

모르터 압축강도 특성에 영향을 미치는 고온이력에 관한 실험적 연구

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

김 영 주^{*} 공 민 호^{**} 송 인 명^{**} 양 동 일^{**} 백 민 수^{***} 정 상 진^{****}
Kim, Young Joo Gong, Min Ho Song, In Myung Yang, Dong Il Paik, Min Su 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.

1. 서론

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. 고강도 매스콘크리트는 부재 내부에서 발생하는 수화열의 축적량이 증가하고 이로 인하여 타설 후 초기에 고온의 온도이력을 받게 된다. 이 때 시멘트의 수화열은 구조물에 발생하는 온도응력 및 콘크리트의 강도발현에 특이한 성상을 나타나게 한다.

본 연구에서는 초기온도이력의 대표적인 요인을 설정하여 온도이력과 압축강도의 관계를 제시하며, 온도이력이 압축강도에 미치는 영향을 파악하는데 목적이 있다.

2. 실험

2.1 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201에 규정된 국내산 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재는 KS L 5100에 규정되어 있는 주문진산 표준사를 사용하여 골재의 입도에 의한 실험편차를 줄이도록 하였다. 사

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 동명정보대학교 건축공학과 겸임교수

**** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

용재료의 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 사용재료

사용재료	물리적 성질	규정
시멘트	· 1종 보통포틀랜드 시멘트 · 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

표 2 모르터 시험체 배합비

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

2.2 시험체의 배합

본 실험에서는 표준사와 시멘트를 사용하여 모르터 시험체를 제작하였다. 콘크리트 시험체 사용을 배제한 것은 콘크리트에 포함되어 있는 입도와 비중이 서로 다른 굵은골재 입자의 열팽창, 열전도율로 인한 영향을 배제하기 위함이다. 모르터의 배합은 W/C 40%로 목표 플로우 180±5가 되도록 시험비율을 통하여 질량비율을 정하였다. 모르터의 배합은 표 2에 나타내었다. 시험체는 KS L 3503에 의거하여 4×4×16cm의 3연형 강제몰드를 사용하여 제작하였다.

2.3 실험방법

실물 콘크리트부재의 가장 대표적인 온도이력을 모델화하여, PLAIN(MI-2)으로 정하였다. 이것을 기초로 하여 15종류의 온도 이력조건을 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 T_{max} 를, 시리즈 MII에서는 타설온도 T_0 를 변화시켰다. 시리즈 MIII에서는 온도상승량을 45℃로 일정하게 하고, 최고온도와 타설온도를 각각 변화시켰다. 또한 온도상승구배와 온도하강구배의 영향을 조사하기 위하여, 시리즈 MIV에서는 최고온도에 도달하는 재령 t_{max} 을, 시리즈 MV에서는 최고온도 이력 후 20℃에 도달하는 재령 t_{20} 을 변화시켰다. 여기에 더하여 표준양생(MS)을 설정하였다. 각각의 온도이력조건은 그림 1과 같다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 최고온도가 압축강도에 미치는 영향

최고온도를 90, 80, 70, 60℃로 변화시킨 온도이력조건 MI에서는 최고온도 80, 70℃양생인 MI-2, 3가 재령 3일에서 41.5, 42.7MPa로 가장 높은 강도발현을 보이고 있으며, 20℃ 표준양생인 MS의 경우 21.9MPa의 강도발현을 보여주고 있다. 그러나 고온양생 시험체의 경우 시간이 경과함에 따라 강도의 증가가 둔해지는 경향을 보여 재령 28일에서는 MI-2, 3에서 47.1, 47.0MPa,

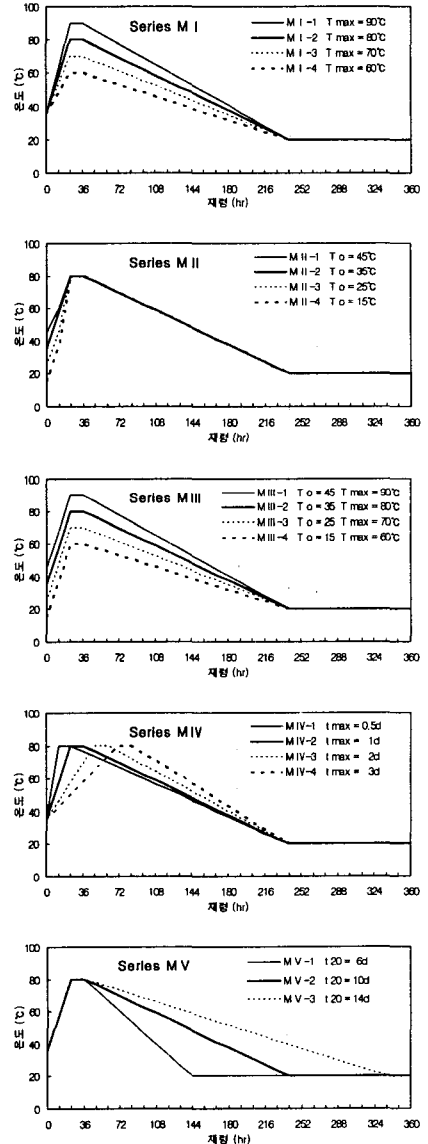


그림 1 온도이력 조건

MS에서 49.9MPa의 강도발현을 나타내어 MS의 강도가 더 크게 나타나고 있다. 재령이 경과할수록 높은 온도에서 양생한 시험체의 강도발현이 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있지만 최고온도가 90℃인 M I-1은 재령 3일과 28일에서 40.7, 44.3MPa로 온도이력시리즈 M I 중에서 가장 낮은 초기강도와 강도발현을 나타내었다.

3.2 타설온도가 압축강도에 미치는 영향

45, 35, 25, 15℃로 타설한 온도이력조건 M II에서는 재령 3일에 타설온도가 35℃인 M II-2에서 41.4MPa, 타설온도가 25℃인 M II-3에서 38.1MPa, 타설온도가 15℃인 M II-4에서 35.2MPa의 강도발현을 나타내고 있다. 표준양생한 MS는 21.9MPa의 압축강도를 나타내었다. 그러나 이러한 강도발현은 높은 타설온도의 경우 시간이 경과함에 따라 강도의 증가가 둔해져서, 재령 28일의 경우 M II-2에서 47.1MPa, M II-3에서 41.7MPa, M II-4에서 40.7MPa의 강도발현을 보여 지속적인 강도의 증가를 보인 MS의 재령 28일 강도 49.9MPa보다 낮은 압축강도를 보였다. 타설온도가 45℃인 M II-1에서는 재령 3일과 28일에서 35.4, 39.3MPa의 강도발현을 나타내었다.

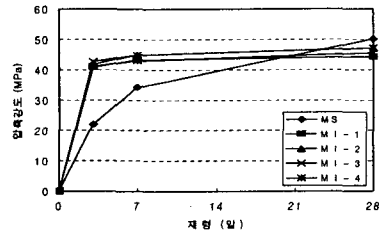
3.3 타설·최고온도 변화가 압축강도에 미치는 영향

온도상승량(타설온도와 최고온도의 차)을 45℃로 일정하게 하고, 타설온도와 최고온도를 동시에 변화시킨 온도이력조건 M III에서는 타설·최고온도가 35~80℃인 M III-2가 재령 3일과 28일에서 41.4MPa와 47.1MPa로 M III중에서 가장 큰 강도발현을 보였다. 타설·최고온도가 25~70℃인 M III-3에서는 재령 3일과 28일에서 39.5, 46.0MPa의 강도발현을 보였고, 타설·최고온도가 15~60℃인 M III-4가 재령 3일과 28일에서 32.7MPa와 43.9MPa의 강도발현을 나타내었다. 전체적으로 타설·최고온도가 높은 순서대로 재령 3일과 28일에서 큰 강도발현을 나타내었다. 또한 재령 3일에서는 M III 모두 표준양생한 MS보다 강도발현이 크게 나타났으나 재령 28일에서는 MS보다 작은 강도발현을 나타내었다. 타설·최고온도가 45~90℃인 M III-1에서는 재령 3일과 28일에서 35.5, 42.6MPa의 강도발현을 보여주었다.

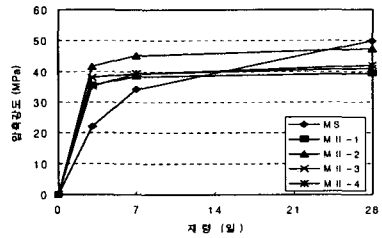
3.4 온도상승구배가 압축강도에 미치는 영향

최고온도 도달재령(온도상승구배)을 12시간, 24시간, 48시간, 72시간으로 변화시킨 온도이력조건 M IV에서는 전체적으로 최고온도 도달재령이 빠른 조건만큼, 즉 온도상승구배가 큰 조건만큼 재령 3일에서 강도발현이 큰 것으로 나타났다. 최고온도 도달재령이 24, 48, 72시간인 M IV-2, 3, 4와 MS에서 재령 3일에 41.4, 30.5, 29.6, 표 3 모르타 시험체의 압축강도 21.9MPa의 강도발현을 보였다. 그러나 재령 28일에서는 각각 47.1, 36.8, 35.3,

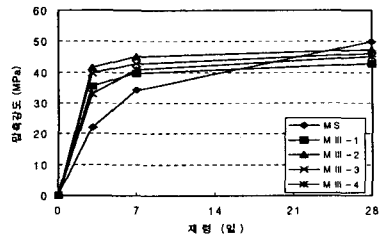
(단위 : MPa)



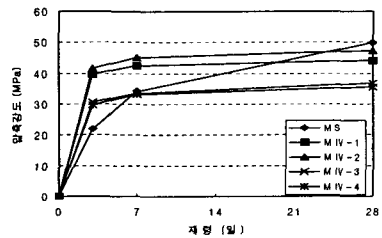
a. 최고온도와 압축강도의 관계



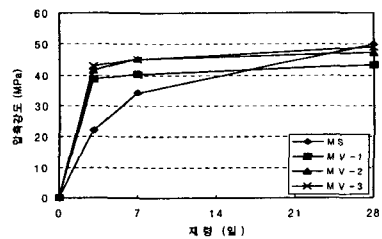
b. 타설온도와 압축강도의 관계



c. 타설·최고온도와 압축강도의 관계



d. 온도상승구배와 압축강도의 관계



e. 온도하강구배와 압축강도의 관계

그림 2 온도이력조건에 따른 강도발현

재령	MI-1	MI-2	MI-3	MI-4
3일	40.78	41.47	42.67	41.04
7일	43.29	44.98	44.74	42.84
28일	44.31	47.18	47.08	45.56
재령	MII-1	MII-2	MII-3	MII-4
3일	35.42	41.47	38.11	35.23
7일	38.24	44.98	39.34	39.11
28일	39.37	47.18	41.73	40.79
재령	MIII-1	MIII-2	MIII-3	MIII-4
3일	35.56	41.47	39.58	32.78
7일	39.54	44.98	42.76	40.96
28일	42.68	47.18	46.09	45.09
재령	MIV-1	MIV-2	MIV-3	MIV-4
3일	39.56	41.47	30.57	29.64
7일	42.38	44.98	33.66	33.12
28일	43.95	47.18	36.80	35.37
재령	MV-1	MV-2	MV-3	MS
3일	38.49	41.47	42.66	21.97
7일	40.07	44.98	45.15	34.24
28일	42.99	47.18	48.85	49.92

49.9MPa의 강도발현을 보여 표준양생의 MS가 가장 높은 압축강도를 나타내었다. 최고온도 도달재령이 12시간인 MIV-1은 재령 3일에서 39.5MPa, 재령 28일에서 43.9MPa의 강도발현을 나타내었다.

3.5 온도하강구배가 압축강도에 미치는 영향

최고온도 이력 후 20℃에 도달하는 재령(온도하강구배)을 변화시킨 온도이력조건 MV에서는 전체적으로 온도하강구배가 낮을수록 재령 3일과 28일에서 큰 강도발현을 나타내었다. MV-1, 2, 3에서 재령 3일의 압축강도는 38.4MPa, 41.4MPa, 42.6MPa로 측정되어 MS의 재령 3일 강도인 21.9MPa보다 모두 높게 나타났으며, 재령 28일에서는 42.9 47.1, 48.8MPa로 측정되어 MS의 재령 28일 강도인 49.9보다 모두 낮은 강도발현을 보였다.

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. 결론

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.

양생초기의 고온이력이 모르터의 강도발현에 미치는 영향을 좀 더 명확히 해명하기 위해서는 91, 182, 365일의 장기강도를 측정할 필요가 있을 것으로 판단되며, 본 실험과 과 함께 세공경 분포 등의 모르터 내부의 미세조직형성에 대한 실험이 병행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 정상진 외, '건축재료학', 보성각, 1999
2. 한국콘크리트학회, '최신콘크리트공학', 1992
3. 정상진 외, '상압증기양생에 의한 모르터의 강도발현성에 관한 기초연구', 대한건축학회 논문집 11권 1호 통권 75호, 1995년 1월
4. 정상진 외, '매스콘크리트의 수화열이 압축강도특성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구', 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집(구조계) 1998년 4월