

超高強度 콘크리트로 打設된 内部코아벽체의 龜裂制御에 관한 實驗的 研究

An Experimental Study on Crack Control of Core-Wall
Using 700 kg/cm² Ultra High Strength Concrete

○ 윤 영수*
Yoon, Y.S.

이 승훈**
Lee, S.H.

노 병용***
Noh, B.Y.

박 회도****
Park, H.D.

Abstract

This paper presents the experimental study on crack control of core-wall placed with 700 kg/cm² ultra high strength concrete. The thermal sensors were installed into the core-walls prior to the concrete casting to measure the heat of hydration and atmospheric temperature whose difference might cause the initial crack. Several curing schemes were taken for each basement floor 8 thru 6 to examine the influence of curing method on the crack width, total crack length and the number of crack occurred. This paper demonstrates that the proper curing scheme have a great favorable effect on the initial crack control on the structural elements with noticeable reduction in crack width.

1. 서 론

콘크리트를 거푸집에 타설한 후 응결이 종료되기 전까지 발생하는 균열을 통상 초기균열이라고 한다. 초기균열은 일반적으로 자체변형, 자중 및 직재하중, 부동침하 등에 의해서 발생하게 되는데, 그 중에서 경화초기에 가장 큰 영향을 미치는 자체변형에 의한 균열은 주로 건조수축이나 온도에 의한 경우가 많다.

건조수축 균열은 수분의 증발이 원인이 되어 콘크리트의 응결 종료시까지 발생하는데 수분증발 속도가 블리딩 속도를 초월한

경우, 콘크리트 표면에 수분이 부족한 경우, 시멘트의 응결·굳어짐이 급격하게 일어나서 콘크리트 내부에 물이 흡수된 경우에 바람이 불거나 온도가 높아서 건조가 심하면 균열이 발생하기 쉽다. 따라서 수분의 증발을 방지하는 것이 건조균열 방지의 기본이 되기 때문에 날씨가 추워지거나 일교차가 커지면 양생포와 비닐등으로 타설 부위를 감싸고, 하절기에는 직사 광선이나 바람에 노출되지 않도록 하는 등 양생에 충분한 배려를 해야 한다. 온도상승에 의한 균열은 주로 콘크리트가 경화하면서 발생하

* 삼성건설(주) 기술연구소 선임연구원

** 삼성건설(주) 기술연구소 주임연구원

*** 삼성건설(주) 신대방동 주상복합현장 공사과장

**** 삼성건설(주) 신대방동 주상복합현장 공사대리

는 내부 수화열로 인해 콘크리트의 내부온도가 상승하면서 콘크리트 구조물의 표면부분 또는 외기와의 온도차가 발생하게 되고, 이 온도차가 어느 범위를 넘어서면 구조물에 균열이 발생하게 되며, 철근콘크리트 구조물의 내부온도이력과 균열에 관해서는 그 중요성으로 인해 국내에서도 많은 연구가 진행되고 있다⁽¹⁾⁽⁷⁾.

건조수축이나 온도 등의 원인으로 인해서 발생하는 초기 균열은 구조적으로 큰 문제를 일으키지는 않지만 재료적인 측면, 시공적인 측면 또는 양생적인 측면 등의 부주의로 인해서 균열폭이 허용균열폭 이상으로 커지면 철근의 부식등으로 인해서 콘크리트 구조물의 내구성에 문제가 발생하게 되고, 균열보수비용이 상대적으로 증가하게 되는 경우가 생기므로 재료, 시공 및 양생적인 측면에서 상당한 주의를 기울여야 한다.

2. 균열제어실험의 개요

신대방동 현장의 경우 내부코아벽체의 지하 8층부터 5층까지는 700 kg/cm² 초고강도 콘크리트를 타설하였고, 지하 4층부터 지하 1층까지는 500 kg/cm² 고강도 콘크리트가 타설되었다. 공사의 개요 및 층별, 부위별 콘크리트의 시공강도는 부록에 나타나 있다.

본 연구에서는 지하 8층부터 지하 6층까지의 3개층에 대해서 매층마다 벽체 내부(중심부와 철근퍼복부분)의 온도와 외기온도를 계측하고, 각 층별로 양생방법을 달리하면서 각각의 양생방법에 따른 균열의 발생현황을 조사하였다. 즉, 고강도 콘크리트가 경화하면서 발생하는 높은 수화열이 구조물 내부의 온도를 상승시킴으로써 발생하기 쉬운 초기균열을 조사하고, 그 정도를 최대한 감소시키기 위하여 동일한 배합의 고강도 콘크리트를 타설하면서 각 층별로

양생방법을 달리하면서 각각에 따른 차이점을 조사하여 최적의 방법을 찾고자 하였다.

