



콘크리트포장의 초기 열팽창계수 및 건조수축 측정 연구

Measurement of the Early-Age Coefficient of Thermal Expansion and Drying Shrinkage of Concrete Pavement

윤 영 미* 서 영 찬** 김 형 배***

Yoon, Young Mi Suh, Young Chan Kim, Hyung Bac

Abstract

Quality control of the concrete pavement in the early stage of curing is very important because it has a conclusive effect on its life span. Therefore, examining and analyzing the initial behavior of concrete pavement must precede an alternative to control its initial behavior. There are largely two influential factors for the initial behavior of concrete pavement. One is the drying shrinkage, and the other is the heat generated by hydration and thermal change inside the pavement depending on the change in the atmospheric temperature. Thus, the coefficient of thermal expansion and drying shrinkage can be regarded as very important influential factors for the initial behavior of the concrete. It has been a general practice up until now to measure the coefficient of thermal expansion from completely cured concrete. This practice has an inherent limitation in that it does not give us the coefficient of thermal expansion at the initial stage of curing. Additionally, it has been difficult to obtain the measurement of drying shrinkage due to the time constraint. This research examined and analyzed the early drying shrinkage of the concrete and measurements of the thermal expansion coefficients to formulate a plan to control its initial behavior. Additionally, data values for the variables of influence were collected to develop a prediction model for the initial behavior of the concrete pavement and the verification of the proposed model. In this research, thermal expansion coefficients of the concrete in the initial stage of curing ranged between $8.9\sim 10.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Furthermore, the effects of the size and depth of the concrete on the drying shrinkage were analyzed and confirmed.

Keywords : concrete pavement, coefficient of thermal expansion, drying shrinkage

요 지

콘크리트포장은 시공초기의 품질관리수준에 따라 전체수명이 결정될 정도로 시공초기의 품질관리가 매우 중요하다. 이러한 초기 품질관리는 콘크리트포장의 초기거동을 잘 파악하여 초기거동을 조절할 수 있는 방안을 도출하는 것이 중요하다. 콘크리트포장의 초기거동에 영향을 주는 요소는 크게 두 가지가 있다. 첫째는 콘크리트의 건조수축이고, 두 번째는 수화열 및 대기온도 변화에 따른 포장체의 온도변화이다. 따라서, 콘크리트의 열팽창계수와 건조수축은 콘크리트의 초기거동에 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 지금까지의 열팽창계수는 완전히 양생된 콘크리트에 대해 실험하는 것이 일반적이었기 때문에 시공초기에 열팽창계수를 얻는데 한계가 있어 왔다. 또 건조수축도 시간방법의 한계로 초기 건조수축을 측정하는데 어려움이 있어 왔다. 본 연구에서는 콘크리트포장의 초기거동을 조절할 수 있는 방안을 도출하기 위하여, 콘크리트의 초기 건조수축과 열팽창계수를 측정하고 이를 통해 콘크리트포장의 초기거동 예측프로그램의 입력변수들과 적용 모델들에 대한 자료제공 및 검증에 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적을 두었다. 본 연구에서 얻은 결론은 현장에서 초기 콘크리트의 열팽창계수 값을 측정할 결과 $8.9\sim 10.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 값을 나타내었으며, 콘크리트의 건조수축에 있어서 깊이별 effect와 size effect가 존재하는 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 콘크리트포장, 열팽창계수, 건조수축

* 정회원 · (주)로드코리아 사업개발실 대리 · 공학석사

** 정회원 · 한양대학교 교통공학과 교수 · 공학박사

*** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원



1. 서론

콘크리트포장에서 시공초기의 품질관리는 그 포장의 장기공용성에 큰 영향을 미친다. 따라서 콘크리트 포장의 초기거동을 잘 파악하여 초기거동을 조절할 수 있는 방안을 도출하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 콘크리트포장의 초기거동을 조절할 수 있는 방안을 도출하기 위하여, 콘크리트의 초기 건조수축과 열팽창계수를 측정하고 이를 통해 콘크리트포장의 초기거동 예측을 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적을 두었다.

