

동절기 공사를 위한 표면단열 양생방법의 실용화에 관한 연구

A Study on the Practicality of Surface Adiabatic Curing Method for Cold Weathering Construction

이 도 범*
Lee, Do Bum

최 일 호**
Choi, Il Ho

ABSTRACT

This study was carried out to examine application of surface adiabatic curing method in slightly cold weathering period. So, early aged freezing damage and compressive strength of concrete were examined through temperature analysis of construction concrete. Temperature analysis was carried out according to the average temperature, concrete placement completion time and surface adiabatic curing method.

Analysis results show that additional curing plans are demanded in concrete construction below 0°C, surface adiabatic curing method is could apply in the average temperature more than -2°C and curing method as heating are needed under -2°C.

1. 서론

국내의 동절기 콘크리트공사 시의 일반적인 콘크리트 보양방법은 현장의 가설재를 이용하여 상옥을 설치한 후, 그 내부는 갈탄 또는 열풍기를 사용하여 급열하는 공간가열방법이 가장 일반적으로 사용되고 있는 보양방법이다. 그러나, 이 공간가열방법은 힘든 작업여건과 투입비용(설치비용+연료비용)에 비해 낮은 보양효율 등이 큰 단점으로 지적되고 있다. 또한 매우 낮은 대기기온의 조건은 아니지만, 콘크리트 초기동해의 발생이 가능한 한중콘크리트 공사기간인 경우의 공간가열방법의 적용은 더욱 비효율적인 방법이라 생각된다. 이에 본 연구에서는 이러한 경미한 온도조건에서 표면단열 양생방법의 적용이 가능한 대기기온의 수준에 대한 검토를 목적으로 조건별 구조체 콘크리트의 전산온도해석을 통해 초기동해발생 및 추정 압축강도에 대한 검토를 수행하였다.

2. 전산온도 해석조건

동절기 표면단열 양생방법의 실용화에 대한 검토를 목적으로 슬래브 부재(외기에 가장 넓게 면하고 있어 동절기 보양 시 가장 취약한 부재로 판단)에 대한 콘크리트 온도해석을 위해 표 1과 같이 해석인자 및 수준을 결정하였다. 한중콘크리트공사 수행 시, 콘크리트의 초기동해발생과 강도발현지연에 영향을 미치는 가장 큰 요인은 낮은 대기기온으로 본 연구에서 대기기온의 수준은 시방서 기준에 따라 한중콘크리트공사로 수행해야 하지만 경미한 동절기의 시기로 판단되는 일평균기온 +4°C, +2°C,

* 정희원, 대림산업(주) 건축연구지원팀 팀장
** 정희원, 대림산업(주) 건축연구지원팀 주임연구원

0°C, -2°C 및 -4°C의 5수준으로 결정하였다. 한편, 일교차는 과거 기상자료 확인결과 8°C로 판단되어 일최저 및 일최고기온은 일평균기온에서 ±4°C 증감하는 변화를 갖도록 설정하였다. 따라서, 일최저기온은 오전 6시, 일최고기온은 오후 2시가 되도록 그림 1과 같이 설정하였다.

동절기에는 낮은 대기기온의 영향으로 시멘트의 수화반응이 지연되어 일반적으로 콘크리트 온도는 타설후 약 0.5일 이후부터 상승한다. 따라서, 한중콘크리트 공사시 콘크리트의 초기동해를 방지하기 위해서는 콘크리트 타설 후 0.5일 동안의 초기보양이 매우 중요하며, 이 시기에 대기기온의 영향을 가장 크게 받게 된다. 이에 콘크리트 타설종료 후의 보양기간 시 대기기온의 수준에 대한 영향을 고려하여 타설종료시간을 해석인자로 하여, 해석수준은 14시, 18시 및 22시로 설정하였다. 그리고, 표면단열 양생방법의 적용이 가능한 동절기 조건에 대한 검토를 목적으로 표면단열 양생조건을 해석인자로 하여 표면열전달계수 수준에 따라 노출, 부직포 및 단열재+부직포의 3가지로 설정하였다.

