

# Random Walk 理論을 應用한 全水頭分布의 解析

Analysis of the Total Head Distribution Using  
the Random Walk Theory

鄭 大 碩\*

Jung, Dae Seouk

沈 泰 斐\*\*

Shim, Tae Sup

白 榮 植\*\*\*

Paik, Young Shik

---

## ABSTRACT

A study is made on the determination of the total head distribution using the random walk theory within a confined flow system with complicated boundary conditions. Both nonhomogeneity and anisotropy of the aquifer are considered. The overlying on the aquifer may have sheet piles and the impervious boundary may be inclined.

Use is made of the Monte Carlo simulation based on the random walk theory to determine the total head at a given point. A computer program is developed for practical use.

The proposed method was evaluated by comparing the results with those obtained by other method, i.e., the conventional flow net, the finite difference method, and the method of fragment.

It is found that all the values are in reasonable agreement and the method is sufficiently accurate for practical use.

## 要 旨

境界條件과 土層構成이 복잡한 confined flow system에서의 全水頭 決定 方法을 random walk 理論을 應用하여 研究하였다. 土性의 不均質性 및 異方性, 그리고 널말뚝의 存在와 傾斜된 不透水層 條件 등을 고려하였다.

特定한 點의 全水頭를 求하기 위하여 몬테 카를로 方法으로 random walk 를 進행시켰다. 全水頭 決定 過程을 프로그램化 하고 計算結果를 條件이 간단한 경우에 대하여 從來의 方法들——즉 流線網, 有限差分法, fragment method——과 比較 檢討하였다.

이러한 研究의 結果 이 方法이 特定한 數個의 點에서의 全水頭 決定에 有用함을 알 수 있었다.

---

\* 正會員·京畿開放大學 助教, 前 慶熙大學校 大學院

\*\* 正會員·朝鮮大學校 土木工學科 助教授

\*\*\* 正會員·慶熙大學校 土木工學科 教授

## 1. 序 論

浸透流을 解析하는 目的은 問題의 性質에 따라 多小 差異가 있으나, 對象領域內의 水頭, 地下水面, 流速의 分布에 따른 流量, 浸透壓 등을 求하는 데 있다. 이러한 解析方法은 對象領域의 形, 境界條件 및 初期條件의 複雜 如否에 따라 理論解法, 圖解法, 實驗解法으로 나눌 수 있다.<sup>1,5)</sup>

理論解法은 매우 簡單한 條件의 問題나 그렇지 않을 경우 近似解法으로 使用되며, 實驗解法은 그 節次가 複雜하고 實物에 關係되는 여러가지 諸條件과의 縮尺 및 相似關係의 究明에 있어서 技術的인 勞力이 必要하다. 한편 圖解法의 경우에는 물 粒子의 實際 흐름 方向 및 運動이 流線網 作圖時 假定으로 因하여 誤差가 發生할 것이다. 그리하여 이러한 流線網 作圖로 부터 얻은 結果에 對해서는 不確實性이 尙상 存在하게 된다.

흙덩어리를 構成하고 있는 흙 粒子를 微視的으로 觀察해 본다면 配列의 形態가 不規則하여 土粒子 사이를 通過하는 물 흐름이 直線의이라고 볼 수가 없다. 實際로 물은 土粒子사이의 空隙을 連結하여 生成되는 經路를 따라 움직이기 때문에 물 粒子는 Random 하게 移動하는 것으로 볼 수 있다.<sup>4,7)</sup> 이러한 理由로 多孔體를 通過하는 浸透流에 관한 解析을 하기 위해서는 Random Walk 에 의한 確率的인 接近方法을 採擇할 수 있다.<sup>7)</sup>

本 研究에서는 地下水의 흐름을 Random Walk 理論을 應用한 Model을 採擇하여 Monte carlo Simulation으로 解析하고 그 結果로부터 印의 點의 水頭를 決定할 수 있는, 한 方法을 提示하였다. 이때 一樣分布 變換方法을 써서 擬似無作爲亂數를 生成시켜 물 粒子의 進行經路를 決定하였다.

研究는 均質이고 等方性인 土層에서 시작되어 非均質 異層 및 異方性 土層에 까지 擴張되었고 不透水層도 任意의 傾斜를 가지고 있는 것으로 假定하였다. 研究結果는 프로그램으로 作成하였다. 이 프로그램은 특히 土層條件이 複雜한 경

우 特定한 數個 地點의 水頭를 算定 혹은 檢討하는데 極히 便利하며 그 正確度는 Simulation 施行回數와 함께 增加할 것으로 생각된다.