3. 양생방법

아래의 그림 1은 신대방동 주상복합건물의 내부 코아벽체의 평면을 나타낸 것으로서, 고강도 콘크리트의 타설은 지하 8층의 경우만 전 층을 동시에 타설하였고, 지하 7층부터는 zone "A" 와 zone "B"로 나누어서 타설하였다.

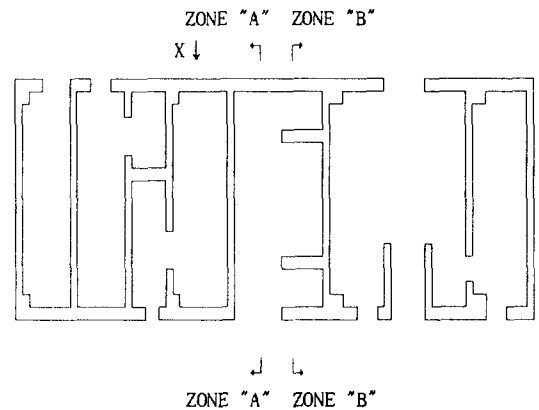


그림 1 신대방동 주상복합 내부코아벽체 평면도

고강도 콘크리트로 타설한 지하 벽체구조물의 균열발생현황 (균열폭, 총균열수, 총균열길이)등을 조사하고 가능한 한 최소한의 균열을 발생시키는 방법을 찾기 위하여 양생방법을 각 층별로 다음과 같이 네가지로 구분하여 적용하였다. 양생방법의 구분은 타설전과 타설후로 구분하고, 또한 습윤양생의 유무로 구분하였다.

첫번째 방법은 지하 8층에 적용한 방법으로서 양생은 단순히 거푸집만을 사용하였으며, 고강도 콘크리트의 타설 후 약 3일 뒤에 거푸집을 해체하여 시간의 경과에 따른 균열의 발생현황을 조사하였다.

두번째 방법은 지하 7층의 zone "A"에

적용하였으며, 고강도 콘크리트를 타설하기 전에 구조물 외벽의 거푸집에만 양생포를 덮고 그 위에 두꺼운 비닐을 다시 덮어서 보온양생을 한 것으로서, 타설 후부터 약 3일이 지난 후에 거푸집과 비닐만을 제거한 후 양생포 위에 살수를 하여 습윤상태를 유지하도록 하였다.

세번째 방법은 지하 7층의 zone "B"에 적용하였으며, 모든 과정은 두번째 방법과 동일하게 적용하였으며, 단지 두번째 방법과의 차이점은 대기상태에서 양생이 되도록 한 것이다.

네번째 방법은 지하 6층의 zone "A" 및 zone "B"에 모두 적용한 방법으로서 벽체의 내·외부 모두에 양생포와 비닐을 덮어서 보온양생을 하고, 약 3일후 거푸집을 제거하면서 벽체의 내·외부에 양생포만을 남긴 뒤 약 3일동안 양생포가 항상 젖어있도록 살수를 하여 습윤양생이 되도록 한 것으로서 벽체의 내·외부에 보온양생을 한 것이 두번째 방법과 다른 점이라 할수 있겠다.

4. 균열폭에 관한 각국의 허용규준

세계 각 나라의 시방서마다 균열에 대한 제한 규정을 두고 있는데, 그 중요한 이유는 외관에 의한 심미적인 측면, 수밀성에 의한 측면, 내구성에 의한 측면 등을 들 수 있다. 표 1은 각국의 균열에 대한 시방기준을 나타낸 것이다.

5. 균열발생현황

표 2는 각 층별 양생조건에 따른 균열발생현황을 조사한 것으로서, 각각의 양생방법에 따른 균열의 발생현황은 특히 균열폭에서 상당한 차이를 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 1 균열폭에 대한 각국의 허용규준

국 명	기준 시방서	환경 조건	허용균열폭(mm)
한 국	콘크리트 표준시방서	옥내의 경우	0.4
		옥외의 경우	0.3
미 국	ACI 224	건조한 공기중 보호막이 있는 경우	0.4
		습한 공기중, 고속	0.3
	ACI 318-89	옥내부재	0.4
		옥외부재	0.3
유럽통합	CEB-FIP	보호되어 있는 부재	0.3
		보호되지 않은 부재	0.2
영 국	CP-110	일반적인 환경	0.3
일 본	콘크리트 표준시방서	일반적 환경	0.005 dc
		부식성 환경	0.004 dc

