

초기재령하의 양생조건이 매스콘크리트 온도관리에 미치는 영향 연구

An Experimental Study on the Effect of the Early Age Curing Condition on Mass Concrete

김 광 돈* 김 춘 호** 이 충 용*** 황 민 규****
Kim, Kwang Don Kim, Chun Ho Lee, Choong Yong Hwang, Min Kyu

ABSTRACT

As the concrete structure being large-sized and/or high-strengthened, the control of the hydration and curing temperature is made much account. This study, analysing the concrete temperature history from cylindric specimen and mock-up structures, investigates the effect of the early age curing condition and the optimum method of curing temperature control on mass concrete.

1. 서 론

최근에 설계 및 시공되는 콘크리트 구조물은 그 규모가 점차로 대형화 또는 고강도화 되고 있다. 장대교량의 주탑, 원자력 발전소의 격납건물, 콘크리트 댐, 교량의 하부구조 및 상부구조, 지하철 또는 지하차도의 박스구조물, 지하공간, 초고층건물 등의 콘크리트는 사용되는 시멘트의 양이 많아짐에 따라 초기재령하의 수화발현에 의한 응력의 변화 즉, 내부구속응력과 외부구속응력에 의한 온도균열 발생 가능성을 지니게 된다. 콘크리트의 인장강도 값이 압축강도 값 보다 작기 때문에 발생된 균열은 해당 콘크리트 구조물의 강도, 내구성, 수밀성, 강재보호성능의 저하를 초래하게 되고, 더불어 미관도 좋지않게 된다. 온도 균열을 저감 또는 제어하기 위한 기술의 개발이 오랫동안 연구되어 왔으나, 경제성, 시공성 등에 있어서 다소 불리하여 적용하기에 어려운 점도 사실이었다. 그동안 재료의 프리쿨링을 통하여 콘크리트 배합이나 타설시 온도를 낮추려는 방법도 도입되었고, 강제적으로 내부의 온도를 저하시키기 위한 파이프쿨링의 공법도 개발되어 적용하여 왔다. 그러나 이러한 공법들은 가장 열악한 건설 현장에서 적절하게 적용시키기에는 쉽지가 않았다. 따라서 본 연구는 매스콘크리트에서 발생하는 온도차에 의한 균열발생 요인을 저감할 수 있는 최적의 기법을 연구하기 위해 원주형 공시체와 콘크리트 목업 구조체를 제작하여 서로 다른 조건 및 양생과정에서의 콘크리트 온도특성을 파악하여 최적의 온도관리방법을 구명하고자 한다.

* 정회원, 중부대학교 대학원 박사과정 / (주)고려이엔씨기술사사무소 대표이사

** 정회원, 중부대학교 사회기반시스템공학과 부교수

*** 정회원, (주)포스코건설, 현장소장

**** 정회원, (주)포스코건설, 시험실장

2. 시험계획 및 방법

2.1. 시험의 목적

콘크리트 수화열 및 양생온도와의 관계와 특성을 파악하기 위해 배합설계된 콘크리트로 원주형 공시체와 목업 시험체를 제작하고, 또한 모든 공시체는 재령별로 공시체의 양생온도, 초음파 속도 값, 테스트해머에 의한 반발경도 값, 파괴시 압축강도 값을 구하고자 한다.

2.2. 시험체의 종류 및 크기

2.2.1 원주형 공시체

KSF2405의 시험기준에 준하여 원주형 공시체 $\varnothing 150\text{mm} \times h300\text{mm}$ 의 규격으로 120개를 제작하였으며, 그 중 60개는 표준양생을 실시하였고, 나머지 60개는 대기 중에서 변온양생하에 방치하였다. 원주형 공시체는 25-24-150(type-I), 25-27-150(type-II)의 2가지 배합설계표에 의하여 제작하였다.

2.2.2 목업 시험체

현장 목업 시험체는 type-I의 배합을 기준으로 2개를 제작하였으며, 원주형 공시체의 양생방법과 동일하게 실시하였다. 본 시험에서는 보온양생을 실시하는 시험체와 변온상태 조건하의 양생을 실시하는 시험체로 구분하였으며, 그 크기는 $1,200\text{mm}(w) \times 700\text{mm}(d) \times 1,700\text{mm}(h)$ 로 동일하며, 두 시험체의 규격은 굵은 골재최대 치수 25mm이며, 설계기준강도는 24MPa, 목표 슬럼프는 150mm이다.

2.3. 사용재료와 배합설계

본 시험에 사용된 재료의 물성 및 배합표는 표 1과, 표 2와 같다. 잔골재는 충남부여 장암면 북고리에서 채취한 세척사를 사용하였으며, 굵은 골재는 자체 C/R장에서 채취한 최대치수 25mm인 쇄석을 사용하였다.

