

초기 고온이력이 시멘트 모르타의 강도발현에 미치는 영향에 관한 연구

An Experimental Study on the Characteristics of Compressive Strength in Cement Mortar under High Temperature conditions in an Early Age

김 영 주* 최 맹 기* 공 민 호** 박 희 곤** 김 광 기** 정 상 진***
Kim, Young-Joo Choi, Maeng-Ki Gong, Min-Ho Park, Hee-Gon Kim, Kwang-Ki Jung, Sang-Jin

Abstract

This study is basic experiment for estimating influence of strength by curing temperature of concrete's heat of hydration and estimate relationship of compressive strength development by initial curing temperature factor, and then assume temperature factor which influence compressive strength development and for showing basic document of quality control. According to the result of cement mortar by the curing temperature factor high-curing temperature shows high strength on 3 day compare with low curing-temperature, shows higher strength than the piece of high curing temperature.

키워드 : 초기양생온도, 고온이력, 강도발현

Keywords : Initial curing temperature, High temperature condition at curing, Strength development

1. 서 론

현대사회로 들어서면서 도시의 급속한 산업화, 공업화는 도시 유입 인구를 급속히 증가시켰고, 이로 인하여 각종 도시 기반 시설의 요구가 증대되었다. 이에 건축물은 고층화, 대형화되면서 콘크리트 구조물 대부분이 고강도화 되고 매스콘크리트의 형태를 띠게 되었다.

매스콘크리트는 부재단면 수치가 크기 때문에, 자체 시멘트 수화열이 부재 내부에 축적 되어 온도의 상승이 발생하고, 콘크리트 타설 직후부터 비정상적인 온도상태를 나타낸다. 이 초기재령에서의 비정상적인 온도이력은 콘크리트의 강도발현에 크게 영향을 미치고, 매스콘크리트는 일반 콘크리트와 크게 다른 강도 발현성을 나타낸다.

본 연구는 콘크리트의 수화열에 의한 초기온도이력이 강도에 미치는 영향을 밝히기 위한 기초연구로서, 실물콘크리트부재의 초기고온이력을 상정하여 모델화한 온도이력패턴을 모르타 시험체에 이력시켜, 양생시 초기 온도이력요인에 따른 강도발현과의 관계를 검토하고, 강도발현에 가장 큰 영향을 미치는 온도요인을 추정하며, 나아가 고강도 매스콘크리트의 적정 품질관리기법의 기초적 자료를 제시하는데 목적이 있다.

2. 실 험

2.1 실험계획

온도이력패턴을 모르타 시험체에 적용시켜 양생시키고 소정의 재령일에 압축강도시험을 행한다.

모르타 시험체를 적용한 것은 콘크리트에 포함되어 있는 입도와 밀도가 다른 굵은골재 입자의 열팽창, 열전도율로 인한 영향을 배제하기 위해서이다.

2.2 사용재료 및 배합

본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201에 규정된 국내산 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 골재는 KS L 5100에 규정되어 있는 주문진산 표준사(압축강도용)를 사용하여 골재에 의한 실험편차를 줄이도록 하였다. 사용재료의 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 사용재료

사용재료	물리적 성질	규정
시멘트	· 1종 보통 포틀랜드시멘트 · 비중: 3.15 · 분말도 : 3,200cm ² /g	KS L 5201
잔골재	· 비중: 2.60 · 조립율(F.M): 2.87 · 실적율: 61.2 % · 함유율: 1.02%	KS L 5100

모르타의 배합은 W/C 40%로 목표플로우 180±5가 되도록 시험비법을 통하여 질량비율을 정하였다.

* 정회원, 단국대 대학원 석사과정
** 정회원, 단국대 대학원 박사과정
*** 정회원, 단국대 건축대학 건축공학과 교수

시멘트와 표면 수량을 조정하여 밀봉·보관한 표준사를 흡손으로 건비빔한 후에 물을 투입한 후 KS L 5109에 규정된 모르터비빔기를 사용하여 약 3분간 혼합하여 KS L 3503의 4×4×16cm의 강제 3연형 몰드를 사용하여 제작하였다. 모르터의 배합은 표 2와 같으며, 실험계획표는 표 3과 같다.

