

매스콘크리트의 계절에 따른 온도이력과 압축강도에 관한 실험

Study on Temperature History and Compressive Strength of Mock-up Concrete Considering Seasonal Change

○김 영 주* 공 민 호** 김 광 기** 양 동 일** 박 무 영** 정 상 진***
 Kim, Young-Joo Gong, Min-Ho Kim, Kwang-Ki Yang, Dong-Il, Park, Moo-Young Jung, Sang-Jin

Abstract

Our country has experienced variations in temperature as belong to the area of the continental climate that shows four significant seasons. These occur quality of construction. As the hydration of cement processes, the strength of concrete is developed. In order to improve the quality of concrete, various conditions including temperature and humidity should be maintained appropriately and concrete itself should be cured sufficiently.

This paper is basic experiment for estimating influence of strength by seasonal mock-up concrete's heat of hydration and estimate relationship of compressive strength development by curing temperature. And show basic document as quality control.

키워드 : 모의부재실험, 수화열, 고온이력, 강도발현

Keywords : Mock-up test, Heat of hydration, High temperature condition at curing, Strength development

1. 서 론

고강도 매스콘크리트는 부재단면 수치가 크기 때문에, 자체 시멘트 수화열이 부재 내부에 축적 되어 온도의 상승이 발생하고, 콘크리트 타설 직후부터 비정상적인 온도상태를 나타낸다. 이러한 초기재령에서의 비정상적인 온도이력은 콘크리트의 강도발현에 크게 영향을 미치고, 매스콘크리트는 일반 콘크리트와 크게 다른 강도 발현성을 나타낸다. 특히 우리나라처럼 4계절의 변화가 뚜렷한 기후지역에서는 계절별로 타설한 콘크리트의 수화열로 인하여 강도발현이 상이하게 나타나지만 현장에서는 이러한 콘크리트의 수화발열을 고려하지 않은 일반적인 강도관리기법이 사용되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 계절별로 물시멘트비를 달리 하여 모의부재를 제작·타설하여 부재 내부의 온도와 강도발현과의 관계를 검토하였다. 부재와 현장에서 사용되는 강도관리용 공시체의 강도를 비교·검토하여 고강도 매스콘크리트의 품질관리기법의 기초적 자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

본 실험은 자기 다른 환경에 모의부재를 제작, 타설하여 콘크리트의 수화열과 압축강도와의 관계를 검토하도록 하였다. 모의부재 시험체는 매스부재를 가정한 6면단열 시험체와 기둥

부재를 가정한 2면단열 시험체의 2종류를 제작하였다. 또한 물시멘트비의 영향을 파악하기 위하여 실험배합을 통해 도출된 물시멘트비 25.0%, 33.3%, 50.0%로 종류를 달리하여 실험하였다. 자동온도 기록장치를 이용하여 모의부재의 수화열을 측정하고, 소정의 재령이 경과한 후 모의부재의 코어를 채취하여 압축강도를 측정하였다. 현장에서 일반적으로 사용되는 강도관리용 공시체의 강도와 비교·검토를 위하여 표준양생과 밀봉양생 공시체를 제작하였다.

본 실험의 인자와 수준 및 측정항목은 표 2.1과 같다.

표 2.1 실험인자와 수준 및 측정항목

구분	종류	W/C (%)	부재크기 (mm)	측정항목		타설환경
				수화열	압축강도	
인자	매스 기둥	25.0%	800 (W)	모의부재 중심부	매스부재 코어 (14,28,91일)	표준기 (4월초순) 동절기 (1월초순) 하절기 (7월하순)
		33.3%	800 (T)		기둥부재 코어 (14,28,91일)	
		50.0%	800 (H)		표준양생 (3,14,28,91일) 밀봉양생 (3,14,28,91일)	
수준	2	3	1	1	4	3

2.1 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201에 규정된 국내 S사 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

* 단국대 대학원 석사과정

** 단국대 대학원 박사과정

*** 단국대 건축대학 건축공학과 교수

잔골재는 인천산 세척사로 최대치수를 5mm 이하로 입도 조정하여 사용하였으며, 굵은 골재는 광주석산 쇄석으로 최대치수를 25mm이하로 입도 조정하여 사용하였다.