2.4. 원주형 공시체 및 목업 시험체의 제작

초기재령하의 양생조건에 따른 수화열 및 양생온도의 측정과 분석을 위한 원주형 공시체에 t-type

시멘트	1종 보통포틀랜드 시멘트, 비중 : 3.150, 분말도 : 3574cm ² /g
잔골재	세척사, 최대치수 : 5mm, 비중 : 2.594, 조립율 : 2.487, 흡수율 : 0.915
굵은 골재	쇄 석, 최대치수 : 25mm, 비중 : 2.652, 조립율 : 6.649, 흡수율 : 0.694
혼화제	type-I : CONPLAST PA21 A.E감수제(표준형) type-II : CooNa-L 고성능 A.E 감수제

표 1 사용 재료의 물성표

구분 종류	설계기준 강도 (MPa)	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 범위 (mm)	공기량 범위 (%)	단위 수량 (kg)	W/C (%)	절대 잔골재율 (%)	단위 시멘트량 (kg)	단위 잔골재량 (kg)	단위 굵은 골재량 (mm)	단위 혼화제량 (kg)
type-I	24	25	150	4.5	166	49.5	43	335	763	1,032	1.005
type-II	27	25	150	4.5	161	46.5	43	346	763	1,034	2.067

표 2 사용재료의 배합설계표(1m³당)

써머커플을 매입한 후 제작하였으며, 그 중 타입별로 각각 30개씩은 표준양생하의 조건인 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 이내의 수중에서 양생관리를 하고, 나머지는 변온양생조건하의 대기상태에서 온도관리를 수행하였다. 이때 콘크리트의 온도는 13°C , 슬럼프 150mm, 공기량은 4.7% 이다. 또한 콘크리트 목업 시험체는 type-I의 재료를 이용하여, 동일한 크기로 2개를 제작하였으며 콘크리트의 온도는 26°C , 슬럼프 140mm, 공기량은 4.5% 이다. 본 연구에 제작된 type-I, type-II의 시험체는 KSF4009 규정에 의해 시간을 준수한 레디믹스트 콘크리트를 사용하여 제작하였다.

2.5. 양생 조건

KSF2403의 기준에 의하여 제작된 원주형 공시체는 사진에서 보듯이 표준양생조건과 대기양생의 조건하에서 양생을 실시하였다. 양생조건이 콘크리트 강도에 미치는 영향과 밀도, 반발도등을 측정하기 위한 양생방법을 도입하며 재령 6, 8, 12, 18, 24, 48, 72, 168, 336, 672hr에 각각 3개씩의 표준양생과 변온양생조건의 공시체를 대상으로 하여 시험을 시행한다. type-I의 재료를 이용한 콘크리트 목업 구조물은 제작 후 재령 24시간이 지나고 나서 거푸집을 탈형하였으며, 거푸집 제거 후에는 노출된 콘크리트의 양생조건에 따른 온도이력과 영향특성을 분석하기 위하여 목업-I에는 전체를 폴리에틸렌필름과, 보온양생포, 그리고 천막지로 완전히 감쌌으며, 다른 목업-II에는 변온양생상태인 대기에 노출시킨 상태로 양생조건을 달리하였다.

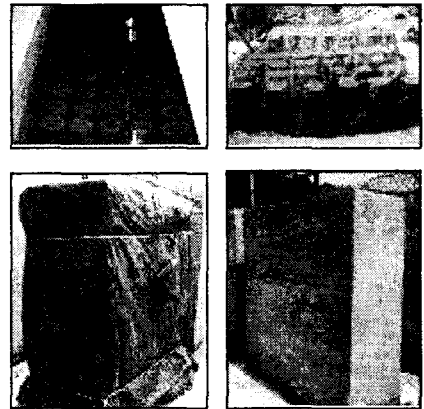


그림 1 표준양생과 대기양생

2.6. 콘크리트 온도계측 및 시험방법

본 시험에서 측정된 온도데이터를 수치화 및 정량화하기 위하여 실시간으로 계측되는 콘크리트 수화열 및 양생온도 데이터를 즉시 확인할 뿐만아니라 저장할 수 있는 시스템을 도입 하였다. 원주형 공시체 및 콘크리트 목업 구조물은 자동화 계측장비인 ConReg System 706 과 712에 t-type 써머커플을 연결한 후 인터벌 30분으로 재령 28일까지 실시간 모니터링으로 콘크리트 수화열 및 양생온도를 계측하였으며, 이로서 콘크리트 타설 후인 초기재령부터 재령별로 콘크리트 양생지수를 구할 수 있었다. 또한 초음파 속도측정, 반발경도측정을 병행하였는데 이때 측정 장비로는 펀디트와 NR형 슈미트해머를 사용 하였다. 또한 콘크리트 성속도와 강도간의 관계를 알아보기 위하여 원주형 공시체를 재령별로 각각 3개씩 선택하여 만능재료시험기로 시험하여 파괴시 압축강도를 구하였다.

