

# 고강도 콘크리트의 현황과 그 미래

## 1. 고강도 콘크리트 개발현황

### 1.1 구조물의 과거, 현재, 미래(초초고층 구조물의 등장(500M~4,000M))

현대사회는 도시집중화에 따른 인구 과밀화와 시설의 집중이 이루어지고 있으며, 이중 건설 분야에 뚜렷이 나타나는 현상은 구조물의 초고층화, 대형화(장기간 교량, 극저온 탱크, 체육관)가 나타나고 있다.

또한, 세계 각국, 각도시의 위상정립과 건축물의 랜드마크 기능으로 인한 무형의 관광자원의 창출 등을 위하여 21세기에 들어서서는 서로 앞다투어 경쟁적으로 초고층 건축물을 신축하고 있다.

이에 따라서 필수적 초고층 건축물의 재료성능향상, 구조 및 설계기술개발 및 시공능력향상을 요구하고 있다.

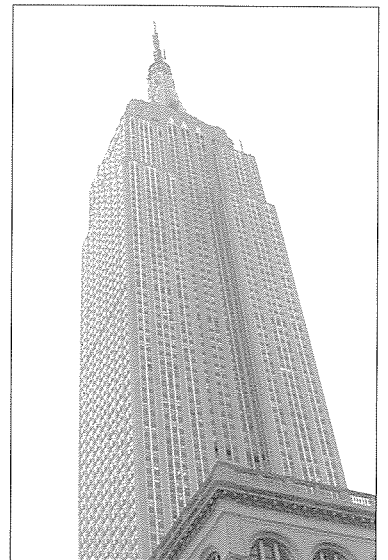
세계적인 고층건물 분야는 1880년대 이후, 미국이 주도해 오고 있다. 철골구조물인 경우 10층 전후로 시작하여 1890년대 20층, 1913년에는 57층, 1931년에는 102층 381m의 엠파이어스테이트빌딩을 거쳐, 1974년에는 443m의 110층 시어즈 타워에 이르러 절정에 달하였다. 철근콘크리트 구조물의 초고층은 조금 늦게 시작되어 1958

년 38층, 1962년에 50층 아메리카 호텔, 1976년에 74층 262m의 Water Tower Place 등이 세워진바 있다.

그러나 지금까지 건축된 대부분의 고층 건물들이 미주지역에 편중되어 있었지만 최근에는 홍콩(Central Plaza 빌딩, 78층 374m, 1992년), 중국, 싱가포르(Raffles city, 223m, 72층, 1986년), 말레이시아(페트로나스 타워, 453m, 92층, 1996년), 태국 등 아시아 지역에서도 많은 초고층 건물들이 계획되거나 시공이 진행 중에 있다.

현재 계획 중인 초고층 건축물로는 1776 Freedom Tower(2009년 완공예정, 안테나 포함610m), 상하이세계금융센터(2007년 완공예정, 492m), 러시아 Complex Federation(2007년 완공예정, 안테나 포함 450m), 인도의 인디아타워(2008년 완공예정, 224층, 677m) 등이 있다.

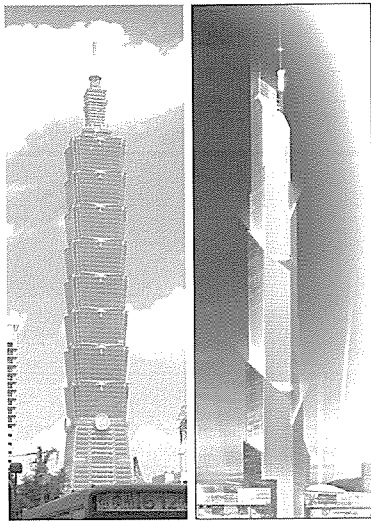
또한 이웃나라 일본에서는 최근에 196층 1000m의 Sky City, 500층 2001m에 달하는 에어로폴리스 2001, The Mile High Dream(170층, 860m) 등의 연구를 통하여 점차 초고층화되어 가는 현대건축의 경향을 나타내고 있으며 이러한 계획들은 머지 않은 21세기에는 현실화될 것이며, 21세기



엠파이어스테이트빌딩

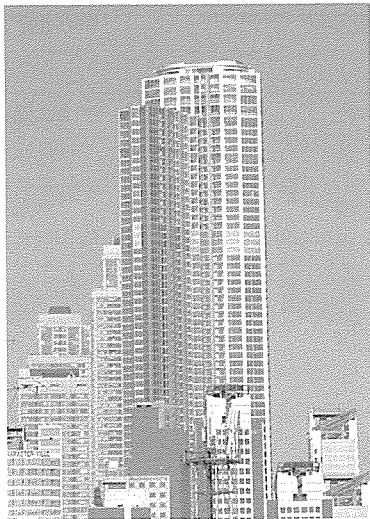


시어즈타워(가운데 건물)



타이베이 101(세계 1위)

삼성IBC 조감도



타워팰리스 III(국내 1위, 세계 62위)



부산 제2롯데월드 조감도

중반에는 4,000m의 초초고층 구조물이 등장할 것으로 보인다.

