설계기준강도 400kgf/cm²의 고강도 콘크리트 최적 배합설계 및 품질관리

이 상 수
〈(주)대우 건설기술연구소 선임연구원〉

원 철
〈(주)대우 건설기술연구소 주임연구원〉

김 동 석
〈(주)대우 건설기술연구소 주임연구원〉

1. 서론

대도시의 시가지에서는 토지의 고도이용을 위하여 건물의 고층화에 대한 요구가 점점 더 높아지고 있으며, 최근에는 대형 건설회사를 중심으로 초고층 빌딩의 건립이 점차 추진되고 있다. 특히, 주거용 아파트에 초고층 빌딩 개념이 도입되면서 국내의 건축기술이 크게 도약할 수 있는 시점에 있다.

일반적으로, 고층건물은 철골조로 건설되는 경우가 많지만, 철골조는 철근콘크리트조에 비해 풍하중에 대한 진동제어가 불리하고 바닥진동이 크기 때문에, 주거를 목적으로 하는 건물에는 더욱 적합하지 않다[1]~[2]. 그러나, 철근콘크리트조는 중량에 비해서 단면의 확대가 불가피하고, 주변환경에 따른 시공의 제약, 품질관리의 어려움 등 구조재료로서 여러 가지 문제점[3]을 내포하고 있어, 이에 대한 개선책이 요구되고 있는 실정이다.

한편, 초고층 건물은 과밀배근에 따른 콘크리트의 충전불량 및 펌프압송에 따른 부하증대 등의 문제가 있으므로, 이를 개선시키기 위하여 유동성 및 충전성 개념이 도입된 고강도 콘크리트가 요구되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 여의도에 철근콘크리트 구조물로서 국내 최초로 시공되고 있는 지상 41층 규모의 초고층 아파트에 적용하기 위하여, 고유동성을 갖는 고강도 콘크리트의

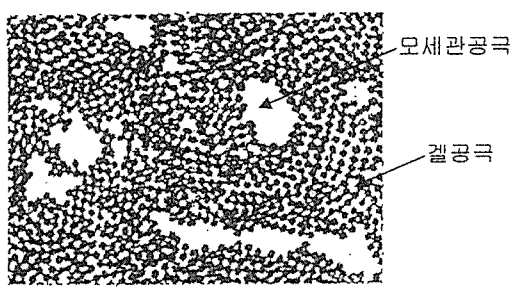
배합설계를 실시하고, 현장적용시 콘크리트의 제조 · 생산 및 운반 · 타설 등에 대한 품질관리를 수행하였다.

2. 고강도 콘크리트의 일반적 성질

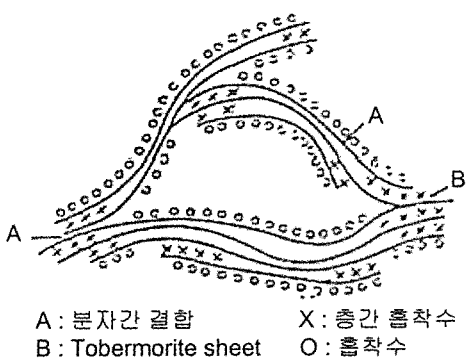
2.1 콘크리트의 고강도화

(1) 콘크리트 고강도화의 메카니즘

시멘트 경화체는 〔그림 1〕에 나타낸 바와 같은 모델을 생각할 수 있지만, 시멘트 페이스트 중의 모세관 공극을 적게 하는 것이 고강도화의 기본이다. 그를 위해서는 물시멘트비를 가능한 한 작게 하여 모세관 공극을 작게 하는 것이다.



(a) T.C.Powers에 따른 이론



(b) R.F.Feldman에 따른 이론

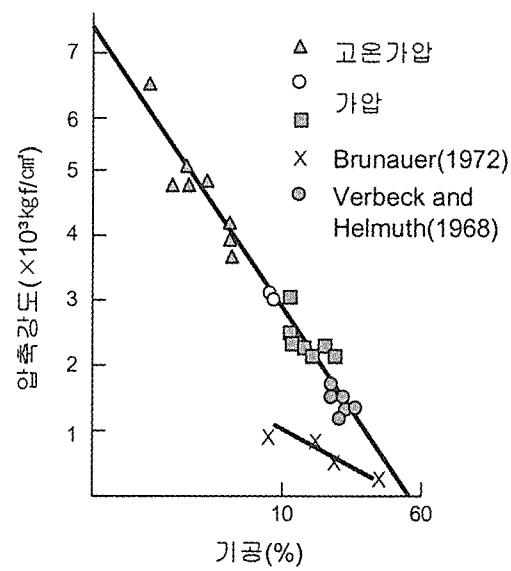
〔그림 1〕 시멘트 수화물의 모식도

〔그림 2〕에 나타낸 바와 같이, 콘크리트의 압축강도는 시멘트 페이스트의 세공용적과 밀접한 관계가 있다. 시멘트 페이스트 중의 공극만이 아니라, 콘크리트의 다짐 부족에 따른 콘크리트 중의 커다란 공극, AE제 등에 따른 과대한 공기포, 블리딩에 따른 骨材下面의 결손 등은 특히 강도저하의 커다란 요인이 된다.

