

고강도 · 고성능 콘크리트의 배합설계

박 기 철 / 우리 협회 전문위원
공학박사

1. 서 론

20C 후반에 미국을 중심으로 초고강도 콘크리트를 사용한 고층 구조물의 설계 및 시공이 활발히 추진되어 왔다.

대표적인 건물로는 1988년 미국 시애틀에 있는 합성구조인 Two Union Square Building에 콘크리트 압축강도 1,340kg/cm²(19,000psi)를 사용하였으며, 1991년 Cleveland에 있는

Society Center가 철근콘크리트 구조물로서 콘크리트 압축강도 840kg/cm²(12,000psi)를 사용하였다(그림 1.1 참조).

아시아 지역에서도 일본을 중심으로 초고강도 콘크리트에 대한 활발한 연구와 더불어 실제 건물에 대한 적용이 시도되고 있다.

일본의 경우 1988년에 건설성 주도로 산·학·관이 「새로운 철근콘크리트 계획(New R.C Prosect)」을 통하여 제조, 설계 및 시공

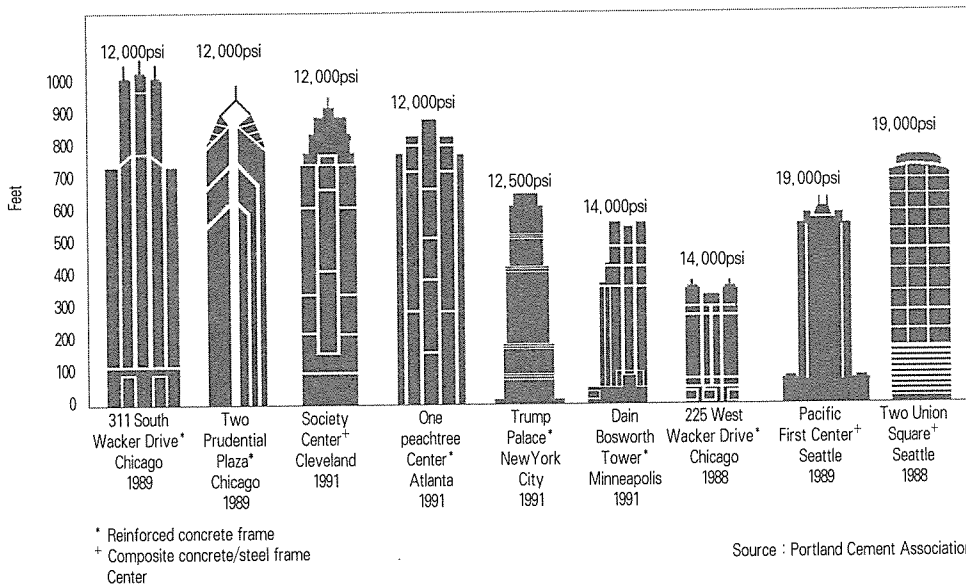


그림 1.1 초고강도 콘크리트를 사용한 고층건물 현황도

등에 대한 연구가 1993년에 완료되었으며, 최근 동경에 지상 39층(134.3m)의 주상복합건물이 콘크리트의 설계기준강도가 600kg/cm²로 계획되고 있다. 말레이시아의 KLCC(Kuala Lumpur City Center) Project에서는 저층부의 기둥 및 내력벽에 압축강도 800kg/cm²(80MPa) 정도인 초고강도 콘크리트를 제조하여 사용하였다.

이제 콘크리트의 압축강도에 한해서 철강재료의 강도영역까지 진입은 긴 시간을 필요로 하지 않을 것으로 전망된다.

국내에서는 1980년대 중반부터 고강도 콘크리트의 재료 및 부재의 구조적 거동에 관한 연구가 소수의 대학에서 행해져 왔으나, 선진국의 연구 성과에 비교하면 아주 미약한 실정이다.

1990년대 초부터 대기업의 일부 건설기술연구소에서도 가세하여 고강도 콘크리트의 제조방법에 대한 연구가 진행되고 있으며 그 결과로서 고강도 콘크리트의 제조에 관한 실무자료가 보고되고 있다. 1996년 4월에 대한건축학회에서 「고강도·고성능 콘크리트의 제조, 시공 및 설계」에 관한 연구보고서가 발간되었으며, 한국콘크리트학회에서는 「고강도 콘크리트 설계·시공 지침(안)」이란 연구보고서를 추진중에 있어 국내에서도 고강도 콘크리트의 실용화에 크게 기여할 것으로 전망된다.

본연구에서는 고강도 콘크리트의 제조방법을 살펴보고, 실제 초고강도 콘크리트를 사용하여 시공된 KLCC PROJECT의 배합설계를 소개하고자 한다.

