

高強度 콘크리트의 主要構造部材에 대한 現場打設 및 水和溫度 測定

The Practical Application of High Strength Concrete to Major Structural Elements in consideration of Heat of Hydration

윤 영수* ○ 이 승훈* 성 상래** 백 승준** 신 성우*** 장 일영****
Yoon, Y.S. Lee, S.H. Sung, S.R. Baek, S.J. Shin, S.W. Jang, I.Y.

Abstract

This paper presents the practical use of high strength concrete on 28-story Samsung Shin-Daebang Housing-Commercial Combined Building with 8-story basements located in Seoul. 700 kg/cm² compressive strength concrete was placed for basement core-walls and 500 kg/cm² concrete was used for structural frames up to 10th floor. The thermal sensors were installed prior to concrete casting into the core walls to measure the heat of hydration during hardening process. The correlation of core strength to the standard cylinder test strength was also discussed. The successful utilization of 500 and 700 kg/cm² concrete shows that the practical application of high strength concrete has a great potential to the high-rise R.C building construction.

1. 서론

모든 분야의 산업은 고도로 발달하고, 구조물은 대형화 및 복합화 추세에 있는 반면에 노동력 부족, 숙련기능공의 부족, 3D 기피현상, 인건비의 급등 등으로 인하여 건설분야는 위기에 직면해 있다. 더욱이 국내에서는 최근 콘크리트와 관련된 부실시공 등 몇몇 사고로 인하여 건설공사 및 콘크리트 공사의 신뢰도가 저하되어 있는 상황이다.

현 단계에서 이러한 문제를 해결하기 위한 첫번째 과제는 기능공과 시공조건의

영향을 덜 받는 고강도-고성능 콘크리트의 개발에 있다고 할 수 있다.

최근 몇년사이에 토목 및 건축분야에서 콘크리트의 고품질화 및 고강도화는 콘크리트에 관계하는 산·학·연의 많은 연구자들에 의해서 상당한 발전을 거듭하여 왔고, 지금도 활발히 연구가 진행되고 있다⁽¹⁾⁽⁶⁾.

그러나 대부분이 실내시험을 통한 강도의 발현이나 보, 기둥과 같은 부재의 구조내력실험 등에 한정되어 있으며 직접 현장에 적용한 사례는 그다지 많지 않았다.

* 삼성건설(주) 기술연구소
** 삼성건설(주) 중앙시험실
*** 한양대학교 건축공학과 부교수
**** 금오공과대학교 토목공학과 조교수

이번 실용화 프로젝트의 주된 목적은 지하 8개층의 기둥 및 내부전단벽에 500 및 700 kg/cm² 강도의 고강도 콘크리트를 국내에서는 처음으로 일반 레미콘공장에서 생산하여 이를 현장까지 레미콘트럭으로 운반한 후 해당 부재에 타설하는 것으로써, 이에 따른 제반 문제점들을 파악하고 그 해결책을 얻고자 하는 것이다. 또한, 고강도 콘크리트의 내부수화온도를 측정하여 양생방법, 양생기간 및 거푸집의 제거시기를 결정하여 줌으로써 균열에 따른 문제점들을 사전에 방지하고자 하였다. 이를 위한 구체적인 내용은 다음과 같다.

첫째, 레미콘공장에서 배합된 고강도 콘크리트의 레미콘트럭에 의한 최적운반량을 결정하고, 운반시간에 따른 슬럼프손실을 측정하여 현장 도착후에 소요의 시공슬럼프를 만족할 수 있는 고유동화제의 추가투여량을 정량화하며,

둘째, 700 kg/cm² 강도를 현장타설하면서 같은 크기의 모형벽체를 제작하여 각 재령별 코아를 채취함으로써 강도관리용 공시체 강도와 실구조물 강도의 상관관계를 규명하고,

셋째, 내부수화열이 높은 고강도 콘크리트를 내부코아벽체에 타설함으로써 발생할 수 있는 온도에 의한 균열을 사전에 방지하기 위해서 온도센서를 배립하여 수화온도를 실제측하고, 거푸집 제거시기 및 양생기간을 결정하는 것 등이다.

