

บทที่ 5

การประมวลผลและการจำลองการตอบสนองของลุ่มน้ำ

5.1 การทำ Overlaying และ Algebraic Operations

รูปแบบทั่ว ๆ ไปของการประมวลผลของ MAP ได้สรุปไว้แล้วในตารางที่ 4.1 โดยมีพื้นฐานว่า overlay operation ของ land use/ soil type planes จะให้ Map ใหม่ เรียกว่า CNMAP ซึ่งเมื่อ overlay กับ spatial rainfall map จะได้ EXCESS Map อันเป็นการรับ excess rainfall ให้ สอดคล้องกับความชื้น กระทำได้โดยที่ปรับระดับของ antecedent moisture ตามขั้นตอนของ NEH-4 (1972) โดยยึดถือสูตรแนบดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตารางสำหรับปรับ CN ตาม antecedent moisture condition (AMC) [NEH-4 (1963)]

AMC I	AMC II	AMC III
100	100	100
87	95	98
78	90	96
70	85	94
63	80	91
57	75	88

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

AMC I	AMC II	AMC III
51	70	85
45	65	82
40	60	78
35	55	74
31	50	70
22	40	60
15	30	50
9	20	37
4	10	22
0	0	0

เมื่อ

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.334 - 0.01334CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.4036 + 0.0059CN_{II}}$$

และ

AMC	ปริมาณฝนก่อนหน้า 5 วัน (มม.)	
	ฤดูทั่วไป	ฤดูเพาะปลูก
I	< 12	< 36
II	12 - 28	36 - 53
III	> 28	> 53

5.2 ความหมายของเวลาและระยะทางการเดินของฝนส่วนเกิน

5.2.1 กรณี grid cell ที่มีการไหลบนผิวดิน (overland flow) เป็นหลัก

การศึกษานี้ได้นำสูตรพื้นฐานของ SCS มาใช้ดังสมการข้างล่างนี้ คือ

$$t_L = \frac{10.8 (S+1)^{0.7}}{1900 S_L^{0.5}} \quad (5.1)$$

และให้

$$t^G = t_c = 1.67 t_L$$

เมื่อ

$$t^G = \text{grid travel time (ชม.)}$$

- t_c = เวลาของการไหลรวมตัวใน grid cell (ชม.)
 t_L = grid lag time (ชม.)
 l = ระยะทางการไหล (ขนาดความยาวของ grid cell พุด)
 SL = ความลาดชันเฉลี่ยของ grid cell (%)
 S = ศักย์ความแตกต่างสูงสุดระหว่าง P กับ Q (นิ้ว)
 = $(1000/CN-10)$; CN = curve number

สมการ (5.1) t_L ถือกันว่าเป็น SCS lag formular ซึ่งประเมินแล้วว่าเหมาะสมสำหรับการคำนวณหาเวลาการไหลของการไหลบนผิวดิน (overland flow McCuen et al., 1984) ส่วนเวลาของการไหลรวมตัว (time of concentration) หรือ travel time, t_c จะมีค่าเท่ากับ 1.67 เท่าของ Lag ซึ่งสมการนี้เหมาะกับขนาดลุ่มน้ำเล็กกว่า 2,000 acres (8 กม.²) และในกรณีนี้ศึกษา watershed ลุ่มน้ำประกอบด้วย grid cell ขนาด 250 ม. x 250 ม. (0.0625 กม.²) ซึ่งเล็กกว่าข้อจำกัดถึง 130 เท่า

อนึ่ง สูตรการไหลบนผิวดิน (overland flow) อื่น ๆ สรุปไว้ในตารางที่ 5.2

5.2.2 กรณี grid cell ที่มีการไหลในลำน้ำ (stream flow) เป็นหลัก

เมื่อกำหนดให้ grid cell area มีขนาด A กว้าง B และความลึกของลำน้ำ y มีหน้าตัดการไหล B_y ให้ ϕ เป็น channelization proportion ของความกว้างของ grid cell ของลุ่มน้ำและจากพื้นฐานไฮดรอลิกส์ จะหาเส้นขอบเปียก (wetted perimeter) ของการไหลในลำน้ำได้ดังนี้

