

# 한중 콘크리트와 동해

## 1 한중콘크리트

### 1-1. 한중콘크리트의 정의

#### (1) 건축공사 표준시방서

「콘크리트를 부어 넣은 후의 양생 기간에 콘크리트가 동결할 염려가 있는 경우에 시공되는 콘크리트, 단, 그 기간은 특기시방에 따른다.」라고 규정되어 있어 그 기간이 명확하지 않고, 대부분의 특기시방서에도 이 규정이 명기되어 있지 않아 관 및 시공자의 사고는 공사를 중지하여야만 되는 것으로 인식되어 있다.

#### (2) 한국 및 일본토목학회, 콘크리트 표준시방서

「하루의 평균기온이 4℃ 이하로 예상될 때에는 한중 콘크리트로 시공해야 한다.」라고 규정되어 있으며 따라서 한중 콘크리트를 시공할 때에는 콘크리트가 동결하지 않도록 하고, 한냉 기후조건 하에서도 소요의 품질이 얻어지도록 재료, 배합, 비비기, 운반, 치기, 양생, 거푸집 및 동바리 등에 대하여 적절한 조치를 취해야 한다고 규정하고 있다.

#### (3) ACI(미국 콘크리트학회)

일 평균 기온이 4.5℃(40°F) 이하로 예상되는 기간에 적용하는 콘크리트로 정의하고, 있으며 한중 시공기간은 일반적으로 가을에 시작해서 봄까지 계속되는 것으로 규정하고 있다.

#### (4) JCI(일본건축학회)

일본 건축학회의 '한중 콘크리트 시공지침·동해설'에 따르면 한중 콘크리트의 적용 기간은 「기상청에 의해서 일별 평균기온을 평활평년치로 한 타설 후 재령 28일까지의 적산온도 M0이 370, DD이하(온도로 환산하면 28일 예상 평균기온이 3~4℃ 이하)에서 적용하는 것」으로 되어 있다. 이외에도 일별 최저 기온이 -2℃ 이하가 되는 기간에는 초기 동해 방지를 위해 적절한 시설을 설치하는

것이 요망된다고 규정되어 있다.

### 1-2. 한중콘크리트 공사의 적용범위

- ① 일일 평균기온이 4℃ 이하로 예상될 때
- ② 3일간 연속해서 일일 평균기온이 5℃ 이하일 때
- ③ 3일간 연속해서 하루 중 12시간의 평균기온이 10℃ 이하일 때

### 1-3. 한중콘크리트 적용목적

- ① 초기 동해를 방지하면 지속적으로 강도가 발현될 수 있다
- ② 시공, 탈형 등에 필요한 최소 강도를 유지
- ③ 급격한 온도 변화의 제한(온도 구배에 의한 균열 방지)
- ④ 구조물의 사용성, 내구성 보장

### 1-4. 한중콘크리트 시공의 적용원칙

- ① 최소 강도 35kg/cm<sup>2</sup> 이상이 필요하다(초기 동해를 방지, 지속적인 강도 발현을 위한 최소강도).
- ② 조기에 소요 강도를 발현시키기 위해서는 10℃ 이상의 온도가 유지되어야 한다.
- ③ 실내의 보온 가열 양생을 할 경우를 제외하고는 양생 중에 수분 공급은 하지 않는다.
- ④ 모든 콘크리트 표면은 최소한 24시간은 동해를 입지 않도록 한다.

〈표 1〉 상황에 따른 콘크리트 최소 온도

구분	기온	부재단면의 크기(mm)			
		300 이하	300-900	900-1800	1800 이상
1 타설 전의 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 온도 감소 허용량*	-	28℃/일	22℃/일	17℃/일	11℃/일

\* 보온 양생을 종료한 후 콘크리트의 급냉을 방지하기 위한 조치

한중 콘크리트의 공사에서 가장 중요한 Point는 초기에 타설된 콘크리트가 소정의 강도(ACI, 35kg/cm<sup>2</sup>, 표준시방서, 50kg/cm<sup>2</sup>) 이상이 될 때까지 얼지 않아야 하는 것이다. 이를 위해서는 타설 전 콘크리트 온도가 일정 온도 이상이 되어야 하며, 소정의 강도를 발휘할 수 있도록 일정 기간 동안 일정한 온도를 유지하여야 한다.

