

# 초고강도 콘크리트의 내화성능에 관한 일본건설사의 연구동향 및 성능인증 현황

The State of Research and Performance Certification for Fire Resistance of High Strength Concrete in Japan



김무한\*  
Moo-Han Kim



윤현도\*\*  
Hyun-Do Yoon



유재철\*\*\*  
Jae-Cheol Yoo



강선종\*\*\*\*  
Seon-Chong Gang



김규용\*\*\*\*\*  
Gyu-Yong Kim

## 1. 서론

최근 (초)고층화 건축물의 수요가 증대됨에 따라 향후 철근콘크리트조 건축물이 증가할 것으로 전망되고 있으며, 아울러 초고강도 콘크리트의 사용 또한 증가할 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 각 건설사들은 콘크리트의 화재시 발생하는 폭발로 인해 피복두께의 감소, 철근온도의 상승 등에 의해 구조성능이 저하되는 위험성이 지적되고 있다. 이러한 문제에 대하여 여러 콘크리트 연구자들은 초고강도 콘크리트의 개발 및 실용화와 아울러 콘크리트의 고온특성 구명과 건물의 구조/화재 안전성 확보를 위한 폭발방지 및 내화대책을 강구하고 있다.

또한, 건축법의 성능규정화에 따라 건축구조물의 내화성능을 달성하기 위한 성능인증이 실시되는 등 시방규정으로부터 성능규정으로의 변환이 이루어지고 있는 시점에서, 건축적 요구성능에 대한 건축주 및 사용자의 인식은 향상되었으며, 건축구조물의 안전성능 및 사용성능 등이 명확하게 확보되도록 각 건설사에 요구하는 수준에 이르렀다.

이에 본고는 초고강도 콘크리트의 개발과 더불어 성능규정형 건축법을 근거로 화재안전성능에 대해 인증제를 실시하고 있는 일본을 중심으로, 각 건설사들이 사용자에게 제시하고 있는 기술적으로 인증 받은 내화대책의 현황을 문헌조사를 받아오므로 보고함으로써, 참고자료로 제시하고자 한다.

## 2. 일본 건축기준법의 성능규정화에 의한 내화성능 인증 현황

### 2.1 일본 건축기준법 제2조 7호(내화구조 벽, 기둥, 바닥)

건축물의 부분에서 구조부재 중 내화성능(통상 화재가 종료될 때까지 화재에 의한 건축물의 도괴 및 연소를 방지하기 위하여 당해 건축물의 부분에 필요로 되는 성능)에 관하여 <표 1>과 같이 법령으로 정하여 기술적 기준에 적합하는 철근콘크리트조, 조적조 기타의 구조로서 국토교통대신(한국의 건설교통부 장관에 해당)이 정한 구조방법을 사용하거나 국토교통대신의 인정을 받도록 한다.

### 2.2 건축기준법 제37조의 지정건축재료(콘크리트 등)의 성능 평가

건축물의 기초, 주요 구조부, 기타 안전상, 방화 또는 위생상 주요한 정령으로 정하여진 부분에 사용 하는 목재, 강재, 콘크리트 기타의 건축재료로서 국토교통대신이 정한 것(지정 건축재료)으로 다음의 각호에 해당하는 것으로 하지 않으면 안 된다.

- ① 품질이 지정건축재료로서 국토교통대신이 지정하는 일본

표 1. 각 부재의 내화시간(건축기준법 시행령 제107조)

건축물의 부분 건축물의 층수	최상층 및 최하층으로부터의 층수가 2층 이상 4층 이하	최하층으로부터의 층수가		
		5층 이상 14층 이하	15층 이상	15층 이상
벽 (내력벽)	간막이벽	1시간	2시간	2시간
	외벽	1시간	2시간	2시간
기둥		1시간	2시간	3시간
바닥		1시간	2시간	2시간
보		1시간	2시간	3시간
지붕			30분	
계단			30분	

\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수  
kimmh@cnu.ac.kr  
\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 부교수  
\*\*\* 정회원, 한솔건설(주), 대표이사  
\*\*\*\* 삼성물산(주) 건설부문 건축사업본부  
\*\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 조교수

공업규격(JIS) 또는 일본 농림규격(JAS)에 적합한 것

- ② 전 호에 게재된 것 이외의 지정건축재료는 국토교통대신이 정하는 안전상, 방화상 또는 위생상 필요한 품질에 관련된 기술적 표준에 적합한 것에 대하여 국토교통대신의 인정을 받도록 함.

