

## 간이단열온도로서 콘크리트의 단열온도 추정을 위한 연구

### Prediction of Adiabatic Temperature in Concrete as Semiadiabatic Temperature

문 한 영\*

문 대 중\*\*

Moon, Han-Young

Moon, Dae-Joong

#### Abstract

The semi-adiabatic temperature rise and the losses of temperature of cement paste, mortar and concrete were measured by an apparatus of semi-adiabatic temperature. Heat of hydration was measured by a conduction calorimeter and adiabatic temperature rise of concrete was measured by an adiabatic calorimeter. The derived equation which can assume the adiabatic temperature was proposed by measuring the semi-adiabatic temperature of concrete.

The maximum adiabatic temperature rise of concrete obtained by the derived equation of adiabatic temperature,  $T_{ad}(t) = T_{sad}(t) + T_{dis}(t)$ , showed 55°C approximately and it had good relation with the other one obtained by the heat of hydration of cement paste and with maximum value which was measured by the adiabatic calorimeter. The adiabatic temperature rise obtained by derived equation was a different information in comparison with the value obtained by adiabatic temperature rise equations by Helland et. al. in early age, but it showed similar tendencies with the other one according to elapsed time.

Adiabatic temperature rise of rich mix concrete with highly cement content was predicted. The adiabatic temperature rise of cement paste and mortar obtained by derived equation from us showed comparatively matching results to compared with that of obtained by adiabatic temperature equation from concrete standard specification.

**keywords** : derived equation of adiabatic temperature, adiabatic temperature rise, semiadiabatic temperature

\* 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 정희원, 한양대학교 산업과학연구소 연구원

• 본 논문에 대한 토의를 2001년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2002년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

콘크리트는 열전도율이 비교적 낮은 재료이므로 매스 콘크리트 구조물을 건설할 경우 시멘트의 수화열로 인하여 콘크리트 내부에서 발생된 온도 상승량이 콘크리트 주변의 온도와 일치할 때까지 외부로 발산하는데 상당한 시간이 소요된다. 이 때 발생하는 콘크리트 내·외부의 온도차와 구조물의 구속정도에 따라서 콘크리트 표면에 온도균열이 생길 경우 구조물의 품질 및 내구성을 저하시키는 중요한 요인이 된다.<sup>1),2)</sup>

그러므로 콘크리트 구조물의 온도상승을 억제하기 위한 방안으로 증용열포틀랜드시멘트, 저발열시멘트 및 고로슬래그 미분말이나 플라이애시와 같은 광물질 혼화제의 활용한 연구내용을 발표한 바 있다.<sup>3),9)</sup>

森永<sup>4)</sup>은 콘크리트 구조물 내부의 온도상승을 낮추기 위하여 파이프 쿨링 또는 재료의 온도를 낮추어 주는 프리쿨링을 실시하는 등의 대책을 강구한 내용을 소개하고 있다.

한편, 단위시멘트량이 많은 부배합 콘크리트 또는 단면이 큰 매스콘크리트 구조물의 온도상승에 의해서 발생하는 문제점을 사전에 예방하기 위한 대책으로 Helland 등은<sup>3),5),9)</sup> 시멘트수화열에 의한 콘크리트의 온도상승량 및 온도응력의 예측은 필요불가결하다고 한다.

그래서 모형 콘크리트 시험체로서 콘크리트의 단열 온도 상승량을 실측 또는 추정하며, 이때 콘크리트의 단열 온도 상승량을 측정하기 위한 시험장치로서는 등온시험, 단열 온도 시험 및 간이단열 온도 시험 방법 등이 보편적으로 이용되고 있다.<sup>6),11)</sup>

일반적인 단열 온도 시험장치는 단면이 큰 콘크리트 구조물의 중심부와 유사한 조건하의 온도상승을 측정하기 위한 측정장비로서 시험체 주위의 단열재 성능 등에 따라 단열 온도가 얼마간 상이한 결과를 나타낸다

고 하지만, 단열 온도 측정값에 대한 신뢰도가 높은 대신 장비가 고가일 뿐만 아니라 정확한 측정을 위해서는 세심한 주의가 요망되는 단점이 있다.

반면, 간이단열 온도 시험장치는 시험체 주위의 환경 온도 등과 같은 단열 온도 상승에 미치는 변수를 고려한 콘크리트의 단열 온도 상승량을 추정하는데 이용할 수 있으며, 장치가 저렴하고 취급이 용이한 장점에 Morabito<sup>11)</sup>는 콘크리트의 간이단열 온도를 측정하여 단열 온도 상승량을 추정하고자 하는 연구를 시도하였다.

