

증기양생콘크리트의 최고양생온도변화가 콘크리트의 동결융해저항성에 미치는 영향

An experimental Study for the Maximun Curing Temperature Effect on the Freezing and Thawing of Steam Curing Concrete

윤 석* 최세규** 김동신*** 유승룡**** 김생빈*****
Youn, Suk Choi, Se Gyu Kim, Dong Sin Yu, Sung Yong Kim, Saeng Bin

Abstract

The published works on steam curing effect have been generally concentrated on the subject, "compressive strength". However a practical test for durable steam curing concrete products has not been performed in domestic.

In this study, the maximum temperature of steam is considered as a major variable to investigate the freezing and thawing resistance of the steam curing concrete. All of the specimen were cured for 24 hours which included presteaming 4 hours. Finally we found that the most effective curing condition is the case of one-day and 14-day specimens after the 24 hours steam curing at 74°C degree curing temperature. It is also found that the durability of one-day samples are much weaker than those of 14-day samples. Consequently, we can conclude that the samples that produced immediately after a steam curing are more possible to deteriorate from the freezing and thawing environment.

1. 서 론

최근 국내의 급속한 경제성장과 더불어 대규모의 건설공사가 시행되면서 건설구조물의 품질관리가 사회문제화되고 있다. 이러한 품질관리의 문제는 콘크리트 2차 제품분야에서도 또한 제기되고 있으며

* 정회원, 동국대 토목공학과 석사과정
** 정회원, 동국대 토목공학과 박사과정
*** 정회원, 동국대 토목공학과 강사, 공박
**** 정회원, 동국대 건축공학과 조교수, 공박
***** 정회원, 동국대 토목공학과 교수, 공박

이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 양적, 질적으로 많은 연구가 진행되고 있다. 콘크리트 제품은 주로 촉진양생방법에 의하여 생산되고 있으며 이러한 촉진양생방법은 거푸집의 회전율을 높이고 조기에 강도를 발현시켜 제품의 출하를 빠르게 하기 위한 목적으로 행해지고 있다.^{1,2)} 촉진양생방법에는 일반적으로 상압에서의 증기양생과 오토클레이브를 이용한 고온고압증기양생, 전기양생 등이 있다.³⁾ 이들 중 상압증기양생은 가장 일반적으로 사용되는 촉진양생방법으로서 콘크리트 제품제조시와 토목공사의 현장타설작업시 널리 이용되고 있다. 그러나 동결융해작용을 받는 증기양생한 콘크리트에 대한 연구는 대체로 미흡하여 동결융해에 노출된 증기양생콘크리트의 사용성을 쉽게 판단할 수 없는 실정이었다.⁴⁾ 일반적으로 콘크리트의 강도는 동결융해저항성과 밀접한 관계가 있다.⁵⁾ 증기양생의 경우 양생주기의 각 단계별 시간 및 온도변화는 탈형시의 강도를 결정짓기 때문에 증기양생의 시간과 온도변화는 동결융해저항성에 커다란 영향을 미친다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 증기양생한 콘크리트의 동결융해저항성에 미치는 영향을 파악하기 위하여 양생주기중 최고양생온도만을 변화시켜 증기양생을 실시한 콘크리트 공시체에 대하여 동결융해시험을 실시하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 실험에서는 $\phi 10 \times 20$ cm인 원주형공시체를 제작하여 압축강도를 측정하였으며 동결융해시험은 $10 \times 7.5 \times 40$ cm의 각주형 공시체를 제작하여 시험을 실시하였다. 본 연구에서 증기양생의 양생주기는 기존의 문헌 및 시방서를 참고로 하여^{1,2,6,7,8)} 전양생시간은 4시간, 온도상승구배 및 하강구배는 단위 시간당 20°C 로 하였고 최고양생온도는 50°C , 58°C , 66°C , 74°C , 82°C , 90°C 로 달리하여 총 24시간 동안 증기양생한 후 탈형하였다. 증기양생한 공시체는 항온항습조(1일 1회 살수, 온도 23°C , 습도 70%로 유지)에서 계속 양생하여 재령 14일째 KS F 2456⁹⁾에 따라 공기중 급속동결 및 수중 급속융해 시험법으로 동결융해시험을 하였으며, 표준양생한 공시체의 동결융해내구성과 비교하였다. 증기양생의 경우 빠른 강도발현으로 조기에 콘크리트제품을 사용할 수 있으므로 본 연구에서는 KS 규정에 따른 재령 14일의 공시체 뿐만 아니라 탈형시의 공시체에 대해서도 동결융해시험을 실시하여 이에 대한 동결융해 내구성도 파악하였다.

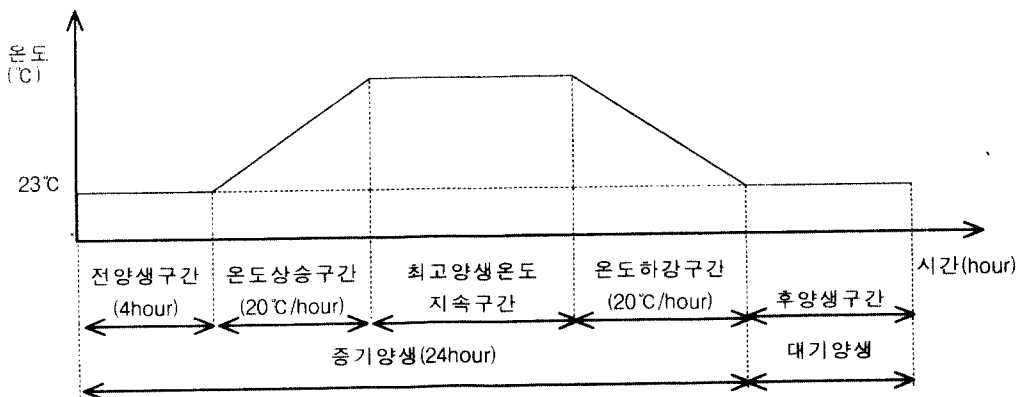


그림 1 본 실험의 양생주기표

2.2 사용재료

본 실험에서 사용된 시멘트는 국내 A사 제품의 1종 포틀랜드시멘트이며, 그 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트의 물리적 성질

비중	비표면적 (cm ² /g)	용결시간(시:분)		압축강도(kg/cm ²)		
		초결	종결	σ_3	σ_7	σ_{28}
3.15	3299	2:25	6:05	210	283	369

본 실험에서 잔골재 및 굵은골재는 남한강 상류지역 충청북도에서 채취한 천연골재를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 각각 표 2 및 3과 같다.

표 2 잔골재의 물리적 성질

표 건 비 중	흡수율 (%)	각 체 통과 중량의 누가 백분율(%)							조립율 F.M
		10mm	5mm	2.5mm	1.2mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm	
2.60	0.6	100	99	95	81	43	14	3	2.61

표 3 굵은골재의 물리적 성질

굵은골재 최대치수 (mm)	표 건 비 중	흡수율 (%)	각 체 통과 중량의 누가 백분율(%)						조립율 F.M
			80mm	40mm	19mm	10mm	5mm	2.5mm	
25	2.55	0.95	100	100	97	14	1	0	6.99

2.3 배합설계

본 실험의 콘크리트 배합설계는 표준양생 28일 강도 270kg/cm²을 목표로 하여 설계하였다. 굵은골재 최대치수는 25mm를 사용하였으며 슬럼프의 목표값은 5cm로 하였다. 이에 대한 배합설계는 표 4와 같다.

표 4 콘크리트 배합설계표

굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	물시멘트비(%)	잔골재율 (%)	단위량(kg/m ³)			
					물	시멘트	잔골재	굵은골재
25	5	1.5	45	38	169	377	675	1144

2.4 시험방법

상대동탄성계수는 동결융해시험 시작전의 공시체를 영국의 BS 4408 part 5에 규정된 초음파속도법으로 초기동탄성계수를 측정된 후 동결융해를 개시하여 적절한 간격으로 측정된 동탄성계수와의 비로 구했으며 내구성지수는 아래의 식에 의하여 계산하였다.

동결융해시험은 KS 규정에 따라 300cycle 도달시 완료하였으며 상대동탄성계수가 60% 이하로 떨어진 경우 동결융해 cycle수와 관계없이 시험을 종료하였다. 동결시 공시체의 온도는 -17.8℃, 융해시

의 온도는 +4℃가 되게 하였으며 동결과 융해의 1cycle은 약 3시간 소요되었다.

동탄성계수와 내수성지수를 구하는 공식은 다음과 같다.

$$V_e = \frac{\ell}{t} \quad E_b = \frac{V_e^2 \times \rho \times 10^7}{g} \quad DF = \frac{C \times N}{M}$$

V_e : 전파속도(km/sec)

g : 중력가속도(cm/sec²)

ℓ : 공시체의 길이(cm)

DF : 내구성지수(%)

t : 전파시간(μ sec)

C : N 사이클에서의 상대동탄성계수

E_b : 동탄성계수(kg/cm²)

N : 동결융해 시험을 마친 cycle수

ρ : 공시체의 밀도(kg/cm³)

M : 동결융해 시험 목표 cycle수 (300cycle)

3 실험결과

3.1 압축강도 시험결과

본 실험조건에서 최고양생온도변화에 따른 증기양생한 콘크리트의 강도성향은 표 5 및 그림 2와 같다. 재령 1일에서는 최고온도 74℃로 양생한 공시체가 가장 큰 압축강도를 보였으며 이때의 강도는 212kg/cm²였다. 최고온도의 변화에 따른 압축강도의 발현은 74℃까지는 최고온도를 높게 선정할수록 차츰 증가하다가 74℃ 이상으로 선정하면 강도가 급격히 감소하는 경향을 나타냈다.

설계강도를 발현하는 재령 28일에서의 압축강도도 74℃의 경우가 274kg/cm²로 가장 크게 나타나 표준양생한 콘크리트의 재령 28일강도 275kg/cm²와 거의 유사하게 나타났다. 그러나 74℃보다 높거나 낮은 온도로 선정하여 증기양생한 콘크리트는 설계강도 270kg/cm²에 못 미쳤다.

표 5 압축강도 시험결과

공시체의 종류	압축강도 (kg/cm ²)				
	σ_1	σ_7	σ_{14}	σ_{21}	σ_{28}
NC	74	198	245	270	275
SC50	195	216	240	254	260
SC58	203	222	245	258	268
SC66	208	229	245	258	269
SC74	212	241	257	266	274
SC82	190	210	228	242	254
SC90	144	183	210	224	240

주 NC : 표준양생

SC 50, 58, 66, 74, 82, 90 : 증기양생후 대기양생. 숫자는 최고양생온도를 표시함

그림 3은 각 공시체의 재령별 설계강도 도달율을 나타내고 있다. 재령 1일에서는 증기양생한 콘크리트의 설계강도 도달율이 모두 50% 이상으로 표준양생한 콘크리트의 설계강도 도달율 27%에 비해 크게 나타났다. 그러나 재령이 경과하면서 증기양생한 콘크리트는 강도의 증진이 적어 재령 28일에서는 표준양생한 콘크리트의 설계강도 도달율 102%보다 모두 적게 나타났다.

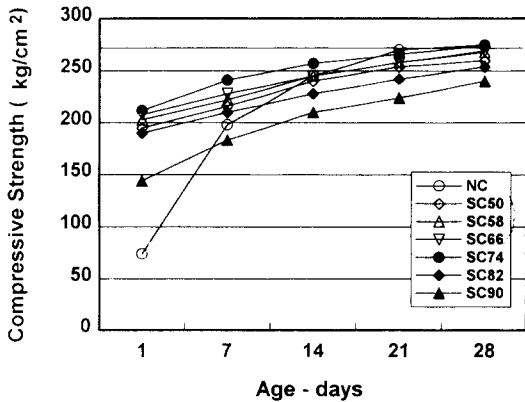


그림 2 재령별 압축강도

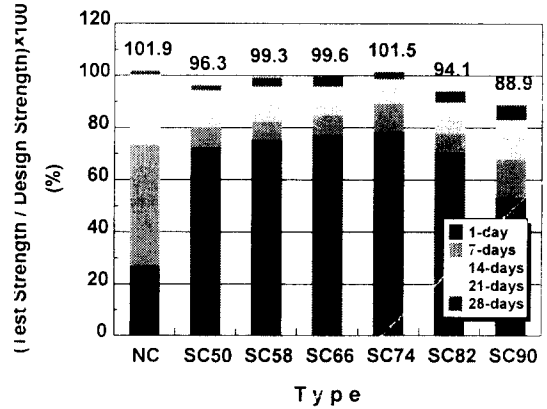


그림 3 공시체별 설계강도 도달률

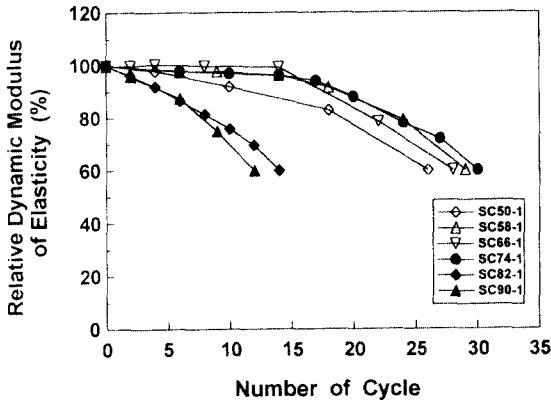
3.3 동결융해 시험결과

본 실험조건에서 증기양생한 콘크리트의 동결융해저항성은 표 6에서 보는 바와 같이 표준양생한 콘크리트에 비해 취약하게 나타났다. 재령 1일에서의 동결융해내구성은 압축강도의 발현성향과 같이 최고온도 74℃의 경우가 가장 좋게 나타났으며 이보다 온도를 높거나 낮게 증기양생하면 동결융해저항성은 떨어졌다. 그러나 SC74-1의 경우도 30cycle에서 시험이 완료되어 초기의 높은 강도발현에도 불구하고 동결융해작용에는 매우 취약한 것으로 판명되었다.

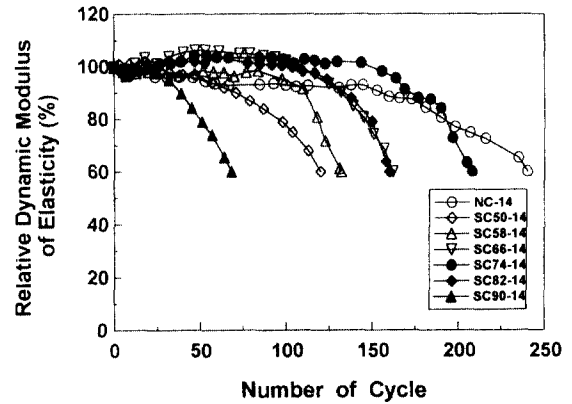
재령 14일의 시험에서도 동결융해저항성은 최고온도 74℃로 양생한 경우 208cycle에서 시험이 완료되어 내구성이 가장 크게 나타났다. 이때의 내구성지수는 41.6%로 표준양생한 콘크리트의 내구성지수 48%에 거의 도달하였으나 74℃보다 온도를 높거나 낮게 선정된 경우는 내구성이 저하되었다. 특히 온도를 90℃로 선정된 경우 68cycle에서 시험완료되어 내구성이 현저하게 저하된 결과를 초래하였으므로 양생시간을 단축시키기 위하여 최고온도를 무조건 높게 선정하는 것은 내구성 측면에서 불리하다고 판단된다.