### 2.3 일본 국토교통건설대신(건축기준법 기준)에 의한 내화 성능평가

콘크리트 구조물은 법적으로 인정하는 내화구조이나 고강도의 경우 화재시 콘크리트가 폭발하는 특성에 대하여 내화성능이 요구되며, 이에 대하여 문제점을 해결하기 위한 폭발방지 공법 및 재료, 구조물의 화재열 차단공법 등에 대한 기술이 개발되었다. 이러한 기술적 내용에 대하여 국토교통성의 대신이 인증을 하여 사용토록 하고 있다.<sup>1)</sup>

#### 2.3.1 개요

- 국토교통건설대신인정에 관련한 방내화구조, 방화설비, 방화재료 등의 시험을 행하여 성능평가를 행하고, 성능을 인증(성능평가서 교부)함.
- 내화구조(법제2조 제7호), 준내화구조(법제2조 제7호 2항), 방화구조... 등

#### 2.3.2 성능평가인증절차

- 성능평가인증기관(일본건축종합시험소 등)의 선정과 상담
- 성능평가 신청(성능평가신청서, 성능평가신청요령, 성능평가업무계약 등)
- 성능평가를 위한 시험실시(내화시험 등)
- 성능평가위원회(평가결과 심의)
- 성능평가서 교부
- 성능평가의 공표(계약자의 승인에 의해 성능평가내용을 각 재단의 기관지 등에 게재)

#### 2.3.3 내화성능 인증내용

- 시험체(수직부재: 기둥, 내력벽)의 가열과 재하(載荷)에 의한 최대축방향 수축량 및 최대축방향 수축속도가 다음 항목의 이하로 평가한다.

- 최대축방향 수축량(mm) :  $h/100$
- 최대축방향 수축속도(mm/분) :  $3h/1000$

여기서, h는 시험체의 최초 높이(mm)

표 2. 건축부재의 최고상승 제한온도

구조의 종류 및 온도	건축물의 부분	기둥/ 보	슬래브/ 지붕/벽
철근콘크리트조	최고온도	500 °C	550 °C
철근콘크리트제 판넬조 등			
프리스트레스콘크리트조	최고온도	400 °C	450 °C
강구조	최고온도	450 °C	500 °C
박판경량형 구조	평균온도	350 °C	400 °C

- 시험체(수평부재: 바닥, 지붕 및 보)의 가열과 재하(載荷)에 의한 최대변위량 및 최대변위속도가 아래 항목의 이하로 평가한다.

- 최대변위량(mm) :  $L^2/400d$
- 최대변위 속도(mm/분) :  $L^2/900d$

여기서, L은 시험체의 지점간 거리(mm)

d는 시험체의 구조단면에서 압축단으로부터 인장단까지의 거리(mm)

- 재하(載荷)하지 않고 시험을 행하는 경우는, 구조내력상 주요부분에 강재를 사용하는 구조에 대하여 강재표면에 균등하게 열전대를 부착하여 강재의 최고온도 또는 평균온도가 시험종료시까지 <표 2>에 제시된 각 부재별 최고온도를 초과하지 않음을 평가한다.

### 2.4 일본 종합건설사의 내화구조성능 인정현황

일본의 종합건설사는 초고강도 콘크리트 구조물에 대하여 내화구조 인증을 취득하여 건축구조물에 적용하고 있으며, 그 현황으로는 다음과 같다.

- 다이세이(大成), 가지마(鹿島), 다케나카(竹中), 오바야시쿠미(大林組), 시미즈(清水) 등의 5대 기업은 자체 또는 컨소시엄에 의해 내화구조성능 인정을 받음.
- 구마가이(熊谷)건설, 사도공업(佐藤工業), 토다(戸田)건설, 니시마츠(西松)건설, 하자마(間)건설, 후지타, 마에다(前田)건설공업의 7개 회사가 컨소시엄을 결성, 뒤를 이어 내화구조성능 인정을 득하는 등 각각의 특화된 내화공법으로 건축내화성능 인증을 받음.

### 3. 가지마(鹿島)건설 150 MPa 콘크리트의 내화구조 성능

가지마(鹿島)건설은 내폭렬이 우수한 초고강도 콘크리트의

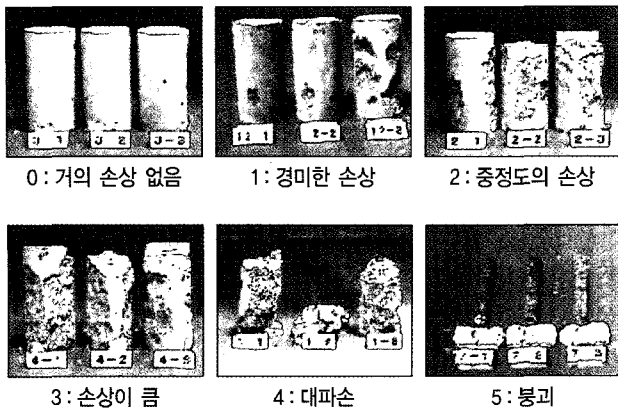


그림 1. 폭렬에 의한 손상도의 목시적 평가기준 (가지마건설)