(2) 콘크리트의 고강도화 기법

콘크리트의 고강도화 기법은 ⓐ결합재(시멘트 페이스트)의 공극을 감소시킴에 따른 강도의 개선, ⓑ결합재 자체의 품질개선, ⓒ시멘트 이외의 결합재 이용에 따른 강도의 개선, ⓓ골재와 결합재와의 부착개선 등으로 분류할 수 있다. 그러나, 이러한 기법의 어느 한 가지를 실시하면 다른 기법과도 연관되는 경우가 많다.

이러한 기법에 대해서는 여러 가지로 해설이 되어 있지만, 여기에서는 이하에 몇 가지 기법을 서술하고자 한다.



〔그림 2〕 압축강도와 기공의 관계

① 물시멘트비(W/C)의 저감

고성능 감수제의 사용, 혹은 특수한 다짐방법 등에 따라서 물시멘트비를 저감시킬 수 있다. 고성능 감수제는 지금까지의 감수제에 비해서 콘크리트 중의 시멘트 입자를 강력하게 분산시키고 유동성을 현저하게 높이는 것이 가능하기 때문에, 단위수량을 플레인 콘크리트의 경우보다 30%정도 저감시킬 수 있다.

따라서, W/C를 30%이하로 해도 일반적인 믹서를 사용해서 비빔이 가능하게 되고, 일반적인 방법으로 시공할 수 있다. 그 결과, 압축강도 800~1,000kgf/㎠의 콘크리트를 쉽게 만들 수 있다.

특수한 다짐방법으로서는 ⓐ원심력다짐, ⓑ가압다짐, ⓒ진공탈수법, ⓓ가압진공탈수법 등이 있고, 모두 공극을 감소시키고 물의 일부를 짜내서 W/C를 저감시켜 고강도화를 도모하는 방법이다.

② 시멘트 수화물의 품질개선

온도 180℃전후, 포화증기압 10kgf/㎠전후로 고온고압양생(오토클레이브 양생)하면, 상온양생에서는 완전히 불활성인 石英狀의 실리카가 물의 존재를 기본으로 석회와 격렬하게 반응(「水熱反應」이라 한다)해서 강하고 딱딱한 토벨모라이트(Tobermorite)를 생성하여 단기간에 고강도 콘크리트를 얻을 수 있다.

이 때, 생성되는 수화물의 기공은 상온양생의 경우보다 증대하지만, 强堅하게 안정된 토벨모라이트의 생성에 의해 반대로 강도는 증대한다. 그러나, 장기강도의 증진은 거의 없기 때문에, 상온수중양생한 재령 28일 강도와의 대소관계는 역전되는 경우도 있다.

③ 혼화재의 이용

실리카흄 등 반응성이 높은 초미립자를 고성능 감수제와 병용함에 따라, 물결합재비 30%의 경우, 상온수중양생, 재령 28일에서 1,000kgf/㎠이상이 얻어지고, 증기양생을 실시함에 따라 재령 1일에서 1,000kgf/㎠, 오토클레이브 양생에 의해서 약 1,400kgf/㎠의 고강도가 얻어진다.

이와 같이 되는 것은 실리카흄을 혼입함에 따라 세공용적이 감소하고, 치밀해지기 때문이다. 또한, Bache는 시멘트에 고성능 감수제를 다량으로 첨가한 것만으로는 유동성이 얻어지지 않는 超低물시멘트비에 있어서, 실리카흄을 첨가함에 따라서 물결합재비를 13~18%로 해도 유동성이 얻어진다는 것을 발견하고, 그 때의 압축강도가 1,200~2,700kgf/㎠에 이르렀다고 보고하고 있다.

이것은 실리카흄이 시멘트 입자간의 공극을 충전하기 때문에 치밀한 조직으로 된 것이고, 이와 같은 효과를 「Micro-filler」라 부른다.

④ 폴리머에 의한 고강도화

콘크리트의 공극에 모노머를 함침시켜 중합해서 일체화하는 폴리머 함침 콘크리트나, 결합재에 시멘트 대신에 폴리머를 사용한 레진콘크리트로서, 압축강도 1,200~1,400kgf/㎠, 인장강도 100~120kgf/㎠, 휨강도 150~200kgf/㎠정도가 얻어지도록 한 것이다. 결합재에 시멘트와 함께 폴리머를 사용하는 폴리머 시멘트 콘크리트는 주로 인장강도나 휨강도의 개선을 목표로 한 것이다.

최근에 시멘트 페이스트 중의 공극(Macro한 결함)을 가능한 한 작게 하는 것을 목적으로 한 「MDF(Mico Defect Free) 시멘트」가 개발되었다. 이것은 물시멘트비를 20%이하로 하고, 시멘트와 물과의 비빔을 쉽게 하기 위하여 폴리머를 첨가해서 Roll mill로 비빔하고, 기포를 빼내서 만드는 것으로, 압축강도 1,500~2,500kgf/㎠, 휨강도 400~1,500kgf/㎠, 인장강도 300~1,000kgf/㎠의 고강도를 얻을 수 있다.

