
강우에 따른 콘크리트 덧씌우기 보수체의 단부 온도응력 해석

End Stress Analysis of Overlaid Concrete Structures Subjected to Thermally Transient Condition by Rainfall



윤우현*

Yoon, Woo-Hyun

ABSTRACT

The vertical tensile stress, σ_y , in the contact zone between the overlay (mortar layer) and substratum (base concrete) can be the main cause of the failure phenomenon of overlaid concrete structures. The development of tensile stress, σ_y , due to external rainy condition was analytically investigated using finite element method. Rainfall intensity ($n_R=1/a$, $t_R=10\text{min}$, 60min), thickness of overlay ($d_o=1,2,4,10\text{cm}$) and overlay material (CM,ECM,EM) were the main variables in the analyses. An equation was suggested with which the development of vertical tensile stress, σ_y , in the rainy condition could be determined. Using this equation, it is possible to select proper material properties and overlay thicknesses to prevent failure in the contact zone due to thermally transient condition caused by rainfall.

Keywords: vertical tensile stress, contact zone, failure phenomenon, rainfall intensity, overlay, overlaid concrete structures, thermally transient condition

* 정희원, 경원대학교 산업대학원 조교수

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 12월 30일까지 학회로 보내주시면 1999년 2월 호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

콘크리트 구조물은 설계, 시공, 환경변화 및 유지관리상의 문제로 인하여 사용 수명 기간전에 성능저하현상이 나타난다. 성능저하현상이 발생된 구조물은 그 정도, 규모, 환경조건 및 잔류 수명 기간에 따라서 적절한 공법 및 재료로서 사용성, 안전성 확보를 위한 보수가 이루어져야 한다. 보수된 콘크리트 구조물의 내구성에 영향을 주는 물리적인 원인은 주로 기후변화 즉, 온도 및 습도 변화이다. 본 연구의 목적은 온도변화에 따른 공용중인 콘크리트 덧씌우기 보수체의 응력상태를 조사하는 것이고, 이러한 온도변화는 년교차나 일교차가 아닌 열 충격을 주는 뇌우등의 강우현상에 의해 조사되었다. 본 연구에서는 콘크리트 덧씌우기 보수체 (기층 콘크리트 + 보수 모르타르)에서 강우시 온도변화에 의해서 발생하는 응력중에서 보수체의 손상에 가장 중요한 영향을 주는 응력은 기층과 보수층사이의 접촉면에서 연직으로 작용하는 인장응력이라고 가정한 후, 인장응력의 크기를 강우강도별로 보수층 두께와 보수 재료를 변수로 하여 해석적으로 조사하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 손상된 기층 콘크리트와 보수 모르타르 덧씌우기층으로 구성되는 연속 보수체 (예, 슬래브, 포장도로 및 댐)에서 강우강도에 따라 형성되는 보수체 단부에서의 온도분포 및 온도응력계산을 유한요소법에 의하여 수행하였다. 보수 모르타르로는 수경성 시멘트 모르타르 (CM), 에폭시 시멘트 모르타르(ECM) 및 에폭시 모르타르(EM)를 사용하였고, 보수층의 두께는 1,2,4,10cm로 변화시켰으며, 기층 콘크리트 단부단면의 폭, 두께는 다음 2.1절과 같이 결정하였다.

2.1 기층 콘크리트 단면의 폭, 두께 결정

단면의 폭 및 두께는 강우가 지속되는 동안 내부의 온도변화가 없는 위치로 결정되어야 한다. 즉, 식(1)과 Fig.1에 의해서 $T/T_R=0$ 과 $x/l=0$ 인 점을 찾으면 $\phi \approx 0.06$ 정도이고, 여기에 $D_T \approx 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$, $t=60\text{min}$ 를 대입하면 $l \approx 24\text{cm}$ 로 계산된다. 따라서 본 연구에서는 보수층의 두께를 고려하여 기층 콘크리트 단부단면의 폭, 두께를 각각 20cm로 결정하였다.

$$\frac{T}{T_R} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{(-1)^n}{2n+1} e^{-(2n+1)^2 \pi^2 \phi/4} \cdot \cos \frac{(2n+1) \pi \zeta}{2} \right) \quad (1)$$