우리나라의 고층빌딩으로는 1978년의 37층 138m의 롯데호텔, 1980년대의 63빌딩 249m(지상 60층, 지하 3층)과 한국종합무역센터 229m(지상 55층, 지하 2층) 등을 꼽을 수 있다.

최근에 이르러 도곡동에 Tower Palace I, II, III(60~80층)가 건설되었으며, 대우 부산 수영만 타워(2010년 완공예정, 462m)나, 부산 제2 롯데월드(107층, 44465m), 삼암동 IBC(130층, 580m) 등이 추진되고 있고, 현재 국내 최고층 건축물은 Tower Palace III(73층)이다.

### 1.2 고강도 콘크리트의 필요성

근래 각국에서 50층 이상의 초고층 철근콘크리트(R/C) 구조물의 등장과 더불어 중, 저층의 경우에도 장시간 스패를 요구하는 건축이나 토목 구조물에 대한 요구가 급증하고 있다. 이때 사용되는 콘크리트 강도는(설계기준강도  $f_{ck}$ ,  $F_c$ ,  $f_c$ ) 대개 450~500kgf/cm<sup>2</sup> 정도를 사용하고 있으며, 100층의 경우 800~1,000kgf/cm<sup>2</sup>의 사용이 보편화되어 있으며 이에 관한 연구 및 시공지침 그리고 구조설계법 등이 발간되고 있다.

고강도 콘크리트는 고층구조물에서 매우 유효하게 사용되는 구조재료로써, 강도 증가에 따라 높은 하중을 부담하고 단면이 축소되는 장점으로 현재까지 많은 발전을 하여 왔다. 고강도 콘크리트는 일부 선진 외국에서 지난 20여 년 간에 걸쳐 급속히 발전하여 왔는데 현재 고강도 콘크리트를 가장 많이 쓰고 있는 미국에서는 1950년대에는 350kgf/cm<sup>2</sup> 이상이면 고강도로 간주되

었으며, 아직도 미국 내 일부분에서는 이 350kgf/cm<sup>2</sup> 이상이 물리적으로나 심리적 한계로 여겨지고 있다.

이후 1960년대에는 420kgf/cm<sup>2</sup>에서 520kgf/cm<sup>2</sup> 정도가 상업용으로 이용되어 왔으며, 1970년 초에는 630kgf/cm<sup>2</sup>의 콘크리트가 Chicago지역을 중심으로 생산되어 왔다. 1980년대에는 770kgf/cm<sup>2</sup>의 콘크리트를 사용한 건축물(Chicago Merchantile Exchange)이 1982년 완공되었으며, 1987년에는 시애틀의 Two Union Square 건물에 1330kgf/cm<sup>2</sup>까지 타설되었으며, 1988년에는 사카고에 78층의 311 South Waker Drive Building이 건설되었다. 그리고 1996년에는 말레이시아의 페트로나스타워(92층, 453m)에 큐브강도로 800kgf/cm<sup>2</sup>까지의 고강도 콘크리트가 사용되어 차츰 고층 구조물에의 응용이 활발해지고 있으며, 전 세계적으로 초고층 건물의 계획과 시공이 활발해지고 있는 현재 시점에서 고강도 콘크리트의 사용은 급속히 증가할 것으로 기대되고 있다.

현재 국내에서는 사무소 건축물만이 아니라 주거용 아파트 건축물도 초고층화가 이루어지고 있으며, 새로운 주거형태로 초고층의 대규모 주상복합건물들이 세워지고 있다. 이러한 초고층 구조물에 보통강도 콘크리트를 사용할 경우 건물자중의 증가로 저층부에서 기둥, 벽체와 같은 수직부재의 단면이 커지게 되고, 고층부에서는 수평하중(바람, 지진 등) 증가에 따른 수평변위(Side sway)가 증가하여 구조물의 안전성과 사용성에 심각한 영향을 줄 수 있으며, 부재 단면의 증대로 인한 사용 면적의 감소로 구조물의 경제성이 떨어지게 되는 단점이 있다.