⑤ 골재와 결합재와의 부착개선

이 방법에는 클링커를 부수어 골재로 하여, 골재계면과 시멘트 페이스트와의 수화반응에 의해서 부착을 높이는 것으로, 재령 28일에서 1,000kgf/㎠이상의 강도를 얻는다.

단, 보통골재에 비해서 高價이기 때문에 실용화에는 거의 이르지 못했다.

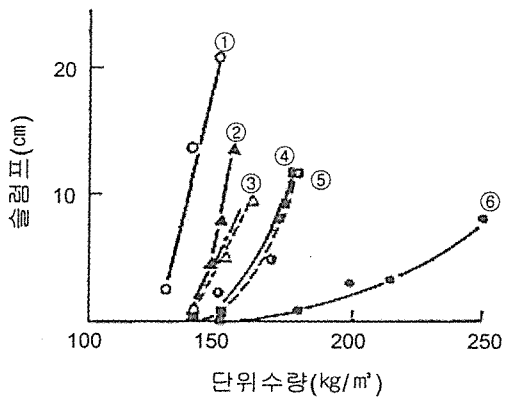
또한, 블리딩을 감소시킴에 따라서 骨材下面의 결함부를 감소시키는 것도 골재와 시멘트 페이스트와의 부착을 증대시키고 고강도화하는 것뿐만이 아니라, 투기성이나 흡기성을 감소시킬 수 있기 때문에, 콘크리트의 중성화나 동해성을 개선시킬 수 있다.

2.2 굳지 않은 콘크리트의 성질

고성능 감수제를 사용한 고강도 콘크리트의 유동성은 보통의 감수제를 사용한 콘크리트의 경우에 비해서, 같은 슬럼프에 있어서도 묽은 비빔 콘크리트의 경우 현저하게 달라진다. 즉, 슬럼프 시험에 있어서 콘을 들어올린 후, 콘크리트는 천천히 모양을 변형시키며 넓어지고, 변형이 종료될 때까지 10초 전후를 요하는 레오로지적 특성이 달라진다.

또한, 〔그림 3〕에 나타낸 바와 같이, 물시멘트비가 30%인 경우, 고성능 감수제 혼입율의 증가에 따라서 단위수량의 증대에 대한 슬럼프의 증가비율은 현저하게 커진다. 그러나, 고성능 감수제의 혼입율을 지나치게 크게 하면 수량이 약간 증대함에 따라 유동성이 과대해지고, 고강도 콘크리트의 경우라고 해도 블리딩이나 재료분리를 발생시키게 되므로 주의를 요한다.

또한, 진동다짐을 할 때의 유동성 증대는 고강도 콘크리트의 경우 매우 크고, 고성능 감수제의 혼입율이 적절하면 블리딩이나 재료분리



M : 고성능 감수제
P : 보통의 감수제
① W/C=30%, M=C × 0.75%
② W/C=40%, M=C × 0.5%
③ W/C=40%, P=C × 0.25%
W/C=50%, P=C × 0.25%
④ W/C=30%, M=C × 0.5%
⑤ W/C=50%, M=C × 0.25%
⑥ W/C=30%, M=C × 0.25%

〔그림 3〕 단위수량과 슬럼프의 관계

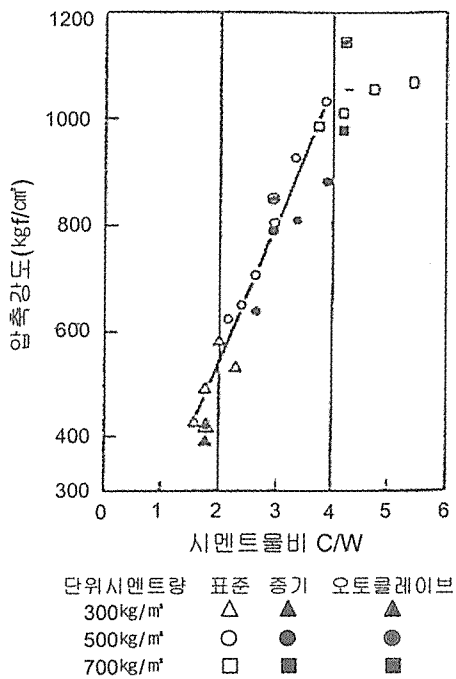
가 발생하지 않는다. 단, 주의해야 할 점은 이 약품을 사용한 경우는 슬럼프 로스가 보통의 감수제를 사용한 경우보다 현저하게 커진다는 것이다. 슬럼프 로스를 저감시키기 위해서는 고성능 감수제와 주성분이 같은 고성능 AE감수제를 사용하면 좋다. 그러나, 이 경우에는 공기연행성이 있기 때문에 강도는 약간 저하한다.