## 2. Random Walk 의 基本理論

媒質을 둘러싸고 있는 微小粒子들에 의한 힘 외에는 다른 어떤 種類의 힘도 作用하고 있지 않다고 定義하고 있는, 自由粒子에 대한 連續的인 運動으로부터 Einstein은 다음과 같은 理論을 提示하고 있다. 즉 直線 X軸上에서의 自由粒子의 射出運動을 考慮할 때 時間  $t=0$ 에서 自由粒子의 位置가  $X_0$ 이었다면 時間  $t$ 에서  $X_1$ 과  $X_2$  사이에 存在할 確率은

$$\int_{X_1}^{X_2} P(X_0|X; t) dx \text{로 나타낼 수가 있다.}$$

以上과 같이 自由粒子에 대한 確率의 解析에 있어서 Brownian 運動의 連續的인 接近으로 부터 Smoluchowski에 의하여 最初로 不連續的인 接近이 이루어 졌다. 이러한 不連續的인 接近解析을 Random Walk로서 說明할 수 있다. 즉, 自由粒子가 周期 $\tau$ 를 가지고 X軸을 따라 매 段階마다 左右로  $\Delta$ 씩 움직인다고 하자. 이때 自由粒子가 움직일 確率은 1/2로서 서로 같다고 假定하게 된다. 確率  $P(X_0|X; t)$ 라고 쓰는 대신에 點  $n\Delta$ 에서 出發하여 時間  $s\tau$ 에서  $m\Delta$ 에 머무를 確率은  $P(n\Delta|m\Delta; s\tau) = P(n|m; s)$ 가 된다고 考慮하면, 確率  $P(n|m; s)$ 는 동전 던지기를  $s$ 번한 後의 確率式과 같게 된다. 여기서 동전의 앞면과 뒷면의 出現回數를 各各  $m, n$ 으로 나타내며, 出現回數의 差는  $V = m - n$ 으로 쓸 수가 있다. 그리하여 確率  $P(n|m; s)$ 은 결국 다음과 같은 式(2-1)으로 成立이 된다.

$$P(n|m; s) = \begin{cases} \frac{1}{2^s} \frac{S!}{\left(\frac{S+|V|}{2}\right)! \left(\frac{S-|V|}{2}\right)!} & |V| \leq S, |V| + S: \\ & \text{偶數} \quad \dots(2-1) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

이다.<sup>12)</sup>

本 研究에서는 위에서 論한 不連續的인 接近(discrete approach)을 바탕으로 Random Walk

運動을 전개하였다. 1개의 물 粒子(自由粒子)가 運動할 수 있는 方向을 4곳으로 設定하여 各方向으로 移動할 確率은 1/4로서 同一하다고 본다. 그리하여 段階別 물 粒子의 運動方向을 定하여 주기 위한 要因을 亂數 發生으로 處理하였으며 그리드상에서 各方向으로 運動할 確率은 같으므로 一樣分布에 의한 變換方法을 採擇하였다.

### 3. 2次元 흐름에 관한 堤體의 模型化

Monte Carlo Simulation 에 의한 물 粒子의 運動을 試行하기 위하여 그림 3-1과 같은 模型을 設定하였다.

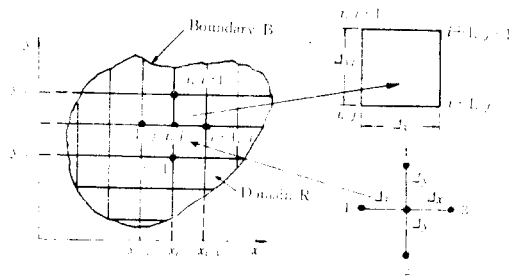


Fig. 3-1. Model grid showing index numbering convention

점 ①(i, j)에서 물 粒子가 移動할 수 있는 方向은 ①, ②, ③, ④로 볼 수 있으며 이때 各方向으로 움직일 수 있는 確率은  $\frac{1}{4}$ 로서 모두 같다. 透水係數 k의 값을 알고 있고, grid의 간격  $\Delta x$  및  $\Delta y$ 를 定하여 주기 위해서는 다음과 같은 式을 도입할 수 있다.

2次元地下水의 흐름을 나타내는 Laplace 方程式은

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad \dots(3-1)$$

이 되며, 그림 3-1에서 임의의 點의 全水頭는  $h(x, y) = h_i (i=0, 1, 2, 3, 4)$ 로 나타낼 수 있다.