이러한 단점을 극복하기 위하여 초고층

## 세계 초고층건축물 순위

[출처] ENR Nov, 2003/Construction Facts 2003

순위	이름	소재지	높이(m)	준공연도
0	Taipei 101	Taipei	508	2004
1	Petronas Tower 1 & 2	Kuala Lumpur	452	1998
2	Sears Tower	Chicago	442	1974
3	Jin Mao	Shanghai	421	1999
4	Citic Plaza	Guangzhou	391	1996
5	Shun Hing Square	Shenzhen	384	1996
6	Empire State Building	New York	381	1931
7	Central Plaza	Hong Kong	374	1992
8	Bank of China	Hong Kong	369	1989
9	Emirate Tower	OneDubai	355	1999

건물의 수직부재에는 단면의 축압축성능이나 휨성능이 우수한 고강도 콘크리트를 사용하고 건물의 자중증가에 큰 영향을 미치는 수평부재에는 고강도 경량콘크리트를 사용하면 콘크리트의 고품질화에 따른 내구성 증진 이외에도 높은 압축강도로 인한 부재단면의 축소와 그로 인한 자중감소의 효과를 기할 수 있으며, 휨성능 증가

로 수평변위의 감소 및 콘크리트 초기강도의 증진에 따른 조기 거푸집 탈형 등을 기할 수 있다.

또한 경제적인 측면에서 보더라도 단위 면적에 따른 철강재와의 부가가치가 30:1에 달하고 있어 강재를 사용할 경우보다 훨씬 경비의 절감을 기대할 수 있어 다양한 수직, 수평 구조시스템을 사용하게 되

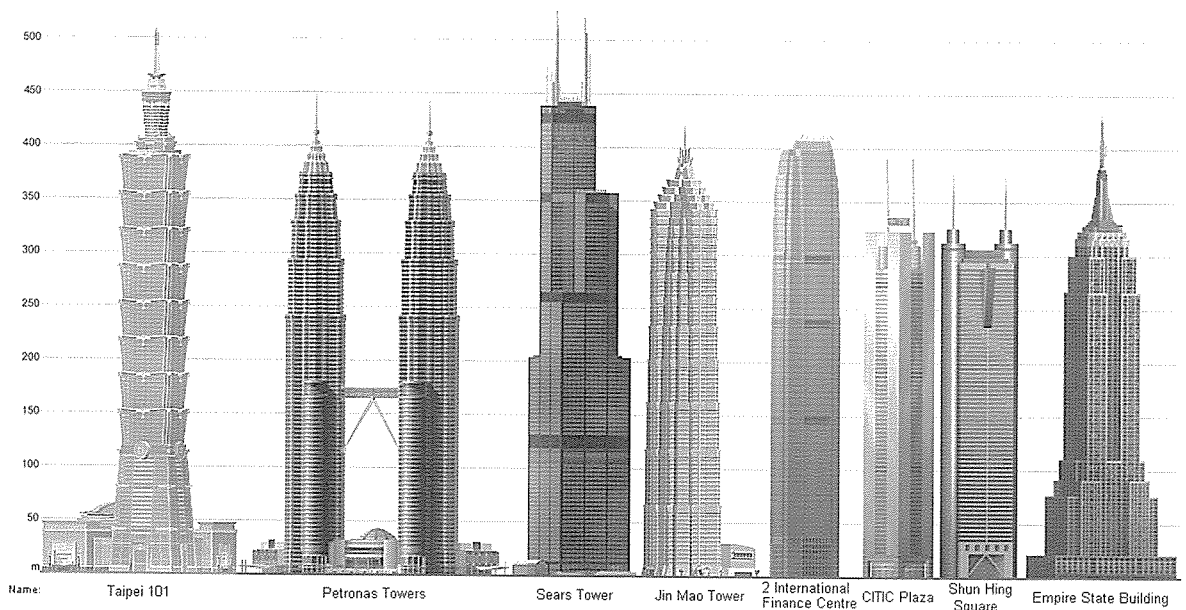
는 초고층 구조물의 주요 구조부재에 고강도 콘크리트 및 고강도 경량콘크리트의 사용을 통하여 적절한 구조물의 안전성과 경제성 및 내구성을 확보할 수 있다.