2.3 경화 콘크리트의 성질

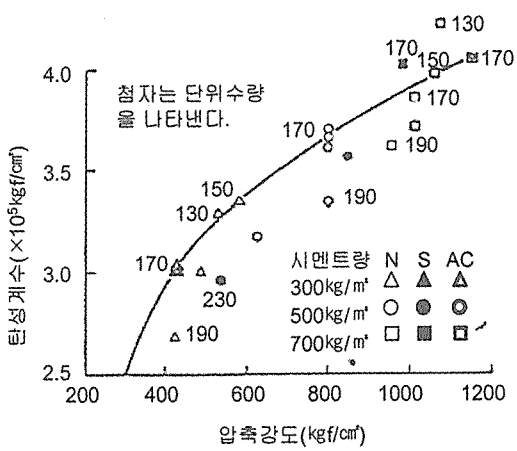
(1)강도

고강도 콘크리트의 압축강도는 물시멘트비 30% 전후에서 고성능 감수제를 사용한 경우에는 1,000kgf/㎠정도가 얻어지고, 또한, 실리카흄을 혼입하고 오토클레이브 양생을 하면 1,400kgf/㎠정도가 얻어진다. 그 외에 폴리머 등을 사용함에 따라서 더욱 큰 강도를 얻을 수 있다.

〔그림 4〕는 고성능 감수제를 사용한 콘크리트의 압축강도(σ_{28})와 시멘트물비 관계의 일례를 나타낸 것이지만, 경질의 양호한 골재를 사용한 경우, σ_{28}=1,000kgf/㎠정도까지는 직선



〔그림 4〕 압축강도와 시멘트물비의 관계



〔그림 5〕 탄성계수와 압축강도의 관계(재령 28일)

관계가 된다. 그 이상이 되면, 시멘트물비가 커져도 압축강도는 별로 증대하지 않는다.

한편, 고강도 콘크리트의 휨강도는 압축강도의 1/10정도이고, 인장강도는 압축강도의 1/5정도라고 할 수 있으며, 압축강도가 고성능 감수제의 사용에 따라 증대하는 비율로 휨 및 인장강도는 증대하지 않는다.

(2) 탄성계수

〔그림 5〕에 나타낸 바와 같이, 고강도 콘크리트의 탄성계수는 압축강도의 증가비율만큼 증대하지 않는다. 이것은 가장 변형하기 쉬운 시멘트 페이스트량이 증대하고, 변형하기 어려운 골재량이 감소하기 때문이다. 또한, 오토클레이브 양생한 경우의 탄성계수는 공극이 증대하기 때문에 상온양생한 경우보다 동일 압축강도에 있어서 작다.

또한, 고강도 콘크리트는 보통강도의 경우보다 취성적 파괴를 일으킨다.

(3) 건조수축 및 크리프

물시멘트비가 30%이하인 고강도 콘크리트의 건조수축 및 크리프는 보통강도 콘크리트의 경우보다 시멘트 페이스트량이 많음에도 불구하고 작아진다.

건조수축의 경우, 고강도가 될수록 시멘트 페이스트의 세공용적이 작아지고, 미세공의 비율이 증대한다. 그 때문에 모세관장력은 커지고 수축력은 증대하지만, 조직이 치밀하게 될수록 변형하기 어려워지기 때문에, 수축력의 증대비율로 건조수축은 증대하지 않는다. 실리카흄 콘크리트의 건조수축이 무혼입의 경우보다 물결합재비 50%이하에서 작은 것은 강도가 동일 물결합재비에 있어서 크기 때문이다.

(4) 투기성, 수밀성 및 내구성

고강도 콘크리트의 투기성 및 수밀성은 보통강도 콘크리트 경우의 1/2이하로 된다. 이것은 물시멘트비가 작아지면 블리딩이 현저하게 작아지기 때문에, 굵은골재 밑면의 결함이 거의 발생하지 않게 되고, 페이스트의 세공용적이 작아지게 되기 때문이다. 중성화깊이는 세공용적이 작을수록 작아지기 때문에, 고강도 콘크리트가 유리하다.

내동해성은 물시멘트비 35%이상의 경우에는 AE 콘크리트로 하지 않으면 개선되기 어렵지만, 물시멘트비 25%정도 이하에서는 non-AE 콘크리트에서도 양호한 내동해성을 나타낸다.

한편, 오토클레이브 양생한 것은 고강도의 경우라도 열악한 경우가 있기 때문에 주의를 요한다.

2.4 용도

고강도 콘크리트는 PC말뚝 등의 공장제품이나 프리스트레스트 콘크리트橋 등, 콘크리트의 압축강도가 유효하게 사용되는 것에 적용되고 있다. 보통강도 콘크리트의 경우보다 높은 設計用値를 가지기 때문에, 단면을 그 만큼 감소시킬 수 있지만, 탄성계수가 별로 증대하지 않기 때문에, 단면을 감소시킨 경우 휨강성이 부족하게 되어 실제로는 별로 부재단면을 감소시킬 수 없다. 그래서 생각해낸 것이 한 개 한 개의 부재 단면은 작게 해도 전체로서의 휨강성이 큰 PC 트러스橋이고, 설계기준강도 600~800kgf/㎠이 사용되는 경우가 많다. 또한, 최근 초고층 RC건물에도 고강도 콘크리트가 이용되고 있다.