2. 프로젝트의 개요

신대방 주상복합빌딩 프로젝트 (현장소장 이승일)는 고강도 콘크리트를 설계부터 시공까지 적용한 건물로서는 '93년에 있었던 양재동 삼성생명빌딩에 이어서 두번째이지만 그 규모면에서는 지하 8층 지상 28층으로서 순수한 철근콘크리트(RC)조로서는 국내에서 가장 높은 건물이다.

설계강도는 여러가지 제한에 의해서 420 kg/cm² 이지만 시공은 500 kg/cm² 고강도 콘크리트와 700 kg/cm² 초고강도 콘크리트가 기둥 및 내부코아벽체에 적용되었다⁽⁷⁾.

3. 고강도 콘크리트의 현장타설

3.1 현장 파일럿시험 (Pilot Test)

현장 파일럿시험은 실내시험을 통해서 최종적으로 결정된 두가지 정도의 배합을 가지고 신대방동 주상복합 현장에 고강도 콘크리트를 공급할 A레미콘 K공장에서 실제의 배치플랜트(B/P)를 이용하여 좀 더 실질적인 상황에서 현장배합을 실시하는 것이다. 이 실험의 주목적은 레미콘공장에서 고강도 콘크리트를 생산함에 있어서 어떠한 문제가 발생하는가를 파악하고, 또한 생산된 고강도 콘크리트를 현장까지 운반함에 따른 슬럼프 감소량과 그 슬럼프의 감소에 따라서 현장에서 어느 정도의 고유동화제를 추가로 투여해야 시공에 용이한 슬럼프로 회복되는가를 측정하여 그 상관관계를 규명함으로써 현장타설을 용이하게 하고 확실한 품질관리를 하고자 하는 것이다.

3.2 고강도 콘크리트의 운반

레미콘공장에서 생산된 고강도 콘크리트는 현장 파일럿시험을 통하여 운반에 관한 기본적인 사항들을 검토하였으나, 그 외에도 공정상 상이한 강도의 콘크리트를 같은 날짜에 타설하는데 따른 콘크리트의 강도구분, 고강도 콘크리트의 타설시간에 따른 레미콘공장에서 생산간격의 조절 등에 대해서도 확실한 검토가 필요하였다.

현장 파일럿시험에서의 고유동화제 추가투여량에 대한 실험결과와 레미콘공장에서 생산성 등을 고려하여 고강도 콘크리트의 운반량은 최종적으로 한차당 5.5m³로 결정하였으며, 같은 날 보통강도 콘크리트, 500 kg/cm² 및 700 kg/cm²의 초고강도 콘크리트

트가 타설되는 경우에 그 구분을 위해서 보통강도 콘크리트는 아무런 표시없이 운반하였으며, 500 kg/cm² 및 700 kg/cm² 강도는 연두색 및 붉은색 표시판을 운전석 앞쪽 유리에 부착하여 운반하였다.

3.3 고유동화제의 현장추가투여

레미콘공장에서 생산된 고강도 콘크리트의 기준슬럼프는 21±1.5cm로 하였다. 그러나 운반시의 교통상황을 고려하여 고강도 콘크리트가 현장에 도착하면 매 차마다 담당자가 슬럼프를 확인하여 그 상태에 따라서 고유동화제를 추가투여 하도록 하였으며, 고유동화제의 현장 추가투여는 현장도착시 타설직전에 측정된 슬럼프가 18cm미만이면 항상 추가투여하는 것을 원칙으로 하였다. 단, 추가 투여량은 레미콘공장에서 투여한 양의 1/2을 넘지 않도록 하였다.

표 1은 타설직전의 슬럼프에 대한 고유동화제의 추가투여량을 종결합제에 대한 비율로 나타낸 것이다.