혼화제는 유동성확보를 위해 국내 J사의 고성능 AE감수제를 사용하였다. 또한 콘크리트의 경화 시 콘크리트내의 공기포가 열팽창하여 강도에 미치는 영향을 배제하기 위하여 소포제를 사용하여 공기량을 저감시켰다. 본 실험의 사용재료를 표 2.2에 나타내었다.

표 2.2 실험재료

구분	수준
시멘트	1종 보통포틀랜드 시멘트
	비중 : 3.15 분말도 : 3,200cm ³ /g
잔골재	세척사 최대치수 : 5cm
	비중 : 2.60 조립률 : 2.78
굵은골재	쇄석 최대치수 : 25mm
	비중 : 2.62 조립률 : 6.38
혼화제	나프탈렌계 고성능 AE감수제 탄화수소 폴리글리콜계 분말 소포제

2.2 배합계획

콘크리트의 수화열은 전적으로 시멘트의 수화에 의존한다. 본 실험에서는 단위수량을 160kg으로 통일시키고 단위시멘트량을 160kg씩 차이를 두어 물시멘트비 25.0%, 33.3%, 50.0%의 세가지 배합을 계획하였다. 각각의 물시멘트비에서 적정의 슬럼프값과 공기량을 만족하도록 잔골재율과 혼화제량을 조절하였다. KS L 8009에 규정된 강제식 혼합믹서를 사용하여 콘크리트를 혼합하여 모의부재 및 관리용 공시체를 제작하였다. 본 실험의 배합을 표 2.3에 나타내었다.

표 2.3 콘크리트 배합표

W/C (%)	S/a (%)	단위재료량 (kg/m ³)					
		W	C	S	G	AD1	AD2
25.0	42	160	640	674	948	12.8	-
33.3	44	160	480	764	991	7.2	0.48
50.0	46	160	320	841	1047	4.8	0.32

* AD1 : 고성능AE감수제 AD2 : 소포제

2.3 시험체 제작계획 및 방법

모의부재 거푸집은 800×800×800mm의 크기로 제작하였으며, 두께 100mm의 단열재를 이용하였다. 기둥부재를 가정한 시험체는 거푸집 상하면을 두께 200mm로 단열하였으며, 매스부재를 가정한 시험체는 거푸집 상하면 및 좌우 4면을 거푸집 내부에서 두께 200mm로 단열하였다

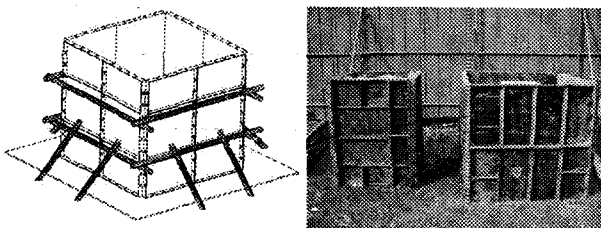


그림 2.1 모의부재 거푸집 모습

2.4 부재실험 계획

각각의 물시멘트비 25.0, 33.3, 50.0%에 단열방법에 따라 매스부재와 기둥부재로 종류를 달리하여 모의부재를 제작, 콘크리트를 타설하였다. 수화온도 측정을 위하여 온도센서는 콘크리트 타설 전에 각 부재의 중앙에 매립하고, 자동온도 기록장치(YOKOGAWA)를 이용하여 실시간으로 콘크리트의 수화온도 변화를 측정하였다.

