เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

สุทัศน์ วีสกุล, การพยากรณ์น้ำโดยการใช้ Kalman Filtering Technique, เอกสารประกอบ การสัมมนา การป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมในเขตชุมชนเมือง, ณ.คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 26-27 มกราคม 2532

———. การพยากรณ์ปริมาณน้ำเข้าเขื่อนจุฬาภรณ์ โดยใช้ Kalman Filtering Algorithm, การประชุมสัมมนา ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยประจำปี 2533, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ 2533

ภาษาต่างประเทศ

Amorocho,J.and Orlob,G.T., Non-linear Analysis of Hydrologic System, Water Resources Research Center, University of California Contribution No. 40, Berkeley, 1961

EGAT, Basic Data Existing HydroPower Plants, PP.55, Electricity Generating Authority of Thailand Report No.31104-320, Bangkok, 1989A

——— .Completion Report Ubol Ratana Dam Flood Protection Project, Electricity Generating Authority of Thailand, Bangkok, 1989B

——— . Functions and Responsibilities of Meteorology and Hydrology Division Survey and Ecology Department, Electricity Generating Authority of Thailand, Bangkok, 1990

———. Surface Runoff and Specific Yield of River Basins in Thailand, PP.53, Electricity Generating Authority of Thailand Report No. 842-2319, Bangkok, 1980

———. Ubol Ratana Dam Flood Protection Study Final Report, Electricity Generating Authority of Thailand, Bangkok , 1983

Gautam, H.R., Filtering Methods for Operational Forecasts of Flood Runoff, Master Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1983

Hino, M., On-Line Prediction of Hydrologic System, Proceeding of the XV th Conference of IAHR, Istanbul, 1973

Hoshi, K. and Yamaoka., Model Assessment of Kalman Filter Algorithms for Runoff Prediction, Third International Symposium on Stochastic Hydraulics, Tokyo, 1980

Logan, W.Lennox, W.N. and Unny, T.E., A time Varying Non-Linear Hydrologic Response Model for Flood Hydrography Estimation in a Noisy Environment, Proc. AGU Chapman Conference on Application of Kalman Filter to Hydrology, Hydraulics and Water Resources, 1978

Moore, R.J. and Weiss, G., Real-Time Parameter Estimation of a Non-Linear Catchment Model Using Extended Kalman Filter, Paper Present at the Workshop on Recent Development in Real-time Forecasting/Control of Water Resources System, Int Inst.for Apal, Laxenburg Austria, 1976

Nash, J.E, Determining Runoff from Rainfall, INST.of Civil Engg., Proc., 1958

Ray K.L.,Max A.K. and Joseph L.H.P., Hydrology for Engineers,PP.210, McGraw-Hill,Inc., Singapore, 1984

Rodriguez-Iturbe, I., Valdes, B.J. and Jesus, M.V., Application of Kalman Filter in Rainfall Runoff Studies, Proc. AGU Chapman Conference on Application to Kalman Filter to Hydrology, Hydraulics and Water Resources, 1978

Ronald E.W. and Raymond H.M., Probability and Statistics for Engineers and Scientists, PP.252,PP.514, Macmillan Publishing Co.,Inc., New York, 1978

Sherman, L.K., Streamflow from Rainfall by the Unitgraph Method, Eng New Record, 1932

Singh, V.P., Hydrologic Systems Volume II.,Prentice Hall Inc., New Jersey, 1989

Snyder, W.E., Hydrograph Analysis by The Method of Least Squares, J.Hydraul.Div., Proc. ASCE, 81:1-25, 1955

Tateya, K.,Okabe, K. and Hoshi, K., Practice of Flood Forecasting Technology in the Ishikari River Watershed, Pacific International Seminar on Water Resources System, Tomamu, 1989

Todini, E. and Bouillot, D., A Rainfall-Runoff Kalman Filter Model in System Simulation in Water Resources, North Holl and Publ. Comp, Amsterdam, 1975

Tucci, C.E.M. and Clarke, R.T., Adaptive Forecasting with a Conceptual Rainfall-Runoff Model,Hydrological Forecasting, IAHS Publication NO.129, 1980

Wiener, N., Extrapolation Interpolation and Smooting Stationary Time Series, Wiley, New York, 1949

Wood, E.F. and Szollosy-Nagy, A., An Adaptive Algorithms for Analysing Short-Term Structure and Parameter Changes in Hydrologic Prediction Models, Water Resources Res, 1978