표 1 고유동화제의 추가투여량

투여량 강도	슬럼프(cm)	추가투여량(%)
500	15~18	0.15
	10~15	0.25
	10 미만	0.30
700	15~18	0.05
	10~15	0.10
	10 미만	0.15

3.4 고강도 콘크리트의 타설

고강도 콘크리트는 보통강도 콘크리트에 비해서 점성이 상당히 증가하고 슬럼프손실도 다소 빠르게 일어나므로 타설장비나 타설시간 등에 대해서도 상당한 주의를 기울

여야 하며, 타설은 빠르고 신속하게 이루어져야 한다.

고강도 및 초고강도 콘크리트의 타설 첫날에 실제의 벽두께와 같은 실험벽체를 현장 한쪽에 제작하여 700 kg/cm² 강도에 대해서 현장과 동시에 타설하여 현장상황과 거의 유사한 조건하에서 양생함으로써 실구조물에서 측정하기 힘든 코아공시체에 대한 압축강도를 측정할 수 있도록 하였다. 또한, 실험벽체에는 온도센서를 매립하여 구조물 내부 및 표면부의 수화온도와 외기온도를 측정함으로써 거푸집 존치기간 등을 결정할 수 있도록 하였다.

사진 1은 실험벽체에서 재령별로 코아를 채취한 모습을 나타낸 것이다.

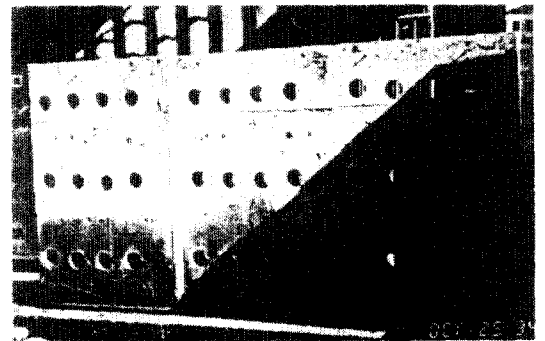


사진 1 실험벽체의 코아채취

500 kg/cm² 강도의 고강도 콘크리트가 현장 타설될 지하 주차장(지하 7층~지하 2층)의 경우는 플랫 슬래브(flat slab)형식으로 기둥부위에는 420 kg/cm² 강도로, 그리고 슬래브 부분에는 270 kg/cm² 강도로 설계되어 있으므로 두 구조부재의 접합부에서의 강도차가 40% 이상이 되었다. 따라서, ACI에서 제안하고 있는 기준⁽⁸⁾[ACI 318-89 10.13.3]에 따라 신대방동 현장에서는 지판(drop panel) 부분도 500 kg/cm² 강도로 타설한 후 그림 1에서 보는것처럼 고강도 콘크리트를 슬래브 방향으로 슬래브 두께의 두배를 내밀어 줌으로써 편칭전단에 대한 조치를 취하는 것이 구조적으로 안전하다고 판단되었다.

그러나, 시공성의 측면에서 본다면 270 kg/cm² 강도의 슬래브 콘크리트의 타설부위가 작아지고, 그에 따른 타설물량도 적어지는 반면, 상이한 두 강도의 타설이 바로 이루어져야 되기때문에 오히려 혼잡을 야기시키거나 타설시간이 길어질 수 있으므로, 슬래브 부분도 모두 500 kg/cm² 고강도 콘크리트로 타설하여 시공성을 증진시켰다.

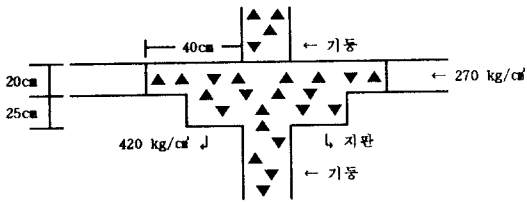


그림 1 플랫폼슬래브에서의 고강도 콘크리트의 내민길이 확보

4. 구조체의 수화온도측정

4.1 내부온도이력

수화온도에 영향을 미치는 인자는 시멘트의 종류, 물-시멘트비, 부재단면의 크기, 외기온도등으로 알려져 있는데⁽⁹⁾, 고강도 콘크리트의 경우 낮은 물-시멘트비와 단위 체적당 시멘트량의 증가로 인해서 내부수화온도가 상당히 증가하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 내부코아벽체에 타설된 700 kg/cm² 초고강도 콘크리트에 대해서 중심부의 수화온도와 철근피복두께 부근의 온도 및 외기온도를 측정함으로써 그 온도차의 정도를 파악하며, 초기균열에 대해서 어떠한 영향을 미치는가에 대한 기초자료로 사용하고자 하였다.

