

# 세계 최고 수준 200MPa 콘크리트 개발

조 윤 구 (현대건설 기술연구소 책임연구원)

## 1. 서 론

19세기초 근대적 의미의 콘크리트가 개발된 이후 최근까지 구조물의 구조적 강성 및 성능에 부합하기 위해 다양한 형태의 연구/개발이 지속되고 있다. 특히, 최근 국내외에서 초고층 빌딩, 초장대 교량 등 대단위 메가 프로젝트의 계획 및 시공에 따라 보다 강하고 경제적인 초고강도 콘크리트 개발에 대한 열망이 고조되어 가는 현실이다.

초고강도 콘크리트의 건축 구조물에의 적용은 건물 기둥 및 벽체 단면적을 줄이고, 기둥간격이 큰 설계가 가능하여 넓은 거주 공간 실현에 공헌할 수 있으며 횡력에 대한 저항능력, 장기 수축변형 감소효과 등을 기대할 수 있어 100층 이상의 초고층 건물 시공이 가능하게 한다. 또한 철골을 사용한 복합 구조에 비해 거주성이 뛰어나고 전체 공사비를 절감시켜 경제성을 확보할 수 있다.

때문에 국내외 대형 건설사들은 앞다투어 초고강도 콘크리트 개발에 매진하고 있으며 이를 통해 필요한 구조물 성능을 구현시키는데 활용함은 물론, 회사의 기술력을 홍보하는데 사용한다.

## 2. 초고강도 콘크리트의 국내외 동향

국내에서 2000년 이전까지 초고강도 콘크리트의 개발은 80MPa 수준에서 한동안 정체되었었다. 그 이유는 고강도 콘크리트의 수요가 적었고 50MPa

이상에 대한 국내 사용규정이 없었으며 80MPa 이상 콘크리트의 가격경쟁력이 부족하였다는 점에서 개발추진력이 다소 미약했었다.

그러나 2000년대 이후 대만의 Taipei 101(101층, 508m) 등 초고강도 콘크리트를 사용한 초고층 건축물 건립이 본격화 되고 현재 시공중인 Burj Dubai (161층, 808m)와 같이 복합구조가 아닌 순수 RC구조의 초고층 건물이 적용되기 시작하면서 초고강도 콘크리트의 니즈는 급격히 상승하였다. 국내에서도 인천 송도의 인천타워(151층, 640m), 잠실 수퍼타워(112층, 555m), 용산 역세권 초고층 타워(130층, 620m) 등 초고층 건축물의 수요가 증가함에 따라 초고강도 콘크리트는 반드시 필요한 기술로 자리매김하게 되었고 초고강도 콘크리트 개발 능력이 초고층 건축의 대표기술로 대변됨에 따라 대형 건설사들은 앞다투어 초고강도 콘크리트 개발에 매진하게 되었다.

국내의 몇몇 초고강도 콘크리트 개발 연구 및 시공사례를 살펴보면 다음과 같다.

고려하이믹스는 2004년 100층 이상 초고층 건축물 건설에 사용되는 초고강도 콘크리트 제작기술 개발 및 실용화에 성공했다. 개발된 콘크리트는 100MPa급의 초고강도 제품으로 기존 고층건물은 물론 100층 이상 초고층 건축물 건설에 사용할 목적으로 개발하였다.

롯데건설은 2005년 삼표 콘크리트, 씨카 코리아 등과 공동으로 120MPa 강도의 초고강도 콘크리트



〈그림-1〉 초고층 계획 및 시공 사례

를 개발하였다. 롯데건설은 앞으로 이 초고강도 콘크리트를 잠실 제2롯데월드, 부산 제2롯데월드 등 초고층 건물의 시공에 사용할 계획이다.

〈표-1〉은 국내의 초고강도 콘크리트 개발 현황 사례를 나타내고 있다.