2. 고강도 콘크리트의 사용재료

2.1 혼화제

보통강도 콘크리트를 제조하는 데 필요한 물시멘트비(W/C)는 50~70% 범위이다. 콘크리트의 압축강도를 증가시키기 위해서는 물의 양은 감소시키고 단위시멘트량은 증가시켜야 한다.

초고강도 콘크리트를 제조하기 위한 물시멘트비는 20~25% 범위에 해당되므로 물의 양이 대폭 감소되어 골재 및 시멘트 등과의 혼합이 매우 어렵다. 따라서 시공성이 양호한 고강도·고성능 콘크리트를 얻기 위해서는 반드시 고성능 감수제를 첨가해야 한다.

감수제란 콘크리트중의 시멘트 입자를 분산시키고 미세기포를 연행함으로써 단위수량을 감소시키고 작업성을 향상시킬 수 있는 혼화제이다.

콘크리트용 혼화제는 종류 및 사용방법에 따라 성능 및 효과가 다르기 때문에 고강도 콘크리트의 경우에는 감수효과 및 유동성의 개선을

표 2.1 고성능 AE 감수제의 조성에 따른 분류

분 류	주 성 분
나 프 탈 렌 계	나프탈렌 설펀산 포르말린 축합물과 특수계면 활성제
	나프탈렌 설펀산 포르말린 축합물과 반응성 고분자
폴리 카르본산계	폴리 카르본산 고분자
	폴리 카르본산 고분자 화합물과 架橋 고분자
멜 라 민 계	멜라민 설펀산과 변성리그닌
	변성 메치롤 멜라민 축합물과 수용성 특수 고분자
아미노 설펀산계	芳香族 아미노 설펀산계 고분자

향상시키기 위한 혼화제를 적절히 선정해야 할 필요가 있다.

표 2.1은 고성능 AE 감수제의 조성에 따른 분류를 크게 4종류로 나타내고 있다.

그림 2.1은 목표 슬럼프 $8 \pm 1\text{cm}$ 를 얻기 위해서 단위시멘트량별로 감수율과 고성능 감수제의 첨가량과의 관계를 나타내고 있다. 고성능 감수제의 첨가량이 증가할수록 단위수량은 감소되어 감수율이 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 최고 감수율은 고성능 감수제의 경우 약 30% 정도까지 가능한 것으로 보고되고 있다.

2.2 혼화제

혼화제로서는 실리카 흙(Silica Fume), 플라이 애쉬(Fly Ash) 및 고로 슬래그 등이 있으며, 이러한 혼화제의 입경은 시멘트 입경의 약 1/70 정도인 $0.1 \sim 0.5\mu\text{m}$ 로 대단히 작아서 조직을 밀실하게 하기 때문에 콘크리트의 수밀성, 내구성 등을 개선하고 수화열을 저감시켜 온도 균열을 억제하고 콘크리트의 압축강도를 증가시킨다.

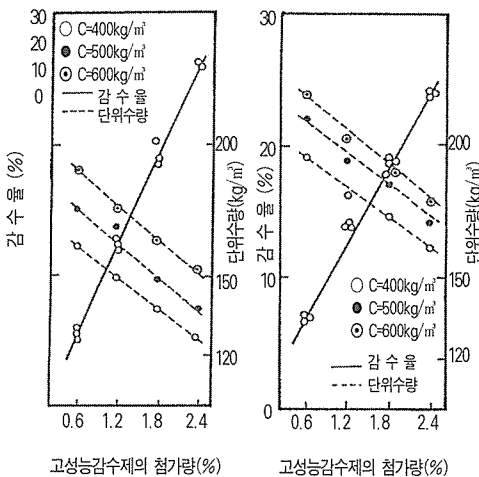


그림 2.1 고성능감수제의 첨가량과 단위수량의 관계

혼화제를 첨가하지 않고 국내 시멘트만을 사용한 배합에서는 물시멘트비가 낮은 범위에서도 $500 \sim 600\text{kg}/\text{cm}^3$ 정도의 압축강도를 얻는 것이 한계라고 생각된다. 따라서 초고강도 콘크리트를 생산하기 위해서는 혼화제 첨가는 필수적이며, 혼화제의 적절한 혼입량을 산출하는 것도 매우 중요하다.

가. 실리카 흙(Silica Fume)

실리카 흙은 실리콘이나 페로실리콘 등의 규소합금을 아크식 전기로에서 제조할 때 배출되는 가스를 집진함으로써 얻어지는 초미립자의 산업부산물이다. 실리카 흙은 약 90% 이상이 구형으로 구성되어 있고, 평균 입경은 $0.1\mu\text{m}$ 정도, 비표면적이 약 $20\text{m}^2/\text{g}$ 정도이며, 비중은 2.1~2.2이다.