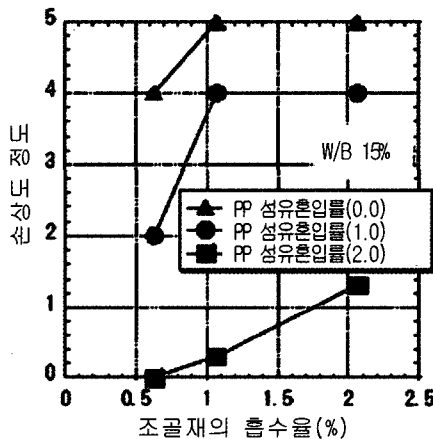


그림 2. 폭렬시 손상도에 미치는 조골재 흡수율의 영향(가지마건설)

개발을 위하여 폴리프로필렌(Polypropylene, PP)섬유를 혼합한 설계기준강도 150~180 MPa의 초고강도 콘크리트에 대하여 콘크리트의 폭렬성능평가 및 실 기둥부재에 대하여 내화성능평가를 실시하였다.

폭렬에 대한 손상도를 <그림 1> 및 <그림 2>에서와 같이 평가하였다<sup>2)</sup>. 조골재의 흡수율이 증가함과 더불어 폭렬에 의한 손상이 크게 평가되어, 조골재의 흡수율이 큰 쪽이 콘크리트

트의 함수율이 크게 되어 화재시의 콘크리트 내부 수증기압이 크게 되기 때문으로 나타났으며, 섬유 혼입률의 증가에 따라서는 폭렬에 의한 손상 정도가 크게 감소되었다.

또한, 콘크리트의 기둥부재에 대한 내화성능 평가는 <그림 3>과 같이 단면 1.0m×1.0m의 축소기둥에 대하여 「방내화 성능시험/평가업무방법서, 건축기준법 제2조 기준」<sup>1)</sup>에 근거하여 RC기둥 및 보 부재에 대하여 강재의 최고 온도가 500°C를 초과하지 않음의 내화성능을 규명하기 위한 실험을 실시하였다.

그 결과 <그림 3>에서와 같이 주철근의 최고온도가 500°C 이하로서 내화성능을 확인하였으며, 폭렬성능에 대하여는 각각의 물-결합재비 0.15에서 PP섬유를 1.5~2.0 kg/m<sup>3</sup> 혼합, 물-결합재비 0.18, 0.20에서 PP섬유를 1.0 kg/m<sup>3</sup> 혼합하여 내폭렬의 성능을 확보하였다.

섬유의 혼입률과 특성에 대하여는 PP섬유는 섬유길이가 길고, 직경이 작을수록 폭렬 방지 효과가 큰 것으로 평가되었다. 예를 들어 PP섬유 길이가 긴 20 mm×48 μm와 섬유직경이 가는 10 mm×18 μm의 경우 섬유 혼입량을 1.0 kg/m<sup>3</sup>으로 감소하여도 폭렬 방지 효과가 인정되었다.<sup>3)</sup>

#### 4. 다이세이(大成)건설 초고강도 콘크리트의 내화대책 신기술

##### 4.1 에틸렌비닐알콜(Ethylene Vinyl Alcohol, EVA)공중합체 섬유적용

초고강도 콘크리트의 강도발현 특성을 확보하기 위한 결합재료서 <그림 4>와 같이 보통시멘트:슬래그석고계 혼합재:실리카폼을 혼합한 3성 분계형이며, 석영계 골재를 사용하고, 물-시멘트비를 낮게 설정하여 구조체 콘크리트의 강도가 180 MPa 정도가 발현되었다.<sup>4)</sup>

