

# 매스콘크리트 구조체의 주변환경을 고려한 온도이력 해석

## Analysis of Temperature Rise History Considering Construction Environments in Mass Concrete Structural Element

이장화\*      변근주\*\*

Lee, Jang Hwa    Byun, Keun Joo

### 요 약

매스콘크리트 시공시 콘크리트의 온도가 급격히 변화하면 콘크리트에는 균열이 발생하게 된다. 매스콘크리트를 타설한 후에는 구조물의 주변환경조건이 콘크리트의 온도를 변화시키게 된다. 그러나 아직도 주변환경조건을 고려하여 콘크리트의 온도이력을 엄밀하게 해석할 수 있는 해석기법이 개발되지 않은 상황이다.

본 연구에서는 대기온도, 양생온도, 거푸집재료, 거푸집의 존치 및 제거, 추가양생 등 주변환경조건이 매스콘크리트 온도이력에 미치는 영향을 정량적으로 해석하기 위하여 유한요소정식화에 열전달계수, 주변환경조건 및 거푸집조건을 도입하였고 이를 해석할 수 있는 알고리즘과 해석프로그램을 개발하였다.

본 연구의 수치모형 해석값을 모형실험값, 타연구 모형실험값 및 기존의 범용프로그램에 의한 해석값과 비교한 결과로부터 본 연구의 온도해석이론의 타당성 및 정확도를 분석하였다.

### Abstract

Cracks occur in mass concrete structures during construction if temperature of the concrete due to heat of hydration is suddenly changed. The temperature is also changed after placement of mass concrete by construction environments on structures. However, methods which can analyze the temperature history of mass concrete considering the construction environments have not been developed yet.

In this research, an algorithm and finite element analysis program is developed for the analysis of temperature rise history of mass concrete considering quantitatively heat transfer coefficient and construction environmental conditions such as climate conditions, curing conditions, forms and form removal, and additive curing.

\* 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원, 공박  
\*\* 정회원, 연세대학교 토목공학과 교수, 공박

• 본 논문에 대한 토의를 1996년 10월 30일까지 학회로 보내주시면 1996년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

By comparing analysis results of the program with experimental data, other research data, and analysis results by a finite element program ADINAT, validity and accuracy of the program is verified.

Keywords : Mass Concrete, Construction Environments, Analysis

## 1. 서 론

최근 콘크리트 구조물이 대형화, 특수화되고 이로 인한 시공법의 발전에 따라 대량급속 시공이 증가되고 있으며 과거보다는 상대적으로 고강도의 콘크리트 시공이 빈번해 지고 있다. 더우기 콘크리트의 경화과정에서 발생하는 시멘트 수화열로 인해 구조물에 온도응력이 발생하게 되고 경우에 따라서는 구조물에 균열을 발생시키며 이러한 균열이 사용성, 방수성, 내구성에 지대한 영향을 미치는 경우도 자주 일어나고 있다

1970년까지만 해도 이러한 현상은 주로 콘크리트 댐 또는 부재치수가 수미터 이상이 되는 콘크리트 구조물에서만 나타나는 것으로 인식되었다. 그러나 최근에는 사용재료, 콘크리트의 설계강도 및 시공조건 등에 따라서는 부재의 최소치수가 비교적 작은 50cm 이상의 벽체구조물의 경우에도 매스콘크리트 범주에서 설계 시공하도록 규정하고 있다.<sup>(1~8)</sup>

매스콘크리트의 경우 대기중, 기초지반 및 기존 구조물 등으로 방출되는 열량에 비해 시멘트의 수화반응에 따른 발열량이 더 크기 때문에, 콘크리트의 내부온도가 상당히 높아지게 된다. 이때 부재치수에 따라 중심부와 표면부의 온도차가 커지게 되며, 상승한 온도가 하강시에 생기는 표면부 혹은 타설이음부의 수축변형이 암반이나 기존 구조물 등에 의해 구속되거나 내부구속이 될 경우 균열이 발생하게 된다.

매스콘크리트에 발생하는 균열은 일반적으로 폭이 크고 부재를 관통하는 경우가 많아 구조물의 내력, 내구성, 수밀성 및 미관 등의 소요품질을 손상시키기 때문에,<sup>(9)</sup> 시공전에 콘크리트 구조물 내부의 온도상승 및 하강량을 예측하고 온도상승량 및 하강량을 최소화시킬 수 있는 대책의 수립이 절실한 실정이다.

