

콘크리트 팽창계수 측정 실험

Experimental Measurement of Concrete Thermal Expansion

양 성 철* · 김 남 호**
Yang, Sungchul · Kim, Namho

1. 서론

현재 국내에서 추진중인 도로포장 설계법 관련 연구과제를 통해 수년 내에 우리의 독자적인 도로포장 설계법이 완성되리라 기대된다. 한국형 포장 설계법 개발은 실내 및 시험도로에서 얻게 되는 재료물성과 환경하중 및 교통하중의 정량화를 바탕으로 수행되는 포장구조해석을 통해 그 뼈대가 구성되고 있다. 본 논문에서는 온도 및 습도에 의해 크게 영향을 받는 재료물성중에서 콘크리트 열팽창계수 측정 실험 방법 및 예비 실험 결과를 기술하였다.

2. 영향인자

2.1 온도 사이클에 따른 열팽창계수 변화

일반적으로 열팽창계수 측정 시험은 온도 사이클을 여러번 반복하여, 연이은 두 사이클에서의 열팽창계수가 비슷한 값을 갖게 될 때 시편의 열팽창계수로 보고한다. 경우에 따라서 연이은 두 사이클에서의 열팽창계수가 많이 차이난다면 다시 온도 사이클을 추가하여 실험하고 있다. 그림 1은 온도 사이클에 따라 열팽창계수 변화되는 형태를 보여준다 (Helmuth, 1961).

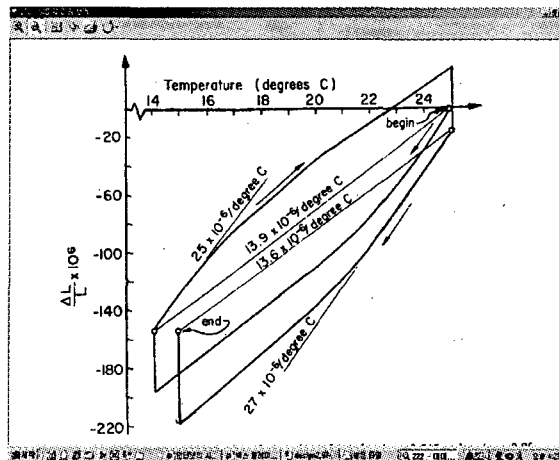


그림 1. 온도 사이클에 따른 열팽창계수 변화 (ref. 1)

*정회원 · 홍익대학교 건축공학과 조교수 · 공학박사 · 041-860-2561(E-mail: scvano@freeway.co.kr)

**정회원 · 한국기술교육대학교 건축공학과 조교수 · 공학박사 · 041-560-1332(E-mail: nhkim@kut.ac.kr)

2.2 시편의 형상

우리 도로 분야에서는 지름 150 mm 원형 공시체나 코아 시편을 사용하여 열팽창계수를 측정하고 있다. 이는 주어진 시편을 사용하여 손쉽게 열팽창계수를 측정하는 장점이 있는 반면, 주어진 시편의 내부온도가 일정온도에 다다르게 되는데 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 일반적으로 열팽창계수 측정시 사용되는 온도챔버를 매 10 °C 올리거나 내리게 될 때, 100 mm 원형 공시체의 중심의 온도가 정해진 온도에 다다르게 되기까지는 약 7~10시간 정도가 소요된다. 따라서, 단기간 내에 열팽창계수를 구하기 방법으로서는 빔시편을 절단한 박편의 시편을 이용하여 실험하기도 한다.

2.3 온도 사이클링 범위

우리나라에서 포장용 콘크리트가 경험하게 되는 온도는 -20°C~60 °C 정도로 예상할 수 있다. 그렇지만 콘크리트의 온도가 영하로 떨어지면 동결 등으로 열팽창계수를 구하는 방법이 쉽지 않게 된다. 따라서, 기존의 연구에서는 10 °C~50 °C의 온도 사이클링 범위에서 열팽창계수를 구하고 있는 실정이다.

2.4 습도의 영향

습도는 열팽창계수에 상당히 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Emanuel, 1977). 따라서, 습도에 따른 시편의 열팽창계수의 영향을 구명하기 위해서는 상대습도를 달리하는 온도챔버 안에서 열팽창계수를 측정해야 되지만 대부분의 국내의 실험실에서는 습도를 달리하는 챔버를 갖추고 있는 경우가 드문 실정이다. 한편, 텍사스주 도로국에서는 포장용 콘크리트의 품질관리용으로서 완전 습윤 조건에서의 시편의 열팽창계수를 측정하고 있다.

2.5 열팽창계수 정량화

콘크리트 열팽창계수에 영향을 주는 주요 인자로는 골재, 습도, 강도 등으로 다음의 상관관계로 표현할 수 있다.

$$\alpha = \alpha(\text{골재, 습도, } f_{ck})$$

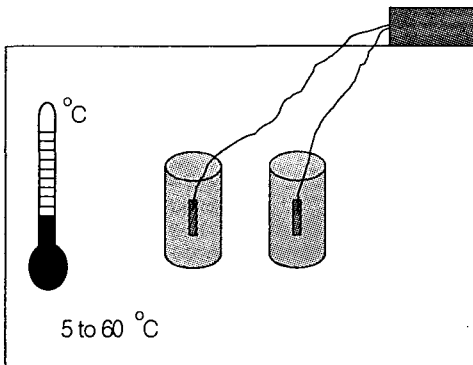


그림 2. 스트레인 게이지 실험방법

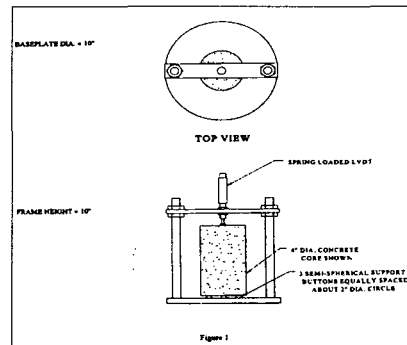


그림 3. LVDT 실험방법

3. 실내 실험 방법

3.1 열팽창계수 실험 방법

일반적으로 열팽창계수 측정 실험에는 스트레인 게이지를 사용하는 방법과 LVDT를 사용하는 방법이 있다. 스트레인 게이지를 사용하는 실험 방법에 대한 개념도는 그림 2와 같다. 한편, 지난 2000년도에 미국 도로연방청 산하 도로 연구소에서 LVDT를 사용하여 콘크리트의 열팽창계수를 구하는 방법이 개발되어 AASHTO TP60-00⁽³⁾으로 채택되었다. 이 새로운 실험 방법은 그림 3과 같이 온도 변화에 거의 변하지 않는 Invar (불변강으로서 강철과 니켈의 합금; 열팽창계수가 작아서 과학 기계의 제작 재료로 쓰임) 지지 프레임 재료를 사용하여 온도 변화에 따른 콘크리트 시편의 길이 변화를 쉽게 측정할 수 있다. 본 실험을 위해 0~60 °C 사이에서 항온이 가능한 온도 챔버를 임차하여 실험을 수행하였다.



3.2 시편의 준비

콘크리트 배합으로는 화강암을 조골재로 사용한 일반적인 포장용 콘크리트와 재생골재를 조골재로 사용한 콘크리트 배합을 준비하였다. 시편은 지름 100 mm의 원주형 공시체와 150×150×25 mm의 박편의 시편을 이용하였다. 박편의 시편을 사용한 이유는 온도챔버를 지정된 온도로 증감시킨 후 시편 중앙의 온도가 지정된 온도에 다다른데 필요한 시간을 단축시키기 위함이었다. 원주형 공시체는 양생시 시편 중앙에 매설된 열전대로부터 시편의 온도를 측정하였고, 박편의 온도를 측정하기 위해서 12.5 mm의 두께로 2개의 박편을 준비한 후, 두개의 박편사이에 열전대를 넣은 후 모르타르로 계면을 접착시켜 사용하였다. 원주형 및 박편의 시편을 각각 그림 4, 5와 같이 열팽창계수 측정장치에 장착하여 데이터 로거에 연결된 LVDT로부터 시편의 길이변화를 측정하였다. 그림 6은 열팽창계수 측정용 온도 챔버 및 데이터 로거를 보여준다.

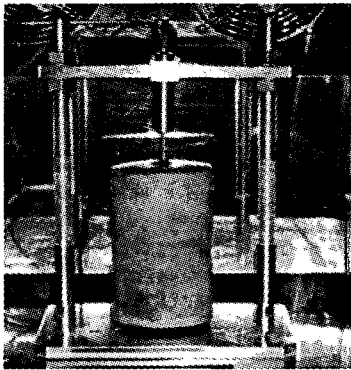


그림 4. 원주형 공시체

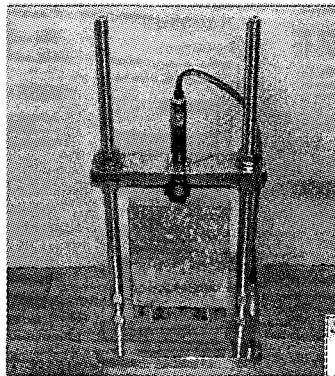


그림 5. 박편 공시체

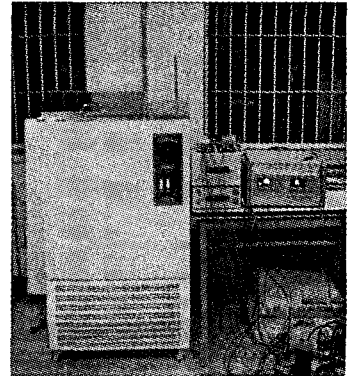


그림 6. 온도챔버

3.3 시험 결과

시편의 온도를 약 10 °C~60 °C까지 매 10 °C 씩 증가시키면서 시편의 온도변화에 따른 열팽창계수를 측정하였다. 그림 7은 쇠석골재를 사용한 원주형 콘크리트 공시체의 온도변화에 따른 시편의 변형율을 보여준다. 실험결과 반복되는 온도 사이클링 이력에 따라 열팽창계수가 $1.61 \sim 1.75 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 로 약간의 차이를 보이면서 측정되었다. 그림 8은 전과 같은 동일한 배합으로 만든 박편 시편의 온도변화에 따른 시편의 변형율을 보여준다. 박편의 열팽창계수는 $1.64 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 로서 원주형 공시체의 열팽창계수와 유사하게 측정되었다. 그림 9는 재생골재를 함유한 박편의 콘크리트 시편에 대한 열팽창계수 실험 결과를 보여준다. 그림 10에 종합된 바와 같이 재생골재를 사용한 콘크리트 시편의 열팽창계수가 $1.34 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 로 측정되어 오히려 일반골재를 사용한 콘크리트 시편의 열팽창계수보다 작게 측정되었다.

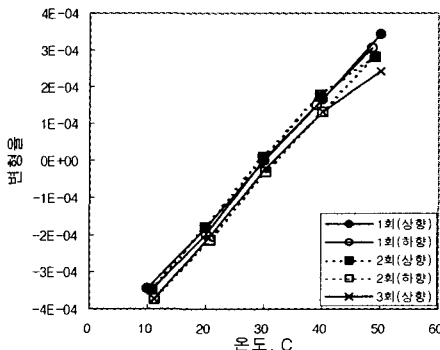


그림 7. 원주형 공시체의 열팽창계수(일반골재)

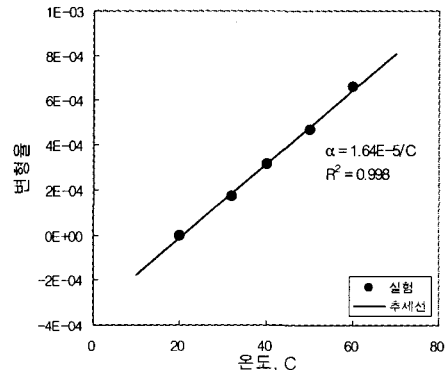


그림 8. 박편의 열팽창계수(일반골재)

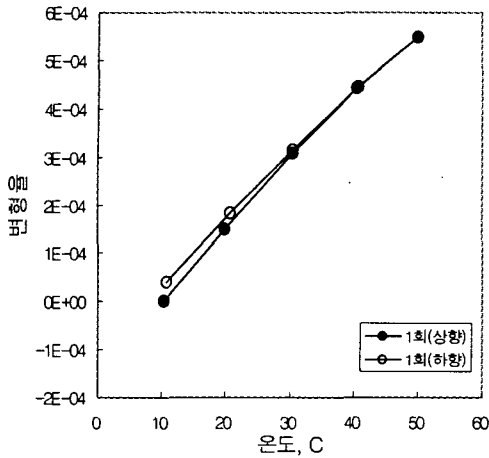


그림 9. 박편의 열팽창계수(재생골재)

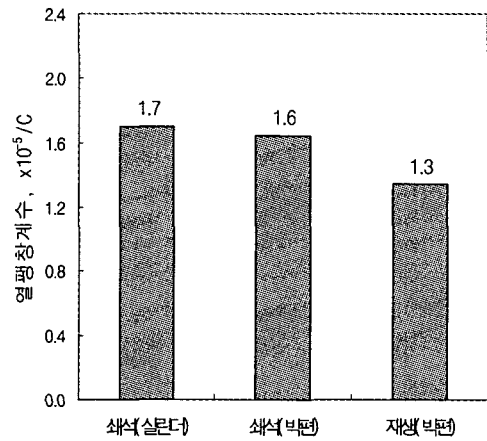


그림 10. 콘크리트의 열팽창계수

4. 소결

본 연구를 통해 LVDT를 사용한 원주형 공시체나 박편의 시편을 사용하여 시편의 온도변화에 따른 열팽창계수를 측정된 결과 콘크리트 시편의 열팽창계수가 $1.34 \sim 1.75 \times 10^{-5} / ^\circ C$ 의 범위 내에서 측정되었다. 이는 보통 알려진 콘크리트 시편의 열팽창계수인 $1.2 \times 10^{-5} / ^\circ C$ 와는 많이 차이가 나지 않음으로 본 실험방법을 통해 콘크리트의 열팽창계수를 손쉽게 측정할 수 있으리라 사료된다. 추후 열팽창계수에 영향을 미치는 영향 인자로서 골재, 습도, 콘크리트의 압축강도 변화에 따른 콘크리트 시편의 열팽창계수를 측정할 예정이다.

감사의 글

본 논문은 한국과학기술부, 한국과학재단에서 지원한 첨단도로연구센터의 연구수행결과입니다.

참고문헌

1. R. A. Helmuth, "Dimensional Changes of Hardened Portland Cement Pastes Caused by Temperature Changes," Proceedings, Highway Research Board, Vol. 40, 1961, pp. 315-366.
2. J.H. Emanuel and J. L. Hulsey, "Prediction of the Thermal Coefficient of Expansion of Concrete, ACI Proceedings, Vol. 74, No. 4, American Concrete Institute, 1977, pp. 149-155.
3. AASHTO TP60-00 "Standard Test Method for the Coefficient of Thermal Expansion of Hydraulic Cement Concrete," AASHTO.