

전기발열시트 표면가열 양생공법의 현장적용 연구

An Experimental Study on the Application in-situ of Curing Method by Planar Surface Heater for Cold Weather Concreting

김형래*
Kim, Hyung-Rae

조호규**
Cho, Ho-Kyu

김찬수***
Kim, Chan-Soo

지남용****
Jee, Nam-Yong

Abstract

The purpose of this study is to analyze the curing effect of planar surface heater for concreting in cold weather. Some experiments were conducted to evaluate the temperature history of concrete structures cured with heating sheets.

Results are as follows ;

- (1) The temperature of concrete showed continuously rising trend with the heating by planar surface heater under the cold environmental condition of 3~-12°C. And after about 24 hours the maximum temperature of concrete was reached at 25~30°C.
- (2) The temperature of slab concrete heated by planar surface heater of 130W/m² was at least 25°C higher than that of an exterior air, and the curing performance was much more effective than heating by hot wind machine.
- (3) Through the curing by planar surface heater for 48 hours, the concrete maturity of about 1.5 times to heating by hot wind machine was acquired.

키워드 : 전기발열시트, 한중콘크리트, 보양방법, 온도이력, 열풍기

Keywords : Planar surface heater, Cold weather concreting, Curing method, Temperature history, Hot wind machine

1. 서론

동절기의 콘크리트 시공에 있어서 가장 중요한 2가지 목표는 콘크리트가 초기동해로부터 안전할 수 있는 압축강도인 50kgf/cm² 이상이 확보될 때까지 영하의 기온에 노출되지 않도록 보양해야 한다는 점과 공정계획대로 공사를 진행하기 위해 슬래브 거푸집의 탈형강도가 소요 재령에 확보될 수 있도록 양생되어야 한다는 점이다. 이를 위해 일반적으로는 타설된 골조의 주변을 보양천막으로 둘러싸고 그 내부공간을 급열하는 공법을 적용하고 있으며, 대체로 10~20°C의 급열공간온도를 3~4일간 유지하도록 권장하고 있다.

한편, 이와 같은 양생수준을 충족시키기 위한 급열방법으로서 기존의 방법들은 외기온이 일정한 수준 이하로 내려가는 경우, 적절한 양생조건을 유지시키는데 있어서 한계가 있으며 필요이상으로 넓은 공간을 가열하는데 따른 낮은 열효율과 에너지 낭비 등이 문제점으로 지적되고 있다. 게다가 여기에 직접 노출되는 슬래브 상부의 보양을 위해 강관비계와 방수천막에 의한 보양지붕의 설치는 필수적이며 경우에 따라서는 열풍기 등을 이용한 추가급열을 동반하므로, 가설재의

설치 및 관리를 위한 인원투입과 천막파손에 따른 재설치 및 양생효과의 신뢰성 저하 등 다양한 문제점을 내포하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 이와 같은 한중콘크리트 양생방법에 있어서의 문제점을 획기적으로 개선하고 적절한 품질관리가 가능하도록 함은 물론, 궁극적으로는 동절기 콘크리트 공사 수행을 통한 전반적인 공사비 절감이 가능한 새로운 개념의 한중콘크리트 양생공법을 검토하였다.

이를 위해 슬래브의 노출표면에 피복하여 기존의 양생방법에 비해 월등히 우수한 양생효과를 발휘할 수 있는 전기발열시트 양생공법을 개발하였으며, 현장시험적용을 통해 향후 적용가능성을 검토하였다.

2. 실험

2.1 실험개요 및 현장시공조건

현장실험을 위한 대상 현장은 서울 종로구 소재의 주상복합빌딩 신축현장으로서 지상 2층 바닥까지는 철근콘크리트 라멘조이고 그 이상의 상부층은 벽식구조로 되어 있었는데, 본 실험에서는 지상 2층의 전이층(Transfer Girder층)을 대상으로 하였다.

한편, 실험대상 슬래브의 기본적인 양생방법으로서 하부공간은 갈탄난로를 이용하여 약 10°C 수준이 유지되도록 하였

* 현대건설(주) 기술연구소 선임연구원

** 현대건설(주) 기술연구소 책임연구원

*** 현대건설(주) 기술연구소 책임연구원

**** 한양대학교 건축공학부 조교수, 공학박사

으며, 골조주변과 슬래브상부는 방수천막을 이용하여 보양지붕을 설치하고 콘크리트 표면에 비닐을 덮은 후 슬래브 상부의 보양공간 내부를 열풍기로 급열하였다.

