

골재종류가 콘크리트의 열팽창계수에 미치는 영향

Influencing Factor on Thermal Coefficient of Concrete due to Aggregate Types

김진철*
Kim, Jin-cheol

양성철**
Yang, Sung-chul

김남호***
Kim, Nam-ho

ABSTRACT

The thermal coefficient of concrete is measured using dilatometer (AASHTO TP60) and strain gage. Testing parameters such as six different coarse aggregate types, cycles of warming and cooling, specimen shape and measurement types were investigated to evaluate the influencing factors for thermal coefficient of concrete. According to experimental results, the thermal coefficient of concrete made with crushed aggregate showed $9.2\sim 10.7 \mu\epsilon/\text{C}$, however recycled coarse aggregate classified type II showed a little increasing in comparison with crushed aggregate. The thermal coefficient of concrete made with recycled aggregate was reduced $0.2\sim 0.4 \mu\epsilon/\text{C}$ under temperature cycles. However, specimen shapes were revealed as mainly affecting factors on the thermal coefficient of concrete. Finally the thermal coefficient value determined by the dilatometer device was shown to be similar to the value from PML 60.

1. 서론

콘크리트 포장에 있어서 열팽창계수는 균열이 발생되기 전에 줄는 절단시기를 결정하는 중요한 요소이며, 덧씌우기 공사에서 재료의 열팽창계수가 다른 경우 기존 콘크리트 포장과 덧씌우기 재료사이의 열적 불안정성은 인장균열, spalling 등의 원인이 되기 때문에 최근에 지대한 관심사로 떠오르고 있다.

콘크리트의 열팽창계수는 사용하는 골재의 종류, 양, 콘크리트 배합, 재령, 습도조건 등에 따라 변화되며, 시멘트 페이스와 골재의 열팽창계수의 차이가 $5.5 \mu\epsilon/\text{C}$ 이상인 경우 콘크리트의 동결융해 저항성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 시멘트 페이스트의 열팽창계수는 약 $11\sim 20 \mu\epsilon/\text{C}$ 정도로서 골재보다 큰 특징이 있으며, 골재의 열팽창계수가 증가하면 콘크리트의 열팽창계수도 증가하게 된다.

본 연구는 골재 종류가 콘크리트의 열팽창계수에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 화강암, 안산암, 사암 등 총 6종류의 골재를 사용한 콘크리트를 제조하여 미국 도로연방청 산하 도로연구소에서 제안한 시험방법 및 매립형 스트레인 게이지를 사용한 콘크리트의 열팽창계수 및 시편의 형상 및 온도싸이클에 대한 영향정도를 정리한 것이다.

2. 실험방법

* 정회원, 도로교통기술원, 재료환경 연구그룹, 책임연구자, 공학박사

** 정회원, 홍익대학교 건축공학과 조교수, 공학박사

*** 정회원, 한국기술교육대학교 건축공학과, 조교수, 공학박사

2.1 측정장치

미국 도로연방청 산하 도로연구소에서는 LVDT(linear variable displacement transducer)를 이용하여 콘크리트의 열팽창계수를 측정하는 방법을 고안하여 AASHTO TP60-00으로 채택하였다. 이 방법은 그림 1과 같이 온도변화에 따른 변형률이 $1.4 \mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 로 매우 낮은 Invar(불변강으로 강철과 니켈의 합금)지지 프레임으로 제작된 팽창계(dilatometer)를 사용하여 온도변화에 따른 콘크리트 시편의 길이 변화를 측정할 수 있다.

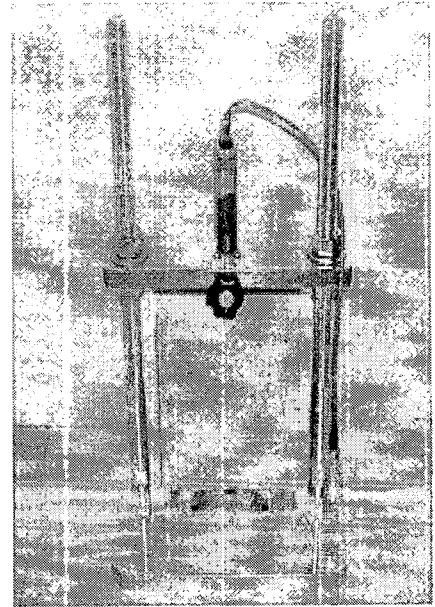
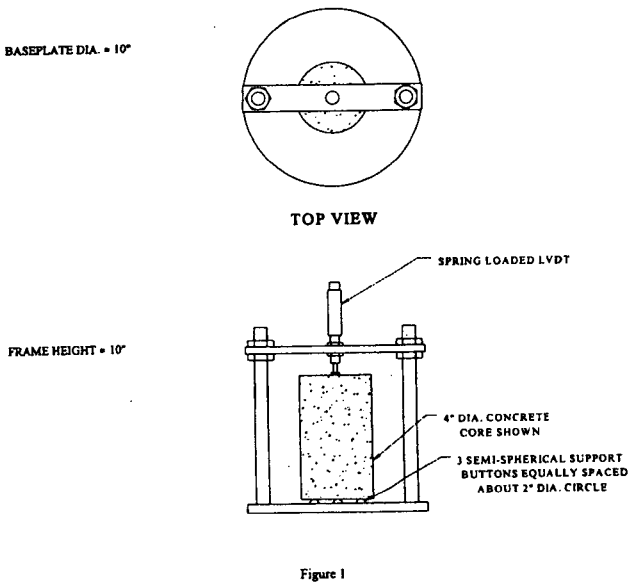


그림 1. 콘크리트 길이변화 측정장치(AASHTO TP60-00)

시험장치는 2개의 지지프레임으로 구성된 밀판에 설치한 3개의 지지점 위에 콘크리트 시편을 놓고 상단에 Data logger와 연결된 LVDT를 설치하여 온도변화에 따른 콘크리트 시편의 길이변화를 실시간으로 측정할 수 있다. 본 연구에서는 $150 \times 150 \times 550\text{mm}$ 빔 시험체를 제작하여 소정의 재령에서 두께 25mm로 절단한 박편시험체를 사용하였으며, 박편시험체는 시험체의 크기가 증가하면 중앙점 온도가 지정온도에 도달하는데 필요한 시간이 길어지기 때문에 이를 단축시키기 위해서 사용하였다. 시험체의 온도측정은 공시체를 12.5mm의 두께로 2개의 박편을 준비한 후 두 박편시편 사이에 열전대(T-type)를 넣고 모르타르로 계면을 접착하여 온도를 측정하였다.

또한 매립형 스트레인 게이지에 의한 콘크리트의 열팽창계수 측정방법에 대해서도 고찰하였다. 이 방법은 $150 \times 150 \times 550\text{mm}$ 콘크리트 공시체 중심부에 스트레인게이지를 매립하여 온도에 따른 길이변화를 측정하는 방법으로서 본 연구에서는 스트레인게이지(PML 60) 및 전기저항식 transducer(KM 100B)를 사용하였다. 스트레인게이지에 의한 콘크리트의 길이변화 측정의 경우 온도변화가 적은 경우 문제가 없으나 본 연구와 같이 온도범위가 큰 경우에는 스트레인 게이지의 온도보정을 필요로 한다. 보정방법은 다음 식과 같으며 이때 스트레인게이지의 열팽창계수는 PML 60 및 KM 100B 각각 11.0

및 $10.9 \mu\epsilon/\text{C}$, 그림 2는 스트레인게이지의 매설위치를 나타낸 것이다.

$$\alpha_c = \frac{\epsilon_c + \Delta T \times \alpha_{sg}}{\Delta T}$$

여기서, α_c, α_{sg} : 콘크리트 및 스트레인게이지의 열팽창계수 ($\mu\epsilon/\text{C}$)

ϵ_c : 콘크리트의 변형률 ($\mu\epsilon$)

ΔT : 온도변화(C)

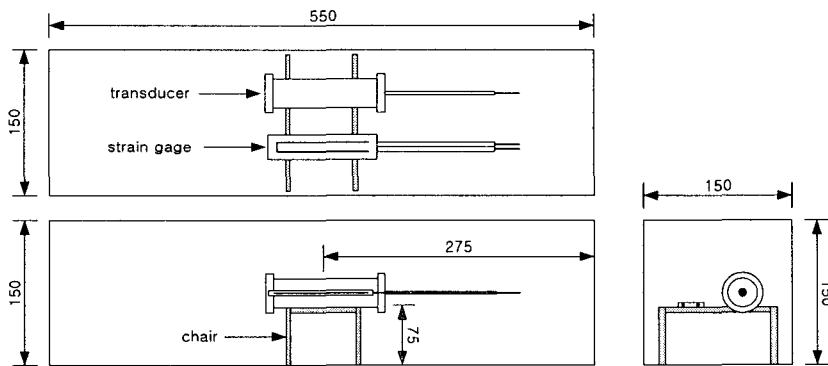


그림 2 스트레인게이지 매설도(단위 : mm)

2.2 사용재료 및 배합

보통포틀랜드시멘트(비중 3.15, 비표면적 $3315\text{cm}^2/\text{g}$) 및 금강산 잔골재(비중 2.63, F.M. 2.87, 흡수율 1.52%)를 사용하였으며, 표 1은 본 연구에 사용된 6종류 굵은골재의 비중 및 흡수율 측정결과이다.

모든 시편은 재령 3일에 탈형하여 수중양생하였으며, 박편 시험체의 제작은 재령 7일에 절단하여 수중양생하였다.

콘크리트 배합은 중부내륙 고속도로상의 시험도로 공사에 사용된 배합을 기본으로 하였다. 단, 재생골재는 콘크리트 슬럼프를 얻기 위하여 단위수량을 증가시켰으며, 표 2는 본 연구에 사용된 각 골재별 콘크리트 배합을 나타낸 것이다.

표 1. 골재의 비중, 흡수율 및 열팽창계수

| 골재 종류 | 비중 | 흡수율(%) | 열팽창계수 ($\mu\epsilon/\text{C}$) |
|---------------|------|--------|----------------------------------|
| 시험도로 | 2.76 | 0.77 | - |
| 화강암 | 3.67 | 0.68 | 1.8~11.9 |
| 안산암 | 2.65 | 2.68 | 4.1~10.3 |
| 사암 | 2.63 | 0.91 | 4.3~13.9 |
| 편마암 | 2.70 | 0.46 | - |
| 재생골재(type II) | 2.50 | 3.99 | - |

표 2. 콘크리트 배합

| 골재종류 | 기호 | W/C(%) | S/a(%) | 단위중량(kg/m ³) | | | |
|---------------|----------|--------|--------|--------------------------|-----|-----|------|
| | | | | 혼합수 | 시멘트 | 잔골재 | 굵은골재 |
| 시험도로 | RF-NS-AE | 45 | 38 | 153 | 340 | 683 | 1196 |
| 화강암 | GR-NS-AE | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 683 | 1188 |
| 안산암 | AN-NS-AE | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 1075 |
| 사암 | SN-NS-AE | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 1140 |
| 편마암 | GN-NS-AE | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 1170 |
| 재생골재(type II) | RF-NS-AE | 〃 | 36 | 170 | 378 | 620 | 1072 |

3. 시험결과 및 고찰

3.1 압축강도

그림 3은 골재종류별 콘크리트의 재령 7 및 28일 압축강도 측정결과로서 재령 28일 압축강도가 330~380kg/cm² 범위에 있음을 알 수 있으며, 재령 28일 압축강도에 대한 재령 7일 압축강도의 비는 70~86% 정도를 나타내었다.

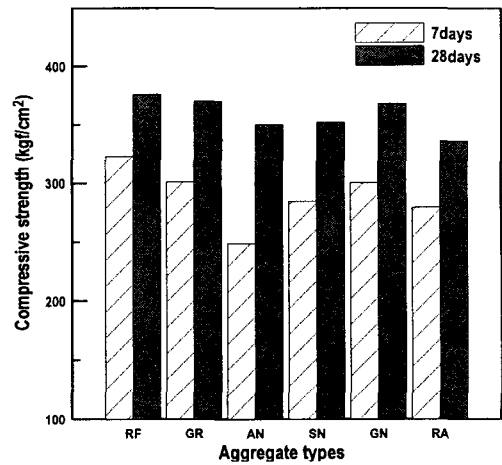


그림 3 압축강도 측정결과

3.2 열팽창계수

골재종류가 콘크리트의 열팽창계수에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 재령 22~26일에서 팽창계를 이용하여 열팽창계수를 측정한 결과가 표 3 및 그림 4이다. 시험도로, 화강암, 편마암을 굵은골재로 사용한 경우 콘크리트 열팽창계수는 약 10.4~10.8 $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 정도를 나타내었으며, 안산암, 사암은 각각 9.2 및 9.6 $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 로 거의 유사한 열팽창계수를 나타낸 반면, 재생골재는 11.6 $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 로 가장 높은 값을 나타내었다. 재생골재를 사용한 콘크리트의 열팽창계수가 높은 것은 골재 비중이 낮고 골재에 부착된 모르타르에 의한 영향으로 판단된다.

콘크리트 열팽창계수 측정에 있어서 온도조건은 매우 중요한 요인이다. Helmuth 등은2) 온도 상승 및 하강 사이클에서 콘크리트 중의 수분 분포 상황이 달라지기 때문에 hysteresis를 나타낸다고 하며, Fu와 Chung은3) 크립, 건조수축과 같은 시간의존적 거동에 의한 것으로 보고하고 있다.

표 4, 그림 5 및 6은 온도사이클에 따른 콘크리트의 열팽창계수를 박편시험 및 팽창계를 이용하여 측정한 결과를 정리한 것이다. 사암을 골재로 사용한 콘크리트의 경우 온도 사이클에 따른 열팽창계수 변화가 거의 없으나, 재생골재는 온도 하강 과정에서 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 박편시험체를 사용하였기 때문으로 생각되며, 시험의 형상이 달라지면 경향도 달라질 것으로 판단된다.

표 5 및 그림 7은 시험의 형상이 콘크리트의 열팽창계수에 미치는 영향을 측정한 결과이다. 굵은골재는 사암을 사용하였으며, 박편시험체를 사용한 콘크리트의 열팽창이 원주형공시체보다 동일 온도에

서 높은 값을 나타내었다. 이를 열팽창계수로 환산하면 표 5와 같이 박편시험체 및 원주형 공시체의 열팽창계수는 각각 9.6 및 7.8 $\mu\epsilon/\text{°C}$ 이었다.

표 3 콘크리트의 열팽창계수 측정결과

| 골재종류 | 열팽창계수 ($\mu\epsilon/\text{°C}$) |
|-----------------------|--------------------------------------|
| 시험도로(RF) | 10.2 |
| 화강암(GR) | 10.7 |
| 안산암(AN) | 9.2 |
| 사암(SN) | 9.6 |
| 편마암(GN) | 10.7 |
| 재생골재(RA) (type II) | 11.6 |

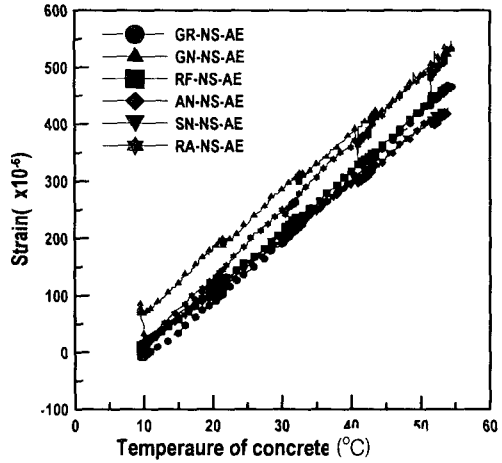


그림 4. 골재종류별 열팽창 측정결과

표 4. 온도사이클에 따른 열팽창계수의 변화

| 골재종류 | 기호 | 열팽창계수 ($\mu\epsilon/\text{°C}$) | | | |
|------|----------|-----------------------------------|-------|------|------|
| | | 1차상승 | 1차 하강 | 2차상승 | 2차하강 |
| 사암 | SN-NS-AE | 9.6 | 9.4 | 9.5 | 9.5 |
| 재생골재 | RA-NS-AE | 11.6 | 11.2 | 11.7 | 11.5 |

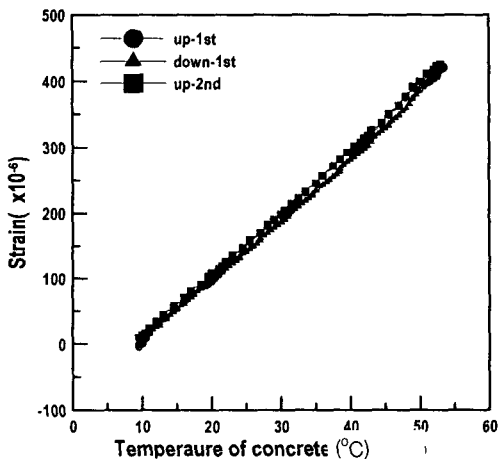


그림 6. 온도사이클에 따른 길이변화(SN)

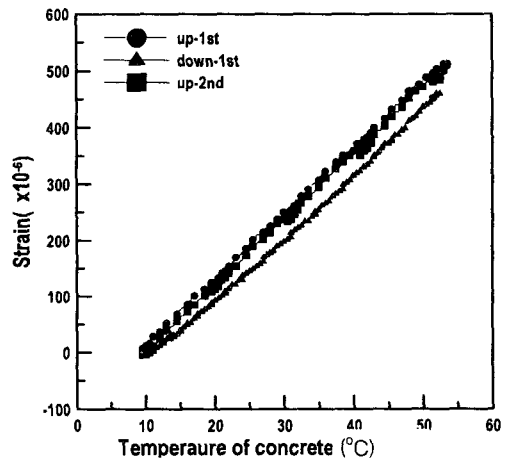


그림 9. 온도사이클에 따른 길이변화(RA)

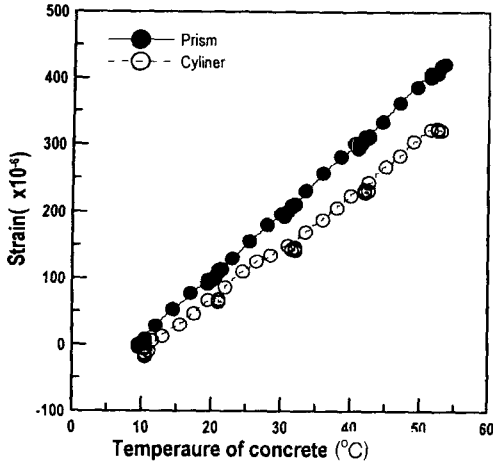


그림 10. 시편형상에 따른 열팽창 변형률

표 5 시편형상에 따른 열팽창계수(사암)

| 골재종류 | 열팽창계수 ($\mu\epsilon/^\circ\text{C}$) |
|------|--|
| 박편시편 | 9.6 |
| 원주형 | 7.8 |

표 6 측정방법에 따른 열팽창계수

| 측정방법 | 시편크기 (cm) | 열팽창계수 ($\mu\epsilon/^\circ\text{C}$) |
|---------|-----------|--|
| 팽창계 | 15×15×2.5 | 10.6 |
| KM 100B | 15×15×55 | 13.9 |
| PML 60 | 15×15×55 | 11.2 |

표 6은 열팽창 측정방법에 따른 콘크리트 열팽창계수 측정결과를 나타낸 것이다. 팽창계(AASHTO TP60)에 의한 측정결과보다 스트레인게이지에 의한 결과가 약간 높은 결과를 나타내었으나, 시편의 크기가 증가하면 중심온도를 정해진 온도까지 올리는데 걸리는 시간이 증가하고 물성의 변화도 나타날 수 있기 때문에 이러한 차이를 나타낸 것으로 판단된다.

4. 결 론

AASHTO 시험장치 및 박편시편을 이용한 콘크리트의 열팽창계수는 부순돌을 사용한 경우 9.2~10.7 $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$, 한국 산업규격에 규정된 2종 재생골재의 경우 11.6 $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 으로서 약간 큰 값을 나타내었다. 10~60°C의 온도범위에서 승온 및 하강 사이클에 따른 열팽창계수 변화는 편마암의 경우 큰 변화가 없으나 재생골재는 0.2~0.4 $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 의 변화를 나타내었다. 시편의 형상을 달리하여 시험한 결과, 박편시험체를 사용한 콘크리트의 열팽창이 원주형공시체보다 높은 값을 나타내었다. 매립형게이지를 사용한 열팽창계수는 팽창계의 경우보다 약간 높은 값을 나타내었으며, 이상의 결과로부터 열팽창계수 측정을 위한 팽창계 및 스트레인 게이지의 적용성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. AASHTO TP60-00, "Standard test method for the coefficient of thermal expansion of hydraulic cement concrete", AASHTO, 2000.
2. R. A. Helmuth, R. A., "Dimensional changes of hardened Portland cement pastes caused by temperature changes", Highway Research Board, Proc. Highway Research Record, Vol. 40, 315-366, 1961.
3. Fu, X., Chung, D.D., "Effect of Admixtures on Thermal and Thermomechanical Behavior of Cement Paste", ACI Materials, Vol.96, No. 4, pp.455~461, 1999.
4. Yang, S. and Kim, N. Experimental measurement of concrete thermal expansion, Korean Society of Pavement Engineers, Proc. KOSPE Conference, Vol. 4, pp.161~164, 2002.