

시공중 계측을 통한 초기 콘크리트의 거동분석

Analysis of Early-Age Concrete Through Instrumentation During Construction

오 병 환* 최 성 철** 신 준 호**
Byung-Hwan Oh Seong-Cheol Choi Joon-Ho Shin

ABSTRACT

Recently, the properties of early-age concrete are increasingly important because these properties directly influence the behavior of early-age concrete structures including stress and cracking behavior. Nevertheless, the studies on early-age concrete are limited to strength and temperature development. The purpose of present study is to propose a simple and rational method which can predict the stress and strain behavior of young age concrete.

A series of test have been done to measure the temperature development, strains and stresses in concrete members. The concept of equivalent age was used to define the degree of hydration and this degree of hydration was used to calculate the strength and elastic modulus. The present study indicates that the calculated stresses correlate fairly well with measured stresses. The consideration of critical degree of hydration in calculating stresses gives more accurate results. The present study provides useful method and data in evaluating early-age behavior of concrete structure.

1. 서 론

구조물의 온도변화는 체적의 변화를 초래하며 체적의 변화가 내·외부 구속을 받는 경우 구속을 받는 콘크리트의 재령에 따른 강성의 차이로 인해 구조물에 따라 큰 인장응력이 발생하며 이러한 인장응력이 구조물의 인장강도를 초과하는 경우 균열이 발생하게 된다. 이러한 온도균열은 주로 하중 재하 이전에 초기재령 콘크리트 내에서 발생하게 된다. 초기재령 콘크리트의 시간에 따른 거동 및 열응력의 분포를 해석하기 위하여 많은 해석 프로그램이 개발되었으나 보다 정확한 해석결과를 얻기 위해서는 재료 특성에 대한 합리적인 입력자료를 요구한다.

따라서 본 연구는 초기재령 콘크리트의 시간에 따른 거동 및 열응력을 합리적으로 평가하기 위하여, 실제 구조물의 초기 거동 및 열응력 특성을 나타낼 수 있는 모형시험체를 제작하여 온도, 변형 및 응력계측을 수행하였다. 계측된 온도이력으로부터 수화도를 계산하고 계산된 수화도로부터 압축강도

* 정희원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정희원, 서울대학교 공과대학 토목공학과 대학원

및 탄성계수 등과 같은 역학적 특성을 예측하였다. 또한 계측된 역학적 변형으로부터 중심부 초기재령 콘크리트의 열응력 해석을 수행하여 온도이력을 갖는 초기재령 콘크리트 거동의 특성을 실험 및 해석적으로 분석하여 제시하였다.

있다.

2. 크리프를 포함한 초기재령 콘크리트의 구조거동 예측

임의의 응력 이력에 따른 변형 $\epsilon(t)$ 의 이력은 식(1)과 중첩의 원리를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.(Bazant, 1988)

$$\epsilon^t(t) = \int_0^t J(t, t') d\sigma(t') + \epsilon^{nm}(t) \quad (1)$$

여기서 $J(t, t')$ 은 컴플라이언스 함수이며 $\epsilon^t(t)$ 는 시간 t 에서의 전체변형이고 $\epsilon^{nm}(t)$ 는 비역학적 변형이다. 식 (1)의 적분식을 수치적으로 계산하기 위해서 사다리꼴 공식(trapezoidal rule)을 사용하여, 주어진 시간 영역을 n 개로 나누고 각 시간을 $t_r (r = 1, 2, \dots, n)$ 로 나타내어 다음과 같이 식 (2)로 표현할 수 있다.

$$\epsilon_r = \sum_{s=1}^r J(t_r, t'_{s-\frac{1}{2}}) \cdot \Delta\sigma_s + \epsilon_r^{nm} \quad (2)$$

여기서 ϵ_r 는 전체 변형, $\Delta\sigma_s = \sigma_s - \sigma_{s-1}$ 로 응력증분이며, ϵ_r^{nm} 은 응력의 발생과 무관한 비역학적 변형이다. 시간 변화에 따른 응력증분과 변형증분 사이의 관계는 아래 식 (3)과 같다.

$$\Delta\sigma_r = \frac{\Delta\epsilon_r - \Delta\epsilon_{0,r} - \sum_{s=1}^{r-1} \Delta J_{r,s-\frac{1}{2}} \Delta\sigma_s}{J_{r,r-\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

여기서 $\Delta J_{r,s-1/2} = J_{r,s-1/2} - J_{r-1,s-1/2}$ 이다.