2. 실험계획의 수립

현재까지 우리나라에서는 현장이 아닌 실내실험으로만 열팽창계수를 구하고자 하는 연구를 진행하였다. 그러나 실내실험은 어느 정도 양생된 콘크리트모드를 챔버안에서 인위적으로 온도를 변화시키며 얻은 값으로써 현장에서의 초기 콘크리트포장에 그 값을 적용하는데에는 많은 한계가 있다.

또한 건조수축은 콘크리트의 고유특성을 나타내는 것으로 크리프와 함께 시간의존적인 거동을 나타내며, 콘크리트 중의 자유수가 건조함으로써 수축이 발생하게 된다. 콘크리트의 건조수축은 크기와 형상에 따른 현상이지만 관련 시험규격에서는 크기변수에 대한 실험이 이루어지지 않았으며, 일반적으로 한국공업규격에 제시된 시험체(100×100×400mm)에 매립형 게이지를 사용하여 경화수축 또는 건조수축에 대한 실험이 이루어지고 있다. 그러나 매립형 게이지의 표점길이(gauge length)가 작기(10~20cm) 때문에 게이지에 의한 결과와 실제의 차이에 대한 규명이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

따라서, 본 연구는 실내실험이 아닌 현장에서의 콘크리트포장의 초기거동시 열팽창계수 및 건조수축을 측정하기 위한 기초연구로써 시공현장에서 당일날 사용된 콘크리트배합을 사용하여 몰드를 제작 후 게

이지를 설치하여 각 지점에서의 열팽창계수 및 건조수축의 변화를 측정하였다.

3. 콘크리트포장의 현장 열팽창계수 측정 실험

3.1 실험재료 및 장비

본 연구를 수행하기 위한 실험재료 및 장비는 다음과 같다.

3.1.1 스트레인 게이지

본 실험은 KM-100B 스트레인 게이지를 사용하여 수행하였으며, 이 게이지는 콘크리트, 합성수지 등이 경화한 상태는 물론, 그 경화과정에 있어서의 스트레인까지도 측정할 목적으로 개발된 매립형 변형률계이다. 또한 외관탄성계수가 약 $40\text{N/mm}^2(400\text{kgf/cm}^2)$ 로 극히 작기 때문에, 콘크리트 타설직후부터의 측정이 가능한 것으로 절연성은 극히 높고, 흡습에 의한 팽윤 등도 생기지 않는 구조로 되어 있기 때문에, 고정도에서 strain 측정을 할 수 있어 본 실험에 사용하기에 적합하다고 판단하였다.

3.1.2 데이터 로거

스트레인 게이지를 측정하기 위한 데이터 로거는 TDS-303을 사용하여 측정하였다. TDS-303은 strain gauge를 비롯하여 직류전압이나 열전대, 백금측온저항체 등의 다점의 자동절환측정을 목적으로 한 data logger이다.

3.1.3 몰드 거푸집

현장에서의 초기콘크리트에서 변화되는 열팽창계수 및 건조수축을 측정하기 위하여 그림 1, 2와 같이 깊이별 effect 측정용 몰드 거푸집 한 개와 size effect를 측정하기 위한 몰드 거푸집 세 개를 제작하였다. 깊이별 effect 측정용 몰드 거푸집은 외경 500×200×340mm의 크기로 아크릴을 이용하여 제작하



였으며, size effect 측정용 몰드는 외경 75×75×200mm와 100×100×200mm 그리고 125×125×200mm size의 총 세 개 몰드 거푸집을 아크릴을 이용하여 제작하였다.

