

### บทที่ 3

#### ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของการไหลของน้ำบาดาลจำเป็นต้องนำทฤษฎีการไหลของน้ำใต้ดิน และวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Method) เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหา เนื่องจากวิธีแก้ปัญหามาทาง Numerical Method สามารถประยุกต์เข้ากับปัญหาที่สลับซับซ้อนได้ง่าย โดยในการศึกษาเกี่ยวกับการจำลองสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชรนี้ได้นำการแก้ปัญหาแบบ Finite Difference เข้ามาประยุกต์ใช้ในการคำนวณกับทฤษฎีต่างๆ ดังนี้

#### 3.1 สมการการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow Equation)

การไหลของน้ำใต้ดินในลักษณะสามมิติ ที่มีความหนาแน่นคงที่ตลอด ทั้งตัวกลางวัสดุพูนสามารถแสดงด้วยสมการ partial - differential ได้ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3-1)$$

โดยที่  $K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$  เป็นค่า Hydraulic Conductivity ตามแกน X, Y, Z ตามลำดับ

$h$  เป็นค่า ความสูงระดับน้ำใต้ดิน (Potentiometric Head) (L)

$W$  เป็นค่า Volume Metric Flux ต่อหน่วยปริมาตรทั้งจุดให้น้ำและสูบน้ำ ( $T^{-1}$ )

$S_s$  เป็นค่า สัมประสิทธิ์การเก็บกักของวัสดุพูน (Specific Storage)

$t$  เป็นค่า เวลา (T)

ในวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite difference method) ใช้กริดสี่เหลี่ยมในการแบ่งพื้นที่ที่ต้องการศึกษา โดยแบ่งเป็นแถว (rows) หลัก (columns) และ ชั้น (layers) จัดรูปเป็นเซลล์ลูกบาศก์ คุณสมบัติของเซลล์จะสมมติว่าเป็นเนื้อเดียวกันหมด

ความกว้างของเซลล์ตลอดทั้งแถวถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $\Delta r_j$  สำหรับ  $j^{\text{th}}$  column ความกว้างของเซลล์ตลอดทั้งหลักถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $\Delta c_i$  สำหรับ  $i^{\text{th}}$  row และความหนาของชั้นดินในแนวตั้ง ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ  $\Delta v_k$  สำหรับ  $k^{\text{th}}$  layers รูปที่ 3-1

ลักษณะรูปร่างของเซลล์แต่ละเซลล์จะประกอบขึ้นด้วยความสัมพันธ์ของตำแหน่งโหนดในแต่ละโหนด โดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบ block-centered และ แบบ point-centered โดยทั้งสองแบบมีการแบ่งชั้นหินอุ้มน้ำ ด้วยเส้นคู่ขนานสองชุดที่ตั้งฉากกัน

แบบ block-centered บล็อกจะถูกกำหนดจากเขตของเส้นกริดขึ้นเป็นเซลล์โหนด จะอยู่ที่จุดศูนย์กลางของเซลล์ รูปที่ 3-2

แบบ point-centered โหนด จะอยู่ที่จุดตัดกันของเส้นกริด ในแต่ละเซลล์จะถูกสร้างขึ้นรอบๆ โหนด ด้วยหน้าตัดครึ่งหนึ่งของโหนด ในการจำลองสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษานี้จะใช้การกำหนดของชั้นหินอุ้มน้ำ ด้วยวิธี block - centered

### 3.2 สมการการไหลต่อเนื่อง (Continuity Equation)

การประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาโดยวิธี Finite Difference กับสมการการไหลต่อเนื่อง เป็นการรวมการไหลเข้าและไหลออก ต้องเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความจุเก็บกัก ภายใต้สมมติฐานความหนาแน่นของน้ำใต้ดินคงที่ สมการไหลต่อเนื่องแสดงสมดุลของการไหลของน้ำใต้ดินได้ดังนี้

