การพัฒนาสโตคลาสติกโมเดลสำหรับปริมาณการไหลของน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง

Development of Stochastic Model for Streamflow of Mae Klong River Basin

ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์ [1]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสโตคลาสติกโมเดลสำหรับสังเคราะห์ปริมาณการไหลของน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง ทั้งปริมาณน้ำรายปีและรายเดือน โดยใช้หลัก 'Key Stations' และ 'Sub-Stations' โดยพิจารณาเลือกสถานีวัดน้ำ 6 สถานี จากทั้งหมด 52 สถานี ในลุ่มน้ำแม่กลอง ซึ่งมีข้อมูลยาวนานกว่า 20 ปี การสังเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ ขั้นที่ 1 ใช้ Lag One Autoregressive Model สำหรับสังเคราะห์ข้อมูลรายปีที่ Key Station ขั้นที่ 2 แตกข้อมูลรายปีที่ Key Stations เป็นข้อมูลรายปีที่ Substations โดยใช้ Key-Substation Disaggregation Model และขั้นสุดท้ายแตกข้อมูลรายปีที่ Substations ต่างๆ เป็นข้อมูลรายเดือน โดยใช้ Annual-Seasonal Disaggregation Model การเลือก 'Key Station' และ 'Substations' พิจารณาจาก Cross Correlation Matrix และระบบโครงข่ายลำน้ำเป็นสำคัญ ผลการสังเคราะห์ข้อมูลพบว่า Mean และ Standard Deviation ของข้อมูลที่สังเคราะห์มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับข้อมูลที่บันทึกไว้

คำนำ

โดยธรรมชาติปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ในแต่ละเดือน ฤดูกาล และแต่ละปี ในลักษณะที่ไม่สามารถจะคาดคะเนให้ถูกต้องแน่นอนได้ มนุษย์จึงพยายามที่จะควบคุมความแปรปรวนของปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำ โดยการสร้าง

---

[1] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เขื่อนกักเก็บน้ำ (อ่างเก็บน้ำ) เพื่อให้สามารถนำน้ำมาใช้ประโยชน์ตามความต้องการต่าง ๆ ทางด้านท้ายน้ำในเวลาที่ต้องการและในปริมาณที่ต้องการ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำยังเป็นสิ่งที่อยู่นอกเหนือการควบคุม ดังนั้นถ้าปราศจากความรู้เกี่ยวกับลักษณะความแปรปรวนของปริมาณการไหลของน้ำดังกล่าว ย่อมไม่สามารถใช้น้ำให้เกิดประโยชน์ได้เท่าที่ควร

ยกตัวอย่างในการออกแบบอ่างเก็บน้ำ ถ้าผู้ออกแบบคาดคะเนเกี่ยวกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในอนาคตผิดพลาด ย่อมทำให้ออกแบบขนาดความจุอ่างเก็บน้ำผิดพลาด เช่น อ่างเก็บน้ำอาจมีขนาดเล็กเกินไป ปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้เพียงพอสำหรับความต้องการต่าง ๆ ในปีที่แล้งมาก แต่ในช่วงฤดูฝนกลับต้องปล่อยให้น้ำไหลล้นอ่างทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ ในทำนองเดียวกัน สำหรับการจัดการแหล่งน้ำ ถ้าผู้จัดการแหล่งน้ำคาดคะเนเกี่ยวกับปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำในแต่ละเดือนหรือในรอบปีผิดพลาด ย่อมไม่สามารถวางแผนการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติและพัฒนาโมเดลทางสโตคลาสติก สำหรับปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่กลอง ให้สามารถนำไปใช้ในการสังเคราะห์ข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำทั้งรายเดือนและรายปี

การตรวจเอกสาร

Salas and Smith (1980 b) เสนอแนะ Systematic Approach ในการโมเดลอนุกรมเวลาทางอุทกวิทยา ซึ่งประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้

(1) หาส่วนประกอบของโมเดล (Model Composition)

(2) เลือกประเภทของโมเดล

(3) หารูปแบบของโมเดล

(4) ประเมินพารามิเตอร์

(5) ตรวจสอบความเหมาะสม (Goodness of Fit) ของโมเดล

(6) ประเมินความไม่แน่นอน (Uncertainties) ของโมเดล

Lane, W.L and D.K. Frevert (1990) เสนอแนะการใช้ Autoregressive Model ร่วมกับ Two Stages Disaggregation Model ในการสังเคราะห์ข้อมูล ปริมาณการไหลของน้ำรายฤดูกาล โดยการกำหนดโครงสร้างโมเดลตามหลัก 'Key Stations' และ 'Substations' Key Stations คือสถานีที่มีความสำคัญเช่น สถานีที่มีปริมาณน้ำจาก Substations หลาย ๆ สถานีไหลมาร่วมกัน การวิเคราะห์ข้อมูลที่ Key Stations จะแยกเป็นอิสระจาก Substations ส่วนการวิเคราะห์และการสังเคราะห์ข้อมูลที่ Substations จะพิจารณาถึงสหสัมพันธ์ (Intercorrelation) ระหว่าง Key และ Substations ซึ่งจะมีผลทำให้การสังเคราะห์ข้อมูลที่ Substations ทำได้ง่ายและมีความถูกต้องยิ่งขึ้นเช่น ผลรวมของ Substations ใกล้เคียงกับค่าของ Key stations

ในการสังเคราะห์ (Generate) ปริมาณการไหลของน้ำรายเดือนของสถานีต่าง ๆ ในลุ่มน้ำจะเริ่มจากการสังเคราะห์ปริมาณน้ำรายปีที่ Key Stations เป็นอันดับแรก แล้วจึง Disaggregate ปริมาณการไหลของน้ำรายปีจาก Key Station ไปยัง Substations ขั้นสุดท้ายจึง Disaggregate ปริมาณการไหลของน้ำรายปีที่สถานีต่าง ๆ ให้เป็นปริมาณการไหลของน้ำรายเดือน

รูปแบบสโตคลาสติกโมเดลที่ใช้ในการศึกษา

ในการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำรายปีและรายเดือนของสถานีต่าง ๆ ในลุ่มน้ำ จะพิจารณาแบ่งสถานีออกเป็น 'Key Stations' และ 'Substations' ตามแนวความคิดของ Lane, W.L. and D.K. Frevert (1990) ซึ่งรูปแบบของสโตคลาสติกโมเดลที่ Key Station และรูปแบบของ Disaggregation Models ที่เลือกใช้คือ

1. Key Station Generation-Annual
   (1) Lag one AR Model

$$x_i = AX_{i-1} + Ce_i \quad \text{..... (1)}$$

   (2) Lag two AR Model

$$x_i = AX_{i-1} + BX_{i-2} + Ce_i \quad \text{..... (2)}$$

2. Key to Substation Disaggregation-Annual

$$N_i = DK_i + Ef_i + FN_{i-1} \quad \text{..... (3)}$$

3. Annual to Seasonal Disaggregation

$$M_i = GN_i + Hg_i + IM_{i-1} \quad \text{..... (4)}$$

4. Transformation of Generated Data

$$Q_i = T_r(N_i) \quad \text{..... (5)}$$

$$S_i = T_r(M_i) \quad \text{..... (6)}$$

5. Adjustment of Generated Data

$$Q_i = J\,S_i \quad \text{..... (7)}$$

เมื่อ x_i = Normalized Key Station Annual Data Matrix (d1 x 1) ของปีที่ i และ d1 คือจำนวน Key Station ใน Current Key Station Generation Group

K_i = Normalized Key Station Annual Data Matrix (d6 x 1)

N_i = Normalized Annual Data Matrix ของปีที่ i

N_i ในสมการ (3) มีขนาด (d2 x 1) เมื่อ d_2 คือจำนวน Substation ใน Current Key to Substation Generation Group

N_i ในสมการ (4) มีขนาด (d3 x 1) เมื่อ d3 คือจำนวน Station ใน Current Annual to Seasonal Generation Group

N_i ในสมการ (5) มีขนาด (1 x 1)

M_i = Normalized Seasonal Data Matrix ของปีที่ i

M_i ในสมการ (4) มีขนาด (d4 x 1) เมื่อ d4 คือจำนวน Station คูณด้วยจำนวน Season ใน Current Annual to Seasonal Generation Group

M_i ในสมการ (6) มีขนาด (d5 x 1) เมื่อ d5 คือจำนวน Season ใน 1 ปี

Q_i = Annual Data Matrix (1x 1) ของปีที่ i

S_i = Seasonal Data Matrix (d5 x 1) ของปีที่ i

A = Coefficient Matrix (d1 x d1)

B = Coefficient Matrix (d1 x d1)

C = Coefficient Matrix (d1 x d1)

D = Coefficient Matrix (d2 x d6) เมื่อ d6 คือจำนวน Key Station ใน Current Key To Substation Generation Group

E = Coefficient Matrix (d2 x d2)

F = Coefficient Matrix (d2 x d2)

G = Coefficient Matrix (d4 x d3)

H = Coefficient Matrix (d4 x d4)

I = Coefficient Matrix ($d_4 \times d_4$)

J = Coeficient Matrix ($1 \times d_5$)

T_r = Transformantion Function

e_i = Column Matrix ของ Random Normal Numbers ($d_1 \times 1$) ซึ่งมี Mean เท่ากับ 0 และ Variance เท่ากับ 1

f_i = Column Matrix ของ Random Normal Number ($d_2 \times 1$) ซึ่งมี Mean เท่ากับ 0 และ Variance เท่ากับ 1

q_i = Column Matrix ของ Random Normal Numbers ($d_4 \times 1$) ซึ่งมี Mean เท่ากับ 0 และ Variance เท่ากับ 1

LAST (Lane Applied Stochastic Techniques) PC Version 5.2 สามารถใช้หาพารามิเตอร์ของสโตคลาสติกโมเดลดังกล่าวตลอดจนใช้สังเคราะห์ข้อมูลรายปีและรายเดือนที่ต้องการได้ โดยผู้ใช้ต้องเป็นผู้กำหนดโครงสร้างและรายละเอียดของสโตคลาสติกโมเดลที่ต้องการ

การเลือกโครงสร้างของสโตคลาสติกโมเดลของลุ่มน้ำแม่กลอง

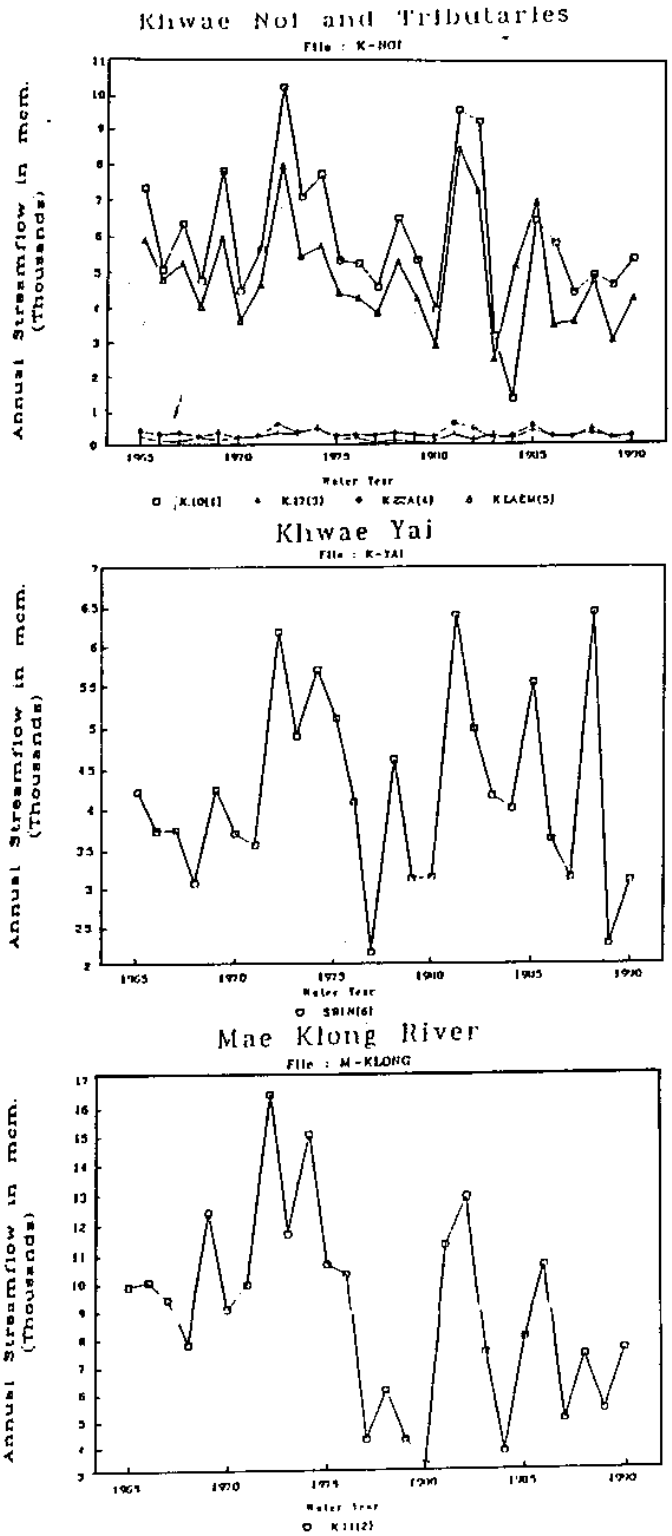
ลุ่มน้ำแม่กลองเริ่มมีการวัดน้ำตั้งแต่ปี ค.ศ. 1952 และมีสถานีตรวจวัดน้ำทั้งที่เลิกใช้แล้วและที่กำลังใช้อยู่ในปัจจุบัน 52 สถานี แต่จากการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นพบว่ามีเพียง 6 สถานีเท่านั้นที่มีข้อมูลปริมาณการไหลต่อเนื่องยาวเกินกว่า 20 ปี ซึ่งได้แก่

สถานี	ลำน้ำ/แม่น้ำ	ระยะเวลาที่ตรวจวัดข้อมูล
K. 10	แควน้อย/แม่กลอง	1965-1990
K. 11	แม่กลอง	1965-1989
L. 17	ลำพาชี/แควน้อย	1966-1988, 1990
K. 22A	ห้วยแม่น้ำน้อย/แควน้อย	1969-1988, 1990
K. LAEM*	แควน้อย/แม่กลอง	1965-1990
SRI.N*	แควใหญ่/แม่กลอง	1952-1990

ในการวิเคราะห์ปริมาณการไหลของน้ำในลุ่มแม่น้ำแม่กลองโดยใช้สโตคลาสติกโมเดลที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 4 จะพิจารณาใช้ข้อมูลจาก 6 สถานีดังกล่าว

เนื่องจากสโตคลาสติกโมเดลที่ใช้ต้องการข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำรายเดือนที่มีช่วง

*K.LAEM และ SRI.N หมายถึงสถานีวัดน้ำที่เขื่อนเขาแหลมและเขื่อนศรีนครินทร์ ของ กฟผ.



รูปที่ 1 อนุกรมปริมาณการไหลของน้ำรายปี 6 สถานี ในลุ่มแม่น้ำแม่กลอง

ระยะเวลาเท่ากันทุกสถานี จึงพิจารณาให้เลือกใช้ข้อมูลระหว่างปี 1965 ถึง 1990 เพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อย่างไรก็ตาม บางสถานีเช่น K.11, K.17 และ K.22A มีข้อมูลที่ขาดหายไปบางปี

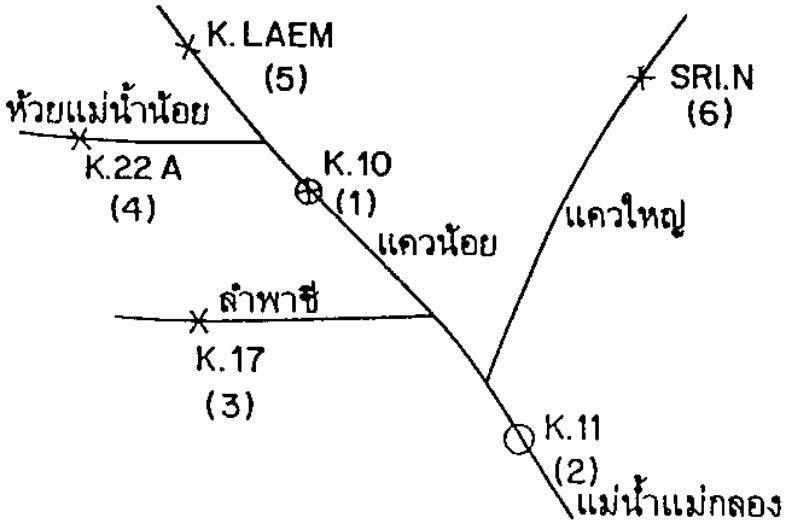
การวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อหาข้อมูลที่ขาดหายไป เพื่อทำให้ข้อมูลของทุกสถานีเท่ากัน คือ ระหว่าง 1965-1990 ทำโดยอาศัยความสัมพันธ์ของข้อมูลรายปีของแต่ละสถานี โดยวิธี Multiple Linear Regression (วราวุธ. 2530)

อนุกรมปริมาณการไหลของน้ำรายปีของทั้ง 6 สถานี แสดงอยู่ในรูปที่ 1

ลักษณะโครงข่ายลำน้ำของลุ่มน้ำแม่กลองและตำแหน่งสถานีวัดน้ำทั้ง 6 แสดงอยู่ในรูปที่ 2 และเพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์ในรายละเอียดต่อไปจึงกำหนดหมายเลขสถานีวัดน้ำทั้ง 6 แห่ง ดังตาราง

สถานีวัดน้ำ	หมายเลขสถานี
K.10	1
K.11	2
K.17	3
K.22A	4
K.LAEM	5
SRI.N	6

จากวิเคราะห์ระบบโครงข่ายลำน้ำ (Stream Network) ในรูปที่ 2 และ Cross Correlation Matrix ของปริมาณการไหลของน้ำทั้งรายปีและรายเดือนของทั้ง 6 สถานี สามารถกำหนดโครงสร้างของสโตคาสติกโมเดลสำหรับการสังเคราะห์ข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำของ 6 สถานี ในลุ่มน้ำแม่กลองได้ดังนี้ (วราวุธ. 2535)



รูปที่ 2 โครงข่ายลำน้ำของลุ่มน้ำแม่กลองและตำแหน่งของสถานีวัดน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. มี 1 Key Station Generation group โดยมีสถานี 2 (K.11) เป็น Key Station และใช้ AR (1) โมเดล (สมการที่ 1)

2. มี 2 Key-Substation Generation Groups ได้แก่

กลุ่มที่ 1 มี 4 สถานี 2(K.11), 1 (K.10), 3(K.17) และ 6(SRI.N) โดยมีสถานี 2 เป็น Key Station

กลุ่มที่ 2 มี 3 สถานี ได้แก่ 1(K.10), 4(K.22A) และ 5(K.LAEM) โดยมีสถานี 1 เป็น Key Station

3. มี 4 Annual-Seasonal Generation Groups ได้แก่

กลุ่มที่ 1 มี 1 สถานี ได้แก่สถานี 2 (K.11)

กลุ่มที่ 2 มี 1 สถานี ได้แก่สถานี 3 (K.17)

กลุ่มที่ 3 มี 1 สถานี ได้แก่สถานี 6 (SRI.N)

กลุ่มที่ 4 มี 3 สถานี ได้แก่สถานี 1 (K.10), 4(K.22A) และ 5(K.LAEM)

การประเมินหาพารามิเตอร์ของโมเดลและการสังเคราะห์ข้อมูล

ใช้ LAST PC Version 5.2 หาพารามิเตอร์ของโมเดลต่าง ๆ ซึ่งมีรูปแบบและโครงสร้างตามที่กล่าวถึงในหัวข้อ 4 และ 5 ได้ค่าพารามิเตอร์ดังแสดงในภาคผนวก

ใช้โปรแกรม FLWGEN สังเคราะห์ข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำรายเดือนของทั้ง 6 สถานี จำนวน 5 ชุด ๆ ละ 26 ปี (เท่ากับความยาวของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์) โดยกำหนด Lead-in Years เท่ากับ 10 ปี และกำหนดค่า Random Number Seed ให้ทำการทดสอบว่าข้อมูลสังเคราะห์มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับข้อมูลที่ได้บันทึกไว้หรือไม่ โดยการเปรียบเทียบ Mean และ Standard Deviation ของข้อมูลสังเคราะห์กับข้อมูลที่บันทึกไว้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ผลการเปรียบเทียบ Mean ของปริมาณการไหลของน้ำรายปีในตารางที่ 1 (1) ปรากฏว่า Mean ของข้อมูลสังเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับ Mean ของข้อมูลที่บันทึกไว้ ระหว่าง 1965-1990 มากทั้ง 6 สถานี ความแตกต่างระหว่าง Mean ส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน 10 % ยกเว้น Mean ของสถานี K.10, K.11 และ K.17 ของข้อมูลสังเคราะห์ชุดที่ 4 เท่านั้น

จากตารางที่ 1.2 (2) พบว่า Standard Deviation ของข้อมูลสังเคราะห์เฉพาะบางชุดและบางสถานีแตกต่างจาก Standard Deviation ของข้อมูล แต่ Standard Deviation ของข้อมูลสังเคราะห์บางชุดและบางสถานีไม่แตกต่างจาก Standard Deviation ของข้อมูลที่วัดได้

สรุป

การพัฒนาสโตคลาสติกโมเดลเพื่อสังเคราะห์ข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง ใช้หลัก "Key Station" และ "Substations" โดยพิจารณาเลือกสถานีวัดน้ำ 6 สถานี จาก 52 สถานี ในลุ่มแม่น้ำกลอง ในขั้นแรกใช้สถานี K.11 เป็น Key Station เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลรายปี โดยใช้ AR (1) Model ขั้นที่ 2 ทำการแตกข้อมูลรายปีที่ K.11 เป็นข้อมูลรายปีที่ K.10, K.17 และ SRI.N แล้วจึงแตกข้อมูลรายปีที่ K.10 เป็นข้อมูลรายปีที่ K.22A และ K.LAEM โดยใช้ Key-Substation Disaggregation Model และขั้นสุดท้ายคือการแตกข้อมูลรายปีของทั้ง 6 สถานีเป็นข้อมูลรายเดือน โดยใช้ Annual-Seasonal Disaggregation Model โดยพิจารณาแบ่งสถานีทั้ง 6 ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ K.11, K.17, SRI.N และ K.10-K.22A-K.LAEM

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบ Mean และ Standard Deviation ของปริมาณการไหลของน้ำรายปี ระหว่างข้อมูลที่บันทึกไว้ และข้อมูลสังเคราะห์ของน้ำที่ 6 สถานี

(1) Mean ของปริมาณการไหลของน้ำรายปี เป็น ลบ.เมตร

สถานี	ข้อมูลที่บันทึกไว้ ระหว่าง 1965-1990	ข้อมูลสังเคราะห์ ชุดที่ 1	ข้อมูลสังเคราะห์ ชุดที่ 2	ข้อมูลสังเคราะห์ ชุดที่ 3	ข้อมูลสังเคราะห์ ชุดที่ 4	ข้อมูลสังเคราะห์ ชุดที่ 5
K.10	5831.7	5704.9	5943.8	6480.3	4975	5898.5
		(-2.17 %)	(1.92 %)	(11.12 %)	(-14.69%)	(1.15 %)
K.11	8726.2	8801.6	9127.8	9236.5	6407.5	9047.2
		(0.86 %)	(4.60 %)	(5.85 %)	(-26.57%)	(3.68%)
K.17	200.8	218.5	184.2	195.4	274.9	198.2
		(8.81 %)	(-8.27%)	(-2.96%)	(36.90 %)	(-1.29 %)
K.22A	319.3	308.3	326.7	332.9	341.1	355.8
		(-3.45 %)	(2.32 %)	(4.26 %)	(6.83 %)	(11.43 %)
K.LAEM	4892.2	4755.2	5012.7	5053.3	4924.5	5388.4
		(-2.80 %)	(2.46 %)	(3.29 %)	(0.66 %)	(10.14 %)
SRI.N	4176.9	4170.7	4073.1	4246.3	4622.5	4215.9
		(-0.15 %)	(-2.49 %)	(1.66 %)	(10.67 %)	(0.93 %)

(2) Standard Deviation ของปริมาณการไหลของน้ำรายปี เป็น ลบ.เมตร

สถานี	ข้อมูลที่บันทึกไว้ ระหว่าง 1965-1990	ข้อมูลสังเคราะห์ ชุดที่ 1	ข้อมูลสังเคราะห์ ชุดที่ 2	ข้อมูลสังเคราะห์ ชุดที่ 3	ข้อมูลสังเคราะห์ ชุดที่ 4	ข้อมูลสังเคราะห์ ชุดที่ 5
K.10	1976	1622.3	2025.3	1959.4	226.4	2153.5
		(-17.90 %)	(2.49 %)	(-0.84 %)	(-88.54 %)	(8.98 %)
K.11	3428.5	1893.4	2505.7	2617.8	2812.1	4424.8
		(-44.77 %)	(-26.92 %)	(-23.65 %)	(-17.98 %)	(29.06 %)
K.17	119.7	150	70.5	123.8	133.7	122.3
		(25.31 %)	(-41.10 %)	(3.43 %)	(11.70 %)	(2.17 %)
K.22A	125.6	100.1	119.4	147.7	120.1	193
		(-20.30 %)	(-4.94 %)	(17.60 %)	(-4.38 %)	(53.66 %)
K.LAEM	1497.3	1192.8	1458.3	1709.8	1085.6	2312.9
		(-20.34 %)	(-2.60 %)	(14.19 %)	(-27.50 %)	(54.47 %)
SRI.N	1188.3	1207.5	887.2	1179.6	1514.9	1120.6
		(1.62 %)	(-25.34 %)	(-0.73 %)	(27.48 %)	(-5.70 %)

(หมายเหตุ : ค่าในวงเล็บคือ % ความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่บันทึกไว้กับข้อมูลสังเคราะห์)

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ Mean และ Standard Deviation ของข้อมูลที่วัดได้กับข้อมูลสังเคราะห์ พบว่า Mean ไม่แตกต่าง Standard Deviation ส่วนใหญ่ไม่แตกต่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้อมูลสังเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษารูปแบบจำลองของลุ่มน้ำภายใต้ความไม่แน่นอน หรือเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์หาโอกาสความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ในอนาคตได้

เอกสารอ้างอิง

1. วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2535). การพัฒนาสโตคลาสติกโมเดลสำหรับปริมาณการไหลของน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง รายงานโครงการวิจัย คณะกรรมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. Lane, W.L. and D.K. Frevert (1990), Applied Stochastic Techniques, Personnal Computer Version 5.2, User' s Manual, Bureau of Reclamation, Us. Department of The Interior, Denver, Colorado.

3. Salas, J.D. and R.A. Smith (1980b), Uncertainties in Hydrologic Time Series Analysis, Paper Presented at ASCE Spring Meeting, Portland, Oregon.

ภาคผนวก

พารามิเตอร์ (Coefficient Matrices) ของสโตคลาสติกโมเดล

Model	Coefficient Matrices	Parameters					
Key Station Generation	A	.3901					
	B	3157.					
Key–Sub. Generation		Group No. 1			Group No.2		
	D	.4982 .9942E-04 .6098E-04			.3961E-04 .3412E-04		
	E	1104. -.1282 -.1354E-02	.0000 .4905 .1088	.0000 .0000 .1838	.3392 .2637	.0000 .8605E-01	
	F	-.9604E-01-614.0 -.1018E-03-.1293 -.2163E-04-.6007E-01-.4357E-01	-428.6 .6545	-.3180 -.1559	.3100 .3480E-01		
Annual–Seasonal Generation		Goup No. 1	Group No.2	Group No.3	Group No.4		
	G1	-.2187E-02	.1447	14.17	.2379E-03-1.843 -.4471E-04 1.654 -.1418E-03 .7748		.4492E-01 -1.831 .3139
	H1	144.3	.3986	20.57	.5198 -.1058 .7267E-10	.0000 1.033 .3678E-01	.0000 .0000 .1735
	I1	.8623	.4488	.2080	.6547 .9082E-01 .5590E-01	-8917E-01 .3708 .5589E-01	-.3218E-02 -.1142E-01 -.1611E-02
	G2	.1695E-02	.2860	.2168E-01	-8943E-04 -1211E-03 .1058E-04	1.624 1.712 2.690	-1.013 -7785 -2.721
	H2	84.85	.6245	.4340	.2203 2170 .2286	.0000 .3233 .1683	.0000 .0000 .2100
	I2	1.063	.6382	.7548E-02	.8951 .1865 .3159	.6516E-01 .3022 .3620E-02	.7815 -.4188 .4535

พารามิเตอร์ของสโตคลาสติกโมเดล (ต่อ)

G3	.6646E-01	.4673	.9041	.1992E-03	.3867	1.093
				-.2267E-03	1.259	1.584
				-.1069	648.1	618.5
H3	278.4	.7379	.3524	.4736	.0000	.0000
				.2326	.2901	.0000
				129.5	31.83	97.23
I3	.9464	.4370	3.005	.5654	-.1337	-.4549E-01
				.3733	-.4083	.5867E-01
				123.1	-208.5	76.33
G4	.1665	.1690	271.3	.2986	-738.4	539.6
				.4159E-03	-1.287	-.2097
				.1937	-696.0	706.3
H4	513.4	.5783	148.3	423.9	.0000	.0000
				.2480	.4919	.0000
				353.6	18.01	125.2
I4	-.1012	.3428	113.9	-127.2	-259.1	1.069
				-.4207	-.1545E-01	.1844E-02
				-107.7	-233.4	1.201
G5	.2023E-03	.2193	.6296	.2965	-1077.	29.45.
				.1183E-04	.1831	1.606
				.1317	-743.1	2878.
H5	.5855	.6249	.3209	314.7	.0000	.0000
				-.3369E-01	.3621	.0000
				190.6	41.70	181.5
I5	-.6267E-04	.3187	.5067E-03	1.753	27.25	-2.711
				.6140E-03	.8645	.-1719E-02
				.2530	147.2	-1.081
G6	.1350	.9090	.8676	-.6046E-10	1612.	-658.8
				-.4307E-04	1.371	-.4725
				-.8566E-01	563.3	407.0
H6	444.2	.4368	.2037	279.4	.0000	.0000
				.1505	.2264	.0000
				203.6	35.17	119.7
I6	290.8	.2042	.9974.E-01	.4232	-168.6	-.4167
				.4917E-04	.3798	-.4220E-03
				.1304	-152.3	-.1185

พารามิเตอร์ของสโตคลาสติกโมเดล (ต่อ)

G7	.1325	1.107	1.623	.3358E-01	12.64	55.44
				-.4408E-04	3.019	-2.134
				-.9155E-02	-37.29	279.4
H7	480.5	.4255	2.685	215.2	.0000	.0000
				.1157	.2443	.0000
				162.0	35.38	68.55
I7	.1418	-.5946E-10	-.4234	.5037	-99.12	-.5987
				.1277E-04	-1.009	.5769E-03
				.2124E-01	-3.399	-.1694
G8	.6022E-01	2.123	1.135	.4428E-01	186.1	-331.4
				.4530E-05	-.7819	.9862
				-.3702E-02	132.1	-74.22
H8	262.5	.5715	.3273	68.27	.0000	.0000
				.5908E-01	.1953	.0000
				22.35	8.065	24.62
I8	.1754	-.6973	.2424	-.5324E-01	-31.15	.2506
				-8492E-04	1.300	-.6559E-03
				.2586E-01	-29.02	.1518
G9	.3690E-01	.5308	76.00	-.1181E-03	.5091	.3313
				.6893E-05	.2535	.4110
				-.8792E-02	4.839	256.5
H9	118.7	.5271	26.89	.2751	.0000	.0000
				.3392E-03	1100	.0000
				-30.70	53.94	164.8
I9	.1993E-01	.4115	83.92	.2724E-02	-.1042	-.3055E-02
				.1363E-04	.5568	.4125E-03
				.6915	-5.379	.1701
G10	-.1346E-01	.4369	40.18	.5339E-04	-.1771	-.2564
				-.1119E-04	.3139	-.9099E-01
				-.3045E-03	12.07	7.144
H10	80.06	.2832	20.80	.2661	.0000	.0000
				.1688E-01	.1429	.0000
				-2.189	2.119	11.74
I10	.7592	.2703	.3969	1.130	.2107E-01	-.1454E-03
				.8671E-01	.3301	.1966E-03
				-5.924	1.048	.3241E-01

พารามิเตอร์ของสโตคลาสติกโมเดล (ต่อ)

	G_{11}	-.2460E-02	-.4387E-01	-8.052	.3061E-04	-.2489
					-.4283E-04	.1271
					-.7292E-04	8.986
	H_{11}	52.75	.2210	13.96	.1709	.0000
					.2379E-01	.1087
					-1.320	-.6048
	I_{11}	.5370	.8575	.3509	1.406	-.2550
					.1396	.8149
					-2.880	6.932
	G_{12}	-.6571E-02	-.3532E-01	6.671	-.5182E-04	-.1801
					.2367E-03	-.3908
					.2434E-02	-2.294
	H_{12}	118.0	.2058	11.93	.1218	.0000
					-.6829E-01	.6410
					-4.277	.7674
	I_{12}	1.401	.9369	.6480	1.338	-.1471
					-.1389	6.222
					-5.185	6.582

.1723		
.3830E-01		
-7.343		
.0000		
.0000		
5.144		
.1231E-02		
.2019E-02		
.4876		
.5366		
-.6819		
-1.553		
.0000		
.0000		
11.38		
-.5210E-03		
-.6588E-02		
.2092		