그러나, 일반 구조물에도 물시멘트비가 작은 콘크리트를 사용하면 재료분리가 작고 내구성에 매우 우수하기 때문에, 이러한 종류의 콘크리트를 사용하는 것은 바람직하다.

3. 실험개요

3.1 실험계획

본 연구는 순수 RC조 아파트의 저층부에 설계기준강도 400kgf/㎠, 배합강도 480kgf/㎠ (할증계수 1.2)인 고유동성을 갖는 고강도 콘크리트의 배합설계 및 현장품질관리를 위한 것으로, 실험계획은 〔표 1〕과 같다. 최적배합을 도출하기 위한 실험변수는 단위결합재량, 플라이애쉬 치환율, 잔골재율 등이다.

〔표 1〕 실험계획

실험변수		
단위결합재량(kg/m³)		450, 475, 500
플라이애쉬 치환율(%)		10, 20
잔골재율(%)		41, 43
측정 항목	굳지 않은 콘크리트	슬럼프 플로우, 공기량
	경화 콘크리트	압축강도

3.2 사용재료

(1) 시멘트 및 플라이애쉬

시멘트는 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트, 플라이애쉬는 보령산 F급 플라이애쉬를 사용하였으며, 품질시험결과는 〔표 2〕 및 〔표 3〕과 같다.

(2) 골재

잔골재는 세척사를 사용하였고, 굵은골재는 최대치수 19㎜의 쇄석으로서 품질시험결과는 〔표 4〕와 같다.

(3) 화학혼화제

고성능 감수제는 모르터 성능평가시험을 통한 점성과 유동성의 상관관계에서 가장 효과적인 것으로 나타난 N사의 고축합형 멜라민계 고성능 감수제를 사용하였고, 품질시험결과는 〔표 5〕와 같다.

〔표 2〕 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (㎠/g)	응결시간 (h:m)		강열감량 (%)	안정도 (%)	압축강도 (kgf/㎠)		
		초결	종결			3일	7일	28일
3.15	3,200	3:50	6:10	0.7	0.05	195	293	397

〔표 3〕 플라이애쉬의 물리 화학적 성질

비중	분말도 (㎠/g)	강열감량 (%)	습분 (%)	주성분(%)					
				SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3
2.15	3,158	3.57	0.19	56.4	23.7	9.0	2.5	1.3	1.1

〔표 4〕 골재의 물리적 성질

구분	절건비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/l)	씻기 손실량 (%)
잔골재	2.60	0.52	2.60	64.8	1.690	0.5
굵은골재	2.62	0.53	6.96	58.1	1.497	0.1

〔표 5〕 고성능 감수제의 물성 및 품질성능

색상	주성분	pH	pH	응결시간차 (min)		압축강도비 (%)		
				초결	종결	3일	7일	28일
암갈색	멜라민계 (고축합형)	8.0 ±2.0	1.20 ±0.02	80	90	136	132	127

〔표 6〕 콘크리트의 배합조건 및 요구성능

배합조건		요구성능	
굵은골재 최대치수 (Gmax)	19m	설계기준강도 (kgf/㎠)	400
물결합재비(W/B)	40%이하	배합강도(kgf/㎠)	480
단위수량(W)	175kg/㎥이하	슬럼프플로우(cm)	50±10
고성능감수제 첨가율(SP)	1.6%이하	공기량(%)	4.5±1.5
		염화물량(kg/㎥)	0.3

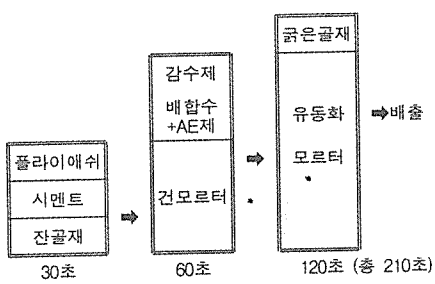
3.3 콘크리트의 배합조건 및 요구성능

배합설계시 요구되는 콘크리트의 배합조건 및 요구성능을 〔표 6〕과 같다. 타설대상 부재는 지상 12층 이하의 기둥 및 전단벽체로서, 철근 배근이 조밀하므로, 콘크리트를 밀실하게 타설하기 위해 유동성을 개선시킨 슬럼프 플로우 50cm정도의 고유동화 콘크리트를 채택하였다.

또한, 고강도 콘크리트의 수화열 억제를 위하여, 배합강도 480kgf/㎠를 확보하기 위한 단위시멘트량을 최소한으로 하고, 플라이애쉬를 사용하였다.

3.4 실험방법

콘크리트의 혼합은 〔그림 6〕의 혼합순서에 따라 실시하고, 콘크리트의 슬럼프 플로우, 공기량 및 압축강도 시험은 JASS 5 T-503 및 KS의 관련규정에 의거 실시하였다.