본 연구에서는 콘크리트의 간이단열 온도를 측정하여 추정식에 의하여 구한 콘크리트의 단열 온도 상승량과 단열 온도 시험장치에서 측정한 값을 비교하여 본 연구에서 제안한 단열 온도 추정식의 신뢰성을 검증하였으며, 아울러 기존의 연구자들이 제안한 단열 온도 상승식에 의하여 구한 값과도 비교, 고찰하였다.

또한 간이단열 온도 시험장치의 크기를 달리하여 시멘트페이스트 및 모르타르의 단열 온도 상승량을 추정 하므로써 단위시멘트량이 많은 부배합 콘크리트의 단열 온도 상승량의 추정 결과에 대해서도 검토하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용 재료

(1) 시멘트 : 비중 3.15, 비표면적 3,112  $cm^2/g$ 인 보통포틀랜드시멘트(이하 보통시멘트로 약함)를 사용하였으며 화학성분은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical compositions of portland cement (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig. loss
21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58

Table 2 Physical properties of aggregate

Type	Items	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage of solids (%)
Fine agg.		2.61	1.5	2.66	1,620	61.8
Coarse agg.		2.65	0.9	6.85	1,734	64.7

- (2) 골재 : 해사를 세척하여 염분을 제거한 후 잔골재로 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 20mm의 부순돌을 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다
- (3) 혼화제 : 폴리카르복실 에테르(Poly carboxyl ether) 고축합물이 주성분으로써 비중  $1.05 \pm 0.01$ 의 암갈색 고성능감수제(이하 SP로 약함)를 사용하였다.

## 2.2 실험 방법 및 기구

- (1) 시멘트페이스트의 수화열 측정 시험 : 시멘트 페이스트 시험편의 주변 온도를  $20^{\circ}\text{C}$ 로 유지하면서 전도형 열량계(conduction calorimeter)로서 약 170시간 동안의 수화열을 측정하였다.
- (2) 간이단열온도 측정 시험 : 간이단열온도 측정 시험은 스티로폼 용기를 이용하여 시험장치를 제작하였다. 콘크리트의 간이단열온도는 Fig. 1과 같은 크기  $30 \times 30 \times 30\text{cm}$  입방체의 시험체(이하 시험체 A로 약함)를 만들어, 이 시험체 중심부에 온도센서(thermocouples)를 붙고 경과시간에 따른 온도 상승량 및 믹싱 직후의 콘크리트 초기온도로 하강할 때까지 측정하였다. 또한 시험체 크기에 따른 영향을 알아보기 위하여 Fig. 2와 같은 크기  $10 \times 10 \times 10\text{cm}$  입방체의 시험체(이하 시험체 B로 약함)로서 시멘트페이스트 및 모르타르에 대하여 검토하였다.
- (3) 간이단열 손실온도 : 시험체의 손실온도는 시험체의 내부온도를  $100^{\circ}\text{C}$  정도까지 상승시킨후 시험체의 주위온도와 같아질 때까지의 하강온도를 측정하여 구하였다. 또한 콘크리트 시험체 주위온도에 의한 손실온도를 교정하기 위하여 Fig. 3과 같이 간이단열온도 측정장치 주위에 2층의 스티로폼 상자형 칸막이를 만들어 시험체의 내부온도를 상승시킨 후 주위온도를  $17.23^{\circ}\text{C}$  및  $32^{\circ}\text{C}$  3종류로 유지시키면서 시험체 주위의 온도와 같아질 때까지의 하강온도를 측정하여 시험체 내부에서 손실되는 온도를 구하였다.

- (4) 콘크리트의 단열온도 측정 시험 : 콘크리트의 단열온도는 독일 TECHNIK사의 단열열량계(Adiabatic calorimeter)에 의해 콘크리트를 비빈 후 약 150시간 정도까지 측정하였다.

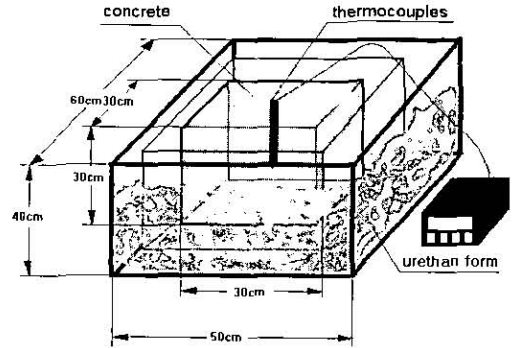


Fig. 1 Semiadiabatic temperature apparatus of concrete (specimen A)

