



국내 시방서와 ACI 기준 열전달율이 매스콘크리트 온도이력에 미치는 영향

Effects of Thermal Conductivities on Temperature History of Massive Concrete Structures

장동일* · 손영현* · 조광현* · 김광일*

D.I. Chang · Y.H. Son · K.H. Cho · K.I. Kim

(1998년 8월 26일 접수, 1999년 3월 8일 채택)

ABSTRACT

In this study, using the temperature history analysis, the influences of the conductive values of wooden form, which are specified by Korean Standard for Concrete and ACI Practice Manual for Concrete, on the temperature history were examined. And, the calculated temperature history is compared with the measured temperature history.

In the examination for the influences of the conductive values of wooden form, the value recommended by the Korean Standard can more closely predict the temperature history at the points which the variation of the boundary condition should be considered.

1. 서 론

콘크리트의 균열은 콘크리트 내부의 골재와 시멘트 페이스트사이의 계면에 존재하는 결합에서부터 육안으로 판독이 가능한 단계에 이르기까지 재료적인 측면뿐만 아니라, 구조적인 측면에서의 여러요인들이 결부되어 발생되기 때문에 그 원인을 정확히 판정하기란 대단히 어렵고, 동일한 구조물에 발생된 균열에 대해서도 분석하는 담당기술자마다 견해가 다를 수 있다.

또한, 근래 콘크리트에 요구되는 고성능화 즉 고강도, 고내구성 및 고유동성 등의 특성이 품질관리를 보다 어렵게함으로써 균열발생에 관여하는 인자들이 더욱 광범위하게 되어 만일에 발생할 수 있는 여러 가지 균열원인에 대한 충분한 사전 분석을 요구하게 되었다.

매스콘크리트의 경우도 중력식 댐과 같은 대형구조체의 콘크리트에만 적용되는 것으로 인식되어 왔으나, 최근에는 콘크리트 구조물이 대형화, 특수화되어 유동성이 충분히 확보된 콘크리

* 한양대학교 토목공학과

트의 대량 급속 시공이 증가하고 있으며, 과거 보다는 상대적으로 고강도화된 콘크리트가 요구되고 있기 때문에 매스콘크리트 구조물의 균열 발생원인 및 발생시기의 예측이 어려워지고 있다.

이러한 구조물의 가장 중요한 특징은 열적 거동으로서, 매스콘크리트에 대한 설계는 열응력에 의해 발생된 온도균열의 폭과 간격을 감소시키고 제어하는데 그 목적이 있다.

그러나, 대상구조물의 열적거동을 예측하는데는 사용되는 콘크리트의 단열온도상승 특성값, 외기조건 및 사용되는 각종 경계조건 인자들의 영향이 크며, 이 중 단열온도상승 특성값은 실험을 통하여 그리고, 외기조건은 시공상 거의 고정된 환경으로 고려가 될 수 있다. 한편, 거푸집 탈형전 후의 열전달율의 선정 및 Lift 1을 타설한 후 Lift 2를 타설할 때 Lift 1 상부의 경계조건변화 등은 대부분 관련 규정 혹은 기존의 연구자료를 이용하여 설정하게 되고, 이는 실제 예측문제에서 온도이력 등에 큰 영향을 미치게 된다.

따라서, 본 연구에서는 범용 구조해석프로그램인 DIANA를 이용하여 벽체형 콘크리트 구조물에 대해 열전달율이 온도이력에 미치는 영향을 검토하였으며, 이때 국내 콘크리트 표준시방서와 ACI Practice of Manual에서의 추천값을 대상으로 온도이력 해석을 수행하였으며, 실측값과 비교·검토함으로써 보다 정확하게 온도이력을 예측하기 위한 기초자료를 확보하는데 그 목적을 두었다.

2. 온도계측 및 온도해석

2.1 온도계측

본 연구의 대상 구조물은 철근콘크리트 옹벽 구조물로서 1회 예상타설높이가 약 4m, 하부가 구속된 상태에서의 폭이 1.25m~1.65m 정도인 제원을 갖고 있다.

본 연구에서는 1회타설 높이가 4m이고, 폭이 1.6m인 부위에 대해 T-type Thermocouple를 소요 위치에 부착하고(Fig. 2 참조), 콘크리트 타설 후 14일(336시간)동안 Lift 1과 Lift 2의 연속

적인 온도변화를 측정하였다. 이때 측정장비로는 TDS-601을 사용하였다.