이러한 고강도 콘크리트는 화재시 폭렬이 발생되기 쉬우므로 부재의 내력저하가 발생하는 위험성을 제어하기 위한 대책

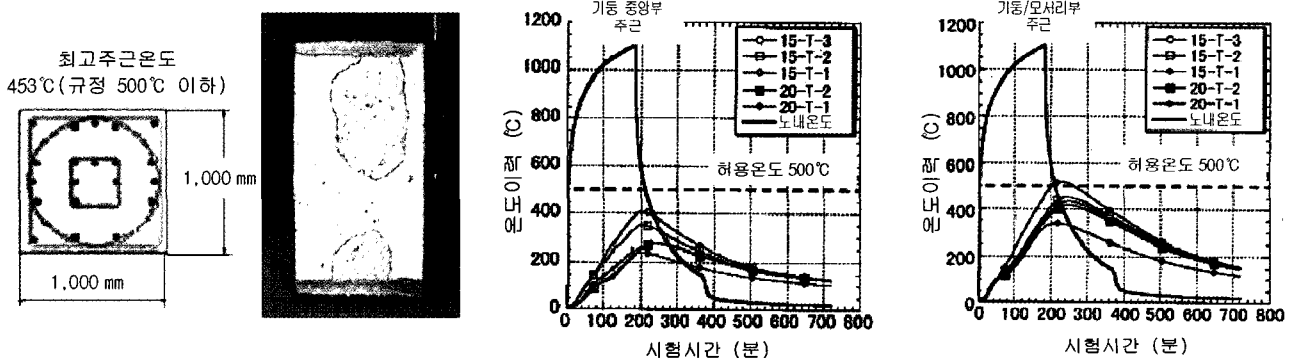
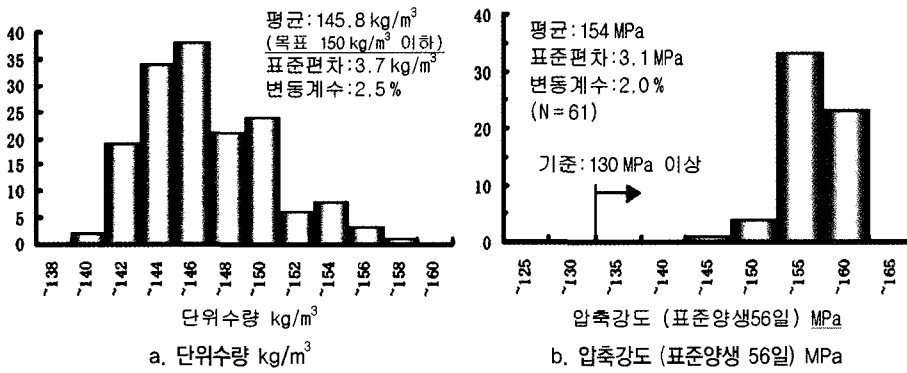


그림 3. 화재온도 1,100°C에 대하여 기둥 시험체의 주근 온도 500°C 이하 유지 성능(가지마건설)



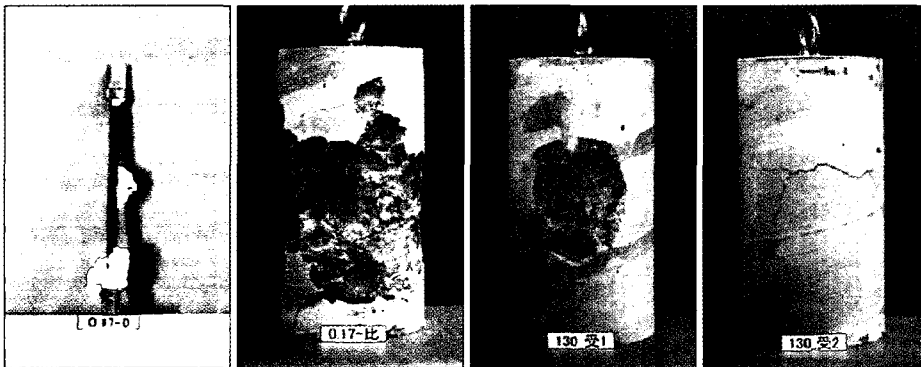
a. OPC(비중3.14)      b. 슬래그석고(비중2.90)      c. 실리카퐁(비중2.20)

그림 4. 3성분 시멘트(7:2:1 혼합)의 구성 (다이세이건설)



a. 단위수량 kg/m<sup>3</sup>      b. 압축강도 (표준양생 56일) MPa

그림 5. Fc 130 MPa의 적용시 단위수량과 압축강도 관리 (다이세이건설)



a. W/B 0.17      b. W/B 0.17      c. W/B 0.18      d. W/B 0.18  
 섬유 0.0 kg/m<sup>3</sup>(비교용)    섬유 2.5 kg/m<sup>3</sup>(비교용)    섬유 2.5 kg/m<sup>3</sup>(현장적용)    섬유 2.5 kg/m<sup>3</sup>(현장적용)

그림 6. 가열시험 후의 시험체 폭열상황 (다이세이건설)

으로 폴리프로필렌(Polypropylene, PP)섬유를 사용하는 것이 일반적인 방법이나, 콘크리트의 강도가 초고강도의 범위에 해당될수록 섬유양이 상대적으로 많아져 시공성을 저하시키는 등의 문제가 있다.

따라서 100 MPa를 상회하는 콘크리트를 대상으로 시공성을 저하시키지 않는 에틸렌비닐알콜(EVA)공중합체의 유기섬유를 선정하였다. 이에 대하여 초고강도 콘크리트의 RC 단주(短柱)시험체에 재가열시험, 실물시공시험 및 섬유혼입의 초고강도 콘크리트에 대하여 기초물성 실험을 실시하였다.<sup>5~7)</sup>

그 결과 기존의 PP섬유를 혼입한 콘크리트의 폭열방지 성능과 동등한 내화성능을 확보함과 아울러 실물시공실험에서는 초

고강도 콘크리트의 시공성이 개선됨을 확인하였으며, 에틸렌비닐알콜(EVA)공중합체 유기섬유를 혼입한 설계기준강도 150 MPa의 초고강도 콘크리트에 대하여도 건축기준법 제 37조 제2호 지정 건축재료의 국토교통대신의 인정을 확보하였다. 또한, 다이세이(大成)건설은 설계기준강도 130 MPa의 초고강도 콘크리트를 현장에 적용하면서 <그림 5>에 나타난 바와 같이 래미콘의 단위수량관리 및 관리용 시험체에 의한 압축강도 관리를 평가하였다. 래미콘의 단위수량 측정방법으로는 수중질량법에 의하여 평가한 결과 목표단위수량 값인 150 kg/m<sup>3</sup>에 대하여 다소 낮은 수준으로 관리되었으며, 허용범위의 상한값인 160 kg/m<sup>3</sup>를 상회하지 않는 범위에서 관리되었다.