* dc : 콘크리트의 철근피복두께 (단위 : cm)

표 2 층별 양생조건에 따른 균열발생현황

종류 층구분	타설일 (1994년)	양생방법	균열폭 (mm : %)
지하 8층 ZONE "A"	9. 27.	· 거푸집 · 3일 양생 · 탈형후 대기양생	0.1~0.2 : 40 0.3~0.4 : 60
지하 8층 ZONE "B"	9. 27.	· 거푸집 · 3일 양생 · 탈형후 대기양생	0.1~0.2 : 40 0.3~0.4 : 60
지하 7층 ZONE "A"	10. 20.	· 거푸집, 양생포, 비닐 (외부만 보양) · 3일 양생 · 탈형후 습윤양생	0.1~0.2 : 70 0.3~0.4 : 30
지하 7층 ZONE "B"	10. 30.	· 거푸집, 양생포, 비닐 (외부만 보양) · 3일 양생 · 탈형후 대기양생	0.1~0.2 : 50 0.3~0.4 : 50
지하 6층 ZONE "A"	11. 7.	· 거푸집, 양생포, 비닐 (내,외부 보양) · 3일 양생 · 탈형후 습윤양생	0.1~0.2 : 80 0.3~0.4 : 20
지하 6층 ZONE "B"	11. 13.	· 거푸집, 양생포, 비닐 (내,외부 보양) · 3일 양생 · 탈형후 습윤양생	0.1~0.2 : 90 0.3~0.4 : 10

6. 수화온도의 측정

지하 8층부터 매층마다 그림 1의 "X"지점에 온도센서를 설치하여 수화열에 의한 온도와 외기온도를 측정하였다. 그림 2는 지하 5층에 설치한 온도센서의 세부설치 계획을 나타낸 것으로서 구조물 내부의 중심과 양바깥쪽에 각각 1개씩 설치하였으며, 또한 코아벽체의 안쪽과 바깥쪽에서 거푸집 외측에 각각 1개씩 설치한 후 거푸집을 양생포와 비닐로 덮었다.

지하 8층에서 지하 6층까지는 구조물 내부의 온도와 외기 온도만을 측정하였고, 지하 6층과 동일한 방법으로 양생하였으며 균열상태가 가장 좋았던 지하 5층에 대해서 그림 2에서 보는 것처럼 온도센서를 설치하여 내·외부의 온도차를 자세하게 측정함으로써 거푸집의 존치기간이나 균열상태에 대한 양생조건의 영향 등을 파악하도록 하였다. 수화온도의 측정은 고강도 콘크리트 타설시점으로부터 내부수화온도와 외기온도의 차이가 약 10 °C 이내로 들어왔을 때까지 계속해서 수행하였다.

초고강도 콘크리트의 수화열에 의한 온도변화를 측정된 결과, 내부코아벽체의 중심부와 양외측부의 최고온도는 50.7 °C 및 45.0 °C와 45.5 °C였고, 최고온도 도달시간은 모두 15시간이 소요되었다. 또한, 같은 시간에서 양생포와 비닐을 덮은 거푸집 바깥쪽의 온도는 구조물 내부가 18.2 °C 및

- 1, 3 : 코아벽체 내부의 외측부분
- 2 : 코아벽체 내부의 중심부분
- 4 : 코아벽체 외부 (구조물 안쪽)
- 5 : 코아벽체 외부 (구조물 바깥쪽)
- 6 : 외기온도

그림 2 온도센서 세부설치도

17.2 °C였고, 그때의 외기온도는 11.4 °C였다. 따라서 이때의 온도차는 구조물 중심부와 외기온도가 약 39 °C, 외측부와 외기온도가 약 34 °C정도 차이가 났다. 또한, 구조물 중심부와 양생포와 비닐로 덮은 거푸집 바깥쪽과의 온도차는 구조물 중심부와 약 33 °C, 외측부와 약 28 °C정도의 차이가 났다. 그림 3은 측정된 온도를 도식화한 것이다.