## 1-5. 타설 전 조치사항

### (1) 타설 전 준비

- ① 생 콘크리트의 온도 : <표 1>의 1항에서 주어지는 온도보다 조금은 높아야 한다(최소한 2℃ 이상).
- ② 보강 철물(철골, 철근) : 동결 온도(0℃) 이상이 되도록 한다. 0℃ 이하가 되면 부분적인 동결이 생겨 부착력이 저하된다.
- ③ 동결된 지반 위에는 콘크리트를 타설하거나 거푸집을 설치하지 않는다(침하 방지).

### (2) 생 콘크리트에 대한 조치

동절기 콘크리트 공사에 적용될 수 있는 생 콘크리트에 대한 조치 내용은 다음과 같다.

- ① 내동결성 증가 : AE 콘크리트를 사용하면 콘크리트의 내동결성이 증가한다.
- ② 수분 함량 감소 : 슬럼프를 10 이하로 한다.
- ③ 골재 가열 : 골재를 가열할 경우 시멘트의 가열은 삼가며, 물과 조골재, 세골재만을 가열하는 것으로 한다.
- ④ 골재 상태 : 골재가 동결되어 있거나, 빙설이 혼합되어 있지 않아야 한다.

### (3) 생 콘크리트 온도감소 예상

공장에서 적절한 온도로 제작된 레미콘이라도 현장까지 운송하면 콘크리트의 온도는 감소할 것이다. 한중 콘크리트의 공사를 위해 필요한 타설시의 콘크리트 온도를 확보하기 위해서는 이러한 온도감소를 예상하여 공장에서 제작하여야 한다.

Drum Mixer형의 온도 감소량은 다음과 같이 예상할 수 있다.

$$T = 0.25(tr - ta)$$

T : 운송시간 1시간 동안에 예상되는 온도 감소량

tr : 타설 전의 콘크리트 온도(<표 1>의 1항)

ta : 대기온도

즉 타설 전에 필요한 콘크리트 온도가 10℃이고 대기온도가 -5℃ 이면, 1시간 동안에 예상되는 온도 감소량은  $T = 0.25[10 - (-5)] = 3.75$ ℃ 이 되므로, 공장에서 생산되는 콘크리트 온도는 13.75℃ 이상이 되도록 하여야 한다(2시간일 경우의 온도 감소량은  $3.75 \times 2 = 7.5$ ℃가 된다)

## 1-6. 양생

(1) 양생 방법 및 양생 기간은 외기 온도, 배합, 구조물의 종류 및 크기 등을 고려하여 정해야 한다. 한중 콘크리트의 양생 방법으로는 보온양생과 급열양생 등이 있다.

(2) 콘크리트는 초기 동해를 받으면, 그 후 양생을 계속하더라도 강도의 증진은 적으므로 치기 후 초기에 동결하지 않도록 잘 보호하고, 특히 구조물의 모서리나 가장자리의 부분은 보온하기 어려운 곳이어서 초기 동해를 받기 쉬우므로 양생에 주의해야 한다.

바람은 콘크리트 표면으로부터 수분의 증발을 촉진시켜서 표면 근처의 콘크리트 온도를 저하시키므로, 콘크리트를 친 직후에 찬 바람이 콘크리트 표면에 닿는 것을 방지해야 한다.

(3) 심한 기상 작용을 받는 콘크리트는 <표 2>의 압축강도가 얻어질 때까지 콘크리트의 온도를 5℃ 이상으로 유지해야 하며, 특히 2일간은 0℃ 이상이 되도록 유지해야 한다. 초기 동해 방지의 관점에서 콘크리트의 최저 온도를 5℃로 하였지만, 추위가 심한 경우 또는 부재 두께가 얇은 경우에는 10℃ 정도로 하는 것이 바람직하다.

<표 2>의 강도를 얻기에 필요한 양생일수는 시험에 의해 정하는 것이 원칙이나 5℃ 및 10℃에서 양생할 경우의 일반적인 표준은 <표 3>에 나타내었다.