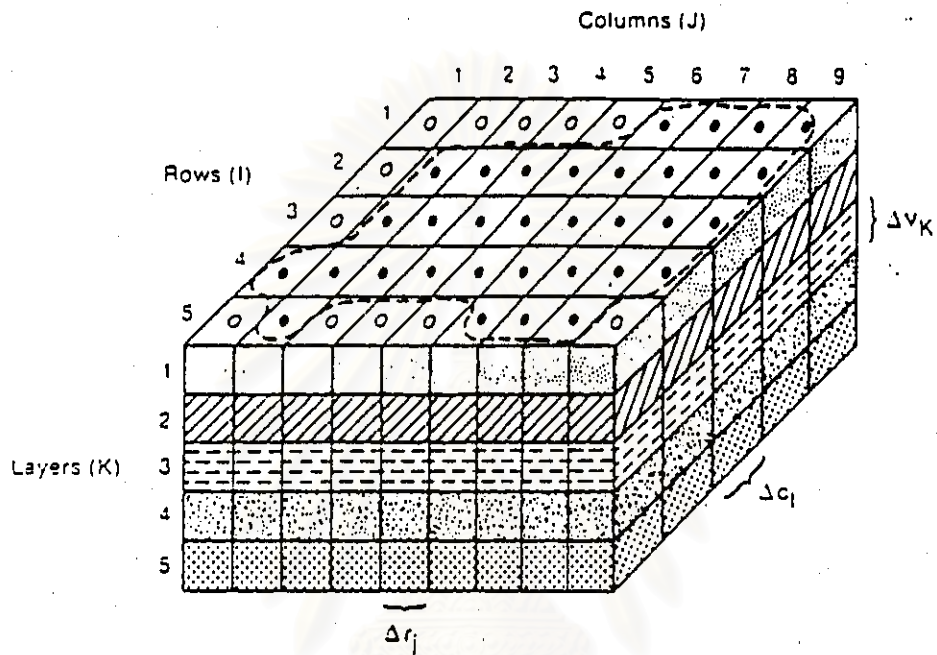
$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V \quad (3-2)$$

โดยที่

$Q_i$  = อัตราการไหลเข้าเซลล์ ( $L^3 t^{-1}$ )

$S_s$  = สัมประสิทธิ์การเก็บกัก ( $L^{-1}$ )

$\Delta V$  = ปริมาตรของเซลล์ ( $L^3$ ) ที่พิจารณาเท่ากับ  $\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k$  ของเซลล์  $i, j, k$



Explanation

----- Aquifer Boundary

• Active Cell

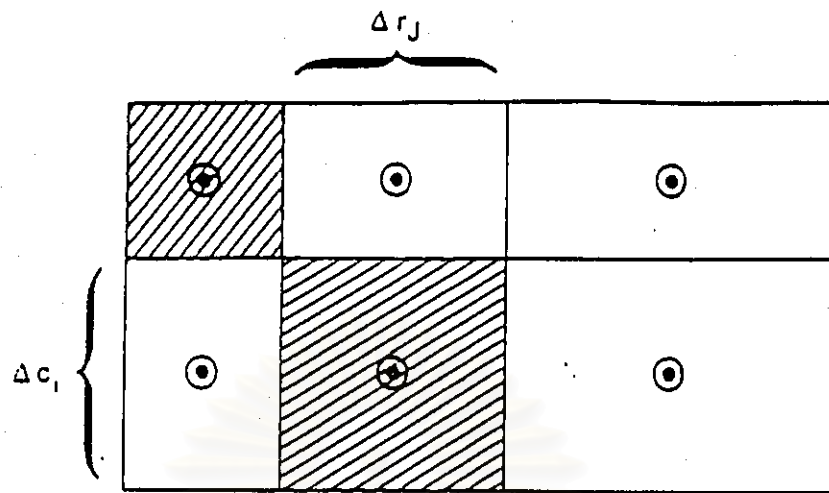
○ Inactive Cell

$\Delta r_j$  Dimension of Cell Along the Row Direction. Subscript (J) Indicates the Number of the Column

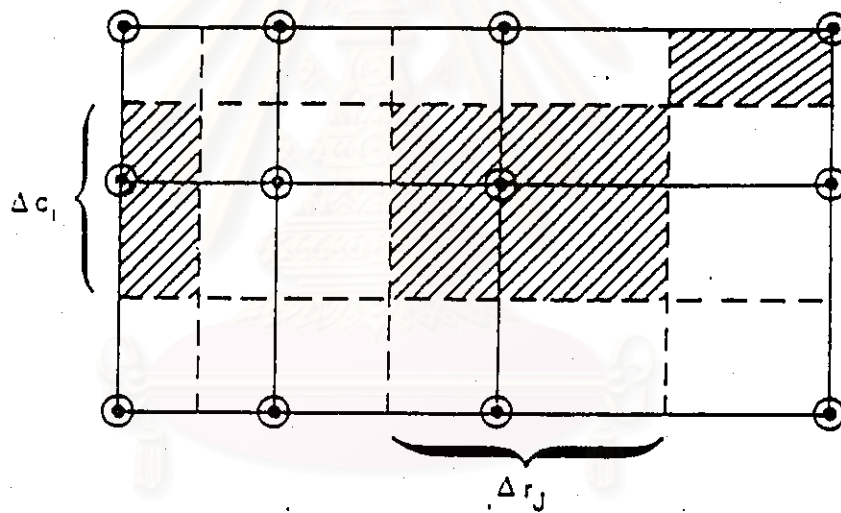
$\Delta c_l$  Dimension of Cell Along the Column Direction. Subscript (l) Indicates the Number of the Row

$\Delta v_k$  Dimension of the Cell Along the Vertical Direction. Subscript (K) Indicates the Number of the Layer

รูปที่ 3-1 การกำหนดขอบเขตของ Aquifer อยู่ในรูปของ Row, Column, Layers







Block-Centered Grid System



Point-Centered Grid System

Explanation

-  Nodes
-  Grid Lines
-  Cell Boundaries for Point Centered Formulation
-  Cells Associated With Selected Nodes

