

強制冷却에 의한 콘크리트 堤體의 施工中 溫度變動

Temperature Variations during Construction in the Concrete
Dam Body by Artificial Cooling

李 培 浩* · 金 弘 哲**
Lee, Bae Ho · Kim, Hong Cheol

Abstract

The concrete temperature in mass concrete rises rapidly above the placing temperature owing to the heat given off by the hydrating cement. This temperature rise produces tensile stress and cracks which later become the cause of water leakage in concrete structures. It is essential, therefore, to reduce the interior heat of concrete dam given off by hydrating cement by artificial cooling.

The present study aiming to study the temperature variations in mass concrete by pipe cooling, compares the actual measurements of Chungju Dam with the temperature calculated by Finite Difference Method(FDM), and it found that the results closely agree with each other.

Based on these results, the analyses are performed simulate the interior temperature history of concrete dam made of type II (moderate heat) portland cement under various conditions.

要 旨

매스콘크리트(mass concrete)는 시멘트의 水和熱에 의하여 溫度應力이 생기며, 龜裂을 일으키게 된다. 매스콘크리트 內部 溫度 解析에는 Carlson의 方法이나, Glover의 方法 등이 오늘날까지 많이 쓰여 왔으나 이 方法들은 工學的으로 간단한 假定을 하여 溫度를 解析하고 있으므로, 실제적인 推定值가 되지 못 한다고 알려져 있다.

本 研究에서는 有限差分法(FDM)에 의하여 콘크리트 堤의 內部溫度를 解析하고, 이것의 有用性을 檢討하기 위하여 電算機로 계산한 計算値와 忠州 대에서 實測한 實測値를 比較檢討한 결과 좋은 近似値를 얻었다.

*正會員 · 中央大學校 工科大學 教授, 土木工學科

**正會員 · 서울産業大學 助教授, 土木工學科

1. 序 論

콘크리트는 打設後 永和作用에 의하여 永和熱이 發生하는데, 매스 콘크리트와 같이 단면이 큰 部材는 熱擴散이 늦으므로 内部溫度가 斷熱으로 上昇한다.

이 溫度上昇으로 發生하는 溫度變形이 內的 및 外的으로 拘束되면 斷面內에서 引張應力이 發生한다. 이 引張應力은 龜裂을 일으키고, 漏水의 原因이 되므로 콘크리트 内部의 水和熱에 의한 過度한 溫度上昇을 억제하기 위하여 人工冷却이 必要하게 된다.

또한, 블록으로 施工한 댐에서 댐 構造物의 一體化를 위하여 이음부를 그라우팅해야 할 때에는 미리 콘크리트를 冷却하여 블록을 충분히 收縮시켜서 이음부에 그라우팅 注入이 되게 하므로써 使用期間 중 溫度降下時의 堤體收縮에 의한 龜裂의 發生을 막을 수 있다.

시멘트의 水和熱에 의한 매스콘크리트의 溫度上昇에 관한 研究는 1930年代의 Boulder Dam의 研究⁽⁴⁾, Carlson⁽⁹⁾, McHenry⁽¹⁰⁾, R. E. Glover^(7, 14), A. D. Ross⁽¹¹⁾, Schmidt. E⁽¹³⁾ 등의 일련의 研究를 시작으로 오늘날까지 研究가 많이 되어 왔다.

各種 溫度解析法의 用途와 特徵을 들면 다음과 같다.

① Boulder Dam의 方法: 1~3次元 問題에 適用되나, 内部發熱을 고려하지 않는다. 장기적인 溫度狀態를 解析하는 데는 計算이 간편하여 흔히 쓰인다.

② McHenry의 方法: 1次元 問題에 適用되며, 内部發熱을 고려한다. 解가 級數解로 주어지므로 計算이 간단하나, 表面溫度의 解析에는 精度가 낮은 것으로 알려져 있다.

③ Carlson의 方法: 1次元 問題에 適用되며, 計算이 간단하여 널리 사용되고 있으나, 境界條件이 충분히 고려되지 않는다.

④ A. D. Ross 등의 Schmidt의 方法: 1~3次元 問題에 適用되며, 計算이 간단하여 널리 사용되고 있으나, 境界條件이 충분히 고려되지 않는다. 이 方法은 安定條件 $h^2 \frac{\Delta t}{\Delta x^2} = \frac{1}{2}$ 을 만족해야 하기 때문에 時間差分 Δt 이 距離差分 Δx 를 임의로 선택할

수 없다.

⑤ R. E. Glover의 方法: 1次元 圓筒座標系로 解析하며, 内部發熱을 고려하지 않는다. 冷却管에 의한 溫度降下 計算에 이용된다.

이상의 方法에서 ①~④까지의 方法은 表面으로부터의 熱放散과 水和熱에 의한 콘크리트 堤體内部의 溫度計算에 사용하고, ⑤의 方法만이 冷却管에 의한 溫度計算에 쓰인다.

보통 第一段階 冷却에서는 짧은 時間間隔마다 Carlson의 方法과 Glover의 方法을 組合해서 사용하고, 第二段階 冷却에서는 그 期間에 콘크리트 表面으로부터의 熱發散이나 水和熱을 무시할 수 있는 狀態에 있으므로 Glover의 方法만으로 計算한다.

本 研究는 冷却管에 의한 強制冷却으로 인한 콘크리트 堤體内部의 溫度를 有限差分法(Finite Difference Method)으로 解析하고 熱應力 解析에 중요한 매스콘크리트의 溫度變動을 究明하는 데 目的이 있다.

