방재대책, 즉 소화설비, 방화 · 방연구획, 피난계획 등에 대한 사항은 일반 건물과 차이가 없다. 단, 초고층 건물의 경우 일반 건물에 비해 건물 특성상 재실자 증가 및 피난 경로 연장 등에 요인으로 피난에 필요한 시간이 증가할 수 있다.

초고층 건물의 피난계획에서 고려할 사항 중의 하나는 안전구획의 확보이다. 안전구획의 개념은 초고층 건물과 같이 피난에 긴 시간을 요하는 건물에서 화재 시 재실자를 건물 내의 연기와 화염으로부터 수단계로 방호된 구획에 순차적으로 피난하도록 하여 건물 내에서 화재진화 시까지 재실자의 안전을 도모하는 개념이다.

위와 같이 초고층 건물에서의 피난계획에는 화재 시 재실자가 건물 내에서 상황종료 때까지 피난하는 것이 주요한 개념으로 인정되고 있으므로 화재로 인한 건물 붕괴 시 일반 건물에 비하여 인명피해가 크게 증가할 수 있다. 따라서 초고층 건물의 기둥 · 보 등의 주요부재는 일반건물에 요구되는 이상의 내화성능을 확보할 필요가 있다. 현재 국내에서는 12층 이상, 높이 50m 이상의 건물 주요부재는 3시간의 내화성능 이상의 내화성능을 확보하도록 규정하고 있으며, 이에 따라 초고층 건물에 적용되는 고강도 콘크리트부재의 경우 최소 3시간 또는 그 이상의 내화성능을 확보할 필요가 있다.

초고층 건물에 고강도콘크리트를 적용 시 위와 같은 이유로 화재 시 내화성능 저하를 방지할 수 있는 방법에 대한 고려가 필요하며, 그중에서도 특히 폭렬 억제에 대한 고려가 필요하다.

4. 고강도콘크리트의 내화성능 확보

초고층 건물을 포함한 고강도콘크리트 부재가 시공된 건물의 화재 시 부재의 내화성능 저하를 방지하기 위해서는 시공 시 콘크리트의 폭렬발생을 최소화하는 방법과 시공된 건물의 경우는 부재에 폭렬발생 및 폭렬에 의한 구조성능 저하를 방지할 수 있는 방법을 고려하여야 한다.

가. 시공 시 폭렬 방지 방법

(1) 기둥 등 부재의 크기는 내화성능에 영향을 미치므로 부재 크기에 대한 고려가 필요하다. 일례로 NRCC[3]에서 권고하는 고강도콘크리트 기둥의 최소한의 크기(사각형 또는 원형)는 요구되는 내화시간별로 각각 1시간(12in), 1.5시간(14in), 2시간(16in), 3시간 이상(20in)이다.

(2) 콘크리트 배합 시 폴리프로필렌 섬유 또는 강섬유를 첨가하면 콘크리트의 인장강도가 향상되어 폭렬을 감소시킬 수 있다. 이는 폴리프로필렌 섬유를 혼입할 경우 섬유가 콘크리트의 온도 상승 시 170°C에서 녹아 콘크리트 내부의 증기 압력을 외부로 방출할 수 있는 통로를 생성하여 압력 상승에 의한 폭렬을 방지하기 때문이다.

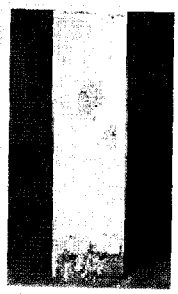
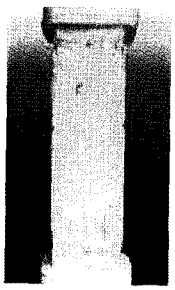
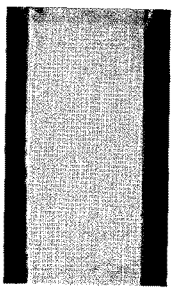
(3) 실리카질 골재를 대신한 탄산염 골재를 사용하는 경우 폭렬이 감소되어 내화성능을 향상시킬 수 있다. 이는 주로 탄산염 골재의 열용량이 높아 폭렬을 방지하는 데 도움이 되기 때문이며, 관련 연구 결과 탄산염 골재를 사용한 고강도콘크리트 기둥이 실리카질 골재를 사용한 고강도콘크리트 기둥에 비해 10% 정도 내화성능이 우수한 것으로 나타났다.