รูปที่ 3-2 การกำหนดรูปแบบของเซลล์ Block-Centered Grid System และ Point-Centered Grid System

$\Delta h$  = การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของระดับน้ำใต้ดินในแต่ละเซลล์ในเวลา  $\Delta t$

รูปที่ 3-3 แสดงถึงเซลล์  $i,j,k$  และเซลล์ข้างน้ำที่ติดกัน 6 ด้าน คือ  $i-1, j, k$ ,  $i+1, j, k$ ,  $i,j-1, k$ ,  $i,j+1, k$ ,  $i, j, k-1$  และ  $i, j, k+1$  การไหลเข้าไปในเซลล์  $i, j, k$  ในแนวแกน X จากเซลล์  $i, j-1, k$  (รูปที่ 3-4) สอดคล้องกับ Darcy's law คือ

$$q_{i,j-1/2,k} = KR_{i,j-1/2,k} \Delta c_i \Delta v_k \frac{(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j-1/2}} \quad (3-3)$$

โดยที่

$q_{i,j-1/2,k}$  เป็นอัตราการไหลของของไหลผ่านไปยังผิวหน้าระหว่างเซลล์  $i,j,k$  และ  $i,j-1,k$  ( $L^3t^{-1}$ )

$KR_{i,j-1/2,k}$  เป็น hydraulic conductivity ตลอดทั้งแถวระหว่างโหนด  $i,j,k$  และ  $i,j-1,k$  ( $Lt^{-1}$ )

$\Delta r_{j-1/2}$  เป็นระยะทางระหว่าง โหนด  $i,j,k$  และ  $i,j-1,k$  (L)

$\Delta c_i \Delta v_k$  พื้นที่หน้าตัดในทิศทางของแถว ( $L^2$ )

$h_{i,j-1,k}$  ค่าระดับน้ำที่โหนด  $i, j-1, k$  (L)

$h_{i,j,k}$  ค่าระดับน้ำที่โหนด  $i, j, k$  (L)

การไหลของเซลล์ผ่านผิวหน้าของเซลล์ที่เหลือทั้ง 5 ด้านแสดงได้ในสมการลักษณะเช่นเดียวกัน คือ

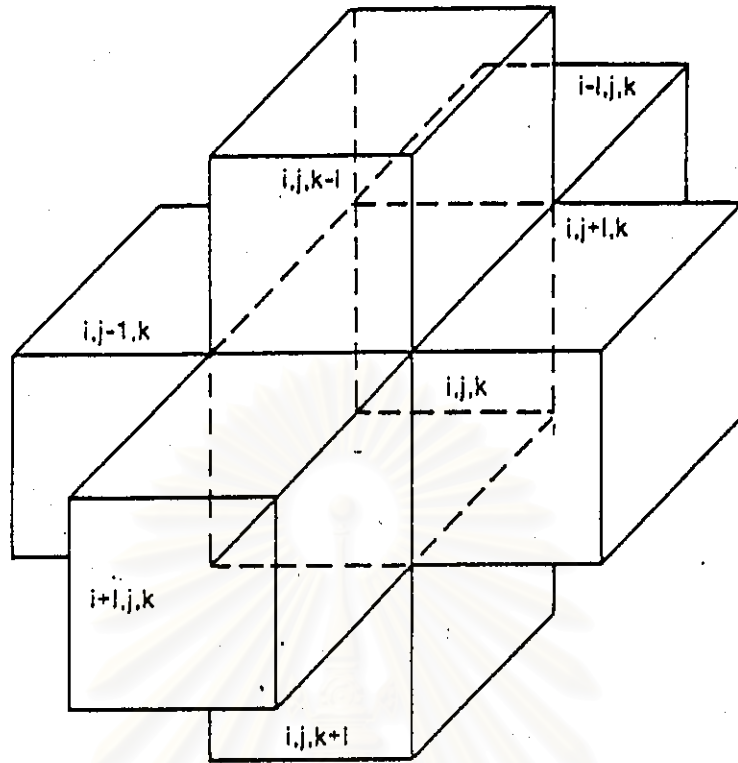
$$q_{i,j+1/2,k} = KR_{i,j+1/2,k} \Delta c_i \Delta v_k \frac{(h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j+1/2}} \quad (3-4)$$

$$q_{i+1/2,j,k} = KC_{i+1/2,j,k} \Delta r_j \Delta v_k \frac{(h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k})}{\Delta c_{i+1/2}} \quad (3-5)$$

