

특 집

고성능 콘크리트

고성능 콘크리트의 고강도 실용화에 관한 국내외 연구동향

The Overseas and Domestic State-of-the-Art of High Performance Concrete to High Strength



정 상 진*



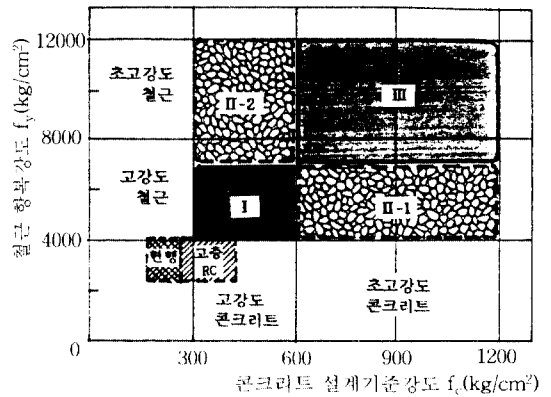
최 기 봉**

1. 서 언

콘크리트로 이루어진 구조물이 고층화, 대형화함에 따라 건설의 기본재료인 콘크리트의 고강도화가 요구되고 있다. 이러한 기본적인 요구에 의하여 콘크리트가 고강도화하여 가는 추세에 있고, 이에 대한 연구도 활발히 진행되고 있는 실정이다. 일반적으로 현장에서 타설하는 고강도콘크리트에 대한 제조기술, 시공관리기술, 시험법 등의 기술 수준에 따라 나라마다 설계기준강도의 값을 다르게 규정하고 있다. ACI에서는 420 kg/cm^2 이상을 고강도콘크리트로 규정하고 있는데 비해 JASS, KASS에서는 $270 \text{ kg/cm}^2 \sim 360 \text{ kg/cm}^2$ 으로 규정하고 있다. 일본의 경우 제조부터 시공에 관련한 RC 공사 전반에 대한 일본건축센터의 평가를 토대로해서 건설성의 인정을 받으면 전술한 값 이상의 설계기준강도를 설정할 수 있어, 최근에는 $400 \text{ kg/cm}^2 \sim 600 \text{ kg/cm}^2$ 까지의 현장타설 고강도콘크리트가 건축구조물에 사용되고 있다. 국내의 경우 고강도콘크리트에 대한 제조기술

이 전보다 향상되고 시공관리등의 여건이 개선되어감에따라 설계기준강도에 대한 규정치를 조정해야한다는 여론이 있어 대한건축학회에서 건설부 용역으로 개선하고 있는 건축공사 표준시방서에서는 이러한 실정을 감안하여 설계기준강도의 규정치를 약간 상향시키는 선에서 검토를 하고 있음을 밝혀둔다.

선진 외국에 있어서 콘크리트의 강도수준은



- I : 고강도재료를 사용한 RC조
- II-1 : 초고강도 콘크리트를 사용한 RC조
- II-2 : 초고강도 철근을 사용한 RC조
- III : 초고강도를 사용한 RC조

그림 1 재료강도와 연구개발 범위의 관계

* 정회원, 단국대학교 건축공학과, 교수
** 정회원, 경원대학교 토목공학과, 교수

1980년초부터 현재까지 400 kg/cm²~600 kg/cm² 정도의 실강도를 『고강도콘크리트』, 600 kg/cm²~1000 kg/cm² 이상을 『초고강도콘크리트』로 간주하고 있다.

이와같은 콘크리트의 강도수준은 콘크리트를 제조하는 기술이 향상됨에 따라 향후 고강도라 불리는 범위가 보다 높아질 것으로 생각된다. 최근 일본의 건설성 종합기술 프로젝트팀에서는 시공이 가능한 범위에서 그림 1 에서 보여주는 바와같이 강도수준을 설정하여 재료, 시공기술 등에 관하여 검토를 하고 있다.

이하에서는 건축구조부분은 제외하고, 설계기준강도 270 kg/cm² 이상으로 현장에서 타설할 수 있는 콘크리트를 대상으로 하여 기술하고자 한다.

2. 고강도콘크리트의 제조

콘크리트를 고강도화하는 방법은 그림 2 와 같이 대별할 수 있다.

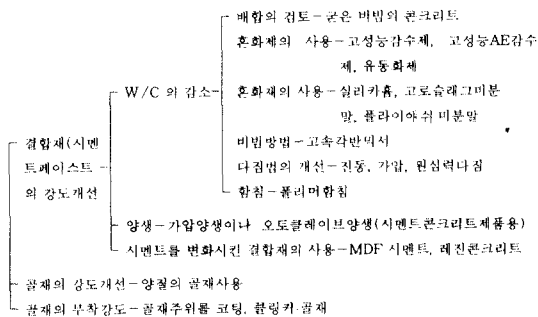


그림 2 콘크리트를 고강도화하는 방법

2.1 시멘트

고강도콘크리트를 제조하기 위해 기본적으로 고려하여야 할 것은 사용재료를 들 수 있다. 먼저 시멘트에 대해 설명하면, 현장타설하는 고강도콘크리트에 쓰이는 시멘트는 보통포틀랜드시멘트가 사용된다. 결합재인 시멘트페이스트의 강도는 내부에 존재하는 공극량을 감소시킴에 따라 높일수 있고 페이스트중의 공극을 감소시키는 방법에는

1) W/C 비를 적게해서 농도를 높이며 잉여수를 가능한 작게 함

2) 수화를 촉진시켜 공극을 작게함 (혼화제의 사용으로 시멘트 입자를 분산시키거나, 온습도에 의한 양생을 충분히 함)

3) 굳지 않은 시멘트페이스트를 가압해서 공극을 작게 함

4) 공극을 고강도의 충전재 또는 무기질 분말로 충전시킴 (고분자 수지를 함침시키거나 실리카흄, 고로슬래그미분말등을 사용해서 공극을 작게함) 이 있다. 일반적으로 압축강도 600 kg/cm² 정도까지의 고강도콘크리트를 제조할시에는 1), 2)를 혼합한 방법이 주로 쓰이고, 그 이상의 고강도콘크리트를 제조하기 위해서는 4)의 방법을 추가하여 사용할 수 있다.

2.2 혼화재료

전술한 바와같이 압축강도 600 kg/cm² 이상의 고강도를 얻기 위해서는 보통포틀랜드시멘트에 실리카흄, 고로슬래그미분말, 플라이아쉬를 첨가하여 사용하고 있다.

실리카흄은 실리콘, 페로실리콘등을 제조할시 에 생기는 SiO₂를 주성분으로한 초미립자로서 입경이 0.1~0.2 μm 정도, 비표면적이 20만 cm²/g 이다. 그러므로 실리카흄을 사용한 콘크리트의 조직은 치밀해질 수 밖에 없으며, 실리카흄의 치환율은 보통 15~20%로 하면 마이크로필러의 효과에 의하여 1200 kg/cm² 정도의 고강도를 얻을 수 있다.

고로슬래그 미분말은 고로슬래그분말을 더욱 미세하게 분쇄해서 분말도를 4000~10000 cm²/g 정도로 높게하여 고강도콘크리트의 혼화재로 사용하고 있다. 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트에서는 치환율을 40%정도로 하면 재령 56일의 압축강도는 1100 kg/cm² 정도를 나타낸다.

화력발전소에서 미분탄을 연소할시에 나오는 부산물의 일종인 플라이아쉬는 분말도 3000~3500 cm²/g 정도로서 콘크리트에 고성능 감수제와 함께 첨가해서 고온양생하여 사용하게 되면 고강도를 얻을 수 있다.

최근에는 시멘트에 고로슬래그 미분말과 실리카흄을 혼합 첨가하여 장기 고강도를 확보하기 위

한 연구가 진행되고 있다.

2.3 화학혼화제

고강도콘크리트의 제조에는 화학혼화제를 사용하여 단위수량을 저감하고 불 시멘트를 작게하는 방법이 가장 효과가 크다. 고강도콘크리트에 쓰이는 혼화제에는 주로 고성능 감수제와 유동화제가 사용된다. 고성능 감수제는 시멘트 입자 표면에 제를 흡착시켜 전위를 크게하여 분산성을 높게 하고, 젯타전위의 시간적인 변화가 작게해서 슬럼프로스(slump loss)를 작게 한다. 고성능감수제는 특수 리그닌설폰산계 등을 첨가하여 사용해야 한다. 첨가량이 표준량보다 많게 되면 공기량이 과다해지고, 응결시간이 지연되는 등의 문제가 생길 우려가 있으므로 주의하여야 한다. 고성능 감수제의 첨가는 동시 첨가보다 분할 첨가하는 쪽이 효과가 클 것으로 생각된다.

2.4 골재

고강도콘크리트의 성능에 미치는 골재의 영향은 보통강도인 콘크리트의 경우에 비하여 훨씬 크다고 할 수 있다. 콘크리트의 소요성능을 얻기 위해서는 골재 선정 방법을 확립할 필요가 있다. 아울러 골재의 성능을 평가할 수 있는 실험 방법도 개발되어야 할 것으로 생각된다. 압축강도는 시멘트페이스트와의 부착 때문에 입형이 둥근 강자갈보다 입형이 나쁜 채석이 20~30% 더 크고, 경질 사암이나 안산암계를 사용하면 강도상 유리하다고 생각된다. 최근에 고강도콘크리트의 압축인성을 개선하기 위해 골재 주위에 아크릴계 유제, 에폭시수지를 함침시키는 연구도 진행되고 있다.

2.5 배합, 제조, 다짐

콘크리트의 성능은 사용재료와 그 배합 비율에 따라 결정되는 것이 일반적이다. 콘크리트의 배합 강도를 결정하는데에는 콘크리트 강도에 대한 허용불량률의 정도, 콘크리트 제조의 공정 능력 및 그 평가법에 관한 데이터를 수집 분석하여 고려하

여야 한다.

최근에 믹서의 종류나 비빔방법이 콘크리트 강도에 어떠한 영향을 주는지를 검토한 연구가 다수 발표되고 있지만, 아직까지 설득력 있는 결과는 볼 수 없다. 믹서는 고속믹서가 사용된다. 향후 보통콘크리트의 제조에 사용 가능하고 고강도콘크리트에도 적합한 믹서가 개발되어야 할 것이다. 비빔방법에 있어서 DM법이나 SEC법이 일괄투입 방식보다 압축강도가 10~20%크게 나타나고 있다. 콘크리트는 VH분리타설하는 것이 바람직하며, 타설량은 버킷을 사용할시 20 m³/h정도이고, 펌프를 사용할 시에는 30~40 m³/h가 적당하다. 고강도콘크리트는 다짐 불량한 결합부위로부터 내력저하가 없도록 충분한 다짐을 한다.

3. 연구동향

3.1 국내의 연구현황

고강도콘크리트가 '87년 과학기술처의 특정연구과제로 채택된 이후에 대학이나 관·민 연구소에서 연구가 진행되어 왔다. 연구는 실험실에서 실시한 공시체 실험이 중심을 이루고 있고, 극소수 이긴 하나 현장에서 부재모델 실험을 실시하였다. 실험실 실험은 고성능 감수제나 실리카흄등의 첨가에 따른 공기량, 슬럼프의 변화등에 관한 성질과 재령에 따른 압축강도, 정탄성계수, 인장강도 등의 역학적성을 검토하는데 중점을 두고 있다. 현장실험은 구조물을 모델화한 두께가 얇은 콘크리트 부재를 제작하여 온도분포를 측정하고 소정의 재령후에 코아공시체를 채취하여 강도를 살펴본 것을 주내용으로하고 있다.

실험실 실험을 실시한 예는 다음과 같다.

김진근, 신성우 등은 단위 시멘트량 5수준, W/C 비 3수준, 잔골재율 3수준등으로 변화시키고 나프타린계 감수제를 1.0%정도 첨가하여 강도발현을 검토한 결과 재령 28일에 압축강도 827 kg/cm² 을 얻고 있으며, 이와 유사한 실험을 실시한 김무한은 Synthetic 폴리머계를 1.5%첨가하고 단위시멘트량 735 kg/cm² 사용한 콘크리트의 28일 강도는 680 kg/cm² 를 나타낸다고 기술

하고 있다. 나프타린계의 고성능 감수제를 1.0~2.0%정도 첨가하여 W/C 비에 의한 압축강도를 검토한 이장화는 재령 28일에 502 kg/cm^2 의 강도를 얻었다고 보고하고 있다. 고성능 감수제의 품질을 평가한 박철립등의 연구에서는 W/C 40%, 단위수량 170 kg/m^3 을 1수준으로 고정한 배합에 고성능 감수제 8수준을 변화시켜 슬럼프, 압축강도를 검토한 결과에 의하면 슬럼프로스가 커졌고 강도는 500 kg/cm^2 이상을 확보할 수 있었다고 기술하고 있다.

혼화제인 실리카흙을 시멘트에 첨가하여 강도성상을 검토한 오병환, 정현수, 김무한의 연구들에 의하면 28일 압축강도가 $650\sim 800 \text{ kg/cm}^2$ 정도였다고 보고하고 있다. 또한 플라이애쉬 10%내외를 첨가하여 검토한 김진근, 김무한의 연구에서는 28일 압축강도가 700 kg/cm^2 내외였다고 기술하고 있다.

고강도콘크리트에 미치는 골재의 영향을 파악하기 위해 강자갈, 쇠석등 골재를 인자로 해서 실험한 정일영은 골재량이 강도에 영향을 주지 않으나 골재의 입경이 작을수록 강도는 증가한다고 서술하고 있다. 또한 동일한 목적으로 실험을 실시한 김무한은 석회석의 골재보다 화강석의 골재를 사용한 콘크리트가 우수하다고 기술하고 있다.

그 외에 고강도콘크리트에 관한 제조, 성질등을 기술한 이리형, 오병환, 최기봉 등의 보고서가 있다. 현장에서 부재모델 실험을 실시한 예는 다음과 같다.

나프타린계 감수제를 첨가하여 만든 콘크리트를 공동 주택의 벽체에 타설해서 재령 28일후 채취한 코아공시체의 압축강도가 500 kg/cm^2 정도였다고 신성우는 보고하고 있다. 이와 유사한 실험으로는 박철립의 연구가 있다. 실리카흙과 감수제를 동시 첨가해서 만든 콘크리트로서 보와 기둥을 제작하여 압축강도를 조사한 결과에 따르면, 730 kg/cm^2 정도의 압축강도를 확보할 수 있었다고 설명하고 있다.

압축강도 570 kg/cm^2 의 고강도콘크리트를 사용하여 제작한 매스 부재내의 강도 분포를 검토한 정상진의 연구 결과에 따르면, 부재 내외부 사이에는 수화열에 의한 강도차이가 생겼고, 타설온도

를 낮춘만큼 부재의 강도 발현이 유리하게 나타났다. 또한 단열 양생한 공시체 강도와 부재 강도사이에는 상관성이 있어 품질을 관리할시에는 단열 양생한 공시체가 이용될 수 있음을 보여주고 있다.

전술한 바와 같이 국내 연구들은 대체로 단위시멘트량, 감수제 및 혼화제의 첨가량, W/C비, 골재종류와 강도, 슬럼프등의 관계를 검토한 것으로서 기본 실험에 바탕을 두고 있다. 콘크리트를 고강도화하는 제조기법은 어느정도 기술이 축적되어 있지만, 향후 보다 체계화되고 경제성이 있는 제조기법을 제시할 필요가 있다.

현장에서 부재수준으로 실험한 예가 적고, 공시체 강도와 부재강도와의 관계 검토가 부족한 감이 있다. 또한 부재가 매스인 경우에 수화열과 강도 발현관계, 이에 대한 메카니즘, 구조체의 강도관리 기법등에 관한 연구도 향후 검토가 되어야 할 것으로 본다. 앞으로는 현재까지의 연구결과를 토대로 하여 고강도콘크리트에 대한 물성을 전반적이면서 체계적으로 파악하고, 구조체 콘크리트의 품질관리 기법등을 구축하여 보다 적극적인 자세로 고강도콘크리트를 사용해 나가야 할 것이다.

3.2 일본의 연구현황

1963년까지 일본은 10층 미만의 건축물이 대부분이었으나, 1965년부터 건축물의 높이 제한이 해제됨에 따라 20층 이상의 철골조의 초고층 건축물이 출현하게 되었다. 1980년대 초반부터 20층이상의 철근콘크리트조 건축물이 신축되면서부터 고강도콘크리트가 사용되어, 현재 압축강도 $400 \text{ kg/cm}^2\sim 600 \text{ kg/cm}^2$ 정도의 고강도콘크리트가 실용화 되고 있다. 서두에서 언급한 바와 같이 건설성 종합 기술프로젝트팀에서 목표로 한 압축강도 1200 kg/cm^2 이 달성되었고 이같은 초고강도 콘크리트를 사용한 고층 건축물의 출현이 머지않아 실현될 전망이다. 그림 3, 4, 5 는 콘크리트를 고강도화하는 방법을 재료, 시공분야로 나누어 분류한 것이고, 표 1 은 현장 타설하는 고강도콘크리트를 강도별로 분류하여 제조할 수 있는 방법을 나타내고 있다.

표 1 현장타설의 고강도콘크리트 제조법

설계기준강도 (kg/cm ²)	420~480	600	1000	1200	
배합강도 (kg/cm ²)	600	800	1200	1400~1500	
재료	시멘트	시판 시멘트로 제조 가능 품질은 JIS등의 규격에 적합	시판 시멘트로 제조 가능 품질은 JIS등의 규격에 적합	시판 시멘트로 제조 가능 현행의 JIS 규격으로는 부적합함	시판 시멘트로 제조 가능 품질은 JIS등의 규격에 적합
	골재	JASS 5의 품질규정에 적합	JASS 5의 품질규정에 적합	JASS 5의 품질규정뿐 아니라 골재의 품질기준이 필요함	JASS 5의 품질규정뿐 아니라 골재의 품질기준이 필요함
첨정	혼화제	고성능 감수제 사용 품질은 JISA 6204 에 적합	고성능 감수제 사용 품질은 JISA 6204 에 적합	고성능 감수제 사용 품질기준, 사용기준을 작성함	초고성능 감수제 필요
	혼화제	JASS5의 품질 규격에 적합	실리카흄, 고로슬래그 미분말사용 JASS 5의 품질 규격에 적합	실리카흄, 고로슬래그 미분말사용이 불가피함 품질기준, 사용기준을 작성함	실리카흄, 고로슬래그 미분말사용이 불가피함 품질기준, 사용기준을 작성함
배합	물결합재비(%)	30~35 (시공)	25~30 (시공) 30~35 (시험실)	20~25 (시공) 25 (시험실)	20 (시공) 21 (시험실)
	단위결합재량	500 kg/cm ² 이하	600 kg/cm ² 이하	700 kg/cm ² 이하	700 kg/cm ² 이하
비고	시공에가 증가함	시공되고 있음		시험실에서 제조 가능	

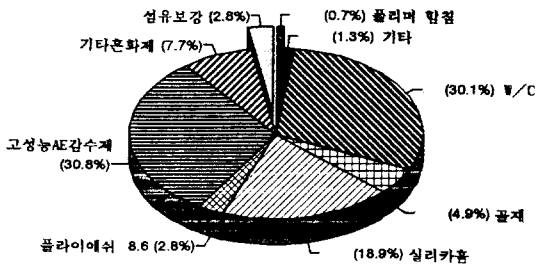


그림 3 재료에 의한 고강도화 수법

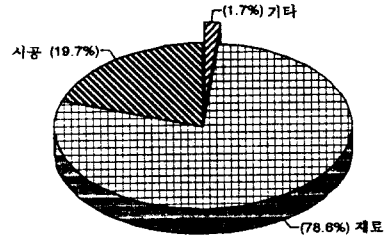


그림 5 재료, 시공에 따른 고강도화 수법

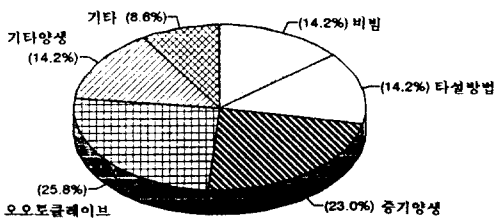


그림 4 시공에 의한 고강도화 수법

최근의 연구보고에 의하면 슬래그등의 혼화제를 사용하지 않고 구성 화합물을 변화시켜서 제조한 저열포틀랜드시멘트를 사용하면, 수화열에 의

한 온도를 저감시킬수 있고 재령 91일에 강도 1500 kg/cm² 를 얻을 수 있다는 보고서가 나오고 있고, 이런 유형의 연구들이 많이 진행되고 있다. 그리고 분체 조성을 변화시켜 입도조정(비표면적 18,000cm²/g)한 보통포틀랜드시멘트에 고성능 감수제를 첨가해서 제조한 콘크리트의 압축강도가 1200 kg/cm² 정도이다. 저계면 활성제인 셀룰로스로스계 증점제를 고성능 감수제와 함께 첨가하여 제조한 콘크리트는 분리하지 않는 초유동성을 낼 수 있으며, 650 kg/cm² 정도의 고강도를 얻을 수 있고 이런 유형의 연구도 많이 진행되고 있다.

표 2 는 고강도콘크리트를 사용해서 시공한 건

표 2 고강도콘크리트를 사용하여 시공한 건축물의 일례

		사 례 1	사 례 2
건 물 개 요	기준층면적	1,008m ²	1,009m ²
	연면적	40,523m ²	32,413m ²
	지상	40 층	32 층
	층수 지하	0 층	0 층
	옥탑	2 층	2 층
	건물높이	114.1 M	94.4 M
	높이 최고높이	123.2 M	106.4 M
주 요 재 료	층고	2.90M, 2.85M, 2.80M, 2.75M	2.95M, 2.90M, 2.85M, 2.8M
	1층층고	4.0 M	
	스팬	6×6	7×5
	평면 스패ん길이	X : 5.4M, Y : 5.4M	X : 5.5M, Y : 5.5M
	기둥수	기둥 : 45본/층	기둥 : 44본/층
	슬래브수	슬래브수 : 36매/층	슬래브 : 34매/층
	보갯수	보 : X 38본, Y 38본 경사보 : 4본	보 : X 36본/층, Y 36본/층 경사보 : 4본/층
주 요 재 료	콘크리트	말뚝 기준 : Fc 240, 360, 480 Slp 18, 8/18, 12/18 상부 : Fc 480~330, Slp 18, 12/18 LFc 270~240, Slp 15/18	말뚝 기준 : Fc 240, 360 상부 : Fc 420~300, Slp 12/18 LFc 225, Slp 12/18
	철근	주근 : SD 40 (D32~41), 보강근 : SD 35 (D13~16)	주근 : SD 40 (D35~41), SD 35 (D25~32) 보강근 : SBPD 130/145 (U7.4~U13)
공 법 개 요	콘크리트공사	기둥 : 현장타설, 유동화콘크리트 보 : 현장타설, 유동화콘크리트 바닥 : half PC 합성바닥판 타설방법 : VH 분리타설 기기 : 배깅, 폼프	기둥 : 현장타설, 유동화콘크리트 보 : 현장타설, 유동화콘크리트 바닥 : 현장타설, 유동화콘크리트 타설방법 : VH 분리타설 기기 : 기둥은 배깅, 보 바닥은 폼프
	기둥집공사	기둥 : 합관, 금속재, 대형기둥집 기준 : 상동 슬래브 : half PC 판	기둥 : 합관, 금속재, 관대기둥집 기준 : 플라이밍 기둥집 슬래브 : 플라이밍 기둥집
	철근공사	기둥 : 선조립철근, 보울트이음, 자동가스압접, 엔크로저용접 보 : 선조립철근, 보울트이음, 엔크로저용접 바닥판 : half PC 판위에 현장배근	기둥 : 1층분 선조립철근, 보울트이음 보 : 선조립철근, 바닥판 : 현장배근 또는 이형철근
	공정	12 일/층(타워크레인 1기) 10 일/층(타워리프트 1기)	

축물의 예를 나타내고 있다.

3.3 미국의 연구현황

미국은 일본보다 20년 앞서 50층 이상의 초고층 건축물을 신축하였고 구조체에 사용한 콘크리트는 고강도를 채택하고 있었다. 1980년대 초기에

사용한 고강도콘크리트의 설계기준 강도는 660 kg/cm², 1989년에는 980 kg/cm² 정도였으나, 최근에 와서 설계기준 강도가 1200 kg/cm² 정도로 높아진 초고강도콘크리트를 실용화 하고 있다.

향후 이보다 더높은 초고강도를 목표하여 연구개발에 몰두하고 있다. 이와 같은 배경에는 고성능감수제를 비롯한 화학 혼화제의 성능향상이

뒤따랐기 때문에 가능하였다고 볼 수 있다. 표 3은 ACI 363 위원회가 작성한 기술보고서에 수록되어있는 내용으로서 고강도콘크리트를 사용하여 시공한 건축물의 예를 나타내고 있다.

표 3 미국의 주요 초고층 철근콘크리트조

건물명칭	연도	층수	Fc 최대치 (kgf/cm ²)
Pacific Park Plaza	1983	30	460
S.E.Financial Center	1982	53	490
Petrocanada Building	1982	34	510
Lake Point Tower	1965	70	530
Texas Commerce Tower	1981	75	530
Helmley Palace Hotel	1978	53	560
Trump Tower	1979	68	560
City Center Project	1981	52	560
Collins Place	1980	44	560
Larimer Place Condominiums	1980	31	560
499 Park Avenue	1977	27	600
Royal Bank Plaza	1975	43	620
Richmondo Adelaide Center	1978	33	620
Midcontinental Plaza	1972	50	630
Frontier Towers	1973	55	630
Water Tower Place	1975	74	630
River Plaza	1976	56	630
Chicago Mercantile Exchange	1982	40	630
Century Square	1986	30	700
Two Union Square	1987	58	980
225 West Wacker Drive	1989	31	980
311 South Wacker Building	1990	65	840

4. 맺는말

콘크리트 구조물이 고층화, 대형화함에 따라 콘크리트의 고강도화가 이루어져 선진 외국에서는 강도 1200~1500 kg/cm²의 콘크리트가 개발되어 실용화할 단계에 있다. 이에 비하여 국내의 경우 아직까지는 강도수준이 500~600 kg/cm² 정도에 머물고 있으며, 이를 상업적으로 실용화하기 위해서는 보다 체계화되고 경제성 있는 제조기법을 확립할 필요가 있다. 또한 구조체 콘크리트의 품질관리기법, 강도발현 관계등을 제시하여야겠고, 고강도콘크리트를 상업적으로 이용할 경우 이를 실험적으로 검증해줄 수 있는 인정기관의 설립도 필요하리라 사료된다.

그러므로 고강도콘크리트의 고급화 고품질화를 위해서는 수행하고 있는 연구내용들이 중복되지 않도록 하여야하며, 미비한 연구시설, 인력등을 효율적으로 활용하기 위해서는 產, 學, 硏이 업무를 분담해서 심도있는 연구를 수행해 나갈수 있도록 해주어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 일본건축학회 : 학술강연경개집 재료시공편 (1985~1993)
2. ACI Committee 363, "state-of-the-art Report on High-Strength Concrete" ACI J, Vol.81, No.4, 1984
3. A.Giraldi, "High-Strength Concrete in Washington, D.C." Concrete Int., Vol.11, No.4 1989
4. 김진근 외 3인, "고강도, 유동화 및 섬유 콘크리트의 개발과 역학적 특성에 관한 연구" 과학기술처
5. 김무한 외 4인, "고강도 유동화콘크리트의 유동화성상 및 공학적 특성에 미치는 고성능 감수제 및 조골재의 영향에 관한 실험연구" 대한건축학회 학술발표논문집, 1990.10
6. 이장화 외 4인, "고강도콘크리트의 실용성 향상을 위한 실험적 연구" 콘크리트학회 논문집, 1992.6
7. 박철림 외 3인, "고강도콘크리트용 혼화제의 품질성능에 관한 실험적 연구" 콘크리트학회 논문집, 1993.3
8. 오병환 외 1인, "실리카흙을 사용한 고강도콘크리트의 역학적 특성과 최적배합 연구" 콘크리트학회지, 1989. 9
9. 정현수, "실리카흙 및 플라이애쉬를 사용한 고강도콘크리트에 관한 연구" 레미콘지, 1990. 9
10. 김무한 외 3인, "강섬유 보강 실리카흙 콘크리트의 개발 및 공학적 특성에 관한 연구" 대한건축학회 논문집, 1991. 12
11. 김진근 외 2인, "고강도 플라이애쉬 콘크리트의 장기강도 특성에 관한 연구" 콘크리트학회 논문집, 1991. 12
12. 김무한 외 5인, "고강도 유동화 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 미치는 조골재 크기의 영향에 관한 실험적 연구" 대한건축학회 논문집, 1993. 10. 30

13. 정일영, “고강도콘크리트에 있어서 조골재량이 강도특성에 미치는 영향에 관한 연구” 대한건축학회 논문집 1984. 8

14. 김무한 외 4인, “고강도콘크리트의 공학적 특성에 미치는 조골재 종류의 영향에 관한 연구” 대한건축학회 학술발표 논문집, 1991. 10

15. 이리형, “혼화제의 특성 및 콘크리트 내구성에 관한 조사연구” 한국레미콘공업협회, 1992. 1

16. 오병환 외 2인, “고강도콘크리트의 시공특성과 이용” 콘크리트학회지, 1990. 12

17. 신성우, “분당 삼성 초고층 APT에 500 kg/cm³

이상의 고강도콘크리트 시공 및구조적 연구” 콘크리트학회지, 1990. 12

18. 박철립 외 1인, “건축구조물에 고강도콘크리트 현장적용” 콘크리트학회지, 1993. 12

19. 정상진 외 4인, “고강도 매스콘크리트의 강도성상에 관한 실험적 연구” 대한건축학회 논문집, 1993. 10

20. 최기봉 외 4인, “고강도 철근콘크리트 초고층 건축물의 건설기술개발에 관한 연구” 한국과학재단 연구보고서, 1993 □

전문서적 보급 안내

“콘크리트 구조물의 비파괴 검사 및 안전진단”

- 본 학회 제 2 회 기술강좌 교재 -

- 주요내용 :
 - 비파괴검사의 종류, 특징 및 적용방법(이리형)
 - 반발경도, 초음파 및 탄성파법에 의한 비파괴 검사방법(최계식)
 - 전자파, 방사선, 적외선 등을 이용한 비파괴 시험(임창덕)
 - 콘크리트 구조물에 대한 비파괴검사의 응용 및 평가(권영웅)
 - 콘크리트 건축구조물의 안전진단 및 평가(김상식)
 - 콘크리트 토목구조물의 안전진단 및 평가(오병환)
 - 콘크리트 구조물의 유지관리 및 보수, 보강공법(박승범)
 - 콘크리트 내구성 향상방법 및 관련 시험방법(정재동)

● 보급가격 : 20,000원

● 문의처 : 546-5384, 543-1916