3. 바닥 구축된 벽체의 초기 거동 시험

타설 중 발생하는 수화열로 인한 초기 재령 콘크리트의 거동 및 열응력 특성을 분석하기 위하여 온도 균열이 발생하는 대표적인 구조물인 바닥이 구축된 벽체 구조물을 실제 현장에서 사용하고 있는 배합(표 1) 및 시공순서에 따라 제작하였다.

시험 변수(표 2)는 타설길이(L/H), 온도철근량, 균열유발줄눈 사용여부이며 각 시험체별로 발생하는 응력 및 균열형상을 조사함으로써 향후 수행될 시공변수에 따른 균열제어 효과를 검증하도록 수행되었다. 부재의 형상 및 배근 상세는 그림 1과 같다.

표 1. 타설 벽체 콘크리트 배합

W/C	S/a	Unit Weight(kg/m ³)			
		W	C	S	G
(%)	(%)				
45.2	46.3	175	387	815	989

표 2 부재 시험 변수

member number	L (m)	H (m)	Temperature reinforcement ratio(%)	crack inducing groove
1	10	1.2	D19@150 (0.38)	×
2	5	1.2	D19@150 (0.38)	×
3	10	1.2	D19@75 (0.76)	×
4	10	1.2	D19@150 (0.38)	○
5	15	1.2	D19@150 (0.38)	×
6	10	1.2	no reinforcement	×

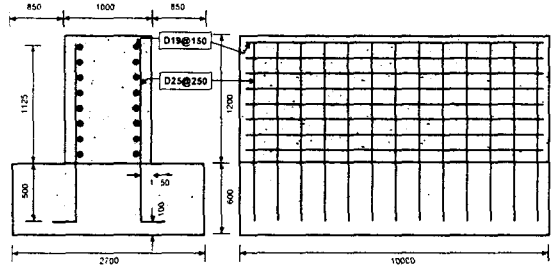


그림 1. 부재의 형상 및 배근 상세

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험체에 따른 역학적 변형 및 응력

그림 2에서 보인 바와 같이 계측된 역학적 변형의 변화는 예상한 바와 같이 그림 3에서 나타나는 바와 같이 응력의 변화와 매우 유사함을 알 수 있다. 부재 5의 계측된 역학적 변형이 부재 1에 비하여 큰 이유는 부재 5의 타설길이가 부재 1에 비하여 5.0 m 길기 때문이며 따라서 열응력 발생에 대한 타설길이의 효과가 실험적으로 입증되었다. 특히 그림 3의 응력계측결과를 살펴보면 부재 5에서 타설로부터 약 3.9일이 경과한 시점에서 0.4 MPa의 응력의 갑작스런 감소가 발생하고 있으며 이는 균열의 발생에 기인한 것으로 유추된다.

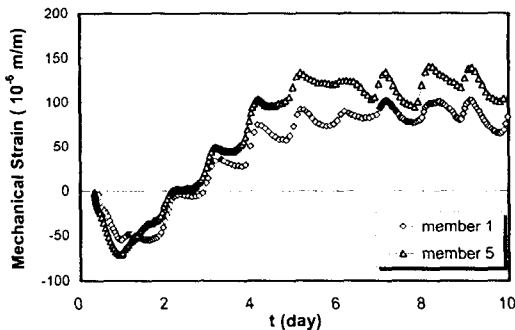


그림 2. 계측된 역학적 변형

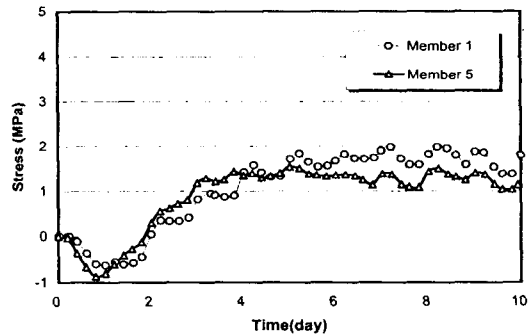


그림 3. 계측된 응력

4.2 크리프를 고려한 응력해석

그림 10은 임계수화도의 고려에 따른 열응력 해석결과의 차이를 나타내고 있다. 임계수화도를 고려한 경우 탄성계수의 발현이 실제 경화상태를 표현하므로 고려하지 않은 경우에 비하여 합리적인 응력 거동을 예측하고 있음을 알 수 있다.