有限差分法으로 表示하면 水平方向의 흐름에 대하여

$$\left( \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right) = \frac{h_1 + h_3 - 2h_0}{(\Delta x)^2} \quad \dots(3-2)$$

수직 方向의 흐름에 대해서도

$$\left( \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \right) = \frac{h_2 + h_4 - 2h_0}{(\Delta y)^2} \quad \dots(3-3)$$

으로 쓸 수 있으며, 式(3-2)와 式(3-3)을 式(3-1)에 代入하면

$$k_x \frac{h_1 + h_3 - 2h_0}{(\Delta x)^2} + k_y \frac{h_2 + h_4 - 2h_0}{(\Delta y)^2} = 0 \quad \dots(3-4)$$

여기서  $k_x = k_y = k$  이고  $\Delta x = \Delta y$  이면 式(3-4)은

$$h_1 + h_2 + h_3 + h_4 - 4h_0 = 0$$

혹은,

$$h_0 = \frac{1}{4}(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \quad (3-5)$$

으로 整理된다.

$k_x \neq k_y$  일 경우에는 式(3-5)을 式(3-4)에 代入하여 풀면

$$\frac{k_x}{(\Delta x)^2} \left( h_1 + h_3 - 2 \cdot \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4} \right) +$$

$$\frac{k_y}{(\Delta x)^2} \left( h_2 + h_4 - 2 \cdot \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4} \right) = 0$$

$$\left( \frac{h_1 + h_3 - h_2 - h_4}{2} \right) \left( \frac{k_x}{\Delta x^2} - \frac{k_y}{\Delta y^2} \right) = 0$$

$$\frac{k_x}{\Delta x^2} - \frac{k_y}{\Delta y^2} = 0$$

$$\frac{k_x}{\Delta x^2} = \frac{k_y}{\Delta y^2}$$

$$\Delta x = \Delta y \left( \frac{k_x}{k_y} \right)^{1/2} \quad (3-6a)$$

$$\Delta y = \Delta x \left( \frac{k_y}{k_x} \right)^{1/2} \quad (3-6b)$$

위와 같이 式(3-6 a)와 式(3-6 b)로 整理되어 非均質 및 異方性 土層의 領域內에서의 grid의 간격을 定할 수 있게 되며, 이로써 解析하고자 하는 堤體의 下部地盤狀態를 modeling 했다.<sup>3,7,8)</sup>

### 4. 물 粒子의 方向을 設定하기 위한 亂數의 生成

물 粒子가 各方向으로 運動할 確率은 一定하므로 本 論文에서는 一樣分布變換(Uniform probability transformation)方法을 利用할 수 있는데 이는 어떠한 連續分布에서도 그 累積分布는 區間(0, 1)에 一樣分布(Uniform distribution)한다는 事實을 利用하는 것이다. 0에서 1 사이에 一樣分布하는 確率變數를  $X_i$ 라 하면  $X_i$ 를 生成하는 데는 많은 컴퓨터 프로그램이 開發되

어 있다. 예를 들어 混合式合同法, 中央自乘法, 修正中央自乘法, 乘算式合同法 등이 있으나 그 중에서 乘算式合同法(Congruent method)을 소개하면

$$X_i = AX_{i-1} \pmod{M} \quad (4-1)$$

式(4-1)에서  $M$ 은 2 또는 10의 큰 累乘數,  $A$ 는 0과  $M-1$  사이의 整數,  $X=Y \pmod{M}$ 의 意味는  $Y$ 를  $M$ 으로 나눈 나머지가  $X$ 라는 뜻이다. 初期值  $X_0$ 를 選擇하여  $A$ 를 곱하고 그것을  $M$ 으로 나누면  $X_1$ 을 求할 수 있다. 이러한 方法으로 必要한 回數만큼 反復하여 擬似無作為數  $X_i(0, 1)$ 를 生成시킬 수 있다.<sup>9)</sup> 그러나 本論文에서는 亂數를 發生시키기 위하여 Prime 750 Computer System에 내장되어 있는 Rand 프로그램을 利用하여 Pseudorandom을 生成하였다.<sup>6)</sup> 이때 Pseudorandom이  $RAN=RND(0)$ 에 의하여 (0, 1)사이의 값으로 發生되므로 1, 000을 곱하여 (0, 999)사이의 값이 나오게 만들었으며, 여기서 얻은 亂數를 使用하여, 그림 4-1과 같이 물 粒子의 方向을 設定하였다.