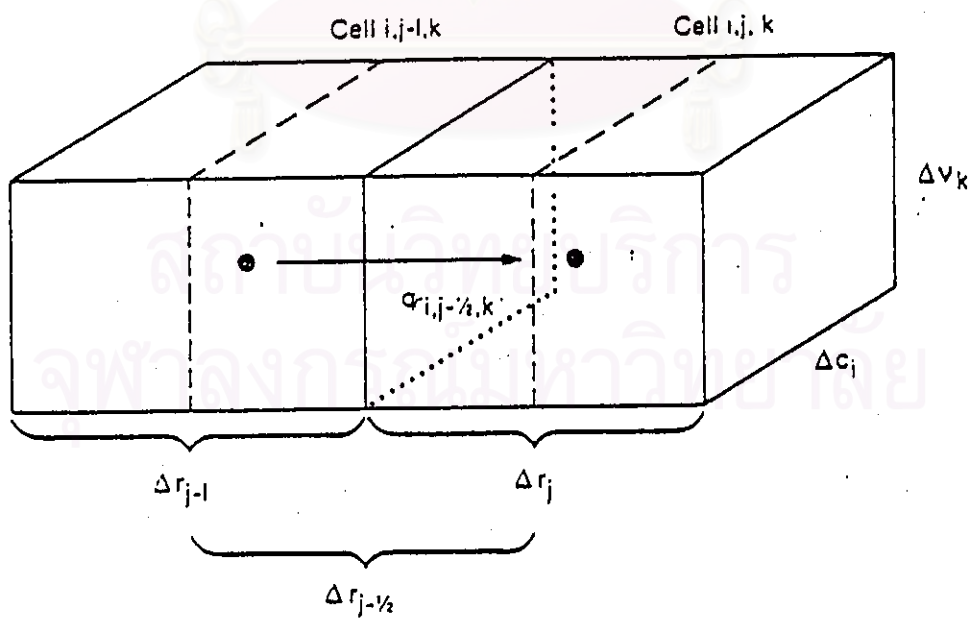
$$q_{i-1/2,j,k} = KC_{i-1/2,j,k} \Delta r_j \Delta v_k \frac{(h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k})}{\Delta c_{i-1/2}} \quad (3-6)$$

$$q_{i,j,k+1/2} = KV_{i,j,k+1/2} \Delta r_j \Delta c_i \frac{(h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k})}{\Delta v_{k+1/2}} \quad (3-7)$$

$$q_{i,j,k-1/2} = KV_{i,j,k-1/2} \Delta r_j \Delta c_i \frac{(h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k})}{\Delta v_{k-1/2}} \quad (3-8)$$



รูปที่ 3-3 ลักษณะของเซลล์ต่างๆ ที่อยู่รอบด้านทั้ง 6



รูปที่ 3-4 การไหลจากเซลล์  $i, j, k$  ไปเซลล์  $i, j-1, k$

ในสมการที่ 3-3 ถึง 3-8 แสดงการไหลผ่านผิวหน้าของเซลล์  $i,j,k$  ในเทอมของ head , grid dimension และ hydraulic conductivity เนื่องจาก grid dimension และ hydraulic conductivity เป็นค่าคงที่ในสมการ สามารถเขียนในรูปใหม่ที่เรียกว่า hydraulic conductance หรือ conductance ได้

$$CR_{i,j-1/2,k} = KR_{i,j-1/2,k} \Delta c_i \Delta v_k / \Delta r_{j-1/2} \quad (3-9)$$

โดยที่

$CR_{i,j-1/2,k}$  เป็น conductance ใน แถว  $i$  และ ชั้น  $k$  ระหว่าง โหนด  $i,j-1,k$  และ  $i,j,k$  ( $L^2t^{-1}$ ) conductance เป็นผลคูณระหว่าง hydraulic conductivity และ พื้นที่หน้าตัดของการไหลหาร ด้วยระยะทางของ flow path ในกรณีนี้เป็นระยะทางระหว่างโหนด

นำค่าในสมการที่ 3-9 แทนในสมการที่ 3-3 ถึง 3-8 จะได้

$$q_{i,j-1/2,k} = CR_{i,j-1/2,k} (h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) \quad (3-10)$$

$$q_{i,j+1/2,k} = CR_{i,j+1/2,k} (h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) \quad (3-11)$$

$$q_{i-1,j,k} = CC_{i-1/2,j,k} (h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) \quad (3-12)$$

$$q_{i+1,j,k} = CC_{i+1/2,j,k} (h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) \quad (3-13)$$

$$q_{i,j,k-1/2} = CV_{i,j,k-1/2} (h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}) \quad (3-14)$$

$$q_{i,j,k+1/2} = CV_{i,j,k+1/2} (h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) \quad (3-15)$$