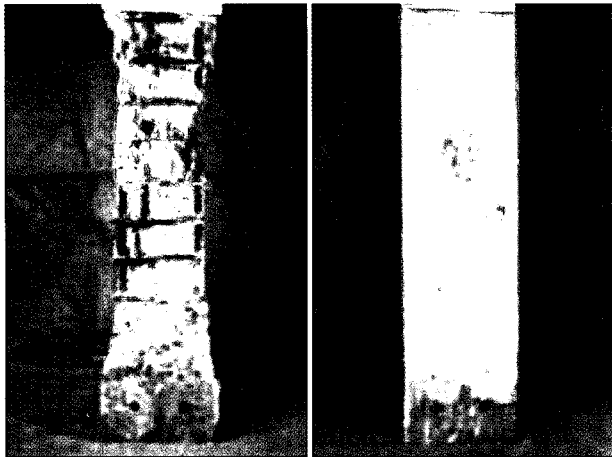
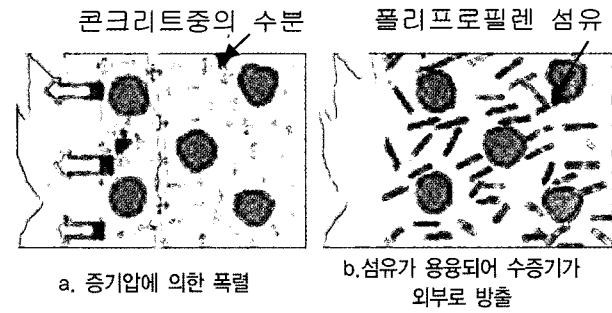
관리재령으로 56일의 압축강도 변동계수는 2.0%로서 배합강도를 결정시에 상정한 변동계수 5.0%에 안전적으로 관리되었다.<sup>8)</sup>

에틸렌비닐알콜(EVA)공중합체 유기섬유를 ISO 834표준가열고성에 의해 1시간의 가열시험을 실시하여 비교용 시험체에 대하여 현장 채용된 시험체의 폭열상황을 <그림 6>과 같이 평가하였다. 현장 채용된 시험체의 경우 물-결합재비 18%, 섬유량 2.5 kg/m<sup>3</sup>의 배합구성으로

폭열이 경미하게 평가됨으로써 설계기준강도 130 MPa 초고강도 콘크리트의 기둥부재로서 충분한 내화성능이 확보됨이 확인되었다.<sup>9)</sup>

### 5. 다케나카(竹中)공무점 및 시미즈(清水)건설의 AFR 콘크리트

설계기준강도 80 MPa 이상의 초고강도 콘크리트는 화재시 가열에 의한 박리, 비산의 우려가 있어 80 MPa 이상의 초고강도 콘크리트는 내화성능을 확보하기 위하여 내화피복을 시공하는 등의 대책이 필요함으로써 비용 상승과 부재 단면의



c. 일본 고강도 콘크리트 (80 MPa 이상)      d. AFR 콘크리트 폴리프로필렌섬유

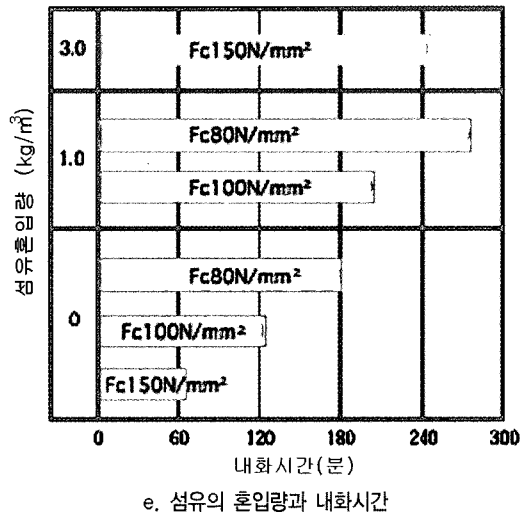


그림 7. AFR 콘크리트의 섬유혼입량과 내화성능 (다케나카 공무점)

증대가 문제로 된다.

이에 대하여, 다케나카(竹中)공무점과 시미즈(清水)건설은 AFR(Advanced Fire Resistant, 高耐火) 콘크리트에 대하여 공동연구 개발하여, <그림 7>과 같은 내화성능의 내용으로 건축기술성능증명(제60-01호)를 일본 건축종합시험으로부터 취득하였다.<sup>10)</sup>

AFR 콘크리트의 주요항목으로는 다음과 같다.