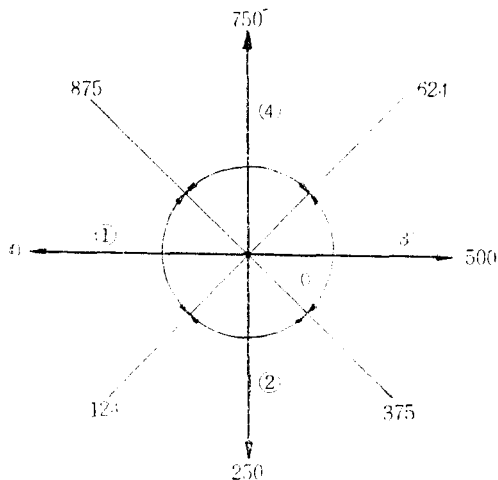


Fig. 4-1. Construction of motional direction of water particles

즉, 亂數가 875~995와 0~124 사이의 값일 때는 그림 4-1의 位置 ①점에서 左側으로 移動하게 되고, 또한 125~374 사이의 값일 때는 位置 ②점에서 下側으로 移動하게 된다. 마찬가지로 375~624 사이의 값일 때는 現在의 位置 ③점에서

右側으로 移動하며, 625~874 사이의 값일 때는 現在의 位置 ④점에서 上側으로 移動하도록 設定하였다.

## 5. 堤體의 境界條件에 대한 處理方法

本論文에서 研究對象으로 삼은 堤體의 模型은 3種類로 區分되며 첫번째 模型은 그림 5-1과 같이 等方性 均質土層 위에 콘크리트댐이 設置된 경우이다.

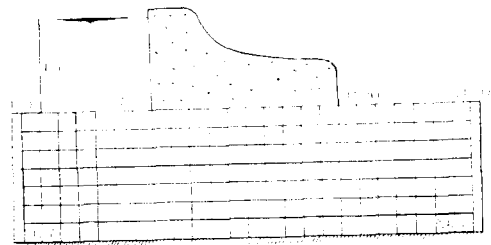


Fig. 5-1. Model I

堤體의 下部 14 m 되는 地點에 不透水層이 水平方向으로 存在하고  $k_x=k_y=16 \times 10^{-4}$  cm/sec이다. 計算上의 便宜를 위하여  $\Delta y=2$  m로 할 때 式(3-6 a)에 의하여  $\Delta x$ 는 2 m가 된다. 이때 堤體의 上流水深 및 下流水深은 10 m와 0으로 주어져 있으며 堤體의 中心點에서 上下流쪽으로 24 m 되는 地點에 反射壁(Reflecting barrier)를 각각 設置하였다. 그리하여 水頭를 求하고자 하는 任意의 地點을 出發한 물 粒子가 Random Walk 運動을 進行하여 點(0, 0), (1, 0), (2, 0), (3, 0), (4, 0), (5, 0), (6, 0), (7, 0), 즉 上流側 흡수벽(Absorbing barrier)에 도달하였을 경우에는 堤體의 上流部로 射出되는 물 粒子의 全體合으로 定義하고 있는  $N_1$  값에 記錄하도록 하였다. 또한, 點(17, 0), (18, 0), (19, 0), (20, 0), (21, 0), (22, 0), (23, 0), (24, 0), 즉, 下流側 흡수벽(Absorbing barrier)에 도달하였을 때에는 堤體의 下流部로 射出되는 물 粒子의 全體合으로 定義되는  $N_2$  값에 記錄되도록 프로그램하였다.

Model I의 境界條件을 처리하기 위한 過程은 다음과 같다.

過程 (1): 물 粒子가 點(0, 0), (0, 1), (0, 2),

(0, 3), (0, 4), (0, 5), (0, 6), (0, 7)에 도달한 다음 左側으로 移動하려는 亂數가 發生하면 물 粒子는 反射하여 反射壁에 대한, 즉,  $\Delta x$  만큼 右側으로 移動하는 것으로 하였다. 그 後는 連續的으로 生成되는 亂數에 따라 粒子가 堤體의 上下流側 흡수벽에 到達할 때까지 Random Walk 를 行하여  $N_1$  과  $N_2$  값을 얻게 된다.

過程 (2) : 물 粒子가 點(23, 0), (23, 1), (23, 2), (23, 3), (23, 4), (23, 5), (23, 6), (23, 7)에 到達한 後 右側으로 運動하려는 亂數가 發生하면 앞에서 說明한 反射의 原理에 따라  $\Delta x$  만큼 左側으로 移動한다. 그 다음부터는 連續的으로 生成되는 亂數에 따라 堤體의 上流 또는 下流의 흡수벽에 도달할 때까지 Random Walk 를 계속하게 된다.

過程 (3) : 點(8, 0), (9, 0), (10, 0), (11, 0), (12, 0), (13, 0), (14, 0), (15, 0), (16, 0)에 물 粒子가 位置하여, 그 다음 단계에 上側으로 運動하게 될 亂數가 發生하게 되면 前者의 點을 對稱點으로 하여  $\Delta y$  만큼 下側으로 移動한 後  $N_1, N_2$  中 하나에 그 값이 기록될 때까지 계속적으로 運動을 進行하게 된다.