### 1.3 고강도 콘크리트의 정의

#### 1.3.1 압축강도상의 정의

구조체에 사용되는 콘크리트의 성능을

### 주요 초고층 건축물의 높이 비교도



평가하기 위한 가장 중요한 기능 중의 하나가 압축강도이며 이는 구조설계에 요구되는 설계기준강도(fck) 혹은 기준압축강도로 표시되고 있다. 이때 설계기준강도는 재령 28일의 압축강도를 기준으로 하며, 국내에서는 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에서 요구하는 표준 양생된 원통형(15×30cm) 공시체를 기준으로 하고 있다. 각국에서는 이러한 설계기준강도에 대하여 구조 및 시방적용을 위한 범위를 두고 있는데 이는 각국의 지진 크기, 골재 종류 및 사회적 배경 등에 따라서 콘크리트 강도 확보방안이 차이가 나기 때문이다.

고강도 콘크리트는 보통 콘크리트보다 강도가 높은 콘크리트를 뜻하는 것이나 그 의미는 시대와 지역에 따라 많은 차이가 있다.

즉, 1950년대에는 압축강도 350kgf/cm<sup>2</sup>(5,000psi) 이상을, 그리고 1960년대부터는 420kgf/cm<sup>2</sup>(6,000psi) 이상을 고강도 콘크리트로 분류하였다. 한편 미국 콘크리트학회 고강도 콘크리트 분과위원회(Committee 363)는 1984년 보고서<sup>1)</sup>를 통해 고강도 콘크리트의 제조에 관한 주의사항과 함께 보통 중량 콘크리트(normal weight concrete)는 420kgf/cm<sup>2</sup>, 그리고 경량 콘크리트(light weight concrete)는 280kgf/cm<sup>2</sup> 이상을 고강도로 분류하였으며, 최근에는 보통 중량의 콘크리트 경우 210kgf/cm<sup>2</sup>을, 그리고 고강도 콘크리트는 420kgf/cm<sup>2</sup> 이상으로 사용압축강도의 상한선을 두지 않고 있으며, 보통 중량 콘크리트로서 압축강도 1,050kgf/cm<sup>2</sup> 이상을 초고강도 콘크리트(ultra high strength concrete)로 구분하고 있다.

그러나 ACI 318-95<sup>2)</sup>에는 최소 전단보강 설계의 경우 700kgf/cm<sup>2</sup> 이상인 경우 보강비

를 2배 이상하도록 하고 있는 점이 특이하나, 대체로 강도의 상한선을 두지 않고 실험 등의 검정에 의해 이용하도록 하고 있다. 일본의 경우 건축에서는 270kgf/cm<sup>2</sup> 이상 그리고 360kgf/cm<sup>2</sup> 이하를 그리고 토목에서는 600~800kgf/cm<sup>2</sup> 정도를 고강도로 정의하고 있으며, 건축물에서는 600kgf/cm<sup>2</sup> 이상 사용시 건축센터 심의위원회의 허가 후 사용하도록 규정하고 있다. 국내의 경우는 고강도 콘크리트 적용을 위한 많은 변화가 시도되었는데 그중 극한강도 구조설계법에서 구조용 콘크리트의 정의를 1988년에는 보통중량 콘크리트의 경우 150kgf/cm<sup>2</sup> 이상, 그리고 420kgf/cm<sup>2</sup> 이하로 제한하고 있어 420kgf/cm<sup>2</sup> 이상을 사용할 경우 일부 제약이 따랐으나 1994년 개정판에서 상한선을 삭제하고 구조용 콘크리트의 강도를 180kgf/cm<sup>2</sup>를 이상으로 채택함으로써 고강도 콘크리트의 이용이 활발하게 되었다.

또한 건축공사 표준시방서에서도 1986년판에는 고강도 콘크리트 정의를 270~360kgf/cm<sup>2</sup> 이하로 하고 있으나 1994년판에는 이를 300kgf/cm<sup>2</sup> 이상으로 개정하였으며, 시공을 위한 구체적인 지침도 보완되었다.

그리고 1999년 개정된 콘크리트 표준시방서에서는 400kgf/cm<sup>2</sup> 이상을 고강도 콘크리트로 정의하고 있다.

## 2. 제조, 시공 및 품질관리

### 2.1 일반사항

일부 선진외국에서의 고강도 시공실례가 문헌을 통하여 많이 소개되고 있으나, 이들의 생산 및 시공기술이 각 제조회사의 기밀로 되어 있고, 그의 시공방법 등도 일반강도 콘크리트와 다른 점이 있다.

이외에도 이들의 기술도입에는 제반조건이 따르며 도입되더라도 국내의 시멘트,

골재, 혼화제 등의 품질이 외국제품과 일부 차이가 나며 국내시공 수준과 차이가 나기 때문에 문제가 될 수 있어, 국내 실정에 적합한 제조방법과 시공기술 및 역학적 연구가 절실한 시점에 와 있다.