### 5.1 초고성능감수제의 개발

강도가 높은 콘크리트는 조직이 치밀하기 때문에 화재로 인한 내부의 수분 팽창압을 완화시켜주기 위하여 유기섬유혼입량을 증가시켜야 할 필요가 있다. 이 때문에 콘크리트의 유동성이 저하되어 기존의 기술로서는 150 MPa급의 초고강도 콘크리트를 시공하기가 곤란하다. 이에 대하여 특수 아크릴산계 폴리머의 분자구조를 변화시킨 초고성능감수제를 개발(다케모토(竹本)유지)하였다.

### 5.2 유기, 강섬유 복합기술의 개발

초고강도 콘크리트에 PP섬유 등의 합성섬유(직경 0.01 ~ 20.2 mm, 길이 5 ~ 20 mm)를 체적비 0.1 ~ 0.35%의 혼입량으로 균질하게 혼입함으로써 콘크리트의 박락, 비산을 방지할 수 있다. 유기, 강섬유 보합기술은 혼합된 강섬유가 콘크리트를 보강시키고, 화재시 표면 콘크리트가 박락, 비산이 되지 않도록 방지하는 것이다. 이 기술에 의해 열용력 저항성을 향상시키는 효과가 확인되었으며, 지진 시에도 강섬유가 콘크리트의 인성을 증가시켜 손상을 억제시키는 추가적인 효과도 기대할 수 있다. 또한, 50층 이상의 초고층 RC조 시대에 대응력을 강화하기 위하여 내화성이 우수한 150 MPa급 초고강도 콘크리트를 개발이 진행되고 있으며, AFR 콘크리트를 사용한 초고강도 콘크리트 구조물의 시공실적은 <표 3>과 같다.

표 3. AFR(Advanced Fire Resistant) 콘크리트의 시공실적 (다케나카 공무점)

건물명	H가구 초고층동	쿠즈하 타워시티	기카하나나 그랜아비뉴6호동
층수	56 층	42 층	25 층
구조	RC조	RC조	RC조
콘크리트강도	$f_c = 100$ MPa	$f_c = 80$ MPa	$f_c = 80$ MPa
준공일	04년2월	03년11월	03년11월
설계	도시기반정비공단 다카나카	다카나카	다카나카
시공	다카나카/JV	다카나카	다카나카

### 6. 오오바야시(大林)건설의 고강도 콘크리트 폭발제어 및 CFT 내화기술 인증

설계기준강도 80 MPa 이상의 고강도 콘크리트에 대하여 소형의 기동모형부재를 이용하여 내화시험에 의해 고강도 콘크리트의 폭발 방지에 대한 검토를 실시하였다.

고강도 콘크리트의 폭발메커니즘에 관한 검토 결과 콘크리

트의 화재시에 폭발은 고온가열시에 콘크리트 표층부의 열응력 및 증기압의 복합작용에 의한 것으로 추론하여 고온에서의 콘크리트 수분이동이 큰 영향을 미치는 것으로 고려되었다.<sup>11)</sup>

즉, 고온가열된 부재에서 표면부의 수분은 가열면으로부터 증발되고, 저온측에 이동한 고습수열상태의 생성하여 표면부의 온도차가 급격하게 발생되면 열응력 및 증기압이 발생되어 폭발되는 것으로 사료된다. 따라서 폭발 방지의 기본적인 고려사항으로는 다음의 3가지 항목으로 나열된다.<sup>12)</sup>

- ① 표면부의 온도차를 완화
- ② 증기압을 저감
- ③ 폭발에 의한 비산되는 콘크리트를 제어

표 4. 폭발방지를 고려한 구체적 방법 (오오바야시 건설)

고려사항	대책
I. 온도상승을 억제	→ · 내화도료의 도포
II. 신속한 수분이동을 시킬것	→ · 가용(열)성 섬유혼입 · 증기방출관 설치
III. 콘크리트의 비산을 억제	→ · 강판(鋼板) 피복 · 표층부 mesh근 설치

### 6.1 CFT 구조에 의한 내화피복저감기술의 건설기술인증

#### 6.1.1 100 MPa 이상의 초고강도 콘크리트를 충전한 CFT 기둥에서 방화성능인증

종래의 내화피복저감기술이 적용되어 왔으나, 압축강도가 100 MPa 이상의 초고강도 콘크리트를 충전한 CFT 기둥에서 내화피복저감의 실증 실험을 통하여 내화피복을 저감하여도 내화안전성에 문제가 없는 것으로 확인되었다.

#### 6.1.2 CFT 기둥의 단면 축소화 가능

CFT 기둥의 내화 피복의 뿔칠 두께는 반감(半減)함으로써 기둥 단면의 축소화가 가능하였다. 또한 초고강도 콘크리트의 충전에 의해 기둥의 내력과 강성이 증가하여 기둥 단면적을 10 ~ 20 % 저감할 수 있다. 따라서 초고층 빌딩의 유효면적을 증대할 수 있다.

