

골재종류에 따른 콘크리트의 열팽창 계수 측정실험

Experimental Measurement of Concrete Thermal Expansion according to Aggregate Types

이효림* · 안남식** · 양성철***

Lee, Hyo Rim · Ahn, Nam Shik · Yang, Sung Chul

1. 서론

콘크리트 포장 덧씌우기 공사에서 재료의 열팽창계수가 다른 경우 기존 콘크리트 포장과 덧씌우기 재료 사이의 열적 불안정성이 생긴다. 이러한 열적 불안정성은 인장균열등의 원인이 되기 때문에 최근 그 대안의 필요성이 제기되고 있는 실정이다. 콘크리트의 열팽창계수는 사용하는 골재의 종류, 양, 습도, 온도조건 등에 따라 변화된다. 일반적으로 온도 변화는 creep에 영향을 주며, 골재의 열팽창계수가 증가하면 콘크리트의 열팽창계수도 증가하게 된다.

본 연구에서는 온도를 주기적으로 변화시켰을 때 골재종류가 콘크리트의 열팽창계수에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 총 6종류의 골재를 사용하여 콘크리트를 제조하였다. 그렇게 제조된 시편을 미국 도로연방청 산하 도로연구소에서 제안한 시험방법을 사용하여 온도사이클에 따른 골재 종류별 콘크리트의 열팽창계수와 좀더 편리한 실험을 위한 시편의 형상 변화에 따른 열팽창계수의 변화를 측정하였다.

2. 실험방법

2.1 측정 장치

미국 도로연방청 산하 도로연구소에서는 LVDT를 이용하여 콘크리트의 열팽창계수를 측정하는 방법을 개발하여 AASHTO TP60-00⁽¹⁾으로 채택하였다. 이 방법은 그림1과 같이 온도의 변화에 거의 변형을 하지 않는 Invar(불변강으로서 강철과 니켈의 합금)를 지지프레임 재료로 사용하여 온도변화에 따른 콘크리트 시편의 길이 변화를 측정할 수 있다. 이 지지프레임의 밑판에 3개의 지지 점을 놓고 그 위에 시편을 안착시킨 후 상단에 LVDT를 설치하고 이것을 Data logger에 연결하여 실시간으로 온도에 따른 시편의 길이 변화를 측정할 수 있게 하였다.

2.2 시편의 사용

시편은 지름 100×300 mm의 원주형 공시체와 150×150×50 mm의 박편의 시편을 이용하였다. 그리고 박편 시편은 시험 체의 크기가 증가하면 중앙점 온도가 지정온도에 도달하는데 필요한 시간이 길어지기 때문에 이를 단축시키기 위해서 사용하였다. 원주형 공시체는 양생시 시편 중앙에 열전대를 매설하여 시편의 온도변화를 측정할 수 있게 하였고, 박편 시편은 두께 25 mm의 박편 두개를 준비하여, 두개의 박편 사이에 열전대를 넣고 모르타르로 접착을 시켜서 온도를 측정할 수 있게 하였다.

*정회원 · 홍익대학교 건축공학과 석사과정 (E-mail:candy267@yahoo.co.kr)