매스콘크리트의 타설시 구조물 요인, 배합요인, 시공요인, 환경요인 및 콘크리트의 온도요인 등이 수화열로 인한 온도상승에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다.<sup>(10)</sup> 온도이력 해석에 있어 기존의 연구에서는 정량적요인에 해당하는 구조물요인과 배합요인 및 콘크리트의 온도요인을 주로 고려하여 왔다.<sup>(11,12,13,14,15)</sup> 따라서 본 연구에서는 매스콘크리트 구조물의 시공시 양생조건, 거푸집 존치 및 제거, 추가양생, 기후변화 등 시공 및 주변환경 조건에 따라 중심부는 물론 표면부의 콘크리트 온도이력을 엄밀하게 예측하고 평가할 수 있는 해석알고리즘을 개발하였으며 개발된 프로그램을 실험결과, 기존의 연구결과 및 범용프로그램의 해석결과와의 비교를 통해 사용성과 타당성을 분석하였다.

## 2. 주변환경조건을 고려한 모형화

Fig. 1은 거푸집 제거전과 제거후, 추가적인 양생조건 및 기후조건의 변화에 따른 표면부와 중심부의 온도거동에 대한 타연구의 모형실험결과<sup>(16)</sup>를 도시한 것이다. 실험결과에서 각 곡선은 콘크리트 타설후 재령 50시간에 거푸집을 제거하고 재령 58시간까지 8시간 동안 대기에 방치한 다음 재령 63시간까지 5시간 동안 콘크리트면에 초속 6~8m/sec의 송풍을 가한후 계속 대기상에 방치하는 일련의 실험조건에서 중심부(P1)와 표면부(P2, P3)의 온도이력 측정결과를 재령별로 나타낸 것이다.

온도이력곡선(Fig. 1)에서 알 수 있는 바와 같이 중심부는 거푸집제거에 민감하지 않으나 표면부의 경우에는 거푸집제거, 대기온도 및 양생조건의 변화에 민감하게 거동하여 온도이력곡선에 시공환경의 변화에 따른 영향이 분명하게 나타나고 있다. 실제로 목재거푸집의 경우 양생과정에서 거푸집을 제거하면 콘크리트에는 거푸집의 보온효과가 없어지

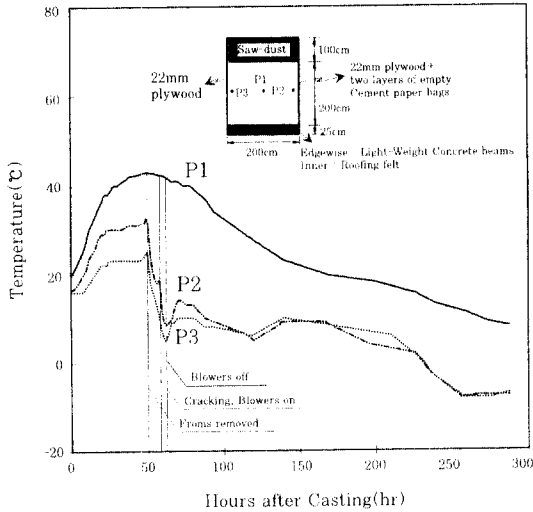


Fig. 1 Temperature history according to the construction environments

게 되고 이로 인해 콘크리트의 온도는 대기온도와 평형을 이루기 위해 급격히 하강한다. 이때 콘크리트면에는 온도하강에 따른 수축변형으로 인해 인장응력이 발생하게 되며, 온도하강 속도가 일정하고 이상으로 커지게 되면 수축변형에 따른 인장응력이 콘크리트가 가지고 있는 인장변형 능력을 초과하게 되어 콘크리트에는 균열이 발생하게 되는 것이다.

본 연구에서는 Fig. 1의 실험에서와 같이 거푸집 존치 및 제거, 송풍실시 및 송풍종료, 대기중 방치 등의 시공 및 주변환경조건이 변화함에 따라 콘크리트 온도이력이 변화하는 것을 물리적으로 정량화할 수 있는 해석알고리즘을 개발하고자 한다.

### 3. 주변환경을 고려한 온도해석기법의 개발

#### 3.1 단열온도 상승식

콘크리트의 단열온도상승식이란 시멘트의 수화반응 결과 시간의 경과에 따라 콘크리트의 온도가 상승하는 이력을 표현한 식으로서, 본 연구에서는 보통 포틀랜드 시멘트에 대해 실험적방법에 기초한 식 (1)을 사용하였다.