모의부재의 강도발현 성상을 파악하기 위하여 KS F 2422 (콘크리트에 절취한 코어 및 강도 시험방법)의 규정에 따라 Ø 10cm로 코어를 채취하여 절단기를 사용하여 Ø10×20cm의 공시체로 절단하였다. 모의부재의 코어공시체와 비교평가를 위한 표준양생 및 밀봉양생 공시체는 Ø10×20cm의 원형물드를 사용하여 제작하였다. 표준양생 공시체는 제작 후 20±3℃의 수조에서 수중양생을 하였으며, 밀봉양생 공시체는 제작 후 랩을 씌워 외부와의 수분의 유입을 차단하였다.

압축강도 측정을 위한 코어 채취는 그림 2.2와 같이 하였다.

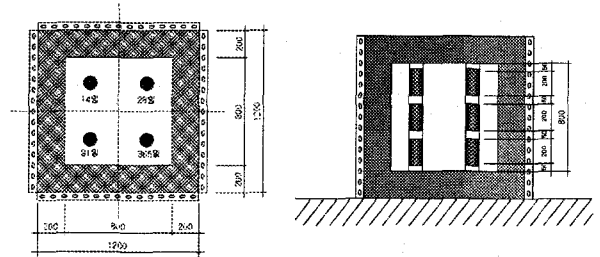


그림 2.2 코어 채취 위치 (평면, 단면)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 계절별 타설에 따른 수화열 특성

1) 표준기 타설

표준기에서는 모든 구조체에 대하여 콘크리트 타설 후 약 15~24시간까지는 수화에 의한 온도상승은 없고 다만 타설온도인 약 20℃에서 유지되고 있음을 알 수 있다.

물시멘트비 50.0%에서는 약 15시간 후부터, 33.3%에서는 약 18시간 후부터 수화에 의한 온도상승이 일어나고 있으며, 물시멘트비 25.0%에서는 약 24시간 후부터 온도상승이 일어나는 것으로 나타났다. 이는 물시멘트비 25.0%에서는 단위시멘트량이 크기 때문에 빠른 수화반응이 일어날 것으로 예상되었지만 수화에 필요한 충분한 수량이 확보되지 않기 때문에 오히려 시멘트와의 수화반응이 늦어지는 것으로 판단된다.

물시멘트비 25.0%에서는 매스부재의 경우 타설 후 약 24시간이 지난 후 온도가 상승하여 타설 후 약 48시간 후 최고온도인 70.7℃에 도달하였다. 약 18시간동안 최고온도를 유지한 후 서서히 온도가 하락하였다. 기둥부재의 경우 수화반응이 매스부재보다 약 3시간정도 늦게 일어나 타설 후 약 48시간이 지나서 최고온도 55.7℃에 도달하였다. 물시멘트비 33.3%에서는 타설 후 약 18시간이 지난 후부터 온도상승이 시작되어 약 36시간이 지나면 매스부재의 경우 64.3℃, 기둥부재의 경우 49.5℃의 최고온도에 도달하게 된다. 물시멘트비 50.0%에서는 타설 후 약 15시간이 지난 후부터 온도상승이 시작되어 매스부재의 경우 약 42

시간이 지나면 54.0℃의 최고온도에 도달하게 되고, 기동부재의 경우 약 36시간 후 최고온도인 34.9℃에 도달하였다.

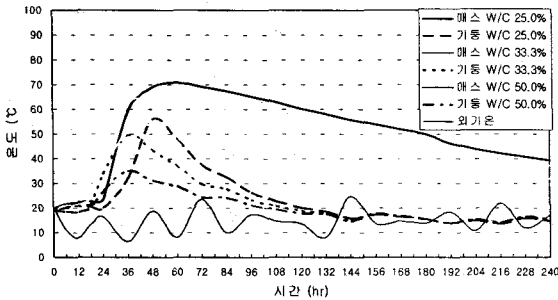


그림 3.1 모의부재 수화열 측정결과 (표준기)

2) 동절기 타설

동절기에 타설한 경우는 표준기에 타설한 것과 비교하여 모든 구조체에서 약 6시간정도 콘크리트의 수화반응이 늦게 일어나는 것을 확인 할 수 있다. 이는 낮은 외기온에 따른 타설온도가 낮아진 영향으로 판단된다.