그림 2.2는 물결합재비가 0.25, 0.3, 0.35, 0.4일 때 실리카 흙 첨가량을 단위시멘트량의 0, 10, 20%로 변화시켰을 경우 재령별 압축강도 증가율을 나타내고 있다. 재령 7일에서는 물결합재비에 관계없이 실리카 흙 혼입에 따른 압축강도 증가는 거의 없는 것으로 나타내고 있으

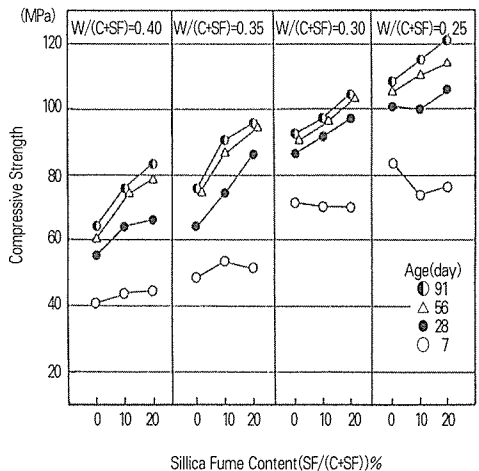


그림 2.2 압축강도와 실리카 흙 첨가량의 관계

나 재령 28일 이후에는 실리카 흙 혼입량이 클수록 압축강도가 증가하는 경향을 보이고 있다.

나. 플라이 애쉬(Fly Ash)

플라이 애쉬는 화력발전소의 연소보일러에서 석탄재가 연소된 후 집진기에 의해 폐가스중에 포함되어 있는 미소한 분말을 회수한 산업폐기물이다. 플라이 애쉬는 일반 콘크리트, 고강도 콘크리트 등에 혼화재로 사용될 뿐 아니라 특수 콘크리트에도 많이 이용되고 있다.

플라이 애쉬를 콘크리트 속에 첨가함으로써 얻어지는 이점은 다음과 같다.

1) 유동성의 개선

플라이 애쉬는 구형의 미립자로서 콘크리트중에서 볼베어링과 같은 작용을 하므로 워커빌리티를 개선하고 소요반죽질기를 얻기 위한 단위수량을 감소시킨다.

2) 장기강도의 개선

플라이 애쉬를 첨가한 콘크리트의 압축강도는 초기재령시 일반 콘크리트의 압축강도보다 낮지만 재령이 증가함에 따라 포졸란 반응에 의하여 장기강도는 증가한다.

그림 2.3은 단위시멘트량이 354kg/m³일 때

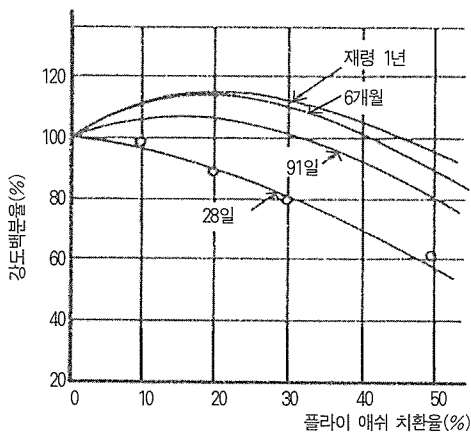


그림 2.3 압축강도 증가율과 플라이 애쉬 치환율의 관계 (단위시멘트량 354 kg/m³)

플라이 애쉬 치환율에 따른 압축강도 증가율을 나타내고 있다. 플라이 애쉬 혼입량이 클수록 28일 압축강도는 작아지는 경향을 보이고 있으나, 재령이 증가할수록 압축강도 증가율은 큰 값을 나타내고 있다.

3) 수밀성의 향상

플라이 애쉬에 의한 포졸란 반응으로 생성된 칼슘실리케이트 수화물이나 칼슘알루미네이트 수화물이 생성하여 경화체내의 모세관 공극을 막아 물의 이송을 억제함으로써 침투성이 감소하게 된다.

2.3 시멘트

고강도 콘크리트 제조시 시멘트는 일반적으로 보통 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하고 있으나 단위시멘트량의 증가로 인하여 수화열이 90℃ 내외로 증가하는 경향이 있어 수화열에 의한 균열발생 가능성이 매우 크다.

따라서 고강도 콘크리트용 시멘트로서 수화열을 감소시키기 위한 벨라이트 포틀랜드 시멘트(Belite Portland Cement) 등이 개발되고 있다.

가. 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary Portland Cement)

고강도 및 고성능 콘크리트용 시멘트로서 보통 포틀랜드 시멘트가 많이 이용되고 있으나, 500~600kg/cm² 이상의 고강도 콘크리트 제조시에는 단위시멘트량이 증가되는 경향이 있다.

나. 중용열 포틀랜드 시멘트(Moderate Heat Portland Cement)

중용열 시멘트는 초기 수화과정의 발열이 적고 투수에 대한 저항성도 크기 때문에 매스콘크리트 구조물 등의 콘크리트에 이용되고 있다.

다. 조강 포틀랜드 시멘트(High-Early Strength Cement)

보통 포틀랜드 시멘트에 비해 C_3S 를 많게 C_2S 를 적게 함과 동시에 미분쇄하여 분말도를 4000~4500 cm^2/g 로 하여 초기강도가 큰 특징을 갖고 있다. 재령 1일의 압축강도가 보통 포틀랜드 시멘트의 재령 3일 강도와 거의 동일하다.

라. 벨라이트 시멘트(Belite Portland Cement)

벨라이트 시멘트는 시멘트 클링커의 소성과정에서 벨라이트의 양을 증가시켜 수화열을 감소시키고, 낮은 초기강도 발현성을 보완하기 위하여 벨라이트상의 물성을 변화시키거나 수화활성이 높은 물질들이 생성되도록 유도하여 초기강도 발현성을 증가시킨다. 일본에서는 1992년 부터 상품화되어 고유동, 고강도가 요구되는 구조물에 사용되고 있다.

2.4 골재

콘크리트에서 골재가 차지하는 비율은 70~85% 정도이므로 골재의 성질은 콘크리트가 굳기 전 및 굳은 후의 물성에 큰 영향을 미친다. 그림 2.4는 콘크리트의 조성분포를 나타낸 것으로 그림에서 a)는 굳지 않은 콘크리트, b)는 경화 콘크리트의 구성 분포를 각각 나타내고

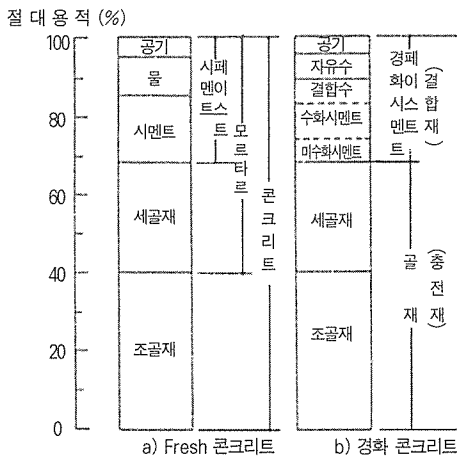


그림 2.4 콘크리트의 구성분포

있다.

고강도 콘크리트 제조시 콘크리트 강도에 영향을 미치는 골재의 물성을 살펴보면 다음과 같다.

가. 골재의 강도

골재의 강도는 경화시멘트 페이스트보다 강해야만 골재가 먼저 파괴되지 않아 고강도 콘크리트를 생산할 수가 있다. 따라서 콘크리트 압축강도가 700~800 kg/cm^2 이상의 초고강도 콘크리트 제조시 골재의 강도 등을 고려하여 골재 선정에 신중을 기해야 한다. 표 2.2는 각종 석재의 강도시험의 일례를 나타내고 있다.

나. 골재의 입도

골재의 입도란 골재의 대소립이 혼합하여 있는 정도를 말하며, 입도는 콘크리트의 워커빌리티, 경화 후 압축강도 및 내구성 등에 영향을 미치는 중요한 요인이 된다. 따라서 입도가 적당하지 않은 골재를 사용한 콘크리트는 분리하기 쉽고 곰보 등이 생길 위험이 크기 때문에 반드시 채분석시험을 행하고 표준입도 범위내에 들어오는 골재를 사용해야 한다.

다. 골재의 함수상태

골재는 혼합할 때 물과 접촉하므로 건조해 있는 경우 물은 골재 내부로 흡수되어 슬럼프 및

표 2.2 각종 석재의 강도시험의 일례

종 류	비 중	강도(kg/cm^2)		
		압 축	휨	인 장
화강암	2.65	1,500	140	55
안산암	2.50	1,000	85	45
응회암(연질)	1.50	90	35	8
사암(연질)	2.00	450	70	25
점판암	2.70	700	.	.
대리석	2.70	1,200	110	55
석회암	2.70	500	.	.
경석(연질)	0.7	30	.	.

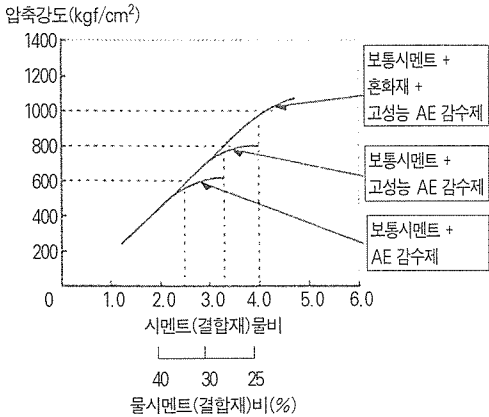


그림 3.1 사용재료별 강도범위의 개념도

압축강도 등에 영향을 끼친다. 따라서 배합설계 시 설정된 골재의 조건이 실제 콘크리트 비빔시 동일한 조건으로 투입하도록 주의해야 하며, 서로 다른 경우에는 콘크리트의 작업성 및 강도에 영향을 준다.

라. 골재의 입형

골재는 각이 많거나 평편한 것보다 구형에 가까운 형태가 좋다. 입형이 나쁜 골재를 사용할 경우, 골재의 체적이 적고 공극이 많아져 시멘트 페이스트량이 증가하게 된다.

3. 고강도 콘크리트의 배합설계

3-1. 물시멘트 비(W/C)

그림 3.1은 압축강도 범위의 개념도를 압축강도와 시멘트물비(C/W)와의 관계로 나타낸 것이다. 시멘트강도에 따라 다소 차이는 있으나 일반적으로는 콘크리트 압축강도 600~800kg/cm² 범위까지는 보통 포틀랜드 시멘트와 고성능 감수제를 사용하여 제도가 가능하며, 국내에서는 약 500~600kg/cm² 정도까지 가능하다는 실험결과가 보고되고 있다. 그 이상의 압축강도를 확보하기 위해서는 고성능 감수제와 더불어 혼화제

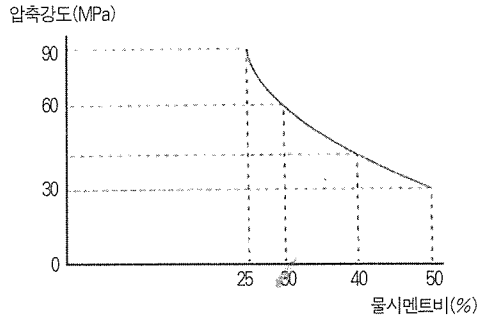


그림 3.2 압축강도와 물시멘트비의 관계

를 반드시 첨가해야만 한다.

그림 3.2는 KLCC PROJECT의 시방서에서 요구하고 있는 압축강도와 물시멘트비의 관계를 정리하여 나타낸 것이다. 그림에서 횡축은 물시멘트비, 종축은 콘크리트의 압축강도를 나타냈으며, 압축강도 300kg/cm²에서는 물시멘트비가 50%, 600kg/cm²에서는 30%, 800kg/cm²에서는 약 25% 정도를 나타내고 있다. 또한 압축강도 800kg/cm²에서는 혼화제로서 실리카 흙을 단위시멘트량의 10% 범위까지 첨가하도록 규정되어 있다.

3-2. 단위수량 및 단위시멘트량

가. 단위수량

보통강도 콘크리트를 얻기 위한 배합 설계시

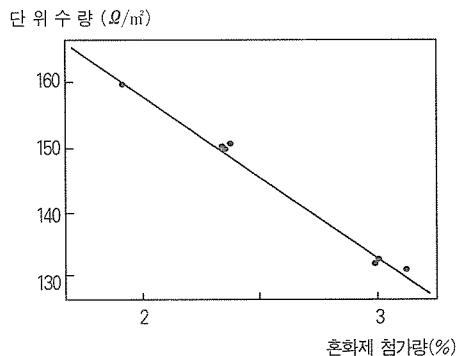


그림 3.3 단위수량과 감수제의 관계

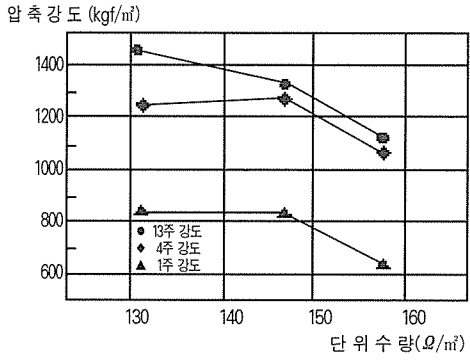


그림 3.4 단위수량과 압축강도의 관계

단위수량은 표준치를 나타낸 도표를 이용하면 쉽게 결정할 수 있고, 보통 포틀랜드 시멘트 이외의 시멘트를 이용하는 경우나 화학혼화제(AE제, AE감수제 등)를 사용하는 경우는 시험에 의하거나 신뢰할 수 있는 자료에 근거하여 단위수량을 보정하여 구할 수 있다. 그러나 고강도 콘크리트 배합설계를 위한 단위수량의 표준치는 아직 정리되어 있지 못하고 실험자료 또한 충분하지 못한 실정이다.

그림 3.3은 단위수량과 감수제의 첨가량과의 관계를 나타낸 것으로 혼화제의 종류에 따라 감수효과는 다소 차이는 있으나, 그림에서처럼 감수제의 첨가량을 증가시키면 동일 슬럼프를 유지하면서 단위수량을 감소시킬 수 있다.

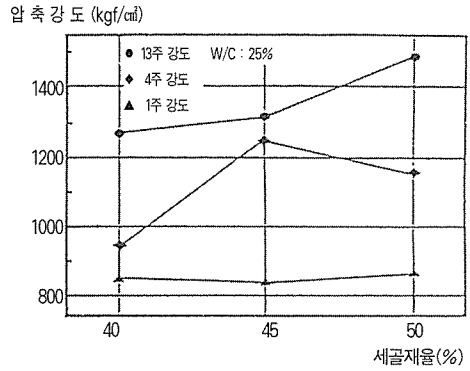


그림 3.6 세골재율과 압축강도의 관계

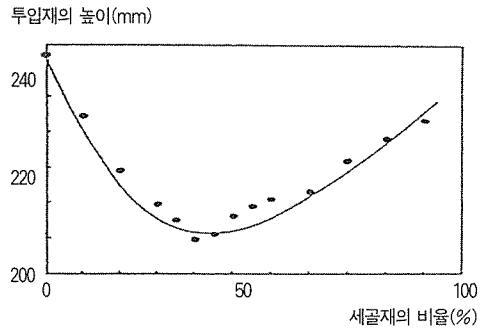


그림 3.5 골재의 밀실 충전실험

그림 3.4는 단위수량과 압축강도의 관계를 재량별로 나타낸 것으로 압축강도는 단위수량이 130~145 l/m³ 범위가 158 l/m³보다 큰 값을 보이고 있다.

나. 단위시멘트량

단위시멘트량은 물시멘트비와 단위수량으로부터 다음 식에 의하여 구한다. 그러나 고강도 콘크리트의 경우에는 물시멘트비와 단위시멘트량을 결정한 후에 단위수량을 구하는 경우도 있다.

$$C_g = \frac{W_g}{x} \times 100$$

$$C_n = \frac{C_g}{\text{시멘트 비중}}$$

- 여기서, C_g : 단위시멘트량(kg/m³)
- C_n : 시멘트의 절대용적(l/m³)
- W_g : 단위수량(kg/m³)
- x : 물시멘트 비(%)

3.3 세골재율(S/A)

고강도 콘크리트를 얻기 위해서는 세골재와 조골재의 적절한 혼합비율을 구할 필요가 있다. 그림 3.5는 15φ×30cm 공시체 형틀 속에 세골재와 조골재의 비율을 변화시켜 투입했을 때 골

재의 충전밀도를 조사하기 위한 실험으로서 높이를 측정하였다. 이 결과로부터 가장 밀실하게 충전하였을 때 세골재율은 40~50% 정도를 나타내고 있다.

그림 3.6은 물시멘트비가 25%일 때 압축강도와 세골재율의 관계를 재령별로 나타낸 것이다. 압축강도 증가율은 재령에 따라 다소 차이가 있으나, 압축강도는 세골재율 45, 50% 정도가 40%보다 큰 값을 보이고 있다.

$$S/a(\%) = \frac{S_v}{S_v + G_v} \times 100$$

여기서, S/a : 세골재율(%)

S_v : 세골재의 절대용적(l/m^3)

G_v : 조골재의 절대용적(l/m^3)

4. 초고강도 콘크리트의 배합설계 사례

KLCC PROJECT는 Twin Tower이며, Tower-1은 일본의 하자마 건설 등이, Tower-2

는 국내시공업체가 각각 골조공사에 참여하였다.

공사개요 등은 이미 잘 알려져 있어 생략하고, Tower의 각 층별 콘크리트 설계기준강도와 배합설계에 대해서 간략히 소개하고자 한다.

4.1 TOWER의 층별 압축강도

Twin Tower는 지하 6층, 지상 88층이지만 중2층과 층고가 높은 부분을 고려하였을 때 실제 92층(탑 포함 452m)에 해당하며, BUSTLE이라고 불리는 부속동은 45층이다. Tower 부분 RC 기둥의 직경은 저층부가 2.4m이며 상부로 갈수록 감소되어 정상부는 직경이 1.2m이다.

전단벽은 두께가 최하부 75cm, 중간부 50cm, 상단부가 35cm로 축하중 및 휨 모멘트 크기에 따라 단면을 감소시켰다.

그림 4.1에서 나타난 것처럼 콘크리트 설계기준강도의 최대치는 80MPa(≒800kg/cm²)이며, 기둥, 보와 전단벽으로 구분하여 압축강도를 등

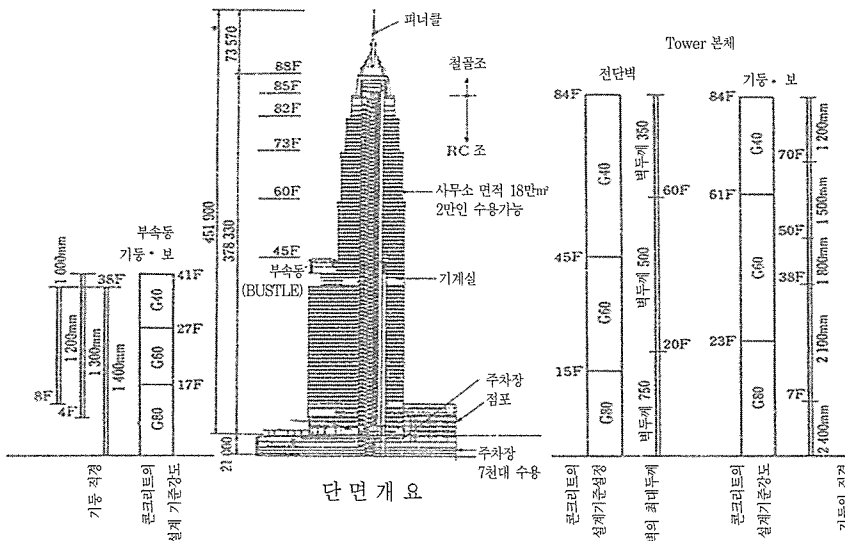


그림 4.1 콘크리트의 층별 압축강도

표 4.1 콘크리트의 배합

Fc (MPa)	W/C	시멘트 ①	시멘트 ②	실리카 흙	물	세골재	조골재	혼화제 ①	혼화제 ②
		kg/m ³					l/m ³		
80	0.27	280	225	30	145	780	980	0.80	8.8
60	0.30	280	225	—	152	810	980	0.75	5.0
40	0.40	400	—	—	160	890	980	1.60	2.1
30	0.50	360	—	—	180	870	980	0.90	0.7

- 시멘트 ①은 보통 포틀랜드 시멘트, 시멘트 ②는 플라이 애쉬 시멘트
- 혼화제 ①은 감수제, 혼화제 ②는 고성능 감수제(베타 나프탈렌 설포산계)

급별로 나타내고 있다.

철근은 항복점 강도 460N/mm²의 SD390에 상 당하는 주근과 항복점강도 250N/mm²의 후푸근과 스티럽을 각각 사용하였고, 철근의 직경은 최대 D41, 보강근 직경은 R12이며, 철근 이음은 모 두 겹침이음방식으로 하였다.

4.2 배합설계

본공사의 시방서에 규정되어 있는 배합강도는 아래와 같다.

$$\text{배합강도} = \text{각 설계기준강도} + 1.64 \times \sigma(\text{표준편차})$$

배합 설계시 표준편차를 구할 수 있는 경우에는 상기식을 사용하였으나 현장여건 등을 고려 하여 설계기준강도에 할증강도를 더해서 아래와

같이 배합강도를 결정하였다(Tower-1의 경우)

$$\begin{aligned} G_{80} &: \text{배합강도} = F_c + 20\text{MPa} = 100\text{MPa} \\ G_{60} &: \text{배합강도} = F_c + 20\text{MPa} = 80\text{MPa} \\ G_{40} &: \text{배합강도} = F_c + 15\text{MPa} = 55\text{MPa} \\ G_{30} &: \text{배합강도} = F_c + 15\text{MPa} = 45\text{MPa} \end{aligned}$$

압축강도 시험은 BS규격(BS1881)에 의해 1 번 길이가 15cm의 입방체인 Cube 시험체를 이 용하였으며 공시체의 양생은 현장수중양생하였 다.

G80은 혼화재료로서 실리카 흙을 사용하였으 며 첨가율은 5.6% 정도이며, G80 및 G60에서 는 수화열을 저감시키기 위해서 보통 포틀랜드 시멘트와 플라이 애쉬 시멘트(플라이 애쉬

표 4.2 공시체 형상과 압축강도의 관계(G80)

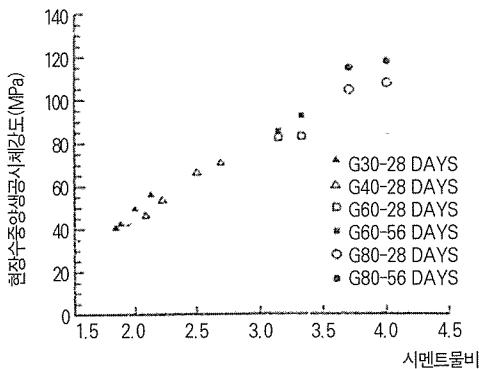


그림 4.2 시멘트물비와 압축강도

콘크리트 : G80의 경우			재령 7日	재령 14日	재령 56日	재령 90日
①	원주공시체 (φ 150×300mm)	평균치 (MPa)	74.5	78.2	86.7	85.9
		표준편차 (MPa)	10.4	13.5	9.0	7.6
②	입방체공시체 (한변 150mm)	평균치 (MPa)	83.2	92.8	103.6	107.6
		표준편차 (MPa)	7.1	7.7	6.6	6.4
비율(① / ②)			0.90	0.84	0.84	0.80

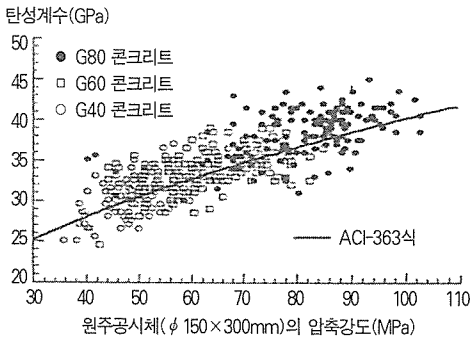


그림 4.3 압축강도와 탄성계수의 관계

20%)를 병용하였고 보통 시멘트의 사용량은 460kg/m³이다.

표 4.1은 Tower-1의 콘크리트 배합을 등급별로 나타낸 것이다.

4.3 압축강도

그림4.2는 압축강도와 물시멘트비의 관계를 각 Grade로 표기하여 나타낸 것이다. 시멘트물비(C/W)가 적을수록 압축강도는 거의 직선적으로 증가하고 있으며, 물시멘트비(W/C) 27~30% 정도에서 압축강도 1000kg/cm² 이상을 나타내고 있다.

표 4.2는 공시체 형상과 압축강도의 관계를 나타낸 것으로 Grade 80에서 재령 7일의 압축강도가 재령 90일 강도에 약 80% 정도를 보여 주고 있어 물시멘트비가 낮고 단위 시멘트량이 많은 배합에서는 조기강도 발현이 두드러진 것이 특징이다.

원주공시체(높이/직경 = 2:1) 압축강도는 입방체 공시체(높이/폭 = 1:1) 압축강도의 약 0.8 정도에 머물고 있어 동일한 콘크리트에서도 입방체 공시체가 원주공시체보다 약 20% 정도 큰

압축강도를 나타내고 있다.

그림 4.3은 압축강도와 탄성계수의 관계를 나타내고 있으며 실험치의 편차가 다소 크지만, 실험치는 ACI-363식을 만족시키고 있어 고강도 콘크리트에서도 탄성계수를 추정할 수 있는 식으로 평가된다.

5. 결 론

국내외적으로 고층구조물에 초고강도 콘크리트의 사용이 급증하고 있는 추세이다. 실제공사에 이러한 고성능 초고강도 콘크리트를 사용하기 위해 재료측면에서는 고성능 감수제와 실리카 흙 등 새로운 혼화재료의 품질 규격화, 콘크리트 압축강도 이외의 물성개선, 시공측면에서 Work ability 및 Pumpability, 구조설계면에서 고강도 철근의 이용 등 합리적인 구조형식이나 구조설계지침에 대한 깊은 연구가 활발히 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) S. P. Shah and S. H. Ahmad : High Performance Concrete : Properties and Applications, McGraw-Hill, Inc., 1994
- 2) 고강도·고성능 콘크리트 제조·시공 및 설계, 대한건축학회, 1996
- 3) KLCC Project Specification
- 4) 平尾 昭夫의 2명: 設計基準強度 80MPa의 고강도 콘크리트를 使用했던 超高層의 오피스빌딩 施工, 일본 콘크리트공학, Vol. 34, No. 2, 1996. 2