여기에서는 매스콘크리트의 水和熱에 의한 上昇溫度를 實驗公式로 計算하고, 堤體內의 直交座標에 의한 格子로 節點을 구성하여 冷却管에 의하여 變하는 内部溫度變動을 解析하고자 한다.

2. 콘크리트의 溫度上昇

2.1 斷熱溫度上昇의 推定

斷熱狀態에 있는 콘크리트의 溫度는 그 속에 함유되어 있는 시멘트풀의 全水和熱量에 비례하고, 콘크리트의 比熱에 반비례하므로 式(1)과 같이 나타낼 수 있다⁽⁶⁾.

$$K = \frac{W_c Q_c}{\rho_c C_c} \quad (1)$$

여기에서,

K : 콘크리트의 最高斷熱上昇溫度(°C)

W_c : 콘크리트의 單位 시멘트량(kg/m³)

Q_c : 시멘트의 總發熱量(kcal/kg)

ρ_c : 콘크리트의 單位重量(kg/m³)

C_c : 콘크리트의 比熱(Kcal/kg·°C)

콘크리트 打設後, 어느 時間에 대한 斷熱上昇溫度는 근사적으로 式(2)와 같이 표시할 수 있다.

$$T = K(1 - e^{-m'}) \quad (2)$$

여기에서,

T : 材冷 t 日에 있어서의 콘크리트의 斷熱上昇溫度(°C)

m : 시멘트의 種類, 配合溫度 등에 따라 달라지는 定數

t : 材冷(日)

또한, 時間差분에 대한 單位體積 發熱量은 다음式(3)과 같이 표시된다.

$$q = \frac{\rho c C_c \Delta T}{\Delta t} \quad (3)$$

여기에서,

q : 單位時間의 單位體積 發熱量(Kcal/hr · m³)

ΔT : 溫度差(°C)

Δt : 時間差分(hr)

塚山の 實驗⁶⁾에 의하면, 콘크리트의 單位시멘트량과 斷熱上昇溫度式에서의 K 및 m 값은 表 1과 같다.

표 1. 單位시멘트량과 斷熱上昇溫度式의 實驗定數 K 및 m 과 C 와의 관계

| 시멘트의 종류 | K | C |
|---------|---------------------|----------------------|
| 보 룡(1종) | $K = 7.8 + 0.095C$ | $m = 0.34 + 0.0021C$ |
| 중용열(2종) | $K = 10.8 + 0.081C$ | $m = 0.14 + 0.0025C$ |
| 조 강(3종) | $K = 1.7 + 0.131C$ | $m = 0.63 + 0.0018C$ |

※ C : 單位 시멘트량(kg/m³)

2.2 斷熱上昇溫度 實驗定數의 檢定

表 1의 K 및 M 과 C 와의 관계를 檢定하기 위하여, 產業基地開發公社 忠州댐 工事現場에서 實驗한 實測值를 같은 條件에서 구한 값을 比較하였다.

實驗에서 사용한 콘크리트 配合²⁾은 2종(中庸熱) 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 單位시멘트량 $C = 256$ (kg/m³)으로 하였다.

實驗式을 얻기 위하여 表 1에서 2종(中庸熱) 포틀랜드 시멘트 경우의 k 값과 m 값을 구하면, 實驗式은 다음과 같이 된다.

$$k = 10.8 + 0.081 \times 256 = 31.5 \text{ (°C)}$$

$$m = 0.14 + 0.0025 \times 156 = 0.78 \text{ (24hr)}$$

즉, 式(2)로부터

$$T = 31.5(1 - e^{-0.78t})$$

가 된다. 이 式으로부터 計算한 斷熱上昇溫度와 實測溫度를 比較하면 圖 1과 같다. 따라서 實驗式은 근사적으로 사용될 수 있는 것으로 판단되었다.

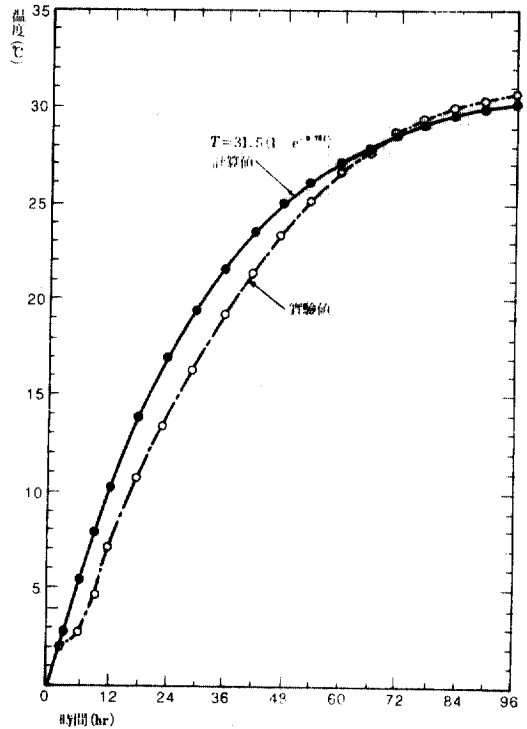


圖 1. 斷熱上昇溫度와 計算值와 實驗值의 比較

3. 有限差分法에 의한 熱傳達의 數值解析

3.1 2次元 熱傳達에 대한 基本有限差分式

2次元의 非正常熱傳達에 대해서는 길이 方向(Z 方向)으로 熱흐름이 없다고 보면, 等方性 材料에 대하여 熱傳達 方程式을 다음 式(4)와 같이 된다.