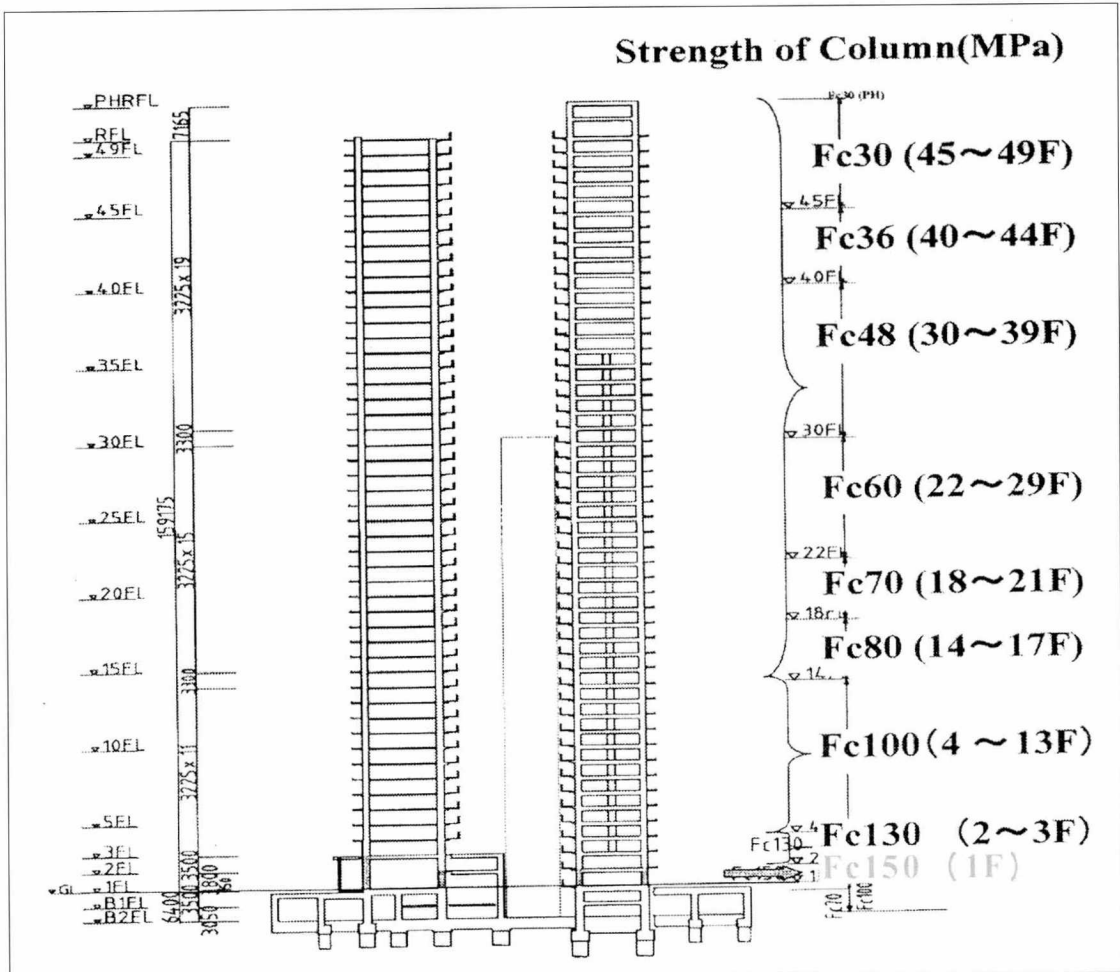
특히, 삼성물산 건설부문은 2006년 세계 최고수준인 150MPa 규모 초고강도 콘크리트를 개발하고 시험 타설에 성공했다. 2006년 150MPa 초고강도 콘크리트 개발은 2003년 개발에 성공한 일본에 이어 세계 두 번째이며 또한, 국내 최초의 설계강도 150

MPa 콘크리트 현장적용이라고 할 수 있다. 또한, 고내화성 고강도 콘크리트 개발, 콘크리트 조기강도 발현 기술의 개발, 무다짐 콘크리트의 개발 및 실용화, 고기능성 콘크리트와 관련하여 세계 최고 수준의 콘크리트 연구와 차별화된 기술력을 확보하고, 기술 우위의 입지를 지속적으로 유지하고 있다.

미국의 경우 1987년 시애틀의 유니언 스퀘어(Twin Union Square) 빌딩에 130MPa가 적용되었고 100 MPa 이상의 고강도와 연성을 확보한 섬유보강 콘크리트가 미시간대학에서 개발이 되었다.

〈표-1〉 국내 초고강도 콘크리트 개발 현황

연 도	개 발 회 사	개 발 목 표	비 고
2005	롯데건설	120 MPa	황학동 아파트
2005	금호건설	130 MPa	건대 스타시티
2006	삼성건설	150 MPa	목동 트라 펠리스
2007	포스코건설/대우자관건설	150 MPa	울산 이안 태화강 엑소디움 주상복합
2007	현대건설	200 MPa	송도 151층 인천타워 적용계획



출처 : 일본 고강도 콘크리트 개발현황 및 적용사례, Hayakawa Mitsutaka, Tokyo Polytechnic University, 2007 초고층건축과 고성능 콘크리트 국제 심포지움

〈그림-2〉 일본 Kosugi Tower의 초고강도 콘크리트 적용 사례

유럽에서는 마창대교, 선유교 시공과 관련되어 잘 알려져 있는 Bouygues와 Lafarge, Rhodia의 공장에서 스팀 또는 고온 가압 양생 방법을 적용한 반응 분체 콘크리트 개념의 “Ductal”을 개발한 예가 있다.

