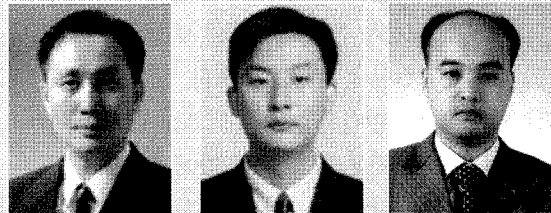


초고층용 세계 최초 섬유혼입 고내화콘크리트의 펌프압송 기술 상용화

이주호 롯데건설(주) 기술연구팀장
 박순진 롯데건설(주) 기술연구팀 건축담당장
 김정진 롯데건설(주) 기술연구팀 건축담당



1. 추진배경

21세기를 전후하여 세계의 초고층 건축물 시장은 비약적으로 증가하고 있으며 향후 세계 초고층 시장규모는 2015년 까지 약 560조원에 이를 것으로 추정하고 있다.1) 이러한 초고층 구조물의 주요 구조부재로 고강도 콘크리트(KS기준, 40MPa이상으로 정의)가 점차 확대되어 적용되고 있으며, 건축물이 고층화, 대형화 되어감에 따라 고강도 콘크리트의 강도도 향상되어 적용되고 있다. 그런데 고강도 콘크리트는 화재에 노출 시 콘크리트의 일부가 떨어져 나가는 폭발현상

이 발생하며 이로 인하여 구조부재의 내력성능 저하, 입주민 안정성 문제 및 막대한 보수비용 발생 등의 단점이 있다.

특히 2001년 9월, 미국에서 발생한 세계 무역센터 건축물의 붕괴는 초고층 건축물의 화재에 대한 안전성 확보 문제와 고층건물에 대한 불안감을 초래하였다. 이후 초고층 구조물에 사용되는 고강도 콘크리트의 폭발현상과 내화성능 확보는 건설분야에서 반드시 해결해야 할 문제가 되었으며, 국내에서도 대형건설사와 학계를 중심으로 활발하게 연구가 진행되어 왔다. 그 결과 2008년 7월 국토해양부에서는 설계기준강도 50MPa이상의 고강도콘크리트 기동·보에 대한 내

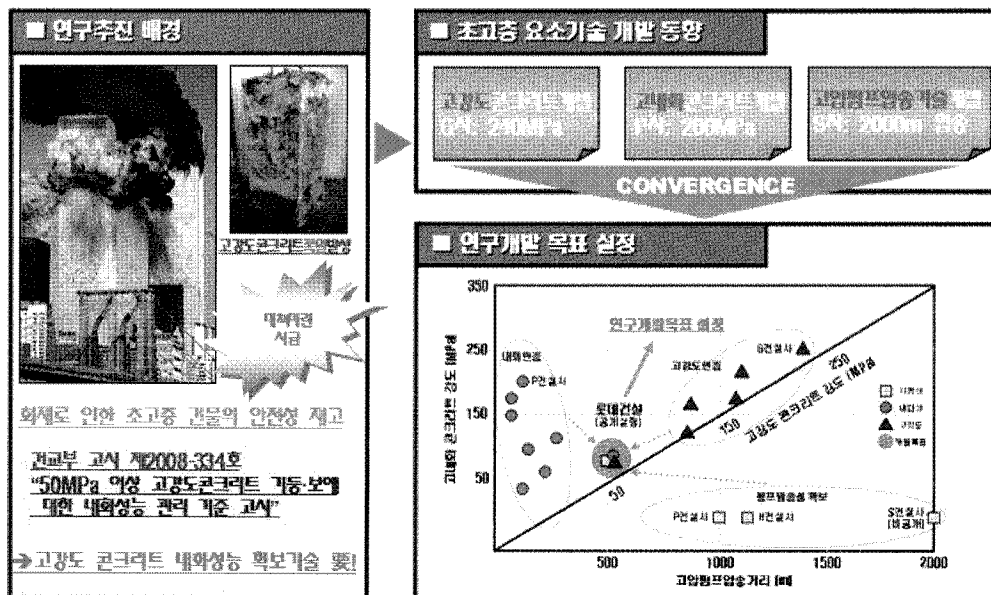


그림 1. 연구추진 배경 및 연구개발 목표

화성능 관리 기준을 마련하여 고시하였다. (고시 제 2008-334호 “고강도콘크리트 기동·보의 내화성능 관리 기준”)

현재까지 고강도 콘크리트의 내화성능 확보를 위한 방법 중 시공성, 경제성 측면에서 섬유혼입을 통한 내화성능 확보 방안이 선호되고 있으나 섬유혼입에 따른 콘크리트의 유동성 감소, 이로 인한 고층부 콘크리트 타설 시 콘크리트 압송 관 내 콘크리트 폐색 현상 등의 난제가 있다.

