

# 발열양생을 적용한 PC 슬래브 콘크리트의 기초물성 및 적용성 평가

유한주\*, 고태훈\*\*

\*한양대학교 건설환경시스템공학과

\*\*한국철도기술연구원

kcdoc2@krri.re.kr

## Evaluation of Fundamental Properties and Applicability of PC Slab Concrete Applied Heating Form

Han-Ju Yoo\*, Tae-Hoon Koh\*\*

\*Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Hanyang University

\*\*Track & Trackbed Research Department, Korea Railroad Research Institute

### 요약

프리캐스트 콘크리트 제품의 제작과정에서 비용에 중요한 영향을 미치는 요소는 양생시간이다. 따라서 현재 프리캐스트 콘크리트를 생산하는 축진양생을 적용하는데 최근 취급이 용이하고, 경량화를 통해 작업성을 개선시킨 단순한 구성으로 제작된 발열시스템이 제안되었다. 따라서 제안된 발열시스템을 콘크리트 2차제품 중 슬래브패널에 적용하여 콘크리트의 기초 물성을 평가하였고, 기존의 축진양생법인 증기양생과의 비교를 통하여 현장에서의 적용가능성을 평가하였다. 기초물성 평가를 실시한 결과, 외기온도 5 °C 조건에서 모든 양생조건에서 28일 재령시 설계기준강도를 만족하였다. 압축강도 및 쪼갬인장강도가 발열양생(50°C)와 발열양생(40°C)가 우수한 결과를 보였으며, 발열양생(30°C)이 증기양생보다 낮은 강도 특성을 보였다. 따라서 초기에 강도를 발현시키고, 설계기준강도를 만족시킬 수 있는 40°C 이상의 발열 조건은 증기양생을 충분히 대체할 수 있을것으로 판단된다.

## 1. 서론

프리캐스트 콘크리트 제품의 제작과정에서 비용에 중요한 영향을 미치는 요소는 양생시간이다. 즉, 양생시간이 오래 걸리면 그만큼 제작비용이 늘어나는 원인이 된다. 그러나 겨울철과 같이 외부 온도가 낮을 경우에는 양생 시간이 오래 걸리기 때문에 제품의 생산기간 및 제작비용이 증가되는 문제가 발생한다. 따라서 현재 프리캐스트 콘크리트를 생산하는 대부분의 PC공장에서는 보다 짧은 시간으로 콘크리트의 초기 강도를 발현하기 위해 증기양생방법 또는 보온양생법을 적용 중에 있다. 이러한 축진양생방법은 전체 양생시간을 줄이는 효과는 있으나, 증기를 발생시키기 위하여 보일러를 가동해야 하거나, 보온을 위한 에너지를 필요로 하므로 화석연료 사용에 의한 대기오염 등이 문제시 되고 있다. 상기와 같은 문제를 해결하고자 콘크리트를 양생하는 데 있어 마이크로파에 의한 발열거푸집을 이용한 콘크리트 축진양생 기술이 제안된 바 있다. 마이크로파 축진양생 기술은 마이크로파 제너레이터를 통해서 발생된 마이크로파가 공진박스 내부에서 난반사되어 시스템내부의 발열체를 급속적으로 발열시킨 후,

콘크리트의 품질 확보 및 양생을 촉진 시킬 수 있는 최적 온도(35~55°C)의 열을 지속적으로 거푸집 내부로 전달시켜 콘크리트 구조물의 강도 확보와 급속시공 모두를 가능하게 한 신기술이다. 그러나 발열체로의 마이크로웨이브의 일정한 전달이 쉽지 않아 전체적으로 균일한 발열이 이루어지지 않는 문제가 있었으며, 마이크로웨이브 발생부의 고장이 발생 할 경우에는 전체 시스템이 작동되지 않아 시공 불량 발생 가능성이 있었고, 또한 발열 시스템의 무게 및 부피가 과도하게 커서 실제 현장에서는 취급성, 작업성이 좋지 않은 문제가 있었다. 이를 해결하기 위하여 취급이 용이하고, 경량화를 통해 작업성을 개선시킨 단순한 구성으로 제작된 발열시스템이 제안되었다. 따라서 제안된 발열시스템을 콘크리트 2차제품 중 슬래브패널에 적용하여 콘크리트의 기초 물성을 평가하였고, 기존의 축진양생법인 증기양생과의 비교를 통하여 현장에서의 적용가능성을 평가하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 발열시스템의 개요

새로 고안된 발열시스템은 발열히터와 알루미늄의 전도판, 단열재로 이루어진 단순한 구성의 발열시스템으로, 자유로운

크기와 형상, 경량화를 통한 용이한 시공성을 갖는다. 또한 기존의 마이크로웨이브 발열거푸집에 비해 제작공정이 간단하고, 제조비용 절감이 가능하다는 장점이 있다.