$$T(t) = K(1 - e^{-\alpha t}) \quad (1)$$

여기서,  $T(t)$  : 단열상승온도

( $t$ ) : 재령

$K, \alpha$  : 상수

식 (1)에서  $K, \alpha$ 는 실험을 통해 얻어진 곡선을 회귀분석하여 구해야 하나, 실험이 실시되지 않은 경우의  $K, \alpha$ 에 대해서는 식 (2) 및 식 (3)을 이용하여 단위시멘트량으로 부터 계산하고,<sup>(13)</sup> 이 값을 경험공식<sup>(10)</sup>을 이용하여 타설온도에 따라 보정한다.

$$K = 0.1 \times C + 10.0 \quad (2)$$

$$\alpha = 0.0016 \times C + 0.409 \quad (3)$$

#### 3.2 온도해석기법의 정식화

비정상 열전도문제에 대한 요소의 유한요소식은 Galerkin법을 적용하여 식 (4)로 표시할 수 있다.<sup>(17)</sup>

$$[k]\{\phi\} + [c]\left\{\frac{\partial \phi}{\partial t}\right\} = \{f\} \quad (4)$$

여기서, 행렬  $[k]$ ,  $[c]$ , 벡터  $\{f\}$ 는 각각 식 (5), 식 (6) 및 식 (7)과 같다.

$$[k] = \int_V \lambda \left( \frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} + \frac{\partial [N]^T}{\partial z} \frac{\partial [N]}{\partial z} \right) dV \quad (5)$$

$$[c] = \int_V \rho c [N]^T [N] dV \quad (6)$$

$$\{f\} = \int_V Q [N]^T dV - \int_S q [N]^T dS \quad (7)$$

여기서,  $V$ 는 요소영역,  $S$ 는 요소의 경계를 나타냄.

매스콘크리트 타설 후 주변환경조건의 변화를 고려하기 위해서는 열유속벡터인 식 (7)의 우변의 두 번째항은 아래와 같이 주변환경조건의 변화에 따라 변형되어야 하며 이것을 고려하면 식 (8)이 된다.

경계면  $S_j$ 에 주변환경이 변하는 경우 :

$$q = h(t)(T - T_c(t))$$

$$\int_{S_j} q [N]^T dS = \int_{S_j} h(t) [N]^T [N] dS \cdot \{\phi(t)\} - \int_{S_j} h(t) T_c(t) [N]^T dS \quad (8)$$

여기서,

$$h(t) = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_f} + \frac{1}{h_c + d_f}} H(t_f - t) + h_c H(t - t_f) + h_w H(t - t_w)$$

이며,  $H$ 는 Heaviside unit step function으로서 다음과 같이 정의된다.

$$H(t - t_i) \equiv \begin{cases} 0 & t < t_i \\ 1 & t > t_i \end{cases} \quad (8)$$

여기서,  $h(t)$  : 열전달계수로서 주변환경조건에 따른 재령  $t$ 의 함수

$T_c(t)$  : 양생온도나 외기온도로서 재령  $t$ 의 함수

$t_j$  : 거푸집제거 재령

$t_w$  : 풍속이 발생하는 재령

$h_w$  : 풍속이 있을 경우의 열전달계수  
(kcal/m<sup>2</sup> · hr · °C),

$$h_w = \left(\frac{5}{6} \sim 1\right) w_s$$

$h_c$  : 콘크리트의 열전달계수  
(kcal/m<sup>2</sup> · hr · °C)

$\lambda_f$  : 거푸집재료의 열전도율(kcal/m · hr · °C)(목재 : 0.5~0.8, 강재 : 53.0, 발포스티로폼 : 0.002~0.003)

$w_s$  : 풍속(m/sec)

$d_j$  : 거푸집의 두께(m)

경계면  $S_1$ 에 주변환경변화, 경계면  $S_2$ 에 열유속, 경계면  $S_3$ 에 열복사가 있는 경우에 대해서 각 경계조건을 고려하면 식 (5) 및 식 (7)은 식 (9)와 식 (10)으로 수정된다.

$$[k] = \int_{V^e} \lambda \left( \frac{\partial [N]^T}{\partial x} \frac{\partial [N]}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} \frac{\partial [N]}{\partial y} + \frac{\partial [N]^T}{\partial z} \frac{\partial [N]}{\partial z} \right) dV + \int_{S_1} w_r [N]^T [N] dS + \int_{S_2} h(t) [N]^T [N] dS \quad (9)$$

$$\{f\} = \int_{V^e} Q [N]^T dV - \int_{S_1} q_o [N]^T dS + \int_{S_1} h(t) T_c(t) [N]^T dS + \int_{S_2} w_r T_r [N]^T dS \quad (10)$$

여기서,

$$h(t) = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_f} + \frac{1}{h_c + d_f}} H(t_f - t) + h_c H(t - t_f) + h_w H(t - t_w)$$

$w_r$ 는 열복사계수,  $T_r$ 는 복사원의 온도를 나타내며,  $H$ 는 Heaviside unit step function임.