다음 Photo 1과 Photo 2에 각각 구조물의 전경과 측정장면을 보이고 있다.

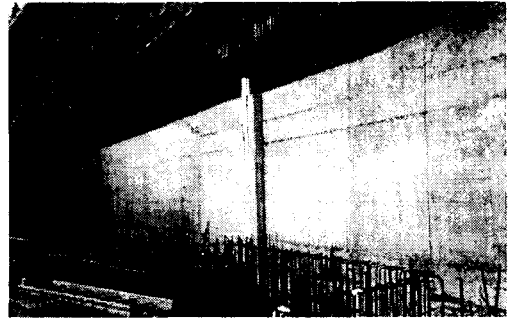


Photo 1 General view of structure

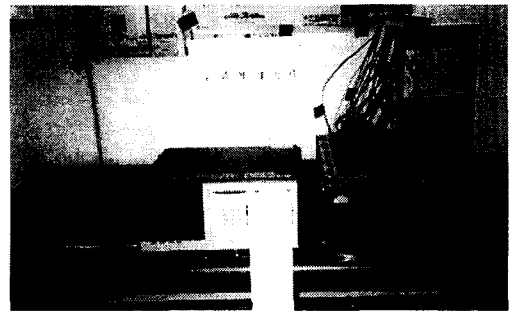


Photo 2 Measuring system

2.2 온도해석

온도해석은 시멘트의 수화열에 기인하는 콘크리트의 발열특성, 타설온도, 외기온도 및 양생조건 등을 고려하여 비정상열전도해석(transient thermal analysis)를 수행하고 구조물내부의 온도이력을 구하게 되는데, 이때, 구조물 내부(중앙부)와 외부(표면부)의 온도차, 온도강하속도 등을 검토함으로써 균열발생여부를 판단할 수 있다.

본 연구에서는 대상 벽체구조물의 온도균열 발생 여부의 판단자료로서 비록 간접적인 방법이지만 European Standard ENV 206에서 선정하고 있는 온도상승시와 온도하강시 내·외부 온도차 20℃를 채택하여 균열발생가능성의 판단기

준으로 하였다.

한편, 온도이력해석시 국내 콘크리트 표준시방서와 ACI Practice of Manual에서 제안하고 있는 목재거푸집의 열전달계수값이 온도이력에 미치는 영향을 검토하였으며, Lift 1 상부 표면부의 경계조건이 열전달경계에서 열전도경계로 변화하는 것을 고려하였다.

상부와 측면의 열전달경계와 직접 관련되는 외기온도는 시간에 따른 sine함수로 표현될 수 있으며, 본 연구에서는 최대 대기온도 20℃와 최소 대기온도 10℃일 때를 대상으로 하여 다음식(1)과 같이 표현하였고, Fig. 1에 가정된 시간 함수와 측정된 외기온도의 분포를 나타내었다.

$$T(t) = 5.0 \sin\left[\frac{\pi}{12}(t + 16.0)\right] + 15.0 \dots\dots (1)$$

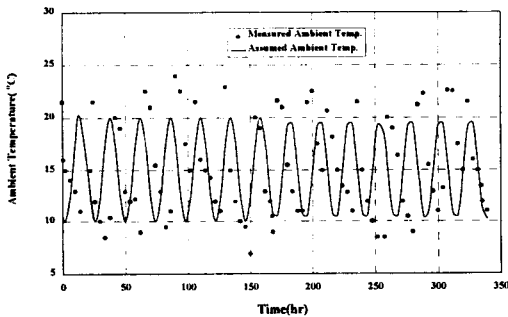


Fig. 1 Variation of ambient temperature

콘크리트의 열특성값 및 목재거푸집의 열전달율은 콘크리트 표준시방서와 ACI Practice of Manual를 참조하여 정하였으며, Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다.

또한, 시멘트 수화작용에 의해 발생하는 수화열은 플라이애쉬를 20%로 혼입한 경우에 대해 콘크리트 표준시방서에서 제시하고 있는 값을 사용하였으며, 다음 식(2)와 같이 표현된다. 이때 단위시멘트량은 350 kg/m³, 콘크리트 타설온도는 20℃로 일정하게 하였다.

$$T(t) = 50.0(1 - e^{-0.837t}) \dots\dots\dots (2)$$

또한, 단위시간당, 단위체적당 내부발열량(q_c)은 식(3)으로 구하여 해석시 입력값으로 활용하였다.

Table 1 Thermal properties of concrete

Density (kg/m ³)	Conductivity (kcal/mh℃)	Specific Heat (kcal/kg℃)	Heat Capacity (kcal/m ³ ℃)
2450	2.300	0.27	661.5

Table 2 Thermal conductivity of woodenform

측 면 (kcal/m ² h℃)		상 부 (kcal/m ² h℃)	
거푸집 탈형전	거푸집 탈형후	양생포 제거전	양생포 제거후
7.0*	12.0	4.5	12.0
2.5**	11.6	2.0	11.6

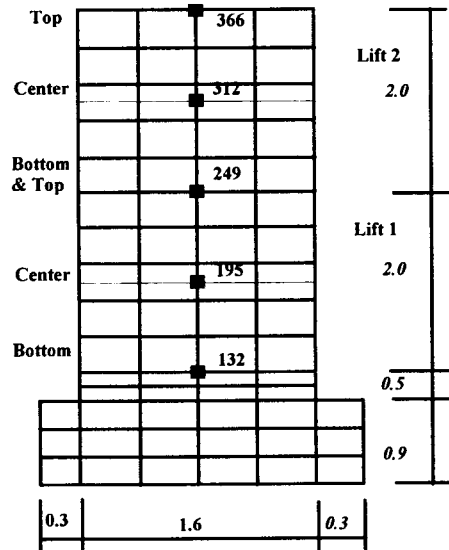
* 콘크리트표준시방서 참조값

** ACI Manual 참조값

$$q_c = C_c * \rho * 50.0 * \frac{0.837}{24} * e\left(-\frac{0.837}{24}t\right) \dots\dots (3)$$

식(1)과 식(2)에서 T(t)는 재령 t일에서의 단열온도상승량(℃), t는 재령(일)이다. C_c는 콘크리트의 비열(kcal/kg℃), ρ는 밀도(kg/m³)이다.

다음 Fig. 2는 대상구조물인 벽체구조물의 제원 및 온도이력 해석을 위한 유한요소모델을 나타낸 것이다.



■ : Node Numbers for Calculating and Measuring the Temp. History

Fig. 2 Finite element model

3. 결과고찰

Fig. 3과 Fig. 4에 일련의 해석결과와 측정값의 비교를 각각 나타내고 있다.

콘크리트표준시방서와 ACI에서 추천하고 있는 목재거푸집을 사용할 때의 열전달율이 온도이력에 미치는 영향을 해석적으로 검토한 Fig. 3의 결과에서 열전달율의 값(Table 2)에서 기대할 수 있었듯이 ACI 추천값에 의한 온도이력 이상대적으로 높은 경향을 보이고 있다.

또한, 비교·검토된 두가지 경우 모두 판단자료로 설정한 내·외부온도차가 20℃를 초과하지 않아 실 시공시 해석조건과 동일한 시공방법을 적용하여 콘크리트를 타설하였으며, 타설온도 19.2℃로 타설된 대상 구조물에서는 재령 3일, 7일, 28일에 각각 육안관찰한 결과, 균열은 발견되지 않았다.

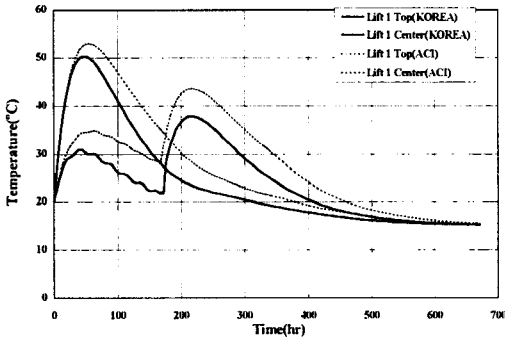


Fig. 3 Comparison of Korean standard with ACI specification (Lift 1)

한편, 측정값과 비교한 Fig. 4에서는 두 가지 경우 모두 Lift 2 타설 이전의 해석결과와 측정값이 비교적 근접한 결과를 보이는 것으로 나타났으나, Lift 2 타설시 경계조건이 변화되는 Lift 1의 상부(top)에서는 거푸집 탈형이후(168시간 이후) 온도이력에서 ACI 경우에 비해 국내 콘크리트표준시방서의 경우가 보다 근사한 예측결과를 보이는 것으로 나타났다.

이러한 결과에서 단순히 Lift 1 만을 대상으로 하여 온도이력을 수행할 경우, 두가지 경우 중 어느 열전달율을 채택하더라도 실제 온도와

역과 근사한 온도이력해석 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

그러나, 일반적으로 구조물을 수평분할하여 콘크리트를 타설하게 되는 벽체형 매스콘크리트 구조체 등은 Lift의 상승에 따른 구조체의 연속적인 변화 및 Lift 1 상부의 경계조건 등에 주의하면서 온도이력 해석을 수행하게 되는데, 이때 Lift 1으로부터 Lift 2로의 시공단계의 변화를 고려하여 Lift 1의 온도이력을 검토할 경우, 열전달율의 선정 측면에서 국내 콘크리트 표준시방서에서 제안하고 있는 값을 이용하여 벽체형 구조물의 온도이력을 예측하는 것이 ACI 추천값을 이용하는 것보다 Lift 2 타설 이후의 실측치에 보다 가까운 결과도출이 가능한 것으로 판단된다.

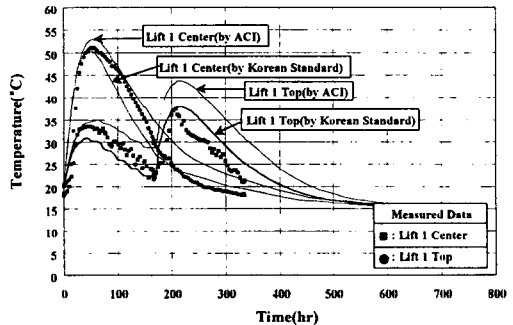


Fig. 4 Comparison of measured history with estimated history by Korean Standard and ACI Practice of Manual (Lift 1)

4. 결론

본 연구에서는 매스콘크리트의 온도이력에 미치는 국내 시방서와 ACI 기준 열전달율의 영향을 검토하기 위하여 온도이력해석을 수행하고, 실측값과 비교·검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

구조물의 전체높이를 1회 타설높이로 설정하여 온도이력 해석을 수행할 경우, 콘크리트 표준시방서와 ACI Practice of Manual 두가지 경우 중 어느 열전달율을 채택하더라도 실제 온도와 근사한 온도이력해석 결과를 얻을 수 있을 것으로 나타났다.

그러나, 일반적으로 구조물을 수평분할하여 콘크리트를 타설하게 되는 벽체형 매스콘크리트 구조체에서는 Lift의 상승에 따른 구조계의 연속적인 변화 및 Lift 1 상부의 경계조건 등에 주의하면서 온도이력 해석을 수행하게 되는데, 이때 Lift 1으로부터 Lift 2로의 시공단계의 변화를 고려하여 Lift 1의 온도이력을 검토할 경우, 열 전달율의 선정 측면에서 국내 콘크리트 표준시방서에서 제안하고 있는 값을 이용하여 벽체형 구조물의 온도이력을 예측하는 것이 ACI 추천 값을 이용하는 것보다 Lift 2 타설 이후의 실측 값에 보다 가까운 결과도출이 가능한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 石川雅美, 강석화, “매스콘크리트 온도균열의 평가방법과 해석방법”, 콘크리트학회 논문집, 제9권 3호, pp. 38~47, June, 1997.
- 2) 건설교통부, 콘크리트표준시방서, 1996.
- 3) 장동일, 채원규, 조광현, 김광일, 손영현, “화력발전소의 Intake Pump House내 벽체균열 원인분석”, 한국산업안전학회 춘계학술연구 발표회 논문초록집, pp. 25~30, May, 1997.
- 4) 장동일, 채원규, 조광현, 김광일, 손영현, “지하옹벽 매스콘크리트 구조물의 균열제어에 관한 연구”, 한국산업안전학회 추계학술연구 발표회 논문초록집, pp. 289~294, November, 1997.
- 5) ACI Committee 207, “Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete”, ACI Manual of Concrete Practice, 207.2R, 1994.
- 6) A.M. Neville, “Properties of Concrete”, LONGMAN, 1996.
- 7) CEB-FIP, CEB-FIP MODEL CODE, 1990.
- 8) Chang, D.I., Chai, W.K., Cho, K.H., Kim, K.I. and Son, Y.H., “Temperature and Crack Control for Massive Concrete Structure”, 22nd Conference on Our World in Concrete & Structures, pp.113~119, August, 1997.
- 9) TNO, DIANA Manual, 1994.
- 10) 日本コンクリート工學協會, “マスコンクリートの溫度應力推定方法に關する既往の研究とその總括(その2)”, 콘크리트工學, Vol. 21, No. 9, 1983.