#### 6.1.3 내화피복의 뿔칠제와 뿔칠공정을 생략

내화피복의 뿔칠두께를 저감하여 뿔칠재의 절약하고, 2중, 3중의 뿔칠 과정을 생략할 수 있다.

#### 6.1.4 CFT 기둥의 철골량을 저감

CFT 기둥에 초고강도 콘크리트를 충전함으로써 기존의 콘크리트를 충전한 CFT 기둥과 비교하여 철골량을 저감할 수 있다.

## 7. 고강도RC조 기둥의 내화성능 향상기술 FIRECC 콘크리트 공법

일본 중견건설사 7개사로서 구마가이(熊谷)건설, 사도공업(佐藤工業), 토다(戸田)건설, 니시마츠(西松)건설, 하자마(間)건설, 후지타, 마에다(前田)건설공업은 공동연구에 의해 FIRECC (Fire Resistant Reinforced Concrete Column) 공법을 개발하였다. 설계기준강도 60 MPa 이상 100 MPa 이하의 고강도 콘크리트를 사용한 철근콘크리트조의 기둥부재의 외주면에 각종 피복을 설치하여 기둥부재의 내화성능을 향상시킨 것으로, 건축기술성능증명(제02-17호)을 일본 건축총합시험으로부터 취득하였다.<sup>13)</sup>

여기에서 대상이 되는 피복 공법은 ① 섬유혼입 규산칼슘판, ② 세라믹계 경질 내화피복재, ③ 모르타르, ④ 셀룰로우스 섬유혼입 모르타르의 4종류에서 그 중 하나의 재료를 기둥 외주면에 시공하는 공법이다. 건축기술 성능증명의 내용으로는 다음과 같다.

- 폭발방지성능 : 설계기준강도 60 MPa 이상 100 MPa 이하의 고강도 콘크리트를 사용한 RC 기둥부재에 FIRECC 공법을 적용함으로써 화재가열 조건에서 180분간 이상에서 폭발을 방지할 수 있음
- 구체온도억제성능 : 설계기준강도 60 MPa 이상 100 MPa 이하의 고강도 콘크리트를 사용한 RC 기둥 부재에 FIRECC 공법을 적용함으로써 화재가열 조건에서 콘크리트 피복으로부터 50 mm의 위치(철근 표면 위치)에서 콘크리트의 온도를 200 °C 이하로 90분간 이상, 억제할 수 있다.

## 8. FPC(Fire Performance Concrete)공법

### 8.1 고강도 철근콘크리트조 기둥의 화재시 폭발제어공법

FPC 공법 공동개발 연구회는 고강도철근콘크리트조 기둥의 화재시 폭발제어공법으로 건축기술성능증명(제03-15호)을 일본 건축총합시험으로부터 취득하였다<sup>10)</sup>. 공법의 개요는 철근콘크리트조의 기둥부재에 사용되는 설계기준강도 60 MPa 이상 120 MPa 이하의 고강도 콘크리트에 폴리프로필렌수지 분말을 1.0 ~ 3.0 kg/m<sup>3</sup> 혼입하여 부재의 내화성능을 향상시키는 기술이다. 건축기술 성능증명의 내용으로는 다음과 같다.

- FPC 공법에 사용되는 콘크리트는 RC조 기둥의 화재시 폭발면적이 FPC 콘크리트가 폴리프로필렌 수지분말을 혼입하지 않은 콘크리트에 비해 작고, 폭발이 제어됨이 확인되었다.

-FPC 콘크리트를 사용한 RC조 기둥은 기존 콘크리트를 사용한 부재보다 내화성능이 개선된 결과로 설계기준강도 60 MPa 이상 100 MPa 이하의 고강도 콘크리트에 수지 분말을 1.0 kg/m<sup>3</sup> 혼합함으로써 180분 이상의 내화시간을 만족하고, 설계기준강도 100 MPa 이상 120 MPa 이하의 고강도 콘크리트에 수지분말을 3.0 kg/m<sup>3</sup> 혼합함으로써 180분 이상의 내화시간을 만족하는 것으로 내화성능이 평가되었다.

## 9. 맺음말

초고강도 콘크리트의 초고층 건축구조물의 적용과 더불어 고강도 콘크리트의 폭발특성과 건축부재의 화재안전성에 대한 대책의 현황을 일본사례의 문헌조사를 바탕으로 기술하였다.

일본의 경우 초고강도 콘크리트의 화재안전성능에 대하여 국토교통성(구, 건설성) 고시1433호의 기술기준(내화성능검증법)에 의해 국토교통대신(장관)의 성능인증을 받음으로써 건축주에게 기술적 대책으로 제시하여 목표로 하는 건축적 성능을 달성하는 체계를 갖추고 있다.