여기서, T =시간 t , 위치 x 에서의 온도
 T_R =작용(외부)온도
 $\phi = D_T \cdot t/l^2$, $\zeta = x/l$
 $D_T = K_T/(\rho \cdot c_T)$
 K_T =열전도율(W/K · m)
 ρ =밀도(kg/m³)
 c_T =비열용량(J/kg · K)

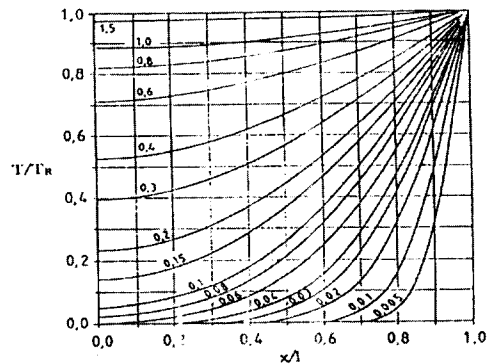


Fig.1 Temperature distribution at various times in the slab $-\ell < x < \ell$ with zero initial temperature and surface temperature T_R . The numbers on the curves are the value ϕ ⁽⁴⁾

2.2 온도 해석

등방성 매질내에서 비정상적인 열확산(Temperature Diffusion) 방정식은 Fick 의 제2법칙을 적용하면 다음과 같다.⁽⁶⁾

$$C_T \dot{T} - \text{div}(k_T \text{grad}T) - S = 0 \quad (2)$$

C_T = 열용량 = 비열용량 c_T · 밀도 ρ [J/K · m³]

$$\dot{T} = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (T = \text{온도}, t = \text{시간})$$

S = Heat Source Intensity

(2)식은 다차원, 시간의 함수인 열확산 방정식으로서 3차원 (x,y,z)에서 열전도율 k_T 가 일정하고 Heat Source Intensity를 무시하면 다음과 같은 미분 방정식으로 표시된다.

$$C_T \frac{\partial T}{\partial t} - k_T \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (3)$$

(3)식의 유한요소법 해석을 위해서는 다음과 같은 Matrix 형태로 변환시켜야 한다. (2)

$$[C]\{\dot{T}\} + [K]\{T\} = 0 \quad (4)$$

여기서, 열용량 C_T Matrix

$$[C] = \int_{V_e} C_T \{N\}^T \{N\} dV$$

열전도율 k_T Matrix

$$[K] = \int_{V_e} k_T \left(\frac{\partial [N]^T}{\partial x} + \frac{\partial [N]^T}{\partial y} + \frac{\partial [N]^T}{\partial z} \right) dV$$

각 시간 구간에서 식(4)의 적분은 Crank Nicolson 방법 (1)에 의해 다음과 같이 수행된다.

$$\left[\frac{C}{\Delta t} + \frac{K}{2} \right] \{T\}_{n+1} = \left[-\frac{C}{\Delta t} - \frac{K}{2} \right] \{T\}_n \quad (5)$$

여기서, n, n+1 = 시점

$$\Delta t = \text{시간구간} = t_{n+1} - t_n$$

2.3 응력 해석

온도응력은 다음과 같은 식에 의해서 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \end{pmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & -\nu \\ -\nu & 1 & -\nu \\ -\nu & -\nu & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{pmatrix} + \epsilon_0 \quad (6)$$

여기서 ϵ_0 는 시간변화에 따른 콘크리트 및 모르타르의 온도 변형율이고 $\epsilon_0 = \alpha_T \cdot \Delta T$ 로 표시되며 plane strain element에서는 $\epsilon_z = 0$ 이다.

2.4 온도 분포 및 응력계산에 필요한 물성치

온도분포 계산을 위하여 단위중량 ρ , 열전도율 k_T , 비열용량 c_T 의 물성치가 필요하고 응력계산을 위해서는 탄성계수 E, 열팽창계수 α_T 및 Poisson비 ν 가 필요하다. 기층 콘크리트 및 각 모르타르(시멘트 모르타르 CM, 에폭시 시멘트 모르타르 ECM, 에폭시 모르타르 EM)에 대한 물성치는 문헌(9,10)을 참조하여 다음 Table 1과 같이 결정하였다.