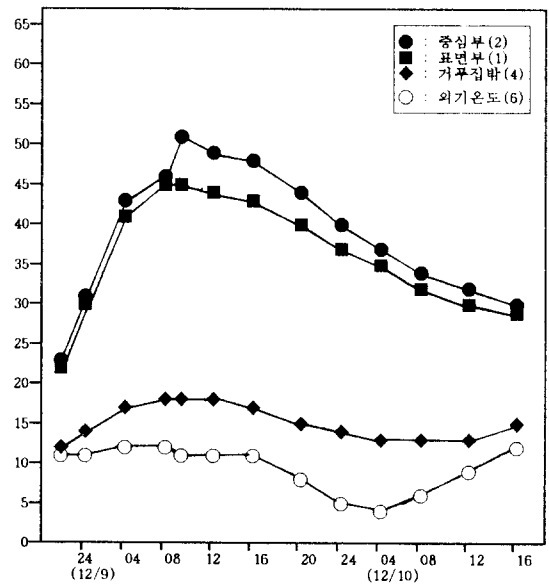
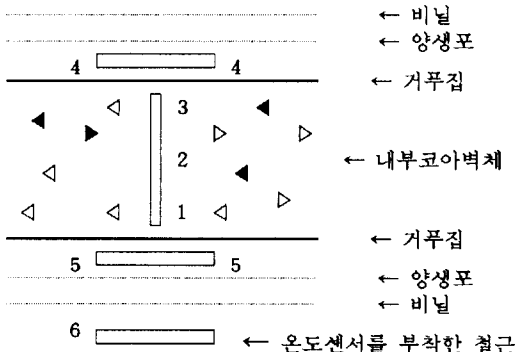


그림 3 지하 5층 내부코아벽체 수화온도 측정결과



7. 균열발생현황의 분석

각 양생방법에 따른 zone "A" 와 zone "B" 에서의 균열폭에 관해서 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

균열폭은 거푸집만으로 양생을 한 경우

는 0.1~0.2mm의 폭을 가지는 균열이 약 40%, 0.3~0.4mm의 폭을 가지는 균열이 약 60%로서 균열폭이 다소 큰 균열이 많은 경향을 나타내었다. 그러나, 지하 7층의 경우처럼 콘크리트를 타설하기 전에 양생포와 비닐로서 보온양생을 한 뒤 거푸집을 떼어낸 후에는 습윤양생을 한 경우인 zone "A" 부분은 0.1~0.2mm의 폭이 좁은 균열이 약 70%정도로 증가하였으며, 0.3~0.4mm의 폭을 가지는 균열은 약 30% 정도로 감소하였고, 대기양생을 한 zone "B" 부분은 0.1~0.2mm 균열이 약 50%정도로 약간 증가하였으며, 0.3~0.4mm의 폭을 가지는 균열도 약 50% 정도로 다소 감소하는 경향을 나타내었다.

또한, 지하 6층에서와 같이 거푸집의 탈형까지는 지하 7층의 경우와 같고 그 후에는 양생포로 감싼 뒤 계속적인 살수를 하여 습윤양생을 한 경우에는 zone "A" 부분은 0.1~0.2mm의 폭이 좁은 균열이 약 80%정도로 증가하였으며, 0.3~0.4mm의 폭을 가지는 균열은 약 20% 정도로 감소하였고, zone "B" 부분은 0.1~0.2mm의 균열이 약 90%정도로 거의 전부를 차지했으며, 0.3~0.4mm의 폭을 가지는 균열은 약 10% 정도로 거의 찾을 수가 없었다.

균열폭의 크기가 철근의 부식에 대해서 상당히 민감하다는 사실에 비추어 볼 때, 구조물의 내구성을 증대시키기 위한 양생방법의 변화가 균열폭의 감소에 있어서 상당한 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

또한, 양생방법의 변화로 인해서 감소된 총균열갯수 및 총균열길이는 각각 30% 및 10% 정도이며, 그 이상으로 감소시키기 위해서는 또다른 방법등이 추가적으로 검토되어야 할 것으로 사료된다.

8. 결론

1994년 9월 말에서 11월 말사이에 신대방동 주상복합현장에 타설한 700 kg/cm² 초고강도 콘크리트 내부코아벽체의 다양한 양생방법에 따른 균열상황과 수화열에 의한 온도측정 결과로 부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 대기온도가 다소 떨어지거나 일교차가 상당히 큰 경우에는 일반적으로 현장에서 수행되고 있는 거푸집만에 의한 양생으로는 균열을 제어하기가 매우 힘들기 때문에, 거푸집 위에 양생포와 비닐로서 타설초기에는 보온양생을 하고 거푸집 탈형 후에는 살수를 함으로써 습윤양생이 되도록 하면 건조수축이나 온도에 의해서 발생하는 균열을 모두 허용균열폭 안으로 들어오게 할 수 있으며, 총 균열길이와 총 균열갯수에 있어서도 상당한 감소효과를 얻을 수 있다.