4.2 실험벽체의 온도측정

본 프로젝트에서는 지하 8층 벽체에 처음으로 700kg/cm² 초고강도 콘크리트를 타설하면서 현장 한쪽에 실구조물과 같은 두께

의 실험벽체를 무근으로 제작하였으며, 내부에 온도센서를 설치하여 내부수화온도를 측정하였다.

실험벽체의 두께는 각각 30cm 및 20cm로서, 각 3개씩의 온도센서 (thermistor)를 부재의 상부, 중앙부 및 하부에 설치하였으며, 온도측정장치는 자동측정장치인 Dater Taker 615를 사용하였다. 온도의 측정은 매 시간별 자동으로 이루어지며, 콘크리트 내부의 온도와 외기온도의 차가 10 °C 정도가 될때까지 콘크리트 내부의 최고온도, 최고온도까지의 도달시간 그리고 최고온도와 대기온도의 차가 10 °C가 되는 시간 등을 측정하였다. 그림 2는 실험벽체 중심부의 수화온도 측정결과를 나타낸 것이다.

실험벽체의 수화온도 측정결과에 의하면 최고온도에 도달하는 시간은 부재의 두께에 관계없이 약 13시간이 소요되었으며, 최고온도는 30cm 벽체의 경우 각각 부재의 상부에서는 41.7 °C, 중앙부에서는 53.6 °C, 하부에서는 47.2 °C를 나타내었으며, 20cm 벽체의 경우 부재의 상부에서는 38.5 °C, 중앙부에서는 42.8 °C, 하부에서는 41.2 °C를 나타내었다. 그리고 부재내부의 온도와

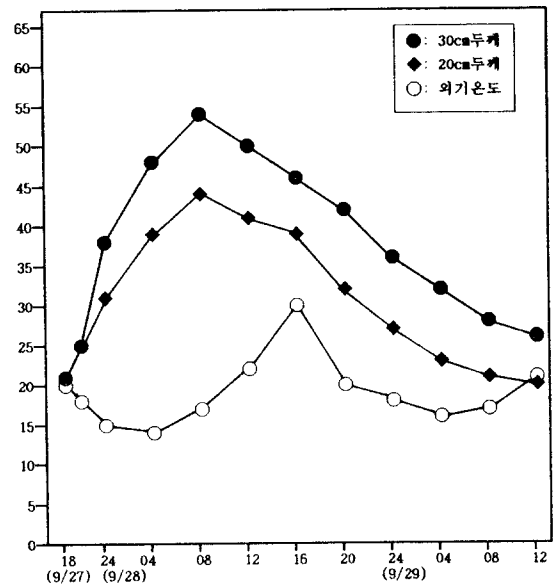


그림 2 수화온도 측정결과도 (실험벽체)

대기온도의 차가 약 10 °C 정도되는 시점은 30cm 벽체의 경우 약 40시간이 소요되었고, 20cm 벽체의 경우 약 35시간이 소요되었다.

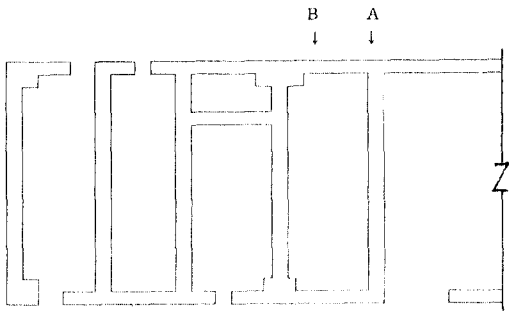
4.3 실구조벽체의 온도측정

실험벽체의 측정결과를 근거로 하여 실제 구조물인 지하층의 내부코아벽체에서 구조물 내부의 수화열에 의한 온도측정을 수행하였다. 측정장비 및 측정방법은 실험벽체의 경우와 동일하게 하였으며, 측정결과는 실험벽체에서 얻어진 결과와 비교 검토하였다.

4.3.1 지하층 내부코아벽체의 수화온도측정

그림 3은 지하층 내부코아벽체의 수화온도 측정위치를 나타낸 것으로 구조물 내부의 2개소에 온도센서를 매립하여 콘크리트의 내부수화온도를 측정하였다. 수화온도의 측정은 고강도 콘크리트의 타설시점으로부터 내부수화온도와 외기온도의 차이가 10 °C 이내로 들어왔을 때까지 계속해서 수행하였다.

[온도센서 (thermistor) 매립위치]



- 1) A 지점 -- WALL과 WALL이 만나는 지점
- 2) B 지점 -- 기둥과 WALL이 만나는 지점에서 WALL 측으로 30cm 떨어진 지점

그림 3 고강도콘크리트 타설부위 단면도

그림 4 및 그림 5는 그림 3의 A 및 B 지점에서의 수화온도 측정결과를 나타낸 것이

다. 두 지점에서의 최고온도에 도달하기까지 소요된 시간은 실험벽체의 경우와 비슷하게 나타났으나, 구조물 중심부 온도와 대기온도의 차가 10 °C 안쪽으로 될 때까지 걸린 시간은 부재의 크기와 대기온도 등의 영향에 의해서 다소 증가된 값이 측정되었다.

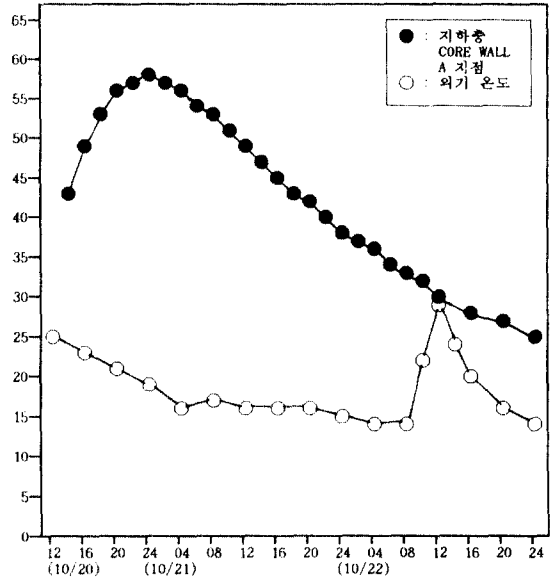


그림 4 내부코아벽체의 수화온도 측정결과 (A 지점)

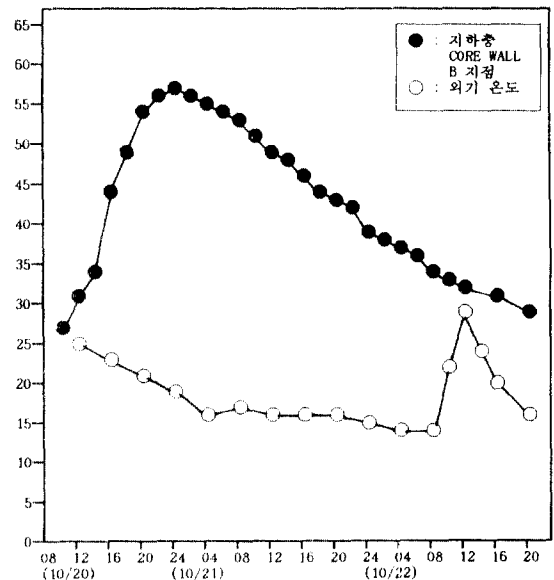


그림 5 내부코아벽체의 수화온도 측정결과 (B 지점)

5. 결론

본 고에서 다루었던 현장타설 및 수화온도 측정에 관한 프로젝트는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 현장 파일럿시험 결과와 레미콘공장에서의 생산성을 고려하여 고강도 콘크리트의 운반량은 최종적으로 5.5 m로 결정하였으며, 레미콘공장에서 생산후 현장도착까지 1시간 30분을 넘지않는 것을 기본으로 하였다.