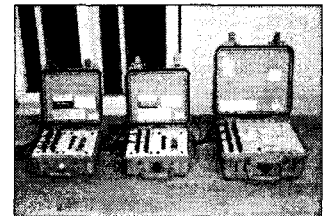


그림 2 수화열 계측기

3. 시험결과 및 분석

각 배합설계별로 생산된 콘크리트로 원주형공시체를 제작한 후 양생조건별로 나타난 온도이력을 살펴보면 그림 3과 같다. 여기서 표준양생상태의 공시체는 수화발현과정을 거친 후 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 범위 내에서 안정적으로 양생이 진행됨을 알 수 있다. 타설온도가 13°C 인 콘크리트를 실린더 몰드에 다져 넣은 후 극 초기 재령하의 온도 변화를 살펴보면 재령 19시간까지는 수화반응으로 인한 내부온도의

상승을 보이다가 그 이후로는 서서히 감속기로 되는 것을 볼 수 있다. 그러나 변온양생하의 대기온도 조건에 있는 공시체는 온도의 높고 낮음이 지배적으로 작용하였으며, 이로서 대기온도가 콘크리트에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 또한 type-I 과 type-II의 콘크리트에서 설계기준강도 값이 27MPa인 것이 24MPa보다 콘크리트 온도가 다소 높게 발현됨을 확인 할 수 있다.

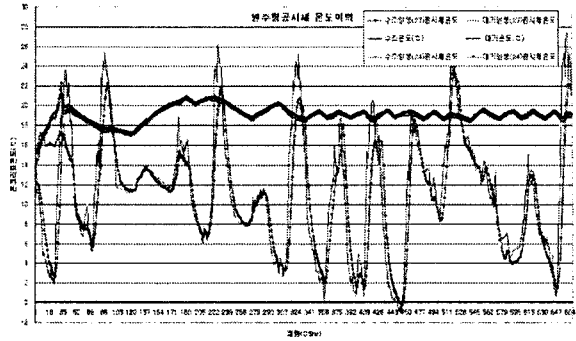


그림 3 원주형 공시체 온도이력

목업 시험체의 수화발현 및 온도이력을 살펴보면, 재령 24hr에 평균 최대온도 56°C이다. 그러나 표면온도는 보온양생을 실시한 경우와 변온상태의 대기조건에서 양생된 구조물간의 차이를 비교하면 9시간 늦게까지 지속이 되며 최대온도 차이는 약 1.4°C 더 상승한 것으로 나타났다. 또한 그림 3 에서 최적의 양생방법을 도입한 콘크리트 구조물은 대기온도의 영향없이 서서히 온도가 강하하여 대기온도의 영향을 직접적으로 받는 노출 콘크리트보다 강하온도의 크기에 의한 온도균열 발생 가능성이 저감 또는 제어되는 것으로 판단된다.

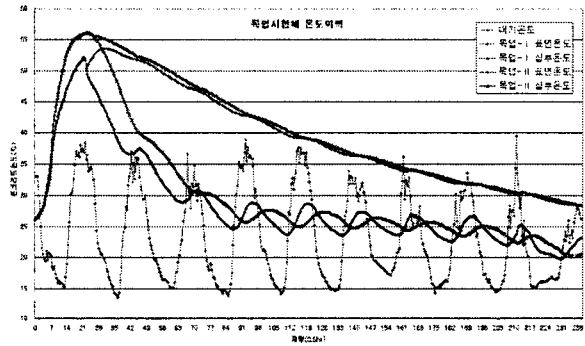


그림 4 목업 구조물 온도이력

4. 결 론

콘크리트 구조물에서 수화열의 발현과 양생온도가 초기재령 콘크리트의 내·외부에 미치는 영향을 수치화, 정량화 하여 최적의 온도관리기법을 도출하고자 원주형 공시체와 목업 구조물에 대한 시험을 시행하여 그 온도특성을 살펴보았다. 본 시험을 통하여 외기의 온도가 콘크리트에 미치는 영향이 비교적 크게 나타나는 것을 알 수가 있었으며, 콘크리트 내부 및 표면의 온도관리는 최적의 양생방법을 도입한 후 온도차 Δt 및 강하속도를 노출된 콘크리트 구조물보다 효율적으로 제어 할 수 있는 것으로 나타났다. 향후, 추가 시험과 연구를 통하여 구한 온도 메카니즘을 정량화한 데이터베이스를 활용한다면 대형화 또는 고강도화 된 콘크리트 구조물의 효과적인 온도관리가 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 한국콘크리트학회, "콘크리트표준시방서", 2003.
2. C. H. Kim & K. D. Kim, "An experimental study on the prediction of early-age strength with heat of hydration and curing thermo of mass concrete", APCNDT, November 2003.