이러한 성능증명에 의한 기술의 인 증은 단순한 설계/시공상에서의 대책뿐만이 아니라 건축주 및 사용자에게 건축적 요구 성능을 달성하기 위하여 납득할 수 있는 기술적 서비스를 제공하기 때문에 상호간의 의사소통의 수단으로서 합리적이고, 유효하다고 할 수 있다. 아울러 최근 건축법(일본 건축기준법)도 지방규정에서 성능규정으로 전환되면서 목표로 하는 건축적 성능을 달성하기 위한 다양한 기술, 공법개발이 유도되고 활용될 수 있도록 여건이 조성되고 있으며, 건축주 및 사용자가 알기 쉽게 표현되도록 요구되고 있다.

현재 국내에서도 건축물의 초고층화에 의한 고강도 콘크리트의 사용이 증가되고 초고층 건축물의 화재안전성에 대한 관심이 고조되고 있으며, 이에 대한 연구와 개발이 활발히 진행되고 있는 실정이다. 우리나라도 초고강도 및 고내화성 콘크리트의 기술적 성과와 적용기술의 발전, 그리고 제도적 차원에서 개발된 기술이 인증체계를 바탕으로 합리적으로 적용될 수 있기를 기대하며 본고를 마친다. □

## 참고문헌

1. 日本建築センター/(財)日本建築総合試験所, 防耐火性能試験評価業務方法書.
2. 百瀬晴基, 櫻本文敏, 外1人, ポリプロピレン繊維を混入した設計基準強度150N/mm<sup>2</sup>の超高強度コンクリートの耐火性に関する実験的研究, 콘크리트工學年次論文集, Vol.25, No.1, 2003.
3. 百瀬晴基, 櫻本文敏, 外2人, “耐爆裂性能に優れたFc150N/mm<sup>2</sup>の超高強度コンクリートの開発”, 鹿島技術研究年報, 第52号, 2004. 9, pp.125~130.
4. 小室努, 外3人, “150N/mm<sup>2</sup>級の超高強度コンクリートを用いたRC柱を實用化研究, 콘크리트工學”, Vol.39, No.10, 2001. 10, pp.9~16.
5. 小阪英生, 外5人, “超高強度コンクリートを用いたRC柱の開発”, 大成建設技術センター報, 第36号, 2003.
6. 黒岩秀介, 外2人, “Fc 100 N/mm<sup>2</sup>を超えるコンクリートの爆裂対策 —エチレンビニルアルコール共重合体繊維の適用—”, 大成建設技術センター報, 第36号, 2003.
7. 黒岩秀介, 外6人, “設計基準強度 130 N/mm<sup>2</sup>を超高強度コンクリートの適用”, 大成建設技術センター報, 第37号, 2004.
8. 黒岩秀介, 外4人, “Fc 130 N/mm<sup>2</sup>の高強度コンクリートを用いた超高層集合住宅の施工”, 콘크리트工學, Vol.42, No.10, 2004. 10, pp.44~49.
9. 陣内浩, 外2人, “實用化を迎えた設計基準強度150N/mm<sup>2</sup>級超高強度コンクリートの性能”, セメント・コンクリート, No.678, 2003. 8, pp.10~16.
10. 竹中技術研究報告, No.59, 2003.
11. 長尾覺博, 外, “高強度コンクリートの爆裂に関する一考察”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.18, No.1, 1996, pp.657~662.
12. 長尾覺博, 外1人, “高強度コンクリートの爆裂制御に関する検討結果”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.19, No.1, 1997, pp.631~636.
13. 日本建築総合試験所, 建築技術性能認証/建築技術性能証明技術一覽.
14. 윤현도, 김규용, 한병찬, “고온을 받은 콘크리트의 강도특성”, 콘크리트학회 논문집, Vol.14, No5, 2002. 10, pp.698~707.
15. 김무한, 권영진, 김용로, 장재봉, “화재피해를 입은 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집, Vol.21, No.1, 2005, pp.107~114.
16. 김무한, 권영진, 김용로, 장재봉, “고온을 받은 콘크리트의 공학적특성”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.18, No.1, 2004, pp.31~36.
17. 한천구, 양성환, 이병렬, 황인성, 전성천, “폴리프로필렌 섬유 혼입률 및 부재크기 변화에 따른 고성능콘크리트의 내화특성”, 콘크리트학회 논문집, Vol.14, No.4, 2002, pp.449~456.
18. 이차돈, 신영수, 홍성길, 이경구, 이승환, “화해를 입은 실물크기 보통강도 RC 기둥의 거동”, 콘크리트학회 논문집, Vol.15 No.6, 2003, pp.866~876.
19. 한천구, 양성환, 이병렬, 황인성, “골재종류 및 폴리프로필렌 섬유 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭발 특성에 관한 연구”, 콘크리트학회 논문집, Vol.11 No.5, 1999, pp.69~77.