본 연구의 특징은 매스콘크리트 구조물의 시공시 주변환경조건에 따라 열전달상태가 달라지는 것을 열전달계수(coefficient of heat convection)를 이용하여 식 (8), 식 (9) 및 식 (10)으로 표현한 것이며, 주변환경조건에 따른 재령별 열전달계수의 변화를 Heaviside unit step function 을 이용하여 정식화하므로써 시공 및 주변환경조건을 고려한 해석을 가능하게 한 것이다.

## 4. 온도이력에 관한 모형실험

### 4.1 실험모형의 선정 및 제작

본 연구에서의 실험모형의 선정시 거푸집존치 및 제거영향과 양생효과 등의 시공환경조건을 재현할 수 있도록 하였으며 실험모형의 형상과 측정점 개요는 Fig. 2와 같다. 실험용 시편은 실제의 구조부재가 장방향으로 길게 되는 것을 대상으로 하여 길이방향에 수직방향으로 대부분의 열전달이 이루어지도록 Fig. 2에서와 같이 시편의 4개 측면중 마주보는 2개 측면에 각각 10cm의 단열재(스티로폼)를 설치하였으며 거푸집제거시에는 단열재가 없는면의 거푸집만을 제거하였다. 그리고 거푸집 제거시기는 각각 재령 44시간(시편 1), 재령 119시간(시편 2)으로 하였다.

### 4.2 사용재료 및 타설 양생

실험에 사용한 재료는 Table 1과 같다. 실험모형의 거푸집재료는 실험에서 의도하는 영향정도를 효

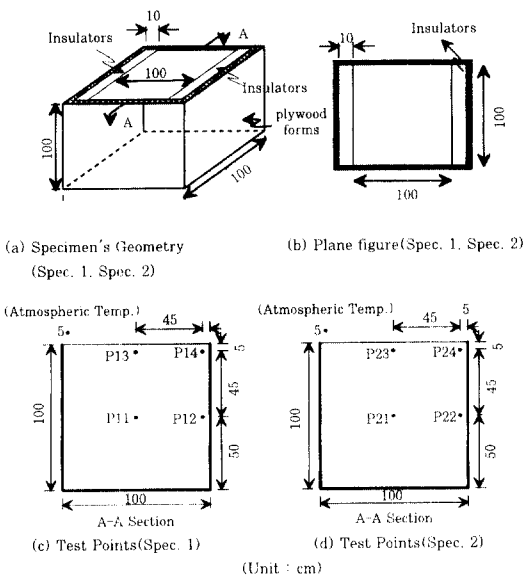


Fig. 2 Test specimen's geometry and test point to check the forms removal effect

올화시키기 위하여 보온효과가 비교적 큰 목재거푸집을 사용하였다. 콘크리트는 배치플랜트에서 배합하여 비빈 것을 레미콘 트럭으로 운반하여 타설하였으며 타설후 양생은 대기중에 방치한 상태에서 온도이력을 측정하였다.

### 4.3 측정결과

거푸집 제거영향 실험용 시편 2개에 대해 168시간동안 측정한 결과는 각각 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다. Fig. 3 및 Fig. 4에서는 거푸집 제거에 따른 표면부(P12, P22)의 온도하강경사가 급격히 변해 있다. 즉 재령 44시간에 거푸집을 제거한 Fig. 3의 P12의 온도하강량이 재령 119시간에 거푸집을 제거한 Fig. 4의 P22의 온도하강량보다 다소 급격하게 떨어졌다. 반면에 재령 119시간에 거푸집을 제

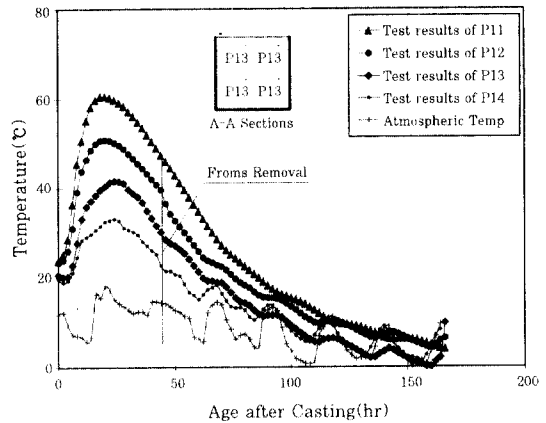


Fig. 3 Test results of forms removal of the specimen 1 (Forms removal age : 44 hours after placement)

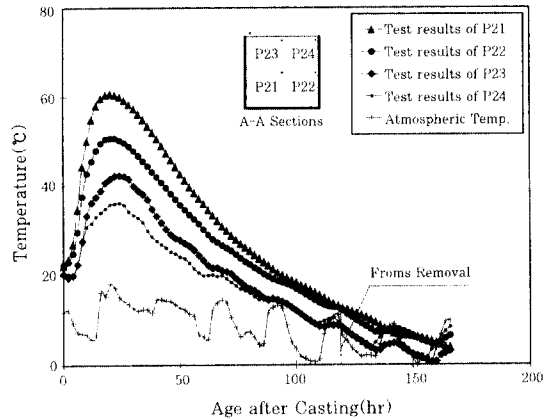


Fig. 4 Test results of forms removal of the specimen 2 (Forms removal age : 119 hours after placement)

거한 시편 2의 경우에는 거푸집을 제거하는 시점에서의 콘크리트 표면온도가 이미 대기온도와 비슷한 정도로 식어 거푸집제거 영향이 뚜렷하게 나타나지 않고 있다. 또한 중심부는 대기온도와 양생온도, 거

Table 1 Mix design table and form's condition

classif.	mix design table									forms condition
	slump (cm)	s/a (%)	G <sub>max</sub> (mm)	W/C (%)	materials(kg)					
					water	cement*	sand	grable	admix.	
Spec. 1 Spec. 2	12	43.2	25	37.2	194	522	688	916	0.783**	plywood 12mm

\* Ordinary portland cement of S.-Company.

\*\* Lignal GAE

푸집 제거 등의 영향을 민감하게 받지 않으며 표면부(P12)는 거푸집을 제거하고 나면 표면온도가 급격히 하강하여 양생온도나 대기온도, 거푸집제거의 영향을 민감하게 받고 있음을 나타내고 있다.

#### 4.4 해석 및 비교분석

본 연구의 모형실험을 통한 측정값과 본 연구의 프로그램을 이용한 해석값, ADINAT를 이용한 해석값을 시편 1의 측정점에 대해 도시하면 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다. 본 연구의 프로그램을 이용한 해석결과는 타설직후부터 측정종료 시점까지 측정값과 근접하게 일치한다. 그러나 ADINAT를 이용한 해석결과는 거푸집제거전에는 측정값과 근접하게 해석되고 재령 44시간에 거푸집을 제거한 이후부터는 거푸집의 제거영향이 해석되지 않아 측정값보다 높게 해석되고 있다. 거푸집 제거영향은 표면부의 경우에는 제거 즉시 나타나는 반면, 중심부는 어느 정도의 재령(약 20시간)이 경과된 이후부터 제거영향이 나타나기 시작한다. 즉, 중심부는 표면부에 비해 거푸집 제거영향에 덜 민감한 것을 나타낸다.

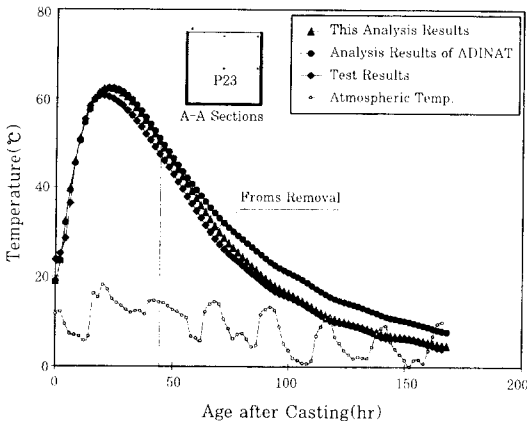


Fig. 5 Comparison of test results and results of analysis for P11 of the specimen 1

Fig. 7과 Fig. 8은 거푸집을 재령 119시간에 제거한 시편 2의 측정점에 대해 본 연구의 해석프로그램을 이용한 해석값과 ADINAT를 이용한 해석값 및 모형실험을 통한 측정값을 도시한 것이다.