(4) 폭렬의 발생은 기둥의 철근 배근방법에도 영향을 받으므로 띠철근 및 Cross Tie를 설치하는 경우 폭렬을 감소시킬 수 있다. 구체적으로는 고강도콘크리트 기둥에서 철근 배근 시 띠철근을 기둥의 중심방향으로 135° 꺾어서 설치하고 측면 철근의 양을 늘리거나 철근을 보통강도콘크리트 기둥의 0.75배 간격으로 조정하여 배근할 경우 높은 내화성능을 나타낼 수 있다.

3) National Research Council Canada

나. 기존 건물의 폭렬방지 방법

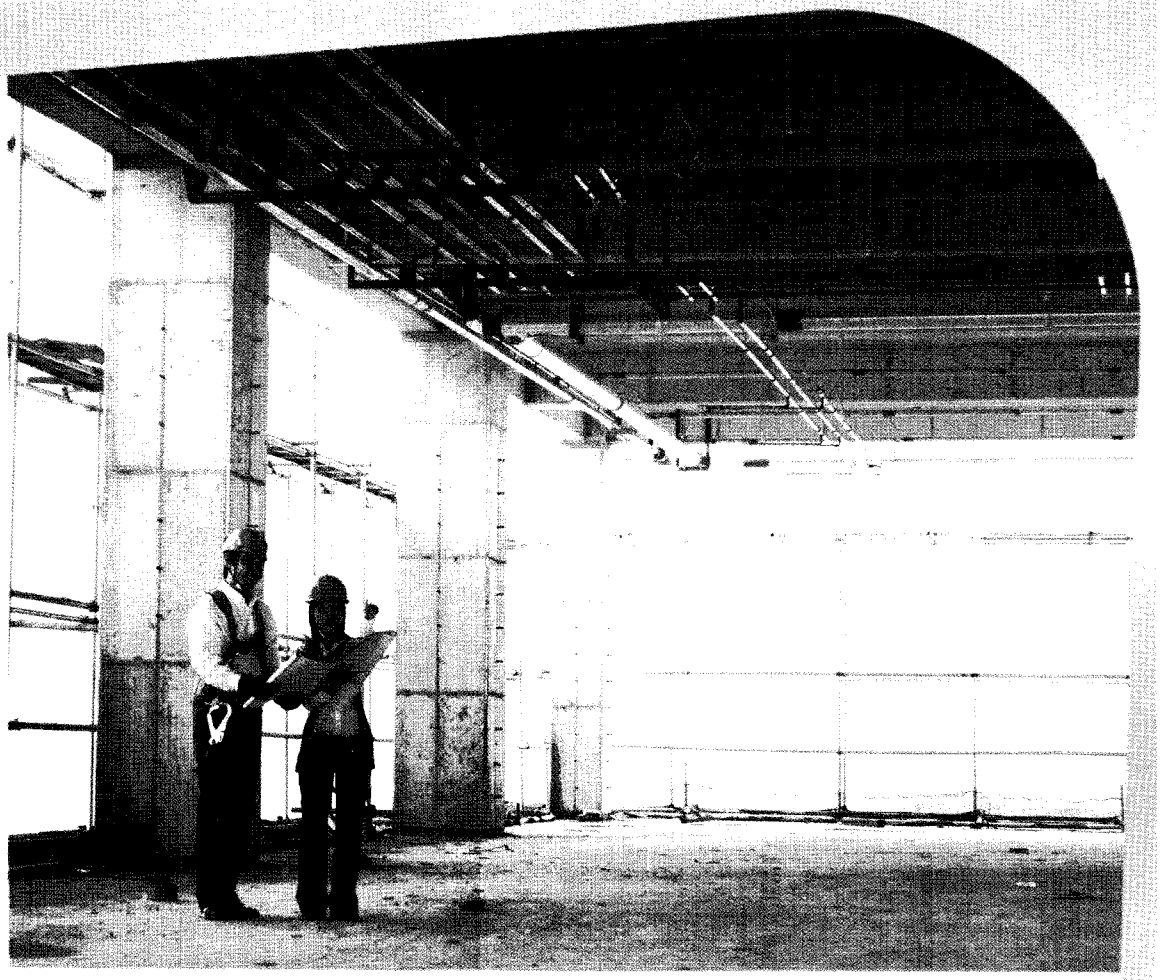
이미 시공된 건물의 경우는 기둥 등 부재 외부에 내화모르터, 내화보드 또는 내화도료 등을 피복하여 화재 시 부재의 온도상승을 억제시키는 방법으로 폭렬을 방지할 수 있다. 단, 이 경우 기둥의 단면 상승에 의한 공간 협소 등이 발생할 수 있으며, 시공 시 피복재별로 균일한 피복두께 확보 및 시간경과에 따른 피복재의 내구성 상실 등에 대한 고려가 필요하다.

명칭	AFR 콘크리트	FPC 공법	FRCC 공법
사진			
강도	80~120MPa	60MPa 이상	60~100MPa
특징	• PP섬유 혼입 (직경 0.2㎜ 이하, 길이5~20㎜) • 혼입률 0.1~0.35% • AFR(Advanced Fire Resistant)	• PP 분말 혼입 • 혼입량 1~3kg/㎥ • FPC (Fire Performance Concrete)	• 규산칼슘판 피복 • 두께 20㎜ 이상 • FIRECC (Fire Reinforced Concrete Column)

〈표〉 고강도콘크리트 내화성능 저하 방지 방법

화재 시 고강도콘크리트 부재의 내화성능은 사용된 재료, 적용 하중 및 화재강도 등의 특성에 달렸으며, 폭렬 외에도 이에 따른 콘크리트의 강도손실 등에도 영향을 받게 된다. 따라서 기 시공된 건물에서의 부득이한 경우 외에는 부재 외부의 내화피복보다는 건물설계 단계에서 고강도콘크리트의 부재에 요구되는 내화성능을 확보하는 것이 종합적인 건물안전차원에서 유리하다.

현재 국내에서는 국토해양부에서 2008년 7월 21일 고시한 국토해양부고시 제2008-334호 「고강도콘크리트 기둥·보의 내화성능 관리기준」에 의하여 고강도콘크리트의 내화성능에 대한 관리가 이루어지고 있다.



5. 맺음말

이상에서 초고층 건물에 고강도콘크리트를 적용하는 경우 화재 시 나타날 수 있는 콘크리트의 특성 및 건물 등 안전을 위하여 고강도콘크리트 적용 시 고려해야 할 일반적인 사항에 대하여 기술하였다.

고강도콘크리트는 보통콘크리트에 비하여 많은 장점을 지닌 고성능재료로 근래에 초고층 건물에 내구성 증가 및 부재 단면 감소의 목적으로 사용이 증가하고 있다. 하지만 고강도콘크리트는 화재 시 폭렬발생이 크고 이에 따라 부재의 내화성능이 저하될 가능성이 크기 때문에 초고층 건물에 적용 시 일반 건물에 비하여 더욱 세심한 고려가 필요하며, 건물 설계 단계에서부터 내화성능의 확보를 목적으로 적정한 내화성능 확보 대책을 적용할 필요가 있다.

[참고문헌]

1. "고강도콘크리트 기둥·보의 내화성능 관리기준" 국토해양부고시 제2008-334호
2. 建築放火論, 建築學大係 21권
3. Kodur, V.K.R. and McGrath, R. "Performance of High Strength Concrete Columns Under Severe Fire Conditions", Proceedings Third International Conference on Concrete Under Severe Conditions, Vancouver, BC, Canada, pp. 254-268, 2001.
4. National Research Council of Canada, National Building Code of Canada, Ottawa, ON, 1995.