

고강도 콘크리트의 제조 및 실용화사례

鄭 憲 秀

〈中央大 建築工學科 教授〉

1. 고강도 콘크리트의 제조방법

근래 지가상승이나 도시화의 영향으로 건축물의 고층화, 심층지하구조물, 해양구조물의 등장이나 원자력구조물등 특수구조물의 출현으로, 선진국에서는 고성능 감수제의 개발이나 양생방법의 개량등 품질개선으로 콘크리트의 고강도화가 눈에 띄게 급속히 이루어져 왔다. 특히 이 분야에서 가장 앞서가는 미국에서는 최근 $1330\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압축강도를 사용한 Two Union (62층) 건물이 시애틀 지역에 세워지기도 했다. 그러나 국내 사정은 달라 설계기준강도 $300\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 건축물에서는 넘지 못했고, 토목공사에서도 88대교나 경춘도로 확장때 P.S 콘크리트에 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 사용한 정도이다. 그러나 최근 북한에서는 105층 유경 Hotel이 평양에 완공되면서 상당한 고강도 콘크리트를 사용했을 것으로 추정은 되지만, 기록이 없어 어느정도인지는 정확히는 알수 없다. 여기서 고강도(High Strength Concrete)를 정의해 두려한다. 학자마다 나라마다 다르지만 여기서는 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상의 압축강도를 말하기도 한다. 이 고강도 콘크리트를 제조하는 방법, 환언하면 콘크리트 압축강도에 영향을 주는 인자들을 간단히 열거하기로 한다. 단 Auto Clave 양생법이나, Polymer함침 콘크

리트등 특수 용도와 특수한 제조법은 여기서 생략하기로 한다.

1. 물.시멘트비(W/C):콘크리트 강도에 가장 큰 영향을 주는 인자로 같은 조건이라면 물 시멘트비는 낮을수록 강도가 높게 나타난다. 학자들간에는 수화작용이 가능한 물.시멘트 즉 가장 낮은 물.시멘트비를 20%까지 제한하기도 한다. 그러나 이렇게 물의 양이 적으면 Workability가 나빠지기 때문에 혼화제의 사용이 불가피한 조건이 된다. 이 혼화제의 사용없이 현재의 기술로는 약 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도 까지만 가능하다.

2. 단위Cement량:단위 시멘트양은 콘크리트 강도에 어느정도까지는 직접비례한다. 즉, 대략 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 더 넣으면 강도 역시 대략 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 올릴수 있다. 그러나 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 정도의 콘크리트까지는 시멘트양이 증가되면 건조수축량도 많아지는 결점으로 나타난다. 그렇지만 $800\text{-}1000\text{kg}/\text{cm}^2$ 급이면 낮은 W/C에 의해 제조되기 때문에 단위 시멘트양이 $600\text{-}700\text{kg}/\text{m}^3$ 정도로 많아지지만 건조 수축이나 크리프양이 오히려 낮아지는 경향이 있다.

3. Cement강도:설계강도에 따라 W/C비를 계산할때는 시멘트강도 K값이 들어가는 것처럼 시멘트 강도는 콘크리트강도에 직접 비례한다.

$$X = 61 / (F_c/k + 0.34)$$

(여기서 X는 W/C비, F_c :설계기준강도)

그러나 국내에서 생산되는 시멘트의 강도 범위는 넓지 않은 것 같다. 단지 초조강 시멘트와 알루미늄 시멘트등 특수용도로 생산되고 있으며 앞으로의 업계노력에 기대한다.

4. 골재의 강도:굵은 골재의 강도는 고강도 콘크리트에서 직접 비례한다. 보통 강도의 경우에는 굵은 골재와 그 사이에 채워지는 시멘트풀(Cement Paste)중에서 시멘트풀이 먼저 파괴된다. 그러나 골재자체의 강도보다 높은 강도발현시에는 이때부터는 골재의 강도 그 자체가 콘크리트 강도를 좌우하므로 양질의 강도가 큰 골재를 선택하는 것이 중요하다.

5. 골재의 입도분포:특히 입자가 작은 모래는 고강도 콘크리트제조에 부적합하고, 굵은 모래가 바람직하다. 자갈의 경우는 보통 콘크리트에서는 굵은 쪽이 강도발현에 효과적이고, 고강도 콘크리트에는 작은 입경이 유리하다는 설이 지배적이다. 그러나 무엇보다도 KS규격의 입도분포곡선에 맞는 크기가 바람직하다.

6. 잔골재율(S/A):골재의 전체용적에 대한 세골재의 비율로, 잔골재율이 적을수록 강도는 커진다. 즉 자갈량에 비해 모래량이 적어야 좋다. 일반적으로 50%에서 30%정도까지 S/A 값이 떨어지면 콘크리트강도는 200에서 1000kg/cm²정도로 올라간다.

7. 비빔: 높은 강도가 되면 비빔에도 민감해져 경사식 Mixer와 강제식 팬 믹서는 400kg/cm²정도 까지는 큰 영향이 없으나, 그 이후는 상당히 차이가 난다. 즉 충분히 재료가 섞이도록 강제식 믹서를 사용한다.

8. 다짐: 다짐은 진동다짐으로 충분히 공극을 메꿔주어야 한다. 그러나 고성능 감수제의 사용은 충분히 Slump값을 조절할 수 있기 때문에, 즉 유동화 콘크리트가 되어 경화시간(Handling Time)만 조절하면 크게

문제가 되지는 않는다. 그러나 특히 얇은 벽체에 깊은 타설을 요할때나 높은 기온일 때는 지연제의 혼용등 각별한 주의가 필요하다. 펌프 압송시 재료분리등 세심한 주의를 기울여야 할 것이다.

9. 양생온도: 보통 강도 콘크리트에 비해 고강도 콘크리트는 온도에 대한 감각이 예민한 편이다. 그러나 조강성이 크기 때문에 타설시와 초기강도가 나타날때까지만 주의하면 보통 강도 콘크리트의 강도 발현에 비해 빠른 시일내에 목표강도를 얻을 수가 있는 편리함도 갖고 있다. 환언하면 특수 알루미늄 시멘트나, 초속경 시멘트가 갖고 있는 초조강성 때문에 한중 콘크리트에 사용하는 이점도 갖는다. 현장 시공시에는 예상 목표강도가 나오는지 시험 배합한 후 실시 시공에 들어갈 필요가 있다.

2. 콘크리트 성능개선과 혼화제의 사용

고강도 콘크리트는 물론이고, 고급 콘크리트 제조에는 지금까지 고전적으로 쓰여지는 재료 이외에 혼화제가 필수적으로 첨가되어야 한다. 또한 경우에 따라서는 혼화제 사용이 필수적이다. 콘크리트의 성질을 개량시킬 목적으로 사용되는 모든 첨가물 가운데 사용량이 많아 그 자체의 용적이 콘크리트 배합 계산에 산정해야 할 만큼 들어가는 플라이 애쉬(Fly-ash), 포졸란(Pozzlan), 실리카흄(Silica fume)등의 혼화제는 여기서 논하지 않기로 한다. 사용량이 미소해 그 자체량이 배합설계 계산에 무시되는 혼화제의 사용과 성능개선에 관해 논하기로 한다. 시공연도(Workability)증진 목적으로 지금까지는 AE제가 혼화제의 대명사처럼 쓰여져 왔으며, 선진국들에서 부터 모든 콘크리트에 유동화제가 첨가되고 콘크리트 강도를 높이기 위하여 고성능 감수제가 개발되어 쓰여지기 시작되었다. 이는 낮은 물.시멘트

表 1. 콘크리트의 改善目的과 對應하는 混和劑의 種類

對象 콘크리트	使用混和劑의 種類 改善目的	A E 劑	凝 結		減 水 劑	高 性 能 減 水 劑	AE減水劑			高性能 AE 減水劑		流動化 劑		增 粘 劑	기타 混和劑
			促 進 劑	遲 延 劑			標 準 形	遲 延 形	促 進 形	標 準 形	遲 延 形	標 準 形	遲 延 形		
굳지않은 콘크리트의 性質改善	單位水量低減	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	單位시멘트量低減				○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	프라스틱向上	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	水中콘크리트用
	粘着性向上	○					○	○	○	○				○	水中콘크리트用
	空氣連行	○					○	○	○	○				○	發泡劑, 起泡劑
	스럼프로스低減				스럼프로스低減形減水劑·AE減水劑										
	材料分離低減	○			○		○	○	○	○	○	○	○	○	水中콘크리트用, 發泡劑
	펌핑改善	○					○	○	○	○	○	○	○	○	
끝마무리성의改善	○					○	○	○	○	○			○		
凝結硬化中的 콘크리트性質改善	凝結時間遲延			○				○			○		○		超遲延劑
	凝結時間促進		○					○							
	브리딩低減	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	水中콘크리트用, 發泡劑
	凍結防止														耐寒劑
	初期水和熱의低減			○				○		○	○	○	○		水和熱低減劑
	初期굳기의低減	○			○	○		○		○	○	○	○	○	超遲延劑, 收縮低減劑
	끝마무리성의改善	○					○	○	○	○	○			○	
콘크리트의 性質改善	長期強度의增大				○	○	○	○	○	○	○	○	○		
	水和熱의低減			○	○	○	○		○	○	○	○	○		
	衝擊抵抗性의增大					○				○	○				포리마콘크리트용
	길이변화의低減				○	○	○	○		○	○	○	○		收縮低減劑
耐久性 向上	耐凍結融解性向上	○					○	○	○	○	○				
	吸水性의低減	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	防水劑, 포리마콘크리트용
	透水性의低減	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○		防水劑, 포리마콘크리트용
	中性化速度의低減	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○		포리마콘크리트용, 中性化低減劑
	AAR의低減	○					○	○	○	○	○				포리마콘크리트용, AAR低減劑
	耐藥品性向上														포리마콘크리트용
特殊콘크리트의 製造	鐵筋腐食防止														鐵筋防錆劑
	輕量콘크리트	○	發泡劑, 起泡劑												
	프리팩트콘크리트		프리팩트콘크리트용混和劑												
	膨張콘크리트		發泡劑												
	超高強度콘크리트					○					○	○	○	○	
	水中콘크리트														水中콘크리트用
스프레이콘크리트														急結劑	

비(W/C)로 시공연도가 좋은 콘크리트 타설을 가능케한 것으로 적은량의 시멘트와 적은량의 물을 사용하고도 고강도를 낼 수 있음과 동시에 길이 변화나 Creep 현상등을 줄여 경제적이면서 결점이 적은 고급 콘크리트 생산으로 이어지는 획기적인 개발이 곧 혼화제인 것이다. 그러나 이 혼화제의 선택이나 사용량을 다량으로 잘못 배합하게 되면 오히려 장기재령이 떨어지는 등, 악영향을 끼칠수도 있기 때문에 정확한 사용법과 용도에 따른 사용법을 예비실험들을 통해 확인하면서 써야하는 주의가 필요하다. 콘크리트의 성질개선 목적과 이에 대응하는 혼화제의 종류를 표1에 정리했다.

이 표에서 사용혼화제의 종류를 보면 AE제를 빼고는 감수제, 고성능 AE감수제 유동화제등 흔히 사용하는 친숙한 용어는 아니다. 그러나 대상 콘크리트에서는 굳기전의 콘크리트(Fresh Concrete)성질개선, 응결 경화도중의 성질개선(주로 경화 촉진과 지연) 내구성의 개선등은 낯익은 용어들이다. AAR(Alkali Aggregate Reaction)(알카리 골재반응저감) 우리나라에서는 아직까지 심각한 실정이 아니기 때문에 낯설지만 앞으로는 이 분야가 큰 관심사로 바뀔것이 틀림없다. 최근에는 바닷속에 교각을 세우는 등 공사의 다양화로 수중 콘크리트용 혼화제 개발응용이 특수콘크리트 제조에 특히 할만하다. 여기서 이들 혼화제란 대형구조물, 원자력 발전소, 수중교량, 교각시공등 특수용도의 수요가 생기고 건축 공업화의 합리화 등으로 콘크리트 성능의 다양한 욕구에 부합하는 품질개선에 "혼화제"가 아주 중요하고 필수적인 역할을 담당하게 될 것이며, 아직은 선진국등에서 주로 사용되는 항목들이지만 그 편리한점과 현재의 발전속도로 보아 우리나라에서도 일반화되어 쓰여질 것도 시간문제라고 생각된다. 지금의 실정은 1988년도 레디 믹스콘크리트 KS F4009규정

에 공기량 보통콘크리트 4% 경량 콘크리트 5%로 지정되면서 혼화제 사용이 일반화 되기 시작됐고, 혼화제 메이커들이 KS 마크를 획득하기 시작했다. 이런 일련의 현상들은 콘크리트계 발전의 일단을 보여주는 것이며, 앞으로 우리나라의 콘크리트 품질향상이나, 고강도의 콘크리트시대가 앞당겨질 것으로 믿어 의심치 않는다.

3. 고강도 콘크리트의 실용화 사례

지금까지 고강도 콘크리트의 사용은 한정된 선진국에서만 그것도 오래된 역사는 아니다. 1950년대에는 1954년 Cuba에 35층 설계강도 530kg/cm²가 기록되어 있고 1960년대로 가면 1965년 미국에 주류를 이루는데 chcago를 중심으로 70층 530kg/cm²의 콘크리트가 Lake Point Tower에 1970년대로 접어들어 630kg/cm²급이 사용되기 시작해 1972년 50층 Midcontinental Bld. 1975년도 다시 79층 R.C구조물로 같은 630kg/cm²가 사용되었다. 이때 일본에서는 1974년 椎名町아파트(18층)에 300kg/cm²가 처음 쓰여져 토목분야로 1975년도 다시 대전명부 교량과 廣島驛 교량에 800kg/cm²급이 쓰여졌다. 같은 시기에 Singapore 49층 OCBC은행건물에 400kg/cm²급이 쓰여지기 시작했다. 1980년대로 들어서면서 130M높이 41층 오사카에 고층아파트를 비롯한 420kg/cm²급 콘크리트가 주로 쓰여졌다. 다시 미국에 경우 더 높은 고층건물은 없지만, 70년보다 다시 36% upgrade 시킨 1330kg/cm²의 초고강도 콘크리트가 Seattle Two Union빌딩에 쓰여져 지금까지 기록상으로 가장 높은 강도이다. 그러나, 높이나 층수로는 지금까지 323m높이에 105층의 북한 평양에 세워진 유경 Hotel이 가장 크다. 단지 기록이 발표되지 않아 강도가 얼마인지는 모른다. 마지막으로 국내 사정은 300kg/cm²급이 렉키금성 여의도 사옥에 쓰여진 정도로 아직까지 이렇다할 진전

이 없다. 분당 고층집단주택에 (30층) 300이상의 콘크리트가 쓰여질것 같고, 토목현장에서는 400kg/cm³급 콘크리트가 88올림픽대교나 경춘국도변 교량에 주로 프리스트레스트 콘크리트로 쓰여진 정도이다. 앞으로의 추이가 주목되며 설계측면에서 보면 고강도 철근과의 병용이 문제가 되고, 시공측면에

서 보면 고강도 휨강도가 큰 시멘트의 개발이나 Fiber 콘크리트의 실용화가 협력되어 선진국 수준의 높은 강도 콘크리트 실용화를 기대해본다. 또한 학계나 산업체등의 꾸준한 공동 연구 노력도 이를 앞당기는 지름길이 될 것으로 믿는다.

기술서적 출간

혼 화 재 료

회원사의 기술정보 보급을 위하여 다음과 같은 책을 발간하였습니다. 내용은 혼화재료의 사용목적, 발전, 분류, 구비조건, 사용절차, 품질규정과 용도, 주의사항 등 혼화재료의 전반적인 내용이 실려 있어 실무자에 많은 도움이 될 것으로 믿습니다.

- 책 명 : 혼화재료
- 편저자 : 변 근 주 교수(연세대 토목공학)
- 면 수 : 국판 230면
- 발 행 : 한국레미콘공업협회
- 보급가 : 5,000원(우송료 포함)
- 문 의 : 서울 강남구 역삼동 832-2
우덕BLD 8층
한국레미콘공업협회 기획과
TEL. (02) 566-7162, 7164
FAX. (02) 554-7420