국내에서도 이의 필요성에 따라 일부 대학과 건설기술연구소에서 고강도 콘크리트에 관한 연구를 꾸준히 하고 있으나 아직 구체적 실례는 많지 않으며, 더욱이 미국이나 일본에서와 같은 표준제조와 시공 규준이 아직 제정되어 있지 않은 실정이다. 국내에서의 고강도 콘크리트 생산 및 시공을 위하여 필자의 미국과 국내에서의 경험 그리고 선진 각국의 기술을 참조하여 여기에 기술하고자 한다.

### 2.2 계획된 배합, 타설, 다지기, 양생

고강도 콘크리트의 배합과 타설, 다지기 그리고 양생은 미리 계획된 시공계획에 따라 적절히 이루어져야 하며 콘크리트 품질이 균일하게 되도록 하여야 한다.

#### (1) 배합

고강도 콘크리트는 배치플랜트나 중앙식 믹서, 트럭믹서 또는 양쪽에서 공동으로 배합할 수 있으며, 배합과정은 건설부 건축공사 표준시방서에서 권장하고 있는 방법에 따라 실시한다. 믹서의 성능을 결정하기 위해서는 일정한 기간동안 배합한

1) ACI 363, "State of the Art Report on High-Strength Concrete" (ACI 363-R-84), ACI, Detroit, 1984

2) ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (318-99)", ACI, Detroit, 1999

표본을 추출하여 일련의 균질성 시험을 실시하여야 하며, 고강도 콘크리트의 경우 시멘트량이 많고, 단위수량이 적으며, 굵은골재의 크기가 작아 일반콘크리트보다 배합하는데 더 어려움이 발생한다. 필요한 배합시간은 10~30% 정도 증가되나 믹서의 성능에 따라 결정되며, 일반적으로 건설투시방사의 지침에 따르면 된다.

### (2) 물-결합재비

초고강도 콘크리트를 얻기 위해서는 물/결합재비를 낮게 하는데 대개 27%~30% 범위내로 한다. 이때 물/결합재비가 적으면 사공성이 저하되므로 고성능 감수제를 사용하여 슬럼프값을 증가시킬 수 있으며, 따라서 워커빌리티를 개선시킬 수 있다.

국내에서 400~500kg/cm<sup>2</sup> 사이의 고강도 발현을 위해서는 33%~38% 사이의 물/결합재비가 권장될 수 있으나 반드시 사전 시험배합이 이루어져야 하며, 특히 현장투여시 함수량과 표면수량의 측정 후 최종배합이 결정되어야 한다.

### (3) 재료투입 순서

일반 콘크리트와 비슷하나 재료의 투입 순서, 시기 등을 달리하여 고성능 감수제의 효율을 높일도록 시도를 해 보는 것이 좋으며, 특히 AE 감수제의 관계에 주의를 기울여야 하고 고성능 감수제를 투여하는 장치가 배치(Batcher)에 마련되어야 한다.

### (4) 운 반

여러 가지 방법과 장비에 의해 운반될 수 있지만 가능한 슬럼프 손실을 피하기 위하여 신속히 운반되어야 하며, 운반중의 콘크리트 온도, 비빔으로부터의 경과시간, 고성능 감수제의 종류에 따라 별도계획을

수립하여야 한다. 하절기에는 슬럼프 감소 지연을 위한 지연형 고성능 감수제가 추천되고 있다.

### (5) 타 설

고강도 콘크리트의 타설을 위하여 버킷이나 펌프가 많이 이용되고 있는데 이는 타설량, 타설높이 등에 따라 세심하게 결정되어야 한다. 펌프시에는 펌프관의 굽힘이 최소화되도록 하여야 하며, 타설 장소와 작동기는 직접 연결되도록, 그리고 연속적인 펌프가 이루어져야 하며 높은 부분에 고압펌프할 경우에는 펌프압력의 계산에 주의하여야 한다.

### (6) 다지기

유동성이 좋은 고강도 콘크리트는 다른 감수제와 달리 골재의 분리가 일어나기 쉬우므로 철근 등이 밀접하게 배근된 경우에 다지기를 할 경우 세심한 주의가 필요하다. 대개 1개소에 긴 진동을 주지 않고, 내부진동기의 삽입간격을 좁게 하며, 진동시간을 짧게 하는 것이 좋다. 현장 타설 시에는 충분한 진동기를 준비하여야 하며 이때 작업에 필요한 3대의 진동기에 1대 꼴로 비상용 진동기를 비치하여야 한다.

### (7) 양 생

고강도의 발현에 수화열이 많이 발생되므로 충분한 수분양생이 특히 하절기에 있어야 하며, 동절기에는 보온양생이 이루어져야 한다.

수분을 공급하기 위해서는 배합시에 습기를 유지하는 피막양생에 비해 추가로 물을 공급하는 습윤 양생(Ponding, Spray, Wet Burlap 등)이 효율적일 수 있다. 주차장이나 교량상판 같이 강도보다 내구성이

우선되는 경우에는 노출표면의 양생방법을 결정하는 것이 중요하다.

## 2.3 높은 내부 수화열 방지

고강도 콘크리트의 제조에는 높은 시멘트량과 더불어 미세한 시멘트 입자가 사용되기 때문에 콘크리트 내부에 높은 수화열을 발생시키는데 국내에서 수행된 실험결과에 의할 것 같으면 40×60cm 기둥에 86℃(외기온도=32℃)까지 온도가 상승하는 것으로 나타났다. 이러한 급격한 내부온도를 외부면과의 온도차이에 의해 콘크리트에 온도 균열 등을 발생시키므로 세심한 주의가 필요하다.

## 2.4 새로운 거푸집

거푸집은 콘크리트 타설시 연직하중, 수평하중 및 콘크리트의 측압에 안전하게 설계되어야 하며, 유해한 누수가 없고 용이하게 떼어낼 수 있어야 하며, 제거 시에는 콘크리트에 손상을 주지 않아야 한다.

또한 지지대는 덧장, 멩에, 췌기, 철선, 볼트 등의 긴결재를 충분히 사용하여야 한다. 특히 고강도의 경우는 유동성이 크므로 측압에 대한 면밀한 계획이 수립되어야 하며 거푸집 조기 제거는 콘크리트 양생의 불리한 점 때문에 80kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 강도에서 제거되도록 ACI 363에서는 권하고 있다.

초기의 습윤양생이 길수록 고강도가 얻어지고 습윤기간과 거푸집의 존치기간과는 불가분의 관계가 있으므로 고강도 콘크리트는 존치기간이 길수록 좋다.

그러나 실제공사에서는 경제성을 무시할 수 없으므로 거푸집 제거 후 충분한 수분과 온도를 공급할 수 있는 보완조치가 필요하다. 이외에도 거푸집의 재질도 강도발

현에 중요하므로 가능한 견고하고 수분침투가 되지 않는 것으로 선택되어야 한다.

### 2.5 시험배치(Trial Batch)

고강도 콘크리트는 실험실 배합 이외에도 가능한 현장 시험배합을 거쳐야 한다. 이는 현장에서의 단위수량과 콘크리트의 생산 및 타설 여건이 실험실과는 많이 차이가 나기 때문에 실제 현장에서 사용될 장비와 인력을 사용하여 반복시험배치를 통하여 실용성과 품질이 평가될 수 있도록 실시되어야 한다.

### 2.6 강도시험방법

고강도 콘크리트에서는 압축강도의 측정이 매우 중요한 관심사항이다. 압축강도의 측정에는 KS F 2405의 표준시험방법에 의해서 이루어져야 한다. 압축강도 측정에 영향을 미칠 수도 있는 강도시험기는 계측의 정확성, 수직과 수평의 강성, 안전성, 기기작용점의 일치, 가력판의 형태, 구좌가력판의 거동을 관찰하여야 한다.

콘크리트는 강도가 커질수록 시험방법

및 시편제작에 따른 오차의 정도가 커진다. 일반 콘크리트에서 시험결과에 거의 영향을 주지 않는 요인도 고강도 콘크리트에서는 심각한 결과를 초래할 수 있다. 또한 시편의 크기도 문제점이 된다.

비록 고강도 콘크리트를 주로 사용하는 지역에 위치한 시험실은 시험기기의 용량을 늘릴 수 있다 하더라도, 다른 여러 실험실에서는 시편의 표준 크기인  $\phi 15 \times 30\text{cm}$  실린더를 사용하여 고강도 콘크리트를 시험하기에는 시험기의 성능이 부적합한 경우가 많다.

그러나 KS에서의 규정은 이러한 표준크기의 시편에 대한 강도 결과를 기준으로 설정하고 있기 때문에, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는  $\phi 15 \times 30\text{cm}$  표준 실린더와  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 작은 실린더에 대한 강도의 상관관계를 밝힘으로써, 작은 실린더를 고강도 콘크리트의 시험시편으로 사용가능하게 할 수 있다. 플라스틱이나 양철로 만든 몰드나 판지를 이용하여 KS규정에 따라 제작한 콘크리트시편은 강철몰드로 만든 시편보다 강도가 어느 정도 떨어

지게 된다. 실제 일반 콘크리트는 주로 플라스틱 몰드를 사용하여 제작되는데 고강도 콘크리트에 사용하는 것도 무방하다.

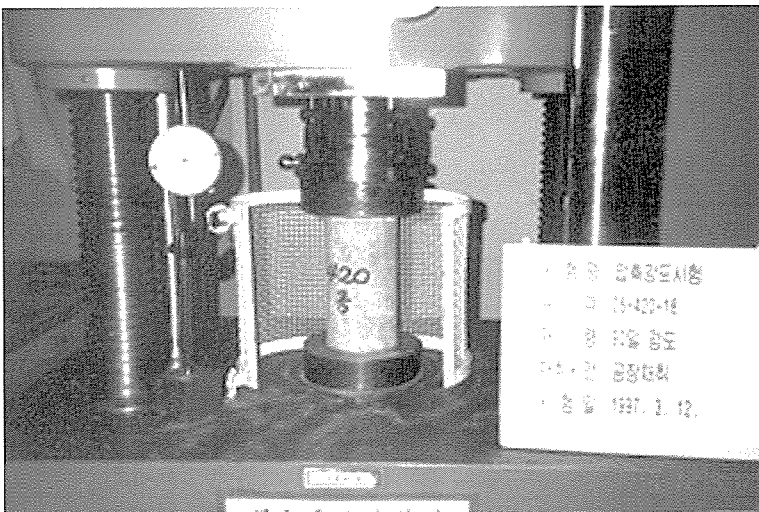
다만, 플라스틱 몰드의 재사용은 허용되지 않는다. 고강도 콘크리트에서 시험강도는 시편의 마감조건에 따라 크게 변화된다. 고강도의 캐핑컴파운드는 3mm의 균일한 두께로 사용되어야 한다. 캐핑을 위한 다른 방법으로 KS 마감조건에 따라 실린더의 끝단면을 회전 연마반으로 갈아서 시험할 수 있으나, 이 방법은 시험단가가 높아지는 단점이 있다. 또한 이 방법을 사용할 경우 콘크리트가 강도를 획득하는 중에서도 시편을 갈기가 어렵기 때문에 시편 제작 후 1~2일이 경과한 다음에 이루어져야 한다.

압축시험기는 KS규정에 만족해야 하며, 고강도 콘크리트에서 시험기의 강성은 압축강도의 측정에 크게 영향을 미친다. 또한 시험기기는 매 6개월마다 점검하여 보정하여야 한다.

### 2.7 품질관리

고강도 콘크리트의 압축강도 측정에서 가장 중요한 부분의 하나는 콘크리트의 재령이다. 많은 연구에 의해 고강도 콘크리트는 재령 28일 이후에도 압축강도가 계속

압축강도 시험장면



#### 3) 변동계수(coefficient of variation : CV)

두 자료의 산포를 비교할 때 유용한 척도로 절대적 산포척도의 대표값에 대한 상대적 비율

$$\text{변동계수(CV)} = \frac{s}{\bar{x}}$$

#### 4) 표준편차(standard deviation : SD(X))

분산은 제곱값의 평균이므로 측정의 단위가 원자료와 달라져 제곱근을 취하여 측정단위를 같게 만든 것

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

(출처) 통계학이론 III, 석호중, 한국건설시험연구원, 2004년

증진됨을 보여주고 있다. 고강도 콘크리트는 주로 고층구조물에서 사용되는데 구조물의 하단부분은 1년 혹은 그 이상의 시간까지 완전한 지중이 작용하지 않기 때문에 압축강도 시험기간을 연장하는 것도 합당하다. 콘크리트의 경우 요구되는 강도성능을 만족하려면, 콘크리트의 평균강도가 설계강도보다 높아야 하며, 목표강도를 초과하는 정도는 변동계수나 표준편차<sup>\*)</sup>로 나타나듯, 예상변화에 따라 그리고 압축강도 시험결과값이 낮은 경우를 어느 정도 허용하느냐에 따라 다르다. 연구결과에 의하면 압축강도 350kgf/cm<sup>2</sup>에서 480kgf/cm<sup>2</sup>의 범위에서 표준편차가 일정하게 되므로 콘크리트의 평균강도가 증가함에 따라 변동계수는 실제로 줄어든다.

### 3. 경제성 평가

#### 3.1 고강도 콘크리트의 이점

고강도 콘크리트의 이점은 고강도화에 따른 단면의 축소와 그에 따른 구조체 자중의 감소, 그리고 고내구성 및 고성능 강수제의 사용에 따른 유동성의 증진으로 고품질의 콘크리트가 가능하는 등 다음과 같은 많은 이점이 있다.

- 1) 단면감소 - 유효사용 면적 증대
- 2) 자중감소 - 단면축소에 따른 자중감소로 내진 등 설계시에 유리
- 3) 층고단축 - 고강도화로 보의 층 등이 작아져 층고가 단축될 수 있다.
- 4) 시공능률 향상 - 유동성 증진으로 콘크리트 타설이나 펌프 성능이 향상됨
- 5) 진동의 감소 - 진동기의 사용 없이도 작업이 용이
- 6) 공기단축 - 조기강도의 발현으로 거푸집 제거시기가 단축되며 단면이 일정

하므로 거푸집 회전기간이 단축됨  
 7) 노무량감소 - 시공의 용이성 때문에 작업 노무량이 감소될 수 있음  
 이러한 고강도 콘크리트는 결국 경제적인 평가로 나타나는데 이는 다음 3가지로 정리될 수 있다.

- 1) 높은 강도/단위경비 - 제조가격 상승에 비하여 강도 증가비율이 큼
- 2) 높은 강도/단위무게 - 강도의 증가에 비하여 중량의 증가가 미미함
- 3) 높은 강성/단위경비 - 제조가격 상승에 비하여 탄성계수의 증가로 강성의 증대율이 큼

이외에도 고강도 콘크리트는 강도의 증가에 따른 크리프 계수(Specific Creep)의 감소로 고층건물에 사용시 수직부 등 변위를 막을 수 있어 큰 이점으로 생각되어진다.

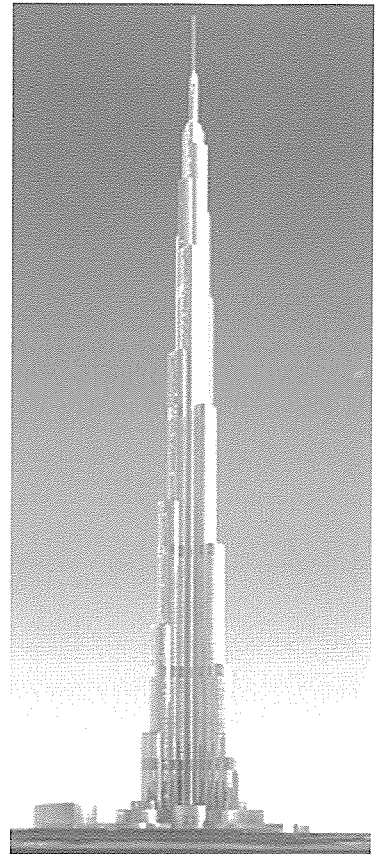
### 4. 고강도 콘크리트의 미래

언제까지 이러한 초고층 건물의 건축이 지속될까? 구조 전문가들에 의하면, 초고층은 더 이상 건축 재료나 기술적인 한계가 아니라 결국 공사비용, 투자비의 회수와 같은 경제적인 문제로 귀결된다고 한다.

초고층 붐이 서양이 아니라 하필 아시아 나고 묻는다면 아시아의 인구 증가와 더불어 인구의 꾸준한 도시집중 현상 등을 들 수 있다.

2004년 현재, 진행 중인 프로젝트로는 상하이의 모리타워(Mori Tower/492m), 부산의 롯데타워(493m) 등을 들 수 있다. 계획 중인 것으로는 뉴욕 무역센터 자리에 541m, 도쿄만 해상 840m짜리 초고층타워, 아랍에미리트의 수도, 두바이의 초고층(그림 참조) 등을 들 수 있다.

초고층빌딩, 이제는 'Skyscraper' 가아



나라, 'Skypoker' 라는 말이 등장했다. 도시의 스카이라인에 뼈죽이 솟아오른 정도가 아니라, 아예 하늘의 구름 속으로 긴 창을 찌를듯이 솟아올랐다는 의미이다. 이러한 인류의 욕구와 그로 인한 초고층 건축물의 수요는 고강도콘크리트에도 다음과 같은 미래를 요구할 것이다.

- 더욱 더 높은 강도
- 더욱 더 우수한 유동성
- 더욱 더 우수한 내구성 등을.....



**+김명훈**  
 한국건설시험연구원  
 품질경영부

※ 본 원고는 현양대학교 신성우 교수의 '고강도 콘크리트 국내·외 활용현황 및 경제성'을 바탕으로 작성하였음을 밝혀드립니다.