현재까지의 초고층건축에 사용되는 고강도 콘크리트 관련 기술개발 동향 및 현장 적용은 그림 1과 같이 고강도 콘크리트의 강도상향 개발, 고강도 콘크리트의 내화성능 인증 연구 또는 고강도 콘크리트의 펌프압송성능 평가에 대한 단독 기술개발만이 주를 이루었으며, 실질적으로 내화인증 고강도 콘크리트의 초고층부 적용에 필요한 펌프 압송성능 향상 기술에 대한 연구는 그 중요도에 비해 전무한 실적이다.

이에 롯데건설에서는 부산 및 잠실의 초고층 건축물의 내화 안정성 확보 및 원활한 시공성 확보는 물론 상기 기술력 확보를 통한 향후 세계 초고층 건축시장 기술선점을 위하여 섬유혼입을 통한 고강도 고내화 콘크리트 600m 이상 Direct 펌프압송 기술을 개발하게 되었다.

2. 주요 추진내용 및 성과

섬유혼입을 통한 고강도 콘크리트의 내화성능을 확보하고, 확보된 내화성능 인증 고강도 콘크리트의 600m 이상 직압송을 위한 펌프 압송과정에서의 어려움은 섬유혼입 시 발생하는 콘크리트의 유동성 저하, 그리고 이로 인해 펌프 압송 시 야기되는 펌프 압송성능 저하 및 폐색 등의 문제로 이를 해결하기 위한 주요 추진 내용은 다음과 같다.

1) 유동성 향상 내화폭렬방지재 개발

일반적인 고강도콘크리트의 유동성은 사진 1과 같이 충분한 슬럼프 플로우를 확보하여 거푸집 충전 시 별도의 다짐 없이 스스로 충전이 가능한 자기충전용 콘크리트(Self Compacting Concrete)로 타설을 실시한다. 그런데 고강도 콘크리트에 섬유를 혼입하면 사진 2와 같이 섬유의 Fiber Ball(섬유 엉김) 현상으로 유동성이 감소하여 펌프압송을 통한 콘크리트 작업 시 어려움이 따른다. 당사에서는 이러한 현상을 보완하기 위하여 골재의 크기가 콘크리트의 유동성을 개선할 수 있다는 기존 연구결과에 주목하여, 약 130℃에

서 용해가 되는 300마이크로미터의 작은 구형입자인 폴리머 분말을 기존의 내화성능 확보 시 혼입하는 복합섬유(PP 섬유+나일론섬유)에 그 성분비를 조정하면서 유동성 평가를 거듭 실시한 결과 그림 2와 같이 콘크리트 전체의 0.05%씩을 혼입하여 내화성능 확보 및 유동성이 개선되는 결과를 얻게 되었다. 또한 상기소재를 이용하여 실기동 부재를 제작, 80MPa 강도의 콘크리트까지 내화성능 인증을 확보하였으며, 유동성 향상이 가능한 고강도 콘크리트 내화폭렬방지재로서 특허출원(출원번호 : 10-2008- 0134286, 직경과 용융점 차이를 갖는 섬유와 분말로 구성된 복합소재 폭렬방지재 및 이 폭렬방지재를 이용한 고강도 내화 콘크리트)을 하였다.