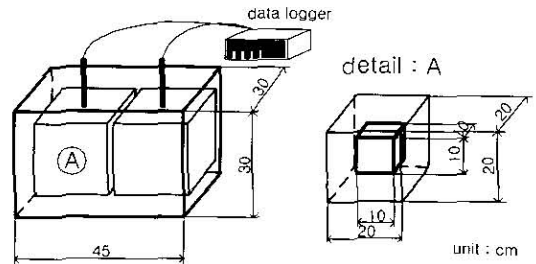


Fig. 2 Semiadiabatic temperature apparatus of paste and mortar (specimen B)

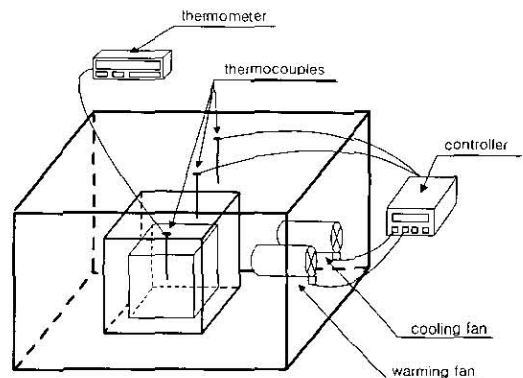


Fig. 3 Temperature loss apparatus of concrete

Table 3 Mix proportions of concrete

Gmax (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				SP (C×%)
					W	C	S	G	
20	15	4±0.5	42.7	44.3	190	445	725	945	0.52

### 2.3 배합

콘크리트의 배합은 Table 3과 같다. 또한, 단위시멘트량 및 시험체 크기의 영향을 고찰하기 위하여 시멘트 페이스트는 물-시멘트비 42%, 시멘트량 1.367g/ℓ의 배합과 모르타르는 물-시멘트비 55%, 시멘트량 577g/ℓ, 잔골재와 시멘트의 중량비(S/C)는 2.27의 배합을 정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 시멘트의 수화열

시멘트의 수화열은 콘크리트의 온도를 상승시키는 주요 인자이므로 시멘트의 수화발열특성을 검토하기 위하여 전도형 열량계를 이용하여 시멘트페이스트의 수화열을 측정 한 후 경과시간별 수화발열량과 누적수화발열량으로 정리한 것이 Fig. 4이다.

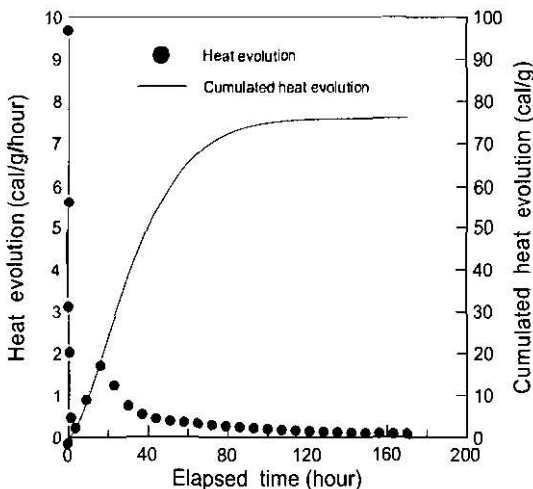


Fig. 4 Rate of heat evolution and accumulated heat evolution in cement paste

이 그림에서 시멘트페이스트의 경과시간별 수화발열량을 살펴보면 약 17시간 정도에서 수화반응이 활발하게 진행되는 피크가 나타나고 있으나, 그 이후 서서히 감소되고 있음을 알 수 있으며, 수화초기에 수화발열량이 큰 것은 시멘트 조성광물 중 C<sub>3</sub>A의 반응에 의한 것으로 생각된다. 이와같은 시멘트의 수화열은 시멘트의 조성광물, 분말도 등에 따라 차이가 있으므로, 단면이 큰 콘크리트 구조물이나 단위시멘트량이 크게 요구되는 고강도 콘크리트구조물에 발생하는 온도상승을 저감하기 위한 한가지 방안으로 시멘트의 조성광물을 조정 한 혼합시멘트 및 혼화재료 등이 사용되어 왔다.<sup>7),9)</sup>

### 3.2 콘크리트의 단열온도 상승량 추정 및 간이단열 손실온도

본 연구에서는 시멘트 수화열에 의한 콘크리트의 단열온도 상승량을 검토하기 위하여 간이단열온도 시험

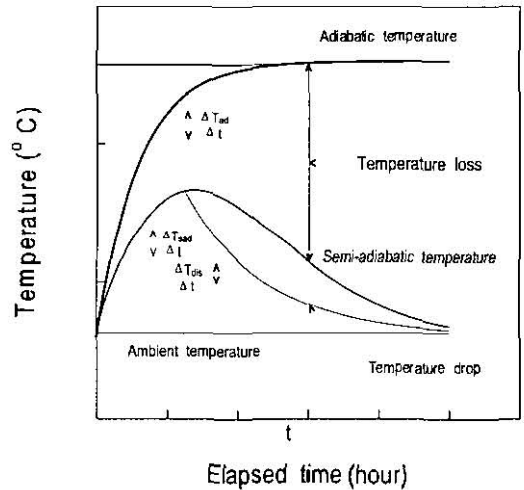


Fig. 5 Relationship between adiabatic temperature, semiadiabatic temperature and temperature drop of concrete