〈표 2〉 심한 기상작용을 받는 콘크리트의 양생 종료시의  
소요 압축강도의 표준(kgf/cm<sup>2</sup>)

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

〈표 3〉 소요의 압축 강도를 얻는 양생일수의 표준

구조물의 노출 단면	시멘트 종류		혼합시멘트	
	보통포틀랜드 시멘트	조강포틀랜드+보통포틀랜드 +축진재	B종	8종
(1) 계속해서 또는 자주 물로 포화되는 부분	5℃	9일	5일	12일
	10℃	7일	4일	9일
(2) 보통의 노출 상태 에 있고 (1)에 속하지 않는 부분	5℃	4일	3일	5일
	10℃	3일	2일	4일

(4) 콘크리트에 열을 가할 경우에는 콘크리트가 급격히 건조하거나 국부적으로 가열되거나 하지 않도록 한다. 급열에 의해서 콘크리트가 가열되면, 콘크리트로부터 물의 증발이 갑자기 심해진다. 따라서 살수, 기타 방법을 써서 콘크리트의 건조를 방지해야 한다.

(5) 한중 콘크리트는 보온, 또는 급열양생이 끝난 후에는 저온에 노출되어 그 후의 강도 증진이 완만하므로, 초기 동해에 대하여 저항하는 데 필요한 강도를 얻은 후에도 양생을 계속하여, 예상되는 하중에 대하여 필요한 강도를 얻을 때까지 실시한다.

(6) 보온양생 또는 급열양생을 끝마친 후에는 콘크리트의 온도를 급격히 저하시켜서는 안 된다. 온도가 높은 콘크리트를 갑자기 한기에 노출시키면 콘크리트의 표면에 균열이 발생할 우려가 있으므로 적당한 방법으로 보호하여 표면이 서서히 식도록 해야 한다. 한기에 접하여 동결될 우려가 있는 경우에는 양생을 끝내기 직전에 살수해서는 안 된다.

〈표 4〉 외기온도에 따른 양생조치

외기 온도	조치내용
4℃~1℃	-비닐 덮기 등 보온 조치
1℃~0℃	-부직포 덮기 등 보온 조치
0℃~-3℃	-건물외부 보온 막치기, 부직포 덮기 등 보온 조치와 급열장치 가동
-3℃ 이하	-상기 조치와 함께 급열장치 본격 가동

### 1-6. 열풍양생시 주의사항

열풍양생은 양생시 온도 유지를 위하여 일반적으로 많이 사용되는 방법이다. 열풍양생시 필요한 주의사항으로는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 방풍시설을 철저히 한다 : 바람은 온도를 강하시키고, 수분을 건조시킨다.
- ② 슬래브나 벽체의 모서리나 단부는 3중으로 단열한다.
- ③ 양생구간의 상부층 슬래브는 외기에 노출되지 않게 비닐막을 설치한 후 보온막을 두거나 전기담요 등을 덮는다. : 급격한 온도 차이와 수분 건조를 막는다.
- ④ 열풍양생 기간 중에는 거푸집을 제거하지 않는다. : 표면의 수분이 건조될 수 있다.
- ⑤ 거푸집이 없는 표면은 덮개를 하거나 수분을 공급한다 : 급격한 수분 건조를 방지한다.
- ⑥ 부재 양면의 온도차가 10℃이상 발생하지 않도록 한다(온도구배로 인한 균열 발생 가능성).
- ⑦ 열풍양생 내부의 온도는 〈표 1〉의 3항 '양생시의 콘크리트 온도' 이상이 되도록 한다.
- ⑧ 열풍기의 열풍이 콘크리트면에 직접 닿지 않게 하고, 적당하게 환기를 한다.
- ⑨ 배기구가 없는 열풍기의 경우는 배기가스가 바닥을 오염시킬 수 있으므로 주의한다.
- ⑩ 열풍양생을 종료한 후에는 최초 1일간의 콘크리트 온도감소량이 〈표 1〉의 4항 '콘크리트의 온도감소 허용량'을 넘지 않게 한다.

### 1-7. 거푸집의 해체

거푸집의 해체 시기는 일반 콘크리트에 준하며, 여기에서는 동절기의 특수상황과 양생시기 등을 고려하여 다음의 사항을 준수하는 것으로 한다.

- ① 일반적 거푸집은 단열 효과를 나타내므로(철제 거푸집 제외) 보온양생 기간 내에 해체하지 않는 것으로 한다.
- ② 특히, 수압을 받는 벽체의 거푸집을 조기에 해체하면, 강도 발현되기 전에 누수될 수 있다.
- ③ 거푸집 해체를 조기에 할 경우에는, 콘크리트에 적당한 보온조치를 취한다.

- ④ 거푸집의 해체 시기는 추정강도보다는 타설된 콘크리트와 동일한 조건으로 양생된 공시체 시험을 우선으로 한다.
- ⑤ 시공하중이 재하되는 일반적인 콘크리트의 경우에는 거푸집 존치기간 규정에 의한 최소강도를 유지한 후에 해체한다.

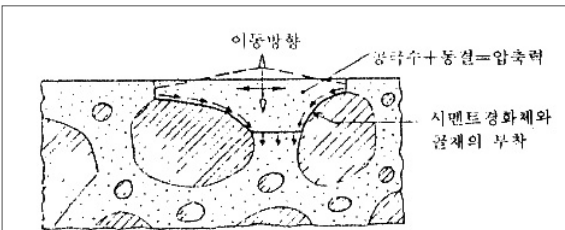
〈표 5〉 거푸집 존치기간(ACI 347R-13)

위치	존치기간		비고
기초, 보열, 기둥, 벽체 등의 수직 거푸집	12시간		존치 기간은 온도 10℃ 이상인 누적 시간 (1일 = 24시간)
보 하부 스판길이	3m 이하	4일	
	3m~6m	7일	
	6m 초과	14일	
슬래브 스판길이	3m 이하	3일	
	3m~6m	4일	
	6m 초과	7일	

## 2 동해

### 2-1. 동해의 손상형태

동결 및 동결-융해염에 의한 손상은 대부분 콘크리트 표면의 미세한 모르터층이 본체로부터 분리됨으로써 시작된다. 모르터층의 공극수가 동결하면 주변(공극벽)에 팽창력(압축력)을 가하고 이에 따라 동결부 주위에 응력 상태가 형성된다. 이들 응력이 접착강도(골재와 시멘트 경화체) 및 시멘트 경화체의 인장강도를 넘어서면 모르터층은 본체로부터 떨어진다.



〔그림 1〕 동결시 콘크리트 표면의 역학적 거동

이런 현상은 고유응력에 의해서 이미 골재 표면에 발생되어 있는 미세균열(Micro Crack)에 의해서 더욱 용이하게 된다. 또한 해마다 혹한기에 융해염(제설제)이 많이 사용되는 산간지방에서는 콘크리트의 골재가 냉동해성이 약하면 이러한 동해현상이 더욱 심각하다.

동해에 의한 손상은 콘크리트의 강도가 충분히 발현되지 않았거나 아직 습윤 상태에서 맞는 최초의 동절기에 나타나기 시작한다. 시간이 지나면서 콘크리트 표면에서의 미세 모르터층의 부분적인 분리 현상은 대규모 박리 및 파열 단계로까지 진행된다.

철근콘크리트 구조물에서는 콘크리트의 동해와 관련하여 철근의 부식현상이 나타난다. 콘크리트가 동해를 입으면 조직이 이완되거나, 표층박리 또는 균열이 형성되므로 대기로부터 CO<sub>2</sub>와 SO<sub>2</sub>의 Diffusion이 용이해져서 콘크리트의 중성화를 촉진시킨다. 따라서 피복층이 충분한 구조물일지라도 콘크리트가 동해를 입으면 철근부식이 쉽게 나타날 수 있다.

이런 종류의 철근부식 이외에도 융해염이 살포된 구조물에서는 염화물이온이 침투하여 철근주위의 알칼리층을 파괴하면서 부식 시키기도 한다. 철근 부식으로 인한 체적 팽창은 피복층 콘크리트에 압축력을 가하고 결국은 동해와 비슷한 박리·파열현상으로 콘크리트에 손상을 준다.

### 2-2. 동해 방지대책

동절기 콘크리트 공사의 가장 중요한 Point는 초기 동해를 방지하는 것이다. 콘크리트가 초기 동해를 입지 않으면, 양생기간이 길어지는 면이 있지만, 지속적으로 강도가 발휘될 수 있다. 초기 동해를 방지하기 위해서는 다음의 사항을 준수한다.

- ① 타설 계획 : 콘크리트 타설 전에 방풍용 덮개, 열풍기, 보온방법 등에 관한 계획을 한다.
- ② 콘크리트 온도 : 타설 전 콘크리트의 온도는 〈표 1〉의 1항의 온도 이상이 되도록 한다.
- ③ 보온 양생기간 : 일반적인 콘크리트의 보온 양생 기간은 최소한 〈표 5〉의 양생기간을 준수한다.
- ④ 보온 양생기간의 단축
  - 3종시멘트 또는 조강제를 사용
  - 배합비보다 60kg/m의 시멘트를 더 사용
- ⑤ 보온 양생기간의 연장 : Mass 콘크리트나 시멘트 함량이 작은 콘크리트의 양생기간은 〈표 6〉의 보온 양생기간보다 길게 한다.
- ⑥ 최소강도 : 콘크리트 강도가 50kg/cm<sup>2</sup> 이상이 되면, 초기동해에 의한 피해를 입지 않는다.

〈표 6〉 동해방지를 위한 보온양생 기간(일)

구분	보온양생 기간(일) (표 1의 '양생시의 콘크리트 온도'를 유지할 경우)	
	1, 2종 시멘트의 경우	기타의 경우*
1	하중재하가 없고, 노출되지 않은 곳	2
2	하중재하가 없고, 노출된 곳	3
3	부분적으로 재하가 되며, 노출된 곳	6
4	시공하중이 재하되는 곳	거푸집 존치기간 참조

\* 3종시멘트 또는 조강제를 사용하거나, 배합비보다 60kg/m<sup>3</sup>의 시멘트를 더 사용한 경우

2-3. 동해에 의한 콘크리트 성능 측정

동해에 의한 콘크리트 구조물의 성능을 예측하기 위해서는 콘크리트의 물시멘트비, 공기량 및 외기 온도, 물의 공급 정도 등을 성능저하 요인으로 해서 콘크리트의 동해 깊이를 성능저하의 지표로 하는 것이 좋다. 동해의 영향을 평가하기 위한 각 시험방법의 개요를 〈표 7〉에 나타내었다.

① 성능 저하에 의해 영향을 받는 성능

미관, 변형, 강도, 철근

② 성능저하지표

동해 깊이 강도저항

③ 성능 저하 증상

Pop-Out, 미세 균열, 스케일링, 변형

〈표 7〉 동해에 의한 성능평가 개요

수준	성능저하요인		성능저하 예측법	점검사항
	내적요인	외적요인		
골재가 동해를 받을 가능성	흡수율 안전성손실중량	-	▷ 골재의 물리검사 - 동해를 받을 가능성 흡수율 - 안전성손실 중량의 결과에 대한 판정	(골재의 물성시험) 흡수율 안전성손실중량
콘크리트가 동해를 받을 가능성	공기량 - 기포간격계수 - 세공경 분포	동결융해 횟수 최저 온도 물의 공급	▷ 동결융해시험 - 동해를 받을 수 있는 가능성 - 상대동탄성 계수 80% 이상 : 안정 80% 이하 : 불안정	(콘크리트의 동결융해시험) - 상대동탄성 계수 - 길이변화율
동해발생의 유무		동결융해 횟수 최저온도 물의 공급 염화물	▷ 실구조물의 콘크리트 물성조사 - 동해발생의 유무 : 표면강도, 초음파전파속도, 투기·투수성 등의 방법을 조합하여 종합적으로 평가	- 육안조사 - 반발경도법 - 초음파전파속도 - 투기·투수시험
동해깊이율			▷ 동해깊이율의 조사 - 내구성, 주변환경에의 영향성, 기능성, 내하성의 한계	- 스케일링깊이 - 코어채취 (세공경분포측정)

2-4. 초기동해

- ① 양생을 계속해도 목표 설계 강도의 75% 이상 발현이 어려움
- ② 급열 종료 후, 수분 공급이 계속되는 양생을 진행시켜야 함.
- ③ 강도 발현 종료 후, 소오 구조물의 안전 구조검토 필요.
- ④ 보강 방법(高價)

동해를 입은 콘크리트의 조직은 매우 이완되어 있어 내구성이 상당히 저하된다. 따라서 균열 주입과 표면처리공법 정도로는 적절한 보강이 안 되는 경우가 많으므로, 열화된 콘크리트부를 파취한 후 단면복구공법을 실시해야 한다. 물론 철근이 부식된 경우는 철근의 방청 처리까지 실시해야 한다.

2-5. 단면복구재료

단면복구에 사용되는 재료는 시멘트계의 단면복원재 및 수지계 단면복원재로 크게 나누어지고, 일반적으로는, 각각 폴리머시멘트모르터 및 경량에폭시모르터가 대표적인 재료로서 사용되고 있다.

(1) 폴리머시멘트모르터

시멘트모르터 중에 폴리머를 첨가한 것이고, KS F 4916(시멘트혼화용 폴리머 분산제)에 규정되어있는 시멘트혼화용 폴리머 분산제 및 재유화형 분말수지가 사용되고 있다.

일회의 복원 두께를 크게 하기 위해서 경량화한 모르터도 사용되고 있다. 또, 이들 모르터는 그 대부분이 프리믹스되어 사용되고 있다.

## (2) 경량에폭시모르터

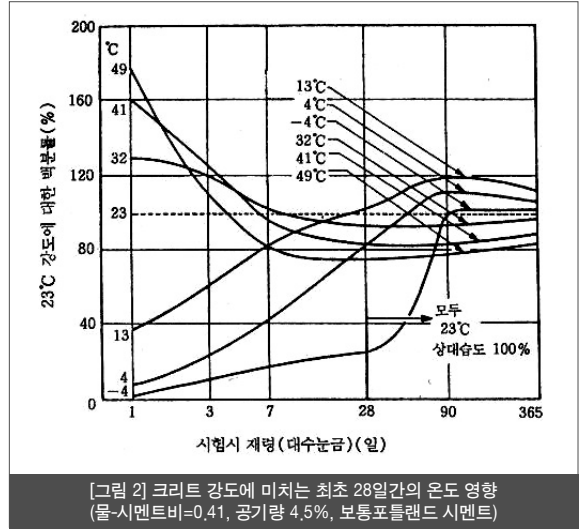
에폭시수지의 주재와 경화제를 각각 혼합한 2종류의 모르터 성분을 충분히 섞어서 사용된다. 골재에서는 속이 비어있는 경량골재를 사용해서 경량화하고 있다. 또, 프라이머도포가 되어 있는 경우에는 품질시험시에도 그 시공요령에 따라서 프라이머도포를 해서 평가되고 있다.

## 3 결론

한중 콘크리트의 공사에서 가장 중요한 Point 초기에 타설된 콘크리트가 소정의 강도(ACI, 35kg/cm<sup>2</sup>, 표준시방서, 50kg/cm<sup>2</sup>) 이상이 될 때까지 얼지 않아야 하는 것이다.

이를 위해서는 타설 전 콘크리트 온도가 일정온도 이상이 되어야 하며, 소정의 강도를 발휘할 수 있도록 일정 기간 동안 일정한 온도를 유지하여야 한다(〈표 1〉 참조).

초기 동해가 발생하면 첫째로, 급열 종료 후 수분 공급이 계속되는 양생을 진행시켜야 하며 둘째로 강도 발현 종료 후 소요 구조물의 안전구조 검토를 실시해야 한다. 보강 방법으로는 열화된 콘크리트부를 파취한 후 단면복구공법을 실시한다. 물론 철근이 부식된 경우는 철근의 방청 처리까지 실시해야 한다. S



### 참고문헌

1. 'ACI 306R' (Cold Weather Concrete)
2. 특수콘크리트시방서
3. 최신콘크리트공학, 한국콘크리트학회
4. 콘크리트 구조물의 성능 저하와 내구성, 한국콘크리트학회, 1992, 윤우현