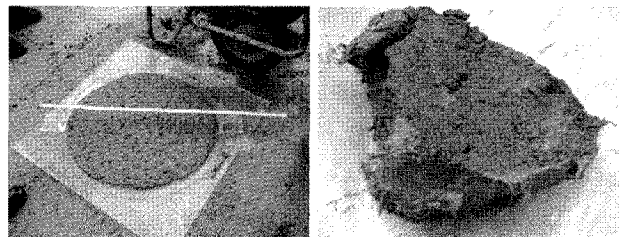


사진 1. 유동성 실험

사진 2. 섬유 엉김 현상

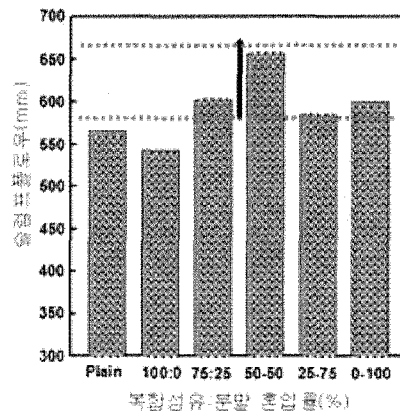
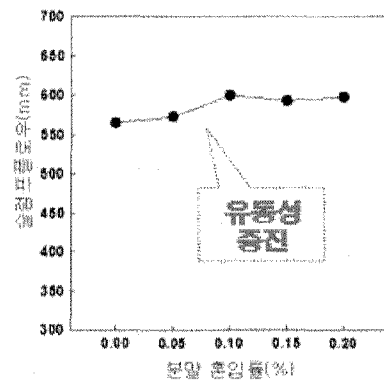


그림 2. 유동성 향상을 위한 최적 배합비 도출실험 결과

2) 섬유혼입공법을 이용한 고강도 콘크리트 내화성능 확보

내화폭렬방지재를 혼입한 고강도 콘크리트 구조부재의 내화성능 인 증은 잠실 슈퍼타워에 적용 예정인 60~80MPa급 고강도 콘크리트 배합에 대하여 자체 개발한 내화폭렬방지 재를 혼입하여 내화성능 시험을 통과하였다.

사진 3과 같이 60cm×60cm×150cm 내화시험용 기동 부재 시험체를 대상으로, 내화성능 평가는 방재시험연구원 에서 진행을 하였으며, 현장 적용과 동일한 재료, 공법, 철근 배근 및 피복두께로 내화성능 시험을 하였다. 시험은 KS F 2257-1 “건축부재의 내화시험방법” 일반요구사항에서 제시 하는 표준시간-가열온도곡선에 의하여 시험을 실시, 시험체 모두 내화구조 성능기준(국토해양부 고시 제 2008-334호) 에서 규정한 시간까지 주철근의 온도를 평균 538℃, 최고 649℃ 이하인 규정을 만족해야 한다.

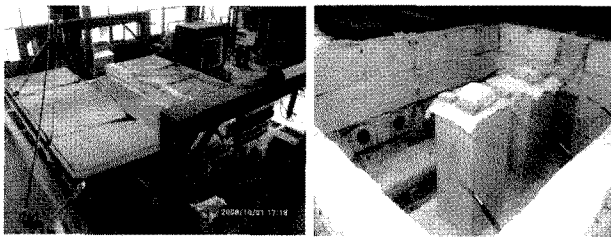


사진 3. 내화시험 전경 및 시험 후 기동부재

당사에서 개발한 내화폭렬방지재를 혼입한 고강도 콘크리 트 부재의 경우 3시간 내화실험 후 콘크리트 표면의 피복콘 크리트 탈락 및 파괴현상 발생 없이, 부재 내 주철근의 최고 온고 488℃, 평균온도 423℃로 내화관리기준을 만족하여, 2009년 9월 내화성능 시험을 통과하였다.

3) 내화성능 확보 고강도 콘크리트의 펌프 압송성 평가

섬유혼입을 통한 고강도 콘크리트의 내화성능 인증을 확보 하였으나, 잠실 슈퍼타워 및 부산 롯데타운 현장적용을 위해 서는 파이프라인을 통한 펌프 압송성능 확보 및 시간당 토출 량 확보가 필수적이다. 이를 위하여 당사에서는 60~80MPa 내화인증 고강도 콘크리트를 대상으로 사진 4와 같이 펌프 압송을 통한 200~600m 길이의 직압 타설을 실시하였다.

내화 인증 고강도 콘크리트의 펌프를 이용한 600m 직압 타 설을 위하여 수송관의 길이 100m를 시작으로 100m 씩

수송관 길이를 추가하면서 펌프압송성능을 평가하였다. 고 강도 콘크리트의 경우 증가된 점성으로 인하여 강도, 수송거 리, 토출량이 증가할수록 펌프 압송 시 기기 및 수송관에 압 력이 상당히 걸리게 되는데, 내화성능 인증 고강도 콘크리트 의 경우 섬유혼입에 의하여 점성이 더욱 증가하게 되므로 펌 프 압송 시 수송관에 미치는 압력은 더욱 증가되게 된다.

따라서 수송관의 길이를 100m부터 추가하면서 콘크리트 펌프 압송성 및 수송관 길이별 압력을 모니터링 시스템을 통 하여 상시 체크며, 작업간의 안정성을 확인하며 실시하였다.