표 2. 모르터 배합비

W/C (%)	중량비			플로우 (mm)
	W	C	S	
40	0.40	1.00	1.66	182

표 3. 실험계획표

구분	시멘트	W/C	압축강도 재령	온도이력인자		
인자	1종 보통 시멘트	40%	3일	MS		
				MI	1	
					2	
					3	
					4	
				MII	1	
					2	
					3	
					4	
				28일	MI	1
						2
						3
			4			
			56일	MI	1	
					2	
					3	
					4	
			91일	MI	1	
					2	
					3	
4						
182일	MIV	1				
		2				
		3				
		4				
	MV	1				
		2				
		3				
		4				

2.3 실험방법

실물 콘크리트부재의 가장 대표적인 온도이력을 상정하고 모델화하여, PLAIN을 MI-2로 정하였다. 이것을 기초로 하여 15종류의 온도이력조건을 계획하고 모르터 시험체에 적용시켰다.

시험체는 제작 직후 240시간동안 증기양생을 실시하고, 이후 소정의 재령까지 20℃로 표준수증양생을 실시하였다. 계획한 모든 온도이력조건과의 온도차가 ±1.5℃ 범위가 되도록 모르터 시험체의 온도를 제어했다.

온도이력인자는 시리즈 MI에서는 최고온도 Tmax를, 시리즈 MII에서는 타설온도 To를 변화시켰다. 시리즈 MIII에서는 온도상승량을 45℃로 일정하게 하고, 최고온도와 타설온도를 각각 변화시켰다. 또한 온도상승구배와 온도하강구배의 영향을 조사하기 위하여, 시리즈 MIV에서는 최고온도에 도달하는 재령 tmax을, 시리즈 MV에서는 최고온도 이력 후 20℃에 도달하는 재령 t20을 변화시켰다. 여기에 더하여 표준양생(MS)을 설정하였다. 각각의 온도이력조건은 그림 1과 같다.

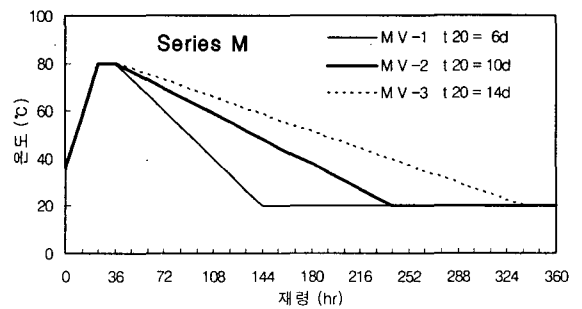
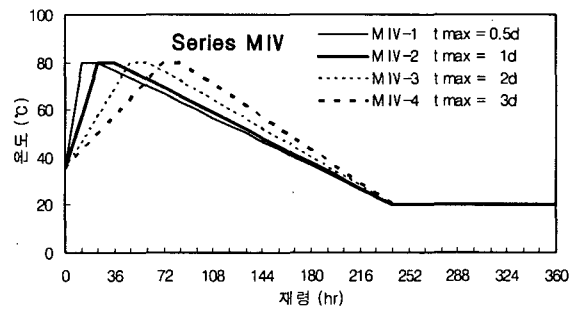
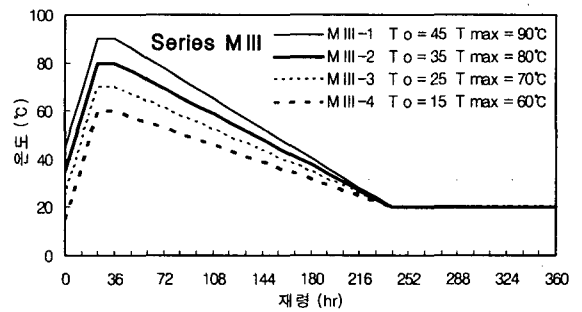
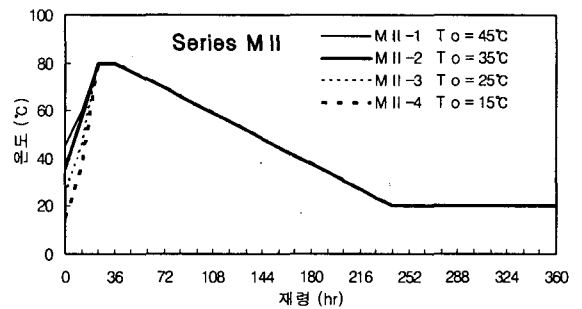
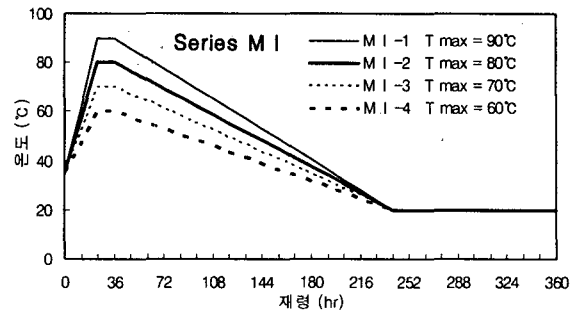