過程 (4) : 물 粒子가 點(0, 7), (1, 7), (2, 7), …… (23, 7), (24, 7)에 位置할 때 다음 段階에 아래쪽으로 運動하게 될 亂數가 發生하면 앞에서 언급한 點들을 對稱點으로 하여 上側으로  $\Delta y$  만큼 移動한 後 Random Walk 運動을 進行하게 된다. 위에서 說明하고 있는 모든 과정을 만족하여  $N_1$  과  $N_2$  에 관한 값을 最終的으로 얻는다.  $N_1$  과  $N_2$  값으로 全水頭를 求하는 式은  $N$  을 加重值로 본 平均值를 求하는 것으로

$$H_i = \frac{N_1 H_1 + N_2 H_2}{N_1 + N_2} \quad (5-1)$$

이 된다.<sup>7)</sup> 여기서  $H_1$  은 堤體의 上流水深이며,  $H_2$  는 下流水深이다.

式(5-1)을 使用하여 Model I 에서의 正中央部分의 各 地點에 對하여 水頭를 求한 結果, 理論值 5m 와 거의 一致하였다.

Model II 및 Model III 에 對해서는 理論解를 求하기가 簡単하지 않아서 檢證은 不可能하지만 Model I 에서의 結果가 流線網 등의 方法으로 얻은 水頭와는 잘 一致하므로 Random Walk 理

論을 바탕으로 한 Monte Carlo Simulation 에 의한 全水頭 解析方法 適用이 타당한 것으로 생각된다.

두번째 模型은 그림 5-2에 提示되어 있는 바와 같이 堤體의 下部 0~8m 까지는 透水係數가  $k_x = 16 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ ,  $k_y = 4 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ , 8m ~ 14m 사이에는  $k_x = k_y = 1 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$  인 均質 및 非均質한 異方性 上層이며, 下部 14m 되는 地點에 不透水層이 存在하는 경우이다.

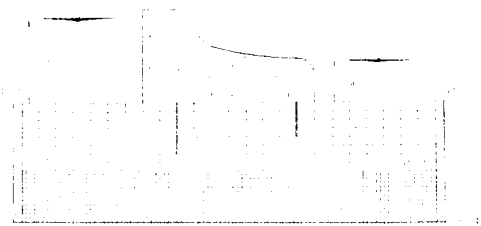


Fig. 5-2. Model II

過程 (1) : 물 粒子가 全水頭를 구하고자 하는 임의의 地點을 出發하여 上流 또는 下流部의 흡수벽(Absorbing barrier) : 點(0, 0), (2, 0), (4, 0), (6, 0), (8, 0), (10, 0), (12, 0), (14, 0) 및 (34, 0), (36, 0), (38, 0), (40, 0), (42, 0), (44, 0), (46, 0), (48, 0)에 到達하였을 경우 Random Walk 운동은 중지하며  $N_1$  과  $N_2$  를 各各記錄하게 된다.

過程 (2) : 임의의 地點을 出發한 粒子가 堤體의 兩側에 設置된 假想反射壁(Imaginary Reflecting Barriers) 및 實際 反射壁들 즉, 不透水層(Impervious boundary), 널말뚝(Sheet Pile)의 左, 右側面 및 堤體의 下部面에 오게되면 Model I 의 各 過程에서 보여준 것과 같이 앞에서 언

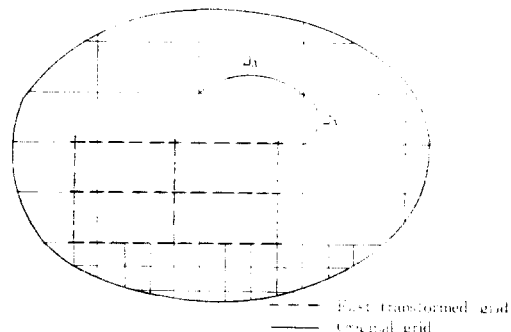


Fig. 5-3. Transformation process of grid in Model II

급한 경계면에 존재하는 그리드의 점들을 中心으로 하여  $\Delta x$  나  $\Delta y$  만큼 反射된 點으로부터 Random Walk 가 계속적으로 進行이 된다.

過程 (3) : 그림 5-3의 경우는 非均質 異方性 土層에서 透水係數의  $k$  값이 작은 下部土層에서  $k$ 의 값이 큰 上部土層으로 물 粒子가 移動하였을 때의 재구성된 그리드의 모양을 점선으로 나타내고 있으며, 上部土層에서 下部土層으로 또는 下部土層에서 上部土層으로 通過한 뒤의  $\Delta x$  와  $\Delta y$  의 規格은 上下部層에서의 透水係數값의 比에 따라 擴大되거나 축소되어 本來의 그리드가 무시되어진 狀態에서 새로운 그리드가 構成되며, 새로운 그리드를 따라 물 粒子의 運動이 連續적으로 이어지게 된다.