การไหลของน้ำเข้าไปในเซลล์จากภายนอกชั้นน้ำ เช่น การไหลซึมจากใต้ทางน้ำไหล (streambeds) การระบายน้ำ พื้นที่เติมน้ำ การระเหย และบ่อบาดาลต่างๆ การไหลเหล่านี้อาจจะขึ้นอยู่ head ในเซลล์รับน้ำ แต่เป็นอิสระกับระดับน้ำอื่นๆ ในชั้นน้ำ หรือการไหลเหล่านั้นอาจจะ เป็นอิสระกับระดับน้ำ ในเซลล์ที่รับน้ำทั้งหมด การไหลจากภายนอกชั้นน้ำอาจแทนด้วยสมการ

$$a_{i,j,k,n} = p_{i,j,k,n} h_{i,j,k} + q_{i,j,k,n} \quad (3-16)$$

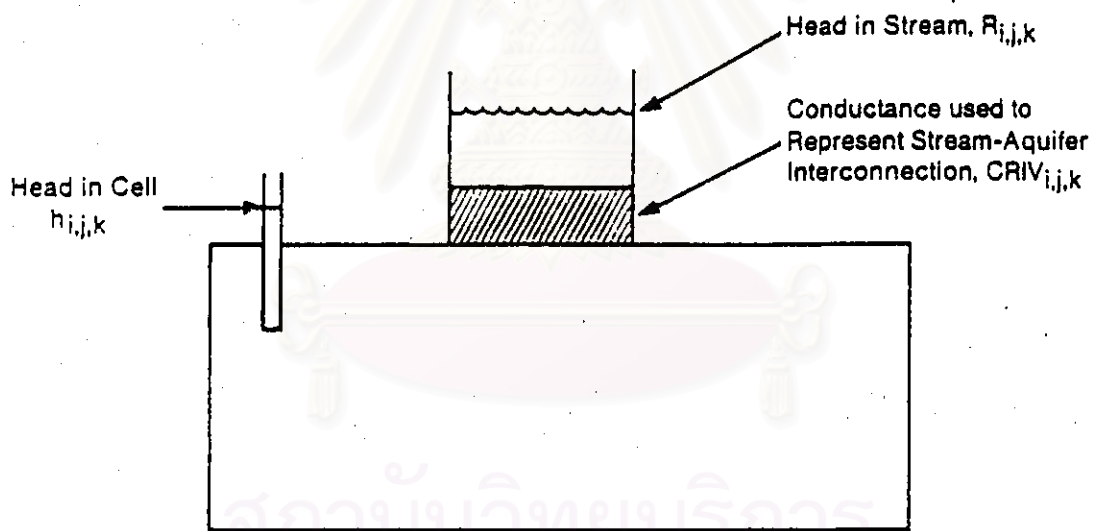
โดยที่

$a_{i,j,k,n}$  แทนด้วยการไหลจากแหล่งน้ำภายนอกที่  $n^{\text{th}}$  เข้าไปภายในเซลล์  $i,j,k$  ( $L^3t^{-1}$ ) และ  $p_{i,j,k,n}$  และ  $q_{i,j,k,n}$  เป็นค่าคงที่ ( $L^2t^{-1}$  และ  $L^3t^{-1}$ )

ตัวอย่างเช่น สมมุติว่าเซลล์รับการไหลจากแหล่งน้ำสองแหล่ง คือ การเติมน้ำจากบ่อน้ำบาดาล และการซึมจากกันท้องน้ำ สำหรับแหล่งน้ำที่ 1 ( $n=1$ ) เนื่องจากการไหลจากบ่อน้ำบาดาลเป็นการสมมุติให้เป็นอิสระกับ head  $p_{i,j,k,1}$  เป็นศูนย์ และ  $q_{i,j,k,1}$  เป็นอัตราการเติมน้ำสำหรับบ่อน้ำบาดาล ในกรณีนี้

$$a_{i,j,k,1} = q_{i,j,k,1} \quad (3-17)$$

สำหรับแหล่งน้ำที่ 2 การซึมเป็นผลต่างระหว่าง ระดับน้ำของแม่น้ำกับ head ในเซลล์  $i,j,k$  (รูปที่ 3-5) ดังนี้



รูปที่ 3-5 การกำหนดรูปแบบของการรั่วซึมจากท้องลำน้ำไปสู่เซลล์แต่ละเซลล์



$$a_{i,j,k,2} = CRIV_{i,j,k,2}(R_{i,j,k} - h_{i,j,k}) \quad (3-18)$$

โดยที่

$CRIV_{i,j,k,2}$  เป็น conductance ของกันห้องน้ำ (รูปที่ 3-5) ในเซลล์  $i,j,k$  ( $L^2t^{-1}$ )  
 $R_{i,j,k}$  เป็น head ในแม่น้ำ (L)

สมการที่ 3-18 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$a_{i,j,k,2} = -CRIV_{i,j,k,2}h_{i,j,k} + CRIV_{i,j,k,2}R_{i,j,k} \quad (3-19)$$