표 1 해석인자 및 수준

해석인자	해석수준				
	+4°C	+2°C	0°C	-2°C	-4°C
일평균 대기기온					
콘크리트타설 종료시간	14시	18시	22시		
표면단열 양생조건	양생1:노출(10kcal/m ² hr°C)				
	양생2:부직포(5kcal/m ² hr°C)				
	양생3:단열재(50t)+부직포(2.5kcal/m ² hr°C)				

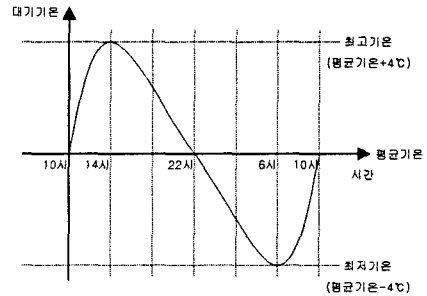


그림 1 시간별 설정온도

3. 전산온도 해석결과

3.1 일평균 대기기온에 따른 해석결과

14시 타설종료 및 양생1 조건에서의 일평균기온에 따른 재령별 콘크리트 온도이력 및 추정 압축강도는 그림 2 및 그림 3과 같다. 콘크리트 온도는 그림 2와 같이 일평균기온이 낮아짐에 따라 떨어져 일평균기온 0°C의 경우 재령 1.8일, 일평균기온 -2°C의 경우 재령 0.8일, 일평균기온 -4°C의 경우 재령 0.7일에 0°C 이하로 떨어졌다. 한편, 그림 3과 같이 동해방지강도를 확보하는데 소요되는 재령은 일평균기온 4°C, 2°C, 0°C, -2°C 및 -4°C에 각각 재령 1.5일, 1.8일, 2.0일, 2.3일 및 3.0일로 일평균기온 2°C 및 4°C의 경우에는 콘크리트 온도가 0°C 이하로 떨어지기 전에 5MPa의 압축강도를 확보하여 콘크리트의 초기동해가 발생하지 않을 것으로 판단되지만, 일평균기온이 0°C, -2°C 및 -4°C의 경우에는 동해방지강도를 확보하기 전에 콘크리트 온도가 0°C 이하로 떨어져 콘크리트의 초기동해가 발생할 위험이 클 것으로 판단된다. 따라서, 일평균기온 0°C, -2°C 및 -4°C의 경우에는 콘크리트의

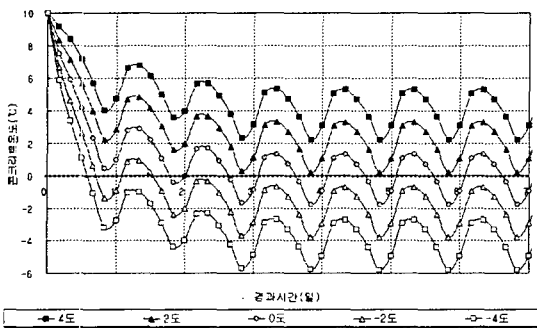


그림 2 일평균기온에 따른 콘크리트 온도이력

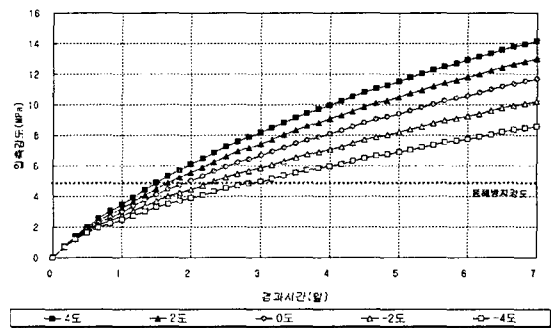


그림 3 일평균기온에 따른 콘크리트 압축강도

초기동해를 방지하기 위한 추가의 보양계획이 필요하다.

3.2 콘크리트 타설완료시간에 따른 해석결과

일평균기온이 -2°C 및 -4°C 이고, 표면단열 양생방법을 적용하지 않은 양생1 조건에서의 콘크리트 타설종료시간에 따른 콘크리트의 온도이력 및 추정 압축강도는 그림 4 및 그림 5와 같다. 일평균기온이 2°C 이상인 경우에는 콘크리트 온도가 0°C 이하로 떨어지기 전에 동해방지강도 5MPa 를 확보함에 따라 초기동해가 발생하지 않았으나, 일평균기온이 0°C 이하인 경우에는 동해방지강도를 확보하기 전에 콘크리트 온도가 0°C 이하로 떨어져 초기동해가 발생할 것으로 판단된다. 일평균기온 0°C 에는 콘크리트 타설종료시간이 14시, 18시 및 22시인 경우 각각 재령 1.8일, 1.7일 및 1.5일에 콘크리트 온도가 0°C 이하로 떨어졌고, 일평균기온 -2°C 및 -4°C 에는 타설종료시간이 14시, 18시 및 22시인 경우 각각 재령 0.8일, 재령 0.7일 및 재령 0.5일에 콘크리트 온도가 0°C 이하로 떨어져 타설종료시간이 늦어짐에 따라 초기동해 발생시점이 더욱 앞당겨지는 것을 알 수 있었다.

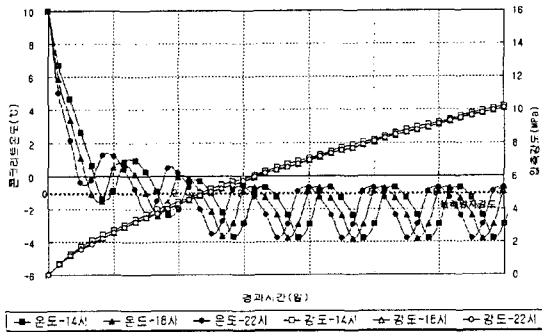


그림 4 타설종료시간별 온도이력/추정압축강도(-2°C)

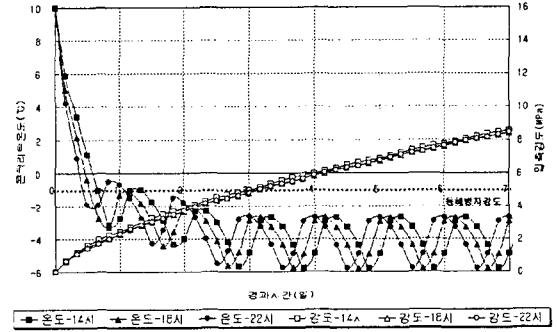


그림 5 타설종료시간별 온도이력/추정압축강도(-4°C)

3.3 표면단열 양생방법에 따른 해석결과

콘크리트 표면에 추가의 단열양생방법을 적용하지 않은 보양1 조건에서 초기동해가 발생하였던 일평균기온 0°C , -2°C 및 -4°C 의 경우, 콘크리트 타설종료시간 22시에 양생방법의 종류에 따른 콘크리트 온도이력 및 추정 압축강도는 그림 6~그림 8과 같다.

그림 6과 같이 일평균기온 0°C 의 경우, 열전달계수가 $10\text{kcal/m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}$ 인 양생1 조건에서는 콘크리트가 동해방지강도를 확보하기 전인 재령 1.5~1.8일에 콘크리트 온도가 0°C 이하로 떨어져 콘크리트의 초기동해가 발생할 것으로 판단되었으나, 열전달계수 $5\text{kcal/m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}$ 의 부직포를 덮는 양생2 조건 또는 열전달계수 $2.5\text{kcal/m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}$ 의 단열재(50t)와 부직포를 함께 덮는 양생3 조건의 적용 시에는 콘크리트가 동해방지강도를 확보한 후인 재령 2.5~2.8일 이후에 콘크리트 온도가 0°C 이하로 떨어져 콘크리트의 초기동해를 방지할 수 있었다. 즉, 콘크리트 표면에 열전달계수가 낮은 단열양생재료를 사용한 보양

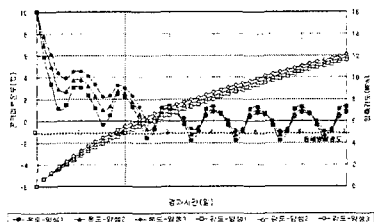


그림 6 보양방법별 콘크리트 온도이력 및 추정압축강도(0°C)

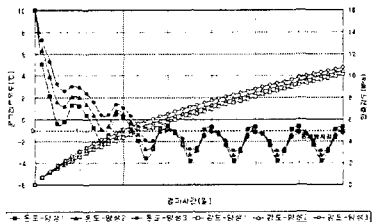


그림 7 보양방법별 콘크리트 온도이력 및 추정압축강도(-2°C)

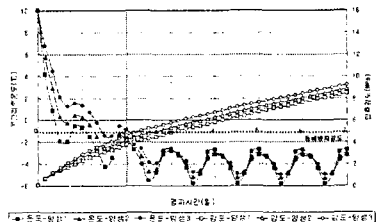


그림 8 보양방법별 콘크리트 온도이력 및 추정압축강도(-4°C)

(양생2 및 양생3) 시에는 콘크리트로부터 대기로 빼앗기는 열손실을 줄여 콘크리트의 온도강하속도를 지연시켜줌으로써 콘크리트 온도가 0℃ 이하로 떨어지기 전에 동해방지강도인 5MPa의 압축강도를 확보하여 초기동해방지가 가능하였다. 한편, 일평균기온 -2℃의 경우에는 그림 7과 같이 양생2 조건의 단열양생방법 적용 시에도 동해방지강도를 확보하기 전에 콘크리트 온도가 0℃ 이하로 떨어져 초기동해가 발생할 것으로 판단되었다. 그리고, 일평균기온 -4℃의 경우에는 그림 8과 같이 양생3 조건의 단열양생방법 적용 시에도 초기동해가 발생하였다. 따라서, 동절기 콘크리트 공사 수행 시, 슬래브의 표면에 단열양생방법의 적용이 가능한 시기는 일평균기온 -2℃(일최고기온 2℃, 일최저기온 -6℃) 이상인 것으로 판단되며, 일평균기온 -2℃ 미만의 경우에는 공간가열 또는 내부가열 등의 급열에 의한 보양계획이 필요할 것으로 판단된다.

3.4 시공조건별 초기동해 발생여부

일평균대기기온, 콘크리트 타설종료시간 및 표면단열 양생방법의 종류에 따른 해석결과에 근거하여 구조체 콘크리트의 초기동해 발생여부를 정리한 표 2와 같이 표면단열 양생방법의 적용이 가능한 시기는 일평균기온 -2℃ 이상이 적절할 것으로 판단된다.

표 2 해석조건별 초기동해 발생여부

양생방법 타설시간(시) 일평균기온	노출			부직포			단열재 +부직포		
	14	18	22	14	18	22	14	18	22
4℃	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2℃	×	×	×	×	×	×	×	×	×
0℃	○	○	○	×	×	×	×	×	×
-2℃	○	○	○	○	○	○	×	×	×
-4℃	○	○	○	○	○	○	○	○	○

4. 결론

본 연구에서는 동절기 콘크리트공사의 실용화를 목적으로 표면단열 양생방법에 대한 검토를 수행하였으며, 본 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 상부면을 노출시킨 구조체 콘크리트의 온도해석 결과, 일평균기온 0℃ 이하에서는 동해방지강도를 확보하기 전에 콘크리트 온도가 0℃ 이하로 떨어져 초기동해가 발생할 위험이 크다. 따라서, 일평균기온 0℃ 이하에 콘크리트를 타설하기 위해서는 초기동해방지를 위한 추가의 보양계획이 필요하다.
- (2) 상부면을 노출시킨 구조체 콘크리트의 온도해석 결과, 타설종료시간이 늦어짐에 따라 대기기온이 더욱 낮아져 콘크리트의 초기동해 발생시점이 더욱 앞당겨지는 것으로 보아 동절기 공사 시에는 콘크리트 타설종료시점을 앞당기도록 시공계획을 세워야 한다.
- (3) 슬래브에 표면단열 양생방법을 적용함에 따라 표면으로부터 대기로 빼앗기는 열손실이 줄어들어 노출조건에서 초기동해가 발생한 일평균기온 0℃ 및 -2℃의 경우에도 초기동해가 발생하지 않았으나, 일평균기온 -4℃의 경우에는 표면단열 양생방법을 적용하더라도 초기동해가 발생한 것으로 보아 일평균기온 -2℃ 미만의 경우에는 공간가열 또는 내부가열과 같은 급열에 의한 보양계획이 필요하다.
- (4) 일평균 대기기온, 콘크리트 타설종료시간 및 표면단열 양생방법에 따른 콘크리트 온도해석 결과, 표면단열 양생방법이 적용가능한 시기는 일평균기온 -2℃ 이상이 적절할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 양성철, "콘크리트재료의 열특성 및 수화열 해석", 콘크리트학회지, 제9권 2호, 1997. 4
2. 한민철 외 4인, "전산온도방식에 의한 콘크리트의 강도증진해석에 관한 연구", 대한건축학회학술대회논문집 제18권 1호, 1998. 4
3. 지남용 외 2인, "성숙도 개념을 이용한 한중콘크리트의 양생관리 프로세스에 관한 연구", 대한건축학회논문집 구조계 19권 10호, 2003. 10
4. 원철 외 1인, "수화열 해석프로그램을 이용한 한중콘크리트의 온도이력 검토", 대한건축학회논문집 구조계 20권 3호, 2004. 3