過程 (4) : 그림 5-3에서와 같이 새로이 再構成된 그리드에서 Random 하게 運動하던 물 粒子가 그림 5-4와 그림 5-5에서 보여주는 바와 같이 그리드의 點 ①에 位置한다고 하자. 이때 粒子의 運動方向을 提示하여 주는 亂數가 그림

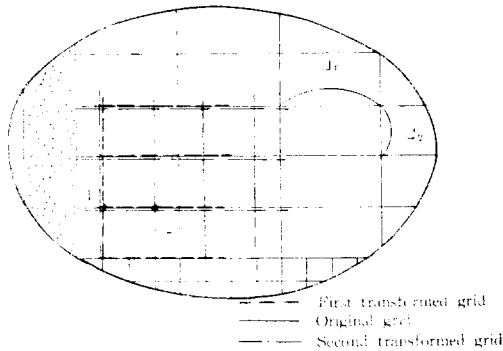


Fig. 5-4. Transformation process of grid when particles reaches to the left reflecting barrier

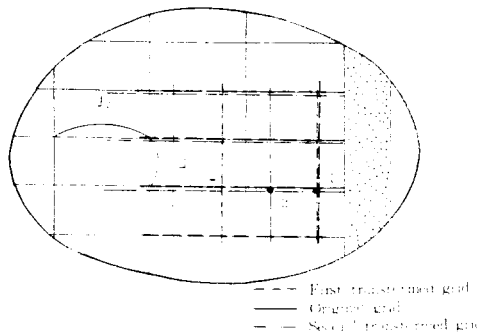


Fig. 5-5. Transformation process of grid when particles reaches to the right reflecting barrier

5-4에서는 右側으로 移動하도록 發生되었다면 水平方向으로의  $\Delta x$  의 方向은 變하게 되어 물 粒子는 點 ②에 오게되는데, 여기서 물 粒子가 點 ①에서 反射壁에 反射되어 다시 點 ②까지 移動한 距離는  $\Delta x$  가 된다.

過程 (5) : 本 研究에서는 堤體의 下部 돌출 構造物로서 2개의 널말뚝(sheet pile)을 考慮하였다. 물 粒子가 再構成이 이루어진 그리드 위를 Random 하게 移動을 進行하여 그림 5-6과 그림 5-7에서처럼 널말뚝의 左側 또는 右側에 있는 點 ①에 位置하였을 때 다음 段階의 亂數가 널말뚝이 存在하는 方向으로 進行하도록 發生한다면, 물 粒子는 널말뚝에서 反射되어 點 ②에 位置하게 되며 點 ①에서 ②點까지 移動한 距離는  $\Delta x$  가 된다.

세번째 모형은 그림 5-8에서와 같이 異方性 土層이 異層을 이루고 있으며 下部에 傾斜진 岩盤이 存在하는 경우이다. 例題는 I層에서의 透水係數  $k_x=16 \times 10^{-4}$ cm/sec,  $k_y=4 \times 10^{-5}$ cm/sec

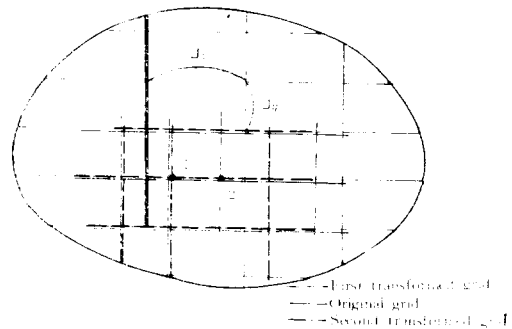


Fig. 5-6. Transformation process of grid when particles reaches to the left of a sheet pile

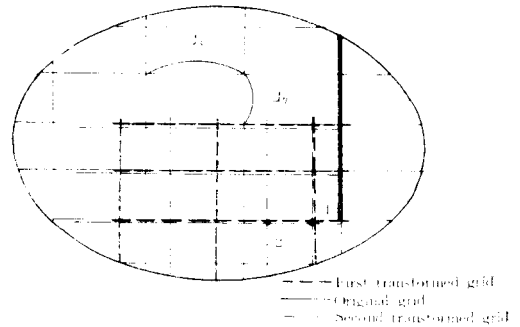


Fig. 5-7. Transformation process of grid when particles reaches to the right of a sheet pile.