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4)$$

여기에서, 材料가 等方均一하다고 하면, 偏微分項을 有限差分法을 써서 나타내면 式(5)와 같이 된다.

$$\frac{T_E + T_W - 2T_0}{(\Delta x)^2} + \frac{T_N + T_S - 2T_0}{(\Delta y)^2} + \frac{q}{k} = \frac{1}{h^2} \frac{T_0^{t+\Delta t} - T_0^t}{\Delta t} \quad (5)$$

여기에서,

k : 熱傳達係數(kcal/hr · m · °C)

h^2 : 熱擴散係數($h^2 = \frac{k}{\rho C}$)(m²/hr)

式(5)를 Implicit Method⁶⁾에 따라 나타내면 式(6)과 같이 된다.

$$\frac{T_E^{t+\Delta t} - T_0^{t+\Delta t}}{(\Delta x)^2} + \frac{T_W^{t+\Delta t} - T_0^{t+\Delta t}}{(\Delta x)^2} + \frac{T_N^{t+\Delta t} - T_0^{t+\Delta t}}{(\Delta y)^2} + \frac{T_S^{t+\Delta t} - T_0^{t+\Delta t}}{(\Delta y)^2} + \frac{q}{k} = \frac{\rho C}{k} \frac{T_0^{t+\Delta t} - T_0^t}{\Delta t} \quad (6)$$

단위 두께에 대한 體積 $\Delta V (= \Delta x \cdot \Delta y)$ 를 고려하여 式(6)을 변형하면 다음 式(7)과 같이 된다.

$$k(\Delta y) \frac{T_E^{t+\Delta t} - T_0^{t+\Delta t}}{\Delta x} + k(\Delta y) \frac{T_W^{t+\Delta t} - T_0^{t+\Delta t}}{\Delta x} + k(\Delta x) \frac{T_N^{t+\Delta t} - T_0^{t+\Delta t}}{\Delta y} + k(\Delta x) \frac{T_S^{t+\Delta t} - T_0^{t+\Delta t}}{\Delta y} + q\Delta V = \rho C \Delta V \frac{T_0^{t+\Delta t} - T_0^t}{\Delta t} \quad (7)$$

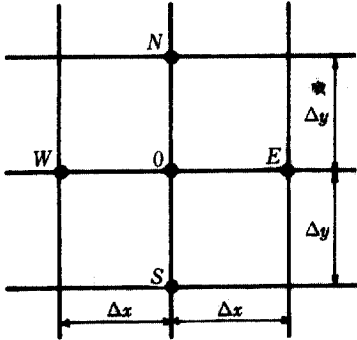


그림 2. 直交座標系의 差分格子

3.2 콘크리트 塊體에 있어서의 境界條件

(1) 콘크리트의 内部節點의 境界條件

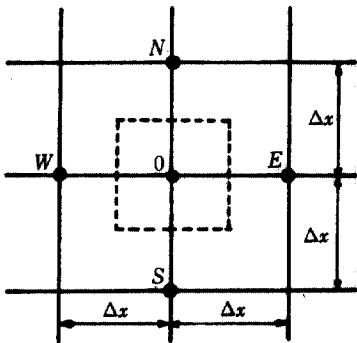


그림 3. 2次元 直交座標 0點 부근의 要素의 體積

콘크리트 内部節點을 그림 3과 같이 나타내었을 때 溫度 관계식은 式(7)에서 $\Delta x = \Delta y$ 로 보면, 式(8)과 같이 된다.

$$(4kc + F_0)T_0^{t+\Delta t} - kcT_E^{t+\Delta t} - kcT_W^{t+\Delta t} - kcT_S^{t+\Delta t} - kcT_N^{t+\Delta t} = F_0T_0^t + q\Delta V \quad (8)$$

위 식에서 $F_0 = \frac{\rho C C_c \Delta V}{\Delta t}$ 이며, q 는 式(3)으로부터 구한다.

式(8)에서 未知數는 $T_0^{t+\Delta t}$, $T_E^{t+\Delta t}$, $T_W^{t+\Delta t}$, $T_S^{t+\Delta t}$, $T_N^{t+\Delta t}$ 이며, 右邊은 常數項이 되며, 위의 關係式을 매트릭스로 表現하면 式(9)와 같이 된다.

$$[A] \{T_i^{t+\Delta t}\} = \{C_0\} \quad (9)$$

$[A]$ 는 $n \times n$ 매트릭스이며, 元素(element)는 未知數인 $T^{t+\Delta t}$ 의 係數로 構成된다.

$[A]$ 는 대칭 매트릭스이므로 0點의 節點 번호 i 보다 큰 E 點(節點번호 $i+1$)과 S 點(節點번호 $i+k$)에 대하여 매트릭스를 구성하고, Cholesky's method^(12, 15)를 이용하여 解를 구할 수 있다.

(2) 콘크리트의 對流境界條件

콘크리트 表面에서 大氣 중으로 放出되는 熱量은 式(10)과 같이 된다.

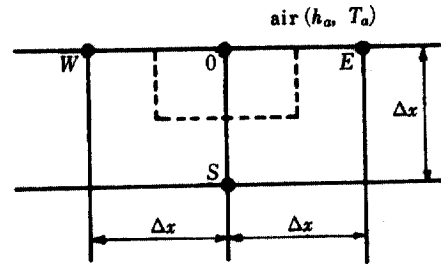


그림 4. 2次元 對流境界表面

$$q_a = h_a(T_a - T_0) \quad (10)$$

여기에서,

q_a : 大氣 중으로 放出되는 熱量 (Kcal/hr · m²)

h_a : 對流熱傳達係數 (Kcal/hr · m² · °C)

T_a : 大氣溫度 (°C)

T_0 : 0點의 溫度 (°C)

그림 4와 같이 大氣와 접촉하는 節點의 溫度 관계식은 式(7)에서 $\Delta x = \Delta y$ 일 때, 大氣와 접촉하는 곳에서의 對流 현상을 고려하면 다음 式(11)과 같이 된다.

$$(2kc + B_a + F_0)T_0^{t+\Delta t} - 0.5(k)T_E^{t+\Delta t} - 0.5(k_c)T_W^{t+\Delta t} - (k_c)T_S^{t+\Delta t} = F_0T_0^t + B_aT_a + q\Delta V \quad (11)$$

위 식에서, $F_0 = \frac{\rho C C_c \Delta V}{\Delta t}$, $B_a = h_a(\Delta x)$ 이다.

式(11)의 未知數 係數와 常數項으로써 $[A] \{C_0\}$ 매트릭스를 구성하면 式(9)와 같이 된다.

(3) 冷却管 부근의 境界條件

冷却管에 의해 콘크리트에서 제거되는 에너지는 式(12)에서 구할 수 있다.

$$Q_p = H(T_{wa} - T_0) \quad (12)$$

여기에서, $H = \frac{2\pi kt}{\ln\left(\frac{4r}{R_0}\right) - 2}$

Q_p : 冷却管으로 흘러나간 열에너지(kcal/hr)

T_{wa} : 冷却水溫度(°C)

T_0 : 節點 0의 溫度(°C)

k : 熱傳達係數(kcal/hr · m · °C)

t : 要素의 두께(m)

R_0 : 冷却管의 半徑(m)

式(12)를 이용하여 節點 0에 대하여 境界條件式을 세우면 式(13)과 같이 된다.

$$(4k + B_w + F_0)T_0^{t+\Delta t} - kT_E^{t+\Delta t} - kT_W^{t+\Delta t} - kT_S^{t+\Delta t} - kT_N^{t+\Delta t} = F_0T_0^t + B_wT_{wa} + q\Delta V \quad (13)$$

위 式에서, $F_0 = \frac{\rho C \Delta V}{\Delta t}$, $B_w = H \cdot T_{wa}$ 이다.

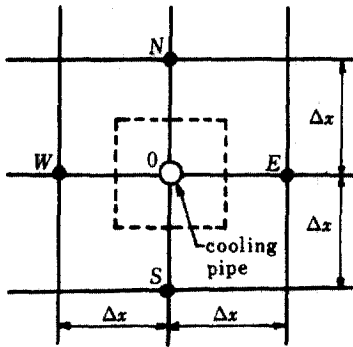


그림 5. 冷却管 부근의 2次元 對流境界

式(13)의 未知數 係數와 常數項으로서 [A] {C} 매트릭스를 구성하면 式(9)와 같이 된다.

4. 콘크리트 덩의 溫度解析

4.1 數值解析

本 研究에서 活用하고 있는 有限差分法(FDM)에 의한 콘크리트 堤體의 溫度解析의 有用性을 檢討하기 위하여 實測值와 計算值를 比較하였다. 實測值는 忠州 댐의 實測資料를 사용하였다.

(1) 溫度實測值

忠州 댐의 設計와 施工에 사용된 資料⁽¹⁾는 다음과 같다.

冷却管의 간격: 1.5m

1 回打設높이(lift): 1.5m

冷却管의 流量: 16l/min 이상

冷却管의 材質: φ25mm KS 흑관

溫度計 埋設數: 59개

溫度計 埋設位置: 冷却管 위 30cm 높이

使用 시멘트: 2種(中庸熱) 포틀랜드 시멘트

여기에서 資料로 사용한 콘크리트 配合은 表 2와 같다.

實測溫度值는 59 個所의 測定值 가운데서 代表的인 點(計器番號 T10-16)의 값을 사용하였으며, 그 값은 表 3과 같다.

(2) 解析을 위한 模型

忠州 댐의 堤體溫度를 解析하기 위하여 그림 6과 같이 2次元座標系를 設定하였다. 解析에 있어서 各 節點의 條件은 리프트(lift) 1 블록과 리프트 1 & 리프트 2 블록에 대해서 各各 設定하였으며, 解析에 設定한 境界條件은 다음과 같다.

표 2. 콘크리트 配合表⁽¹⁾

| Type | Cement type | σk (kg/cm ²) | Max Size (mm) | Slump (cm) | S/a (%) | Air (%) | W (kg/m ³) | C (kg/m ³) | W/C (%) | S (kg/m ³) | G (kg/m ³) | Pozzolith (g/m ³) |
|------|-------------|--------------------------|---------------|------------|---------|---------|------------------------|------------------------|---------|------------------------|------------------------|-------------------------------|
| A | II | 120 | 150 | 4±1 | 25 | 4±1 | 94 | 145 | 65 | 554 | 1699 | 363 |

표 3. 溫度測定 記錄表⁽²⁾

| 측정일 온도(°C) | '83 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|---------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 콘크리트의 내부온도 | 25.8 | 29.3 | 31.3 | 31.7 | 30.5 | 29.3 | 28.7 | 28.1 | 27.8 | 27.3 | 27.0 | 26.7 | 26.3 | 26.5 |
| 유입수온 | 15.5 | 17.0 | 17.0 | 16.0 | 16.0 | 15.5 | 16.0 | 16.0 | 15.0 | 15.0 | 14.0 | 14.0 | 13.0 | 14.5 | 16.5 |
| 유출수온 | 22.0 | 28.5 | 28.5 | 29.0 | 28.5 | 27.5 | 27.5 | 27.5 | 27.5 | 24.5 | 24.0 | 23.0 | 20.0 | 26.0 | 25.5 |

① 콘크리트의 表面에서는 大氣에 노출되어 있으므로 對流에 의한 熱發散 현상이 일어난다.

② 冷却管의 埋設位置와 인접한 두 冷却管의 中

間點에서 수직으로 境界되는 콘크리트 블록의 側面은 斷面狀態에 있는 것으로 본다.

③ 岩盤內의 熱傳達は 無限한 범위로 볼 수 있으나, 解析過程에서 그 범위를 300m 까지 水和熱의 영향이 미치는 것으로 보고 地盤溫度를 大氣溫度

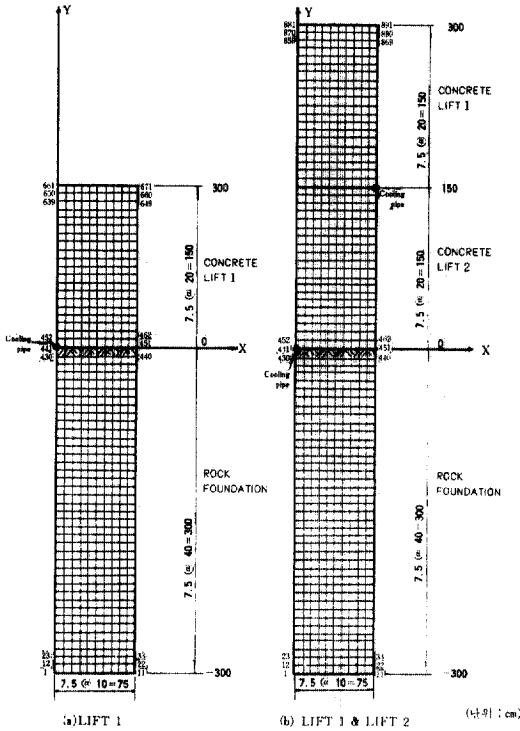


그림 6. 2次元 節點座標

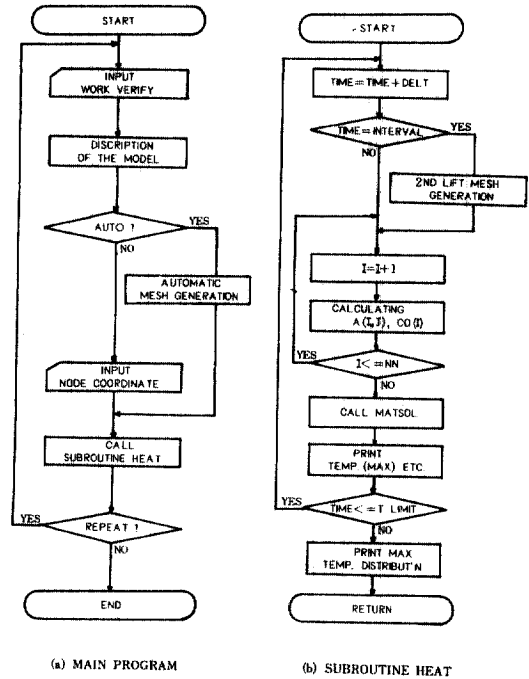


그림 7. 溫度解析을 위한 흐름圖

표 4. 數值解析 計算因子

| 計 算 因 子 | 대 이 더 | 비 고 |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 大氣溫度(T_a) | 22.5°C | |
| 冷却水溫度 | 22.5°C | 流入水와 流出水의 平均水量 |
| 콘크리트의 初期打設溫度(T_p) | 22.5°C | |
| 岩盤의 初期溫度(T_r) | 22.5°C | 外氣溫度와 같다. |
| 콘크리트의 熱擴散係數(h^2) | 0.00461(m ² /hr) | } $h^2 = \frac{k}{\rho C}$ |
| 地盤의 熱擴散係數(h^2) | 0.00347(m ² /hr) | |
| Mesh size(S) | 7.5cm | |
| 콘크리트의 斷熱上昇溫度(T) | $T = 22.5(1 - e^{-0.5t})$ | 式(2), 表-1 |
| 콘크리트의 單位重量(ρ) | 2350(kg/m ³) | |
| 콘크리트의 比熱(C_c) | 0.24(kcal/m · hr · °C) | |
| 콘크리트의 熱傳達係數(h_c) | 2.6(Kcal/m · hr · °C) | |
| 岩盤의 單位重量(ρ) | 2590(kg/m ³) | |
| 岩盤의 比率(C_r) | 0.24(kcal/m · hr · °C) | |
| 岩盤의 熱傳達係數(h_r) | 2.16(kcal/m · hr · °C) | |
| 對流熱傳達係數(h_a) | 10(kcal/m ² · hr · °C) | 大氣는 靜止狀態 |

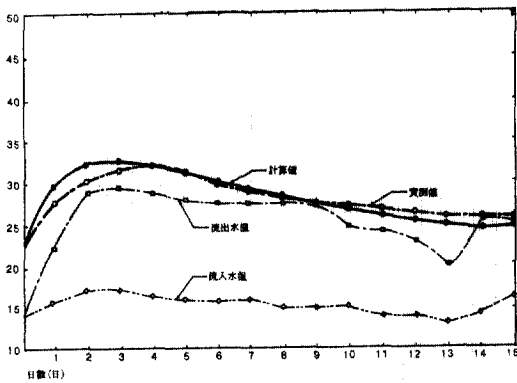


그림 8 콘크리트 内部温度的 計算値와 實測値의 比較 (點(75,180))

로 본다.

(3) 電算 흐름도 및 프로그램

本 研究의 計算에 使用하기 爲하여 開發한 “HEA-TMACON” 프로그램은 주프로그램과 2 개의 부프로그램으로 되어 있다.

프로그램의 主要 흐름도는 그림 7 과 같다.

(4) 콘크리트 堤體의 溫度解析

忠州 堤의 堤體內의 溫度를 解析하기 爲하여 使用한 入力資料는 表 4 와 같다.

(5) 溫度의 計算値와 實測値의 比較

그림 8 에서 보는 바와 같이 計算値와 實測値는 거의 一致하고 있다.

測定點은 冷却管을 묻은 點에서 30cm 의 높이에 있으므로, 本 研究에서 設定한 2 次元 節點座標點(75,180)이 된다.

이 比較로 부터 처음에 決定한 K 와 m 의 값은 그런대로 실제의 값에 近似한 것으로 판단되므로 앞으로의 溫度解析에는 이들의 값을 사용한다.

4. 2. 溫度 解析 結果의 分析 및 考察

콘크리트 堤體內의 冷却管에 의한 強制冷却效果와 堤體內의 溫度變動에 대해서 알아보기 爲하여 解析에 使用한 入力資料는 平均冷却水 溫度, 콘크리트의 初期打設溫度, 岩盤의 初期溫度 등은 모두 外氣溫度와 같은 것으로 보아 20°C로 하고, 기타의 資料는 表 4 의 것을 사용하였다. 다만, 打設溫度와 冷却水溫度의 變化에 따른 最高内部溫度의 變動을 파악하기 爲하여 위의 모든 溫度條件을 5, 10, 15, 20, 25, 30°C로 바뀌어 가면서, 冷却을 하는 경우에 대하여 80개, 冷却 하지 않는 경우에 대하여 24개, 즉, 104 개의 경우에 대하여 각각 解析하였다. 1 회

打設높이 (lift) 1.5m, 冷却管의 間隔 1.5m 로 하여 그림 6 의 節點을 대상으로 하였다. 또 모든 計算時間은 第一段階 冷却期間인 15日間을 基準으로 하였다.

(1) 콘크리트 堤體內의 溫度分布

그림 9는 리프트 1 위에 7日後 리프트 2를 打設하여 3日後의 溫度, 즉, 리프트 1을 打設한 時間으로부터 10日 以後의 溫度를 나타낸 等溫線圖이다. 여기에서 溫度가 가장 높은 곳은 點(0,217.5) 부근이 되고, 가장 낮은 곳은 역시 冷却管 부근이 된다. 岩盤에는 거의 3.00m까지 溫度 影響이 미친다.

(2) 自然熱放散과 冷却管의 冷却效果

그림 10은 리프트 1만 打設하고, 上部表面이 완전히 大氣中에 露出되었을 경우, 自然熱放散과 冷却管에 의한 冷却效果를 比較해서 나타낸 것이다. 그림 10에서 點(0,30)은 冷却管부근으로, 斷熱上昇溫度에서 15日을 基準으로 하여, 全體溫度降下量의 약 84%가 岩盤傳道 및 外氣에 自然放散되고, 나

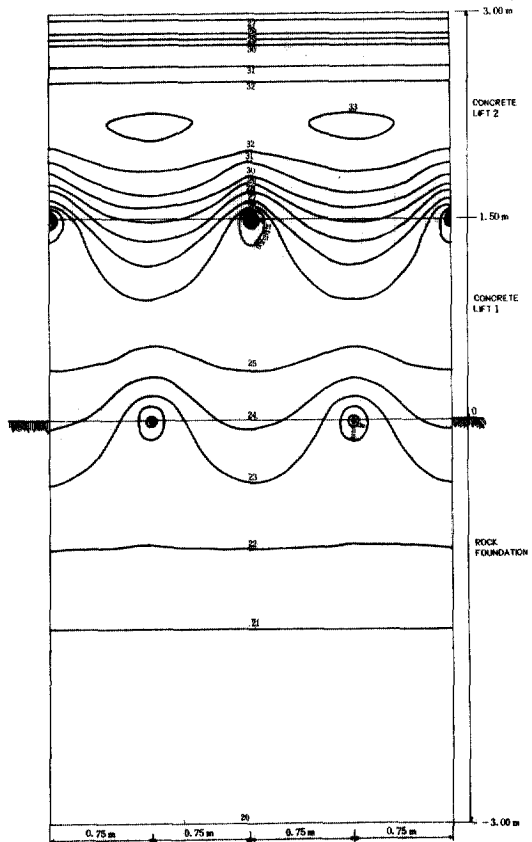


그림 9 콘크리트 堤體內의 等溫線圖

머지 16%만이 냉각관에 의해 제거되고 있다. 點 (75, 75)에서는 콘크리트 堤體內部에서 溫度가 가장 높은 곳으로, 全體溫度降下量에서 약 11%만이 냉각관에 의해 제거되고, 나머지 약 89%가 岩盤傳導 및 外氣에 自然放散되고 있다. 즉 맨 윗층 리프트와 같은 블록에서는 냉각관의 효과가 적고, 대부분이 外氣에 自然放散되고 있음을 알 수 있다.

(3) 打設時間間隔에 따른 內部溫度變動

그림 11은 點 (75, 75)의 打設時間間隔에 따른 溫度變動를 나타낸 것이다.

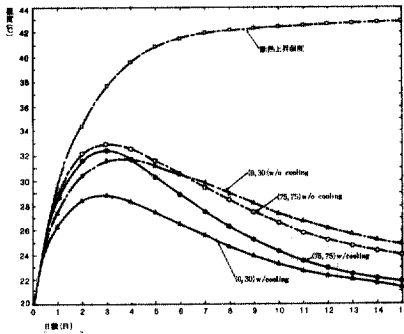


그림 10. 自然熱放散과 冷却效果의 比較

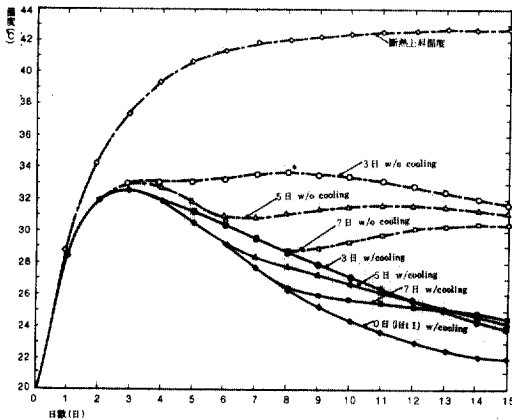


그림 11. 打設時間間隔에 따른 內部 溫度 變動(點(75, 75))

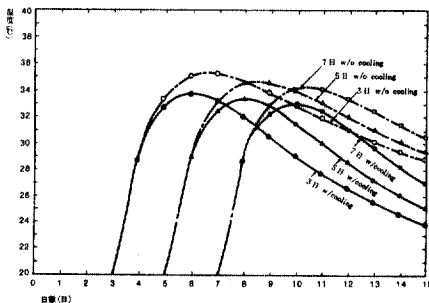


그림 12. 打設時間間隔에 따른 內部溫度變化(點(0, 225))

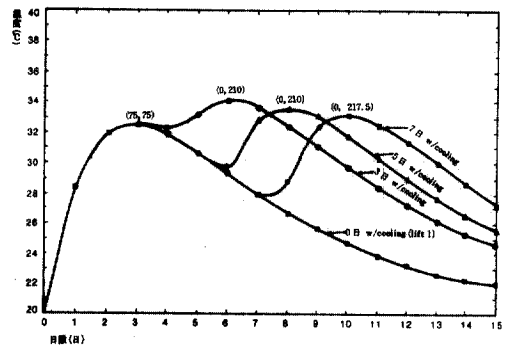


그림 13. 打設時間間隔에 따른 最高內部溫度의 比較

그림에서 보는 바와 같이 3日打設間隔의 경우 斷熱上昇溫度에서 全體降下量의 약 40%가 冷却管에 의하여 제거됨을 알 수 있다.

그림 12는 2段打設로 하였을 때 點(0, 225)의 打設時間間隔에 따른 溫度變動를 나타낸 것이다. 여기에서 보는 바와 같이 打設時間間隔이 길수록 最高內部溫度가 낮아지며, 打設時間間隔이 5日을 넘으면 最高內部溫度에는 거의 변화가 없다. 따라서, 1回打設높이가 15m의 경우 5日이 最適打設時間間隔이라고 할 수 있다.

(4) 打設時間間隔에 따른 最高內部溫度의 變動

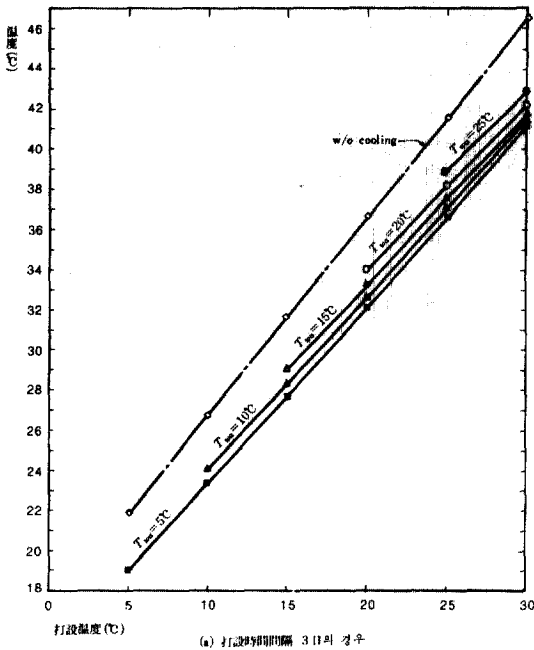
그림 13은 打設時間間隔 3日, 5日 및 7日의 경우, 最高內部溫度를 比較한 것으로 冷却管이 있을 경우 最高內部溫度는 打設時間間隔이 3日 일 때, 6日에서 點(0, 210) 부근에 나타나며, 打設時間間隔이 길수록 最高內部溫度는 낮아지고 있다.

(5) 打設溫度와 冷却水溫度에 따른 最高內部溫度의 變動

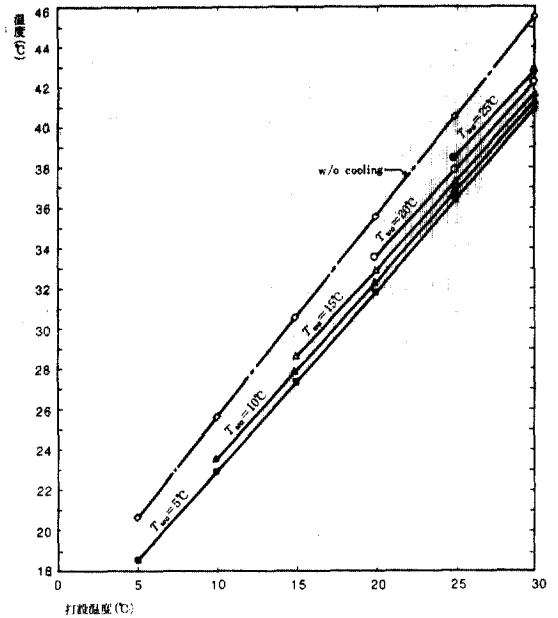
그림 14의 (a) (b)는 打設時間間隔 3日 및 5日 일 경우, 打設溫度와 冷却水溫度에 따른 最高內部溫度의 變動를 나타낸 것이다.

그림 14에서 冷却水溫度 5°C 차이에 따라 最高內部溫度는 0.5°C 정도씩 달라지지만, 打設溫度에서는 5°C 차이에 따라 4.5°C 정도씩 달라진다. 따라서, 콘크리트 堤體의 最高內部溫度는 冷却水溫度보다 打設溫度에 영향을 많이 받으므로 매스콘크리트의 溫度를 管理하기 위해서는 打設溫度를 낮추어야 하는 것이 일차적인 과제이다.

콘크리트 標準示方書에서는 매스콘크리트를 칠 때 콘크리트의 打設溫度를 25°C 이하로 규정하고 있다.



(a) 打設時間間隔 3 日の 경우



(b) 打設時間間隔 5 日の 경우

그림 14. 打設溫도와 冷却水溫도에 따른 最高內部溫도의 變動

5. 結 論

1 回打設높이와 冷却管 간격을 1.5 m로 하고, 平均冷却水溫度, 初期打設溫度, 岩盤의 初期溫度 등을 모두 外氣溫도와 같게 20°C로 했을 때, 2種(中廢熱) 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트 堤體內部溫度를 計算하여 分析한 結果에서 얻은 結論을 요약하면 다음과 같다.

① 初期의 岩盤溫度를 大氣溫度로 보았을 경우, 岩盤面에서 약 3.00m까지의 溫도의 影響이 미치고 있다.

② 岩盤面에 一次 打設時 콘크리트 表面이 外氣中에 노출 되었을 경우, 打設後 15日 경과했을 때, 最高內部溫度가 發生하는 點에서, 斷熱溫度上昇의 약 89%가 岩盤의 傳導 및 外氣에 自然 放散하고, 冷却管에 의한 溫度降下量은 11%에 해당한다. 그러나, 다음 層이 3日 間隔으로 打設되었을 경우에는 全體溫度 降下量의 약 40%가 冷却管에 의하여 제거되고 있다.

③ 打設時間間隔이 5日을 넘으면 最高內部溫度에는 거의 變化가 없으므로, 5日이 最適打設時間間隔이라고 할 수 있다.

④ 콘크리트 堤體內의 最高內部溫度는 打設 3日 後, 冷却管과 冷却管 사이의 중앙에서부터 1回打設 높이 (lift)의 1/2 되는 點 부근에서 나타난다. 이러한 現象은 다음 層을 打設한 경우에도 동일하게 나타났다. 따라서, 콘크리트 堤 內部溫度는 最高溫度가 나타나는 點(0, 210)에서 實測해야 한다.

⑤ 콘크리트 堤體 最高內部溫度는 冷却水溫도의 차이에 대하여는 근소하게 달라지나, 打設溫도의 차이에 대해서는 對等한 變動을 나타낸다.

따라서, 콘크리트 堤體內部溫度를 낮추기 위해서는 冷却水溫도에 의존하는 것보다는 콘크리트의 打設溫度를 낮추는 것이 더 重要하다.

參 考 文 獻

- 建設部/產業基地開發公社: "忠州 堤 設計報告書" 產業基地開發公社, 1979.
- 建設部/產業基地開發公社: "콘크리트 水和熱測定 記錄表" 忠州 堤 建設事務所 材料試驗課, 1983. 10.31
- 建設部/產業基地開發公社: "忠州 堤 溫度測定 記錄表" 忠州 堤 建設事務所 材料試驗課, 1982-1983.
- 小野 定: "마스콘크리트 打後미後的 溫度上昇에 關する二, 三의 考察" 콘크리트工學, Vol. 15, No. 1, Jan, 1977.

5. 片山功藏, 他 5 人: “傳熱工學の進展” 養賢堂, 1974, pp. 111~129.
6. 近藤泰夫, 坂 精雄: “コンクリート工學ハンドブック” 朝倉書店, 1975, pp. 410~415.
7. 成瀬勝武, 他 4 人: “土木施工データブック” 森北出版株式會社, 1964, pp. 789~804.
8. 塚山降一, 宮地日出男: “各種セメントを用いたコンクリートの溫度上昇” セメント技術年報 XX V, 1971, pp. 220~224.
9. Carlson, Roy W.: “A simple method for the computation of temperatures in concrete structures” *Proc.* vol. 34(1938), pp. 89~104.
10. Mchenry, Douglas: “Measured and computed Temperature of Concrete at Norris Dam” *Proceedings ACI* vol. 34(19-38) pp. 117.
11. Ross, A.D. and Bray, J. W.: “The Prediction of Temperature in Mass Concrete by Numerical Computation” *Magazine of Concrete Research*(London), Vol. No. 1, Jan. 1949, pp. 9-20
12. Ross, C.T.F.: *Computation Method in Structural and Continuum Mechanics* Ellis Horwood Limited, 1982.
13. Schmidt, E.: *Fopple Festschrift* Springer, Berlin, 1924, p. 179.
14. U.S. Bureau of Reclamation: *Cooling of Concrete Dam Final Reports, Boulder Canyon Project, Part VI-Cement Concrete Investigations, Bulletin 3*, U. S. Bureau of Reclamation, 1949, pp. 236
15. Weaver, W. J.: *Computer Programs for Structural Analysis* Princetown, N.J., D. Van Nostrand Co. Inc., 1967.

(接受: 1989. 6. 12)