전체적인 해석경향은 시편 1에서와 동일한 경향

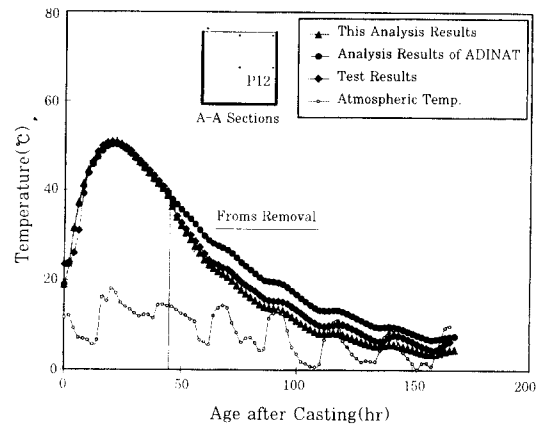


Fig. 6 Comparison of test results and results of analysis for P12 of the specimen 1

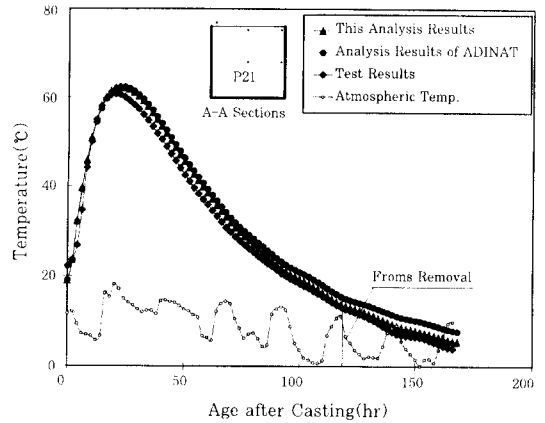


Fig. 7 Comparison of test results and results of analysis for P21 of the specimen 2

으로 거푸집제거전에는 본 연구의 프로그램을 이용한 해석결과나 ADINAT를 이용한 해석결과가 모두 측정값에 근접하게 해석되지만 거푸집제거후에는 ADINAT를 이용한 해석결과가 측정값보다 높게 해석되는 경향을 나타내고 있으며 이러한 경향은 표면부의 경우에 더 심하게 나타난다.

이상의 시편 1과 시편 2의 실험결과 및 해석결과의 비교분석에서 알 수 있는 바와 같이 본 연구에서 개발된 해석프로그램은 매스콘크리트의 설계시공시 발생하는 주변환경조건을 실제와 유사하게 반영하여 이에 따른 온도이력을 엄밀하게 해석하는 것이 가능함을 나타내고 있다. 주변환경조건에 따른 중심부 및 표면부의 온도이력이 실제에 근접하게

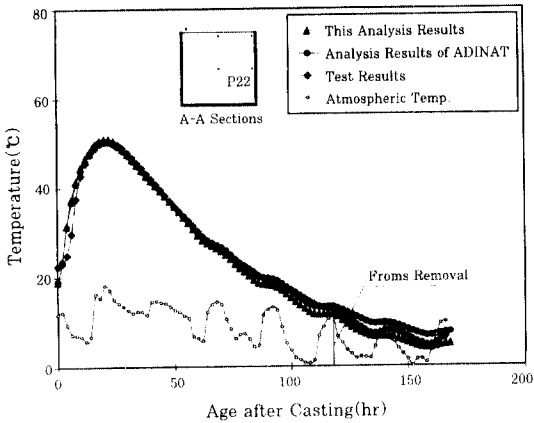


Fig. 8 Comparison of test results and results of analysis for P22 of the specimen 2

해석되면 매스콘크리트 구조물의 시공시 실험에 의하지 않고 해석적으로 온도이력을 예측할 수 있게 되며 온도조절계획에 따른 균열방지가 가능할 것으로 판단된다.

#### 4.5 타연구자의 모형실험에 대한 해석

Table 2는 Fig. 1의 타연구의 모형실험에 대해

본 연구의 프로그램을 이용하여 해석하기 위한 실험 및 해석에 적용한 특성치를 나타낸 것이다. 이 중에서 거푸집면의 열전달계수는 실험값이 없으므로 시방서<sup>(7)</sup>의 참고값을 고려하여 추정하였다.

이러한 실험모형을 해석하기 위해서는 실제의 대기온도이력이 있어야 하며, 또한 최대 단열온도상승량, 반응속도상수 등에 대한 실험자료가 있어야 한다. 그러나 이들 자료는 해당 참고문헌상에 나타나 있지 않아 Table 2에서와 같이 추정값을 적용하고 본 연구에서 개발된 알고리즘을 이용하여 해석한 다음 해석값과 실험값을 비교분석 하였다.

Fig. 1의 실험에 있어서 콘크리트는 저열시멘트 350kg/m<sup>3</sup>, 물 157.5kg/m<sup>3</sup>을 배합한 것으로 28일 압축강도는 382kg/m<sup>2</sup>이며 타설후 대기온도는 -10℃~-25℃를 유지했고, 콘크리트에 송풍을 가한 이유는 콘크리트면의 온도변화를 크게 하기 위해서이며, 거푸집제거후 재령 58시간에 송풍을 시작할 때 이미 콘크리트에는 균열이 발생된 것으로 보고되어 있다.