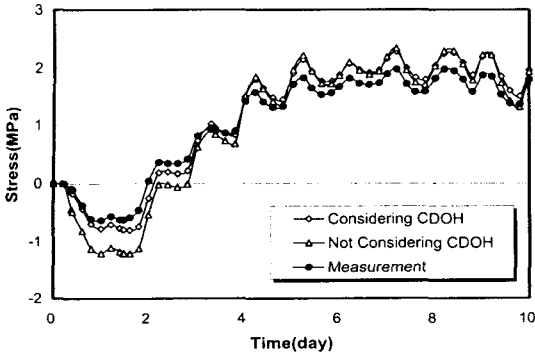


그림 4. 임계수화도 고려에 따른 응력변화(부재 1)

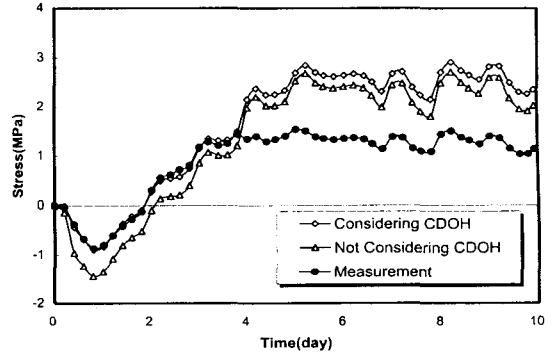


그림 5. 임계수화도 고려에 따른 응력변화(부재 5)

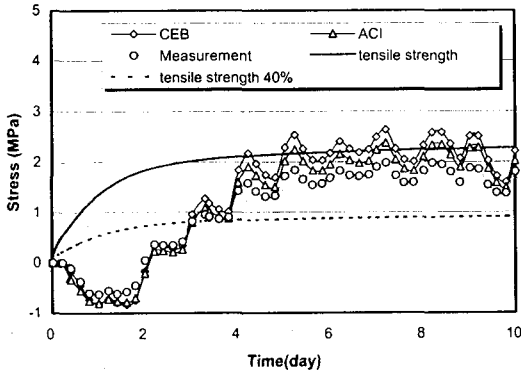


그림 6. 크리프를 고려한 응력 해석(부재 1)

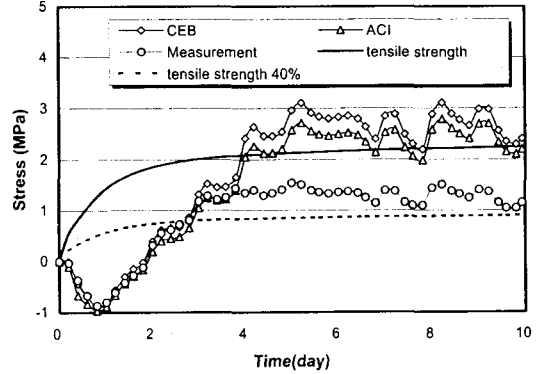


그림 7. 크리프를 고려한 응력 해석(부재 5)

그림 6 및 7에서 알 수 있듯이 재료강도의 40% 이내의 영역에서는 해석결과가 계측결과와 매우 유사함을 알 수 있다. 따라서 이 영역에서는 크리프의 선형 가정 및 인장과 압축이 동일한 거동을 나타낸다는 가정이 타당하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 강도의 40%를 초과하는 영역에서는 해석결과와 실험결과가 점차 차이가 발생하고 있다. 이는 미세균열의 발생과 함께 추가적인 크리프가 발생하기 때문이며 따라서 이 영역에서는 더 이상 크리프의 선형가정이 적용될 수 없으며 비선형 해석의 추가적 수행이 필요할 것으로 생각된다.

5. 결 론

본 연구는 초기재령 콘크리트의 시간에 따른 거동 및 열응력을 합리적으로 평가하기 위한 연구로서, 실제 구조물의 초기 거동 및 열응력 특성을 나타낼 수 있는 현장 식물 콘크리트 부재의 제작 및 계측을 통해 중심부 응력해석을 수행하여 계측된 응력과 비교하였다.

참 고 문 헌

1. Emborg, M., "Thermal Stresses in Concrete Structures at Early Ages," Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Lulea, Sweden, 1989.
2. Bazant, Z. P., "Mathematical Modeling of Creep and Shrinkage of Concrete," John Wiley and Sons, 1988.