방법에 의해 추정하여 고찰하였다. 콘크리트의 단열온도와 간이단열온도와의 관계를 Fig. 5로 나타내었다. 이 그림에서와 같이 단위시간 동안 시멘트 수화열에 의해 발생하는 단열온도 상승속도( $\Delta T_{\text{ad}}/\Delta t$ )는 열에너지 보존 법칙에 의하여 간이단열 온도속도( $\Delta T_{\text{sat}}/\Delta t$ ), 시험체에서 외부로 손실되는 온도 손실속도( $\Delta T_{\text{dis}}/\Delta t$ )와의 관계로써 (1)과 같이 정의하였으며, 콘크리트의 단열온도는 간이단열온도와 손실온도를 이용하여 (2)로 구하였다.

$$\frac{\Delta T_{\text{sd}}}{\Delta t} = \frac{\Delta T_{\text{sad}}}{\Delta t} + \frac{\Delta T_{\text{dis}}}{\Delta t} \quad (1)$$

$$T_{\text{ad}}(t) = T_{\text{sad}}(t) + T_{\text{dis}}(t) \quad (2)$$

여기서,  $T_{\text{ad}}(t)$  : 단열온도(°C)  
 $T_{\text{sad}}(t)$  : 간이단열온도(°C)  
 $T_{\text{dis}}(t)$  : 손실온도(°C)

(2)에서 콘크리트의 손실온도는 간이단열온도의 평균값과 하강온도량의 차로써 (3)으로 구하였다.

$$T_{\text{dis}}(t) = \sum (T_{\text{mean}} - T_{\text{drop}}(t + \Delta t)) \quad (3)$$

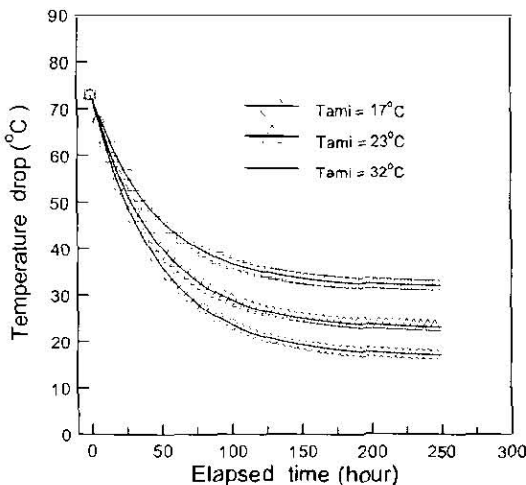


Fig. 6 Temperature drop of concrete (specimen A)

여기서,  $T_{\text{mean}}$  : 간이단열온도의 평균값(°C)

$T_{\text{drop}}$  :  $T_{\text{mean}}$ 와 같은 하강온도량(°C)

$t$  : 하강온도량의 경과시간(hr)

$\Delta t$  : 간이단열온도 측정시간 간격(hr)

이 때 (3)에서 콘크리트 시험체 A의 하강온도량은 시험체의 내부온도를 100°C 정도까지 상승시킨 후, 시험체 주위온도와 같아질 때까지의 경과시간에 따라 하강하는 온도를 측정하여 시험체 주위온도와 하강온도의 차로써 구하였다.

콘크리트 시험체 주위온도에 의한 영향을 검토하기 위하여 3종류의 주위온도별( $T_{\text{ami}}$ )로 측정하여 정리한 것이 Fig. 6으로서, 시험체에서 손실되는 온도는 주위온도에 의해 영향을 받아 주위온도가 낮은 경우에 하강온도는 크게 감소하고 있다. 이 Fig. 6을 시험체의 주위온도별 최고 하강온도량을 같은 값으로 환산한 후, 경과시간에 따른 하강온도량으로 환산하여 정리한 것이 Fig. 7이다. 콘크리트의 최고 하강온도량을 동일한 값으로 환산하므로써, 하강온도량은 시험체 주위온도에 관계없이 균일하게 감소하여 시험체 주위온도에 의한 주위온도와 하강온도량을 한 개의 관계식으로 표현할 수 있었으며, 이의 관계식을 (4)와 같다.