물시멘트비 25.0%에서는 타설 후 약 30시간이 지나면서 온도가 상승하기 시작하여 매스부재의 경우 약 72시간이 지나서 최고온도 65.5℃에 도달하게 되고, 기동부재의 경우 약 60시간이 지나서 38.5℃의 최고온도에 도달하였다.

물시멘트비 33.3%에서는 타설 후 약 24시간이 지난 후 온도 상승이 일어나 매스부재의 경우 약 60시간이 지난 후 최고온도 58.1℃에 도달하게 되고, 기동부재의 경우 약 48시간이 지난 후 30.9℃의 최고온도에 도달하였다.

물시멘트비 50.0%에서는 타설 후 약 27시간이 지난 후 온도 상승이 일어나 매스부재의 경우 약 54시간이 지난 후 최고온도 46.1℃에 도달하게 되고, 기동부재의 경우 약 48시간이 지난 후 22.3℃의 최고온도에 도달하였다.

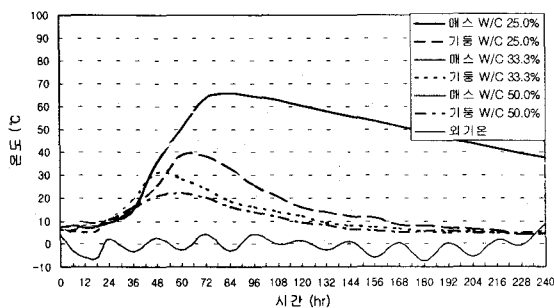


그림 3.2 모의부재 수화열 측정결과 (동절기)

3) 하절기 타설

하절기에 타설한 경우는 모든 구조체에서 표준기에 타설한 것과 비교하여 약 6시간, 동절기에 타설한 것과 비교하여 약 12시간정도 콘크리트의 수화반응이 빨리 일어나는 것을 확인 할 수 있다. 이는 타설시의 높은 외기온과 이로 인한 높은 타설온도의 영향으로 판단된다.

물시멘트비 25.0%에서는 콘크리트 타설 후 약 18시간이 지난 후 온도상승이 시작하여 매스부재의 경우 타설 후 약 42시

간이 지나서 최고온도 94.3℃까지 상승한다.

물시멘트비 33.3%에서는 타설 후 약 12시간이 지난 후 온도가 상승하여 매스부재의 경우 타설 후 약 30시간이 지나서 88.8℃의 최고온도를 기록하였으며, 기동부재의 경우 타설 후 약 30시간이 지나서 78.2℃의 최고온도를 기록하였다.

물시멘트비 50.0%에서는 콘크리트 타설 후 약 12시간이 지난 후 온도가 상승하여 매스부재의 경우 타설 후 약 27시간이 지난 후 69.7℃의 최고온도를 기록하였다.

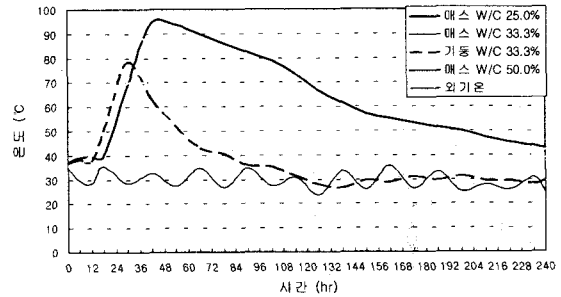


그림 3.3 모의부재 수화열 측정결과 (하절기)

모든 구조체에서 같은 물시멘트비라 할지라도 매스부재보다 기동부재가 낮은 최고온도를 보여주었으며, 최고온도 이력 후 온도 하강하는 속도가 더 빠른 것으로 나타났다. 이는 기동부재의 경우 좌우 4면이 직접 외기에 노출되어 수화열량이 외기온에 영향을 받아 빨리 냉각되고, 매스부재의 경우 단열로 인해 수화열량의 유출이 상대적으로 적기 때문인 것으로 사료된다.