ตารางที่ 5.2 สูตรสำหรับการคำนวณ time of concentration

แยกให้เห็น Input parameters (McCuen R.H.1989)

วิธี	สมการ	Overland Flow				Channel Flow			
		Resistance	Slope	Length	Input	Resistance	Slope	Length	Input
Carter	$t_c = 1.7 L_M^{0.6} S_M^{-0.3}$						x	x	
Eagleson	$t_c = 0.0001852 L_f n R_h^{-2/3} S_f^{-1/2}$								x
Espey - Hinslow	$t_c = 0.52 L_f^{0.29} S_f^{-0.145} I^{-0.6}$	x				x	x	x	
Federal - Aviation Agency	$t_c = 0.03 (1.1 - C) L^{-0.5} S^{-0.333}$	x	x	x	x				
Kinematic - Wave	$t_c = 0.1567 L_f^{0.6} n^{0.6} I^{-0.1} S_f^{-0.33}$	x	x	x	x				
Kerby - Hat haway	$t_c = 0.1377 L_f^{0.47} n^{0.47} S_f^{-0.235}$	x	x	x					
Kirpich (PA)	$t_c = 0.0002167 L_f^{0.77} S_f^{-0.5}$						x	x	
Kirpich (TN)	$t_c = 0.00013 L_f^{0.77} S^{-0.385}$						x	x	
SCS lag	$t_c = 0.000877 L_f^{0.8} (1000/CN-9)^{0.7} S^{-0.5}$	x	x	x					
SCS velocity	$t_c = 0.0002770 \sum_{all f} (L K S^{-0.5})$	x	x	x					
Van Sickle	$t_c = 0.009167 L_t^{0.13} L_M^{0.13} S_f^{-0.065}$		x	x				x	

$$\begin{aligned}
 R &= A/(B+2y) & A/B \\
 &= By/\phi B & = y/\phi
 \end{aligned}
 \quad (5.2)$$

ความเร็วในลำน้ำ V สัมพันธ์กับ friction gradient, S_f และ hydraulic radius R โดยสมการของ manning จะได้

$$\begin{aligned}
 V &= n^{-1} R^{2/3} S_f^{1/2} \\
 &= n^{-1} (y/\phi)^{2/3} S_f^{1/2}
 \end{aligned}
 \quad (5.3)$$

เมื่อ n = สัมประสิทธิ์ manning's roughness และอัตราการไหล : $\bar{Q}$ หาได้

$$\bar{Q} = VBy \quad (5.4)$$

กำหนดให้ "characteristic channel length" เป็น L , characteristic time เป็น t_c , และ characteristic depth เป็น $i_e t_c$ จะได้ความเร็ว

$$V = (L/t_c)(y/i_e t_c)^m = \propto y^m \quad (5.5)$$

เมื่อ $\propto = L/i_e^m t_c^{m+1}$

$i_e(t)$ = characteristics of rainfall excess rate ที่ the grid cell

สมมติฐานการไหลประมาณได้ด้วย kinematic wave approximation
ดังนั้น

$$S_f = S_o = S \quad (5.6)$$

เมื่อ S_o = ความลาดชันของท้องน้ำ น่าสังเกตว่าสมการ (5.6) เป็นสมการประมาณของ full dynamic equation แต่ไม่มีข้อจำกัดบน linear หรือ nonlinear channel storage routing ดังนั้น

$$n^{-1}(y/\phi)^{2/3}S^{1/2} = (L/t_c)(y/ie t_c)^m \quad (5.7)$$

ให้ $m = 2/3$ จะได้

$$t_c = (n\phi^{2/3})^{0.6} ie^{-0.4} (L/S^{1/2})^{0.6} \quad (5.8)$$

สำหรับลำน้ำธรรมชาติใช้ค่า n, ϕ, ie , เท่ากับ 0.030 (AIT Report No. 130, 1982), 0.50, และ 20 mm/hr (Field, 1982) ตามลำดับจะได้