전기발열시트가 적용된 부위는 전체 타설 대상 바닥슬래브의 외곽부로서 하부공간은 비교대상인 열풍기 급열부위와 동일한 갈탄난로로 급열하였고 슬래브 상부공간에는 보양지붕이 설치되었으나, 열풍기에 의한 급열효과는 거의 기대할 수는 없는 상태였으며 공간온도의 실측결과 외기온과 그다지 차이가 없는 것으로 확인되었다.

2.2 전기발열시트의 형상 및 발열 특성

본 실험에서 사용된 전기발열시트는 얇은 필름 형태의 면상발열체를 방수필름으로 코팅한 후 상부에 약 2~3mm 두께의 단열재를 부착하여 일체화시켜 제작된 시트 형상의 발열체이다.

전기발열시트의 폭은 약 90cm 이내에서 대상 슬래브의 형상에 따라 사전에 조정하여 적용할 수 있으며, 길이는 약 10m 이내에서 적절한 길이로 제작할 수 있다. 그러나, 실제 현장에서의 운반 및 설치와 관련된 작업성을 고려할 때, 약 5m 이내가 적절한 것으로 판단된다.

한편, 전기발열시트는 그림 1.에 나타난 바와 같이 바탕면이 직포(섬유시트)이고 직포의 폭방향 양쪽 단부에는 전극 역할을 하는 노출전선이 박음질되어 있다. 이와 같이 전선이 일체화된 직포에 전도성의 수지를 함침시켜 전원을 공급하였을 때 전도성 수지를 통해 전류가 흐르고 발열하는 원리이며, 열선을 매입한 형태의 발열시트와 달리 전체 시트면이 동시에 가열되고 동등하게 발열된다는 특징을 갖고 있다.

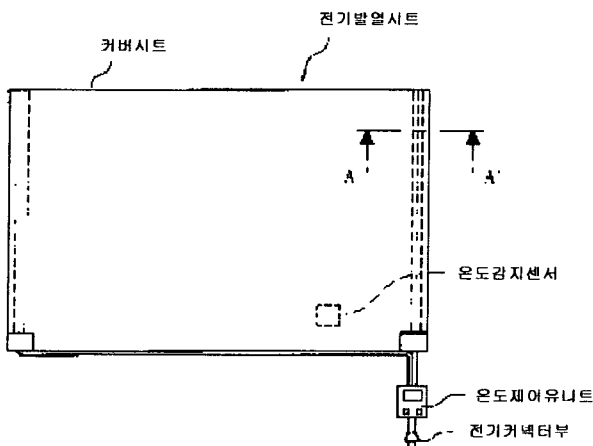


그림 1. 콘크리트 가열양생용 전기발열시트의 구성

2.3 실험조건

전기발열시트에 의한 현장 구조체 콘크리트의 양생효과 검토를 위한 조건으로서 전기발열시트의 발열용량은 사전실험을 통해 확인된 130W/m²로 하였으며, 적용대상 슬래브의 면적은 10m²로서 0.6m×2.4m인 전기발열시트를 대상으로 급열양생용 3매, 보온양생용 3매를 적용하였다. 또한, 비교 검토를 위해 일체의 급열이나 보온 조치를 하지 않은 노출구간과 열

풍기에 의한 급열구간을 실험대상으로 설정하였다.

콘크리트는 최대골재 크기 25mm, 호칭강도 240kgf/cm², 슬럼프 12cm인 레디믹스트 콘크리트를 사용하였으며, 콘크리트의 배합 및 재령별 압축강도 시험결과는 다음의 표 1.과 같다. 결합재로는 보통포틀랜드 시멘트와 플라이애쉬가 사용되었으며, 플라이애쉬 치환률은 15%였다.

표 1. 콘크리트의 배합표 및 압축강도 측정결과

W/C	S/A	W	C1	C2	S	G	AD	압축강도 (MPa)	
								7일	28일
52.0	48.0	169	276	49	849	927	1.63	20.8	27.0

2.4 실험방법 및 작업절차

전기발열시트의 현장적용방법은 콘크리트를 타설한 후 표면마무리를 할 때, 콘크리트 표면에 전기발열시트를 올려 놓고 3~4매로 1개의 전기회로를 구성하여 전원공급용 패널에 연결하였다.

전기발열시트 양생공법의 적용을 위한 현장작업절차는 다음과 같으며, 그림 2.에 설치상황을 나타냈다.

- ① 적용대상 바닥슬래브의 평면을 고려하여 전기발열시트의 Size를 결정한다
- ② 개별 전기발열시트를 두루마리 형태로 말아서 이동 및 보관한다.
- ③ 콘크리트 타설층에 전기발열시트를 이동시킨 후 콘크리트 타설 및 마무리 작업이 종료될 때까지 대기
- ④ 마무리된 콘크리트 타설면에 두루마리 상태의 전기발열시트를 올려놓고 펴면서 콘크리트 위에 잔다.



그림 2. 전기발열시트의 단부 처리방법

- ⑤ 인접부위에 대해서도 동일한 방법으로 전기발열시트를 깔고 마무리한다.
- ⑥ 전원연결부위에 대해 처리한다.
- ⑦ 콘크리트 표면으로부터 전기발열시트가 들뜬 부위에 대한 조치를 한다.
- ⑧ 전기발열시트의 전기적인 연결상태 등 사전 점검
- ⑨ 전체 시공대상 구간의 콘크리트 타설작업이 완료된 후에 전원을 공급한다.

⑩ 전기의 공급상태 및 발열시트의 온도상승 여부를 체크한다.

한편, 콘크리트 및 전기발열시트의 온도변화에 대한 실측을 위해 슬래브의 하부근과 상부근, 표면 부위에 열전대를 매입하였으며, 전기발열시트에도 열전대를 부착하였다.

3 실험결과 및 고찰

전기발열시트 급열에 따른 콘크리트의 온도이력을 그림 3.에 나타냈다. 그림에서 알 수 있듯이 외기온도 수준이 3~12℃로서 상당히 낮았으며, 전기발열시트로 급열하는 공간 주변의 온도가 외기온도와 거의 차이를 보이지 않았다. 이러한 혹한의 온도조건하에서 전기발열시트에 의한 급열개시 시점부터 콘크리트의 온도는 지속적인 상승 경향을 보였으며, 콘크리트의 수화발열과 외기온 상승 등의 영향으로 온도계측 후 약 24시간이 경과된 시점에서 최고 25~30℃ 정도의 온도를 나타냈다. 이는 대상부위의 콘크리트 타설시점으로부터 약 27시간 정도 경과된 시점이며, 전기발열시트 급열을 개시한 시점은 콘크리트 타설시점으로부터 약 8시간 경과된 시점에 해당된다.

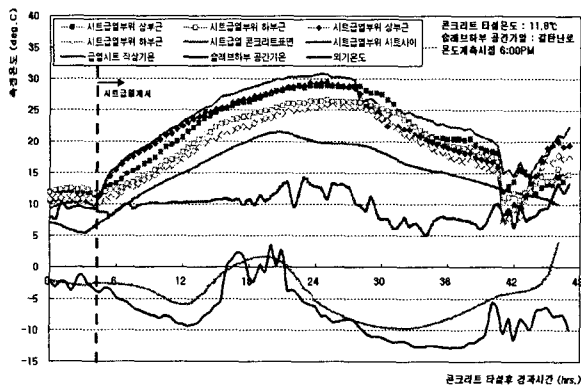


그림 3. 전기발열시트 급열에 의한 콘크리트 온도이력

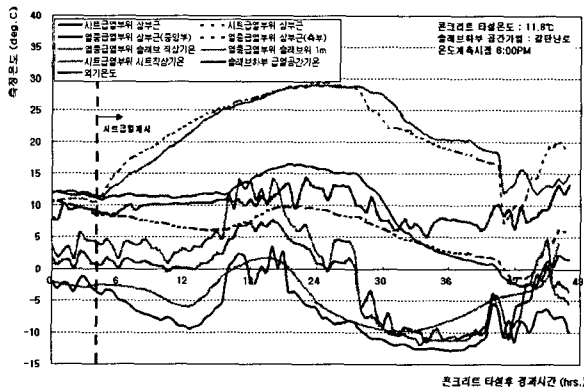


그림 4. 전기발열시트 급열과 열풍기 급열에 따른 콘크리트의 온도이력 비교

또한, 그림 4.에서 알 수 있듯이 전기발열시트 급열부위의 온도는 열풍기 급열부위에 비하여 약 15℃ 이상 더 높았으며, 외기온이 하강함에 따라 그 온도차이는 더욱 커지는 것으로 나타났다. 한편, 열풍기 급열부위의 경우에는 영하의 외기조건하에서 슬래브 직상부의 공간온도가 5℃를 넘기 어려운 것으로 나타났으며, 보양공간 내부에 있어서도 슬래브의 중앙부와 측부의 공간기온 및 콘크리트 온도에 큰 차이가 있어 열손실에 따른 비효율비가 매우 큼을 알 수 있다.

그림 5.는 콘크리트 표면에 전기발열시트를 덮은 후 전원공급에 의해 급열하는 경우와 급열하지 않고 시트에 의해 보온만 했을 때의 콘크리트 온도이력을 비교한 것으로서, 전기발열시트에 의한 급열을 통해 최대 15℃ 정도의 콘크리트 온도상승이 가능함을 알 수 있다. 게다가 그림 5.에서 알 수 있듯이 열풍기에 의해 급열하는 경우와 전기발열시트로 피복만 하는 경우 콘크리트의 온도이력에 큰 차이가 없는 것으로 나타나 전기발열시트 자체만으로도 상당한 수준의 보온효과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

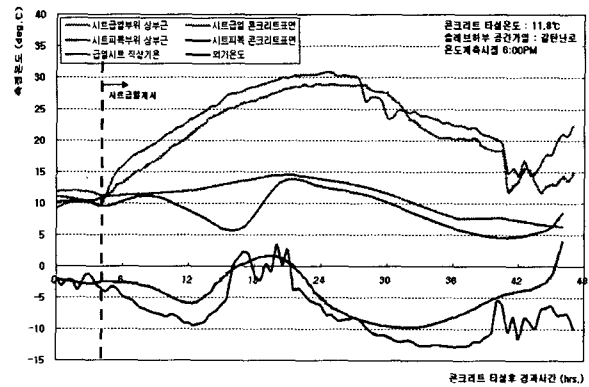


그림 5. 전기발열시트에 의한 급열 및 비급열 부위의 콘크리트 온도이력

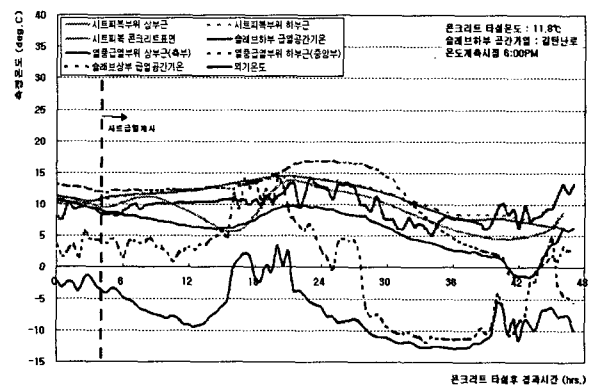


그림 6. 전기발열시트에 의한 보온양생효과

따라서, 슬래브 하부공간을 10℃ 수준으로 보양하는 조건하에서는 슬래브 상부공간을 열풍기로 급열하지 않고도 전기발열시트에 의한 보온효과만으로도 양생이 가능할 것으로 기대되며, 외기온의 수준과 구조체 콘크리트의 소요 강도 발현속도를 고려하여 전원공급을 통한 급열을 한다면 조기에 충분한 강도를 확보하는 것이 가능하며, 주간의 양중장비 가동

에 따른 과도한 전력소비를 고려하여 야간에만 급열하는 것도 가능한 것으로 판단된다.

한편, 시트와 시트 사이의 이격거리가 10cm 내외인 경우의 열전달에 의한 표면온도가 시트급열부위의 표면온도에 비해 10℃ 정도 더 낮게 나타났으나, 충분한 급열양생효과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

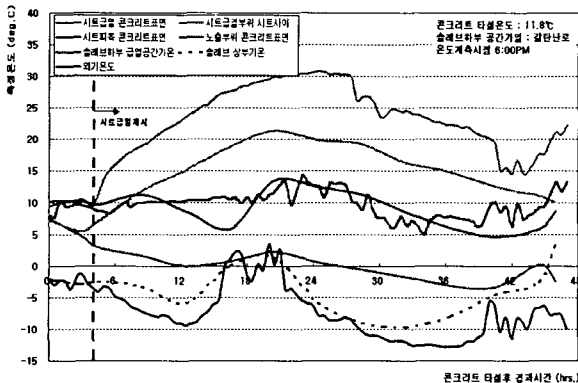


그림 7. 양생방법별 콘크리트 표면부의 온도이력 비교

4. 결 론

이상의 전기발열시트에 의한 양생공법의 현장실험 결과로부터 도출된 결론은 다음과 같다.

- 3~12℃의 낮은 외기온도 조건하에서 전기발열시트 급열에 의해 콘크리트의 온도가 지속적으로 상승하는 경향을 보였으며, 콘크리트의 수화발열과 외기온 상승 등의 영향으로 온도계측 후 약 24시간이 경과시점에서 25~30℃ 정도의 최고 온도를 나타냈다.
- 130W/㎡의 발열용량을 보유한 전기발열시트 급열에 의해 슬래브 콘크리트의 온도를 외기온도보다 25℃ 이상 더 높게 유지시키는 것이 가능하며, 열풍기 급열에 비해 15℃ 이상의 높은 양생효과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.
- 콘크리트 표면에 전기발열시트를 덮은 후 전원공급에 의해 급열하는 경우 급열하지 않고 보온만 하는 경우에 비해 최대 15℃ 정도의 콘크리트 온도상승이 가능하였다.
- 콘크리트 타설 후 약 48시간 동안의 보양결과, 전기발열시트 급열의 적용시 열풍기에 의한 급열방법에 비해 약 1.5배 또는 그 이상의 콘크리트 성숙도 확보가 가능한 것으로 판단된다.
- 전기발열시트를 콘크리트 표면에 덮는 작업의 절차 및 방법이 까다롭지 않고 강관비계와 방수천막의 설치, 비닐깔기 등의 작업에 비해 훨씬 더 용이할 뿐만 아니라, 시트 자체만으로도 콘크리트로부터의 수분 증발을 방지할 수 있으므로 다양한 기능을 충족시킬 수 있는 것으로 확인되었다.
- 전기발열시트의 적용을 위한 초기투입비용이 다소 많이 소요되더라도 동절기 동안의 전용횟수를 증대시키는 경우 노출 슬래브 상부의 기존 보양비용과 충분히 경쟁력이 있는

것으로 판단된다. 소비전력도 130W/㎡인 경우 24시간 통전시 3.12KWh/㎡의 전력을 소모하는 것으로 고려할 때, 열풍기 급열로 동일한 수준의 양생을 위해 소비되는 경유나 등유 및 관리인건비 등을 고려한 비용에 비해 비교될 수 없을 정도로 저렴한 것으로 판단된다.

5. 향후 활용방안 및 기대효과

전기발열시트에 의한 한중콘크리트 양생공법의 적용이 가능한 부재와 향후 활용방안은 다음과 같다.

5.1 적용 가능한 부재 및 부위

- 상부표면이 외기에 직접 노출되는 판상형 부재, 즉, 슬래브가 가장 적정함
- 건축물의 경우, 구조형식(라멘조, 벽식구조, 철골조)에 관계없이 모든 바닥슬래브에 적용 가능함
- 토목구조물에 있어서도 콘크리트 도로의 노면, 교량 등의 바닥상판, 박스구조물의 슬래브 등
- 현장에서의 PC 제작시 콘크리트 노출표면피복이나 강재거푸집의 표면부착을 통한 가열양생

5.2 기대효과

- 슬래브 상부의 공간가열을 위한 보양지붕 설치용 방수천막 및 강관비계, 표면건조방지용 PE필름, 급열을 위한 열풍기 등을 대체
- 기존 양생공법과 동일한 열량을 공급하여 얻을 수 있는 콘크리트의 압축강도 발현성이 월등히 높음
- 시트자체가 콘크리트 표면으로부터의 수분증발을 방지할 수 있는 방수시트로서 습윤양생 효과가 높음
- 저온기의 슬래브 거푸집 제거시기 단축을 위한 콘크리트 강도조기발현 및 그에 따른 골조공기단축

본 실험의 수행을 위한 전기발열시트는 (주)제오에너지의 협조 하에 제작되었으며, 본 연구에서 다룬 “전기발열시트에 의한 한중콘크리트의 양생공법”은 2002년 12월 특허출원되었음

참 고 문 헌

- 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서, 1999
- 대한건축학회, 건축공사표준시방서, 1999
- 日本建築學會, 寒中コンクリート施工指針同解説, 1989
- 洪悅郎, “RILEM 『寒中コンクリート施工指針』의附錄, Part I, II, III, IV”, 『セメント・コンクリート』, No.526-529, 1990.12-1991.3
- ACI Committee 306, Cold weather concreting