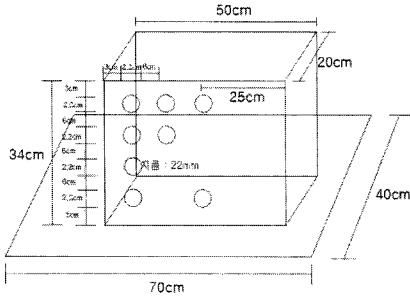


그림 1. 깊이별 effect 측정용 몰드

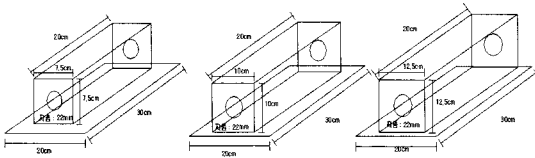


그림 2. size effect 측정용 몰드

3.1.4 i-button 및 거치대

초기재령 콘크리트의 내부온도변화를 측정하기 위하여 i-button을 사용하였으며 콘크리트 몰드의 상, 중, 하부의 온도를 측정하기 위하여 거치대를 사용하였다(그림 3). i-button은 무인계측을 할 수 있으며 측정시간 간격은 사용자가 자유롭게 선택가능하다 (박대근, 2002).

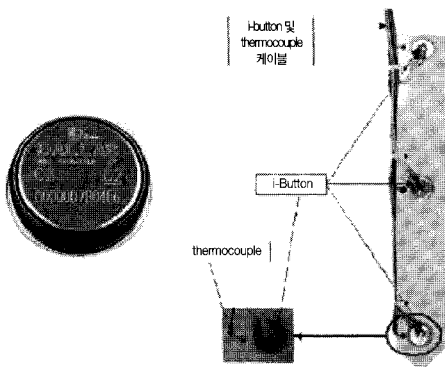


그림 3. i-Button(좌측)과 거치대(우측)

3.2 실험방법

본 연구에서 콘크리트의 열팽창계수 및 건조수축측정실험은 두 가지 방법으로 실시하였다.

첫 번째는 깊이별 effect 측정실험으로써 당일날 시공현장에서 사용하는 콘크리트를 이용하여 몰드를 제작후 현장에서 양생시키면서 각 깊이별로 설치된 게이지를 통하여 열팽창계수 및 건조수축을 도출하는 것이다.

두 번째는 size effect 측정실험으로써 75×75×200mm와 100×100×200mm 그리고 125×125×200mm의 size로 제작된 몰드에 현장 콘크리트를 채워넣어 스트레인 게이지를 통하여 각각의 열팽창계수 및 건조수축의 변화패턴을 도출하는 것이다.

3.2.1 깊이별 effect 측정실험

본 실험에서는 콘크리트에서의 열팽창계수를 측정하는데 있어 스트레인 게이지(KM-100B)를 사용하여 실험을 수행하였다.

몰드를 이용한 깊이별 effect 측정 실험실행과정은 다음과 같다.

- ① 아크릴을 이용하여 몰드(500×200×340mm) 사전제작
- ② 제작된 몰드에 게이지 거치대 설치
- ③ 제작된 거치대에 시공당일 현장 콘크리트 채워 넣어 몰드 완성
- ④ 제작된 몰드에 온도계측을 위해 i-button 묻기
- ⑤ 양생되는동안 5분 간격으로 strain 및 온도변화측정
- ⑥ 몰드제작후 4시간 뒤에 슬래브 단부의 거동모사 위해 한쪽 단면탈형

3.2.2 size effect 측정실험

본 실험에서는 각각 75×75×200mm와 100×100×200mm 그리고 125×125×200mm의 size로 제작된 몰드에 현장 콘크리트를 채워 넣어 스트레인



게이지를 통하여 각각의 열팽창계수 및 건조수축을 측정하였다.

몰드를 이용한 size effect 측정실험 진행과정은 다음과 같다.

- ① 아크릴을 이용하여 size별 몰드(75×75×200mm, 100×100×200mm, 125×125×200mm)사전제작
- ② 제작된 몰드에 게이지 거치대 설치
- ③ 제작된 거치대에 시공당일 현장 콘크리트 채워 넣어 몰드 완성
- ④ 제작된 몰드에 온도계측을 위해 thermocouple 묻기
- ⑤ 양생되는동안 5분 간격으로 strain 및 온도변화측정
- ⑥ 몰드제작후 4시간 뒤에 슬래브 단부의 거동모사 위해 한쪽 단면탈형

4. 실험의 결과

본 연구는 실내실험이 아닌 콘크리트포장의 현장 열팽창계수와 건조수축 및 시간에 따른 변화를 측정값을 통해 분석하였으며, 분석결과는 다음과 같다.

열팽창계수 및 건조수축은 초기 24시간동안 큰 패턴으로 변화하다가 그 이후부터는 일정한 패턴을 나타내며 온도에 따라 변화하는 양상을 나타내는 것으로 분석되었으며 건조수축에 있어서 깊이별 effect 및 size effect는 존재하는 것으로 분석되었다.

4.1 깊이별 effect 측정실험 결과

몰드 제작은 약 1시간동안 제작되었고 양생제는 몰드 제작후 살포하였다. 게이지 매설후 위치별로 ID를 부여하여 측정과 동시에 스트레인 변화를 실시간 확인할 수 있도록 하였다(그림 4). 콘크리트포장의 한쪽 단부의 변화를 나타내기 위해 몰드 제작후 4시간 이후에 몰드의 한쪽만을 탈형한 후 온도발산을 막기 위해 스티로폼을 덧대었다. 시공당일 날씨는 구름이

거의 없고 아주 맑은 날이었으며 바람이 많이 불었다. 실험에 사용된 당일 콘크리트 현장배합은 표 1과 같다. 시간에 따른 스트레인 변화 패턴 분석은 몰드 제작후부터 21일까지의 변화를 나타내었다.

본 연구에서 행한 실험에서는 온도범위가 크기 때문에 스트레인 게이지의 온도보정을 필요로 했다. 보정방법은 식(1)과 같으며 이때 스트레인 게이지 자체의 열팽창계수는 각 10.0~10.9×10⁻⁶/℃ 값을 나타냈으며, 아래 식 (1)을 통해 콘크리트의 열팽창계수를 계산하였다(김진철 외, 2003).

$$\alpha_c = \frac{\epsilon_c + \Delta T \times \alpha_{sg}}{\Delta T} \quad \text{식 (1)}$$

여기서, α_c , α_{sg} : 콘크리트 및 스트레인 게이지의 열팽창계수 ($\mu\epsilon/\text{℃}$)

ϵ_c : 콘크리트의 변형률 ($\mu\epsilon$)

ΔT : 온도변화(℃)

위와 같이 실험에 나온 data를 분석한 결과 콘크리트 포장의 온도변화에 따른 변형률 변화패턴은 그림 5에서 보는 바와 같은 양상으로 나타났으며, 그래프의 X축은 시간에 따른 온도변화를 나타낸 것이고 Y축은 시간에 따른 strain 변화를 나타낸 것이다.

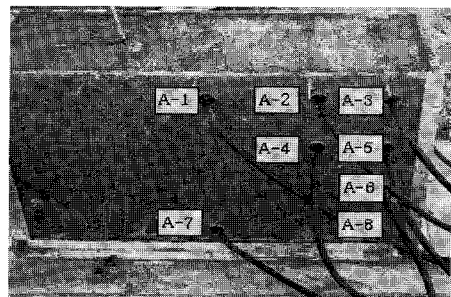


그림 4. 게이지 매설후 위치별 ID 부여

표 1. 실험에 사용된 콘크리트의 현장배합표 (1m²)

설계 기준 강도	골재 최대 치수	슬럼프 범위	공기 량 범위	단위 수량	W/C	S/A	단위 세골 재량	단위 조골 재량	단위 시멘 트량	혼화제
kg/cm ²	mm	cm	%	kg/m ³	%	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
45	32	2.5	4.5±1.5	129	38.4	39.7	767	1119	337	1.01

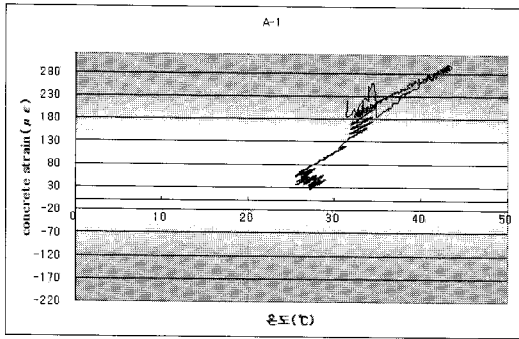


그림 5. 깊이별 온도변화에 따른 변형을 변화패턴(A-1)

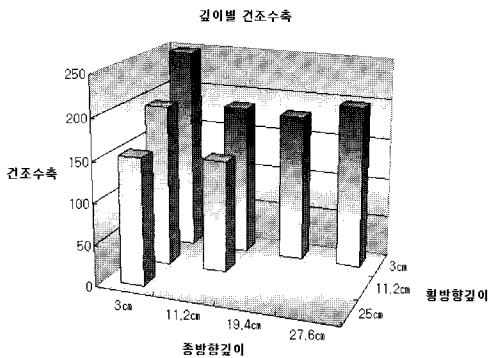


그림 6. 초기 21일 동안의 깊이별 건조수축

실험결과 각 깊이별 열팽창계수의 평균값은 $9.38 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 였다. 참고로 기존 실내실험에서 얻어진 일반적인 콘크리트 시편의 열팽창계수는 $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 으로써 약간의 차이가 있는 것으로 나타났다. 깊이별 건조수축은 그림 6에서 보는 바와 같이 단부의 상부에서 가장 큰 값을 보였으며 몰드의 중앙부로 갈수록 또 상부에서 하부로 갈수록 그 값이 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 표면의 단부(A-3)와 표면 중앙부(A-1)의 21일 건조수축량이 각 $249 \times 10^{-6}\text{strain}$ 과 $154 \times 10^{-6}\text{strain}$ 으로 약 $90 \times 10^{-6}\text{strain}$ 정도 차이를 나타내는 것으로 분석되었다. 또한 단부 하부(A-8)의 21일 건조수축량은 $180 \times 10^{-6}\text{strain}$ 으로 상부와 약 $70 \times 10^{-6}\text{strain}$ 정도의 차이를 나타내는 것으로 분석되었다.

4.2 size effect 측정실험 결과

size effect 측정실험을 위한 몰드는 깊이별 측정실험과 동일하게 제작되었고 양생제는 몰드 제작 직후 살포하였다. 또한 콘크리트포장의 한쪽 단부의 변화를 나타내기 위해 몰드 제작후 4시간 뒤에 গে이지 매설부분 한쪽만을 탈형하여 양생하였다(그림 7). 시간에 따른 스트레인 변화 패턴 분석은 몰드 제작 후부터 21일까지의 변화를 나타내었다.

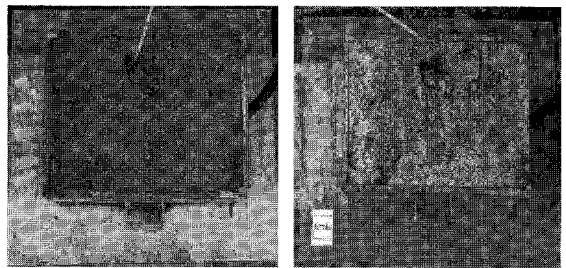


그림 7. 완성된 몰드와 한쪽 단부 탈형후 몰드 (100×100×200mm)

size 변화에 따른 열팽창계수 및 건조수축변화를 분석한 결과 size에 따른 초기재령에서의 콘크리트 열팽창계수 및 건조수축은 차이가 나타나는 것으로 분석되었다.