최종적으로 60MPa 내화인증 고강도 콘크리트에 대하여 최대 600m 수송관 길이를 통과하여 실기동부재에 대한 타 설실험 공개테스트를 성공적으로 실시완료함으로써 내화인 증 초고강도 콘크리트의 현장적용 가능성을 확인하였다.

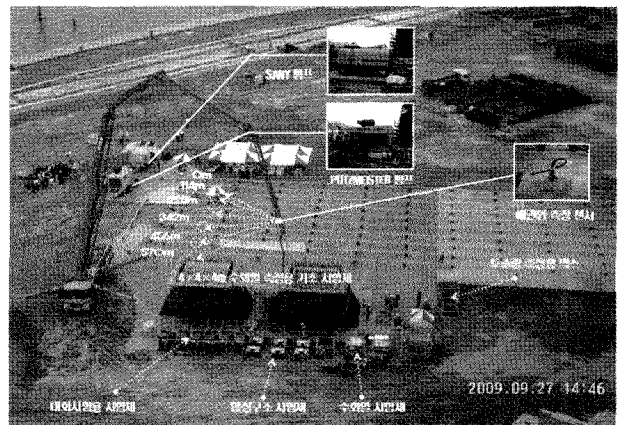


사진 4. 내화성능 인증 고강도 콘크리트 펌프 압송 공개테스트

3. 활용 방안

1) 내화인증 고강도 콘크리트 펌프압송 기술의 초고층 Project 적용

당사에서 개발한 내화성능 인증 고강도 콘크리트의 600m 이상 펌프 압송 기술은 잠실 슈퍼타워 및 부산 롯데타 운에 적용이 가능한 기술이다. 기존연구의 경우 내화인증 고 강도 콘크리트에 대하여 300m 이하의 건물에 대한 시공실 적은 종종 보고되고 있으나, 600m 이상 현장 적용 실적은 전무하다. 600m 이상 초고층 구조물의 경우 펌프 압송성능 확보가 초고층 Project의 원활한 진행을 위하여 선결되어야 하는 요소였는데, 금번 개발한 기술을 이용하여 현장 적용이 가능할 것으로 기대된다.

2) 초고층 건축물 공기 단축가능

초고층 건축물의 경우 50MPa 이상의 고강도 콘크리트 적용은 필수적이며, 이에 따라 내화인증 확보 고강도 콘크리트의 초고층 적용이 요구된다. 일반적인 내화인증 고강도 콘크리트의 경우 점성이 적어 펌프압송이 불가능할 경우 버킷을 이용한 수송으로 콘크리트 타설을 실시할 수 밖에 없다. 이럴 시 콘크리트 타설 속도가 느려져 최근 초고층 건축물의 급속시공 시 적용되는 3-day cycle을 만족시킬 수 없으며, 이에 따라 공사비의 증가가 불가피하다. 하지만 본 기술은 내화섬유를 혼입한 고강도 콘크리트에 대하여 최대 570m 수송관을 통한 펌프 압송 및 타설이 가능함에 따라 600m 이상 초고층 건축물에 내화인증 고강도 콘크리트의 펌프압송을 통한 현장 타설이 가능하여 3-day cycle의 시공을 가능하게 할 것으로 판단된다.

4. 맺음말

초고층 건축물은 다중이용시설물로서 안정성 확보가 대단히 중요하며, 화재 시 거주자들의 안전성 확보를 위하여 최소 3시간 이상의 내화성능 확보를 하여야한다. 본 기술은 초고층 건축물에 사용되는 고강도 콘크리트의 내화로 인한 폭발현상을 방지하기 위한 기술로서 시공성 및 경제성 확보를 위하여 섬유혼입을 통한 고강도 콘크리트의 내화안전성 확보는 물론 섬유혼입으로 유발되는 고강도 콘크리트의 유동성 저하 문제를 개선한 기술이다. 본 기술은 초고층 건축물을 시공하는 시공사들의 내화성능인증 고강도 콘크리트의 펌프 압송을 이용한 타설 시 유동성 저하 문제를 극복함으로써 시공성 확보 및 공기 단축을 통한 경제적 시공이 가능할 것으로 판단되며, 이와 같은 기술이 국내 건설사들의 초고층 건축시장에서의 수주 활동에 일조하여 국내 건설사들의 세계 건설시장에서의 지속적인 성장에 기여하기를 희망한다.

- 이주호 e-mail : joo7777@lottenc.com
- 박순진 e-mail : soon1026@lottenc.com
- 김정진 e-mail : duson12@lottenc.com