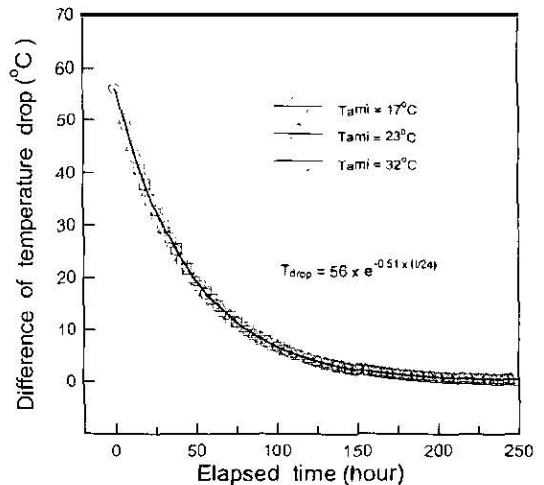


Fig 7 Difference of temperature drop for concrete (specimen A)

Table 4 Adiabatic temperature rise of concrete

Time (h) / Temp.(°C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140
Measured value	0.0	5.9	26.9	37.0	44.6	48.2	49.9	50.8	51.5	52.2	52.7	53.5	54.2
Predicted value	0.0	3.5	27.9	40.5	44.0	47.4	49.8	51.5	52.7	53.6	54.2	54.9	55.2

$$T_{drop}(t) = 56 \times e^{(-0.51 \frac{t}{24})} \quad (4)$$

여기서,  $T_{drop}$  : 하강온도(°C)  
 $t$  : 재령(hour)

### 3.3 콘크리트의 단열온도 상승량 추정검토

콘크리트의 온도는 시멘트의 수화열에 의해 상승하며, 이 온도상승과 외부온도와의 차가 커지면 온도균열이 발생하게 되어 구조물의 성능을 저하시키게 된다. 이와 같은 문제점을 미리 억제하기 위해서는 콘크리트의 단열온도를 추정 또는 측정하여 구조물의 온도변화를 예측할 필요가 있다.

그래서 콘크리트의 간이단열온도를 측정하여 (2)로 구한 단열온도 추정값과 콘크리트의 단열온도 상승량

의 측정값으로 정리한 것이 Table 4이다.

이들 값과 시멘트페이스트의 수화열을 측정하여 구한 단열온도 상승량 및 간이단열온도 상승량으로 나타낸 것이 Fig. 8이다.

Fig. 8에서 알 수 있듯이 단열온도 추정식으로 구한 최대 단열온도 상승량은 약 55°C, 시멘트페이스트의 수화열에 의한 최고 단열온도 상승량은 약 55°C 및 단열온도 시험장치로 측정한 최고 단열온도 상승량은 약 54°C로 매우 잘 일치하는 좋은 결과를 얻었다.

이번에는 콘크리트의 단열온도 상승량의 측정값을 Helland 등의 단열온도 상승식에<sup>3),5),10)</sup> 대입하여 얻어진 값과 단열온도 추정식에 의해 구한 추정값을 경과시간 7일까지 정리한 것이 Fig. 9이며, 경과시간 20시간까지 정리한 것이 Fig. 10이다.

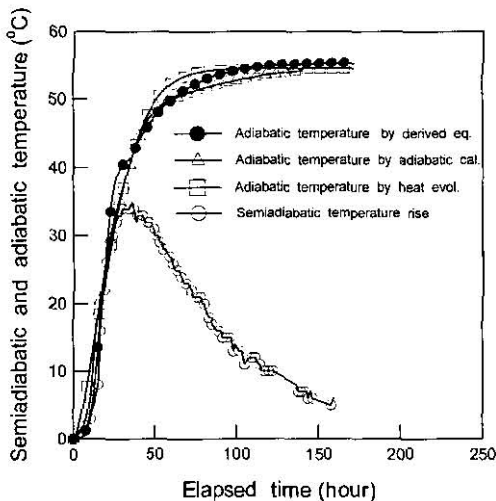


Fig. 8 Semiadiabatic and adiabatic temperature rise of concrete

$$T_{ad}(t) = K(1 - e^{-a(\frac{t-t_0}{24})^2}) \quad (5)$$

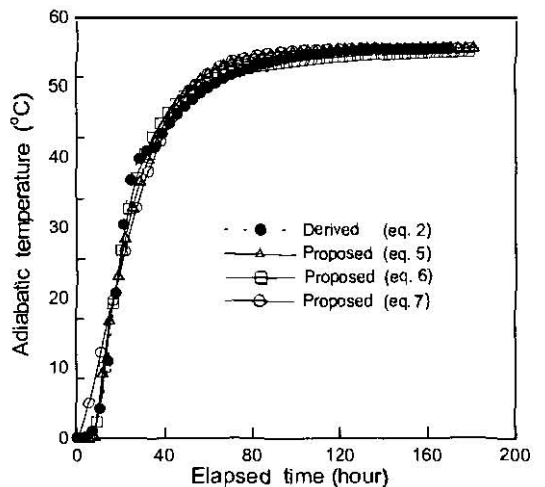


Fig. 9 Relationship between predicted and proposed adiabatic temperature rise

$$T_{ad}(t) = Ke^{-\left(24\frac{t}{t_0}\right)^{\beta}} \quad (6)$$

$$T_{ad}(t) = K\left\{1 - e^{-\left(\frac{t}{24}\right)^{\beta}}\right\} \quad (7)$$

여기서,  $K$  : 최대 단열온도 상승량 (°C)  
 $\alpha, \beta, t_0$  : 실험상수  
 $t$  : 재령(hr)

Fig. 9 및 Fig. 10에서 알 수 있듯이 초기재령 10시간 전후에서는 단열온도 추정식에 의해 구한 추정값과 한국콘크리트학회 콘크리트 시방서의 단열온도 상승식으로 구한 단열온도 상승곡선과 시멘트페이스트의 수화열을 측정하여 구한 단열온도 상승곡선과는 약 5°C 정도의 차이를 나타내었으나, Holland<sup>10)</sup>의 단열온도 상승식으로 구한 단열온도 상승량과는 매우 잘 일치하였으며, 경과시간이 증가함에 따라 기존의 단열온도 상승식에 의해 구한 값과 비교적 잘 일치하는 경향을 나타냄을 알 수 있다.

이상과 같이 간이단열온도 실험장치로서 측정된 간이단열온도를 단열온도로 추정된 값은 단열온도 시험장치로 측정된 값과도 일치할 뿐만 아니라, 추정식에 의한 추정값은 기존에 제안한 식들과의 값과도 유사한

경향을 나타내므로 단열온도 실험장치 주위의 단열제 성능에 따른 단열성능의 문제점을 다소 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 3.4 단위시멘트량이 많은 부배합 콘크리트의 단열온도 상승량 추정

고강도 또는 초고강도콘크리트를 제조하기 위한 수단으로 일반적으로는 많은 단위시멘트량이 요구되며, 콘크리트의 최대 단열온도 상승량이 100°C를 초과하는 경우가 발생한다. 일반적인 단열온도 시험장치로서 단열온도를 측정하는데는 시험체 주위의 환경조건이 시험체의 내부온도와 일치하지 않는 점 등의 문제점이 있다.

그러므로 단위시멘트량이 많은 부배합 콘크리트의 단열온도 상승량을 추정하기 위한 수단으로 Fig. 1의 콘크리트 시험체보다 월등히 작은 Fig. 2와 같은 간이단열온도 시험장치 및 시험체를 제작하여 모르타르 및 시멘트페이스트의 간이단열온도를 측정하였다.

Fig. 2의 시멘트페이스트나 모르타르 시험체 B에서 발생하는 손실온도를 경과시간에 따른 하강온도량으로 정리한 것이 Fig. 11이며, 시멘트페이스트나 모르타르

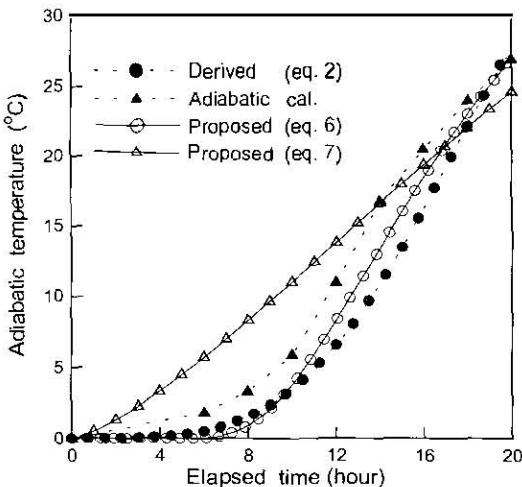


Fig. 10 Relationship between predicted and proposed adiabatic temperature rise at early age

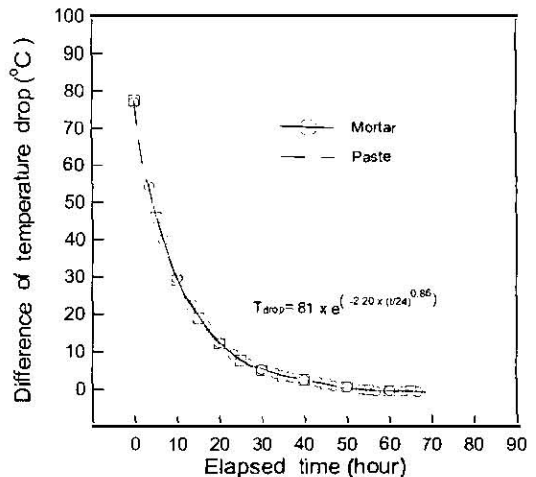


Fig. 11 Difference of temperature drop for cement paste and mortar (specimen B)

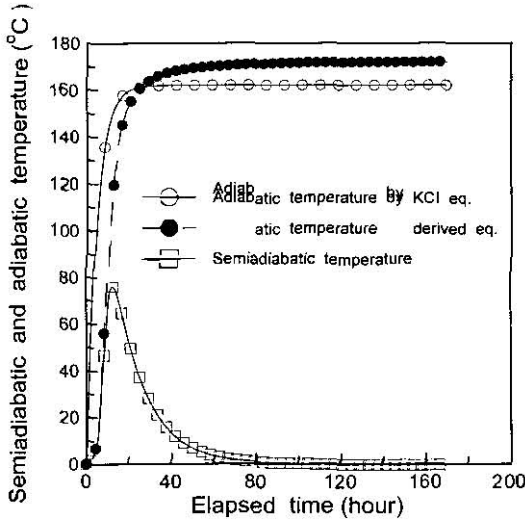


Fig. 12 Adiabatic temperature and semiadiabatic temperature of cement paste (specimen A)

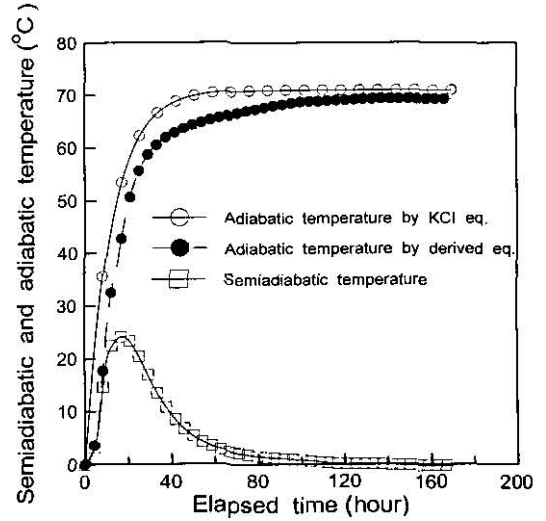


Fig. 13 Adiabatic temperature and semiadiabatic temperature of mortar (specimen A)

르 시험체의 경과시간에 따른 하강온도량은 잘 일치함을 알 수 있다.

시멘트페이스트나 모르타르의 경과시간과 하강온도량의 관계를 식으로 나타내면 (8)과 같다.

시험체 B에서 손실되는 하강온도량 (8)과 시험체 A에서 손실되는 하강온도량 (4)와의 관계를 비교해 볼 때, 시험체 B에서 손실되는 하강온도량이 시험체 A에서 손실되는 하강온도량보다 큰 이유는 시험체의 매트릭스보다 시험체 주위의 단열재에 의한 영향이 크게 나타났기 때문으로 생각된다.

$$T_{\text{drop}}(t) = 81 \times e^{(-2.20 \left(\frac{t}{24}\right)^{0.86})} \quad (8)$$

한편, 모르타르 및 시멘트페이스트의 단열온도 상승량의 추정값은 콘크리트의 단열온도 상승량 추정식 (2)로서 구하였으며, (7)로서 타설온도 20°C에서 구한 단열온도 상승량과 비교하여 정리한 것이 Fig. 12 및 Fig. 13이다.

Fig. 12는 모르타르의 단열온도 추정 값으로써, (단위시멘트량 577kg/m<sup>3</sup> 상당) 시멘트 수화열에 의한 단열온도 상승량이다. 단열온도 추정식 (2)로 구한

추정값의 단열온도 상승곡선과 (7)에 의한 단열온도 상승곡선은 비슷한 경향이며, 최대 단열온도 상승량은 (2) 및 (7)로서 구한 값이 각각 70°C 및 71.2°C 정도로 거의 일치하는 좋은 결과를 얻었다.