### 2.2 실험계획

발열시스템을 적용한 콘크리트의 기초물성 평가를 위하여 평가대상으로 그림1과 같이 제원 2,400×1,000×200(mm)의 PC 슬래브 거푸집을 선정하였으며, 발열시스템은 거푸집 하부 표면에 일정간격으로 부착하였다. 콘크리트 배합은 설계기준 강도 24MPa, 슬럼프 150mm 의 배합을 사용하였다. 현장테스트는 외기온도 5 °C 환경에서 진행되었다. 발열양생의 경우 30, 40, 50 °C의 온도조건으로, 변화시키며 양생을 실시하여, 발열온도에 따른 콘크리트의 기초물성 발현효과를 평가하였고, 증기양생의 경우 일반적으로 사용되는 65 °C로 양생온도를 설정 하였다. 발열 거푸집의 양생 Cycle은 발열단계 2시간-유지단계 12시간-냉각단계 5시간으로 구성되었으며, 증기양생의 Cycle은 전치단계 2시간-승온단계 2시간-유지단계 6시간-냉각단계 9시간으로 구성되었다. 양생온도 및 양생주기는 다음 표1과 같다.



[그림 1] PC 슬래브 거푸집

[표 1] 조건별 양생이력 및 양생온도

	전치	발열	유지	냉각	최고온도(°C)
발열양생	-	2	12	5	50
					40
					30
증기양생	2	2	6	9	65

### 2.3 실험방법

발열양생 및 증기양생을 통해 제작된 콘크리트의 기초물성 평가를 위해 압축강도, 쪼갠인장강도, 그리고 양생 간 콘크리트 내부의 수화열을 측정하였다.

압축강도는 그림2와 같이 제작된 슬래브에서 채취한 코어시편을 활용하여 KS F 2405(콘크리트 압축 강도 시험방법)에 따라 양생일 4, 14, 28일에 측정하였으며, 각 3개의 시편을 측정하여 평균값으로 나타냈다. 쪼갠인장강도는 KS F 2423 (콘

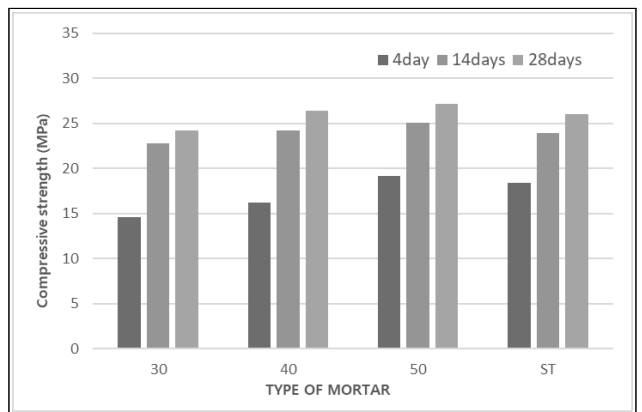
크리트 쪼갠 인장 강도 시험방법)에 따라 압축강도와 동일하게 양생일 4, 14, 28일에 측정하였으며, 각 3개의 시편을 측정하여 평균값으로 나타냈고 증기양생 콘크리트와 비교 평가하였다. 수화열은 슬래브의 중심부 포함 3곳에 온도센서를 설치하여 양생간 수화열을 측정하였다.



[그림 2] 기초물성평가를 위한 코어시편 채취

## 3. 실험결과

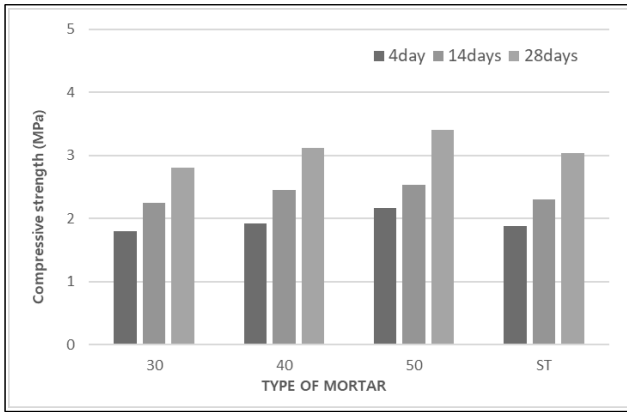
발열 및 증기양생을 통해 제작된 콘크리트 시편의 압축강도는 양생일이 증가함에 따라 모든시편이 증가 하는 것을 확인하였으며, 모든 양생일에서 압축강도는 발열양생(50°C) > 발열양생(40°C) > 증기양생 > 발열양생(30°C) 순으로 높게 나타났다. 또한 모든 양생조건에서 28일 재령시 설계기준강도를 만족하였다. 압축강도 결과는 다음 그림 3과 같다. 따라서 조기에 강도를 발현시키고, 설계기준강도를 만족시킬 수 있는 40°C 이상의 발열조건은 증기양생을 충분히 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 쪼갠인장강도는 압축강도와 같이 발열양생(50°C) > 발열양생(40°C) > 증기양생 > 발열양생(30°C) 순으로 높게 나타났으며 그결과는 그림 4와 같다.



[그림 3] 양생기간 및 양생조건에 따른 압축강도

수화열 계측결과 증기양생 경우 최고 온도 78°C를 확인하였으며 발열양생 50°C 조건에서는 최고 온도 68°C, 발열양생

40℃ 조건에서는 최고 온도 63℃, 발열양생 30℃ 조건에서는 57℃를 나타냈다. 최고온도는 증기양생 부재에서 측정되었지만. 최고점 도달 시간은 발열양생이 증기양생에 비해 빠르게 도달하였다. 이로 인해 발열양생의 압축강도 및 쪼갬인장강도의 초기강도가 증기양생보다 높게 나오는 것으로 판단된다. 발열양생(50℃)와 발열양생(40℃)의 경우 증기양생에 비해 최고 온도가 낮았음에도 불구하고 높은 강도특성을 나타낸 것을 알 수 있다.



[그림 4] 양생기간 및 양생조건에 따른 쪼갬인장강도

#### 4. 결론

양생시간 및 양생온도에 따른 발열양생 및 증기양생 콘크리트의 기초물성 평가를 실시한 결과, 외기온도 5℃ 조건에서 압축강도 및 쪼갬인장강도가 발열양생(50℃)와 발열양생(40℃)가 우수한 결과를 보였으며, 발열양생(30℃)이 증기양생보다 낮은 강도 특성을 보였다. 그러나 수화열의 경우 증기양생을 실시한 부재에서 가장 높은 온도를 보였으나, 최고점 도달 시간은 발열양생이 증기양생에 비해 빠르게 도달하였다. 이로 인해 발열양생의 압축강도 및 쪼갬인장강도의 초기강도가 증기양생보다 높게 나오는 것으로 판단된다. 따라서 조기에 강도를 발현시키고, 설계기준강도를 만족시킬 수 있는 40℃ 이상의 발열조건은 증기양생을 충분히 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 외기조건에 따라 수화열발현이 상이할 것으로 판단되며, 다양한 외기조건에 따른 최적의 발열온도 조건을 제시하기 위해서는 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

[1] 고태훈, 황선근, 문도영, 유정훈, 송진우, 고지수, “마이크로웨이브 발열거푸집을 적용한 콘크리트의 조기강도 발현특성”, 한국철도학회논문집, 17(5), pp. 365-372, 10월,

2014년.

[2] 고태훈, “Fast Concrete Curing Technology for Railway Construction”, Special Session, KRRI International Seminar, 2013.  
 [3] 고태훈, 유정훈, 송진우, 고지수, “마이크로웨이브 발열거푸집을 이용한 양생온도 별 콘크리트의 조기강도 평가”, 한국콘크리트학회 가을학술대회 논문집, pp. 41-42, 2013년