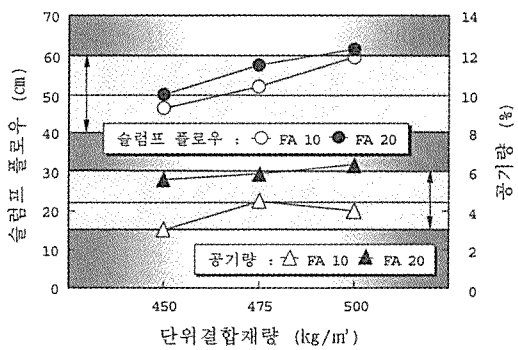
〔그림 6〕 콘크리트의 혼합

4. 실내실험 결과 및 분석

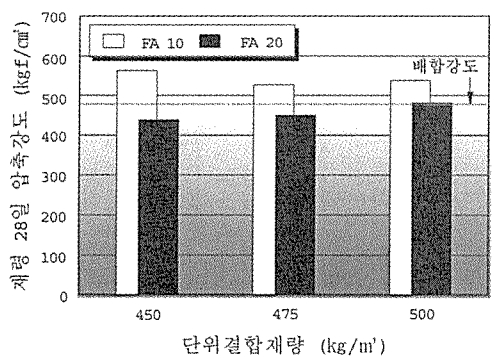
4.1 플라이애쉬 치환율별 단위결합재량에 따른 실험결과

플라이애쉬 치환율별 단위결합재량에 따른 슬럼프 플로우, 공기량 및 압축강도 실험결과는 〔그림 7〕 및 〔그림 8〕과 같다.

단위결합재량 475kg/m³, 플라이애쉬 치환율 10%의 경우가 굳지 않은 상태에서 가장 양호한 성상을 보였다. 강도발현성상도 재령 28일에 있어서 528kgf/㎠를 발현하고 있어, 콘크리트의 요구성능을 만족시키고 있었다.



〔그림 7〕 단위결합재량에 따른 슬럼프 플로우 및 공기량 실험 결과



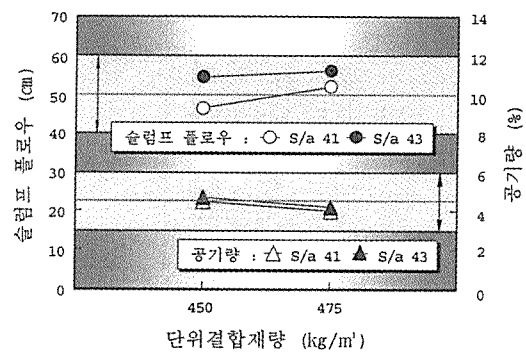
〔그림 8〕 단위결합재량에 따른 압축강도 실험 결과

4.2 잔골재율별 단위결합재량에 따른 실험결과

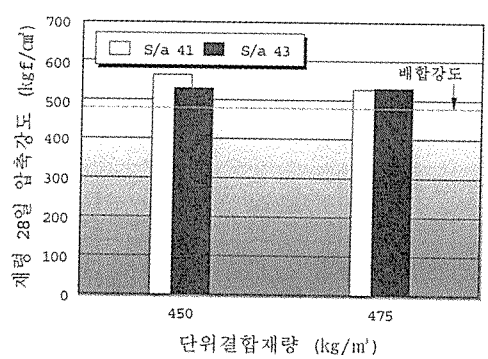
4.1의 실험결과에서 플라이애쉬 치환율 20%의 경우는 압축강도 발현율이 낮고, 단위결합재량 500kg/m³의 경우는 슬럼프 플로우 및 공기량이 관리한계를 벗어나고 있다.

따라서, 그 이하의 조건에 대하여 잔골재율을 변화시켜 슬럼프 플로우, 공기량 및 압축강도 특성을 실험하였고, 그 결과는 〔그림 9〕 및 〔그림 10〕과 같다.

실험결과, 모두 목표값을 만족하고 있었으나, 특히 S/a 43%, 단위결합재량 475kg/m³의 경우가 유동성 및 점성이 가장 양호하게 나타나고 있어, 이를 최적배합으로 결정하였다.