그림 1. 시리즈별 온도이력조건

3. 실험결과 및 고찰

강도발현에 미치는 초기고온이력의 영향을 검토하기 위해 다음식에 의해 강도발현율을 정의했다.

$$f_t = \frac{F_t}{20wF_{182}} \times 100$$

f_t : 재령 t일에 있어서 강도발현율 (%)

F_t : 모르타르 공시체의 재령 t일의 강도(MPa)

$20wF_{182}$: 표준양생한 모르타르의 재령 182일의 강도 (MPa)

압축강도는 각 6개 시험체의 압축강도를 측정하여 최고값과 최저값을 제외한 나머지 4개의 값을 평균으로 하였다.

3.1 최고온도 변화와 압축강도

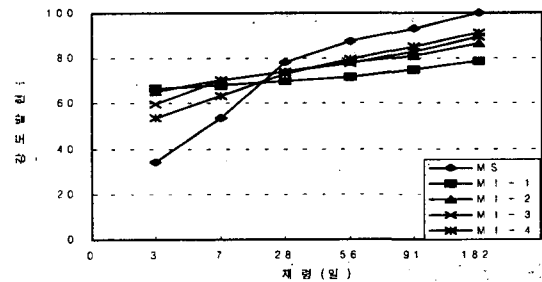
시리즈 MI에서는 최고온도가 높은 조건만큼 재령 3일에서의 강도발현율이 큰 경향을 확인할 수 있다. 하지만 재령이 경과함에 따라 강도의 증진이 둔화되어 재령 28일에서는 20℃로 표준양생한 공시체가 가장 높은 강도발현율을 보여주었고, 최고온도가 높은 순서대로 작은 강도발현율을 보여주었다. 재령 182일에서는 그 차이가 더욱 뚜렷하게 나타났다. 양생 최고온도가 강도발현에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

3.2 타설온도 변화와 압축강도

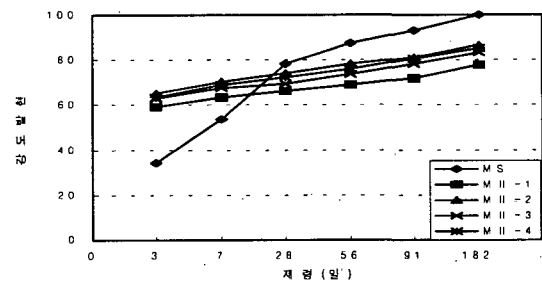
시리즈 MII에서는 타설온도가 높은 조건만큼 장기재령에서의 강도발현율이 작은 경향을 확인할 수 있다. 타설온도가 높은 공시체의 경우 20℃로 표준양생한 공시체에 비해 재령 3일에서는 모두 높은 강도발현율을 보였지만 이후 강도증진이 완만하게 이루어져 재령 28일에는 표준양생한 공시체에 비해 작은 강도발현을 나타내었다. 그러나, 타설온도는 최고온도와 비교하여 강도발현에 미치는 영향이 작은 것으로 보인다.

3.3 타설·최고온도 변화와 압축강도

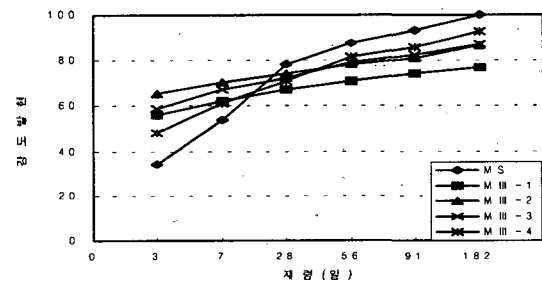
시리즈 MIII에서는 타설·최고온도가 높은 조건만큼 초기재령에서 강도발현율이 크고 장기재령에서 강도발현율이 작은 것을 알 수 있다. 재령 3일에서 20℃로 표준양생한 공시체보다 높은 강도발현율을 나타냈으나 재령 28일에서는 표준양생한 공시체보다 작은 강도발현율을 나타내었다. 재령 182일에서는 그 차이가 더욱 커졌다. 이러한 강도발현율의 차이는 최고온도를 변화시킨 시리즈 MI보다도 명확하게 나타난다. 이것은 최고온도와 타설온도 양방의 영향이 나타났기 때문이라고 생각된다. 최고온도 및 타설온도가 높은 조건에서는 재령 28일 이후의 강도증진이 현저하게 정체되는 것을 알 수 있다.