둘째, 레미콘공장에서 생산된 고강도 콘크리트의 기준슬럼프는 21 ± 1.5 cm로 하였으며, 고유동화제의 현장 추가투여는 현장도착시 타설직전에 측정할 슬럼프가 18 cm 미만이면 항상 추가투여하는 것을 원칙으로 하였고, 단, 추가투여량은 레미콘공장에서 투여한 양의 1/2을 넘지 않도록 하였다.

셋째, 본 프로젝트에서의 고강도 콘크리트의 타설시기는 늦가을이어서 구조물의 내구성확보를 위하여 500 kg/cm^2 강도에 대해서는 $4.5 \pm 1.5\%$ 의 공기량을 확보하도록 하였고, 내부코아벽체에 타설된 700 kg/cm^2 초고강도 콘크리트에 대해서는 중심부의 수화온도와 철근피복두께 부분의 온도 및 외기온도를 측정함으로써 그 온도차의 정도를 파악하여, 거푸집 제거시기, 양생방법 및 기간 등을 결정할 수 있도록 하였다.

감사의 글

초고강도 콘크리트의 개발과 현장적용을 위해 “국내 실정에 맞는 고강도-고성능 콘크리트의 개발 및 실용화 연구”라는 연구 테마로 '94년도 건설기술연구개발사업의 과제으로써 선정해준 건설교통부와 한국건설기술연구원 관계자 여러분께 감사의 뜻을 표합니다. 또한, 지원을 아끼지 않으신 신대방동 현장의 이승일 소장께 감사드리며, 내부적으로 큰힘이 되어주신 삼성건설(주)의 유승용 기술본부장, 윤건신 기술연구소장,

중앙시험실의 박희민 시험실장의 협조와 배려에 깊은 감사의 뜻을 표합니다. 끝으로 본 현장적용을 위해 애써주신 아주레미콘의 백철 부장, 김수만 시험실장 및 진용화학 관계자 여러분께 깊은 감사의 뜻을 표합니다.

참고 문헌

1. 변근주, “고성능 콘크리트의 연구동향 및 전망”, 한국콘크리트학회지, 제 6권, 1호, 1994. 2, pp. 2-23.
2. 박철립, “고성능 콘크리트의 연구현황과 실용화 방안”, 한국레미콘공업협회지, 제 40호, 1994. 7, pp. 27-35.
3. 신성우, “고강도 콘크리트의 개발현황과 방향”, 한국레미콘공업협회지, 제 40호, 1994. 7, pp. 18-26.
4. 정상진 외 1인, “고성능 콘크리트의 고강도 실용화에 관한 연구”, 한국콘크리트학회지, 제 6권, 1호, 1994. 4, pp. 24-31.
5. 오병환, “고강도 콘크리트의 효율적인 품질관리 기법”, 대한토목학회지, 제 42권, 4호, 1994. 8, pp. 17-27.
6. 오병환, “내구성 향상을 위한 고성능 콘크리트의 개발과 활용”, 한국콘크리트학회지, 제 6권, 1호, 1994. 2, pp.44-51.
7. 신성우 외 8인, “초고층 주상복합건물에서의 초고강도 콘크리트의 시공 및 구조적 성능”, 가을학술발표회 논문집, 제 6권 2호, 1994. 11, 한국콘크리트학회, pp. 313-318.
8. ACI Committee 318, “Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary (ACI 318M-89/ ACI 318R-89)”, American Concrete Institute, Detroit, 1989.
9. 윤영수 외 6인, “고강도콘크리트의 내부온도이력과 경화콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구”, 가을학술발표회 논문집, 제 6권 2호, 1994. 11, 한국콘크리트학회, pp. 127-132.