

경제적인 NTC 세라믹스 온도센서 시스템을 이용한 콘크리트 수화열 계측에 관한 실험적 연구

Adiabatic Characteristics of Concrete Temperature with Economical Negative Temperature Coefficient Ceramics Sensor System

김 기 수* 김 종 우** 전 재 홍** 하 재 담*** 김 태 홍****
Kim, Ki Soo Kim, Jong Woo Jun, Jae Hong Ha, Jae Dam Kim, Tae Hong

ABSTRACT

In order to estimate thermal cracking in mass concrete and to decide the removal time of the forms outside the concrete structures in wintertime, temperature measurement is indispensable. Until now, the measurement system employs thermocouple type. In this paper, we introduce economical and accurate NTC(Negative Temperature Coefficient) ceramic type measurement system. In principle, NTC ceramic type sensor is very sensitive in the range $-20\sim 150^{\circ}\text{C}$. In this range, the signal change is so large that the sensor needs less amplification than thermocouple.

Therefore, not only the sensor itself is inexpensive but also the system is too. In this experiments the temperature of the NTC system are identical to those of thermocouple. In conclusion, inexpensive NTC thermistor system is very adequate to the temperature measurement during concrete curing.

1. 서론

콘크리트의 수화열 측정은 이미 매스콘크리트 구조물의 균열저감대책 수립을 위해서 반드시 측정해야 하는 항목으로 자리잡았으며, 한중 및 서중 콘크리트의 타설이나 거푸집 탈형을 위한 콘크리트의 경화정도, 강도예측을 위해서도 콘크리트의 온도계측은 반드시 필요하다.

- * 정회원, 호서대학교 벤처전문대학원 교수
- ** 정회원, (주)아이세스 부설연구소 선임연구원
- *** 정회원, 쌍용양회공업(주)기술연구소 책임연구원
- **** 정회원, 쌍용양회공업(주)기술연구소 연구원

따라서, 지금까지 건설현장이나 실험실에서 시공에 사용되는 콘크리트의 온도특성을 규명하기 위해 다양한 온도센서를 사용하여 단일온도를 측정하거나 현장에서 직접 타설된 콘크리트의 온도를 측정하여왔다.

일반적으로, 콘크리트의 온도측정에 사용되는 온도센서는 콘크리트에 직접 접촉되어 온도를 측정하는 접촉식 센서 중 Thermocouple이 가장 널리 사용되고 있으며, Thermocouple은 그 종류에 따라서 R, K, E, J, 및 T Type이 있으나, 그 측정범위는 대개 $-200\sim+1200^{\circ}\text{C}$ 로 콘크리트의 수화열 계측용으로 사용하기엔 다소 그 범위가 넓어 분해능이 떨어지고 가격도 비교적 고가이다. 또한, Thermocouple은 기준점점이 필요하고 기준점점과 보상도선에 대한 오차를 포함할 수 있어, 사용 시 세심한 주의가 필요하다는 단점도 있다.

본 연구에서 사용된 NTC 세라믹스 온도센서는 온도가 증가함에 따라 저항이 감소하는 형태의 반도체성 세라믹소재(Negative Temperature Coefficient Thermistor; 이하 NTC)로써, 온도변화에 따른 저항의 변화율이 크기 때문에 정밀온도측정에 널리 사용되며, 고저항의 Thermistor를 사용하므로 센서에 사용되는 lead선의 저항을 무시할 수 있어, 콘크리트온도를 현장에서 계측하는데 매우 유용하다.

또한, 측정 온도범위가 $-60\sim300^{\circ}\text{C}$ 이므로 일반적인 콘크리트의 수화열에 의한 측정온도범위가 80°C 이내임을 감안할 때, 콘크리트의 온도계측에 매우 적합한 센서라고 할 수 있다.

일반적으로, NTC Thermistor는 Lithium-nickel Oxide 등의 극히 예외적인 경우를 제외하면 모두 아래의 그림 1과 같은 Spinel 구조를 갖는다. 여기서, Spinel구조는 화학적으로 AB_2O_4 로 표현 할 수 있으며 A-site는 2가 물질(NiO , CoO 등)의 형태로 점유되며, B-site는 3가의 물질 (Mn_2O_3 , Fe_2O_3 , 등)의 형태로 점유된다. NTC를 이용한 콘크리트용 온도센서 및 측정장비는 그림 2와 같다.

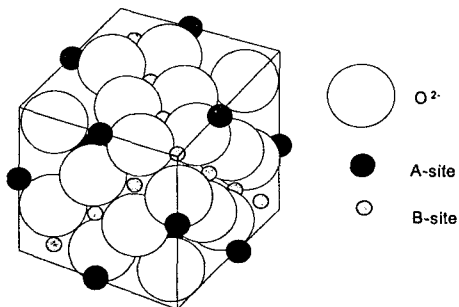


그림 1 Spinel 결정구조

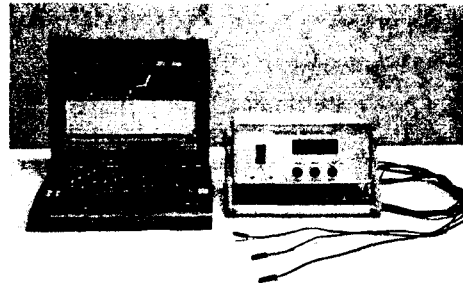


그림 2 NTC 온도센서 및 계측시스템

2. 실험방법

2.1 실내실험

본 실험에서는 현재 콘크리트의 온도측정에 널리 사용되고 있는 K type의 Thermocouple과 저가형 NTC Thermistor의 기본성능을 비교분석하기 위해, 단위 시멘트량 380kg/m^3 으로 콘크리트 배합에서의 단열온도상승시험을 수행하였다. 단열온도상승시험장치에 NTC Thermistor 온도센서를 설치하는 광경 및 시험결과는 아래의 그림 3, 그림 4와 같다.

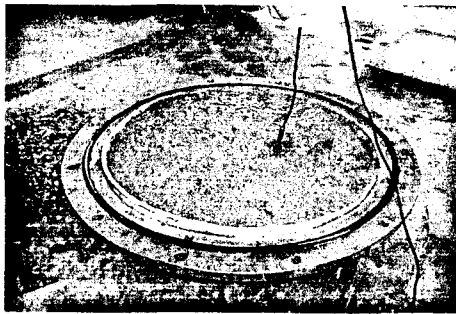


그림 3 NTC Thermistor의 설치장면

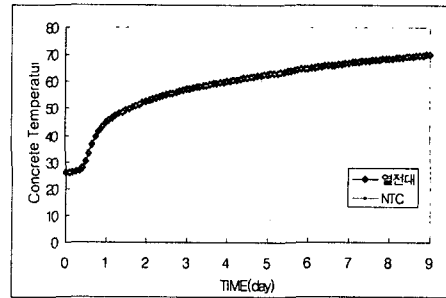


그림 4 NTC 및 Thermocouple에서의 시험결과

2.2 현장실험

현장에서의 성능평가를 위해서 $100 \times 120 \times 480\text{cm}$ 크기의 매스콘크리트 부재에서의 현장시험을 수행하였다. 단열온도상승시험과 현장시험에 사용된 콘크리트의 배합은 아래의 표 1과 같으며, 비교를 위해 사용된 온도센서 및 계측기 규격은 표 2와 같다.

표 1 사용된 콘크리트의 배합표

배 합	f_{ck} (kg/cm^2)	W/B (%)	s/a (%)	Unit Weight (kg/m^3)					AE 감수제 (B×%)	AE제 (B×%)	고성능 감수제 (B×%)
				W	B		S	G			
					C	P					
N	300	44	46	175	398	-	782	943	0.15	-	0.50
NF20	300	42	44	175	333	83	728	951	0.20	0.15	0.50
L	300	42	44	170	405	-	754	986	0.15	-	0.50

- * N : 보통 포틀랜드시멘트
- * NF20 : 보통 포틀랜드시멘트+Fly Ash 20%
- * L : 저열 포틀랜드시멘트

표 2 온도센서의 규격

센서	규격	측정 장비
Thermocouple	K-Type	UCAM-70A Data Logger(K사, 일본)
NTC Thermistor	-	Temperature Monitoring Unit(I사, 한국)

또한, 부재 중앙단면의 중심부와 표면부 및 거푸집에서 5cm떨어진 곳에서 두 종류의 온도센서를 설치하여 시간에 따른 온도분포를 계측하였다. 부재의 제원과 각 온도센서의 설치위치는 아래의 그림 3과 같다.

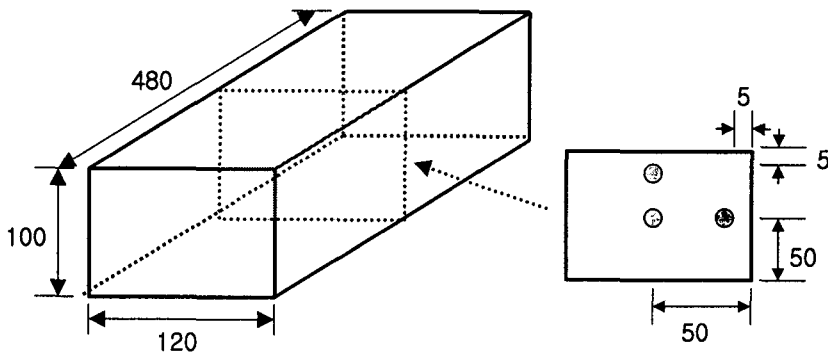


그림 5 부재의 제원 및 온도센서 설치위치

실물부재의 거푸집제작 후 장면은 그림 6과 같으며 각 부재의 동일한 위치에서 Thermocouple에 의해 1시간 간격으로 계측한 온도분포는 아래의 그림 7과 같다.

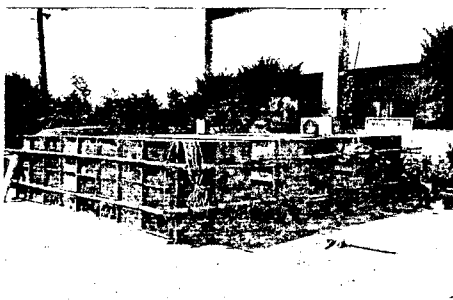


그림 6 온도계측용 실물부재

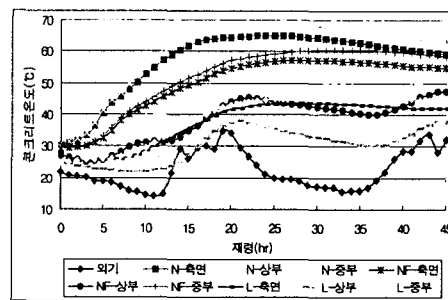


그림 7 Thermocouple에 의한 각 부재의 위치별 온도분포

그림 7에 의하면 사용된 시멘트의 종류에 따라 발열특성이 다르므로, 각 시험부재 중앙부의 최대온도는 N, NF 그리고 L에서 각각 68.2, 60.5 및 45.9℃로 계측되었으며, 최대온도까지 도달하는 데 걸린 시간은 저발열형 혼합시멘트, 저열포틀랜드 시멘트를 사용한 NF 및 L부재가 33, 34시간으로 다소 길지만 유사한데 비해 보통시멘트를 사용한 N부재는 26시간으로 온도상승속도가 상대적으로 빠름을 알 수 있다.

또한, 온도센서의 성능평가를 위해 각 부재에서의 중앙부와 상부표면에서 5cm깊이에 설치된 Thermocouple 및 NTC Thermistor에 의해 측정된 온도분포는 아래의 그림 8, 그림 9와 같다.

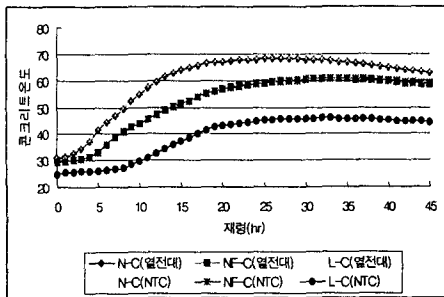


그림 8 각 부재의 중심부 온도분포

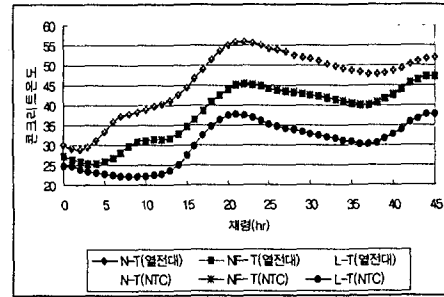


그림 9 각 부재의 표면부 온도분포

3. 결과 및 고찰

이상의 실험결과를 고찰해보면, 실내에서 수행된 단열온도상승시험에서 온도측정에 사용된 NTC Thermistor와 Thermocouple은 그 차이를 구별하기 어려울 정도로 거의 같은 측정값을 보임을 알 수 있으며, 현장실험에서도 각 부재의 중심부와 표면부에서의 온도는 거의 같은 값으로 측정되었다.

각 부재의 콘크리트배합이 사용된 시멘트의 종류에 따라 최대온도 및 온도상승속도 등 콘크리트의 온도특성은 차이가 있으나, 그 온도범위는 20~70℃로서 상용화되고 있는 온도센서의 측정범위 보다 작으므로, 온도센서에 따른 계측 값의 차이는 거의 없는 것으로 판단된다. 이는 Thermocouple 및 NTC Thermistor에서 측정된 온도 값의 차이가 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 의 범위 나타난 것으로 미루어 추정할 수 있다.

그러나, 일반적으로 NTC Thermistor가 Thermocouple에 비하여 온도측정범위가 작아 Resolution이 좋고 가격이 매우 저렴하므로, 콘크리트의 온도측정에는 NTC Thermistor가 성능과 경제성에서 모두 유리할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구를 통해 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 실내시험과 현장시험을 통해 얻어진 결과를 보면, 두 실험 모두 거의 비슷한 온도 값을 보이므로 온도센서나 시스템의 차이로 인한 계측 값의 신뢰도 차이는 없을 것으로 판단된다.
- (2) 그러나, Thermocouple보다는 NTC Thermistor의 경우 현장시험에서 콘크리트 타설 시 급격한 온도변화에 따른 신호응답이 더욱 안정적이고 온도상승 시 분해능도 다소 우수한 것으로 나타났다.
- (3) 콘크리트의 수화열에 의한 온도분포는 부재의 크기에 따라 차이가 있지만 일반적으로 80℃를 넘지 않는다. 따라서 측정온도범위가 1200℃인 Thermocouple로 0.1~1℃ 범위의 콘크리트의 온도를 측정하면 Resolution이 떨어질 뿐 아니라 비경제적인 계측이 된다.
- (4) 콘크리트의 온도계측에 사용되는 온도센서 및 시스템은 측정범위가 실제콘크리트의 온도범위에 가까워 분해능이 우수하고, 측정거리에 따른 저항손실이 적으며 무엇보다도 경제성이 있어야 한다. 따라서 이상의 특성을 고려하면 Thermocouple보다는 그 성능과 경제성이 우수한 NTC Thermistor가 콘크리트의 온도계측에는 더 적합한 센서시스템이라고 사료된다.

참 고 문 헌

1. E. D. Macklen, "Thermistors", Electrochemical Pub. Ltd., 1979.
2. Verwey, E. J., Haayman, P. V. and Romeyn, F. C., "Semiconductors with Large Negative Temperature Coefficient of Resistance", Philips Tech. Rev., 9, 239, 1947. 8.
3. 김기수 외, "콘크리트의 수화도 및 단열온도 상승량 예측모델 개발", 한국콘크리트학회 '98 가을 학술발표논문집, pp. 293~298.
4. 하재담 외, "저열 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 특성" '98 가을 학술발표논문집, pp. 66~71.