จากสมการ conductance  $CRIV_{i,j,k,2}$  สอดคล้องกับ  $p_{i,j,k,2}$  และเทอมของ  $CRIV_{i,j,k,2}R_{i,j,k}$  สอดคล้องกับ  $q_{i,j,k,2}$  ในลักษณะเดียวกันนี้ แหล่งน้ำภายนอกและสภาวะอื่นๆ สามารถแทนที่โดยการแสดงรูปของสมการที่ 3-16 โดยทั่วไป ถ้ามีแหล่งน้ำภายนอก  $N$  หรือสภาวะที่มีผลกระทบต่อเซลล์เดียว (single cell) รวมสมการการไหลได้ดังนี้

$$QS_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N a_{i,j,k,n} = \sum_{n=1}^N p_{i,j,k,n}h_{i,j,k} + \sum_{n=1}^N q_{i,j,k,n} \quad (3-20)$$

กำหนดให้  $P_{i,j,k}$  และ  $Q_{i,j,k}$  เป็น

$$P_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N p_{i,j,k,n}$$

$$Q_{i,j,k} = \sum_{n=1}^N q_{i,j,k,n}$$

ดังนั้นเทอมการไหลทั่วไปของเซลล์  $i,j,k$  คือ

$$QS_{i,j,k} = P_{i,j,k}h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} \quad (3-21)$$

จากการรวมสมการต่อเนื่องสมการที่ 3-2 ประกอบกับอัตราการไหลระหว่างโหนด  $i,j,k$  กับโหนด ที่ติดกัน 6 โหนด และอัตราการไหลภายนอก QS แสดงได้ดังนี้

$$q_{i,j-1/2,k} + q_{i,j+1/2,k} + q_{i-1/2,j,k} + q_{i+1/2,j,k} + q_{i,j,k-1/2} + q_{i,j,k+1/2} + QS_{i,j,k} = Ss_{i,j,k} \frac{\Delta h_{i,j,k}}{\Delta t} \Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k \quad (3-22)$$

โดยที่

$\Delta h_{i,j,k}/\Delta t$  เป็นการประมาณค่า finite-difference ของ head ที่เปลี่ยนไปต่อเวลาที่เปลี่ยนไป ( $Lt^{-1}$ )

$Ss_{i,j,k}$  เป็น specific storage ของเซลล์  $i,j,k$  ( $L^{-1}$ )

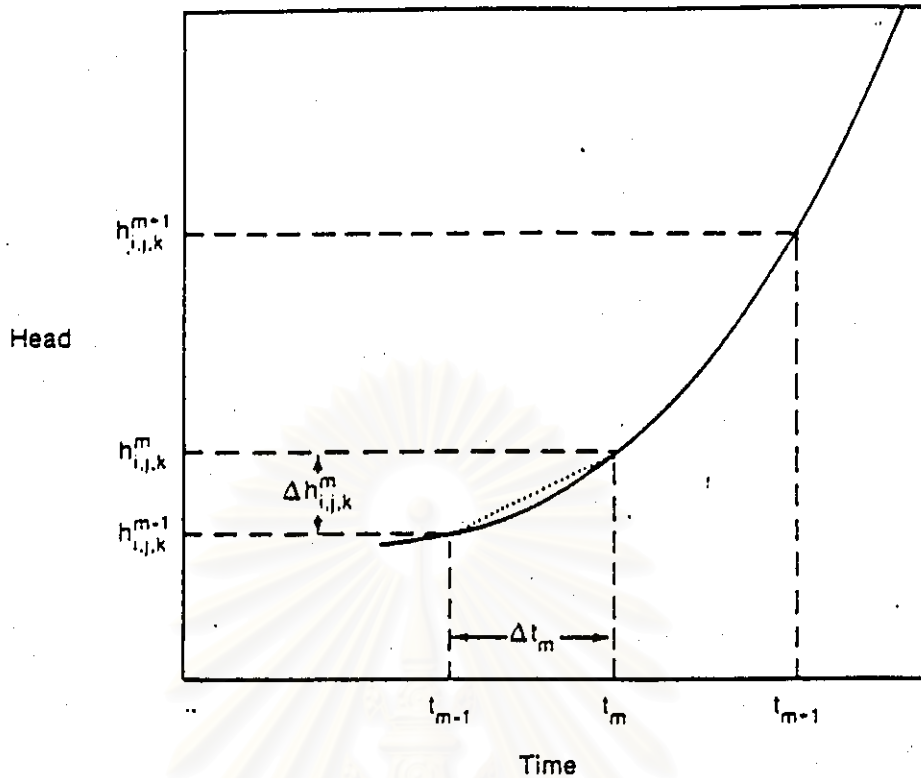
$\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k$  เป็นปริมาตรของเซลล์  $i,j,k$  ( $L^3$ )

แทนที่สมการที่ 3-10 ถึง 3-15 และ 3-21 ในสมการที่ 3-22 จะได้สมการการประมาณ finite-difference สำหรับเซลล์  $i,j,k$

$$\begin{aligned} & CR_{i,j-1/2,k} (h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}) + CR_{i,j+1/2,k} (h_{i,j+1,k} - h_{i,j,k}) \\ & + CC_{i-1/2,j,k} (h_{i-1,j,k} - h_{i,j,k}) + CC_{i+1/2,j,k} (h_{i+1,j,k} - h_{i,j,k}) \\ & + CV_{i,j,k-1/2} (h_{i,j,k-1} - h_{i,j,k}) + CV_{i,j,k+1/2} (h_{i,j,k+1} - h_{i,j,k}) \\ & + P_{i,j,k} h_{i,j,k} + Q_{i,j,k} = Ss_{i,j,k} (\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) \Delta h_{i,j,k} / \Delta t \end{aligned} \quad (3-23)$$