또한 동일한 물시멘트비의 콘크리트라 하더라도 타설시기 및 부재의 종류(단열의 방법)에 따라 수화열 이력특성이 다른 것을 알 수 있다.

3.2 계절별 타설에 따른 압축강도 특성

소정의 재령이 지난 후 각 구조체로부터 코어 공시체를 채취하여 10×20cm로 절단하여 압축강도를 측정하였다. 또한 표준양생 및 밀봉양생의 관리용 공시체의 압축강도를 측정하여 비교하였다. 압축강도 측정결과를 그림 3.4에 나타내었다.

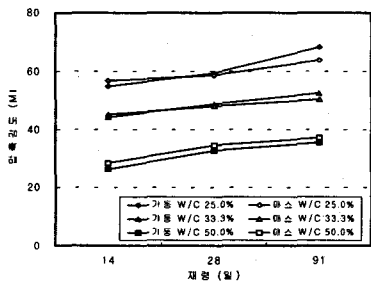
모의부재 코어공시체의 압축강도를 비교하면 동절기에 타설한 부재보다 표준기에 타설한 부재가 초기재령에서 장기재령에 걸쳐 높은 강도발현을 보여주고 있다.

이는 동절기에 타설한 부재의 경우 낮은 외기온으로 인하여 콘크리트의 수화반응이 원활히 이루어지지 않았기 때문으로 판단된다.

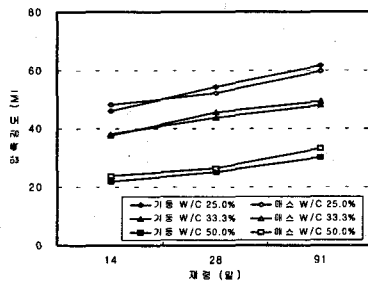
표준기에서는 물시멘트비 50.0%에서 매스부재가 기동부재보다 높은 강도발현을 보여주었다. 물시멘트비 25.0%의 재령

14일에서는 매스부재가 기동부재보다 높은 강도발현을 보여주었으나 재령 91일에서는 기동부재가 매스부재보다 높은 강도발현을 보여주었다.

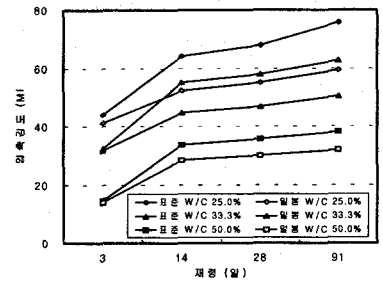
이는 단위시멘트량이 많을 경우 초기재령에서는 열의 방출이 상대적으로 적은 매스부재에서 수화가 촉진되어 콘크리트의 강도발현에 도움을 주나, 재령이 경과함에 따라 구조체 내부에 축적된 높은 수화열로 인하여 오히려 기동부재보다 강도



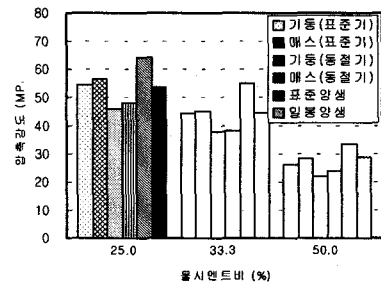
a. 표준기 모의부재 압축강도



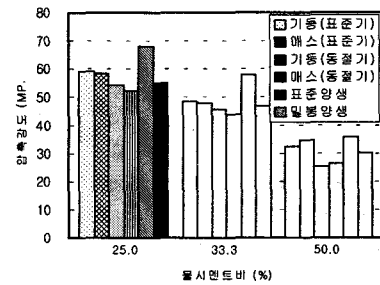
b. 동절기 모의부재 압축강도



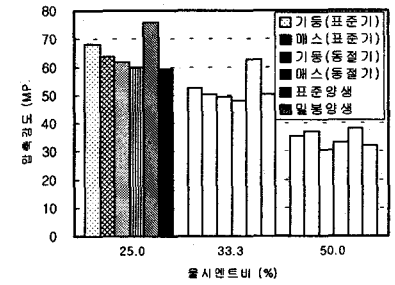
c. 관리용공시체 압축강도



d. 재령 14일 압축강도



e. 재령 28일 압축강도



f. 재령 91일 압축강도

그림 3.4 압축강도 측정결과

발현에 불리한 것으로 사료된다.

동절기에 타설한 구조체에서도 표준기와 비슷한 강도발현 경향을 보여 주었다. 물시멘트비 25.0%와 33.3%에서는 재령 14일에 매스부재가 기동부재보다 높은 강도발현을 보여 주었으나 재령 28일에는 역전되어 재령 91일에서는 기동부재가 매스부재보다 높은 강도발현을 보여주었다.

표준양생한 공시체의 경우 모든 물시멘트비에서 표준기 및 동절기에 타설한 모의부재 코어공시체의 압축강도보다 높은 측정값을 나타내었다. 코어채취로 인한 강도손실을 고려하더라도 강도차이가 큰 것으로 보인다.

이는 20℃로 수중양생 하는 경우 외기온의 영향 없이 시멘트의 수화반응에 필요한 수분의 연속적인 공급으로 인하여 초기재령에서 장기재령에 걸쳐 강도발현이 지속적으로 이루어진 것으로 사료된다. 또한 밀봉양생한 공시체의 경우 표준양생 공시체와 비교하여 재령 3일에서는 비슷한 강도발현을 보여주나 이후의 강도발현이 저하되어 재령 91일에서는 크게 못 미치는 결과를 보여 주었다. 이는 재령 초기에는 밀봉으로 인하여 외부로의 수분증발을 막을 수 있어 수화반응에 필요한 수분의 공급이 원활히 이루어지나, 그 이후로 수화로 인해 손실되는 물량만큼을 공급하기가 곤란하기 때문인 것으로 판단된다.

이처럼 동일한 물시멘트비의 콘크리트라 할지라도 타설시기 및 부재의 종류에 따라 부재의 코어강도 값이 상이하게 되고, 현장에서 강도관리용으로 취급되는 표준양생 및 밀봉양생 공시체의 압축강도와는 다소 큰 차이가 있는 것을 알 수 있다. 단위시멘트량이 많은 고강도 콘크리트의 경우 그 경향이 더욱 뚜렷해질 것으로 생각된다.

따라서 고강도 콘크리트의 강도관리에서 초기재령에서 만큼은 콘크리트 구조체의 수화열을 고려한 강도관리 기법이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

계절별로 모의부재를 직접 타설하여, 수화열을 측정하고 부재의 코어강도와 관리용공시체의 강도를 비교검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동일한 물시멘트비의 콘크리트라도 타설시기에 따라 상이한 수화발열 특성을 확인 할 수 있었다. 이는 타설온도 및 외기온의 영향으로 사료된다.
- 2) 동일한 물시멘트비 콘크리트 구조체에서 매스부재와 비교하여 기동부재가 낮은 최고온도를 보여주며, 최고온도 이력 후 온도 하강하는 속도가 더 빠른 것으로 나타났다. 이는 부재 단열방법의 차이로 인한 것으로 판단된다.
- 3) 동절기에 타설한 부재보다 표준기에 타설한 구조체가 초기재령에서 장기재령에 걸쳐 높은 강도발현을 나타내었다.
- 4) 표준양생한 공시체의 경우 모든 물시멘트비에서 표준기 및 동절기에 타설한 구조체 코어공시체의 압축강도보다 높은 측정값을 나타내었다.
- 5) 고강도 콘크리트의 강도관리 시, 콘크리트 구조체의 수화열을 고려한 강도관리 기법이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 한국콘크리트학회, '최신콘크리트공학', 1999
2. 정상진 외, '고강도 콘크리트 실용화에 관한 연구', 대한건축학회 논문집 1995년 9월