〔그림 9〕 단위결합재량에 따른 슬럼프 플로우 및 공기량 실험결과

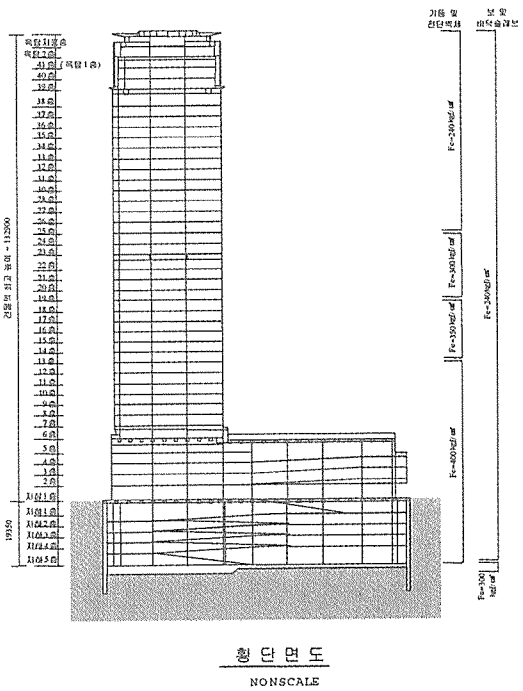


〔그림 10〕 단위결합재량에 따른 압축강도 실험결과

5. 현장적용 결과 및 분석

5.1 현장개요

적용현장은 당사에서 서울 여의도에 시공중인 대우 트럼프 월드 I 신축공사 현장으로서, [그림 11]과 같이 지하 5층, 지상 41층의 RC조로 층수에 따라 콘크리트의 종류가 다르고, 강도 Zoning이 이루어져 있다. 즉, 매트기초(Gmax 25㎜)는 저발열 콘크리트, 기둥 및 전단벽체(Gmax 19㎜)는 설계기준강도별 4종류, 보 및 바닥슬래브(Gmax 25㎜)는 일반강도 콘크리트로 각각 구분되었다.



횡 단 면 도
NONSCALE

[그림 11] 높이에 따른 강도 zoning

이 중에서 본 연구의 대상은 12층 이하의 기둥 및 전단벽체로서, 콘크리트 시방성에서 규정하고 있는 설계기준강도 400kgf/㎠이상의 고강도 콘크리트이다.

5.2 레미콘 공장의 선정

고강도 콘크리트를 생산하기 위한 레미콘 공장은 위치, 거리, 생산능력, 혼화재, silo, 특수 콘크리트 생산실적, 품질시험실의 품질관리 능력을 고려하여, H사, S사 및 Y사의 3개사를 선정하였으나, 레미콘 공장에서 실내실험 및 배쳐플랜트 생산성 실험을 통해 최종적으로 H사가 선정되었다. 레미콘 공장에서 현장까지의 거리는 9㎞로서 소요시간은 평균 25분 정도였다.

5.3 레미콘 공장에서의 실험결과 및 분석

실내실험에서 최적으로 선정된 배합이라도 레미콘 회사별로 사용재료가 다르고, 배쳐플랜트 생산시에는 약간 상이한 경우가 있으므로, 이의 확인을 위해 레미콘 공장에서의 실내실험 및 배쳐플랜트에서의 사전 생산실험을 실시하였다.

레미콘 공장에서 콘크리트 제조에 사용되는 재료에 대한 물성시험을 수행하였으며, 결과는 실내시험에 사용한 재료와 유사하였다. 또한, 콘크리트 제조시의 비빔시간은 고성능 감수제의 충분한 분산을 위해 90초로 설정하였고, 재료의 투입은 일괄투입법에 따라 실시하였다.

[표 7]은 선정된 3개 레미콘 공장에서의 실내실험 및 배쳐플랜트 생산성 실험결과이다. 유동성을 만족시키기 위한 고성능 감수제의 양은 실내실험의 경우보다 0.2%정도 증가하였고, 재령별 압축강도 발현성상은 대체적으로 만족하고 있으나, 레미콘사별로 품질관리 수준에 따라 실내와 배쳐플랜트와의 성능차가 크게 나타나고 있었다.

배쳐플랜트에서 생산되는 고강도 콘크리트의 품질은 골재의 입도 · 입형 · 표면수 관리

및 전용 플랜트 설비 여부에 의해 좌우되며, 특히, 사용시멘트와 고성능 감수제와의 적합성이 매우 중요한 것으로 나타났다. 따라서, 이러한 품질관리 수준이 가장 양호한 것으로 나타난 H사의 레미콘을 현장에 적용하게 되었으며, 이상의 레미콘 공장에서의 실내실험 및 배쳐플랜트 생산실험을 통해서 얻어진 최적배합은 〔표 8〕과 같다.

〔표 7〕 각 사별 실험결과

구 분		슬럼프플로우 (cm)	공기량 (%)	압축강도(kgf/cm²)	
				7일	28일
H사	실내	55	3.3	442	569
	B/P	50	5.4	451	561
S사	실내	57.5	5.6	403	495
	B/P	50	3.8	360	483
Y사	실내	58	5.6	416	576
	B/P	50	7.0	312	394

〔표 8〕 최적배합표

W/B	S/a	단위중량(kg/m³)						
(%)	(%)	W	C	FA	S	G	SP	AE
35.0	43.0	166	427	48	723	969	6.65	0.19

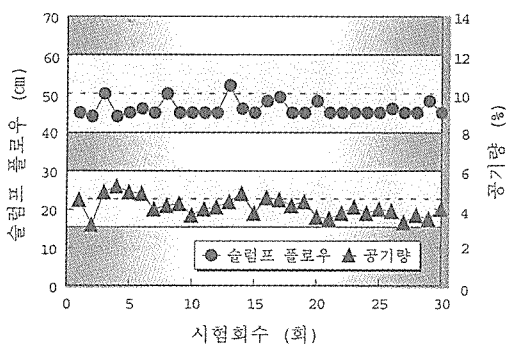
5.4 콘크리트 품질관리 및 현장적용 결과

초고층 RC 건축물은 철근 배근이 매우 복잡하여 콘크리트 타설시에 높은 시공성이 요구된다. 따라서, 시공성의 지표인 슬럼프 플로우값의 관리수준을 검토하기 위하여, 본 현장에 기 적용된 약 6,000m³정도의 매스 콘크리트 생산실적으로부터 평균값, 표준편차 및 변동계수를 산정하였다.