$$t_c = 0.205(L/S^{1/2})^{0.6} \quad (5.9)$$

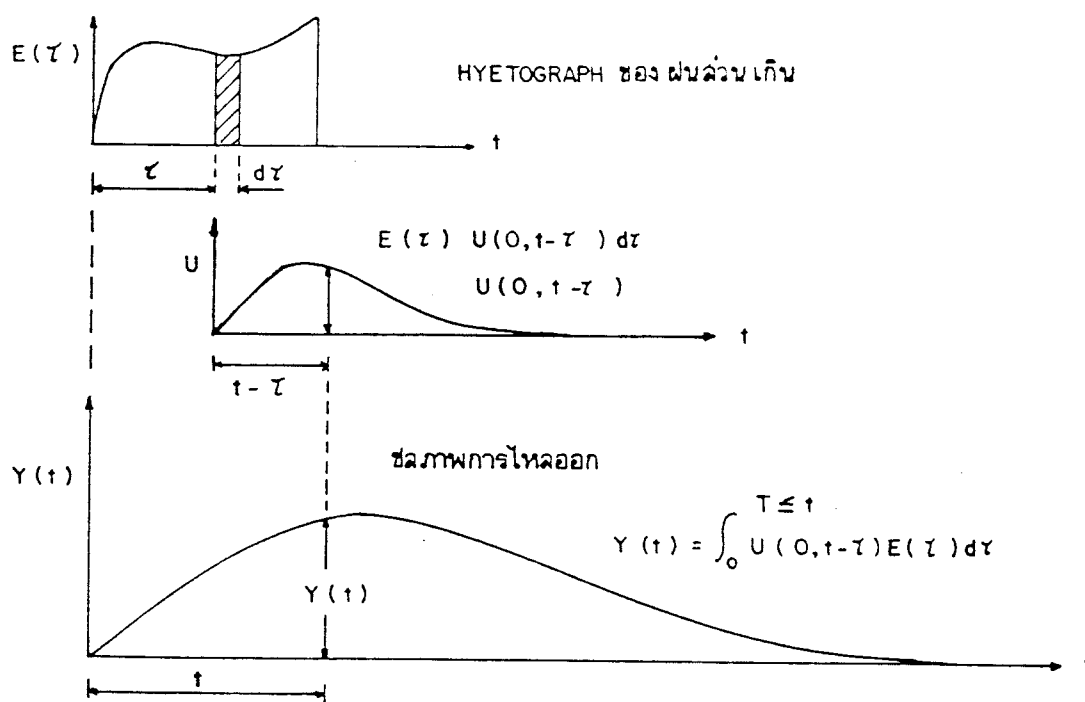
เมื่อ t_c เป็นชั่วโมง, L เป็นกิโลเมตร, และ S เป็นเมตร/เมตร แล้วสามารถเปลี่ยนกลับและเห็นเหมาะสมกับข้อเสนอของ Field (1982), I.E.A. (1977) และ Kirpich (1940) และเหมาะสมสำหรับหาเวลาเดินทาง (travel time) ของ grid cell ที่มีการไหลในลำน้ำ (channel flow) เป็นหลัก (McCuen et al., (1984)

เนื่องจากสูตรของการไหลในลำน้ำอื่น ๆ ได้สรุปไว้กับตาราง 5.2

5.3 การทำ Integrative Operation ของฝนส่วนเกินบน Travel-Time Maps

กำหนดให้ $E(\tau)$ $d\tau$ เป็น infinitesimal instantaneous inputs Volume โดยมี intensity $E(\tau)$ และระยะเวลา duration d ดังนั้น เมื่อกำหนด instantaneous system response function เป็น $u(0,t)$ จะได้ผลลัพธ์ $Y(t)$ (Foroud and Broughton, 1981) ในรูป

$$Y(t) = \int_0^t E(\tau) u(0, t-\tau) d\tau \quad (5.10)$$



รูปที่ 5.1 CONVOLUTION ของ $E(\tau)$ และ INSTANTANEOUS SYSTEM REPOSE FUNCTION (U)

สมการข้างต้น (5.10) เป็น convolution integral ซึ่งการทำ operation แสดงไว้ในรูป (5.1)

ซึ่งในกรณีศึกษา hydrologic and cartographic data planes เป็นรูป spatially discrete form นอกจากนั้น ค่า temporal ของฝนและน้ำท่าเป็นรายวัน จึงเขียนเป็นรูป discrete ได้ดังนี้

$$Y_k = \sum_{i=1}^j E_i U_{j-i+1} \quad (5.11)$$

เมื่อ

Y_k = output ที่เวลา k ; $k = 1, 2, \dots, n, n+1, \dots, n+r-1$

E_i = input ที่เวลา i ; $i = 1, 2, \dots, n$

U_{j-i+1} = distribution instantaneous unit hydrograph (IUH)

ที่เวลา $(j-i+1)$; $j = 1, 2, \dots, r$

n = number of ordinates of input

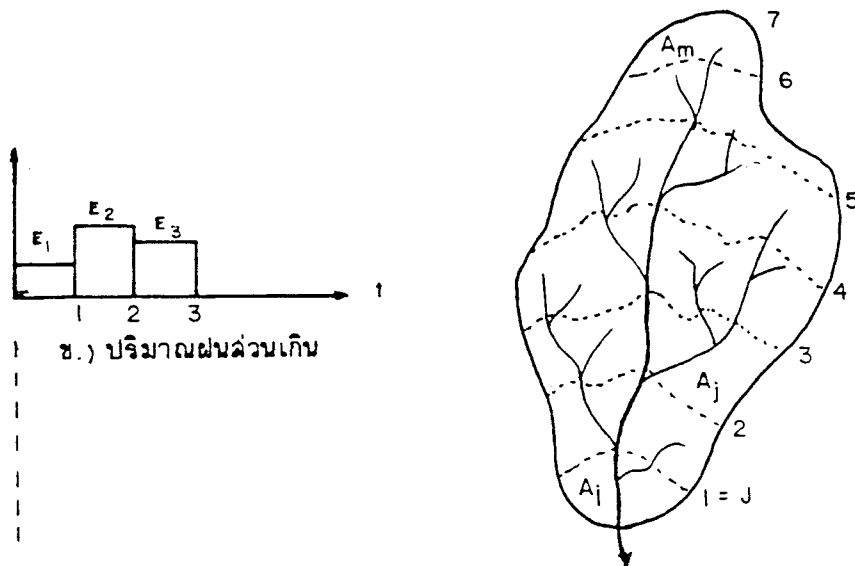
= จำนวนช่วงเวลา (duration) ของฝน

r = number of ordinates of the unit hydrograph

= จำนวน sub-area ของลุ่มน้ำ

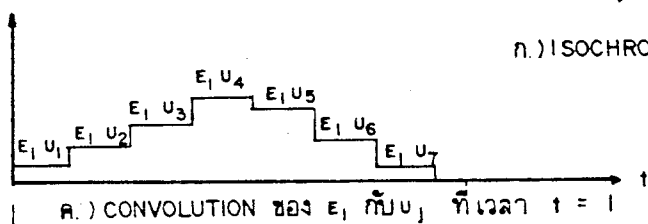
5.3.1 Mathematical Operations Over Algebraic Maps

การทำ operation ของสมการ (5.11) ตามรูปที่ (5.2) แสดงเป็นตัวอย่างเช่น $n = 3$ และ $r = 7$

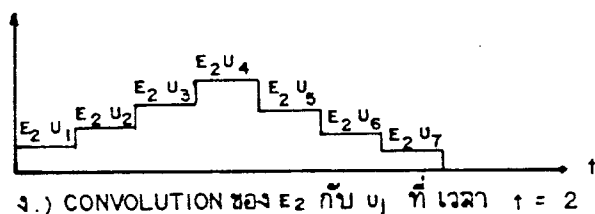


ข.) ปริมาณฝนล่วงหน้า

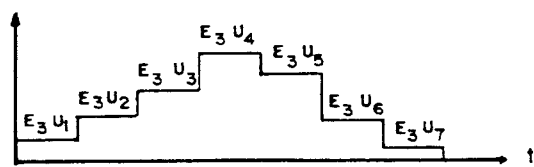
ก.) ISOCHRONS ของลุ่มน้ำ



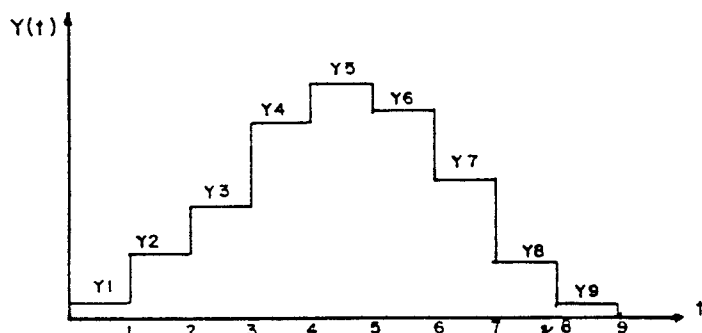
ค.) CONVOLUTION ของ E_1 กับ u_1 ที่เวลา $t = 1$



ง.) CONVOLUTION ของ E_2 กับ u_1 ที่เวลา $t = 2$



จ.) CONVOLUTION ของ E_3 กับ u_1 ที่เวลา $t = 3$



ฉ.) ซดภาพการไหลออกจากลุ่มน้ำ

รูปที่ 5.2 แสดงการหาซดภาพการไหลออก

$$\begin{aligned}
y_1 &= E_1 U_1 \\
y_2 &= E_1 U_2 + E_2 U_1 \\
y_3 &= E_1 U_3 + E_2 U_2 + E_3 U_1 \\
y_4 &= E_1 U_4 + E_2 U_3 + E_3 U_2 \\
y_5 &= E_1 U_5 + E_2 U_4 + E_3 U_3 \\
y_6 &= E_1 U_6 + E_2 U_5 + E_3 U_4 \\
y_7 &= E_1 U_7 + E_2 U_6 + E_3 U_5 \\
y_8 &= E_2 U_7 + E_3 U_6 \\
y_9 &= E_3 U_7
\end{aligned} \tag{5.12}$$

สมการ 5.12 แสดงในรูป Matrix ได้เป็น

$$\begin{aligned}
[y_1 \ y_2 \ \dots \ y_9]_{1 \times 9} &= [E_1 \ E_2 \ E_3]_{1 \times 3} \\
(1 \times k) &\qquad\qquad\qquad (1 \times n)
\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix}
U_1 & U_2 & U_3 & U_4 & U_5 & U_6 & U_7 \\
& U_1 & U_2 & U_3 & U_4 & U_5 & U_6 & U_7 \\
& & U_1 & U_2 & U_3 & U_4 & U_5 & U_6 & U_7
\end{bmatrix} \tag{5.13}$$

$$\begin{aligned}
&\qquad\qquad\qquad 3 \times 9 \\
&\qquad\qquad\qquad (n \times k)
\end{aligned}$$

เมื่อ $k = 1, 2, 3, \dots, r+n-1$

เขียนในรูปสมการได้ว่า

$$I_i = f / \Delta t \sum_{j=1}^m E_{i,j} A_j \quad (5.14)$$

เมื่อ

I_i = ชลภาพการไหลเข้าที่เวลา i (ลบ.เมตร/วินาที)

$E_{i,j}$ = ปริมาณฝนส่วนเกิน สำหรับพื้นที่ย่อยที่ j ที่เวลา i (ชม.) และ
 $i = 1, 2, \dots, n$

A_j = พื้นที่ย่อยที่ j ของลุ่มน้ำ (ตร.กม.) และ $j = 1, 2, \dots, m$

$m=r$ = จำนวนพื้นที่ย่อยทั้งหมดของลุ่มน้ำ

n = จำนวนช่วงเวลาทั้งหมดของฝน (ชม.)

Δt = ช่วงเวลาที่ฝนตก (ชม.) และมีค่าเท่ากับช่วงเวลาระหว่างเส้น
 isochrones

f = สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนหน่วย = 0.278

(1 ตร.กม. ชม./ชม. = 0.278 ลบ.เมตร/วินาที)

หมายเหตุ

พื้นที่ย่อย (Sub-area) ใด ๆ ประกอบด้วยพื้นที่ของ grid cells
 ต่าง ๆ ที่อยู่ระหว่างเส้น isochrones

หรือเขียนในรูป The Matrix notation ได้เป็น

$$\{I\} = f / \Delta t [E] * \{A\} \quad (5.15)$$

เมื่อ $\{I\}$ เป็น the vector of output, $[E]$ เป็น input matrix ของฝนส่วนเกิน (excess rainfall), and $\{A\}$ เป็น a column matrix ของพื้นที่ย่อย (sub-area) ซึ่งเขียนในรูปของ input matrix และ output matrix ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_{11} \\ I_{21} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ I_{n1} \end{bmatrix}_{n \times 1} = \frac{f}{\Delta t} \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & \dots & E_{1m} \\ E_{21} & E_{22} & & E_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ E_{n1} & E_{n2} & & E_{nm} \end{bmatrix}_{n \times m} * \begin{bmatrix} A_{11} \\ A_{21} \\ \vdots \\ \vdots \\ A_{m1} \end{bmatrix}_{m \times 1} \quad (5.16)$$

5.4 การจำลองสภาพหาลภาพน้ำท่า

ในขั้นตอนต่อไป นำฝนส่วนเกิน (excess rainfall) จาก grid cell areas ไป lagged เพื่อหาชลภาพการไหลเข้า

ในการทำ operation process สำหรับแปรเปลี่ยนฝนส่วนเกิน (excess rainfall) ให้เป็น direct runoff นั้น กำหนดให้ ordinates, I ของ inflow hydrographs สามารถ operated ได้ โดยการ lagged ซึ่งจะได้

$$[I_{11} \ I_{12} \ I_{13} \dots I_{1k}]_{1 \times (n+m-1)}$$

$$= \frac{f}{\Delta t} [A_{11} \ A_{12} \dots A_{1m}]_{1 \times m}$$

$$\begin{array}{ccccccc}
 & 1 & 2 & 3 & & n & n+1 \dots n+m-1 \\
 \left[\begin{array}{ccccccc}
 E_{11} & E_{12} & E_{13} & \dots & E_{1n} & & \\
 & E_{21} & E_{22} & E_{23} & \dots & E_{2n} & \\
 & & E_{31} & E_{32} & E_{33} & \dots & E_{3n} \\
 & & & \dots & \dots & \dots & \\
 & & & & \dots & \dots & \\
 & & & & & E_{m1} & E_{m2} & E_{m3} & \dots & E_{mn}
 \end{array} \right]_{m \times (n+m-1)} \quad (5.17)
 \end{array}$$

$$= \frac{f}{\Delta t} \left[\sum_{j=1}^m A_{1j} E_{j1} \quad \sum_{j=1}^m A_{1j} E_{j2} \quad \dots \quad \sum_{j=1}^m A_{1j} E_{jn} \right]_{1 \times (n+m-1)}$$

โดยหลักการสมดุลของน้ำ (water balance) ใน grid cells หาฝนส่วนเกิน (excess rainfall) ทำได้โดยใช้หลักการ mass balance ในแต่ละ grid cells คำนวณหาฝนส่วนเกินที่เกิดขึ้นในแต่ละ grid cells ดังนั้นสำหรับช่วงเวลา t ใด ๆ จะได้สมการดังนี้

$$P_{it} + Q_i(t-1) - E_{Tit} - F_{it} - I_{ait} = Q_{it} \quad (5.18)$$

- เมื่อ
- P_{it} = ปริมาณฝนที่ตกบน grid cell i
 - F_{it} = ปริมาณการซึมใน grid cell i (หาได้จากสมการ SCS)
 - Q_{it} = ฝนส่วนเกินใน grid cell i
 - I_{ait} = ปริมาณการสูญเสียเริ่มแรกใน grid cell i
 - E_{Tit} = ปริมาณการคายระเหยใน grid cell i