일본에서는 2000년대 초반부터 가지마 건설, 오바야시 건설 등 대형 건설사들을 중심으로 초고강도 콘크리트를 개발하여 2006년초에 150MPa를 개발하였고 현재 200MPa 개발에 박차를 가하고 있는 등

기술개발에 많은 노력을 기울이고 있다.〈그림-2〉

특히, 일본의 다이세이 건설은 2003년 9월 150MPa 초고강도 콘크리트를 개발했다. 이 회사는 설계기준강도 100MPa 초고강도 콘크리트를 큰 축력이 작용하는 고층 RC 아파트인 「River City 21 北 Project N棟」에 1997년에 전면적으로 적용한 바 있다. 기존의 40층을 넘는 RC 건물에서는 콘크리트 강도에 한계가 있어서, 건축물의 기둥과 기둥 사이의 거리가 좁고, 기둥의 단면이 크며, 또한 공간에도

제한이 있었으나, 이 건물에서는 기둥간격 10m 정도의 큰 거실을 실현하였다. 이 회사에서는 건축물의 고층화, 장대 스패화를 목표로, 실제 압축강도 150 MPa 초고강도 콘크리트의 개발에 있어서, 배합, 역학특성, 구조내진성능, 내화성능, 품질관리 등에 대하여 연구를 수행하였다.

### 3. 압축강도 200MPa급 초고강도 콘크리트

일반적으로 콘크리트의 사용재료로는 시멘트, 골재, 물 및 혼화제를 들 수 있다. 200MPa급의 콘크리트도 똑같은 재료들이 사용된다. 그러나 최근까지 여타 연구기관에서 개발하는데 다소 어려움을 겪는 이유는 이들 재료의 역학적 화학적 특성을 고려한 재료 선정이 매우 어렵기 때문이다.

국내외에서 초고강도 콘크리트를 개발함에 있어 매우 어려운 부분은 초고강도 콘크리트 개발이 재료, 배합, 시공 부분이 모두 주요 요소기술이 되기 때문에 여러 관련회사의 상생협력이 없이는 개발되기 힘들다는 점이다.

따라서 200MPa 수준의 초고강도 콘크리트의 개발을 위해서 (주)삼표, 성신양회, 윈플로 등의 여러 기업과 협력관계를 통해 각 회사의 강점을 효율적으로 이끌어냈다.

초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재는 초고강도 발현과 함께 유동성 및 시공성의 확보가 중요하다. 따라서 레미콘 생산 단계에서 시멘트 결합재를 시멘트와 동시에 투입하면서 입자의 분산성과 균질성이 확보되지 못하면 시공성이 크게 저하될 수 있어 초고강도 콘크리트에서는 시멘트 결합재를 프리믹싱하여 사용하는 것이 적절한 것으로 알려져 있다.

고성능 감수제는 일반적인 감수제의 기능을 더욱 향상시켜 시멘트를 효과적으로 분산시키고 응결 지연 및 지나친 공기 연행, 강도저하 등의 악영향 없이 높은 첨가율로 사용이 가능하여 단위수량을 대폭

감소시킬 수 있다. 시멘트 페이스트에 고성능 감수제를 첨가하면 그 분자가 시멘트 표면에 흡착하여 입자 표면에 전기 이중층이라 불리는 대전층을 형성하게 되는데 대전층의 전위에 상응하는 입자 사이의 정전기적 상호 반발이 생겨 응집한 입자가 분산되며 그 반발작용에 의해 시멘트 페이스트의 유동성이 증대된다. 고성능 감수제는 초고강도 콘크리트에 사용되는 각 재료의 성상 및 특성을 고려하여 개선시켰으며 수십회의 실험을 통하여 최적 혼화제를 선정하였다.

골재의 경우 초고강도 콘크리트개발에서 꼭 필요한 요소라 할 수 있으며 국내 석산 및 골재업체 수십군데의 선정실험을 수행하여 200MPa 이상의 골재를 확보하게 되었다.