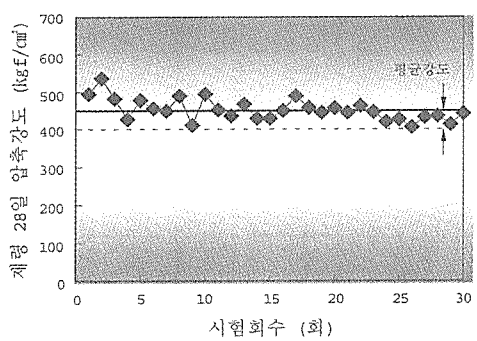
현장적용 결과로부터 각각의 값들을 산정한 결과, 평균값(x)=54.5cm, 표준편차(σ)=3.4 cm, 변동계수(c)=6.3%였다. 따라서, 슬럼프 플로우의 관리범위는 정규분포상에서 불량률이 최소로 되도록, 목표값의 3배 표준편차 범위에 들어올 신뢰도를 99.73%로 한 55±10 cm를 콘크리트 생산시의 목표값으로 하였다.

현재까지 현장에 적용된 굳지 않은 콘크리트의 유동성 실험결과를 〔그림 12〕에 나타냈다. 〔그림 12〕에서 보듯이, 슬럼프 플로우 및 공기량은 모두 관리범위를 만족하고 있었으나, 슬럼프 플로우의 경우에, 관리범위의 하한쪽으로 편중되어 있는 것은 타설부위에 경사를 가진 부재나 계단부위 등, 콘크리트 타설작업이 곤란한 경우가 있기 때문에, 유동성 효과를 다소 축소하여 적용한 결과로 사료된다.

또한, 고강도 콘크리트에서는 압축강도가 중요한 품질관리 사항이다. 현재까지의 압축강도 측정결과는 〔그림 13〕에 나타낸 바와 같이, 재령 28일 압축강도가 평균 451kgf/cm²로 나타나고 있어, 배합강도에 미치지 못하는 경우가 많지만, 불량률이 없이 모두 설계기준강



〔그림 12〕 콘크리트의 유동성 실험결과



〔그림 13〕 압축강도 실험결과

도 이상을 확보하고 있는 것으로 나타나고 있었고, 변동계수도 6%로서 콘크리트의 품질관리가 양호했던 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구는 국내 최초로 주거를 목적으로 하는 초고층 아파트에 적용하는 고강도 콘크리트의 제조 · 생산 및 운반 · 시공에 걸쳐 전반적인 품질관리를 실시한 것으로 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 현장적용을 위한 고강도 콘크리트를 생산하기 위한 실험 플로우는 실내 최적배합 선정실험→레미콘 공장의 사용재료 적합성 판정을 위한 실내실험→B/P 생산성 실험의 단계로 진행되는 것이 최적이라고 판단된다.

(2) 현장적용 결과, 단위결합재량 475kg/m³, 플라이 애쉬 치환율 10%, S/a 43%에서 설계기준강도 400kgf/㎠이상을 만족하고 있었다.

(3) 콘크리트 생산시의 슬럼프 플로우의 관리기준을 불량률이 최소로 되도록, 목표값의 3배 표준편차 범위에 들어올 신뢰도를 99.73%로 한 55±10㎝로 하였으나, 향후에는 보다 엄격한 관리를 위해 표준편차를 2σ로 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

(4) 배쳐 플랜트에서 생산되는 고강도 콘크리트의 품질은 골재의 입도 · 입형 · 표면수 관리, 전용 플랜트 설비 여부가 중요하고, 특히, 사용 시멘트와 고성능 감수제와의 적합성에 따라 크게 좌우된다. 따라서, 고강도 콘크리트의 범용화를 위해서는 고강도 콘크리트 전용의 시멘트 개발이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

끝으로, 본 공사진행을 위해 도움을 주신 (주)대우건설 Trump World I 현장, 한일레미콘(주) 영등포 공장 및 성보넥스코(주)에 깊이 감사한다.

참 고 문 헌

(1) Robert Englekirk, "Steel Structures : cont- rolling behavior through design", Kin Keong Printing co. Pte. Ltd in singapore, 1994

(2) 박문효, "트럼프월드에 적용된 대우의 기술력", 대우건설기술보 통권 제 22호, 2000. 4

(3) 윤영수, 신성우, 장일영, "국내의 고성능 콘크리트에 대한 최근의 연구동향 - 고강도 콘크리트를 중심으로", 콘크리트 학회지 Vol.7 No.5 1995. 10.