콘크리트 포장의 건조수축의 size effect는 가장 작은 size에서의 21일 건조수축량이 $209 \times 10^{-6}\text{strain}$ 으로 가장 큰 값을 나타내었으며, 가장 큰 size에서의 21일 건조수축량이 $134 \times 10^{-6}\text{strain}$ 로 가장 작은 size의 약 $70 \times 10^{-6}\text{strain}$ 의 차이를 나타내는 것으로 분석되었다. 이를 통해 콘크리트포장에서 초기건조

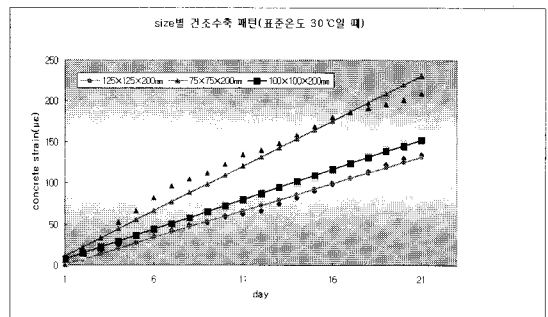


그림 8. size별 건조수축 변화 패턴(표준온도 30℃일 때)



수축에 size effect가 존재하는 것으로 분석되었다.
그림 8은 size에 따른 건조수축량의 변화를 나타낸 것이다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구의 범위내에서 콘크리트의 현장 열팽창계수 및 건조수축측정 연구를 위한 다양한 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 현재 국내에서 사용하는 열팽창계수는 실내실험에 의한 값으로써 초기콘크리트의 열팽창계수값을 나타내는데에는 한계점을 가지고 있어 현장에서 초기 콘크리트의 열팽창계수값을 측정할 결과 $8.9 \sim 10.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 값을 나타내는 것으로 나타났다.
2. 콘크리트포장의 건조수축의 깊이별 effect는 단부의 상부에서 가장 크게 나타났으며, 단부 표면의 상부와 표면 중앙부의 21일 건조수축양이 각 249×10^{-6} strain과 154×10^{-6} strain으로 약 90×10^{-6} strain정도 차이를 나타내는 것으로 분석되었다. 또한 단부 하부의 21일 건조수축양은 180×10^{-6} strain으로 상부와 약 70×10^{-6} strain정도의 차이를 나타내는 것으로 분석되었다.
3. 콘크리트 포장의 건조수축의 size effect는 가장 작은 size에서의 21일 건조수축양이 209×10^{-6} strain으로 가장 큰 값을 나타내었으며, 가장 큰 size에서의 21일 건조수축양이 134×10^{-6} strain로 가장 작은 size의 약 70×10^{-6} strain의 차이를 나타내는 것으로 분석되었다. 이를 통해 콘크리트포장에서 초기건조수축에 size effect가 존재하는 것으로 분석되었다.

4. 본 연구는 초기 콘크리트의 열팽창 및 건조수축의 변화패턴을 나타내기는 했지만 실제 현장 콘크리트포장이 아니라는 한계점을 가지고 있다. 따라서 향후 이런 기초연구를 통해 현장 콘크리트 포장의 열팽창계수 및 건조수축에 대한 연구가 꾸준히 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- Neville, A.M. (1995), "Properties of Concrete," Longman, 4th Ed.
- 김진철, 양성철, 김남호 (2003), "골재종류가 콘크리트의 열팽창계수에 미치는 영향", 한국콘크리트학회, pp. 249-254.
- 김수만 (2002), "콘크리트의 건조수축 변형률 추정", 수원대학교 산업기술연구소논문집, pp. 25-28.
- 양성철, 김남호 (2002), "콘크리트 열팽창계수 측정 실험", 한국도로포장공학회, pp. 161-164.
- 오병환, 최성철, 신준호 (2002), "온도, 변형 및 응력 계측을 통한 초기재령 콘크리트의 임계수화도 및 열팽창계수 추정", 한국콘크리트학회, pp. 809-814.
- 전쌍순, 박태균, 황택진, 엄장섭, 진치섭 (2002), "콘크리트 크리프와 건조수축의 CEB-FIP Model Code 와 ACI Code의 비교", 부산대학교 생산기술연구소 논문집, pp. 63-73.
- 박대근 (2002), "i-Button의 실용화 및 콘크리트포장 초기균열 거동연구", 한양대학교, 석사학위논문.
- 한국콘크리트학회 (1999), "최신콘크리트공학", 기문당

접 수 일: 2008. 1. 11
심 사 일: 2008. 1. 11
심사완료일: 2008. 3. 4