Fig. 13은 시멘트 페이스트의 단열온도 추정 값으로써, (단위시멘트량 1367kg/m<sup>3</sup> 상당) 단위시멘트량이 매우 많은 부배합의 단열온도 상승량이다. 콘크리트의 단열온도 추정식 (2)에 의해 구한 최대 단열온도 상승량은 약 170°C 정도임에 비해, 콘크리트 표준시방서에 제시된 식으로 구한 최대 단열온도 상승량은 약 162°C 정도 약간의 차이가 있었으나, 단열온도 상승곡선의 경향은 유사함을 알 수 있다

다시 말해서 모르타르 및 시멘트페이스트의 단열온도 추정값은 콘크리트 시방서에서 제시된 식으로 구한 값과 비교적 잘 일치하므로 단위시멘트량이 많은 부배합 콘크리트의 단열온도 상승량을 추정하기 위한 수단으로 Fig. 2와 같은 간이단열온도 시험장치 및 시험체를 제작하여 모르타르 및 시멘트페이스트의 간이단열온도를 측정하여 콘크리트의 단열온도 추정식에 의해 추정한 값은 콘크리트의 단열온도 상승량을 추정하는데 유효하다고 생각된다



## 4 결 론

- 1) 시멘트의 수화열에 의해 발생하는 콘크리트의 단열온도 상승량을 구하기 위한 간단한 방법으로 콘크리트의 간이단열온도 및 손실온도를 이용하여 단열온도를 환산하는 추정식을 제안하였다. 이 때, 콘크리트의 손실온도는 단열온도 추정시 시험체에서 손실되는 온도를 보정하는데 이용하였다.
- 2) 단열온도 추정식으로 구한 콘크리트의 단열온도 추정값은 콘크리트의 단열온도 시험장치에서 측정된 단열온도 상승량과 잘 일치하는 결과를 얻었다. 또한, Helland 등이 제안한 식과 비교한 결과 시간이 경과함에 따라 잘 일치하는 결과를 얻었다.
- 3) 콘크리트의 단열온도 추정식으로 구한 시멘트페이스 및 모르타르의 단열온도 상승량은 콘크리트 표준시방서에 제시된 식으로 구한 단열온도 상승량과도 비교적 잘 일치하는 결과로서 단위 시멘트량이 많은 부배합 콘크리트의 단열온도 상승량을 추정하는데 유효하다고 생각된다.
- 4) 간이단열온도를 단열온도로 환산한 값은 단열온도 시험장치로 측정한 값과도 잘 일치할 뿐만 아니라 시험장치 주위의 온도손실을 해결할 수 있을 것으로 사료되므로 연구실에서뿐만 아니라 현장에서 콘크리트 구조물의 온도상승량의 예측에 유용하게 활용할 수 있는 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

1 김진근, 양은익, "매스 콘크리트의 수화열 및 온도 응력에 대한 영향 요인", 콘크리트학회지 Vol. 9, No. 3, pp.15-23, 1997, 6

2. 김진근 외 4명, "시멘트 및 콘크리트의 수화발열특성에 관한 연구", 콘크리트학회지 Vol. 7, No. 3, 1995, 6, pp. 211-219
3. 콘크리트 표준시방서, '매스콘크리트', 한국 콘크리트학회, 1999, pp.119~126.
4. 森永 繁, "ひび割れ制御技術の現状-対策と効果-, コンクリート工學, Vol. 34, No. 8, 1996, 8, pp.13~20.
5. 國府勝郎 外 3名, "高爐スラグ微粉末を用いたコンクリートの斷熱溫度上昇および水和性狀に関する研究", 土木學會論文集, 第 396號, Vol. 9, 1988.8, pp.39~48.
6. 鈴木康範 外 3名, "コンクリートの斷熱溫度上昇試驗裝置に関する性能試驗方法について", 土木學會論文集, 第 402號, V-10, 1989, 2, pp.81~86.
7. 太田 達見 外 3名, "高ヒート系セメントを用いたコンクリートの溫度上昇豫測に関する検討", 콘크리트工學年次論文報告集, Vol. 17, No. 1, 1995, pp.645~650
8. M. D. A. Thomas and P. K. Mukherjee, "The Effect of Slag on Thermal Cracking in Concrete", Thermal Cracking of Concrete at Early Ages, RILEM Proceedings 25, E & FN Spon, 1995, pp.197~204.
9. M. YU. Leshchinsky, V. A. Velichko and A. M. Leshchinsky, "The Use of Fly Ash in Concrete Subject to Heat Treatment", Cement and Concrete Research, Vol. 21, No. 2, 1991, pp.205~218.
10. S. Helland, "Curing Control by Micro Computer", Nordisk Beton, 1-2, 1986, pp.63~70.
11. P. Morabito, "Adiabatic and Semi-adiabatic Calorimetry to Determinate Temperature Rise in Concrete due to Hydration Heat of the Cement", Avoidance of Thermal Cracking in Concrete at Early Ages, RILEM TC-119 TCE, the International Symposium Thermal Cracking in Concrete at Early Ages, Munich, October 1994, pp.88~103.

(접수일자 : 2001년 4월 12일)