

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำซี และที่ราบริมฝั่ง*

วินัย ศรีอำพร¹⁾ และ กิตติเวช ชันดิยวิชัย²⁾

¹⁾ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัด
ขอนแก่น 40002

²⁾ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Email: winsri@mail.kku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำซีและที่ราบริมฝั่ง โดยการสร้างแบบจำลองของลุ่มน้ำซีด้วยซอฟต์แวร์ InfoWorks RS แล้วสอบเทียบแบบจำลองในช่วงต้นฤดูฝนซึ่งมีการไหลอยู่เฉพาะภายในลำน้ำ โดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำแบบลองผิดลองถูกในการจำลองสภาพลุ่มน้ำ จนกระทั่งได้ผลการพยากรณ์การไหลจากแบบจำลองที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกไว้ของสถานีอุทกวิทยานั้นๆ ซึ่งแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ใช้ในการคำนวณนั้นเป็นตัวแทนของลำน้ำในช่วงที่พิจารณา โดยที่ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองประกอบด้วยผลการพยากรณ์การไหลรายวันและผลการวัดน้ำรายวันที่สถานีต่างๆ ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำ ข้อมูลสภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำที่อยู่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และผลการพยากรณ์การไหลจากลุ่มน้ำย่อยซึ่งคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีกับพื้นที่รับน้ำของแต่ละสถานีแล้วปรับค่ากับสถานีต้นน้ำ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ราบริมฝั่งลำน้ำซีได้มาจากการปรับค่าให้สอดคล้องตามลักษณะการใช้ที่ดินของแต่ละช่วงลำน้ำ ผลที่ได้จากการศึกษา นอกจากจะนำไปใช้ในการคำนวณการหลากผลการพยากรณ์การไหลไปตามลำน้ำซี แล้วยังสามารถประยุกต์วิธีการดังกล่าวไปใช้ได้กับลุ่มน้ำอื่นๆ ต่อไป

คำสำคัญ : สัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง, ลุ่มน้ำซี, InfoWorks RS, การคำนวณการหลาก

* รับผิดชอบฉบับเมื่อวันที่ 17 มิถุนายน 2548 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม 2548

Determination of Roughness Coefficient of Chi River and Its Flood Plain *

Winai Sri-Amporn ¹⁾ and Kittiwet Kuntiyawichai ²⁾

¹⁾ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

²⁾ Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

Email: winsri@mail.kku.ac.th

Abstract

A determination of Manning's roughness coefficient (Manning's n) of Chi River and its flood plain is presented. The Chi River basin model was created by using the InfoWorks RS software. The model calibration was then carried out by varying the Manning's n of the river, by trial and error, until the calculated discharge hydrograph coincided with the recorded discharge data. Therefore, the obtained Manning's n was the most proper value for the river reach. The required input data for the model were including stage and discharge hydrograph at various stations along the river, discharge hydrograph from each sub-basin, the stream cross-sections, ground model which was created from GIS data base. The discharge hydrograph from each sub-basin was generated from the relationship between averaged annual stream flow and the watershed area of stream gauging stations in the basin. The relationship was then adjusted by a correction factor and multiplied with a discharge hydrograph at the specified index station to achieve a daily discharge hydrograph. Besides, the Manning's n of the flood plain was calculated and weighted corresponding to its land use. The results of this study could not only be used for flood routing in the Chi River basin but also be applied for determining the Manning's n of other river basins.

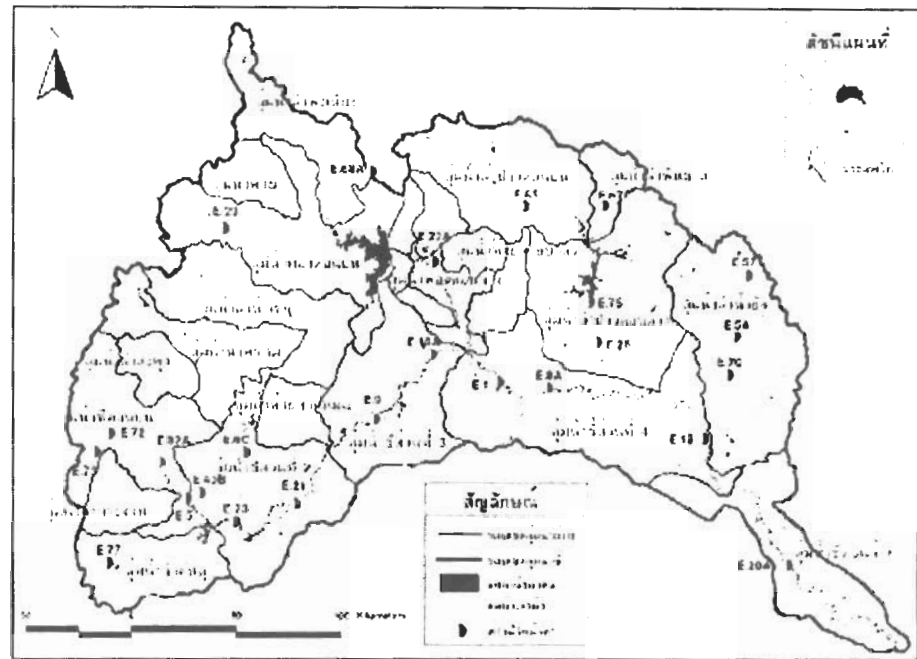
Keywords : Manning's roughness coefficient, Chi River basin, InfoWorks RS, Flood routing

* Original manuscript submitted: June 17, 2005 and Final manuscript received: August 11, 2005

บทนำ

การคำนวณการหลาก (Flood routing) ของชลภาพอัตราการไหล (Discharge hydrograph) ไปตามลำน้ำเป็นส่วนที่สำคัญในการจำลองสภาพทางชลศาสตร์ของลุ่มน้ำ โดยใช้วิธีการเชิงตัวเลขในการแก้สมการของ Saint Venant ซึ่งตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการคำนวณมากคือค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง (Manning's roughness coefficient) โดยที่การหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำจะต้องใช้วิธีการลองผิดลองถูกในการปรับเทียบแบบจำลองกับข้อมูลชลภาพอัตราการไหลที่มีการบันทึกไว้ บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบเตือนภัยของลุ่มน้ำชี ซึ่งนำเสนอวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำชีและที่ราบริมฝั่งลำน้ำ โดยการสร้างแบบจำลองของลุ่มน้ำชีด้วยซอฟต์แวร์ InfoWorks RS เพื่อนำผลลัพธ์ไปใช้ในการคำนวณการหลากของชลภาพอัตราการไหลในลุ่มน้ำชีต่อไป

ลุ่มน้ำชีมีพื้นที่ประมาณ 49,477 ตารางกิโลเมตร อยู่ระหว่างเส้นรุ้ง $15^{\circ} 30' N$ ถึง $17^{\circ} 30' N$ และเส้นแวง $101^{\circ} 30' E$ ถึง $104^{\circ} 30' E$ ครอบคลุมพื้นที่ 14 จังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำชีจะมีเนินเขาสูงทางด้านทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบถึงลูกคลื่นลอนลาด แม่น้ำชีเป็นลำน้ำสายหลักของลุ่มน้ำซึ่งมีความยาวประมาณ 1,000 กิโลเมตร มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาเพชรบูรณ์ซึ่งเป็นต้นน้ำของลุ่มน้ำป่าสักกับลุ่มน้ำชี โดยไหลจากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออก มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติเฉลี่ยประมาณปีละ 11,244 ล้านลูกบาศก์เมตร ภายในลุ่มน้ำชีมีสถานีอุทกวิทยาจำนวน 70 สถานี ซึ่งอยู่ในลุ่มน้ำชีตอนบน 27 สถานี ในลุ่มน้ำชีตอนล่าง 11 สถานี ในลุ่มน้ำพอง 17 สถานี ในลุ่มน้ำลำปาว 9 สถานี และในลุ่มน้ำยัง 6 สถานี โดยมีตำแหน่งของสถานีดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนที่ลุ่มน้ำแสดงขอบเขตของลุ่มน้ำย่อย และตำแหน่งที่ตั้งของสถานือทวิทยา

หลักการทำงานของ InfoWorks RS

InfoWorks RS เป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นโดย Wallingford Software Ltd. UK เพื่อใช้ในการจำลองสภาพการไหลแบบคงตัว (Steady flow) และการไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady flow) ในทางน้ำเปิด โดยมีพื้นฐานจากสมการ Saint-Venant และใช้วิธีการเชิงตัวเลข Preissmann's Implicit Finite-Difference แบบ Weighted Four-Point Implicit ในการหาผลเฉลย ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้คือชลภาพ อัตราการไหลที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของลำน้ำ ข้อมูลรูปตัดขวางของลำน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำและที่ราบริมฝั่ง และแบบจำลองลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำ (Ground Model) โดยมีชลภาพอัตราการไหลที่สถานีเหนือหน้าเป็นสภาพขอบเขตทางด้านเหนือหน้า และมีความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับระดับน้ำ (Rating curve) หรือชลภาพระดับน้ำ (Stage hydrograph) ที่สถานีท้ายน้ำของช่วงลำน้ำที่พิจารณา เป็นสภาพขอบเขตทางด้านท้ายน้ำ การทำงานของ InfoWorks RS มีสมการที่เกี่ยวข้องพอสรุปได้ดังนี้ (กิตติเวช, 2547)

1) การไหลแบบไม่คงตัวในทางน้ำเปิด เป็นสมการการไหลในลำน้ำธรรมชาติแบบไม่คงตัว 1 มิติ โดยมีพื้นฐานมาจากสมการ Saint-Venant ดังนี้

(1) สมการสภาพต่อเนื่อง

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (1)$$

โดยที่ Q คืออัตราการไหลในลำน้ำ, x คือระยะทางตามทิศทางการไหล, A คือพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ และ q คืออัตราการไหลเข้าหรือไหลออกจากลำน้ำหลักต่อหน่วยความยาวของลำน้ำ

(2) สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) - gAS_f = 0 \quad (2)$$

โดยที่ β คือแฟกเตอร์ปรับค่า (Correction factor), h คือระดับน้ำ, g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก และ S_f คือความลาดชันของความเสียดทาน (Friction slope) ซึ่งสามารถหาค่าได้จาก

$$S_f = \frac{Q|Q|}{K^2} \quad \text{และ} \quad K = \frac{AR^3}{n} \quad (3)$$

โดยที่ K คือความจุของหน้าตัดการไหล, R คือรัศมีชลศาสตร์ = A/P , P คือความยาวของเส้นขอบเปียก (Wetted perimeter) และ n คือสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแม่น้ำ

2) การไหลระหว่างลำน้ำและที่ราบริมฝั่ง ในขณะที่เกิดน้ำหลาก ระดับน้ำในลำน้ำจะสูงขึ้นจนล้นตลิ่ง (Overbank spillage) แล้วไหลเข้าสู่พื้นที่ราบริมฝั่ง และเมื่อระดับน้ำในลำน้ำลดลงจนต่ำกว่าระดับตลิ่ง น้ำจากพื้นที่ราบริมฝั่งก็จะไหลกลับลงสู่ลำน้ำ (Return flow) การอธิบายสภาพการไหลดังกล่าวเป็นสมการของกฎทรงมวล ดังนี้

$$q_{net} - A(h) \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

$$q_{net} = \sum_{i=1}^n q_i \quad (5)$$

โดยที่ q_{net} คือปริมาณการไหลสุทธิ, h คือระดับน้ำ, n คือจำนวนจุดที่มีการไหล, q_i คือปริมาณการไหลตรงจุดที่พิจารณา i , และ A คือพื้นที่ของที่ราบริมฝั่ง

การคำนวณชลภาพอัตราการไหลของกลุ่มน้ำย่อย

การคำนวณชลภาพอัตราการไหลของกลุ่มน้ำย่อย มีรายละเอียดของข้อมูลและวิธีการคำนวณดังนี้

1) รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีอุทกวิทยาของกรมชลประทาน ที่อยู่ในลำน้ำซีและลำน้ำสาขาจำนวน 25 สถานี ซึ่งมีตำแหน่งที่ตั้งดังแสดงในรูปที่ 1 ข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย ปริมาณน้ำท่ารายวัน รายเดือน และรายปีเฉลี่ย ปริมาณน้ำท่าสูงสุดและต่ำสุด และข้อมูลระดับน้ำรายวันของแต่ละสถานี

2) เนื่องจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่รวบรวมมานั้น แต่ละสถานีมีช่วงปีสถิติข้อมูลที่ยาวไม่เท่ากัน จึงต้องต่อขยายข้อมูลให้มีช่วงปีสถิติเท่ากันโดยใช้โปรแกรม HEC-4 "Monthly Stream Flow Synthesis" ซึ่งทำการต่อขยายข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 จนถึง พ.ศ. 2544 รวมสถิติข้อมูล 22 ปี

3) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (Q) กับพื้นที่รับน้ำ (A) โดยนำข้อมูลน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำของสถานีในข้อ 1) ไปพล็อตหาความสัมพันธ์ ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$Q = 1.3236A^{0.7785}; R^2 = 0.9482 \quad (6)$$

จากความสัมพันธ์ข้างต้น สามารถนำไปคำนวณปริมาณน้ำท่าของแต่ละลุ่มน้ำย่อยได้โดยการเลือกสถานีดัชนี แล้วสร้างข้อมูลน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อยขึ้นใหม่โดยใช้แฟคเตอร์ปรับค่า (F) ดังนี้

$$F = \frac{Q_x}{Q_i} = \frac{a \cdot A_x^b}{Q_i} \quad (7)$$

$$Q_{x, \text{Daily}} = F \cdot Q_{i, \text{Daily}} \quad (8)$$

โดยที่ Q_x คือปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของลุ่มน้ำย่อย, Q_i คือปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของสถานีดัชนี, A_x คือพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อย, a และ b คือสัมประสิทธิ์และดัชนีในสมการที่ (6), $Q_{x, \text{Daily}}$ คือปริมาณน้ำท่ารายวันของลุ่มน้ำย่อย, และ $Q_{i, \text{Daily}}$ คือปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีดัชนี

4) การคำนวณปริมาณน้ำท่ารายวันของแต่ละลุ่มน้ำย่อย ทำได้โดยแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็น 80 ลุ่มน้ำย่อย ดังแสดงในรูปที่ 1 พร้อมทั้งคัดเลือกสถานีดัชนีของแต่ละลุ่มน้ำย่อย จากนั้นจึงคูณปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีดัชนีที่ต่อขยายข้อมูลแล้วด้วยแฟคเตอร์ปรับค่าที่ได้จากสมการที่ (8) ก็จะได้ชลภาพน้ำท่ารายวันของลุ่มน้ำย่อยนั้นๆ

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำชี

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำชีในการศึกษานี้เป็นการหาค่าโดยพิจารณารวมให้อยู่ในรูปของ Lump Parameter ซึ่งเป็นค่าที่ครอบคลุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสภาพการไหลในลำน้ำ โดยการลองผิดลองถูกในแต่ละช่วงของลำน้ำซึ่งเริ่มต้นจากค่าที่แนะนำโดย Chow (1959) แล้วทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระจนกระทั่งได้ชลภาพที่สอดคล้องกับข้อมูลที่บันทึกไว้ การศึกษาเริ่มต้นจากการสร้างระบบเครือข่ายของลำน้ำในแบบจำลอง ซึ่งจะต้องกำหนดระยะทางตามลำน้ำ ตำแหน่งของรูปตัดขวางลำน้ำ ตำแหน่งบรรจบของลำน้ำสาขา และตำแหน่งของสถานีอุทกวิทยา จากนั้นจึงทำการสอบเทียบแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) สร้างระบบเครือข่ายของลำน้ำชี โดยกำหนดตำแหน่งบรรจบของลำน้ำสาขา และตำแหน่งของรูปตัดขวางลำน้ำ โดยลงตำแหน่งบนระยะทางของลำน้ำที่อยู่ในรูปของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2) แบ่งช่วงของลำน้ำออกเป็น 9 ช่วง โดยใช้ตำแหน่งของสถานีอุทกวิทยาที่อยู่ในลำน้ำชีเป็นดัชนีในการกำหนดช่วงของลำน้ำในการจำลองสภาพ ดังรายละเอียดในตารางที่ 1

3) กำหนดระบบเครือข่ายของลำน้ำชีสำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง เพื่อหาค่าความขรุขระของลำน้ำ โดยการแบ่งลำน้ำออกเป็น 8 ช่วง แต่ละช่วงจะประกอบด้วย 3 สถานี คือสถานีทางด่านเหนือ

น้ำ สถานีที่อยู่ระหว่างกลาง และสถานีทางด้านท้ายน้ำ โดยใช้ชลภาพัฏธการไหลของสถานีที่อยู่ระหว่างกลางในการสอบเทียบแบบจำลอง ดังแสดงในคอลัมน์สุดท้ายของตารางที่ 1

ช่วงลำน้ำ	ระหว่างสถานี	ระยะทางตามลำน้ำ (กม.)	สถานีที่ใช้สอบเทียบ
1	E.5 - E.23	56	E.5 - E.23 - E.21
2	E.23 - E.21	77	E.23 - E.21 - E.9
3	E.21 - E.9	109	E.21 - E.9 - E.16A
4	E.9 - E.16A	81	E.9 - E.16A - E.1
5	E.16A - E.1	62	E.16A - E.1 - E.8A
6	E.1 - E.8A	41	E.1 - E.8A - E.66A
7	E.8A - E.66A	62	E.8A - E.66A - E.18
8	E.66A - E.18	105	E.66A - E.18 - E.20A
9	E.18 - E.20A	148	-

ตารางที่ 1 รายละเอียดการแบ่งช่วงของลำน้ำ และสถานีที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง

4) ในการสอบเทียบแบบจำลองได้ใช้ชลภาพัฏธการไหลของสถานีเหนือน้ำเป็นสภาวะขอบเขตทางด้านเหนือน้ำ และใช้ชลภาพระดับน้ำที่สถานีท้ายน้ำเป็นสภาวะขอบเขตทางด้านท้ายน้ำ แล้วปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ โดยการลองผิดลองถูกจนกระทั่งได้ชลภาพัฏธการไหลของสถานีที่อยู่ระหว่างกลางใกล้เคียงกับข้อมูลชลภาพัฏธการไหลที่มีการบันทึกไว้ ทั้งนี้การสอบเทียบแบบจำลองกระทำเฉพาะในช่วงต้นฤดูฝนคือตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม 2544 เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีการไหลอยู่เฉพาะในลำน้ำ แล้วใช้หลักเกณฑ์ทางสถิติในการพิจารณาความใกล้เคียงกัน ดังนี้

(1) พิจารณาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าอัตรการไหลสูงสุดที่มีการบันทึกไว้และค่าที่ประมวลได้จากแบบจำลอง โดยคำนวณจาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{Q_{\max(\text{obs})} - Q_{\max(\text{cal})}}{Q_{\max(\text{obs})}} \times 100 \quad (9)$$

โดยที่ $Q_{\max(\text{obs})}$ คืออัตรการไหลสูงสุดที่มีการบันทึกไว้ และ $Q_{\max(\text{cal})}$ คืออัตรการไหลสูงสุดที่ได้จากแบบจำลอง

(2) พิจารณาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์อัตรการไหลที่มีการบันทึกไว้และค่าที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$\bar{Q}(\text{obs}) = \frac{\sum_{i=1}^N Q(\text{obs})_i}{N} \quad \text{และ} \quad \bar{Q}(\text{cal}) = \frac{\sum_{i=1}^N Q(\text{cal})_i}{N} \quad (10)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \frac{\bar{Q}(\text{obs}) - \bar{Q}(\text{cal})}{\bar{Q}(\text{obs})} \times 100 \quad (11)$$

โดยที่ $\bar{Q}(\text{obs})$ คืออัตรการไหลเฉลี่ยที่มีการบันทึกไว้, $\bar{Q}(\text{cal})$ คืออัตรการไหลเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง, $Q(\text{obs})_i$ คืออัตรการไหลรายวันที่มีการบันทึกไว้, $Q(\text{cal})_i$ คืออัตรการไหลรายวันที่ได้จากแบบจำลอง, และ N คือจำนวนวันที่ทำการจำลองสภาพ

(3) พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R) ระหว่างค่าอัตราการไหลที่วัดจากสนามและค่าที่ประมวลได้จากแบบจำลอง สามารถคำนวณได้จาก

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{(obs)i} - \bar{Q}_{(obs)}) \sum_{i=1}^N (Q_{(cal)i} - \bar{Q}_{(cal)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_{(obs)i} - \bar{Q}_{(obs)})^2 \sum_{i=1}^N (Q_{(cal)i} - \bar{Q}_{(cal)})^2}} \times 100 \quad (12)$$

ทั้งนี้ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าอยู่ในช่วง $-1 < R < 1$ ซึ่งถ้า R ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันแบบปฏิกิริยาตรง แต่ถ้า R มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันแบบปฏิกิริยาผกผัน

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ราบริมฝั่งลำน้ำ

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ราบริมฝั่งลำน้ำภายในขอบเขตพื้นที่น้ำท่วม (Flood compartment) ทำโดยการปรับค่าน้ำหนักตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินที่อยู่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แล้วกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแต่ละพื้นที่ โดยใช้ค่าพื้นฐานที่แนะนำโดย Chow (1959) ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยทำการแบ่งพื้นที่ตามลักษณะการใช้ที่ดิน แล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ราบริมฝั่งตลอดความยาวลำน้ำซีโดยการปรับค่า ดังนี้

$$n_{Floodplan} = \frac{(n_1 \times A_1) + (n_2 \times A_2) + \dots + (n_5 \times A_5)}{A_1 + A_2 + \dots + A_5} \quad (13)$$

โดยที่ $n_{Floodplan}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ราบริมฝั่งลำน้ำ
 $n_1, n_2, \dots, n_5$ = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระตามลักษณะการใช้ที่ดิน
 $A_1, A_2, \dots, A_5$ = พื้นที่ราบริมฝั่งลำน้ำที่จำแนกตามลักษณะการใช้ที่ดิน

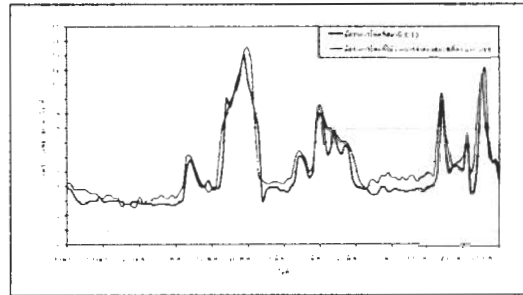
การใช้ที่ดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ
นาข้าว พืชผัก และทุ่งหญ้า	0.045
พืชไร่	0.100
พื้นที่ป่า ไม้ยืนต้น และไม้ผล	0.120
แหล่งน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ	0.035
ตัวเมืองและเขตชุมชน	0.120

ตารางที่ 2 รายละเอียดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของที่ราบริมฝั่ง ตามลักษณะการใช้ที่ดิน (Chow, 1959)

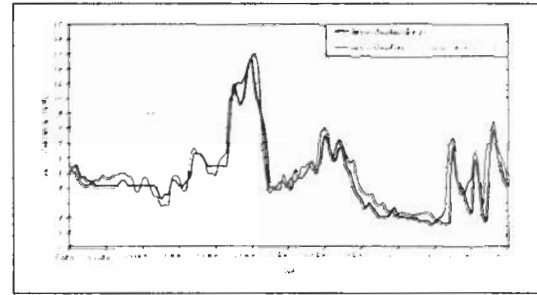
ผลการศึกษา

1) จากการสอบเทียบแบบจำลองจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำแต่ละช่วง ทั้ง 9 ช่วง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 โดยมีตัวอย่างผลการเปรียบเทียบชลภาพอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่มีการบันทึกไว้ของสถานี E.23, E.21, E.9, และ E.8A ดังแสดงในรูปที่ 2

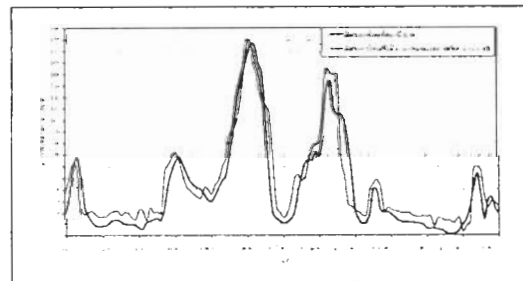
2) ผลที่ได้จากการปรับค่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ราบริมฝั่งตามลักษณะการใช้ที่ดิน คือค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นที่ราบริมฝั่งทั้งฝั่งซ้ายและขวาของแต่ละช่วงลำน้ำซี โดยมีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 3



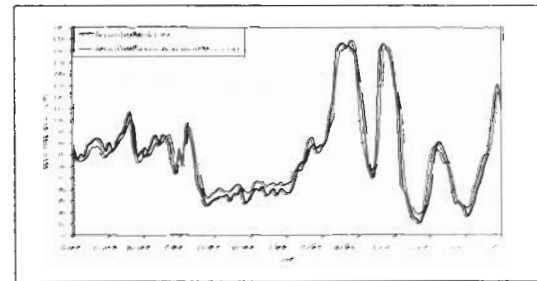
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2 ผลการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานี (ก) E.23, (ข) E.21, (ค) E.9 และ (ง) E.8A เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ โดยที่กราฟเส้นหนาเป็นชลภาพอัตราการไหลที่มีการบันทึกไว้ ส่วนกราฟเส้นบางคือชลภาพอัตราการไหลที่ได้จากแบบจำลอง

ช่วง ที่	ช่วงสถานี	Zoneที่	ช่วงระยะทาง (กม.)	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ				ระดับดิ่งเฉลี่ย		ระดับน้ำ สูงสุด (ม.รทก)
				ของลำ น้ำ	R ²	ของพื้นที่ราบริมฝั่ง		ด้านซ้าย (ม.รทก)	ด้านขวา (ม.รทก)	
						ด้านซ้าย	ด้านขวา			
1	E 5 ถึง E 23	1	0+000 ถึง 9+000	0.044	0.927	0.074	0.086	196.250	195.922	193.253
		2	9+000 ถึง 23+000			0.066	0.065	192.672	192.564	190.467
		3	23+000 ถึง 39+000			0.047	0.063	189.148	189.172	187.250
		4	39+000 ถึง 56+000			0.048	0.055	186.320	185.917	184.365
2	E 23 ถึง E 21	1	56+000 ถึง 65+000	0.040	0.931	0.051	0.066	183.574	183.121	181.203
		2	65+000 ถึง 74+000			0.046	0.060	181.689	182.932	178.156
		3	74+000 ถึง 100+000			0.049	0.058	179.023	180.371	175.059
		4	100+000 ถึง 121+000			0.066	0.078	175.549	176.569	171.378
		5	121+000 ถึง 133+000			0.063	0.085	174.290	173.654	170.093
3	E 21 ถึง E 9	1	133+000 ถึง 158+000	0.042	0.936	0.052	0.063	171.551	171.027	166.637
		2	158+000 ถึง 196+000			0.052	0.061	166.894	167.080	162.896
		3	196+000 ถึง 242+000			0.059	0.059	162.532	162.740	161.039
4	E 9 ถึง E 16A	1	242+000 ถึง 280+000	0.043	0.936	0.046	0.044	157.889	158.189	155.235
		2	280+000 ถึง 301+000			0.048	0.043	154.815	154.871	152.105
		3	301+000 ถึง 317+000			0.059	0.074	152.955	153.159	150.900
		4	317+000 ถึง 323+000			0.046	0.081	152.088	152.389	150.355
5	E 16A ถึง E 1	1	323+000 ถึง 350+000	0.042	0.925	0.068	0.056	152.327	150.856	150.099
		2	350+000 ถึง 365+640			0.053	0.061	148.931	147.922	149.264
		3	365+640 ถึง 384+740			0.060	0.065	147.700	147.225	147.260
6	E 1 ถึง E 8A	1	384+740 ถึง 411+690	0.041	0.932	0.074	0.074	145.392	145.525	143.857
		2	411+690 ถึง 416+890			0.059	0.056	143.540	143.660	143.065
		3	416+890 ถึง 425+440			0.057	0.058	142.643	143.286	142.921
7	E 8A ถึง E 66A	1	425+440 ถึง 447+440	0.042	0.952	0.070	0.057	142.231	142.195	141.658
		2	447+440 ถึง 469+440			0.064	0.060	140.822	140.904	140.062
		3	469+440 ถึง 487+440			0.051	0.057	139.541	139.729	138.876
8	E 66A ถึง E 18	1	487+440 ถึง 538+860	0.045	0.966	0.048	0.058	137.303	137.678	135.271
		2	538+860 ถึง 581+710			0.055	0.051	133.020	133.433	134.212
		3	581+710 ถึง 592+810			0.058	0.053	133.025	134.375	132.784
9	E 18 ถึง E 20A	1	592+810 ถึง 625+410	0.045	0.996	0.051	0.054	130.022	129.919	131.785
		2	625+410 ถึง 652+010			0.046	0.057	126.565	127.926	129.440
		3	652+010 ถึง 702+560			0.061	0.056	126.246	125.308	126.888
		4	702+560 ถึง 740+510			0.053	0.057	121.959	121.988	123.620

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำซีและของที่ราบริมฝั่งลำน้ำ ซี ได้จากการศึกษา

สรุป

จากการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำซี ในการศึกษาเป็นการหาค่าที่พิจารณารวมให้อยู่ในรูปของ Lump Parameter ซึ่งครอบคลุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสภาพการไหลในลำน้ำโดยการลองผิดลองถูก ซึ่งดำเนินการโดยการสอบเทียบแบบจำลองกับข้อมูลชลภาพอัตราการไหลรายวันของสถานีอุทกวิทยาที่ได้บันทึกไว้ในช่วงต้นฤดูฝน พร้อมทั้งหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของที่ราบริมฝั่งลำน้ำ โดยการปรับค่าน้ำหนักตามลักษณะการใช้ที่ดินของแต่ละช่วงลำน้ำเพื่อจะนำไปใช้ในการคำนวณการหลากของชลภาพอัตราการไหล ซึ่งจากการเปรียบเทียบชลภาพอัตราการไหลรายวันที่ได้จากแบบจำลองกับชลภาพอัตราการไหลรายวันที่วัดได้จริงในสนามของทุกสถานี พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) สูงกว่า 0.9 แสดงว่าวิธีการดังกล่าวมีความถูกต้องและผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาอยู่ในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง (Sensitivity analysis) โดยการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระให้เพิ่มขึ้นและลดลง 20% พบว่าจะทำให้ค่าอัตราการไหลสูงสุดลดลง 8.207 % และ เพิ่มขึ้น 5.763 % ตามลำดับ และจะทำให้ค่าระดับน้ำสูงสุดเพิ่มขึ้น 0.214 % และลดลง 0.293 % ตามลำดับซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงว่า นอกจากผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานอกจากจะมีประโยชน์ในการคำนวณการหลากของชลภาพอัตราการไหลไปตามลำน้ำซีและที่ราบริมฝั่งแล้ว ยังสามารถนำวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระดังกล่าวไปประยุกต์ใช้สำหรับลุ่มน้ำอื่นๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยประเภทอุดหนุนทั่วไป ในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กิตติเวช ชนดิยวิชัย. 2547. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง InfoWorks สำหรับการคำนวณการหลากในลำน้ำของลุ่มน้ำซี. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมทรัพยากรแหล่งน้ำ]. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วินัย ศรีอำพร. 2548. การประยุกต์ใช้ InfoWorks ในการจำลองสภาพน้ำท่วมของลุ่มน้ำห้วยโมง. วิศวกรรมสาร มช. (32, 2): 183 – 195.
- Chow, V. T. 1959. *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill.

- Chow, V. T. et al. 1988. **Applied Hydrology**. McGraw-Hill.
Wallingford Software Ltd. 2002. **InfoWorks Tutorial**. Wallingford: UK.
(www.hrwallingford.co.uk)
- Sri-Amporn, W. 2004. **An application of InfoWorks for flooding simulation of Haui Luang basin, Northeast Thailand**. Proceeding of International Symposium on Flood Forecasting and Management with GIS and Remote Sensing (FM2S). November; Guangzhou: China.