**정회원 · 홍익대학교 건축공학과 전임교수 · 공학박사 · 041-860-2681(E-mail:nsahn@hongik.ac.kr)

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

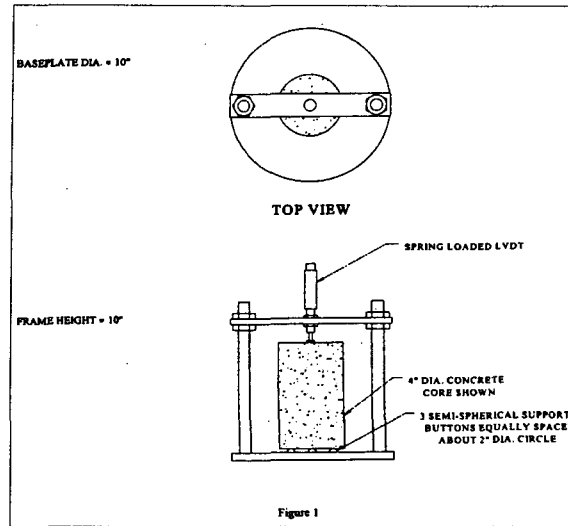


그림 1. 콘크리트 길이변화 측정 장치

2.3 온도 사이클

그림 2는 10℃~50℃의 온도 사이클링 범위를 갖는 수조의 물과 콘크리트의 온도 변화를 나타내고 있다. 이는 콘크리트의 온도가 영하로 떨어지면 동결 등으로 열팽창계수를 구하는 방법이 쉽지 않기 때문이다. 그리고 온도를 유지하는 시간은 3시간으로 하였고, 온도를 10℃ 올리거나 내리는 시간은 2시간으로 규칙적이게 하였다.

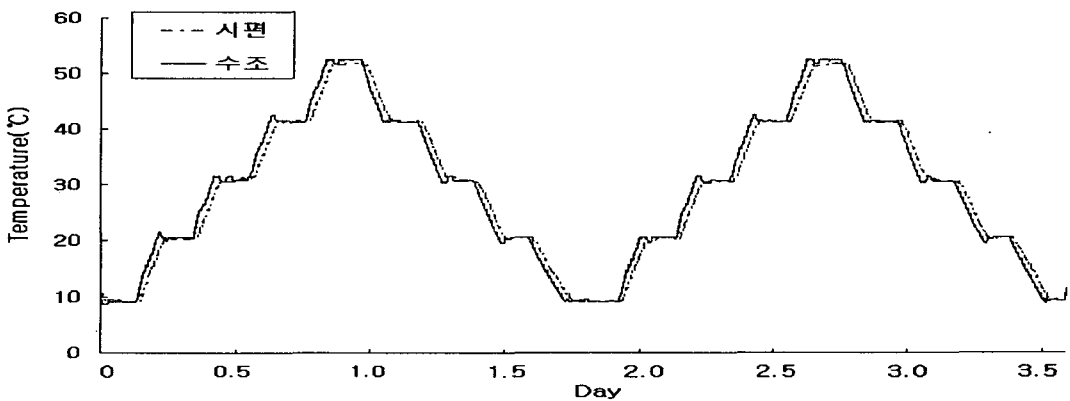


그림 2. 시간에 따른 온도의 변화

2.4 사용재료 및 배합

보통포틀랜드시멘트(비중 3.15, 비표면적 3315cm²/g)와 금강산 잔골재(비중 2.63, F.M. 2.87, 흡수율 1.52%)를 사용하였고, 6종류의 굵은 골재를 사용하였다. 표 1은 굵은 골재의 비중과 흡수율 및 열팽창계수를 측정 한 결과이다. 일반적으로 시멘트 페이스트의 열팽창계수는 약 11~20 με/℃정도로서 골재보다 크다.

모든 시편은 재령 3일에 탈형하여 수중 양생하였고, 박편시험체의 제작은 재령 7일에 절단하여 수중 양생 하였다. 표 2는 본 연구에 사용된 콘크리트 배합을 나타낸 것이다.



표 1. 골재의 비중과 흡수율

골재의 종류	비중	흡수율 (%)	열팽창계수(με/℃)
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	2.50	3.99	-

표 2. 콘크리트 배합

골재종류	W/C (%)	S/a (%)	단위중량(kg/m ³)			
			혼합수	시멘트	잔골재	굵은 골재
시험도로(RF)	45	38	153	340	683	1196
화강암(GR)	"	"	"	"	"	1188
안산암(AN)	"	"	"	"	"	1075
사암(SN)	"	"	"	"	"	1140
편마암(GN)	"	"	"	"	"	1170
재생골재(RA)	"	36	170	378	620	1072

3. 시험결과 및 고찰

3.1 압축강도

그림 3은 골재종류별 콘크리트의 재령 7일과 28일 압축강도 측정 결과이다. 재령 28일 압축강도가 330~380kgf/cm² 범위에 있음을 알 수 있고, 재령 28일 압축강도에 대한 재령 7일의 압축강도의 비는 70~86% 정도이다.

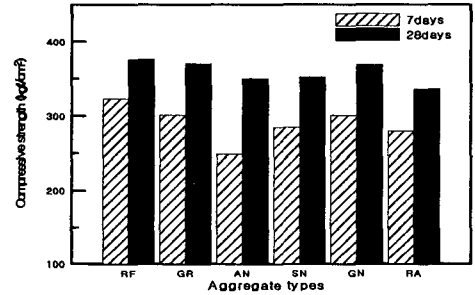


그림 3. 압축강도 측정결과

3.2 열팽창계수

온도변화에 따른 골재 종류별 콘크리트의 열팽창계수 측정 결과가 그림 4 및 그림 5에 나타나 있다. 그림 4는 박편 시편의 열팽창 측정결과이며, 그림 5는 원주형 시편의 열팽창 측정결과이다. 그리고 시편의 형상 변화에 따른 열팽창계수의 비교가 표 3에 나타나 있다. 박편의 경우는 재생골재를 굵은 골재로 사용하였을 때 가장 큰 열팽창계수를 나타내었고, 원주형의 경우는 편마암을 굵은 골재로 사용하였을 때 가장 큰 열팽창계수를 나타내었다. 그리고 박편의 경우는 9~12 με/℃까지 대체로 높은 열팽창계수 값을 갖는 반면, 원주형의 경우는 6~10 με/℃까지 높고 낮음이 다양했다. 박편 시편의 열팽창계수의 측정값이 높은 것은 「Rule of Mixture」 식에 의하면 직렬식은 식(1)이고, 병렬식은 식(2)임을 볼때, 박편의 경우 열팽창계수값이 작은 골재의 부피가 줄어들므로 상대적으로 열팽창계수값이 큰 모르타르의 부피가 커지게 된다. 그러므로 원주형에 비하여 박편이 상대적으로 열팽창계수가 큰 모르타르의 성분비가 커지게 되므로 박편의 열팽창계수값이 원주형보다 크게 측정된 것으로 판단된다.

$$\alpha_c = \alpha_M \times V_M + \alpha_A \times V_A \quad (V_M + V_A = 1) \tag{1}$$

$$\frac{1}{\alpha_c} = \frac{V_M}{\alpha_M} + \frac{V_A}{\alpha_A} \tag{2}$$

여기서, α_c : 시편의 열팽창계수, α_M : 모르타르의 열팽창계수, α_A : 골재의 열팽창계수
 V_M : 모르타르의 부피, V_A : 골재의 부피

표 4, 그림 6, 7은 온도사이클에 따른 콘크리트의 열팽창계수를 원주형 시편을 이용하여 측정된 결과를 정리한 것이다. 안산암을 굵은 골재로 사용한 콘크리트의 경우 온도사이클에 따른 열팽창계수가 상승하는 반면, 그 외의 굵은 골재들은 감소하는 경향을 나타내었다.

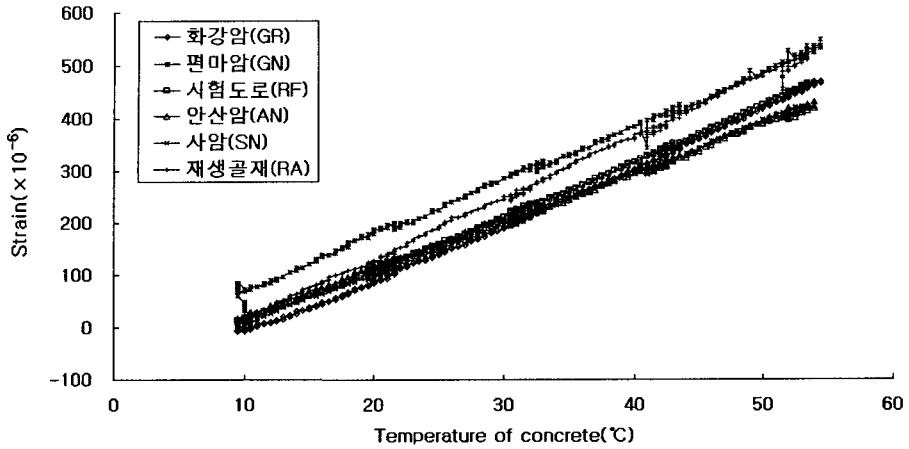


그림 4. 박편의 골재별 열팽창 측정결과

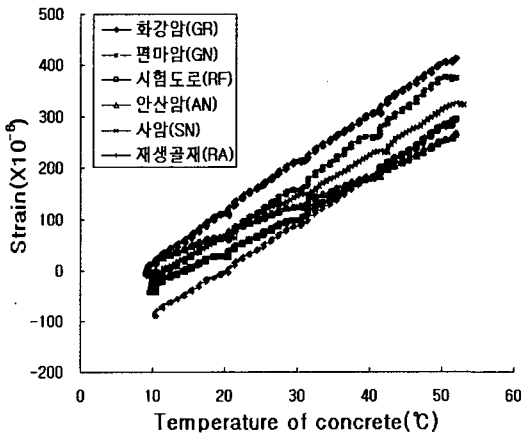


그림 5. 원주형의 골재별 열팽창 측정결과

표 3. 박편과 원주형의 골재별 열팽창계수 측정결과

골재종류	열팽창계수 ($\mu\epsilon/^\circ\text{C}$)	
	박편	원주형
시험도로(RF)	10.2	6.2
화강암(GR)	10.7	8.8
안산암(AN)	9.2	6.4
사암(SN)	9.6	7.8
편마암(GN)	10.7	9.6
재생골재(RA)	11.6	9.0

표 4. 원주형의 온도사이클에 따른 열팽창계수의 변화

골재종류	열팽창계수 ($\mu\epsilon/^\circ\text{C}$)			
	1차 상승	1차 하강	2차 상승	2차 하강
시험도로(RF)	7.7	6.1	6.3	6.1
화강암(GR)	9.7	8.6	8.9	8.3
안산암(AN)	6.0	6.4	6.5	6.4
사암(SN)	7.8	-	-	-
편마암(GN)	9.7	9.0	9.6	9.5
재생골재(RA)	9.2	8.7	9.1	8.9

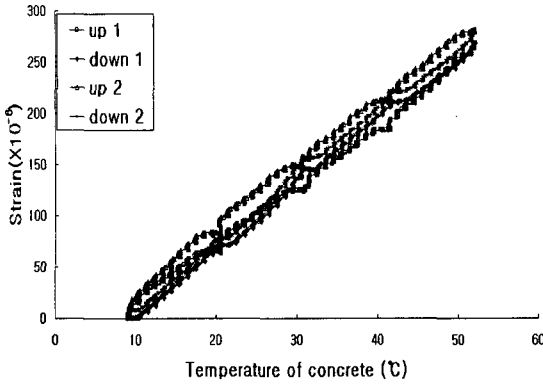


그림 6. 온도사이클에 따른 열팽창 변형률(AN)

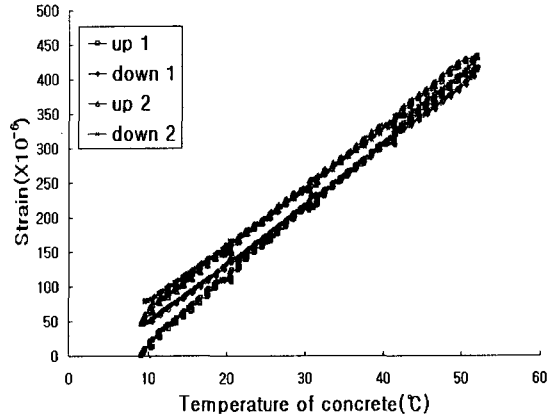


그림 7. 온도사이클에 따른 열팽창 변형률(GR)

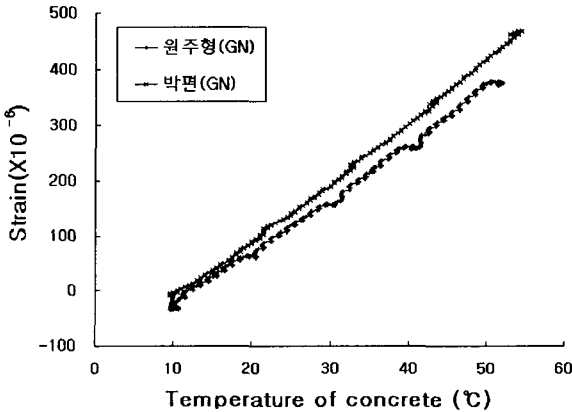


그림 8. 시편형상에 따른 열팽창 변형률 (편마암)

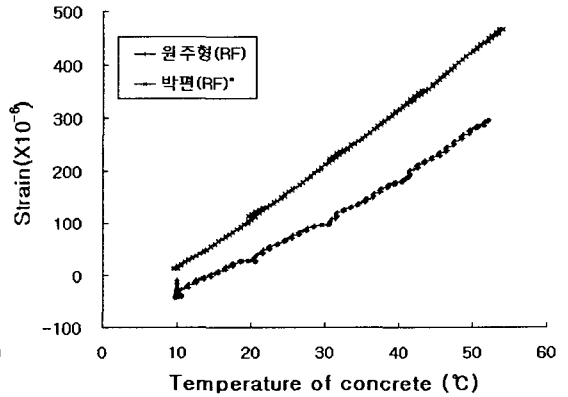


그림 9. 시편형상에 따른 열팽창 변형률 (시험도로)

그림 8, 9는 시편형상에 따른 열팽창 변형률을 나타낸 것이다. 그림 8은 박편과 원주형의 열팽창 변형률의 차이가 가장 작은 경우를 나타낸 것이고, 그림 9는 가장 큰 경우를 나타낸 것이다.

4. 결론 및 향후 연구

AASHTO 시험장치를 이용한 박편 시편과 원주형 시편의 열팽창계수는 박편의 경우 재생골재를 굵은 골재로 사용하였을 때 가장 큰 값을 나타내었고, 원주형의 경우 편마암을 굵은 골재로 사용하였을 때 가장 큰 값을 나타냈다. 온도사이클에 따른 콘크리트의 열팽창계수는 안산암을 굵은 골재로 사용한 경우 온도사이클에 따른 열팽창계수가 상승하는 반면, 그 외의 굵은 골재들은 감소하는 경향을 나타내었다. 형상을 달리하여 열팽창계수를 측정된 결과 박편 시편이 원주형 시편 보다 1~4 $\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ 정도 크게 나왔다. 이러한 결과는 「Rule of Mixture」 식을 볼때, 박편의 경우 열팽창계수값이 작은 골재의 부피가 줄어들므로 상대적으로 열팽창계수값이 큰 모르타르의 부피가 커지게 된다. 그러므로 원주형에 비하여 박편이 상대적으로 열팽창계수가 큰 모르타르의 성분비가 커지게 되므로 박편의 열팽창계수값이 원주형보다 크게 측정 된 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 박편 시편과 원주형 시편의 각각의 모르타르와 골재의 부피를 측정한다면 보다 정확한 값을 얻으리라고 사료된다.



참고문헌

1. 양성철, 김남호, "콘크리트 팽창계수 측정 실험, " 한국도로포장공학회, 2002 학술발표회 논문집, 제 4권, pp. 161-164.
2. 김진철, 양성철, 김남호, "골재종류가 콘크리트의 열팽창계수에 미치는 영향, " 한국콘크리트학회, 2003년도 봄 학술발표회 논문집, 제 15권 1호, pp. 249-254.
3. AASHTO TP60-00 "Standard Test Method for the Coefficient of Thermal Expansion of Hydraulic Cement Concrete, "AASHTO, 2000.
4. 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.
5. R. A. Helmuth, "Dimensional Changes of Hardened Portland Cement Pastes Caused by Temperature Canges, "Proceedings, Highway Research Board, Vol. 40, 1961, pp. 315-366.
6. William F. Smith, "Foundations of materials science and engineering, " pp. 597-606.