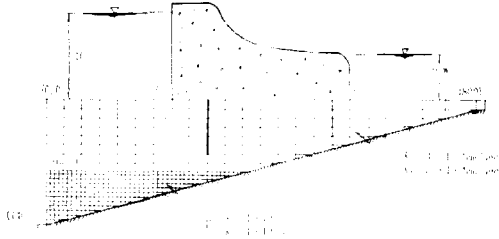


Fig. 5-8. Model III

이고, II層에서의 透水係數는  $k_x = k_y = 1 \times 10^{-5}$  cm/sec 이며 不透水層이  $15^\circ$ 로 傾斜져 있는 것으로 되어 있다.

過程 (1): 그림 5-9는 물 粒子가 點 ①에서 不透水層에 對하여 下向으로 運動할 때를 보여주고 있으며 이때 물 粒子는 法線을 基準으로 하여 入射角과 反射角이 같게 反射되어 點 ②로 移動한다. 點 ①에서 새로운 位置 ②까지 움직인 距離는  $\Delta y$ 가 된다.

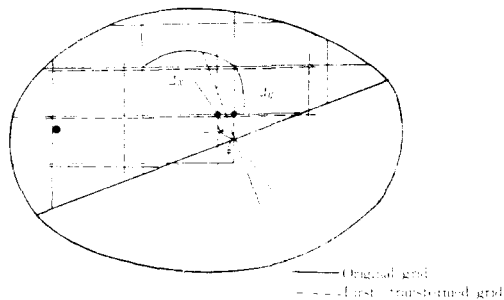


Fig. 5-9. Transformation process of grid when particles reaches to the sloped reflecting barrier

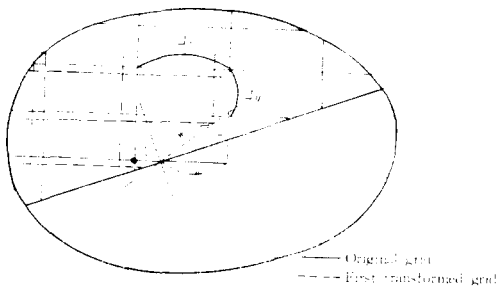


Fig. 5-10. Transformation process of grid when particles reaches to the sloped reflecting barrier

過程 (2): 그림 5-10은 물 粒子가 點 ①에서 不透水層에 對하여 水平右向으로 움직일 경우를 나타내고 있으며 이때 點 ①에서 出發하여 不透水層에서 反射한 다음 새로운 점 ②에 이르는 距離는  $\Delta x$ 가 된다.

過程 (1) 및 過程 (2)에서 보여주고 있는 것처럼 傾斜져 있는 不透水層에서 反射되어 새로운 位置 ②에 存在하는 물 粒子는 점 ②를 中心으로 하여 再構成되는 그리드를 따라 Random Walk 運動을 계속하게 된다. 또한 傾斜地盤 이외의 境界面에서 물 粒子의 運動過程은 Model I 과 Model II에서 說明한 바와 同一하다.

모든 境界 조건에 대한 물 粒子의 運動을 考慮하여 더 精確한 解를 얻기 위해서는 Monte Carlo Simulation의 實際 實行回數가 많으면 많을 수록 좋다고 본다.<sup>2)</sup> 本 研究에서는 보다 正確한 結果를 얻고자 最大 5,000회를 施行하였다.

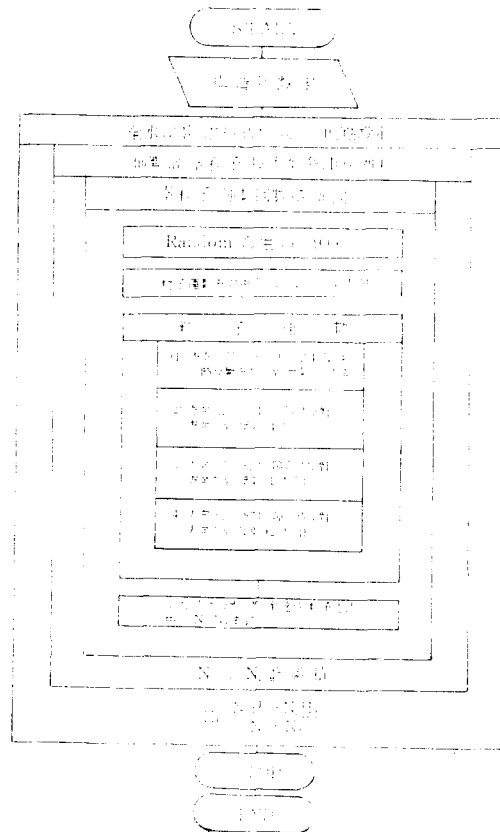


Fig. 5-11. Flow chart

以上에서 說明한 堤體의 電算處理에 대한 Flow chart 는 그림 5-11과 같다.

## 6. Monte Carlo Simulation 에 의한 全水頭 算出에 있어서의 一般的인 考慮事項

Computer 는 prime 750 System 을 使用하였으며 Program 상의 몇가지 考慮事項은 다음과 같다.

1) 堤體는 다음과 같은 條件을 가진 3가지 形態의 Model 를 使用하였다.

첫째, 均質하며 等方性土層인 경우

둘째, 2個의 널말뚝(sheet pile)이 있고 均質 및 非均質한 異方性土層인 경우

셋째, 둘째의 條件에 不透水層 地盤이 15°의 角度로 傾斜져 있는 경우

2) 土層에 있어서 그리드 構成時 計算의 便利를 도모하기 위하여  $\Delta x=2\text{m}$ 로 준 다음  $k_x$ 와  $k_y$ 의 比로서 그리드의 間隔을 定하였다.

3) 堤體의 前後方 14m 되는 地點에 便宜上 反射壁(Reflecting Barrier)를 設置하여 물 粒子가 無限히 左右로 進行하는 것을 防止하였다.

4) 水頭를 求하고자 하는 地點에서 1,000個의 물 粒子를 出發시켰다.

5) 上流 및 下流에 到達하는 粒子의 數를  $N_1$ 과  $N_2$ 로 記錄하였으며 이를 얻기 爲하여 Monte Carlo Simulation 에 의한 解析方法을 採擇하였다.

## 7. 結 論

以上の 研究에서 얻은 主要한 事實을 列擧하면 다음과 같다.

(1) 댐 아래 土層內에 일어나는 2次元 Confined flow 에서 任意的 點의 水頭를 算定하는 方法을 確率理論을 써서 提示하였다. Random Walk 理論을 適用하는 모델에 對하여 Monte Carlo Simulation 으로 全水頭를 求하는 Program 을 關發하였다.

(2) 本 研究에서 關發한 프로그램은 特定한 數個點의 全水頭를 正確히 求하는데 便利하다.

(3) 특히 非均質 異方性 土層, 傾斜진 境界面, 不規則한 構造物의 形狀等 複雜한 問題일 수록 流線網等 慣用의 方法보다 훨씬 簡便하게 水頭를 算定할 수 있다.

(4) 計算結果를 有限差分法, Fragment method, 流線網 解法 等の 結果와 比較하여 正確性이 있음을 確認하였다.

## 參 考 文 獻

1. 金在弘, 運動量種式과 連續方程式을 利用한 堤體 浸透의 基本式에 관한 研究考察, 大韓土木學會誌, 第31卷, 第2號, 1983年 4月, pp. 40~41.
2. Kuo, S., Computer Applications of Numerical Method, Addison Wesley Publishing Co., Inc., pp. 372~374.
3. Bear, J., Hydraulics of Groundwater, McGraw-Hill Inc., 1979, pp. 129~130.
4. Lambe, T. W., and Whitman, R. V., Soil Mechanics. SI Version, John Wiley & Sons, 1979, pp. 251~279.
5. Wang, H.F. and Anderson, M.P., Introduction to Groundwater Modeling(Finite Different and Finite Element Methods), W.H., Freeman and Company, 1982, pp. 1~3.
6. Prime Computer, Primos Subrutines Reference Guide PDR 3621, 1980, pp. 7~5.
7. Harr, M.E., Mechanics of particulate Media (A probabilistic Approach), McGraw-Hill Inc., 1977, pp. 104~138, pp. 142~146, pp. 506~508.
8. Das, B.M., Advanced Soil Mechanics, McGraw-Hill Inc., 1983, pp. 122~123.
9. 金泳壽外 2人, 斜面的 三次元 破壞確率에 관한 研究, 大韓土木學會誌, 第3卷, 第3號, 1983年 9月, pp. 95~106.
10. Scheidegger, A.E., The Random Walk Model with Auto Correlation of Flow Through Porous Media, Can. J. Phys. Vol. 36, 1958, pp. 644~658.
11. Fletcher, E.H., Random Walk Model of Ideal Granular Mass, SM, ASCE Vol. 10, October, 1971, pp. 1379~1393.
12. Wu, T.W., Vyas, S.K., and Chang, N.Y., Probabilistic Analysis of seepage, SM, ASCE, Vol. 4, April 1973, pp. 323~340.
13. Kac, M., Random Walk and the theory of Brownian Motion, American Mathematics, Monthly, Vol. 54, 1947, pp. 368~391.