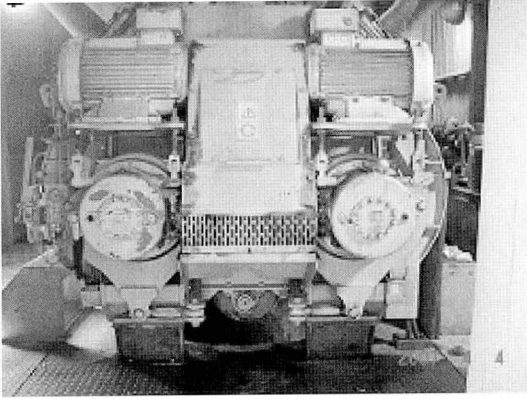
실내 배합실험을 진행하면서 사용된 믹서는 현장 배치플랜트의 믹서와 같은 방식의 믹서를 사용하여 향후 현장적용시 발생할 수 있는 변화요인을 최소화시켰다.(<그림 3~6>)

초고강도 콘크리트의 낮은 물-결합재비와 높은 결합재량으로 인한 콘크리트의 높은 점성으로 현장에서의 작업성 확보의 어려움이 예상되었으나 현장 실험을 통해 현장에서의 작업성이나 시공성 측면에서 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

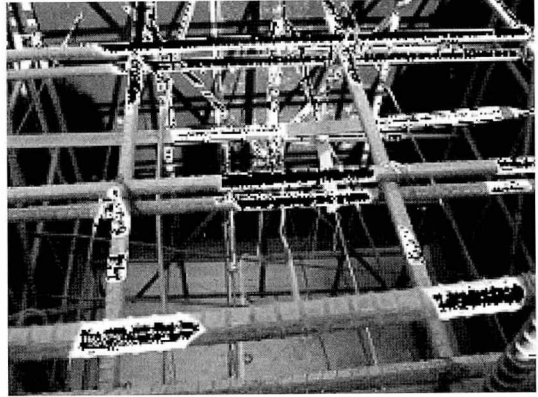
초고강도 콘크리트의 레미콘 플랜트에서의 생산 및 시공 실험을 수행하였으며 향후 효율적인 품질관리를 위하여 사용재료 및 생산의 철저한 품질관리 지침마련과 관련 시공 기술자료의 데이터 베이스화, 계절별 강도발현 특성 등 초고강도 콘크리트에 대한 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

## 6. 결론 및 향후 발전방향

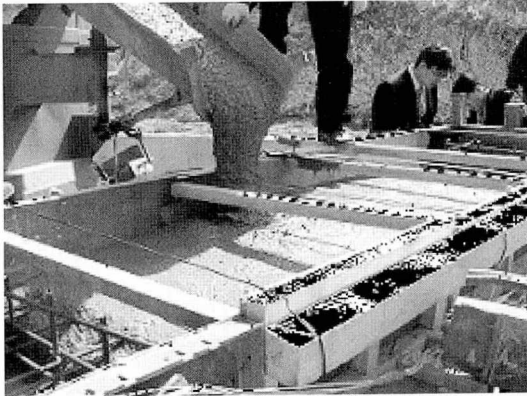
초고강도 콘크리트 개발은 무엇보다도 상생협력의 힘이라고 할 수 있다. 초고강도 콘크리트 개발을 위한 재료 및 요소기술에 대하여 강점을 가지고 있는 기업들의 참여를 통해 시행착오를 줄이고 시너지 효과를 극대화한 점이 가장 큰 요인이며 특히, 향후



〈그림-3〉 배쳐플랜트 믹서



〈그림-4〉 부재 내에 센서 부착



〈그림-5〉 콘크리트 부재 타설



〈그림-6〉 레미콘 플랜트 플로우 실험

추가적인 보완실험을 통해 상대적으로 저렴한 초고강도 콘크리트의 실용화를 보다 빠르게 앞당길 수 있게 되었다. 또한, 초고강도 콘크리트의 개발을 통해 새로운 표준 및 표준화에 한 부분을 담당할 수 있는 초석이 되었다.

이번에 개발된 초고강도 콘크리트는 연구의 끝이

아니고 연구의 시작이라고 하는 것이 더 옳을 것이라 할 수 있다.

개발과정에서 확보된 배합의 특성을 활용하여 새로운 구조물이나 환경에 대한 기능성을 부여하고, 또 다른 특수 콘크리트 영역의 개척 및 이에 대한 지속적인 연구개발의 시작점이 될 것이다. ▲