

겨울철 콘크리트 시공, 어떻게 할 것인가?

윤상문 / 건축기술부 대리

콘크리트 공사는 물을 사용하기 때문에 날씨가 추워지면 배합수가 얼고 콘크리트 굳기가 지연되어 소정의 강도(28일 압축강도)를 발휘하지 못한다. 본고에서는 겨울철에 예상되는 한중콘크리트의 시공과 관련한 몇가지 기술적인 자료를 제공하여 공사의 품질향상에 도움이 되고자 'ACI 306R (Cold Weather Concrete)'의 내용을 요약 발췌하였다.

한중콘크리트 일반

1. 한중콘크리트 공사의 적용범위

- 일일 평균기온이 4℃이하로 예상될 때
- 3일간 연속해서 일일 평균기온이 5℃이하일 때
- 3일간 연속해서 하루 중 12시간의 평균기온이 10℃이하일 때

2. 적용목적

- 초기 동해를 방지하면 지속적으로 강도가 발휘될 수 있음
- 시공, 탈형 등에 필요한 최소강도를 유지
- 급격한 온도변화의 제한(온도구배에 의한 균열방지)
- 구조물의 사용성, 내구성 보장

3. 한중콘크리트 시공의 적용원칙

- 최소강도 35kg/cm² 이상 필요 (동해를 방지하고 지속적인 강도 발휘를 위한 최소강도, 콘크리트 시방서 50kg/cm² 이상)
- 조기에 소요강도를 발현시키기 위해서는 10℃ 이상의 온도가 유지되어야 함
- 실내의 보온 가열 양생을 할 경우를 제외하고는 양생중의 수분공급은 하지 않음
- 모든 콘크리트 표면은 최소한 24시간 동해를 입지 않도록 해야 함

(표 1) 콘크리트 온도

구분	기온	부재단면의 크기(mm)				
		300 이하	300~900	900~1800	1800 이상	
1	타설전의 콘크리트 온도	4℃ 이하	13℃	10℃	7℃	5℃
2	비빔 콘크리트의 온도	-1℃ 이상	16℃	13℃	10℃	7℃
		-1℃ ~ -18℃	18℃	16℃	13℃	10℃
		-18℃ 이하	21℃	18℃	11℃	13℃
3	양생시의 콘크리트 온도	4℃ 이하	13℃	10℃	7℃	5℃
4	콘크리트의 온도감소 허용량*	-	28℃/일	22℃/일	17℃/일	11℃/일

* 보온양생을 종료한 후 콘크리트의 급냉을 방지하기위한 조치

타설전 준비

- 생콘크리트의 온도 : (표 1)의 1항에서 주어지는 온도보다 높아야 한다.
- 보강 철물(철골, 철근) : 동결온도(0℃) 이상이 되도록 한다. 0℃ 이하가 되면 부분적인 동결이 생겨 부착력이 저하된다.
- 동결된 지반위에는 콘크리트를 타설하거나 거푸집을 설치하지 않는다. (침하방지)

생콘크리트에 대한 조치

- 동절기 콘크리트 공사에 적용될 수 있는 생콘크리트에 대한 조치 내용은 다음과 같다.
- 내동결성 증가 : AE콘크리트를 사용하면 콘크리트의 내동결성이 증가한다.
- 수분함량 감소 : 슬럼프를 10 이하로 한다.
- 골재 가열 : 골재를 가열할 경우 시멘트의 가열은 삼가며, 물과 조골재, 세골재만을 가열하는 것으로 한다.

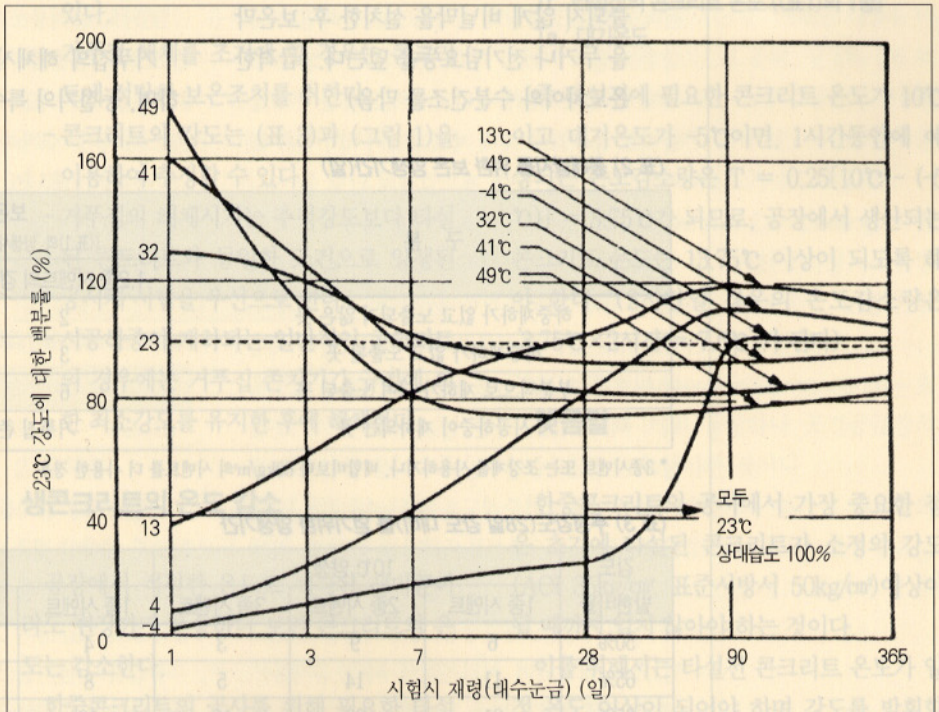
- 골재 상태 : 골재가 동결되어 있거나, 빙설이 혼합되어 있지 않아야 한다.

동해방지

동절기 콘크리트 공사의 가장 중요한 Point는 초기동해를 방지하는 것이다. 콘크리트가 초기동해를 입지 않으면 양생기간이 길어지지만, 지속적으로 강도가 발휘될 수 있다. ((그림 1) 참조)

초기동해를 방지하기 위해서는 다음의 사항을 준수한다.

- 타설계획 : 콘크리트 타설 전에 방풍용 덮개, 열풍기, 보온방법 등에 관한 계획을 한다.
- 콘크리트 온도 : 타설전 콘크리트의 온도는 (표 1)의 1항의 온도 이상이 되도록 한다.
- 보온 양생기간 : 일반적인 콘크리트의 보온 양생 기간은 최소한 (표 2)의 양생기간을 준수한다.



(그림 1) 콘크리트 강도에 미치는 최초 28일간의 온도 영향 (물-시멘트비=0.41, 공기량 4.5%, 보통포틀랜드 시멘트)

한중콘크리트 공사를 위해 필요한 타설 시의 콘크리트 온도는 운송중의 온도감을 예상하여 제작해야 한다.

- 보온 양생기간의 단축 :
 - 3종시멘트 또는 조강제를 사용한다.
 - 배합비보다 60kg/m³의 시멘트를 더 사용한다.
- 보온 양생기간의 연장 : Mass 콘크리트나 시멘트 함량이 작은 콘크리트의 양생기간은 (표 2)의 보온양생기간보다 길게 한다.
- 최소강도 : 콘크리트 강도가 35kg/cm² 이상이 되면 초기동해에 의한 피해를 입지 않는다.

- 표면의 수분이 건조될 수 있으므로 열풍 양생기간 중에는 거푸집을 제거하지 않는다.
- 급격한 수분건조를 막기위해 거푸집이 없는 표면은 덮개를 하거나 수분을 공급한다.
- 부재 양면의 온도차가 10℃이상 발생하지 않도록 한다.(온도구배로 인한 균열이 발생 할 수 있음)
- 열풍양생 내부의 온도는 (표 1)의 3항 '양생 시의 콘크리트 온도' 이상이 되도록 한다.
- 열풍기의 열풍이 콘크리트면에 직접 닿지 않게 하고, 적당하게 환기를 한다.
- 배기구가 없는 열풍기의 경우는 배기가스가 바닥을 오염시킬 수 있으므로 주의한다.
- 열풍양생을 종료한 후에는 최초 1일간의 콘크리트 온도감소량을 (표 1)의 4항 '콘크리트의 온도감소 허용량'을 넘지 않게 한다.

열풍양생시 주의사항

열풍양생은 양생시 온도유지를 위하여 일반적으로 많이 사용되는 방법이다. 열풍양생시 필요한 주의사항은 다음과 같다.

- 방풍시설을 철저히 한다. : 바람은 온도를 강하시키고 수분을 건조시킨다.
- 슬래브나 벽체의 모서리나 단부는 3중으로 단열한다.
- 양생구간의 상부층 슬래브는 외기에 노출되지 않게 비닐막을 설치한 후 보온막을 두거나 전기담요등을 덮는다. (급격한 온도차이와 수분건조를 막음)

거푸집의 해체

거푸집의 해체시기는 일반 콘크리트에 준하며, 동절기의 특수상황과 양생시기 등을 고

(표 2) 동해방지를 위한 보온 양생기간(일)

구 분	보온양생 기간(일) (표 1)의 양생시의 콘크리트 온도를 유지할 경우)	
	1,2종 시멘트의 경우	기타의 경우*
하중재하가 없고 노출되지 않은 곳	2	1
하중재하가 없고 노출된 곳	3	2
부분적으로 재하가 되며 노출된 곳	6	4
시공하중이 재하되는 곳	거푸집 존치기간에 준수	

* 3종시멘트 또는 조강제를 사용하거나, 배합비보다 60kg/m³의 시멘트를 더 사용한 경우

(표 3) 추정강도(28일 강도 대비)를 얻기위한 양생기간

강도 발현비율	10℃ 양생			20℃ 양생		
	1종 시멘트	2종 시멘트	3종 시멘트	1종 시멘트	2종 시멘트	3종 시멘트
50%	6	9	3	4	6	3
65%	11	14	5	8	10	14
85%	21	28	16	16	18	12
95%	29	35	26	23	24	20

(표 4) 양생종료시 소요압축강도 (kg/cm²)

구조물의 노출	단면 두께	얇은 경우	보통의 경우	두꺼운 경우
(1) 계속해서 또는 자주 물로 포화되는 부분		150	120	100
(2) 보통의 노출상태에 있고 (1)에 속하지 않는 경우		50	50	50

(표 5) 거푸집의 존치기간 (ACI 348R-13)

위 치			존치기간	비 고
기초, 보열, 기둥, 벽체 등의 수직 거푸집			12시간	존치기간은 온도 10℃ 이상인 누적시간 (1일 = 24시간)
보 하부	스팬길이	3m 이하	4일	
		3m ~ 6m	7일	
		6m 초과	14일	
슬래브 하부	스팬길이	3m 이하	3일	
		3m ~ 6m	4일	
		6m 초과	7일	

려하여 다음의 사항을 준수한다.

- 거푸집은 단열 효과를 나타내므로(철제 거푸집 제외) 보온양생 기간내에 해체하지 않는다.
- 수압을 받는 벽체의 거푸집을 조기에 해체하면 강도가 발현되기 전에 누수될 수 있다.
- 거푸집 해체를 조기에 할 경우는 콘크리트에 적당한 보온조치를 취한다.
- 콘크리트의 강도는 (표 3)과 (그림 1)을 이용하여 추정할 수 있다.
- 거푸집의 해체시기는 추정강도보다 타설된 콘크리트와 동일한 조건으로 양생된 공시체 시험을 우선으로 한다.
- 시공하중이 재하되는 일반적인 콘크리트의 경우에는 거푸집 존치기간 규정에 의한 최소강도를 유지한 후에 해체한다.

러한 온도감소를 예상하여 공장에서 제작해야 한다. Drum Mixer형의 콘크리트 온도 감소량은 다음과 같이 예상할 수 있다.

$$T = 0.25(T_r - T_a)$$

T : 운송시간 1시간동안에 예상되는 온도감소량

T_r : 타설전의 콘크리트 온도 ((표1)의 1항)

T_a : 대기온도

즉 타설전에 필요한 콘크리트 온도가 10℃이고 대기온도가 -5℃이면, 1시간동안에 예상되는 온도감소량은 $T = 0.25(10℃ - (-5℃)) = 3.75℃$ 가 되므로, 공장에서 생산되는 콘크리트 온도는 13.75℃ 이상이 되도록 해야 한다. (2시간일 경우의 온도감소량은 '3.75℃×2시간 = 7.5℃'가 된다)

맺음말

한중콘크리트의 공사에서 가장 중요한 점은 초기에 타설된 콘크리트가 소정의 강도 (ACI 35kg/cm², 표준시방서 50kg/cm²) 이상이 될 때까지 얼지 않아야 하는 것이다.

이를 위해서는 타설전 콘크리트 온도가 일정 온도 이상이 되어야 하며 강도를 발휘할 수 있도록 일정 온도를 유지해야 한다. SS

생콘크리트의 온도 감소

공장에서 적절한 온도로 제작된 레미콘이라도 현장까지 운송하다 보면 콘크리트의 온도는 감소한다.

한중콘크리트의 공사를 위해 필요한 타설시의 콘크리트 온도를 확보하기 위해서는 이