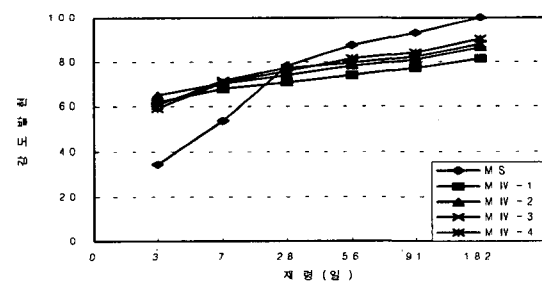
a. 최고온도와 압축강도의 관계



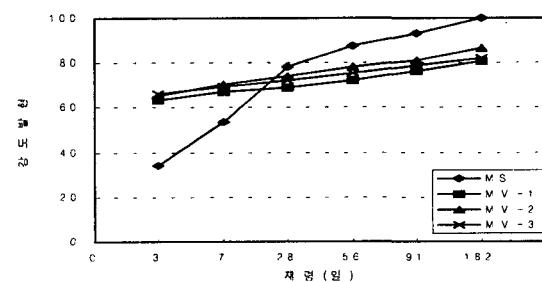
b. 타설온도와 압축강도의 관계



c. 타설·최고온도와 압축강도의 관계



d. 온도상승구배와 압축강도의 관계



e. 온도하강구배와 압축강도의 관계

그림 2 온도이력조건에 따른 강도발현율

3.4 온도상승구배 변화와 압축강도

시리즈 MIV에서는 최고온도에 도달한 재령이 빠른 조건만큼(온도상승구배가 큰 조건만큼) 초기재령에서의 강도발현율은 크지만, 장기재령에서의 강도발현율이 작게 되는 경향을 알 수 있었다. 하지만, 다른 온도이력조건에 비하여 강도발현의 차이는 작은 것으로 보인다.

3.5 온도하강구배와 압축강도

시리즈 MV에서는 초기재령에서 장기재령에 걸쳐서 온도이력조건의 차이에 의한 강도발현율의 차이가 작게 나타나는 것을 알 수 있었다. 따라서 온도하강구배가 강도발현에 미치는 영향은 작은 것으로 보인다.

전체적으로 볼 때 재령초기에 고온이력을 받은 모르터 시험체일수록 초기강도가 크지만, 강도증진이 완만하게 이루어져 모든 이력조건에서 재령 28일 강도는 표준양생한 모르터 시험체보다 작게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 강도발현성상은 양생초기에 고온을 이력시키면 시멘트의 수화가 촉진되어 초기강도가 높으나, 그 후의 수화반응이 지연되어 시멘트페이스트내의 수화생성물의 분포가 불균일하게 되고 상대적으로 커다란 다공질의 빈약한 화학생성물이 만들어져 대부분의 공극이 채워지지 않기 때문에 강도증진이 제대로 이루어지지 못하는 것으로 사료된다. 또한 낮은 온도에서 양생한 경우 초기에 수화량이 적기 때문에 강도가 적게 나타나고 후기에는 수화과정에서 발생하는 화학생성물이 강도에 유리한 물질을 만들고 공극을 채우므로 강도의 증진이 큰 것으로 사료된다. 한편 재령초기에 너무 높은 양생온도는 시멘트 내부조직에 균열을 유발하여 오히려 강도의 저하가 발생하는 것으로 사료된다

4. 결 론

온도이력의 변화에 따른 시멘트 모르터의 강도 발현성상에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 실물 콘크리트 부재의 제조와 코어 공시체의 채취 등을 행하지 않고, 모르터 시험체를 사용한 기초실험에 의해 강도발현에 미치는 초기고온이력의 영향을 상세히 조사할 수 있다.
- 2) 양생온도가 고온일 경우 재령 3일 초기강도는 크게 발현되었다. 그러나, 지속적인 강도의 발현은 저하되어 28일 강도에서는 표준양생한 시험체보다 강도가 작게 발현되었다.
- 3) 본 실험에서 적용한 온도이력조건중에서 모르터 공시체의 강도발현에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 양생 최고온도인 것으로 보인다.

양생초기의 고온이력이 모르터의 강도발현에 미치는 영향을 좀 더 명확히 설명하기 위해서는 재령에 따른 압축강도 실험과 함께 세공경 분포 등의 모르터 내부의 미세조직형성에 대한 실험이 병행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 한국콘크리트학회, '최신콘크리트공학', 1992
2. 정상진 외, '상압증기양생에 의한 모르터의 강도발현성에 관한 기초연구', 대한건축학회 논문집 11권 1호 통권 75호, 1995년 1월
3. 정상진 외, '수화열에 의한 온도이력이 시멘트 모르터의 강도특성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구', 대한건축학회 논문집 14권 3호 통권 113호, 1998년 3월