Fig. 1의 실험에 있어서 측정점 P1, 측정점 P2, 측정점 P3에 대한 해석결과와 실험결과를 비교하여 도시하면 Fig. 9~Fig. 10과 같다. Fig. 9, Fig. 10 및

Table 2 Properties for analysis of test specimen

classifications	applications	remarks
cement type	low heat cement	
cement content(kg/m <sup>3</sup> )	350	
form thickness(mm)	22(plywood)	
placing temperature(°C)	18	
unit weight(kg/m <sup>3</sup> )	2400	
specific heat(kcal/kg · °C)	0.22	0.20~0.25 in general
heat conduction in concrete(kcal/m · hr · °C)	2.0	0.20~0.25 in general
curing conditions	· -12°C · blowers for 5 hours from 58 hours after placement	· actual temperature : -10°C~-25°C · blower speed : 6~8m/sec
coeff. of heat convection in concrete(kcal/m <sup>2</sup> · hr · °C)	10	
coeff. of heat convection in forms surface (kcal/m <sup>2</sup> · hr · °C)	① 면 : 6.0 ② 면 : 1.5 ③ 면 : 4.0 ④ 면 : 1.0	
coeff. of heat convection of concretet in blowers on(kcal/m <sup>2</sup> · hr · °C)	15	
ultimate temp. of hydration in adinatic conditions(°C)	30.5	estimation value
constant according to hydration rate	1.210	estimation value

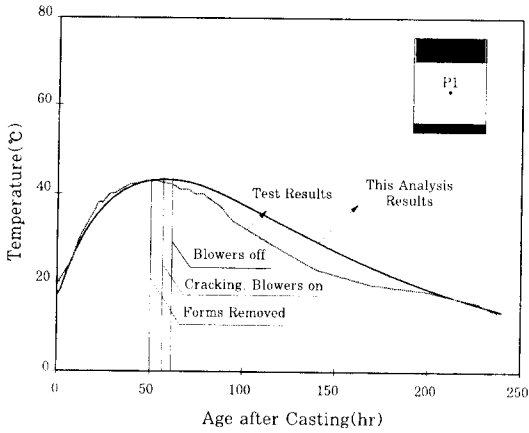


Fig. 9 Test results and analysis results for center(P1)

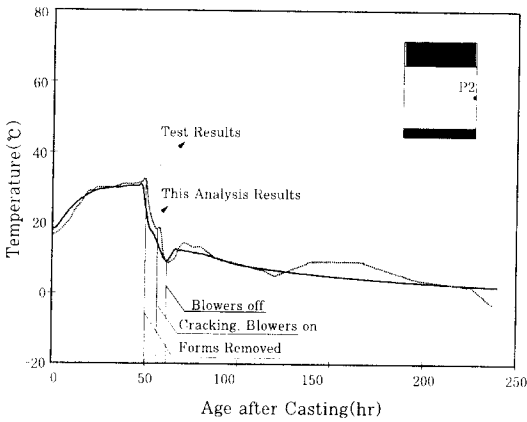


Fig. 10 Test results and analysis results for surface(P2)

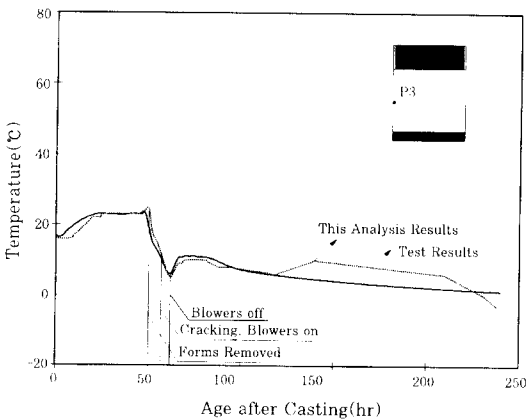


Fig. 11 Test results and analysis results for surface(P3)

Fig. 11에서 볼 때 해석결과는 거푸집제거 영향, 송풍효과, 송풍종료후 방치효과 등이 재령별로 실험결과와 유사하게 나타나고 있으며 송풍종료후 방치상태인 재령 70시간 이후부터는 해석결과의 이력곡선은 굴곡이 거의 없다. 이것은 해석에서는 양생(대기)온도가 실제와 달리 최고온도와 최저온도의 중간값에 해당하는  $-12^{\circ}\text{C}$ 로 적용되었기 때문이다. 모형실험 및 해석결과에서 나타난 바와 같이 표면부는 대기(양생)온도와 주변환경조건의 변화에 따라 민감하게 변하며, 중심부의 경우 표면부보다는 덜 민감하나 상당한 영향을 받는다. 따라서 양생 및 대기온도와 시공환경조건은 해석에 엄밀하게 반영되어야만 실제의 온도이력을 정확히 예측할 수 있다.

이러한 모형실험의 해석결과에서 알 수 있는 바와 같이 본 연구의 온도이력 해석 프로그램은 매스콘크리트의 표면부와 중심부에 대한 시공 및 주변환경조건의 영향이 민감하게 해석된다. 따라서 본 실험모형에 대한 해석에서도 대기(양생)온도를 실험시의 실제온도와 유사하게 적용하면 실측온도이력에 더욱 근접하게 해석할 수 있을 것으로 사료된다.

## 5. 결론

시공 및 주변환경조건을 실제와 맞게 고려하여 매스콘크리트의 타설시 온도이력을 엄밀하게 해석하는 것을 목적으로 수행한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1) 본 연구에서는 매스콘크리트의 온도이력에 민감한 영향을 미치는 양생조건과 거푸집 콘치 및 제거영향, 추가적인 양생, 기후변화 등의 주변환경조건을 열전달계수를 이용하여 실제와 부합하도록 정량적으로 해석할 수 있는 알고리즘을 도출한 결과, 현장의 시공환경조건을 고려한 온도이력해석이 가능함을 밝혔다.

2) 개발된 프로그램을 이용한 해석결과를 기존의 타연구 모형실험에 대한 해석, 본 연구에서 수행한 모형실험값 및 해석결과, 범용프로그램에 의한 해석결과 등과 비교한 결과, 시공 및 주변환경조건이 엄밀하게 해석되므로 매스콘크리트 타설시 시공 및 주변환경조건의 변화에 따른 온도이력을 해석적으로 근접하게 예측할 수 있다.



## 참 고 문 헌

1. Carlson, R. W. and Johnson, R., "Curing of Mass Concrete", *J. of ACI*, No. 9, Vol. 48, 1952, pp. 716-718.
2. ACI Committee 301, "Suggested Specifications for Structural Concrete for Buildings", *J. of ACI*, No. 10, Vol. 60, 1963, pp. 1321-1373.
3. ACI Committee 207, "Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures", *J. of ACI*, No. 4, Vol. 67, 1970, 4, pp. 273-309.
4. ACI Committee 207, "Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Massive Concrete", *J. of ACI*, NO. 7, Vol. 70, 1973, 7, pp. 445-470.
5. 日本土木學會, 콘크리트標準示方書 施工篇, 1986, 9, p. 119.
6. 日本建築學會, 建築工事標準仕様書・同解説 (JASS 5), 1986, 9, p. 375.
7. 건설부, 콘크리트표준시방서, 1988, 12, p. 591.
8. 건설부, 건축공사표준시방서, 1989, 8, p. 169.
9. 長瀧重義, 佐藤良一, "마스콘크리트における溫度ひびわれ制御の動向", 콘크리트工學, Vol. 26, No. 5, 1988, pp. 4-11.
10. 변근주, 이장화, "마스콘크리트 수화온도의 합리적 평가를 위한 실험 및 해석 연구", 대한토목학회 논문집, 제15권, 제2호, 1995, 3, pp. 337-346.
11. 塚山隆一, "マッシュ鉄筋コンクリートの溫度上昇ならびに溫度ひびわれに関する基礎研究", 學位論文, 1974.
12. ADINA Engineering, Inc. *ADINAT - A Finite Element Program for Automatic Dynamic Incremental Nonlinear Analysis of Temperatures*, Dec., 1984.
13. 이종대, 김진근, "크라이프를 고려한 매스 콘크리트의 수화열에 대한 온도응력 해석", 대한토목학회 논문집, 제14권 제4호, 1994, 7, pp. 771-781.
14. 오병환, 백신원, 엄주용, 임동환, "현장조건을 고려한 콘크리트 기초 및 교각구조의 온도 및 열응력에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 1994, 5, pp. 233-237.
15. 平賀友晃, 倉林清, "마스콘크리트の斷熱溫度上昇に関する既往の研究成果について", マスコンクリートの溫度應力發生メカニズムに関するコロキウム論文集, 日本コンクリート工學協會, 1982, pp. 1-6.
16. Hansen T. C., "Surface Cracking of Mass Concrete Structures at Early Form Removal", *RILEM Bulletin*, No. 28, Sept. 1965, pp. 145-153.
17. 矢川元基, 宮崎則幸, 有限要素法による熱應力クリップ熱傳導解析, サイエンス社, 1985, pp.115-120.

(접수일자 : 1996. 5. 21)