ผลต่างของระดับน้ำ ( $\Delta h_{i,j,k}$ ) ถูกแสดงในเทอมของค่าระดับน้ำจำเพาะ (specific head) ซึ่งสัมพันธ์กับค่าระดับน้ำ ที่ใช้ในการคำนวณการไหลเข้าและไหลออกของเซลล์ (รูปที่ 3-6) ไฮโดรกราฟ ของเซลล์  $i,j,k$  แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $t_m$  และ  $t_{m-1}$  กับค่า  $h_{i,j,k}^m$  และ  $h_{i,j,k}^{m-1}$  เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณเทอมการไหลของสมการที่ 3-23 จะหาค่าที่เวลาต่างๆ  $t_m$  ในที่นี้ สามารถหาค่าความชันของไฮโดรกราฟ ( $\Delta h/\Delta t$ ) ได้จาก

$$\frac{\Delta h_{i,j,k}^m}{\Delta t_m} = \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t_m - t_{m-1}} \quad (3-24)$$



#### Explanation

- $t_m$  time at end of time step  $m$
- $h_{i,j,k}^m$  head at node  $i,j,k$  at time  $t_m$
- ..... Backward difference approximation to slope of hydrograph at time  $t_m$

รูปที่ 3-6 ไฮโดรกราฟของเซลล์  $i, j, k$

ความชันของไฮโดรกราฟ ประมาณค่าได้จากการใช้การเปลี่ยนแปลงของค่าระดับน้ำ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในช่วงเวลาก่อนหน้าและที่สิ้นสุด ในส่วนนี้เป็นเทอม backward-difference approach นั่นคือ  $\Delta h/\Delta t$  ถูกคำนวณตลอดทั้งช่วงเวลาซึ่งขยายย้อนกลับไปเวลาจาก  $t_m$  เวลาที่อยู่ในเทอมของการไหลจะถูกหาค่า

วิธี backward-difference ปกติจะมีความเสถียรภาพทางเลขคณิต นั่นคือค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นที่เวลาใดๆ ถูกทำให้น้อยลงไปเรื่อยๆที่เวลาที่ต่อเนื่องกัน ด้วยเหตุนี้เอง วิธี backward-difference จะใช้ในการคำนวณระบบสมการที่ขนาดใหญ่

เขียนสมการที่ 3-23 ในรูปของ backward-difference เทอมของการไหลที่เวลา  $t_m$  และ  $t_{m-1}$  ได้

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-1/2,k}(h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+1/2,k}(h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) \\
 & + CC_{i-1/2,j,k}(h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i+1/2,j,k}(h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) \\
 & + CV_{i,j,k-1/2}(h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+1/2}(h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) \\
 & + P_{i,j,k}h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = Ss_{i,j,k}(\Delta r_j \Delta c_i \Delta v_k) \frac{(h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1})}{t_m - t_{m-1}}
 \end{aligned} \tag{3-25}$$

ในสมการนี้ค่าระดับน้ำ ที่จุดเริ่มต้นของช่วงเวลา  $h_{i,j,k}^m$  และ conductance ทั้งหมด และค่าสัมประสิทธิ์ที่สัมพันธ์กับโหนด ที่ตำแหน่ง  $i,j,k$  เป็นตัวที่รู้ค่าระดับน้ำทั้ง 7 ค่าที่เวลา  $t_m$  จนถึงจุดสิ้นสุดของช่วงเวลา เป็นตัวที่ไม่รู้ค่า ดังนั้นสมการที่ 3-25 ไม่สามารถแก้ได้โดยลำพัง เพราะสมการนี้แทนที่ด้วยค่าที่ไม่รู้ 7 ตัวในสมการเดียว อย่างไรก็ตามสมการชนิดนี้สามารถเขียนสำหรับ  $n$  เซลล์ในระบบ ดังนั้นจึงมีค่าระดับน้ำ ที่ไม่รู้เพียงตัวเดียวในแต่ละเซลล์ เราจึงแก้สมการของระบบ  $n$  สมการด้วยค่าที่ไม่รู้  $n$  ตัว ระบบของสมการจึงถูกแก้ให้สำเร็จได้

### 3.3 สมการใช้ในการคำนวณค่า T และค่า S ในการ Pumping Test

ในการหาค่า T และ S จะได้จากการสุบทดสอบภาคสนาม และนำมาคำนวณสามารถหาค่าได้ ดังวิธีของ Cooper - Jacob