Table 1 Material properties of concrete and mortars at T=20°C

Materials	ρ	c_T	k_T	E	α_T	ν
	(kg/m ³)	(J/kg · K)	(W/m · K)	(N/mm ²)	(10 ⁻⁶ /K)	(-)
Concrete	2400	900	2.5	25000	10	0.15
CM	2300	1000	2.0	25000	10	0.15
ECM	2250	1000	2.0	20000	10	0.20
					20	
EM	2000	900	1.0	15000	20	0.25
					40	

또한 에폭시계 모르타르는 온도변화에 따라서 물성치의 크기가 변하므로 응력계산에 필요한 탄성계수 및 열팽창계수의 온도에 관한 변화를 다음 Fig.2와 같이 가정하였다. (9)

여기서, E(T) = T°C에서의 탄성계수.

$$E(20) = 20^\circ\text{C에서의 탄성계수}$$

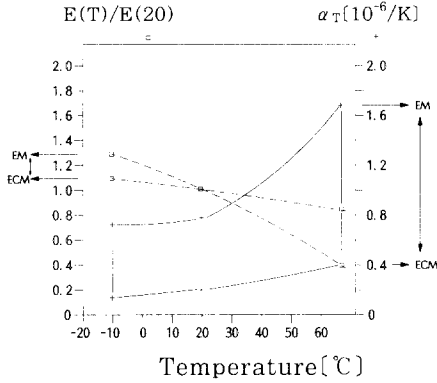


Fig. 2 Elastic modulus, E, and thermal expansion coefficient, α_T , as a function of T⁽⁹⁾

3. 강우에 따른 온도하중

3.1 일반

본 연구에서는 보수체가 하절기에 가열된 후 낮은 온도의 강우에 의해 보수체 표면에서의 열교환 작용으로 온도가 감소하는 과정에서 발생하는 응력이 조사되었다. 즉, Fig.3에서와 같이 강우에 의한 유입 에너지는 E_R , 보수체 표면을 씻고 배출되는 에너지는 $2E_O$, 따라서 보수체에 전달되는 에너지 $\Delta E = E_R - 2E_O$ 와 같이 표시된다. 이와 같은 온도 에너지 교환 과정을 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$E_R = A \cdot \rho_w \cdot Q_R \cdot c_{TW} \cdot T_R \quad (7)$$

$$2 \cdot E_O = A \cdot \rho_w \cdot Q_R \cdot c_{TW} \cdot T_O \quad (8)$$

$$\Delta E = A \cdot \rho_w \cdot Q_R \cdot c_{TW} (T_R - T_O) \quad (9)$$

여기서, A = 표면적, ρ_w = 물의 단위중량,
 c_{TW} = 물의 비열용량, T_R = 강우온도,
 T_O = 배출수 온도, Q_R = 강우량,
 E_R = 강우에 의한 유입 온도 에너지,
 E_O = 배출수의 온도 에너지,
 ΔE = 보수체에 전달되는 온도 에너지

여기서, T_1 = 보수체 초기온도, Q_0 = 배출수량

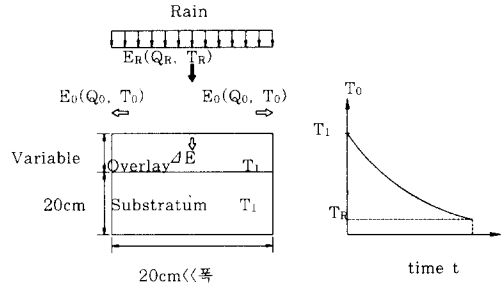


Fig. 3 Temperature energy exchange and T_O development with time t

3.2 강우량이 무한한 경우

(강우강도를 무시한 경우: LC1)

지금까지는 강우에 따른 보수체의 온도변화에 의한 응력계산에 대부분 강우강도가 고려되지 않았다.⁽⁸⁾ 즉, 다음 Fig.4와 같이 보수체가 수조에 잠겨있고 물의 유입 및 배출속도가 아주 작기 때문에 강우에 의한 유입 온도 에너지가 보수체로 전달되기에 충분한 시간이 있는 경우이다.

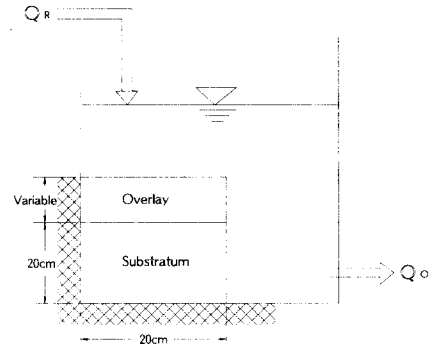


Fig. 4 Load case LC1 (in the basin)

3.3 강우강도를 고려한 경우(LC2, LC3)

일정한 강도를 가진 강우에 따른 보수체의 온도변화는 3.2절의 경우와는 달리 일정한 강우 시

간 때문에 서서히 그리고 작게 진행된다. 본 연구에서는 여러 강우 경우중에서 강우빈도 n_R/a (1년 1회), 지속시간 $t_R=10\text{min}$ (LC2) 과 60min (LC3)의 두가지 값의 강우강도를 선택하였다. 강우 경우 LC2 및 LC3에 대한 강우량은 문헌⁽³⁾을 참조하여 각각 $100 \cdot 10^{-7} \text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$, $35 \cdot 10^{-7} \text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$ 로 결정하였다.

3.4 FE-프로그램에 입력방법

강우 에너지가 보수체에 전달되는 과정은 우선 보수체 표면에서 온도 에너지 교환작용이 선행되며, 교환후 보수체로의 유입 또는 전달되는 에너지는 "열 전달계수 λ "에 좌우된다. 이러한 온도 에너지 전달과정을 수식으로 표시하면 다음과 같다.

$$\Delta E = A \cdot \lambda (T_R - T_0) \quad (10)$$

열전달계수 λ 값은 전달매체 및 유동속도에 따라서 그 크기가 결정된다. 강우 경우 LC1에 대한 λ 는 문헌^(5,7)을 참조하여 $600 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, 그리고 LC2 및 LC3에 대한 열전달계수 λ 값은 식(9)과 식(10)의 관계를 이용하면 다음과 같이 계산된다.

$$\lambda = 42 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}, Q_R = 100 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2 \text{ for LC2}$$

$$\lambda = 15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}, Q_R = 35 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2 \text{ for LC3}$$

4. 이론 결과 분석 및 고찰

4.1 온도 분포

2.2절의 온도분포 해석방법에 의한 보수체의 온도분포는 강우온도 $T_R=10^\circ\text{C}$, 보수체의 초기온도 $T_1=55^\circ\text{C}$ 로 가정하여 3장에서 논의한 강우 경우 LC1, LC2 및 LC3에 대하여 각각 계산하였다. 다음 Fig.5에는 보수층 두께 10cm의 보수체에서의 강우경우별 및 보수 모르타르 종류별 온도분포가 도시되었고, 열전달계수 λ 및 열전도

율 k_T 의 값이 클수록 보수체의 온도분포가 완만함을 알 수 있다.

4.2 응력 계산 및 결과 분석

본 연구의 목적인 접촉면에서의 연직 응력 σ_y 는 4.1절의 온도분포에 따라서 식(6)의 관계를 이용하여 유한요소법으로서 각 강우 경우별로 계산되었고, 그 결과는 다음 Table 2와 같다.

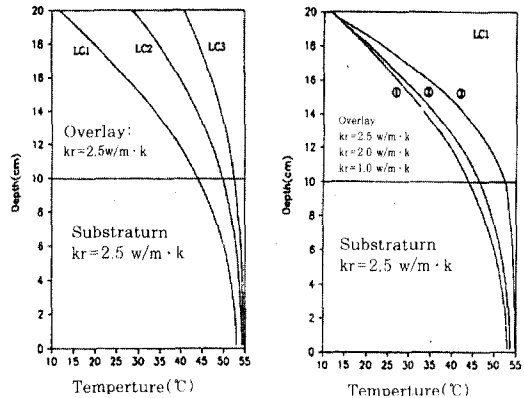


Fig. 5 Temperature distribution for various load cases[1] and mortars[2] at $t=60\text{min}$

Table 2 Vertical tensile stresses in the contact zone for various load cases and mortars as a function of d_0 (overlay thickness) [N/mm^2]

LC, d_0	Mortar	CM	ECM	ECM	EM	EM
		10	20	20	40	
LC1	$d_0 = 1\text{cm}$	1.5	1.6	3.1	3.1	5.5
	$d_0 = 2\text{cm}$	4.4	4.7	7.3	7.8	12.5
	$d_0 = 4\text{cm}$	7.3	7.7	10.5	12.0	18.9
	$d_0 = 10\text{cm}$	9.7	10.1	14.0	15.0	23.7
LC2	$d_0 = 1\text{cm}$	0.3	0.5	1.2	1.7	3.3
	$d_0 = 2\text{cm}$	1.1	1.7	2.7	3.5	6.3
	$d_0 = 4\text{cm}$	2.4	3.2	5.0	6.1	10.4
LC3	$d_0 = 10\text{cm}$	4.3	5.1	7.7	7.9	13.0
	$d_0 = 1\text{cm}$	0.1	0.4	1.2	1.7	3.3
	$d_0 = 2\text{cm}$	0.4	0.8	1.7	2.8	5.5
	$d_0 = 4\text{cm}$	1.0	1.7	2.8	4.7	8.5
	$d_0 = 10\text{cm}$	2.5	3.3	5.3	7.3	12.5

연직 인장응력 σ_y 의 값을 예측하기 위해서 다음의 식(11),(12),(13)에 의해서 일련의 선형 회귀분석을 수행하였으며, 그 결과 식(12)가 가장 큰 상관관계를 보여줌을 알 수 있다(Table 3). 즉, σ_y 의 크기를 결정하는 가장 중요한 요인은 식(12)에 표현된 바와 같이 보수 모르타르와 기층 콘크리트의 α_T 값차이다. 따라서 본 연구에서는 각 보수층 두께 및 강우 경우에 따른 σ_y 의 추정을 식(12)에 의해서 수행하기로 한다.

$$\sigma_y = \sigma_0 + F \cdot |\Delta E(T)| \quad (11)$$

$$\sigma_y = \sigma_0 + F \cdot |\Delta \alpha_T(T)| \quad (12)$$

$$\sigma_y = \sigma_0 + F \cdot |\Delta E(T)| \cdot |\Delta \alpha_T(T)| \quad (13)$$

여기서, $\Delta \alpha_T(T), \Delta E(T)$ = 보수 모르타르와 기층 콘크리트의 α_T 및 E값의 차이 σ_0 = 응력축의 절편값, 즉 보수 모르타르와 기층 콘크리트의 α_T 및 E값이 같은 경우

Table 3 Correlation coefficients of the regression analysis(LC2)

Equation No.	d ₀ = 1cm	d ₀ = 2cm	d ₀ = 4cm	d ₀ = 10cm
(11)	0.848	0.840	0.836	0.780
(12)	0.999	0.999	1.000	0.994
(13)	0.963	0.961	0.956	0.922

Table 4 σ_0, F in the equation (12) from regression analysis (σ_0 [N/mm²], F[10⁴])

Load case	d ₀ = 1cm		d ₀ = 2cm		d ₀ = 4cm		d ₀ = 10cm	
	σ_0	F	σ_0	F	σ_0	F	σ_0	F
LC1	1.41	7.81	4.19	15.83	6.75	22.78	9.05	27.39
LC2	0.24	5.85	1.09	9.90	2.37	15.33	4.31	16.52
LC3	0.11	6.18	0.26	9.93	0.84	14.57	2.31	19.45

Table 4에는 식(12)에 의해서 σ_y 의 값을 추정하기 위한 σ_0 와 F값이 정리되었다. 여기서 알 수 있는 바와 같이 σ_0 와 F값은 보수층 두께가 증가함에 따라서 그 값이 커지고, 또한 강우 강도 (Load case)에 좌우된다. 따라서 σ_y 는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\sigma_y = f(Q_R, d_0, \alpha_{TO}(T)) \quad (14)$$

여기서, $\alpha_{TO}(T)$ 는 온도변화에 따른 보수 모르타르의 열팽창계수이고, 만일 일정한 강우에 대한 응력을 계산한다면,

$$\sigma_y = f(d_0, \alpha_{TO}(T)) = \sigma_d + F_d \cdot |\Delta \alpha_T(T)| \quad (15)$$

따라서 각 강우 경우에 대한 σ_d 와 F_d 가 정해 진다면 보수층 접촉면의 연직 응력인 σ_y 가 구해 질 수 있다. 즉, Table 5에 정리된 σ_d, F_d 의 회귀분석 결과로부터 비교적 높은 상관 계수를 가진 대수함수에 의한 다음과 같은 식(15)의 변환식(16) ~ (18)로서 추정이 가능하다.

$$\sigma_y = (1.71 + 3.33\text{In}d_0) + (91100 + 85300\text{In}d_0) \cdot |\Delta \alpha_T(T)| \text{ for LC1} \quad (16)$$

$$\sigma_y = (0.04 + 1.79\text{In}d_0) + (66200 + 48200\text{In}d_0) \cdot |\Delta \alpha_T(T)| \text{ for LC2} \quad (17)$$

$$\sigma_y = (-0.18 + 0.97\text{In}d_0) + (61400 + 58400\text{In}d_0) \cdot |\Delta \alpha_T(T)| \text{ for LC3} \quad (18)$$

Table 5 σ_d, F_d in the equation (15) and correlation coefficients r^2

Load case	$\sigma_d = a_\sigma + b_\sigma \cdot d_0 \quad (r^2)$ $\sigma_d = a_\sigma \cdot d_0^{b_\sigma} \quad (r^2)$ $\sigma_d = a_\sigma + b_\sigma \cdot \text{In}d_0 \quad (r^2)$	$F_d = a_F + b_F \cdot d_0 \quad (r^2)$ $F_d = a_F \cdot d_0^{b_F} \quad (r^2)$ $F_d = a_F + b_F \cdot \text{In}d_0 \quad (r^2)$
LC1	$\sigma_d = 2.18 + 0.745d_0 \quad (0.913)$ $\sigma_d = 1.86d_0^{0.78} \quad (0.881)$ $\sigma_d = 1.71 + 3.33\text{In}d_0 \quad (0.994)$	$F_d = 105400 + 18600d_0 \quad (0.879)$ $F_d = 93200d_0^{0.53} \quad (0.894)$ $F_d = 91100 + 85300\text{In}d_0 \quad (0.975)$
LC2	$\sigma_d = 0.18 + 0.43d_0 \quad (0.979)$ $\sigma_d = 0.34d_0^{1.22} \quad (0.921)$ $\sigma_d = 0.04 + 1.79\text{In}d_0 \quad (0.993)$	$F_d = 75500 + 10200d_0 \quad (0.831)$ $F_d = 66800d_0^{0.46} \quad (0.883)$ $F_d = 66200 + 48200\text{In}d_0 \quad (0.924)$
LC3	$\sigma_d = -0.18 + 0.25d_0 \quad (0.999)$ $\sigma_d = 0.11d_0^{1.35} \quad (0.993)$ $\sigma_d = -0.18 + 0.97\text{In}d_0 \quad (0.904)$	$F_d = 68000 + 13500d_0 \quad (0.946)$ $F_d = 66600 \cdot d_0^{0.50} \quad (0.974)$ $F_d = 61400 + 58400\text{In}d_0 \quad (1.00)$

5. 결론

본 연구에서는 보수된 콘크리트 구조물의 강우 시 온도변화에 따른 보수 모르타르와 기층 콘크리트 접촉면에서 발생하는 연직 인장응력 σ_y 가 조사되었다. 이 응력은 강우강도, 보수층 두께 및 모르타르 종류를 변수로 하여 계산되었고, 그 크기를 추정하는 공식이 유도되었다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 응력 σ_y 는 일반적으로 보수층과 기층의 열팽창계수의 차이, 탄성계수의 차이, 보수층 두께 및 강우강도에 좌우된다.

- 일정한 강우강도, 보수층 두께에서의 응력 σ_y 의 크기를 결정하는 가장 중요한 요인은 보수층과 기층의 열팽창계수차이다.

- 따라서 응력 σ_y 를 추정하는 공식은 $\sigma_y = \sigma_d + F_d \cdot |\Delta \alpha_T(T)|$ 와 같이 표시될 수 있고, σ_d 와 F_d 는 일정한 강우강도에서 각각 보수층 두께에 좌우되는 대수함수로 표시된다. 즉 $\sigma_d = 1.71 + 3.33 \ln d_0$,

$$F_d = (91100 + 85300 \ln d_0)$$

for LC1(낮은 유속의 수조에 잠긴 보수체)

$$\sigma_d = 0.04 + 1.79 \ln d_0,$$

$$F_d = (66200 + 48200 \ln d_0)$$

for LC2(강우빈도 $n_R = 1/a$, 지속시간 $t_R = 10\text{min}$)

$$\sigma_d = -0.18 + 0.97 \ln d_0,$$

$$F_d = (61400 + 58400 \ln d_0)$$

for LC3(강우빈도 $n_R = 1/a$, 지속시간 $t_R = 60\text{min}$)

참고 문헌

1. Argyris, J.H., Warnke, E.P. and Willam, K.J., "Berechnungen von Temperatur- und Feuchtefeldern in Massivbauten nach der Methode der Finiten Elemente", Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 278, Beuth Verlag GmbH Berlin Köln, 1977.
2. Bathe, K.-J., "Finite-Elemente-Methoden", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1986.
3. Böhnke, B., "Abwasserableitung", Umdruck des Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen.
4. Carslaw, H.S. and Jaeger, J.C., "Conduction of Heat in Solids", Oxford at the Clarendon Press, 1973.
5. Franke, H., "Lexikon der Physik", 3.Auflage, Bd.3: S-Z Stuttgart: Franck'sche Verlagshandlung, 1969. Wiesbaden und Berlin, 1974.
6. Klopfer, H., "Wassertransport durch Diffusion in Feststoffen", Bauverlag GmbH
7. Kuchling, H., "Taschenbuch der Physik", Thun: Harri Deutsch, 1978.
8. Kwasny, R., Schrage, I., Schulz, R.-R., "Dauerhaftigkeit des Verbundsystems Konstruktionsbeton/Reparaturmörtel", Institut für Bauforschung der RWTH Aachen(1994)
9. 윤우현, "Untersuchung der temperatur- und feuchtebedingten Spannungsverhältnisse im Bereich von Instandsetzungen bei massiven Betonbauten", Dissertation der RWTH Aachen, 8.1989.
10. 윤우현, "화재를 입은 콘크리트 교각의 손상에 관한 연구", 콘크리트학회 논문집 제7권 2호, 1995.4, pp.117-125.

요 약

본 연구에서는 콘크리트 덧씌우기 보수체 손상의 주원인은 보수 모르타르와 기층 콘크리트 접촉면에서 발생하는 연직 응력, σ_y , 으로 가정된 후 강우시 보수체의 온도변화에 따라서 이 응력의 크기를 조사하였다. 이 연직응력은 강우강도, 보수 모르타르의 두께 및 종류를 변수로 하여 유한요소법을 사용하여 계산되었다. 강우강도는 강우빈도 $n_R = 1/a$, 지속시간 $t_R = 10\text{min}$ 및 60min 을 가진 경우를 택하였으며, 보수층 두께, d_0 ,는 1, 2, 4, 10cm 그리고 사용된 모르타르는 시멘트 모르타르(CM), 에폭시 시멘트 모르타르(ECM), 에폭시 모르타르(EM)의 세종류이었다. 본 연구결과 강우시 보수체 접촉면의 연직 인장응력 σ_y 를 추정할 수 있는 공식이 유도되었다. 이 식을 이용하여 강우시 보수체의 온도변화로 인해 발생할 수 있는 접촉면의 파괴를 예방할 수 있는 보수재료의 성질 및 보수층의 두께가 결정될 수 있다.

(접수일자 : 1998. 4. 13)