표 6 동결융해실험의 결과

재령	공시체의 종류	시험관료 cycle수	상대동탄성계수(%)	내구성지수(%)
1일	SC50-1	26	60	5.2
	SC58-1	29	60	5.8
	SC66-1	28	60	5.6
	SC74-1	30	60	6.0
	SC82-1	14	60	2.8
	SC90-1	12	60	2.4
14일	NC-14	240	60	48.0
	SC50-14	120	60	24.0
	SC58-14	132	60	26.4
	SC66-14	162	60	32.4
	SC74-14	208	60	41.6
	SC82-14	160	60	32.0
	SC90-14	68	60	13.6



a) 재령 1일



b) 재령 14일

그림 4 공시체의 재령 1일 및 재령 14일 상대동탄성계수

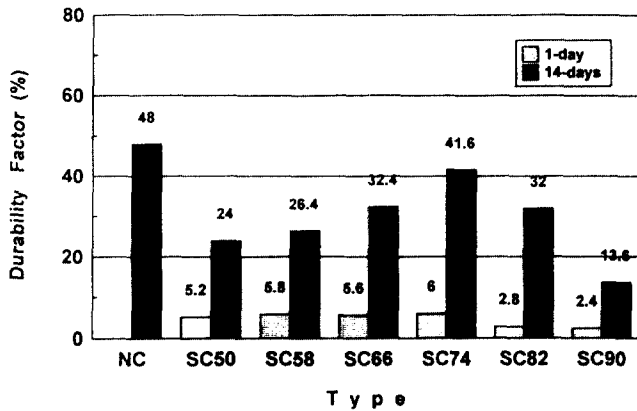


그림 5 최고온도에 따른 재령별 내구성지수

그림 5는 탈형시 콘크리트의 내수성지수와 14일 재령시의 내구성지수를 각 공시체 종류별로 비교한 그림이다. 탈형시와 14일 재령시의 내구성지수값을 비교해 보면 탈형시에서 14일 재령까지의 동결융해 저항성은 크게 증진하였음을 알 수 있다.

4. 결 론

- 1) 본 실험조건에서 24시간 동안 증기양생한 콘크리트의 강도는 재령 1일의 표준양생콘크리트 보다 월등히 컸으나 재령 28일에서는 전반적으로 표준양생한 콘크리트에 비해 작게 나타났다.
- 2) 24시간 동안 증기양생한 콘크리트의 강도는 크게 발현하였으나 동결융해저항성은 크지 않아 30cycle 이내에 모두 동결융해시험이 완료되었으며 내구성지수는 6% 이하로 나타났다.
- 3) 재령 14일에서는 증기양생한 경우가 표준양생한 콘크리트에 비해 전반적으로 동결융해저항성이 떨어지나 최고양생온도 74℃의 경우 내구성지수 41.6%로 208cycle에서 동결융해시험이 완료되어 240cycle에서 시험완료된 표준양생한 콘크리트의 내구성지수 48%와 유사하였다. 그러나 SC74를 제외한 모든 공시체는 162cycle 이하에서 시험완료되어 동해에 취약한 것으로 나타났다.
- 4) 본 연구의 양생조건으로 실험하였을 경우 최고온도 74℃에서의 양생조건이 강도와 내구성만으로 보았을 때 최적의 조건으로 나타났다. 또한 탈형시 내구성과 14일 재령시 내구성은 상당한 차

이가 있으므로 증기양생으로 제작된 콘크리트를 양생 직후에 사용할 때는 동결응해로 인한 손상에 대해 신중히 고려하여 사용해야만 한다.

참 고 문 헌

1. ACI Commitee 517, "Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric Pressures-State of the ART" (ACI 517. 2R-80)
2. ACI Commitee 517, "Low Pressure Steam Curing", J. of ACI, AUG. 1963
3. 한국콘크리트학회, '최신 콘크리트공학', pp.276-280
4. 大石・尾崎・遠藤：蒸氣養生がコンクリートの耐凍結融解性におよぼす影響；セメント 技術年報, 1965
5. 김동신, 「저품질콘크리트의 동결응해 손상원인」, 동국대학교, 1995
6. 김생빈, 유승룡, 최세규, "축진양생이 콘크리트의 28일 압축강도에 미치는 영향에 관한 연구", 콘크리트학회지 Vol.7 No.4, 1996.8
7. 日本建築學會, 建築工事標準任様書・同解説, JASS 10 プリキャストコンクリート工事, 1991.1.
8. 대한토목학회, '콘크리트표준시방서', 1996. 7
9. 한국공업표준협회, '급속동결에 대한 콘크리트의 저항 시험방법', KS F 2456