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การจำลองสภาพการไหลพื้นฐานมีสมการหลัก 2 สมการคือ Manning's Formula กับสมการของ Overland Flow และเมื่อนำ Manning's Formula แทนค่าในสมการของ Overland Flow จะได้ค่า $\alpha=(i)^{0.5}/n$ และ m = 5/3 ตามรายการคำนวณดังนี้

Manning's Formula

$V=(1/n)R^{2/3}\ i^{1/2}$

Flow in Wide Rectangular Channel

$Q = AV$; $A = By$

$Q = By(1/n)R^{2/3}\ i^{1/2}$; $R = y$

$Q/B = y(1/n)y^{2/3}\ i^{1/2}$

$Q/B = (i^{1/2})/n\ y^{5/3}$

$q = \alpha y^{m}$; $\alpha = (i^{0.5})/n$; $m = 5/3$

ค่าพารามิเตอร์ k_1 และ k_2 มาจากความสัมพันธ์ระหว่าง Kinematic Wave กับ Storage Function Model ดูรูป ก1 โดยที่

y = Water Depth [m]

q = Discharge Per Unit Width [m^2/sec]

S = Storage Per Unit Width [m^2]

r = Rainfall Intensity [m/sec]

t = Time [sec]

X = Distance [m]

α = Parameter with m/sec Unit

L = Plane Width [m]

L_s = Channel Length [m]

n = Manning Coefficient of Roughness

i = Slope

V = Velocity

R = Hydraulic Radius

โดยที่

$$y* = r*t* = \bar{r}\, t* \qquad \text{-----(A1)}$$

$$q* = \alpha y*^{m} = L\, \bar{r} \qquad \text{-----(A2)}$$

$$s* = L\, \bar{r}\, t* \qquad \text{-----(A3)}$$

$$t* = (L\, \bar{r}^{(1-m)}/\alpha)^{1/m} \qquad \text{-----(A4)}$$

The Storage Function Model แสดงได้โดยสมการ

$$S = k_1 q^{P1} + k_2 [d(q^{P2})/dt] \qquad \text{-----(A5)}$$

โดยที่ k_1 และ k_2 คือ Storage Coefficient และกำหนดค่าของ Total Discharge, q_T [m^3/sec] และ Total Storage, S_T [m^3] ดังนี้

$$q_T = qL_s = q*L_sQ \qquad \text{-----(A6)}$$

$$S_T = SL_s = S*\, L_s\, S \qquad \text{-----(A7)}$$

เมื่อ $q = q*\, Q$

$S = S*\, S$

นำค่าจากสมการ (A1)ถึง(A4) แทนค่าในสมการ (A6)และ(A7) จะได้

$$Q = q_T/(L_s\, q*) = q_T/(L_s L\bar{r})$$

$$S = S_T/(L_s S*) = S_T/(L_s L\bar{r}t*)$$

เมื่อแทนค่าในสมการที่ (A5) จะได้สมการ (A8) (A9) และ (A10)

$$\frac{S_T}{L_s L\, \bar{r}\, t_*} = K_1 \left\{\frac{q_T}{L_s L\, \bar{r}}\right\}^{P_1} + K_2\, t_*\, \frac{d}{dt}\left[\left(\frac{q_T}{L_s L\, \bar{r}}\right)^{P_2}\right] \qquad \text{------ (A8)}$$

$$\frac{S_T}{L_s L} = K_1 \bar{r}\, t_*\, \bar{r}^{-P_1}\left(\frac{q_T}{L_s L}\right)^{P_1} + K_2 \bar{r}\, t_*^2\, \bar{r}^{-P_2}\, \frac{d}{dt}\left[\left(\frac{q_T}{L_s L}\right)^{P_2}\right]$$

$$= K_1 \bar{r}^{(1-P_1)}\left(\frac{L}{\alpha}\right)^{1/m} \bar{r}^{(1/m-1)}(q_T/L_s L)^{P_1}$$

$$+ K_2 \bar{r}^{1-P_2}\left(\frac{L}{\alpha}\right)^{2/m} \bar{r}^{[2(1-m)/m]}\frac{d}{dt}[(q_T/L_s L)^{P_2}]$$

or

$$s_A = K_1 (L/\alpha)^{1/m}\, \bar{r}^{(1/m-P_1)}\, q_A^{P_1} + K_2 (L/\alpha)^{2/m}\, \bar{r}^{(2/m-1-P_2)}\, \frac{d}{dt}\,(q_A^{P_2}) \qquad \text{------ (A9)}$$

$$s_A = s_T/(L_s L) \text{ [m]}$$

$$q_A = q_T/(L_s L) \text{ [m/sec]} \qquad \text{------ (A10)}$$

ในกรณีที่ใช้ค่า Storage (S_h) มีหน่วยเป็น mm, Rainfall ($\bar{r}_h$) มีหน่วยเป็น mm/hr, Runoff (q_h) มีหน่วยเป็น mm/hr และ Time (t_h) มีหน่วยเป็นชั่วโมงสมการข้างบนจะเปลี่ยนไปเป็น

$$S_h = \left(\frac{10^{3m-6}}{3.6}\right)^{1/m} (L/\alpha)^{1/m} \bar{r}_h^{(1/m - p_i)} K_1 q_h^{p_1} + \left(\frac{10^{3m-6}}{3.6}\right)^{2/m} (L/\alpha)^{2/m} \bar{r}_h^{(2/m-1-p_2)} K_2 \frac{d}{dt_h} (q_h^{p_2})$$

จากสมการข้างบนนี้พบว่าค่า Storage Coefficient ,k_1 และ k_2 มีความสัมพันธ์กับ K_1 และ K_2 ดังนี้

$$k_1 = K_1 \left(\frac{10^{3m-6}}{3.6}\right)^{1/m} (L/\alpha)^{1/m} \bar{r}_h^{(1/m-p_1)}$$

$$k_2 = K_2 \left(\frac{10^{3m-6}}{3.6}\right)^{2/m} (L/\alpha)^{2/m} \bar{r}_h^{(2/m-1-p_2)}$$

โดยที่ $\bar{r}_h$ = Average Rainfall Intensity [mm/hr]

L = Plane Width [m]

α = ค่าคงที่ [m-sec]

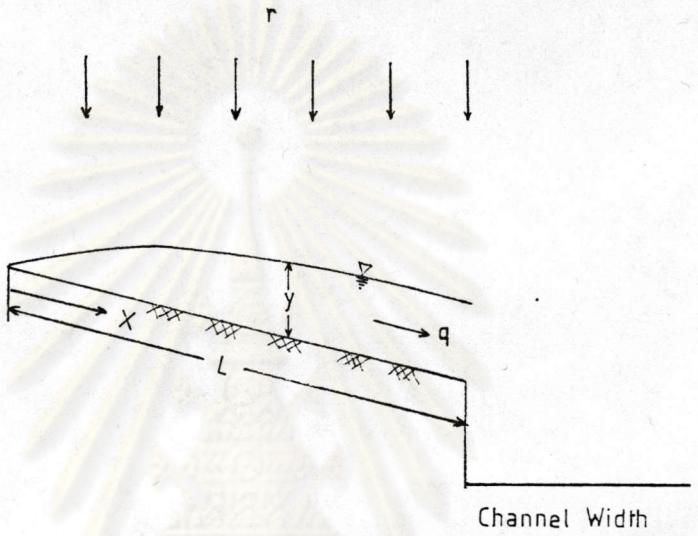
และเมื่อต้องการให้หน่วยของ Storage เป็น mm,Rainfall เป็น mm/day Runoff เป็น mm/day และ Time เป็น day สมการของค่า Storage Coefficient k_1 และ k_2 จะเป็นดังนี้

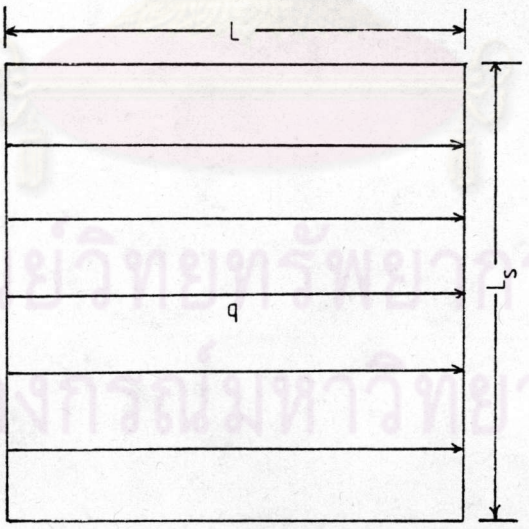
$$k_1 = K_1[10^{3m-6}/(3.6x24)]^{1/m} [L/\alpha]^{1/m} \bar{r}_d^{(1/m-P_1)}$$

$$k_2 = K_2[(m+1)/m]^2 k_1^2 \bar{r}_d^{(2/m-1-P_2)}$$

โดยที่ $K_1 = m/(m+1)$

$P_1 = 1/m$





รูปที่1 ลักษณะการไหลแบบ Overland Flow

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

Transition Matrix of Non-Linear Model

Solution ของ System Equation โดยไม่พิจารณา System Error, W_{K-1} เมื่อจัดให้อยู่ในรูปของ Discrete Time K แล้วจะอยู่ในรูปของสมการ

$$X_K = \phi_K X_K + \Lambda_{K-1} r_{K-1}$$

โดยที่ $\phi_K = \exp(A\Delta t)$

โดยใช้ Taylor Series Approximation และพิจารณาเพียงเทอมที่สามจะได้ ϕ_K ดังนี้

$$\phi_K = I + A\Delta t + A^2 (\Delta t^2)/2! + A^3 (\Delta t^3)/3!$$

และจาก Solution ของ System Equation นั้น Matrix ϕ_K จะเขียนเป็น Matrix ขนาด (6X6) ได้ดังนี้

$$\phi_k = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} & \phi_{14} & \phi_{15} & \phi_{16} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} & \phi_{24} & \phi_{25} & \phi_{26} \\ 0 & 0 & \phi_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \phi_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \phi_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \phi_{66} \end{bmatrix}$$

เมื่อ

$$\phi_{11} = 1 + a_1(\Delta t)^2/2 + a_1a_2(\Delta t)^3/6$$
$$\phi_{12} = (\Delta t) + a_2(\Delta t)^2/2 + (a_1 + a_2^2)(\Delta t)^3/6$$
$$\phi_{13} = a_3(\Delta t)^2/2 + a_2a_3(\Delta t)^3/6$$
$$\phi_{14} = a_4(\Delta t)^2/2 + a_2a_4(\Delta t)^3/6$$
$$\phi_{15} = a_5(\Delta t)^2/2 + a_2a_5(\Delta t)^3/6$$
$$\phi_{16} = a_6(\Delta t)^2/2 + a_2a_6(\Delta t)^3/6$$

$$\phi_{21} = a_1(\Delta t) + a_1a_2(\Delta t)^2/2 + (a_1^2 + a_1a_2^2)(\Delta t)^3/6$$
$$\phi_{22} = 1 + a_2(\Delta t) + (a_1 + a_2^2)(\Delta t)^2/2 + [a_1a_2 + a_2(a_1 + a_2^2)](\Delta t)^3/6$$
$$\phi_{23} = a_3(\Delta t) + a_2a_3(\Delta t)^2/2 + (a_1a_3 + a_2^2a_3)(\Delta t)^3/6$$
$$\phi_{24} = a_4(\Delta t) + a_2a_4(\Delta t)^2/2 + (a_1a_4 + a_2^2a_4)(\Delta t)^3/6$$
$$\phi_{25} = a_5(\Delta t) + a_2a_5(\Delta t)^2/2 + (a_1a_5 + a_2^2a_5)(\Delta t)^3/6$$
$$\phi_{26} = a_6(\Delta t) + a_2a_6(\Delta t)^2/2 + (a_1a_6 + a_2^2a_6)(\Delta t)^3/6$$

$$\phi_{33} = 1$$
$$\phi_{44} = 1$$
$$\phi_{55} = 1$$
$$\phi_{66} = 1$$

และในลักษณะเดียวกันนี้ Input Transition Matrix, Λ_k เขียนได้ดังนี้

$$\Lambda_k = \begin{bmatrix} \Lambda_{11} & \Lambda_{12} & \Lambda_{13} & \Lambda_{14} & \Lambda_{15} & \Lambda_{16} \\ \Lambda_{21} & \Lambda_{22} & \Lambda_{23} & \Lambda_{24} & \Lambda_{25} & \Lambda_{26} \\ 0 & 0 & \Lambda_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Lambda_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \Lambda_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Lambda_{66} \end{bmatrix}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ $\Lambda_k = (\phi_k - I)\, A^{-1}$

จะได้

$$\Lambda_{11} = (\Delta t) + a_1 (\Delta t)^3/6$$
$$\Lambda_{12} = (\Delta t)^2/2 + a_2 (\Delta t)^3/6$$
$$\Lambda_{13} = a_3 (\Delta t)^3/6$$
$$\Lambda_{14} = a_4 (\Delta t)^3/6$$
$$\Lambda_{15} = a_5 (\Delta t)^3/6$$
$$\Lambda_{16} = a_6 (\Delta t)^3/6$$

$$\Lambda_{21} = a_1 (\Delta t)^2/2 \quad a_1 a_2 (\Delta t)^3/6$$
$$\Lambda_{22} = (\Delta t) + a_2 (\Delta t)^2/2 + (a_1 + a_2^2)(\Delta t)^3/6$$
$$\Lambda_{23} = a_3 (\Delta t)^2/2 + a_2 a_3 (\Delta t)^3/6$$
$$\Lambda_{24} = a_4 (\Delta t)^2/2 + a_2 a_4 (\Delta t)^3/6$$
$$\Lambda_{25} = a_5 (\Delta t)^2/2 + a_2 a_5 (\Delta t)^3/6$$
$$\Lambda_{26} = a_6 (\Delta t)^2/2 + a_2 a_6 (\Delta t)^3/6$$

$$\Lambda_{33} = (\Delta t)$$
$$\Lambda_{44} = (\Delta t)$$
$$\Lambda_{55} = (\Delta t)$$
$$\Lambda_{66} = (\Delta t)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยวิธี Student t-Test ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์นี้ก็เพื่อยืนยันว่าค่าเฉลี่ย RMSE จากผลการคำนวณโดยแบบจำลองทั้งสองนี้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ นั่นหมายความถึง Kalman Filter Technique จะช่วยให้ NLSFM ทำการคำนวณได้ดีขึ้นมากอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้ข้อมูลการวิเคราะห์จากตาราง 5.3

	RMSE	
	NLSFM	KALMAN
Average, $\bar{X}$	2.2563	1.4644
S_{n-1}	1.3751	0.6900
S^2_{n-1}	1.8910	0.4761

ทดสอบค่า $\sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$ โดยใช้ F-Distribution

$F = S^2_1/S^2_2 = 1.8910/0.4761 = 3.9718$

$v_1 = n_1 - 1$, $v_2 = n_2 - 1$: n=จำนวนข้อมูล

$v_1 = 7$, $v_2 = 7$

ที่ 95% Level of Confidence จะได้ค่า $f_{0.05}(7,7)=3.79$ (Ronald,E.W. and Raymond,H.M.,1978

$3.9718 > 3.79$ นั่นคือ $F > f_{0.05}$ หมายถึง $\sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

$T = ((\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0)/(((S^2_1/n_1)+(S^2_2/n_2))^{0.5}) = 1.4558$ (Ronald,E.W. and Raymond,H.M.,1978

$$v = \frac{(S^2_1/n_1 + S^2_2/n_2)^2}{((S^2_1/n_1)^2)/(n_1-1)+((S^2_2/n_2)^2)/(n_2-1)} = 10.31$$ (Ronald,E.W. and Raymond,H.M.,1978

ที่ 95% Level of Confidence นั่นคือ $\alpha=5\%$; $\alpha/2=0.025$ (Ronald,E.W. and Raymond,H.M.,1978

$t_{10} = 2.228$, $t_{11} = 2.201$

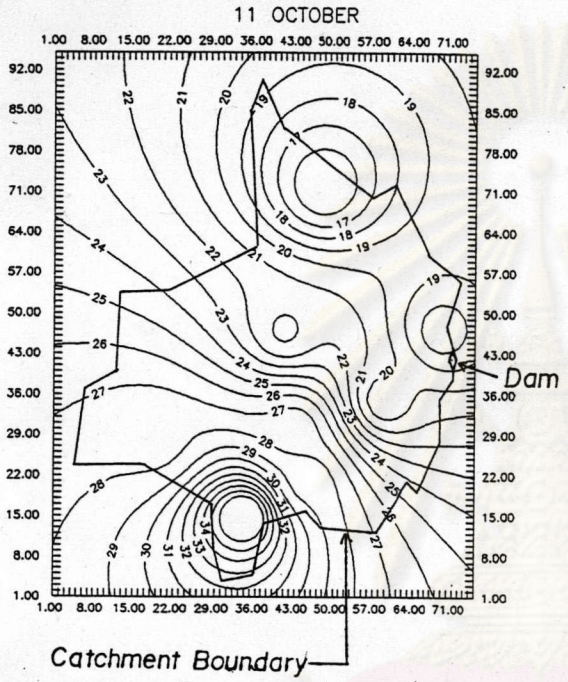
ดังนั้น $t_v = t_{10.31} = t_{95\%} = 2.2196$

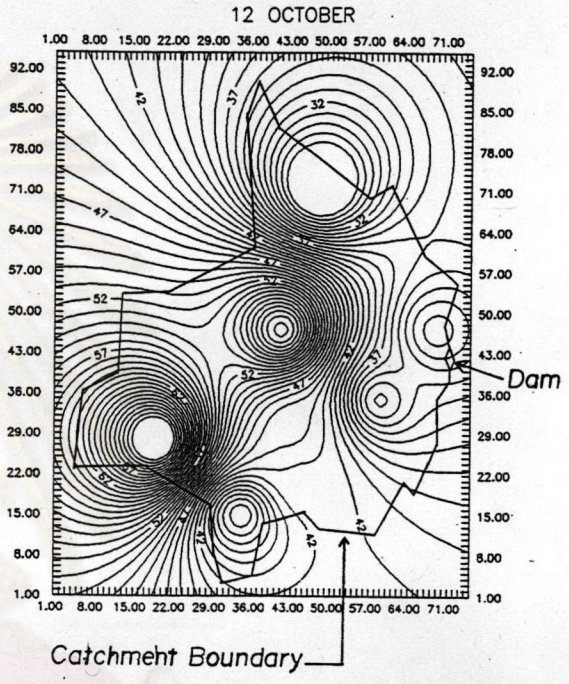
$T < t_{95\%}$ นั่นคือ $1.4558 < 2.2196$

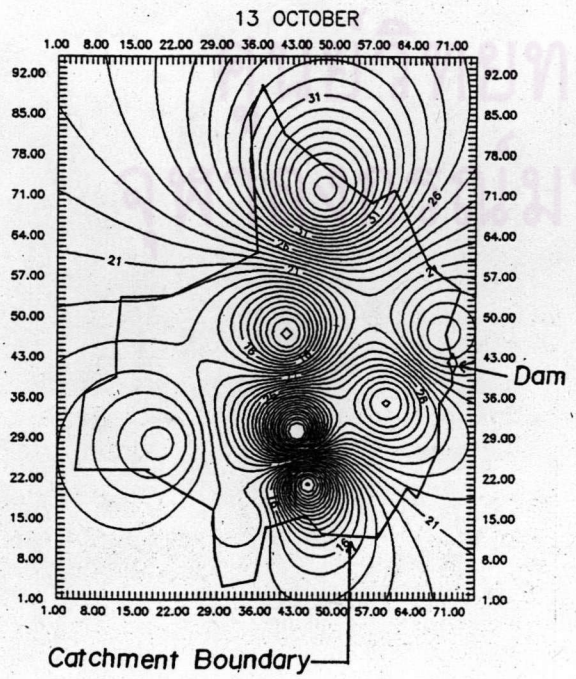
หมายถึงที่ 95% Level of Confidence แสดงให้เห็นว่า $\bar{X}_1$ กับ $\bar{X}_2$ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

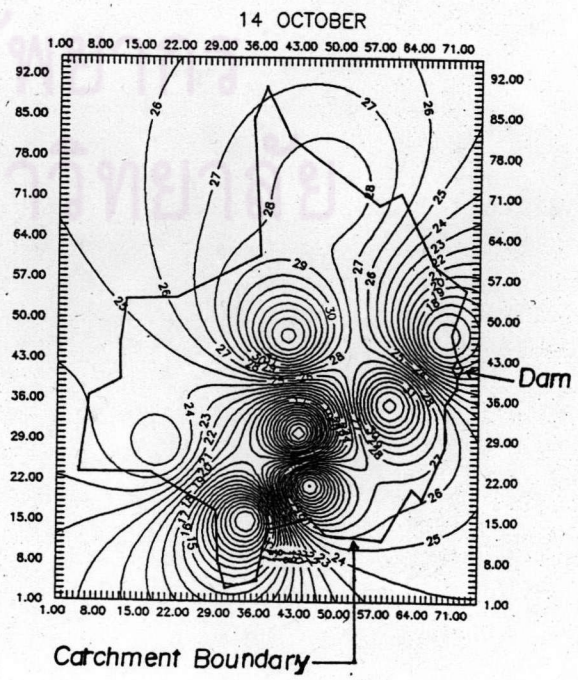
ภาคผนวก ง.

แสดงเส้นชั้นน้ำฝนปี 1988

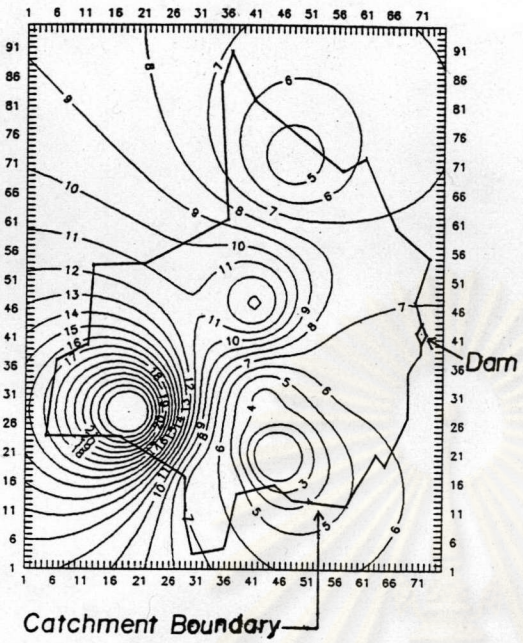




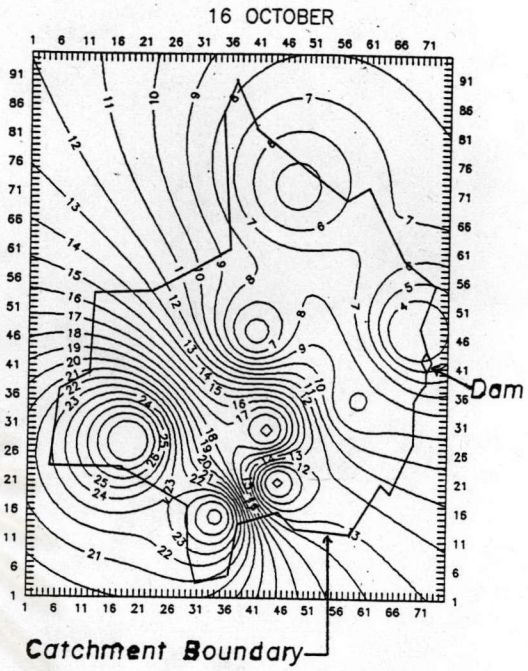




15 OCTOBER

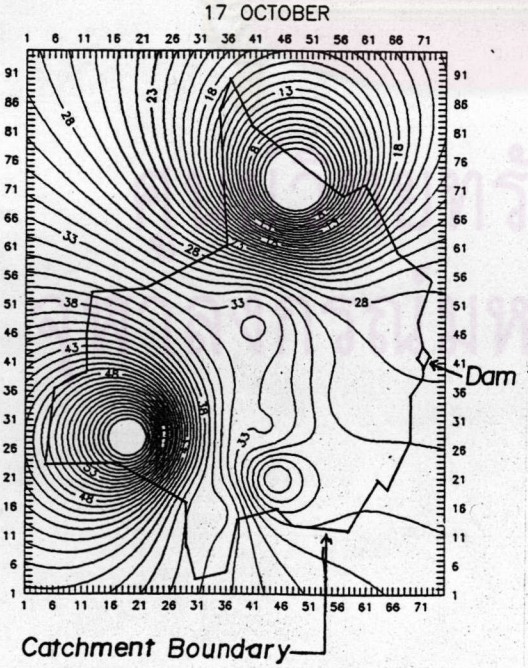


16 OCTOBER

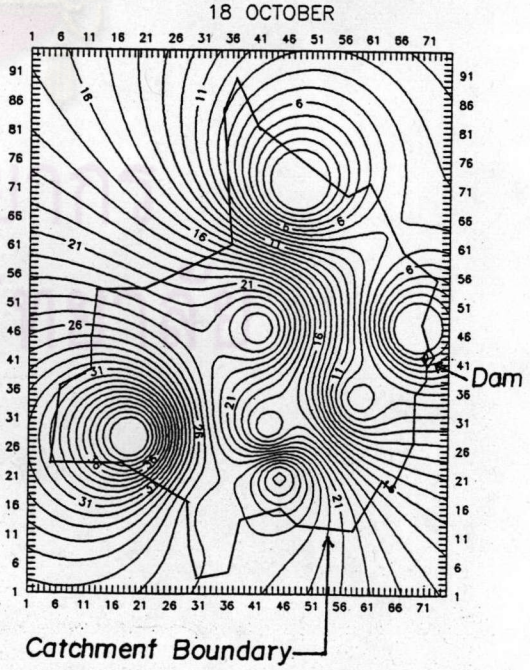


หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

17 OCTOBER



18 OCTOBER



ภาคผนวก จ.

ในการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์ไปประยุกต์ใช้ พบว่าปัญหาอย่างหนึ่งก็คือไม่สามารถทราบค่าปริมาณน้ำฝนล่วงหน้าเพื่อทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้าได้ จึงเสนอวิธีการพยากรณ์ปริมาณฝนล่วงหน้าแบบ 1-2-3-และ4-Day Average สำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า โดยที่วิธีการพยากรณ์ปริมาณฝนแบบต่างๆเหล่านี้ มิใช่เพื่อจุดประสงค์จะให้การพยากรณ์ปริมาณฝนใกล้เคียงกับปริมาณฝนที่จะเกิดขึ้นจริง แต่เพื่อผลการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้าที่ใกล้เคียงกับค่าวัดจริง การพยากรณ์ปริมาณฝนแบบ 1-2-3-และ4-Day Average แสดงด้วยสมการได้ดังนี้

$$R_0 = \left[\sum_{i=1}^{N} R_{-i} \right] / N$$

โดยที่ R_0 = ปริมาณฝนจากการพยากรณ์ล่วงหน้า (mm/day)

R_{-i} = ปริมาณฝนจากค่าวัดจริง (mm/day)

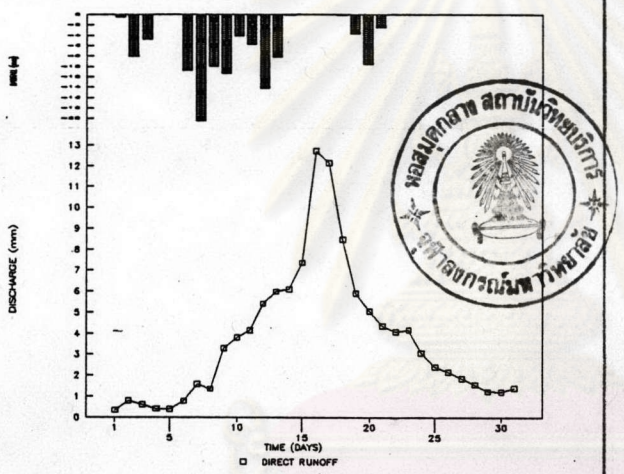
N = จำนวนวันที่นำมาพิจารณา การพยากรณ์ฝนล่วงหน้า เช่น 1-Day Average และ 2-Day Average ดังนั้น N = 1 และ 2 ตามลำดับ

รายละเอียดการคำนวณแสดงในรูป 5.1

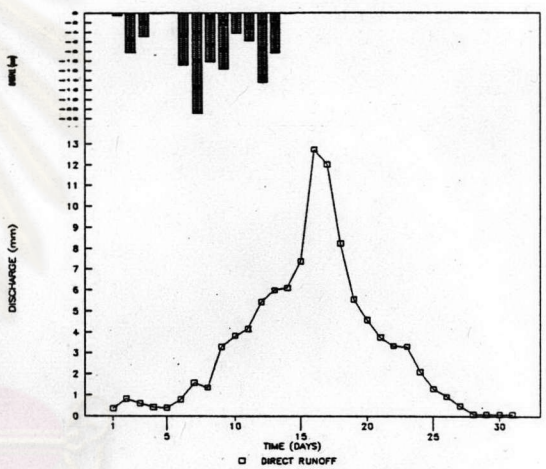
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ.

จากข้อมูลปี 1988 พบว่ามีช่วงฝนตกอยู่ 2 ช่วง ดังรูป ฉ1 และถ้าหากแยก Base Flow ออกให้เหลือน้ำท่าจากน้ำฝนเพียงช่วงเดียว จะได้ดังรูป ฉ2 วิธีการแยก Base Flow ดูรายละเอียดได้จาก (Ray K.L.,Max A.K. and Joseph L.H.P.,1984) เมื่อได้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าตามเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว นำข้อมูลไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง NLSFM และ Kalman Filter Model ได้ผลเปรียบเทียบการคำนวณดังตาราง



รูป ฉ1



รูป ฉ2

	RMSE		Error Qp(%)		Tp	
	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN	NLSFM	KALMAN
1988	5.0837	2.2994	13.27	-2.59	-8	+1
1988*	4.1762	1.5407	-8.32	4.86	-7	+1

* ผลการคำนวณจากการแยกฝนและ Base Flow โดยให้เหลือฝนและน้ำท่าลูกเดียว

ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ นาย อรรถนันท์ เล็กอุทัย

เกิด 19 มีนาคม พ.ศ.2510 , กรุงเทพ

การศึกษา พ.ศ. 2531 สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)
ภาควิชา วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2532 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.)
สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย