

# 타설 직후의 동해가 콘크리트의 압축강도에 미치는 효과

## The Effect of Early Frost Damage after Placement on Compressive Strength of Concrete

이 윤\*      김 진 근\*\*      이 성 태\*\*\*  
Lee, Yun      Kim, Jin-Keun      Yi, Seong Tae

### ABSTRACT

The objective of this study is to examine the effect of frost damage immediately after placement on compressive strength of concrete. Obviously frost damage produced under low curing temperature at early ages causes the loss of compressive strength of concrete. In order to find the degrees of the loss of compressive strength, compressive strength tests was performed at 7 and 28-day ages on concrete specimen with various curing temperature history. The results from the tests showed that the loss of compressive strength relative to concrete cured under isothermal temperature at 20°C was generally from 20 to 50% for 7-day ages and below 20% for 28 day ages. Considering the serious loss of compressive strength over 50% for some cases, careful attention may be needed to placing of concrete under low atmospheric temperature.

### 1. 서 론

일반적으로 동해란 경화콘크리트 중의 수분이 외부 온도의 저하에 의한 동결과 용해의 반복작용으로부터 균열이 발생하거나 표면부가 박리하여 콘크리트 표면층에 가까운 부분으로부터 파괴되어 성능이 저하되어 가는 현상을 말한다.<sup>1)</sup> 이러한 성능저하 현상 중에서도 콘크리트의 압축강도의 감소는 콘크리트 구조물의 안전성과 내구성에 중요한 영향을 끼치게 된다. 강도의 발현이 끝난 경화콘크리트에 대한 동해의 영향은 많이 연구된 바 있지만, 강도가 점진적으로 발현되는 초기재령에서 동해를 입었을 때 콘크리트의 압축강도에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 특히 급작스런 기후의 변화나 피치못할 시공 계획의 변동으로 타설 직후에 동해를 입게 되었을 때의 콘크리트의 압축강도에 대한 연구는 매우 취약하다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트의 타설 직후부터 재령 3일까지의 낮은 양생온도가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 구명해 보기로 하였다.

\* 정회원, 한국과학기술원 토목공학과, 박사과정

\*\* 정회원, 한국과학기술원 토목공학과 교수

\*\*\* 정회원, 한국전력기술(주) 토목건축기술처 책임기술원

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용재료 및 배합설계

본 연구에서는 콘크리트의 타설 후 재령 3일까지의 양생기간 중에 동해가 발생하였을 때, 압축강도에 미치는 영향을 구명하고자 실험을 수행하였다. 본 실험의 사용재료로 시멘트는 국내산 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재로서 잔골재는 강모래(비중 : 2.55, 조립률 : 2.63)를 사용하였으며, 굵은골재는 최대 치수 19 mm인 부순굵은골재(비중 : 2.58, 조립률 : 6.25)를 사용하였다. 보통강도 콘크리트를 제작하기 위해 본 실험에서 수행한 타설 시의 배합은 표 1과 같다.

표 1 콘크리트 배합

Water-cement ratio(%)	Fine aggregate ratio(%)	Unit weight(kgf/m <sup>3</sup> )				
		Water	Cement	Fine aggregate	Coarse aggregate	Super plasticizer
55	41	185	342	729	1030	0.3%

### 2.2 실험 방법

본 실험에서는  $\phi 100 \times 200$ mm 철재 원주형 몰드를 사용하여 총 54개의 콘크리트 공시체를 제작하였다. 타설 후 공시체 윗면과 아래면의 온도 전달과 수분 증발을 방지하기 위하여 그림 1과 같이 스티로폼을 부착하였으며, 공시체 내부의 온도이력을 조사하기 위해 공시체 중앙에 센서(thermocouple)를 설치하였다. 콘크리트 공시체는 20℃의 기준온도에서는 습윤양생으로 하였고, 재령 3일까지의 다양한 온도이력을 나타내는 선택양생 기간에는 그림 2와 같이 전기 양생조에 넣어 양생하였다. 선택양생의 전후는 모두 20℃ 기준온도로 습윤양생하였다. 구체적인 양생이력은 표 2와 같다.

압축강도 실험은 KS F 2405에 따라 3개의 공시체를 기본으로 실시하였다. 실험에 사용된 기기는 250톤 용량의 Instron사의 Closed-Loop Dynamic Material Testing System이며, 압축강도 시험 전에 공시체는 연마기를 사용하여 표면처리를 하였다. 압축강도의 측정은 재령 3일까지의 다양한 온도이력에 의해 어느 정도 강도가 발현되는 재령 7일과 재령 28일에 실시하였고, 실험결과는 각각 3개의 공시체의 평균값으로 하였다.

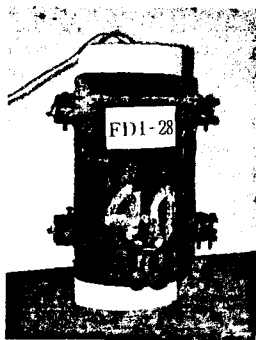


그림 1 실험체 형상



그림 2 전기 양생조

표 2 양생온도이력

Age / Series	1일	2일	3일	28일
20℃(0,28)	20℃	20℃	20℃	20℃
-5℃(0,1)	-5℃	20℃	20℃	
-5℃(0,2)	-5℃	-5℃	20℃	
-5℃(1,2)	20℃	-5℃	20℃	
-5℃(2,3)	20℃	20℃	-5℃	
0℃(0,1)	0℃	20℃	20℃	
0℃(0,2)	0℃	0℃	20℃	
5℃(0,1)	5℃	20℃	20℃	
5℃(0,2)	5℃	5℃	20℃	

3. 실험 결과 및 분석

표 3에서는 각각의 양생기간 동안, 공시체 중앙의 센서(thermocouple)에서 측정된 온도이력의 평균 값을 나타내고 있다. 이 표에서 보면, 공시체 내부에서 측정된 온도가 양생온도보다 약간 높은 값을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 이는 시멘트의 수화반응에 의한 수화열 발생 때문인 것으로 추정된다.

표 4는 재령 7일, 28일에서 수행한 압축강도 실험결과와 기준온도 20℃로 등온양생한 공시체에 대한 압축강도의 상대비를 나타내고 있다. Saul<sup>2)</sup>과 Bergstrom<sup>3)</sup>은 콘크리트의 강도가 발현되기 시작하는 온도를 -10℃라고 제안하였다. 따라서 본 실험에서 수행한 최저 양생온도 -5℃에서도 강도가 발현되기 시작하게 된다. 하지만 초기강도의 발현과 직결되는 콘크리트의 수화작용은 타설 직후 높은 온도에서 활발히 일어나므로 콘크리트의 타설 직후부터 -5℃로 양생한 -5(0,1)과 -5(0,2)은 기준온도에서 어느 정도 양생한 후 -5℃로 양생한 -5(1,2)와 -5(2,3)보다 재령 7일의 압축강도가 매우 작은 것을 알 수 있다. 이는 0℃와 5℃의 경우에도 예측할 수 있는 것으로서, 타설 직후 재령 1일에서의 양생온도가 콘크리트의 초기강도 발현에 중요한 영향을 미침을 의미한다. 재령 3일부터의 양생조건은 모두 동일하므로 재령 28일에서의 강도의 차이는 재령 7일보다 작은 결과를 보이고 있다.

표 3 공시체 내부의 온도이력

Age / Series	1일	2일	3일	28일
20℃(0,28)	23.2℃	22.8℃	21.7℃	20.5℃
-5℃(0,1)	-2.3℃	22.5℃	22.1℃	
-5℃(0,2)	-2.7℃	-2.8℃	21.6℃	
-5℃(1,2)	23.4℃	-2.5℃	22.1℃	
-5℃(2,3)	23.1℃	23.0℃	-2.6℃	
0℃(0,1)	0.8℃	22.7℃	22.5℃	
0℃(0,2)	0.7℃	0.5℃	21.3℃	
5℃(0,1)	6.2℃	22.4℃	22.1℃	
5℃(0,2)	6.1℃	5.9℃	22.3℃	

표 4 압축강도와 20℃로 등온양생한 공시체에 대한 압축강도의 상대비

Series	Compressive Strength(kgf/cm <sup>2</sup> )		Relative strength ratio	
	7 days	28 days	7 days	28 days
20℃(0,28)	226	338	1.00	1.00
-5℃(0,1)	100	273	0.45	0.81
-5℃(0,2)	96	269	0.43	0.80
-5℃(1,2)	160	300	0.71	0.89
-5℃(2,3)	193	310	0.86	0.92
0℃(0,1)	151	288	0.67	0.85
0℃(0,2)	130	289	0.58	0.86
5℃(0,1)	190	312	0.84	0.92
5℃(0,2)	187	311	0.83	0.92

표 4에서 보면 양생시점과 양생기간이 같고 양생온도만 다른 경우에는 5℃, 0℃, -5℃의 순으로 높은 압축강도를 나타내고 있어, 타설 직후 3일까지의 온도가 낮을수록 동해로 인한 강도의 손실이 큰 것을 알 수 있다. 또한 타설 직후 재령 2일까지 20℃로 양생한 -5(2,3)과 5℃로 양생한 5(0,1), 5(0,2)는 재령 28에서의 압축강도의 상대비가 0.92로서 8%의 강도의 손실을 나타내고 있고, 다른 선택양생시의 강도의 손실도 20 %이내인 것을 알 수 있다. 하지만, 재령 7일에서는 -5(0,1), -5(0,2)의 경우에 50 %이상의 강도의 손실을 나타내므로, 낮은 기온에서의 콘크리트의 타설 시공시에는 이에 대한 많은 주의가 필요한 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 콘크리트의 타설 직후 재령 1일에서의 양생온도는 콘크리트의 초기 압축강도 발현에 매우 중요한 영향을 미침을 알 수 있었다.
- (2) 타설 직후 재령 2일까지의 동해로 인한 재령 28일의 압축강도의 손실은 20% 이내이고, 재령 7일의 경우에는 대체로 20~50%인 결과를 나타내었다.
- (3) 양생온도가 낮을수록 동해로 인한 강도의 손실이 크며, 타설 직후 -5℃ 정도의 낮은 온도에서 입은 동해는 콘크리트의 초기강도와 재령 28일의 압축강도에 심각한 손실을 유발할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 국가지정연구실 사업(National Research Lab.)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. Neville, *Properties of concrete*, Longman, 1996, pp. 401-405
2. Saul, A. G. A., "Principles underlying the steam curing of concrete at atmospheric pressure", *Magazine of Concrete Research*, Vol. 2, No. 6, 1951, pp. 127-140
3. Bergstrom, S. C., "Curing temperature, age and strength of concrete", *Magazine of Concrete Research*, Vol. 4, No. 14, 1953, pp. 61-66