둘째, 각 양생조건에 따른 균열폭의 측정결과는 표 2에 정리되어 있는 것처럼 양생방법만을 개선하더라도 우선적으로 균열폭에 있어서 매우 좋은 결과를 기대할 수 있으며, 균열폭의 크기가 철근의 부식에 대해서 상당히 민감하다는 것을 고려하면 콘크리트 구조물의 내구성 확보의 측면에서도 타설시 대기온도의 영향을 고려한 적절한 양생방법을 취하는 것이 콘크리트의 균열에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

셋째, 총균열갯수는 지하 8층에 비해서 지하 7층과 지하 6층에서 약 22%~27%의 감소효과를 보여주었으며, 지하 7층과 지하 6층의 경우에는 그다지 차이가 발생하지 않았다. 또한, 총균열길이는 지하 8층에 비해서 지하 7층과 지하 6층은 약 10%~13% 정도 감소하여 감소의 폭이 다소 작은 것을 알 수 있었다. 따라서 양생방법의 변화로 인해서 총균열갯수 및 총균열길이가 감소할 수 있는 것은 30% 및 10% 정도로서, 그 이상으로 균열갯수 및 균열길이를 감소시키기

위해서는 또다른 방법이 추가적으로 검토되어야 할 것으로 사료된다.

감 사 의 글

국내에서 RC빌딩으로는 최고층인 지상 28층, 지하 8층 규모의 신대방동 주상복합 건물에 500 kg/cm² 고강도 및 700 kg/cm² 초고강도 콘크리트의 개발과 현장적용을 위해 '94년도 건설기술연구개발사업 과제로 선정해준 건설교통부와 한국건설기술연구원 관계자 여러분께 감사의 뜻을 표합니다. 또한, 한양대학교의 신성우 교수의 자문에 감사드리며, 지원을 아끼지 않으신 신대방동 현장의 이승일 소장께 감사드리며, 그리고 내부적으로 큰힘이 되어주신 삼성건설(주)의 유승웅 기술본부장, 양완수 고문, 윤건신 기술연구소장, 중앙시험실의 박희민 시험실장, 성상래 과장, 백승준 사원의 협조와 배려에 깊은 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. 김진근, “콘크리트 균열의 원인”, 한국콘크리트학회지, 제 6권, 4호, 1994.8, pp.6-16.
2. 최완철, “콘크리트 구조물의 균열체계에 따른 균열제어와 대책”, 한국콘크리트학회지, 제 6권, 4호, 1994.8, pp. 17-24.
3. 김상식, “철근콘크리트 구조체의 균열평가”, 한국콘크리트학회지, 제 6권, 4호, 1994.8, pp. 25-29.
4. 김 우, “세계 여러나라 콘크리트시방서의 균열제한에 대한 규정”, 한국콘크리트학회지, 제 6권, 4호, 1994.8, pp. 30-36.
5. 오병환 외 1인, “대형 콘크리트 구조물의 수화열 예측 및 균열제어 연구”, 한국콘크리트학회지, 제 7권, 1호, 1995.2, pp. 97-107.

6. 오병환 외 1인, “메스콘크리트 구조의 열응력 해석에서의 크리프 및 건조수축효과”, 대한토목학회논문집, 제 114권, 제 1호, 1995.1, pp. 1-12.

7. 윤영수 외 6인, “고강도콘크리트의 내부 온도이력과 경화콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구”, 가을학술발표회, 제 6권, 2호, 1994.11, 한국콘크리트학회, pp. 127-132.

부 록

표 A1 공사 개요

구 분	내 용	구 분	내 용
위 치	서울시 동작구 신대방동 395-62	공사 기간	1994년 1월 ~ 1997년 3월
이 름	삼성 신대방주상복합	건물 구조	철근콘크리트구조
설계자	삼우설계 (주)	건물 규모	지하 8층, 지상 28층
시공자	삼성건설 (주) (이 승일 소장)	용 도	주상복합건물

표 A2 부위별 콘크리트 강도 (시공강도)

부위	Core Wall Core Column	Column	Beam & Girder	Slab	지하 외벽
층구분					
B7~기둥					
2층 바닥	700 / 500	500	270	270	270
2층 기둥					
10층 바닥	500	420*	350*	270	-
10층 기둥					
15층 바닥	350	350	270	270	-
15층 기둥					
ROOF	270	270	270	270	-

※ : PC 부재