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left( -0.5772 - \ln \frac{r^2 S}{4Tt} \right) \tag{3-26}$$

เปลี่ยนสมการที่อยู่ในรูปของ log ฐาน e มาอยู่ในรูป log ฐาน 10 จะได้สมการดังนี้

$$s = 2.30 \frac{Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S} \quad (3-27)$$

โดยที่

$Q$  = อัตราการไหล ( $L^3/T$ )

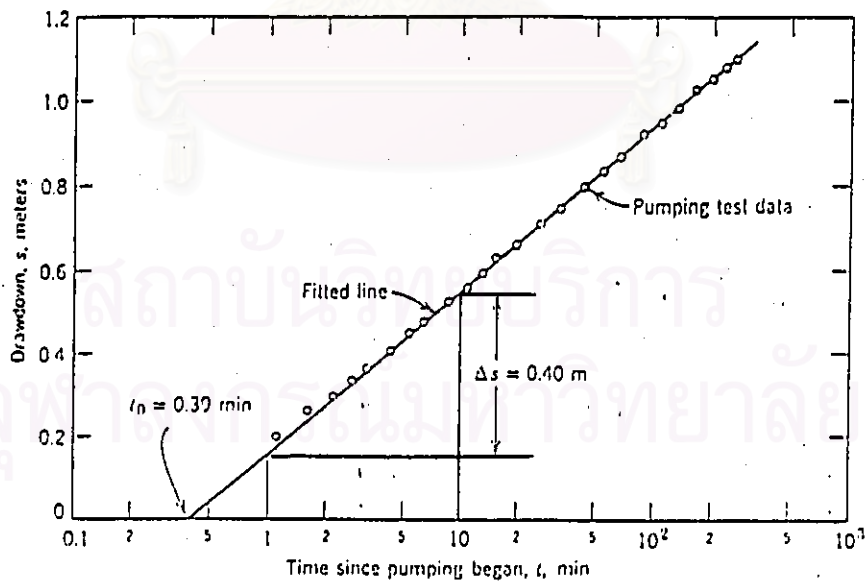
$T$  = ค่าอัตราการซึมผ่านของวัสดุพูน (Transmissivity)

$S$  = สัมประสิทธิ์การเก็บกัก (Storage Coefficient)

$s$  = ระยะลดตัวของน้ำใต้ดิน (drawdown) (L)

$r$  = ค่ารังจมีจากบ่อสูบทดสอบถึงบ่อสังเกตการณ์ (L)

จากนั้นทำการ plot ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะน้ำลดตัวกับแกนเวลาบนกระดาษ Semilog ของข้อมูลดังกล่าวแล้วลากเส้นซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลดังกล่าวมาตัดแกนเวลาที่ค่า  $t = 0$  ดังนั้นค่า  $s = 0$



รูปที่ 3-7 ตัวอย่างการหาค่า  $\Delta s$  และค่า  $t_0$  โดยวิธีของ Cooper - Jacob

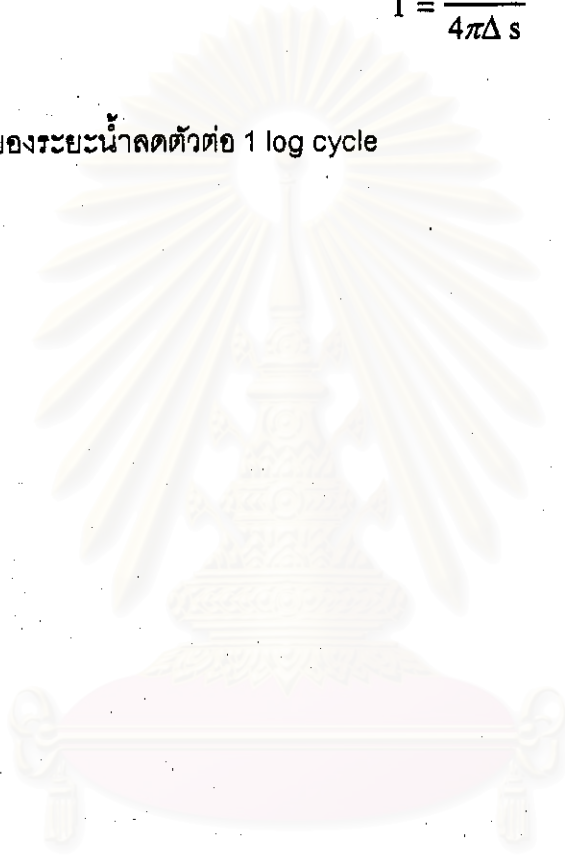
เมื่อค่า  $s = 0$  ในสมการที่ 3-27 ทำให้เทอมของ  $\frac{2.25Tt_0}{r^2 S} = 1$

ดังนั้น

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

$$T = \frac{2.30Q}{4\pi\Delta s}$$

เมื่อ  $\Delta s =$  ผลต่างของระยะน้ำลดตัวต่อ 1 log cycle



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย