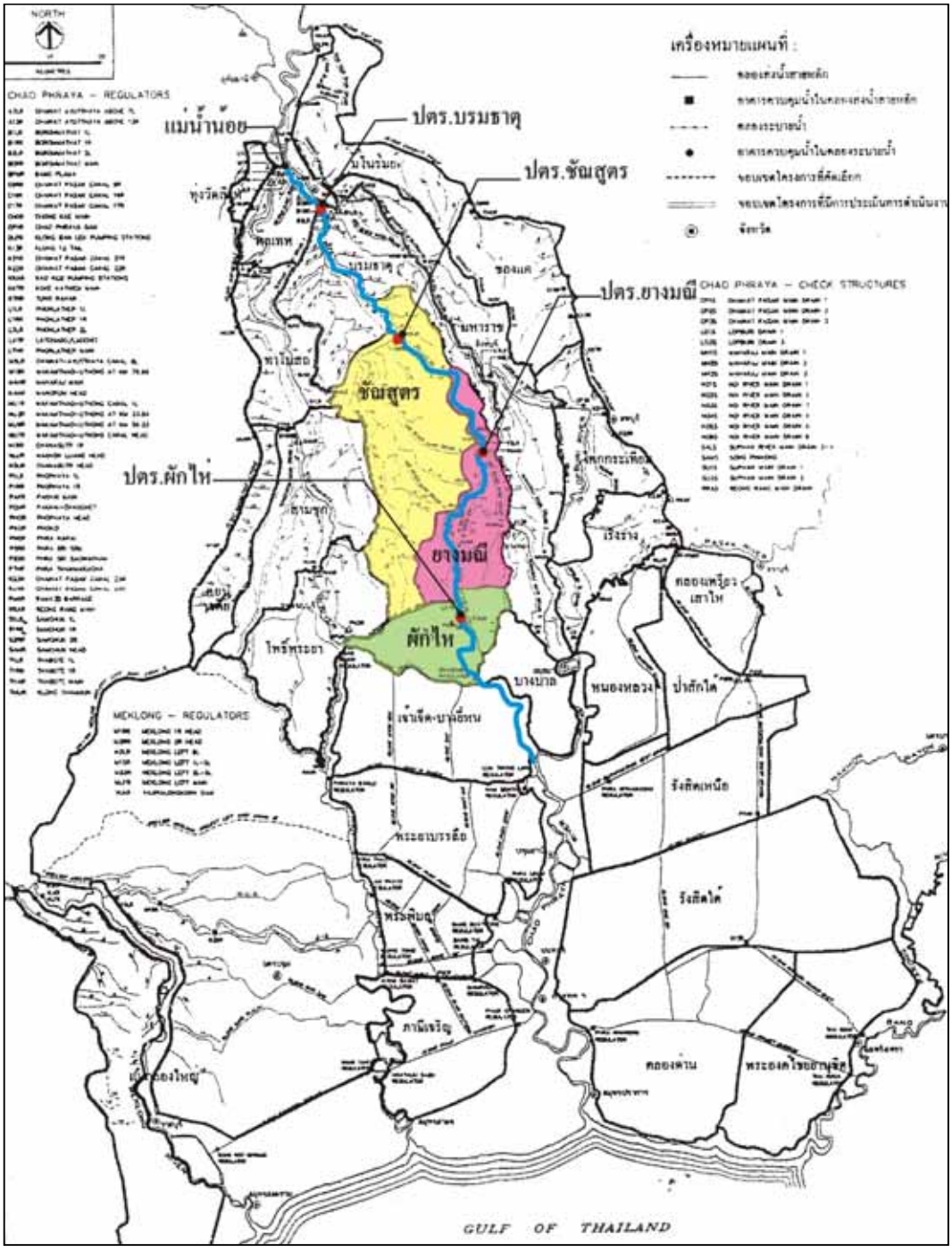
การตรวจเอกสาร

1. พื้นที่ศึกษา

แม่น้ำน้อย เป็นแม่น้ำธรรมชาติ ที่ใช้เป็นคลองส่งน้ำสายใหญ่รับน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเหนือตัวเขื่อนเจ้าพระยา 2 กิโลเมตร มีประตูระบายน้ำบรมธาตุของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบรมธาตุ เป็นอาคารปากคลองทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้า เพื่อส่งต่อไปยังโครงการฯ ตอนท้าย ได้แก่ โครงการฯ ชัณสูตร โครงการฯ ยางมณี และโครงการฯ ผักไห่ ส่วนปลายแม่น้ำน้อยปล่อยน้ำลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาที่อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา แม่น้ำน้อยมีความยาวทั้งหมด 127 กิโลเมตร รับน้ำได้สูงสุด 260 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ดังแสดงในภาพที่ 1

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบรมธาตุ หัวงานตั้งอยู่ที่ ตำบลชัยนาท อำเภอเมือง จังหวัดชัยนาท มีพื้นที่ในความรับผิดชอบด้านส่งน้ำและบำรุงรักษา รวม 365,100 ไร่ เป็นโครงการฯประเภททดน้ำ และส่งน้ำ เริ่มดำเนินการก่อสร้าง เมื่อปี พ.ศ. 2495 โดยได้ดำเนินการก่อสร้างหัวงานเป็นประตูระบาย ขนาด 4.00 X 6.00 ม. 1 แห่ง ที่บริเวณปากแม่น้ำน้อย ก่อสร้างประตูน้ำเพื่อการคมนาคม จำนวน 1 แห่ง พร้อมทั้งก่อสร้างระบบส่งน้ำ ระบายน้ำ และงานคันคูน้ำเพื่อการกระจายน้ำเข้าสู่พื้นที่เพาะปลูก งานก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ.2507 โครงการฯ บรมธาตุนั้น ถึงแม้ว่าหัวงานจะตั้งอยู่ที่ปากน้ำแม่น้ำน้อยแต่พื้นที่เพาะปลูกของโครงการฯไม่ได้รับน้ำจากแม่น้อยแต่รับน้ำโดยตรงจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าคลองส่งน้ำสายใหญ่ เข้าสู่พื้นที่เพาะปลูก ดังนั้นประตูระบายน้ำบรมธาตุจึงเป็นเสมือนประตูระบายปากคลองของแม่น้ำน้อย ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำเพื่อเข้าสู่แม่น้ำน้อยให้แก่พื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการฯ ชัณสูตร โครงการฯ ยางมณี โครงการฯ ผักไห่ และโครงการฯ ตอนล่าง ดังแสดงในภาพที่ 2

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชัณสูตร หัวงานตั้งอยู่ที่ ตำบลโพธิ์ชนไก่ อำเภอบางระจัน จังหวัดสิงห์บุรี มีพื้นที่ในความรับผิดชอบด้านส่งน้ำและบำรุงรักษา รวม 475,000 ไร่ เป็นโครงการประเภททดน้ำและส่งน้ำ โดยรับน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยา มีประตูระบายน้ำบางระจันทำหน้าที่เป็นอาคารทดน้ำในแม่น้ำน้อย ที่ กม.42+000 ของแม่น้ำน้อย โครงการฯ ชัณสูตร ได้ดำเนินการก่อสร้างหัวงานเมื่อ ปี พ.ศ. 2495 พร้อมกับการสร้างเขื่อนเจ้าพระยา โดยงานก่อสร้างหัวงานและระบบส่งน้ำส่วนใหญ่เสร็จเมื่อปี พ.ศ.2506 และในปี พ.ศ.2507 ได้เริ่มก่อสร้างงานคันและคูน้ำเพื่อช่วยกระจายน้ำให้ถึงพื้นที่เพาะปลูกของราษฎรให้ทั่วถึงกัน ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 1 แผนที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาที่รับน้ำจากแม่น้ำน้อย

ภาพที่ 2 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบรมธาตุ

ภาพที่ 3 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชัณสูตร

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษายางมณี หัวงานตั้งอยู่ที่ ตำบลองค์รักษ์ อำเภอโพธิ์ทอง จังหวัดอ่างทอง มีพื้นที่ในความรับผิดชอบด้านส่งน้ำและบำรุงรักษา รวม 210,321 ไร่เป็นโครงการประเภททดน้ำ ส่งน้ำ ระบายน้ำ และการคมนาคมทางน้ำ จัดสร้างขึ้นเพื่อการส่งน้ำและระบายน้ำเพื่อช่วยเหลือการเพาะปลูกในทุ่งนาฝั่งตะวันตกของแม่น้ำ ตั้งอยู่ที่ กม.74+600 ของแม่น้ำน้อย โดยโครงการนี้ได้เริ่มดำเนินการก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ.2498 อาคารหัวงานแล้วเสร็จและดำเนินการก่อสร้างระบบส่งน้ำจนถึงปี พ.ศ.2506 ดังแสดงในภาพที่ 4

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาผักไห่ หัวงานตั้งอยู่ที่ ตำบลผักไห่ อำเภอผักไห่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีพื้นที่ในความรับผิดชอบด้านส่งน้ำ และบำรุงรักษา รวม 206,000 ไร่ เป็นโครงการประเภททดน้ำ และส่งน้ำ โครงการฯผักไห่ หัวงานตั้งอยู่ที่ กม.127+200 ของแม่น้ำน้อย ห่างจากตัวจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือประมาณ 35 กม. เป็นโครงการฯที่ 4 และท้ายสุดของแม่น้ำน้อย เริ่มเปิดก่อสร้างโครงการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2495 สร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2506 ดังแสดงในภาพที่ 5

ภาพที่ 4 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษายางมณี

ภาพที่ 5 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาผักไห่

2. ทฤษฎีการไหลทางชลศาสตร์

การไหลของน้ำทางเปิด แบ่งตามการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการไหล คือ

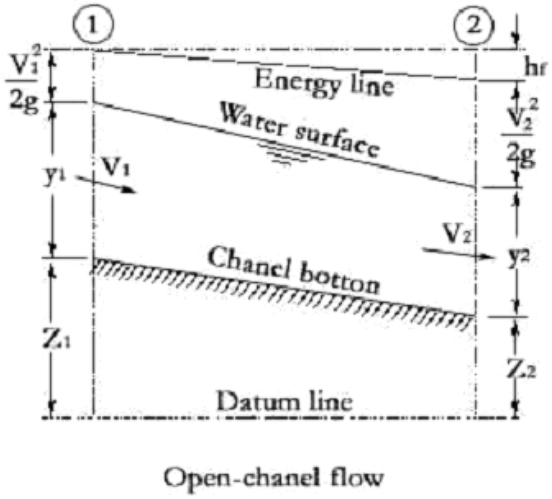
1. การไหลแบบเสมอต้นเสมอปลาย (Uniform Flow) คือ การไหลที่มีคุณสมบัติการไหล ไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง

2. การไหลแบบไม่เสมอต้นเสมอปลาย (Non – Uniform) คือ ลักษณะการไหลที่คุณสมบัติการไหลเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง

3. การไหลแบบทรงตัวมั่น (Steady Flow) คือ ลักษณะการไหลที่คุณสมบัติการไหล เช่น ความลึกการไหล ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

4. การไหลแบบไม่ทรงตัวมั่น (Unsteady Flow) คือ ลักษณะการไหลที่คุณสมบัติการไหล เช่น ความลึกการไหลเปลี่ยนแปลงตามเวลา ***(โดย Chow 1973)***

Bernoulli (1955) ได้อธิบายความหมายของความลาดเทผิวน้ำคือ Hydraulic Grade Line (HGL.) โดยมีความสูงของผิวน้ำเป็นความสูง Piezometric โดยที่ความหมายของ Energy Grade Line มีลักษณะคล้ายคลึงกับการไหลในท่อ ส่วนความสูง (Z) ของการไหลในทางเปิดวัดจากระดับอ้างอิงระดับท้องคลอง ลักษณะการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด แสดงได้ในภาพที่ 6



Open-chanel flow

<u>ภาพที่ 6</u> แสดงลักษณะการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด
ที่มา : สุวัฒนา (2543)

การไหลแบบคงที่ (Steady Flows) คือการไหลที่คุณสมบัติการไหล เช่น ความเร็ว (V) พื้นที่หน้าตัดการไหล (A) ความลึก (Y) ที่ตำแหน่งใดๆ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

$$(\partial Vx/\partial t)=0,(\partial Vy/\partial t=0),(\partial Az/\partial t)=0 \qquad (1)$$

การไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flows) คือการไหลที่คุณสมบัติการไหลที่ตำแหน่งใดๆ เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

$$(\partial Vx/\partial t)\neq 0,(\partial Vy/\partial t\neq 0)\neq 0,(\partial Vz/\partial t)\neq 0 \qquad (2)$$

การไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flows) คือการไหลที่ตัวแปรการไหล เช่น ความเร็ว ความลึกและหน้าตัดการไหลไม่เปลี่ยนไปตามระยะทาง มักเกิดในทางน้ำภาพเรขาคณิต (Prismatic Channel) โดยมีความลาดเท (Slop) ของเส้นระดับพลังงาน (Energy Grade Line) พื้นผิวน้ำและท้องน้ำมีค่าเท่ากัน และความลึกของการไหลสม่ำเสมอคือความลึกปกติ (Normal Depth, Y_N)

$$(\partial Vx/\partial x)=0,(\partial Vy/\partial y)=0,(\partial Az/\partial z)=0 \quad (3)$$

การไหลแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-Uniform Flows) คือการไหลที่ตัวแปรการไหล เช่น ความเร็วการไหล ความลึกการไหล และหน้าตัดการไหลเปลี่ยนไปตามระยะทางในทางน้ำ

$$(\partial Vx/\partial x)\neq 0,(\partial Vy/\partial y)\neq 0,(\partial Vz/\partial z)\neq 0 \quad (4)$$

สมการ Saint Venant คือสมการที่อธิบายการไหลของน้ำแบบคงที่และไม่คงที่ ประกอบไปด้วยสมการจำนวน 2 สมการ คือสมการความต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม ดังนี้

สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

$$\frac{\partial Q}{\partial X}+\frac{\partial A}{\partial t}=q \quad (5)$$

สมการโมเมนตัม (Momentum Equation)

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial\left(\frac{\alpha Q^2}{A}\right)}{\partial X}+gA\frac{\partial h}{\partial x}+g\frac{Q|Q|}{C^2AR}=0 \quad (6)$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)

A คือ หน้าตัดทางขวางของการไหล (ตารางเมตร)

q คือ ปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (ลบ.ม./วินาที)

h คือ ระดับน้ำเหนือจุดอ้างอิง (เมตร)

C คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Chezy's (เมตร $^{1/2}$ / วินาที)

R คือ รัศมีของความเสียดทาน (เมตร)

α คือ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของโมเมนตัม

โดยทั่วไปแล้วการไหลในคลองส่งน้ำชลประทานไม่เป็นไปตามแบบ Uniform Flows เนื่องจากมีอาคารต่างๆ อยู่ในคลองหลายชนิด เช่น ประตูระบายน้ำ อาคารอัดน้ำปากคลองและ

กลางคลอง เป็นต้น เป็นผลทำให้การไหลของน้ำในคลองเปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างไรก็ตามการคำนวณการไหลของน้ำในคลองชลประทานโดยทั่วไป ไม่สามารถคำนวณความถูกต้องได้อย่างแม่นยำ จึงมักใช้สูตรการคำนวณการไหลเป็นแบบ Uniform Flows ซึ่งใช้เป็นค่าคำตอบโดยประมาณ

3. <u>การไหลของน้ำผ่านอาคารชลศาสตร์</u>

การไหลของน้ำผ่านอาคารชลศาสตร์สัมพันธ์กับการเปิดบานประตูของอาคาร ดังนี้

1. กรณีเปิดบานประตูบางส่วน การไหลของน้ำผ่านอาคารจะแยกได้เป็น 2 ลักษณะ

1.1 การไหลท้ายประตูเป็นแบบอิสระ (Free Flow) จะได้ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารต่อหนึ่งหน่วยความกว้างดังสมการ

$$q = C_c G_o \sqrt{2gY_1} \qquad (7)$$

เมื่อ q คือ อัตราการไหลผ่านประตูแบบอิสระ (ลบ.ม. /วินาที/ม.)

C_c คือ สัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำ

G_o คือ ระยะเปิดบาน (ม.)

g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (ม./ วินาที^{2})

Y_1 คือ ความลึกด้านเหนือน้ำ (ม.)

1.2 การไหลท้ายประตูเป็นแบบท่วมท้าย (Submerged Flow)

$$Q = C_s L h_s \sqrt{2gh} \qquad (8)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลผ่านประตูแบบท่วมท้าย (ลบ.ม./วินาที)

C_s คือ สัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำแบบท่วมท้าย

L คือ ความกว้างช่องระบาย (ม.)

h_s คือ ระดับท้ายน้ำ- ระดับธรณีประตู (ม.)

h คือ ผลต่างระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ (ม.)

2. กรณีเปิดบานประตูพ้นน้ำ อาจทำในกรณีต้องการรับน้ำเข้าคลองส่งน้ำเป็นปริมาณมาก หรือใน กรณีเกิดอุทกภัย

ที่มา: ฉลอง (2538)

4. <u>การวัดน้ำชลประทาน</u>

การวัดน้ำชลประทานเป็นสิ่งสำคัญในการประเมินผลการดำเนินงานของโครงการ การวัดอัตราการไหลที่นิยมในสนามมี 2 วิธี ได้แก่ ใช้เครื่องมือวัดกระแสน้ำและการวัดอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำ เครื่องมือวัดกระแสน้ำที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ ชนิด A (Price Type A Current Meter) และเครื่องมือวัดกระแสน้ำแบบพิกมี่ (Price Pygmy Current Meter)

ที่มา: Skogerboe and Merkley (1996)

การวัดน้ำว่า ต้องหย่อนเครื่องมือวัดกระแสน้ำให้อยู่ตำแหน่งที่ต้องการใต้ผิวน้ำ ใบพัดหรือถ้วย ต้องหันสู้น้ำตลอดเวลา ตัวเครื่องต้องขนานไปกับทิศทางการไหลของน้ำ ในทางน้ำขนาดเล็ก (ความลึกไม่เกิน 1.5 เมตร) เครื่องจะติดตั้งอยู่กับท่อนเหล็กกลม ในทางน้ำขนาดใหญ่น้ำมีความลึกมากน้ำจะถูกหย่อนในตำแหน่งที่ต้องการด้วยสายเคเบิลโดยมีลูกตุ้มตอปิโดถ่วงอยู่ใต้เครื่อง ขนาดของกระแสน้ำจะทำให้ถ้วยภาพกรวยหมุนด้วยความเร็วที่ต่างกัน จำนวนรอบที่บันทึกได้จะนำไปคำนวณความเร็วกระแสน้ำจากสูตร

$$V = a+bN \qquad (9)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วกระแสน้ำ

a คือ ความเร็วเริ่มต้นที่ทำให้ใบพัดเริ่มหมุน

b คือ ค่าคงที่ของเครื่องวัด

N คือ จำนวนรอบที่หมุนในเวลา 1 วินาที

ค่า a และ b จะเปลี่ยนแปลงตามชนิดเครื่องวัด

ความเร็วกระแสน้ำจะมีค่าไม่เท่ากันตลอดความลึก คือมีค่าเป็นศูนย์ที่ท้องน้ำและมีค่าสูงสุดที่บริเวณผิวน้ำหรือใกล้ผิวน้ำ ฉะนั้นเราต้องวัดความเร็วมากกว่าหนึ่งจุดตลอดความลึก โดยทั่วไป

ความเร็วเฉลี่ยในแนวตั้งเท่ากับความเร็วเฉลี่ยที่ความลึก 0.2 และ 0.8 ของความลึกผิวน้ำหรือ 0.6 ของความลึกผิวน้ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความลึกจริงของน้ำที่ทำการวัด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ความลึกน้ำ d < 0.6 ม. วัด ณ.ความลึก 0.6 d จากผิวน้ำ

0.6 ม. < d < 1.0 ม. วัด ณ.ความลึก 0.2 d และ 0.8 d จากผิวน้ำ

d > 2.5 ม. วัด ณ.ความลึก 0.2 d, 0.4 d, 0.6 d และ 0.8 d จากผิวน้ำ

เพื่อให้การวัดปริมาณน้ำถูกต้อง จะต้องทำการวัดหลายๆจุด เป็นช่วง ๆ ตลอดภาพตัดคลอง และกำหนดให้แบ่งภาพตัดคลองออกเป็นช่วงวัด หรือแถบมากสุดไม่เกิน 10 ช่วงวัด ความกว้างต่ำสุดของแต่ละแถบไม่น้อยกว่า 0.50 ม.

ที่มา: สันติ (2533)

5. <u>การคัดเลือกตำแหน่งที่ทำการวัดน้ำ</u>

ศูนย์วิศวกรรมชลประทาน (2538) ได้ศึกษาการคัดเลือกตำแหน่งในการวัดน้ำซึ่งมีความสำคัญต่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งมีแนวทางในการคัดเลือก ดังนี้

1. คลองควรมีแนวตรงเท่าที่เป็นไปได้ ความยาวการไหลช่วงเหนือน้ำควรมีความยาวเป็นสองเท่า ของความยาวช่วงท้ายน้ำ

2. ในคลองควรปราศจากสิ่งกีดขวางทางน้ำ เช่น มีคลองแยกมาบรรจบ ภาพหน้าตัดคลองมีการเปลี่ยนแปลง หรือมีท่อยื่นออกมาขวางทางน้ำ

3. ควรหลีกเลี่ยงการวัดอัตราการไหลในช่วงที่มีน้ำหมุนวน

4. หลีกเลี่ยงการวัดน้ำ ในปริมาณที่มีช่วงลู่เข้า-ลู่ออก หรือการไหลแบบน้ำตกในแนวดิ่ง

สถานที่ที่เหมาะสมที่สุดในการวัดน้ำ คือ สะพาน การวัดน้ำต้องทำที่สะพานด้านเหนือน้ำเสมอและหลีกเลี่ยงการกำหนดจุดวัดใกล้ตอม่อ ผู้ถือเครื่องมือวัดต้องไม่ยืนอยู่ในน้ำ ระหว่างอาคารและจุดที่ทำการวัดน้ำต้องไม่มีอาคารท่อส่งน้ำออกจากคลอง ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ควรปิดอาคารเหล่านั้นก่อนทำการวัด

6. <u>การปรับเทียบอาคาร</u>

การปรับเทียบอาคาร มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับระยะเปิดบาน และความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำเพื่อนำมาใช้ปรับปริมาณน้ำในแต่ละวันให้ถูกต้องและทำให้การจัดสรรน้ำบรรลุเป้าหมาย

การวัดน้ำเพื่อการปรับเทียบอาคาร จะต้องตรวจสอบและดำเนินการในเงื่อนไขต่างๆ ให้อยู่ในสภาวะที่จะวัดน้ำได้ถูกต้อง ดังนี้

1. การปรับตั้งค่าศูนย์ของบาน (Zero Setting) เป็นการปรับเข็มชี้ระยะเปิดบานให้ได้ค่าศูนย์ในขณะที่บานนั้นปิดลงพอดี และน้ำไม่สามารถผ่านอาคารได้
2. แผ่นระดับจะต้องทำการตรวจสอบให้อยู่ในสภาพตั้งตรงในแนวดิ่งและติดตั้งไว้ที่ระดับที่ถูกต้อง ควรใช้กล้องส่องระดับทำการตรวจสอบการติดตั้งแผ่นระดับ
3. ระดับน้ำ การเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของระดับน้ำขณะเปิดบาน เป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงเมื่อจำเป็นต้องปรับบาน ต้องทำการปรับล่วงหน้าอย่างน้อยหนึ่งชั่วโมง ระดับน้ำที่แปรปรวนจะเป็นผลให้ค่าที่วัดใช้การไม่ได้
4. การปรับบานกรณีที่อาคารชลประทานมีมากกว่าหนึ่งบาน การเปิดบานควรให้มีระยะเท่ากันทุกบาน

ที่มา: กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา (2531)

7. <u>การส่งน้ำและการบำรุงรักษา</u>

ในปี 1987 THE UNESCAP ได้จำแนกปัญหาในระบบชลประทาน ในส่วนของระบบดำเนินการ ว่าประกอบด้วย (Loof et al., 1987)

1. การขาดประสิทธิภาพของระบบปฏิบัติการและบำรุงรักษา เป็นสาเหตุให้มีการส่งน้ำเกินความต้องการและเกิดการสูญเสีย
2. ความจุคลองไม่เพียงพอกับพื้นที่ให้บริการ
3. บุคลากรขาดการฝึกอบรม
4. ความไม่เหมาะสมในการใช้น้ำของเกษตรกร

การส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ขาดประสิทธิภาพนั้นมีสาเหตุมาจาก

1. การออกแบบและก่อสร้างอาคารไม่สอดคล้องกัน ค่าที่ใช้ในการออกแบบไม่สัมพันธ์กับค่าจริงในสนาม

2. การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระไม่ถูกต้อง

3. ขาดการควบคุมอย่างเพียงพอ ท่อส่งน้ำมีความจุต่ำกว่าที่ต้องการเพราะน้ำไม่อยู่ที่ระดับเก็บกัก ซึ่งทางด้านชลศาสตร์ต้องการความสูงของน้ำ และอาคารอัดน้ำก็ไม่สามารถส่งน้ำไปยังท้ายน้ำได้

4. การปรับบานประตูระบายไม่เหมาะสม การปรับบานกำหนดจากการไหลที่สภาวะทรงตัวมั่น เพราะอาคารควบคุมและการไหลในคลองที่ยาวมาก ๆ ยังคงอยู่ในสภาวะทรงตัว ทำให้ค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบไม่สัมพันธ์กับค่าจริงในสนาม

5. การส่งน้ำในเวลากลางคืน คลองส่งน้ำส่วนใหญ่จะส่งน้ำอย่างต่อเนื่องในเวลากลางคืน ซึ่งไม่มีการใช้น้ำและทำให้สิ้นเปลือง

6. ปัญหาด้านการสื่อสาร การสื่อสารของโครงการชลประทานขนาดใหญ่ระหว่างสำนักงานกับสำนักงาน และจากสำนักงานไปยังเกษตรกรยังมีปัญหาอยู่มาก ปกติจะมีการวางแผนการใช้น้ำแบบวันต่อวัน ในกรณีฉุกเฉิน ฝนตกหนักหรือฝายแตก พฤติกรรมการไหลจะไม่ปกติ

การส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำจะถูกออกแบบเพื่อให้มีระดับน้ำที่ความจุเก็บกัก โดยใช้อาคารควบคุมน้อยที่สุด ทำให้อัตราการไหลต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ ระดับน้ำในคลองจึงไม่เพียงพอที่จะส่งไปยังพื้นที่บริการและรักษาระดับให้อยู่ที่ระดับเก็บกัก โดยหลักการแล้ววิธีแก้ไข คือต้องสร้างอาคารเพิ่มโดยให้ระดับน้ำต่ำสุดอยู่ที่จุดผันน้ำ (American Society of Civil Engineers [ASCE] , 1991) การใช้อาคารบังคับน้ำอัตโนมัติ ก็เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งช่วยในการปรับปรุงการจัดสรรน้ำและส่งน้ำในคลองชลประทาน

Skogerboe and Merkley (1996) กล่าวถึงการพัฒนาการชลประทานว่า มีวัตถุประสงค์หลัก คือปรับปรุงการดำเนินการชลประทานและเพิ่มผลผลิตจากพื้นที่ซึ่งมีอยู่ให้สูงขึ้นโดยมีกลยุทธ์ในการเพิ่มผลผลิต ดังนี้

1. ประเมินข้อบกพร่องด้านการบำรุงรักษาของระบบชลประทานนั้นแล้วแก้ไขข้อบกพร่องซึ่งจะเกี่ยวกับขั้นตอนการปฏิบัติการให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

2. ปรับปรุงการปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่น ความแม่นยำและความเสมอภาคในการส่งน้ำให้แต่ละพื้นที่เกษตรกรรม

3. ในช่วงระหว่างปรับปรุงการปฏิบัติงานควรจัดเจ้าหน้าที่ไปให้คำแนะนำและคำปรึกษาแก่เกษตรกรในการปล่อยน้ำเข้าพื้นที่เกษตรกรรมของตน

4. นำแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันมาใช้ เพื่อหลีกเลี่ยงการซ่อมแซมหรือก่อสร้างใหม่

5. ดำเนินการปรับปรุงปฏิบัติการของระบบอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของปัญหาต่างๆ ผลิตผลและระบบเกษตรกรรมแบบยั่งยืน

ระบบส่งน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อ ความสำเร็จหรือความล้มเหลวของโครงการ ทั้งนี้เพราะโครงการชลประทานจัดสรรน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูก ระบบชลประทนที่ดีต้องมีพื้นฐานมาจากการออกแบบและก่อสร้างที่ถูกต้อง มีการวางแผนการบริหารงานอย่างเหมาะสม ต้องดูแลซ่อมแซมและบำรุงรักษาอย่างทั่วถึงในขณะใช้งานและต้องได้รับความร่วมมือจากเกษตรกรผู้ใช้น้ำ

จากการศึกษาการส่งน้ำในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการชลประทนไม่สม่ำเสมอ บางแห่งต่ำมากแต่ในภาวะวิกฤติที่ขาดน้ำกลับตรงกันข้าม ประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงมากอย่างไม่น่าเชื่อ แสดงว่าการส่งน้ำและบำรุงรักษาขาดการจัดการที่ดี และได้แบ่งข้อบกพร่องของการส่งน้ำเป็น 4 ประเภท

1. ส่งน้ำไม่ทั่วถึง ต้นคลอง ต้นคู มีน้ำเหลือเฟือ ปลายคลองมักจะขาดน้ำหรือได้รับน้ำล่าช้า

2. ขาดความร่วมมือจากเกษตรกร ทำให้การจัดสรรน้ำสับสน ขาดความเป็นระเบียบ ไม่เป็นไปตามแผน

3. ผลผลิตการเกษตร ไม่สูงเท่าที่ควร

4. ประสิทธิภาพการชลประทานต่ำกว่าที่คาดหวังไว้

ในจำแนกหลักการชลประทาน ปัญหาความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำของผู้ใช้น้ำด้านท้ายน้ำว่ามีสาเหตุมาจาก ระบบการจัดการและขาดการจัดการ เมื่อมีปริมาณน้ำด้านเหนือน้ำอย่างเพียงพอในคลองสายใหญ่ และมีการขาดน้ำทางด้านท้ายน้ำ เป็นปัญหาความยุติธรรมในการส่งน้ำ ด้วยเหตุนี้การจัดการที่ดี ต้องมีประสิทธิภาพการปฏิบัติการที่เพียงพอ

8. <u>การสูญเสียในคลองส่งน้ำ</u>

Skogerboe and Merkley (1996) กล่าวว่า การสูญเสียเนื่องจากการซึมผ่านในคลองชลประทานและระบบส่งน้ำ มีความสำคัญต่อการปรับปรุงการจัดการน้ำ ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียในคลองส่งน้ำ คือ 1) ความสามารถในการซึมผ่านของทรายที่ลำคลองตัดผ่าน 2) พื้นที่ผิวคลองที่ถูกปกคลุมด้วยโคลนตม 3) ความลึกของน้ำ 4) พื้นที่เส้นรอบภาพเปียก 5) ตำแหน่งระดับน้ำใต้ดินที่สัมพันธ์กับระดับท้องคลอง และ 6) ปฏิกิริยาทางเคมีของดินและน้ำ

การหาค่าการสูญเสียในคลองส่งน้ำเนื่องจากการซึมผ่านโดยวิธี Inflow – Outflow สามารถคำนวณจากสมการ

$$Q_{sir} = \frac{8.64 X 10^{7} (Q_u - Q_d)}{WP_{avg} L} \qquad (10)$$

เมื่อ Q_{sir} = อัตราการสูญเสียเนื่องจากการซึมผ่าน (มม./วัน/100 ม.)

Q_u = อัตราการไหลเข้า (ลบ.ม./วินาที)

Q_d = อัตราการไหลออก (ลบ.ม./วินาที)

WP_{avg} = ความยาวเส้นขอบเปียก (ม.)

L = ความยาวคลองที่ทำการวัดน้ำ (ม.)

9. <u>งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</u>

Habbi et al. (1996) ได้ทำการศึกษาปฏิบัติการในคลองส่งน้ำ Maria ซึ่งอยู่ในจังหวัดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศปากีสถาน โดยใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์ CanalMan เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางชลศาสตร์ โดยแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 4 กรณีได้แก่ กรณีที่ 1 จำลองระบบที่มีการส่งน้ำด้วยอัตราการไหลออกแบบ, กรณีที่ 2 เพิ่มค่า n เป็น 0.023 ทุกช่วงคลอง กรณีที่ 3 ลดปริมาณการไหลลงให้เหลือ 70% ของอัตราการไหลออกแบบ, กรณีที่4 จากกรณีที่3 เพิ่มอัตราการไหลให้เท่ากับอัตราการไหลออกแบบ ผลการศึกษาพบว่า กรณีมีการส่งน้ำด้วยอัตราการไหลออกแบบปริมาณการไหลจะมีเสถียรภาพในช่วงเวลา 10 ชั่วโมง ในกรณีที่ค่า n เพิ่มขึ้นมีผลให้ระยะ

เปิดบานเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนการเพิ่มและลดอัตราการไหล 30% จะใช้เวลา 1 หรือ 2 ชั่วโมง ในการทำให้อัตราการไหลคงที่

Faruk (1998) ได้ทำการศึกษาการปฏิบัติการในคลองสายใหญ่โครงการชลประทาน-พิษณุโลก เพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่โครงการขาดประสิทธิภาพโดยใช้แบบจำลอง CanalMan พบว่าการปฏิบัติการส่งน้ำด้วยระบบควบคุมตามความต้องการด้านท้ายน้ำ การปรับระยะเปิดบานเป็นสิ่งสำคัญ และควรเปลี่ยนอาคารอัดน้ำกลางคลองจากการควบคุมด้วยระบบ ใช้แรงคนมาเป็นระบบอัตโนมัติ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการรักษาระดับน้ำให้ได้ที่ระดับเก็บกักสูงสุด (Full Supply Level)

1. ระบบชลประทานขาดประสิทธิภาพ อาคาร FTO และ CHO รับน้ำโดยตรงจากคลองสายใหญ่โดยไม่มีการปรับระดับการเปิด-ปิดบาน เนื่องจากความบกพร่องเรื่องการส่งข้อมูล และการสื่อสารทำให้ผู้ใช้น้ำทางด้านเหนือ รับน้ำอย่างเกินพอแต่ด้านท้ายน้ำได้รับน้ำไม่เพียงพอ
2. ความไม่เพียงพอของปริมาณน้ำที่แหล่งต้นทุน เนื่องจากการจัดการ ทำให้ด้านเหนือน้ำได้รับน้ำที่มากเกินไปเป็นเหตุให้การส่งน้ำขาดประสิทธิภาพและทำให้ด้านท้ายน้ำได้รับน้ำไม่เพียงพอ
3. Delivery Performance Ratio (DPR) สำหรับโครงการย่อยมีค่าสูง ส่วนใหญ่ค่าในสัปดาห์จะไม่เกิน 1.0 ดังนั้นปริมาณน้ำที่มีจึงไม่เพียงพอแก่เกษตรกรในช่วงเวลานั้น ระดับน้ำด้านเหนือน้ำของอาคารอัดน้ำเฉลี่ยต่ำกว่าระดับเก็บกัก 0.50 เมตร และด้านท้ายน้ำจะต่ำกว่า 1.0 เมตร ซึ่งจะเป็นการยากที่จะรักษาระดับน้ำให้อยู่ที่ระดับเก็บกัก เมื่อมีการปิด-เปิด ประตูระบบ manual
4. ปริมาณการไหลเข้าใน reach ที่ 2 และ reach ที่ 5 น้อยกว่าปริมาณน้ำไหลออกแสดงว่าในระบบมีการวัดน้ำผิดพลาด ประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลองสายใหญ่อยู่ที่ 90% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี
5. การลดลงของพื้นที่หน้าตัดคลอง 10 – 52% จากที่ออกแบบไว้ในโครงการชลประทานย่อยพลายชุมพลทำให้ความจุคลองลดลง การปรับปรุงพื้นที่หน้าตัดคลองสายใหญ่ จะสามารถรักษาความจุคลองสูงสุดให้ได้ตามปริมาณน้ำที่ต้องส่งตามความต้องการของเกษตรกร
6. แบบจำลองทางชลศาสตร์ CanalMan ช่วยในปฏิบัติการระบบชลประทานแบบวันต่อวันได้ ซึ่งความถูกต้องของผลการศึกษาขึ้นอยู่กับคุณภาพข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองและความละเอียดของผู้ใช้แบบจำลอง ความแตกต่างของขั้นเวลาไม่มีผลต่อระดับน้ำและปริมาณการไหล ช่วงเวลาที่ 1 นาที จะให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจด้วยค่า weighting factor 0.55

ไวทิต (2545) ได้ใช้แบบจำลอง CanalMan ศึกษาการควบคุมอาคารอัดน้ำในคลองสายใหญ่ฝั่งซ้าย ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 3 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแม่แฝก จังหวัดเชียงใหม่ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม คือ หาขนาดการเปิดบานที่อัตราการไหลต่าง ๆ ศึกษาการเข้าสู่สมดุลของน้ำในคลองกรณีลดอัตราการไหลและศึกษาการเข้าสู่สมดุลของน้ำในคลองกรณีเพิ่มอัตราการไหล จากการศึกษาพบว่า การส่งน้ำด้วยอัตราการไหล 1.14 ลบ.ม./วินาที หรือ 70% ของอัตราการไหลสูงสุด เป็นสภาวะที่ระดับน้ำในคลองสูงสุดโดยระดับน้ำจะต่ำกว่าระดับสันฝาย

นุชนารถ (2540) ศึกษาสภาวะการเกิดน้ำท่วมของลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 เพื่อจำลองเลียนแบบสภาวะการเกิดอุทกภัยของตัวเมืองเชียงใหม่และบริเวณใกล้เคียง ได้วิเคราะห์จำนวน 2 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ.2537 ซึ่งประกอบด้วยกราฟน้ำหลากขนาดเล็กที่มีการไหลเฉพาะในแม่น้ำและกราฟน้ำหลากขนาดใหญ่ที่มีการไหลล้นข้ามตลิ่งลงสู่พื้นที่น้ำท่วม จากผลการสอบเทียบแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าข้อมูลกราฟน้ำหลากที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองไปในทิศทางเดียวกันเป็นที่ยอมรับได้และได้ค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบผิวของแมนนิ่ง (n) ทั้งในแม่น้ำและในพื้นที่น้ำท่วม ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาแนวทางป้องกัน และแผนการบรรเทาอุทกภัยในแต่ละรอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ โดยได้เสนอแนะแนวทางป้องกัน และแผนการบรรเทาอุทกภัยหรือการสร้างคันกั้นน้ำเพื่อป้องกันการไหลล้นตลิ่ง และการผันน้ำออกทางช่องลัดต่างๆ

มนตรี (2542) ศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของระบบน้ำปฐมภูมิของพื้นที่ฝั่งตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยาในเขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ RUBICON เพื่อนำมาใช้ในการจำลองสภาพเหตุการณ์การระบายน้ำ ซึ่งผลจากการปรับเทียบมาตรฐานแบบจำลองจะได้ระดับน้ำการระบายที่จุดควบคุมต่าง ๆ ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ในสนาม หลังจากนั้นได้ประเมินประ-สิทธิภาพของระบบระบายน้ำเดิมใน 2 กรณีศึกษาคือ กรณีศึกษาที่ 1 การใช้ที่ดินในสภาพปัจจุบันและกรณีศึกษาที่ 2 การใช้ที่ดินในอนาคตปี พ.ศ.2559 ผลการศึกษาพบว่าระบบระบายน้ำในปัจจุบันของพื้นที่ศึกษาสามารถรองรับปริมาณฝนออกแบบที่คาบอุบัติ 2 ปี ได้โดยไม่เกิดน้ำท่วมแต่ในปี- พ.ศ.2559 การใช้ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงไปโดยมีฝนออกแบบที่คาบอุบัติ 5 ปีทำให้เกิดน้ำท่วมทั้งพื้นที่ที่ทำการศึกษา

วริยา (2543) พยากรณ์สภาพการเกิดน้ำท่วมของแม่น้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ RUBICON ซึ่งเป็นแบบจำลองด้านอุทกพลศาสตร์ที่สามารถจำลองการไหลได้ตรง

กับสภาพจริงคือการไหลแบบไม่คงที่กับเวลาและสถานที่ สำหรับการจำลองสภาพการไหลจำเป็นจะต้องมีการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบผิวของแมนนิ่ง (n) ทั้งในแม่น้ำและทั่งน้ำท่วมของแต่ละรูปตัดขวาง จากผลการศึกษาการพยากรณ์สภาพน้ำท่วมพบว่าระดับน้ำสูงสุดในสภาพหลังจากมีการก่อสร้างเขื่อนทดน้ำบางปะกงสูงกว่าก่อนมีการก่อสร้างไม่มากนัก และพบว่าระดับน้ำท่วมสูงสุดเท่ากับ 4.81 เมตร (รทก.) ซึ่งมีผลทำให้น้ำล้นคันกั้นน้ำฝั่งขวาสูงถึง 1.78 เมตร (รทก.) โดยได้เสนอมาตรการในการป้องกันและบรรเทาอุทกภัย การเกิดน้ำท่วมของแม่น้ำบางปะกง โดยพิจารณาน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปี ประกอบด้วยการสร้างคันกั้นน้ำและปรับปรุงสภาพทางน้ำโดยการขุดลอกลำน้ำให้ลึกลงไปจากเดิมเฉลี่ย 2.13 เมตรเป็นระยะทางทั้งสิ้น 142 กิโลเมตร

วัชรี (2538) ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการพยากรณ์น้ำในลุ่มน้ำอู่ตะเภา ณ สถานีหาดใหญ่เพื่อทำการพยากรณ์และใช้สำหรับเตือนภัยน้ำท่วมโดยทำการปรับตัวแปรต่าง ๆ ในลุ่มน้ำทั้งเพื่อคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับเวลาและวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำ ทำการปรับค่าจนกระทั่งระดับน้ำและปริมาณน้ำที่คำนวณในแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดในสนาม หลังจากนั้นได้ทดลองนำค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้ไปใช้ในสถานการณ์จริง ปรากฏค่าใกล้เคียงกันเป็นที่ยอมรับได้ ทำให้ผลการพยากรณ์เป็นที่น่าเชื่อถือและใช้สำหรับพยากรณ์ประจำวันในลุ่มน้ำอู่ตะเภา ณ สถานีหาดใหญ่ต่อไป

Chaturabul, *et, al.* (2000) ศึกษาการจำลองแบบในคลอง Chasma Right Bank Canal (CRBC) ประเทศปากีสถาน โดยใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์ Canal Man เพื่อตรวจสอบสภาพการส่งน้ำในคลอง Chasma Right Bank Canal ซึ่งมีอัตราการไหลจริงต่ำกว่าอัตราการไหลในการออกแบบด้วยวิธีการดังนี้คือการส่งน้ำตามปกติตลอดเวลา การจัดรอบเวรการส่งน้ำ และการแบ่งสัดส่วนปริมาณน้ำ รวมทั้งศึกษาการระบายน้ำและตะกอนผ่านประตูระบายข้างคลองขณะน้ำหลาก ผลการศึกษาพบว่าการส่งน้ำตามปกติตลอดเวลาในคลองจะเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงปลายคลองของพื้นที่แต่การจัดรอบเวรการส่งน้ำและการแบ่งสัดส่วนการส่งน้ำจะส่งได้เต็มพื้นที่และเป็นไปอย่างมีประสิทธิ์ภาพ สาเหตุเนื่องมาจากระดับอาคารรับน้ำของปากคลองซอยอยู่สูงกว่าระดับน้ำปกติในคลอง ส่วนการระบายน้ำและตะกอนผ่านประตูระบายข้างคลองเมื่อเกิดน้ำหลากพบว่าการระบายน้ำผ่านประตูเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ตะกอนไม่สามารถระบายออกไปได้หมด เนื่องจากระดับพื้นอาคารอยู่สูงกว่าระดับท้องคลอง

Omar (1998) ศึกษาการดำเนินการของคลองส่งน้ำสายใหญ่โครงการชลประทานพิษณุโลกโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ CanalMan ซึ่งเป็นแบบจำลองด้านอุทกพลศาสตร์ที่สามารถจำลองการไหลได้ตรงกับสภาพจริงคือการไหลแบบไม่คงที่กับเวลาและสถานที่ เพื่อแสดงลักษณะทาง ชลศาสตร์แบบ Unsteady Flow ในระบบชลประทาน และเป็นการหาค่าความเหมาะสมสภาพทางชลศาสตร์สำหรับใช้ในการวางแผนส่งน้ำล่วงหน้าในแต่ละฤดูกาล รวมทั้งใช้ในการปรับปรุงการดำเนินงานและการจัดการน้ำชลประทานทั้งระบบ โดยมีการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบผิวของแมนนิ่ง (n) ค่าสัมประสิทธิ์การไหลแบบอิสระ (C_{df}) และค่าสัมประสิทธิ์การไหลแบบท่วมท้าย (C_{df}) จากผลการศึกษาพบว่าความเหมาะสมในการส่งน้ำของโครงการฯ ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเนื่องจากการควบคุมบานในการปิด-เปิดน้ำส่วนใหญ่ในแต่ละอาคารยังใช้แรงคนและรูปตัดคลองในช่วงกลางถึงช่วงปลายมีการลดลงถึง 10-52% ทำให้ความจุในคลองส่งน้ำลดลงไปด้วยจึงเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูกไม่เพียงพอกับความต้องการของเกษตรกร และได้นำเอาแบบจำลองมาช่วยในการวิเคราะห์หาสภาพความเหมาะสมทางชลศาสตร์และใช้เป็นแนวทางการวางแผนการดำเนินการและการจัดการกับระบบของคลองส่งน้ำ ทำให้สามารถส่งน้ำได้ตามความต้องการของเกษตรกรและมีประสิทธิภาพมาขึ้นกว่าเดิม

Zaigham, *et, al* (1996) ศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์ CanalMan จำลองการไหลใน Pehur High-Level Canal และ Maira Branch Canal ใน North West Frontier Province ประเทศปากีสถาน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการส่งน้ำและผลการปฏิบัติงานของประตูระบายน้ำอัตโนมัติ AVIS ในคลองทั้งสอง ซึ่งมีการควบคุมทางท้ายน้ำ (Downstream - Control) การจำลองในคลอง Pehur High-Level Canal มี 6 กรณีศึกษา คือ 1) เมื่ออัตราการไหลในคลองเท่ากับอัตราการไหลในการออกแบบ 2) เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบผิวของแมนนิ่ง (n) เพิ่มขึ้นจาก 0.016 เป็น 0.019 3) จากกรณีศึกษาที่ 1 ลดอัตราการไหลในคลองให้เหลือเท่ากับ70% ของอัตราการไหลในการออกแบบ 4) จากกรณีศึกษาที่ 3 เพิ่มอัตราการไหลในคลองให้เท่ากับอัตราการไหลในการออกแบบ 5) จากกรณีศึกษาที่ 3 หยุดการส่งน้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง 6) จากกรณีศึกษาที่ 3 หยุดการส่งน้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ผลที่การศึกษาพบว่าเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบผิวของแมนนิ่ง (n) เพิ่มขึ้นจาก 0.016 เป็น 0.019 การทำงานของประตูระบายน้ำอัตโนมัติ AVIO ปริมาณจุของคลองไม่มีปัญหา อาคารที่ประตูระบายน้ำทุกบานมีเสถียรภาพ และเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลลดลง 30% โดยให้เหลือเท่ากับ 70% จะทำให้ความลึกของการไหลในคลองมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สำหรับการจำลองแบบใน Maria Branch Canal ประกอบด้วย 4 กรณี-

ศึกษา คือ 1) เมื่ออัตราการไหลในคลองเท่ากับอัตราการไหลในการออกแบบ 2) เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบผิวของแมนนิ่ง (n) เพิ่มขึ้นจาก 0.016 เป็น 0.019 3) จากกรณีศึกษาที่ 1 ลดอัตราการไหลในคลองให้เหลือเท่ากับ 70% ของอัตราการไหลในการออกแบบ 4) จากกรณีศึกษาที่ 3 เพิ่มอัตราการไหลในคลองให้เท่ากับอัตราการไหลในการออกแบบ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบผิวแมนนิ่ง (n) เพิ่มขึ้นจาก 0.016 เป็น 0.019 การปฏิบัติงานของประตูระบายน้ำอัตโนมัติ AVIO และคลองเป็นไปได้ด้วยดีไม่มีปัญหา และเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลลดลง 30% โดยให้เหลือเท่ากับ 70% จะทำให้ความลึกของการไหลในคลองมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เวลาที่ระบบใช้ในการปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุลมากที่สุดเท่ากับ 12 ชั่วโมง

DHI and AIT (1993) ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการทำ flood modeling ของลุ่มน้ำชีและลุ่มน้ำมูลให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เพื่อการทำนายปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนปากมูล และดำเนินงานเขื่อนให้เป็นไปตามเงื่อนไขระดับน้ำที่ต้องการในตัวเขื่อน ถึงแม้ว่าเงื่อนไขทางด้านชลศาสตร์ของแม่น้ำมูลตอนล่างมีความซับซ้อนเนื่องจากมีน้ำตกขนาดเล็กจำนวนมาก แต่ปัญหานี้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 สามารถแก้ไขได้ ทั้งยังสามารถจัดการในการดำเนินงานเขื่อน โดยใช้ข้อมูลที่เป็นเวลาจริงของการเกิดฝนตกได้ โดยการติดตั้งเครื่องวัดน้ำฝนและระดับน้ำอัตโนมัติภายในพื้นที่ 13,000 ตารางกิโลเมตรเหนือเขื่อนปากมูล ผลจากการทำนายปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนปากมูล โดยใช้แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และข้อมูลจากแบบจำลองจะได้ดำเนินงานในการปล่อยน้ำของเขื่อนปากมูลเพื่อป้องกันน้ำท่วม

Mishara *et al.* (2001) ทำการศึกษาการพัฒนาการจัดการบริหารน้ำในระบบคลองส่งน้ำโดยทำการประเมินพฤติกรรมการไหลด้วยโมเดลทางชลศาสตร์ MIKE 11 ของคลองสายใหญ่ฝั่งขวาของโครงการกางสาบาติ จังหวัดเบนกอล ฝั่งตะวันตก ประเทศอินเดีย ซึ่งคลองส่งน้ำมีความยาว 137 กิโลเมตร ส่งน้ำให้กับพื้นที่ชลประทาน 88,867 เฮกเตอร์ โดยทำการสอบเทียบโมเดลสำหรับการส่งน้ำในช่วง 15 วัน ระหว่างปี 1997 พารามิเตอร์ ที่ใช้ในการสอบเทียบเป็นค่า Global Resistance และค่าสัมประสิทธิ์ของประตู ซึ่งมีค่า 0.50 และ 0.65 ตามลำดับ ขณะที่ค่า Local Resistance มีค่าอยู่ระหว่าง 15 – 60 ระหว่างทำการสอบเทียบ การพิสูจน์ทำการสังเกตและจำลองการไหลรายวัน ภายใต้เงื่อนไขของ Head และ Reaches ช่วงกลาง โดยใช้อัตราส่วนของพฤติกรรมการไหล (อัตราการไหลที่วัดได้จริงเทียบกับอัตราการไหลของตารางการส่งน้ำ) เป็น

ตัวประเมินระดับของการไหลสม่ำเสมอของการส่งน้ำตามความยาวคลอง ความลาดเอียงของคลอง ซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราส่วนของพฤติกรรมการไหลตามความยาวคลอง เพราะจะเกิดการกระจาย Head มากที่สุดในช่วงกลางของ Reaches ซึ่งจะลดลงมากกว่าความลาดเอียง ที่ช่วงปลายของ Reaches มีการเปลี่ยนแปลงของ Head และอัตราการไหลมากกว่าแหล่งต้นน้ำ และช่วงกลางของ Reaches ซึ่งผลการศึกษาที่แสดงใน MIKE 11 สามารถใช้ประเมินพฤติกรรมการไหลในระบบคลองชลประทานสายใหญ่ฝั่งขวาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำมาช่วยในการพัฒนาความเข้าใจในการวางแผนการจัดการส่งน้ำในระบบคลองชลประทานให้เหมาะสมกับฤดูเพาะปลูก

กอบเกียรติ (2542) ศึกษาการส่งน้ำในคลองส่งน้ำ 1R-5L-L และคลองส่งน้ำ 6L-2L จำนวน 2 สาย ในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์ CanalMan ซึ่งมีการส่งน้ำในเวลากลางวันและกักเก็บน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำเวลากลางคืนและมีอาคารบังคับน้ำอัตโนมัติ AVIO เป็นตัวควบคุมผลการศึกษาได้ค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบผิวของแมนนิ่ง (n) เท่ากับ 0.453 และค่ายกกำลังการสอบเทียบอาคารบังคับน้ำอัตโนมัติ AVIO เท่ากับ 1.006 และการปรับบานใช้เวลาในการตอบสนองประมาณ 2 นาที มีความเป็นไปได้ที่จะเก็บกักน้ำไว้ในอ่างเก็บน้ำเวลากลางคืน และส่งน้ำเข้าพื้นที่เพาะปลูกในเวลากลางวัน โดยได้เสนอแนวทางการแก้ไข ถ้าหากมีการรั่วซึมของน้ำในอ่างเก็บน้ำในเวลากลางคืนมีค่ามากกว่า 30 % ของอัตราการส่งน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำในเวลากลางวัน ต้องทำการลดเวลาการส่งน้ำหรือลดปริมาณการส่งน้ำในเวลากลางวันและเสริมปริมาณน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำในเวลากลางคืน หรือเพิ่มช่วงเวลาการเติมน้ำให้อ่างเก็บน้ำในเวลากลางคืน

โบว์แดง (2545) ศึกษาสภาพทางชลศาสตร์คลองส่งน้ำสายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก สำหรับใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการและบริหารจัดการน้ำที่เหมาะสม ตามศักยภาพที่เป็นอยู่จริง ดำเนินการโดยการเก็บข้อมูลและการสอบเทียบอาคารจากสนาม จำลองระบบลงในแบบจำลองคณิตศาสตร์ สอบเทียบแบบจำลองเพื่อเป็นตัวแทนของระบบส่งน้ำ และการศึกษาระบบโดยการทดสอบด้านกรณีศึกษา 8 กรณี การสอบเทียบอาคารในสนามเพื่อได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านประตูน้ำทั้งประตูระบายหัวงานมโนรมย์และอาคารปากคลองซอยต่างๆ ในระบบ กับระดับน้ำด้านท้ายอาคาร รวมทั้งศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลผ่านที่เปลี่ยนไปกับระดับน้ำอาคารปากซอยที่อยู่ในระบบส่งน้ำด้วยกรณีศึกษาต่างๆ ผลการศึกษาสอบเทียบอาคารได้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านประตูระบายมโนรมณ์ ξ_{1s} เท่ากับ 0.6759 ξ_{2s} เท่ากับ 1.2256 และค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารปากคลองซอยชนิดอื่นๆ ξ_{1s} มีค่าอยู่ระหว่าง 0.6796 – 2.9597

ξ_{1s} มีค่าอยู่ระหว่าง 0.8341 – 1.1969 และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งของคลองอยู่ระหว่าง 0.0280 – 0.0299 ซึ่งผลที่ได้สามารถนำไปคำนวณปริมาณน้ำในการปฏิบัติงานประจำวันได้ สำหรับผลการศึกษาด้วยแบบจำลองโดยเปรียบเทียบทั้ง 8 กรณีศึกษา เมื่อทำการปิด – เปิดอาคารในคลองทั้งสามช่วง ตามแต่ละกรณีศึกษาเมื่อกำหนดอัตราการไหลผ่านเท่ากับ พบว่าในคลองช่วงที่หนึ่งตั้งแต่ กม. 0+630 ถึง กม. 16+000 มีระดับน้ำแตกต่างกัน 4 – 5 เซนติเมตร ในคลองช่วงที่สองตั้งแต่ กม. 16+000 ถึง กม. 32+000 มีระดับน้ำแตกต่างกัน 7 – 15 เซนติเมตร ในคลองช่วงที่สามตั้งแต่ กม. 32+000 ถึง กม. 47+000 มีระดับน้ำแตกต่างกัน 15 – 20 เซนติเมตร และถ้าเปิดอาคารพร้อมกันในสองช่วงคลองหลังหรือตั้งแต่ กม. 16+000 ถึง กม. 47+000 จะมีระดับน้ำแตกต่างกัน 20– 40 เซนติเมตร ซึ่งผลจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบในภาพรวมทั้ง 8 กรณีพบว่าการควบคุมการส่งน้ำในคลองชัยนาท – ป่าสัก ช่วงโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามโนรมย์ ควรปิดอาคารปากคลอง ในช่วงที่สองตั้งแต่ กม. 16+000 ถึง กม. 32+000 ก่อนเพื่อให้ระดับน้ำยกตัวสูงขึ้นได้อย่างเหมาะสมทั้งระบบ ก่อนการชักน้ำเข้าปากคลองด้วยการสูบน้ำในช่วงที่หนึ่งตั้งแต่ กม. 0+630 ถึง กม. 16+000 และด้วยแรงโน้มถ่วงในช่วงที่สามตั้งแต่ กม. 32+000 – 47+000 แล้วจึงเปิดอาคารปากคลองในช่วงที่สองดังกล่าวตามลำดับการส่งน้ำของโครงการจึงจะเป็นไปอย่างทั่วถึง เต็มตามศักยภาพของระบบได้ต่อไป

10. <u>แบบจำลองการพยากรณ์น้ำ</u>

แบบจำลองการพยากรณ์น้ำโดยทั่วไปมีด้วยกันหลายแบบ ซึ่งการเลือกใช้แบบจำลองแต่ละแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของข้อมูลและลักษณะเฉพาะของแบบจำลอง ตัวอย่างแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ มีดังนี้

10.1. แบบจำลอง SSARR(The Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation Model)

แบบจำลอง SSARR พัฒนาขึ้นโดย MR.D. Speers แห่ง Corps of Engineers, Porland Oregan, U.S.A. ใช้สำหรับการพยากรณ์น้ำและการเตือนภัยระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำใช้ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ.2500 แบบจำลองนี้สามารถใช้กับกลุ่มน้ำใด ๆ ก็ได้ที่มีค่าความเปลี่ยนแปลงของเวลา(t) อยู่ระหว่าง 0.1 ชั่วโมง กับ 1 วัน สามารถพยากรณ์ได้ 3-4 วันล่วงหน้า สำหรับเหตุการณ์ที่มีสาเหตุมาจากฝน และ 10 วัน สำหรับเหตุการณ์ที่มีสาเหตุมาจากหิมะละลาย และยังสามารถ

คาดหมายเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ 30-40 วัน ล่วงหน้า ข้อมูลที่จะใช้สำหรับการปฏิบัติการณ์พยากรณ์ประจำวันประกอบด้วย ปริมาณ อุณหภูมิระดับต่างๆ ที่ทำให้หิมะละลาย พื้นที่ป่าไม้ที่ถูกหิมะปกคลุม น้ำระเหยประจำวันจากถาดน้ำระเหยหรือค่าน้ำระเหยเฉลี่ยรายเดือน ตารางความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating Table) บริเวณทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ ผลลัพธ์ที่ได้คือระดับน้ำหรือปริมาณน้ำในบริเวณทะเลสาบ หรืออ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ , กราฟแสดงความสัม -พันธ์ของปริมาณน้ำกับเวลา (Hydrograph) และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาต่างๆ รายวัน

10.2. แบบจำลอง RUBICON

แบบจำลองคณิตศาสตร์ RUBICON เป็นแบบจำลองเพื่อจำลองสภาพการไหลของน้ำ จาก Reference Manual of RUBICON ได้กล่าวไว้ดังนี้ โปรแกรม RUBICON เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปได้พัฒนาขึ้นโดย Haskoning BV. และ Delfi Engineering Software เมื่อเดือนพฤศจิกายน ในปี พ.ศ.2530 หลังจากนั้น Webb, Mckeown & Associates Pty : Ltd. ได้ทำการศึกษาเรื่องน้ำท่วมที่ Warragamba โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป RUBICON และในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2531 บริษัทดังกล่าวได้ซื้อลิขสิทธิ์และพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในโครงการอื่นต่อไป แบบจำลองคณิตศาสตร์ RUBICON เป็นแบบจำลองทางอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic) ที่สามารถจำลองการไหลแบบ ไม่ทรงตัวมั่น(Unsteady Flow) ในทางน้ำเปิดและทางน้ำปิดบางชนิด สามารถแก้ปัญหาในด้านชลศาสตร์ได้อย่างกว้างขวาง

10.3. แบบจำลอง MIKE 11

แบบจำลอง MIKE 11 เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดย DHI (Danish Hydraulic Institute) ประเทศเดนมาร์ก เมื่อปี ค.ศ. 1992 แบบจำลองนี้เป็นชุดโปรแกรมสำหรับการจำลอง (Simulation) การไหลแบบ 1 มิติ โดยมีความสามารถในการพิจารณาการไหลของน้ำแบบคงตัว (Steady State) และการไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady Flow) มีส่วนการคำนวณย่อย ๆ (Module) ที่เหมาะสมกับงานพัฒนาแหล่งน้ำต่าง ๆ อีกหลายส่วน เช่น ส่วนการคำนวณทางอุทกวิทยา ส่วนการคำนวณการพัดพาแพร่กระจายของตะกอน และส่วนของการคำนวณด้านคุณภาพน้ำ การแสดงผลสามารถทำให้ง่ายต่อความเข้าใจ โดยการใช้ภาพสัญลักษณ์ และกราฟรูปแบบต่าง ๆ ทำให้ผู้ใช้งานตรวจสอบทิศทางการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลอง แทนตัวเลขอย่างเดียวในอดีต ทำให้การปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองทำได้สะดวก

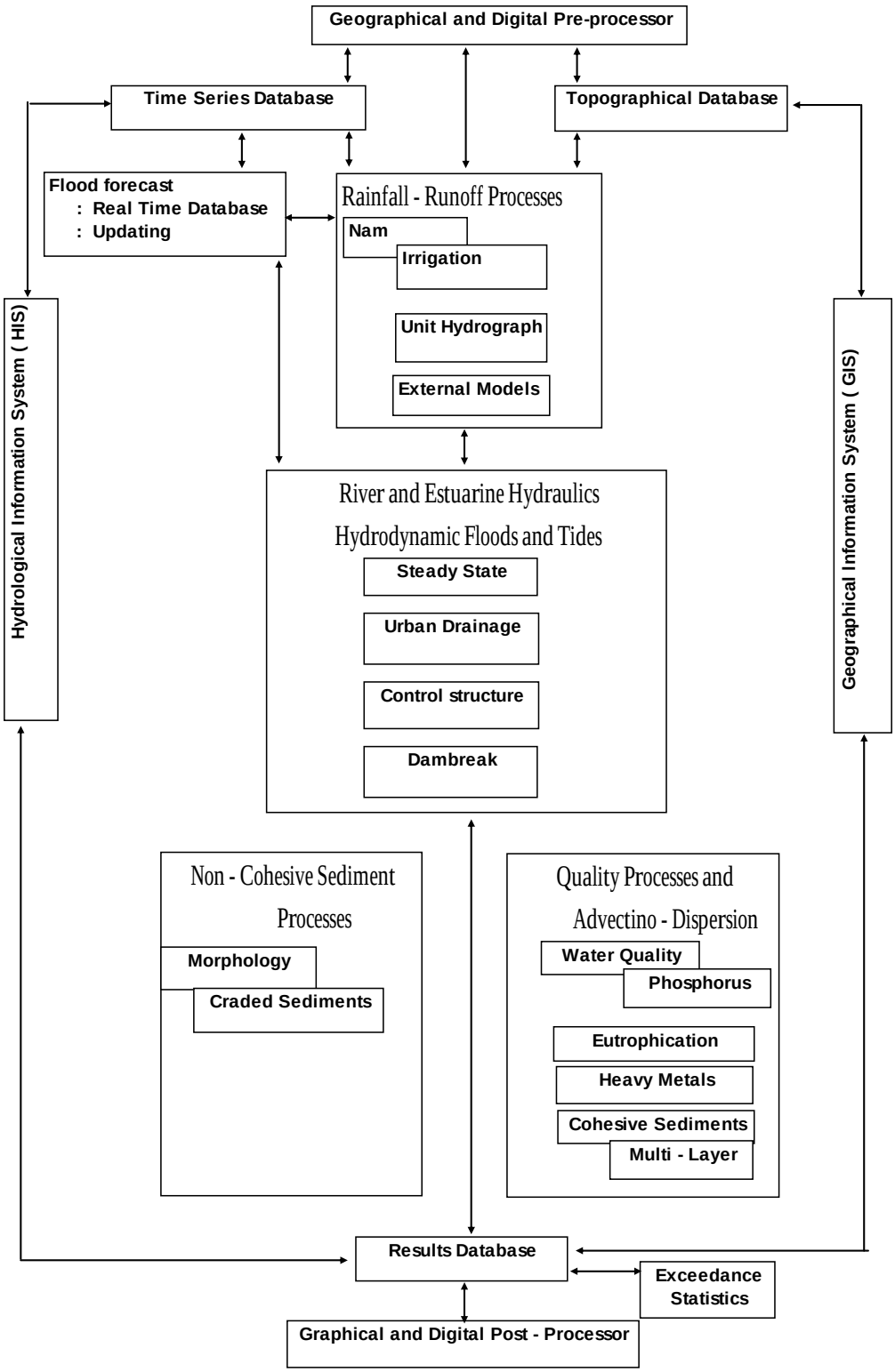
11. <u>แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา</u>

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ การพัฒนาระบบการคำนวณที่เกิดจากแปลงสมการควบคุมปรากฏการณ์ของเหตุการณ์ที่ต้องศึกษา ให้อยู่ในภาพของระเบียบวิธีเชิงตัวเลข และพัฒนาเป็นชุดคำสั่งเพื่อการคำนวณ โดยใช้การคำนวณความเปลี่ยนแปลงทางข้อมูล ณ จุดเงื่อนไขขอบเขตเป็นตัวกำหนด แต่อย่างไรก็ตามในการจำลองสภาพทางธรรมชาติตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำเป็นต้องมีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมปรากฏการณ์ให้ผลการคำนวณสอดคล้องกับข้อมูล ณ จุดเดียวกันที่ทราบจากการตรวจวัดในธรรมชาติ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่เหมาะสมกับการศึกษานี้ควรเป็นแบบจำลองที่สามารถสรุปได้ดังนี้

- เป็นแบบจำลองชลศาสตร์แบบ 1 มิติ (1D Hydrodynamic Model)
- สามารถคำนวณสมการการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow)
- สามารถคำนวณการไหลแบบโครงข่ายได้ (River Network)
- สามารถคำนวณการไหลผ่านอาคารได้

จากข้อกำหนดข้างต้น ในการศึกษานี้จึงเลือกใช้แบบจำลอง Mike 11 มาเป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดย DHI (Danish Hydraulic Institute) ประเทศเดนมาร์ก เมื่อปี ค.ศ. 1992 ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวนี้เป็นชุดโปรแกรมสำหรับการจำลอง (Simulation) แบบ 1 มิติ โดยมีความสามารถในการพิจารณาการไหลของน้ำเป็นการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) มีส่วนการคำนวณย่อย ๆ (Module) ที่เหมาะสมกับงานต่าง ๆ อีกหลายส่วนการคำนวณด้วยกัน เช่น ส่วนการคำนวณทางอุทกวิทยา ส่วนการคำนวณการพัดพาแพร่กระจายของตะกอนและมลพิษ ส่วนการแสดงผลในลักษณะแผนที่ภูมิศาสตร์ เป็นต้น รายละเอียดของผังส่วนการคำนวณย่อยต่าง ๆ ของแบบจำลอง MIKE11 ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผังรายละเอียดส่วนการคำนวณย่อยต่าง ๆ ของแบบจำลอง MIKE 11

ที่มา : MIKE 11 Reference Manual (1992)

MIKE 11 ใช้ลักษณะการแก้ปัญหาสมการทางคณิตศาสตร์ โดยวิธีเทคนิคระเบียบวิธีเชิงตัวเลข(Numerical) แบบ Implicit Finite Difference Scheme (พัฒนาโดย Abbott และ Ionescu 1967) ซึ่งเทคนิคดังกล่าวใช้คำนวณอัตราการไหล(Q, Discharge) และระดับน้ำ (h, Water Level) ในตำแหน่งที่สลับกันช่วงของตำแหน่ง Q และ h จะถูกกำหนดในโปรแกรม โดยใช้ระยะห่างของแต่ละช่วงหน้าตัดลำน้ำที่นำเข้าให้กับแบบจำลองเป็นตำแหน่ง) แต่อย่างไรก็ตาม หากระยะห่างของหน้าตัดลำน้ำมากเกินกว่าค่า Δx-max แบบจำลอง MIKE 11 จะทำการคำนวณค่าของภาพตัดลำน้ำให้เองโดยใช้ข้อมูลจากภาพตัดลำน้ำข้างเคียง ซึ่งจากการกำหนดตำแหน่งตัวแปรต่างๆ ดังกล่าวนี้ ทำให้แบบจำลองเหมาะสำหรับการคำนวณสภาพทางชลศาสตร์ของลำน้ำ ที่มีภาพลักษณะแบบแขนง (Branch) หรือแบบโครงข่ายลำน้ำ (River – Network) (โดยส่วนของการคำนวณสภาพทางชลศาสตร์ของแบบจำลอง MIKE 11 ได้พัฒนามาจากสมการ Saint Venant ซึ่งประกอบด้วย สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) แบบจำลองมีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

- Hydrological Information System หรือ HIS module เป็นส่วนที่ใช้ในการประมวลผลนำเสนอและวิเคราะห์ Time series ของข้อมูลอุทกวิทยาและอุตุนิยมวิทยา โดยใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าให้แก่แบบจำลองทั้งในส่วนของอุทกวิทยา และการไหลของลำน้ำ

- Rainfall – Runoff หรือ NAM module ใช้ในการคำนวณหาปริมาณการไหลของน้ำจากค่าปริมาณน้ำฝน แบบจำลองในส่วนนี้แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อยๆ มีตัวแปรต่างกันไป

- แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic(HD) Model) ได้ใช้วิธี Implicit Finite Difference ในการคำนวณสภาพการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) ในลำน้ำและบริเวณปากแม่น้ำ โดยแบบจำลองอุทกพลศาสตร์นี้สามารถอธิบายสภาพการไหลได้ทั้งการไหลแบบต่ำกว่าวิกฤต (Sub critical Flow) และการไหลแบบเหนือวิกฤต (Supercritical Flow) ตลอดจนสามารถคำนวณการไหลในระบบลำน้ำที่มีการไหลเข้าด้านข้าง และแสดงผลการคำนวณเปลี่ยนแปลงตามเวลา(Time) และสถานที่ (Space)

1) สมการพื้นฐาน

สมการพื้นฐานของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ในแบบจำลอง MIKE 11 คือสมการ Saint Venant ซึ่งเป็นสมการที่อธิบายสภาพการไหลในลำน้ำแบบ 1 มิติ (One Dimension) โดยมีสมมติฐานเบื้องต้นคือ

- น้ำเป็นของเหลวที่ไม่สามารถอัดได้ (Incompressible Fluid) และความหนาแน่นคงที่ตลอดการไหล

- ความลาดชันท้องลำน้ำมีค่าน้อย (Mild Slope)

- การไหลเป็นแบบ 1 มิติ (One Dimension) ความลึกและความเร็วจะเปลี่ยนแปลงตามความยาวของลำน้ำ

- สภาพการไหลเป็นแบบต่ำกว่าวิกฤต (Subcritical Flow)

รูปแบบของสมการ Saint Venant จะประกอบไปด้วยสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม (Continuity and Momentum Equations) แบบ 1 มิติ (One Dimension) ซึ่งรูปแบบสมการแสดงได้ดังนี้

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial X}=q \tag{11}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha\frac{Q^2}{A}\right)+gA\frac{\partial h}{\partial x}+\frac{gQ/Q/}{C^2AR}=0 \tag{12}$$

$$\sqrt{R}=\frac{1}{A}\int_0^R Y^{\frac{3}{2}}db \tag{13}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (m^3/s)

A = พื้นที่หน้าตัด (m^2)

q = อัตราการไหลเข้าด้านข้าง ($m^3/s/m$)

h = ระดับน้ำเหนือระดับอ้างอิง (m)

C = Chezy's Coefficient (m)

R = รัศมีชลศาสตร์ (m)

α = สัมประสิทธิ์โมเมนตัม

Y = ความลึกของน้ำ (m)

B = ความกว้างของผิวน้ำด้านบน (m)

แบบจำลอง MIKE 11 ได้กำหนดทางเลือกของลักษณะการไหลไว้ 3 ประเภท ดังนี้

- Dynamic Approach เป็นการใช้สมการโมเมนตัมแบบเต็มภาพแบบ (Full Momentum equation) ซึ่งประกอบด้วยแรงเนื่องจากความเร็ว(Acceleration Forces) ซึ่งสามารถใช้กับกรณีของการจำลองแบบของการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Fast Transients) การไหลของการขึ้นลงของน้ำทะเล(Tidal Flow) เป็นต้น ในขณะเดียวกัน Backwaters Profiles ก็สามารถถูกคำนวณออกมาได้เช่นกัน

- Diffusion Wave Approach เป็นแบบจำลองที่จำลองแบบเฉพาะเทอมของความต้าน-ทานของท้องคลอง (Bed Friction)เทอมของแรงโน้มถ่วง (Gravity Force) และเทอมของความเปลี่ยนแปลงของความดันสถิตศาสตร์น้ำ (Hydrostatic Gradient)ในสมการโมเมนตัมเท่านั้น การแก้สมการ ซึ่งหมายความว่าเฉพาะปรากฏการณ์ของ Relatively Steady Backwater Phenomena (จากการเปรียบเทียบกับช่วงเวลา) เท่านั้นที่ถูกแก้ปัญหา

- Kinematics Wave สมมติฐานของการสมดุลระหว่างความต้านทาน (Friction) และแรงโน้มถ่วง (Gravity) ซึ่งหมายความว่า Kinematics Wave Approach นั้น ไม่สามารถทำการวิเคราะห์หาผลกระทบที่เกิดจากผลกระทบของน้ำเท้อ(Backwater Effects) ได้ ดังนั้นการใช้วิธีนี้เหมาะสมสำหรับแม่น้ำที่มีความลาดชันมาก (Relatively Steep Rivers) ที่ปราศจากผลกระทบที่เกิดจากน้ำเท้อ

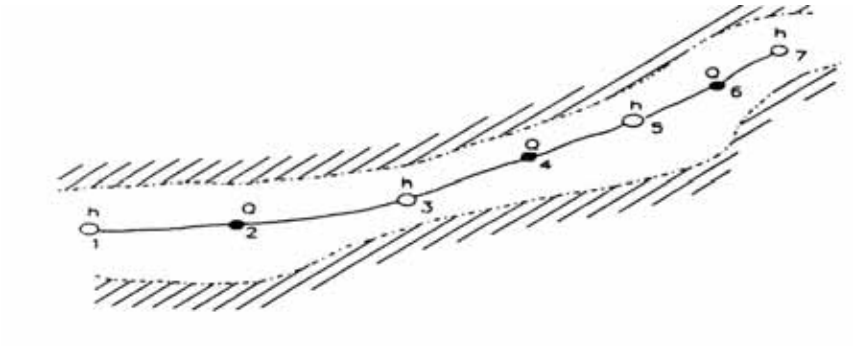
ปกติแล้วสมควรเลือกใช้ Dynamic Wave Description สำหรับทุกๆ กรณีของการใช้งานและรวมทั้งในการศึกษาครั้งนี้ด้วย นอกจากว่าในกรณีที่มั่นใจได้ว่า Diffusive หรือ Kinematics descriptions นั้นมีความเหมาะสมเพียงพอในกรณีการศึกษานั้นๆ

Diffusive และ Kinematics Wave Approximation ดังกล่าวนั้น เป็นการทำ Full Dynamic Description อยู่ในภาพแบบที่ง่ายขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ อย่างไรก็ตามการนำวิธีทั้งสองไปใช้งานนั้นจะต้องแน่ใจได้ว่าเทอมที่ไม่พิจารณานั้นไม่มีความสำคัญต่อกรณีการศึกษานั้นๆ ดังนั้นการใช้ Full Dynamic Description จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในทุกๆ กรณี อย่างไรก็แล้วแต่ทั้ง 3 ประเภทของการไหลนั้น ไม่มีวิธีการใดที่สามารถอธิบายรายละเอียดของการเกิด

Hydraulic Jump ได้เลย นอกจากสามารถแสดงสภาพทางด้านเหนือน้ำ (US. Upstream) และสภาพทางด้านท้ายน้ำ (DS. Downstream) จากบริเวณที่เกิด Hydraulic Jump เท่านั้น

2) วิธีการคำนวณหาคำตอบเชิงตัวเลขของแบบจำลอง

การหาคำตอบจากสมการต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัม จะอาศัยวิธีการ Implicit Finite Difference ที่พัฒนาโดย Abbott and Ionescu (1976) ทั้งนี้ค่าอัตราการไหล (Q) และระดับน้ำ (h) จะคำนวณที่ตำแหน่งสลับกัน ดังแสดงการกำหนดจุด Grid ในโปรแกรม MIKE11 ในภาพที่ 8 ตำแหน่งเหล่านี้จะถูกกำหนดขึ้นโดยอัตโนมัติในแบบจำลองตามความต้องการของผู้ใช้ ตำแหน่งที่คำนวณค่าระดับจะอยู่ที่จุดที่กำหนดหน้าตัดส่วนตำแหน่งที่คำนวณอัตราการไหลนั้นจะอยู่กึ่งกลางระหว่างตำแหน่งคำนวณระดับน้ำ และที่ตำแหน่งอาคารชลศาสตร์ค่าอัตราการไหลจะมีค่าเป็นบวก (+) เมื่อน้ำไหลไปในทิศทางด้านท้ายน้ำ



ภาพที่ 8 การกำหนดจุด Grid ในโปรแกรม MIKE 11
ที่มา: MIKE 11 Reference Manual (1992)

จากการแก้สมการที่ 11 Saint Venant โดยใช้ Implicit Finite Difference Equations สามารถจัดรูปแบบใหม่ของสมการที่ 11 ได้เป็น

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + b_s \frac{\partial h}{\partial t} = q \qquad (14)$$

การหาคำตอบของสมการในระบบรวมใด ๆ (Combined System) ที่แต่ละ Time Step จะทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ ซึ่งขั้นตอนการหาผลลัพธ์จะเหมือนกันสำหรับแต่ละ Model Level ที่ใช้อยู่ (Kinematics , Diffusive , Dynamic) การเปลี่ยนสมการ (11) และ (12) ในหัวข้อ Saint-Venent Equation มาเป็นกลุ่มของ Implicit Difference Equations จะทำใน Computational Grid ที่ประกอบด้วยจุด Q และ h ที่สลับกัน Computational Grid จะถูกสร้างขึ้นมาโดยอัตโนมัติจากข้อมูลที่ผู้ใช้กำหนดจุด Q จะอยู่กึ่งกลางระหว่างจุด h แต่ละจุด แต่ระยะทางระหว่างจุด h แต่ละจุดอาจแตกต่างกับจุด Q จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็นบวกใน Positive x – Direction

การแก้สมการ Finite Difference Continuity Equations สามารถจัดรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial y} \cong \frac{1}{\Delta 2x}\left[\frac{1}{2}\left(Q_{j+1}^{n+1} + Q_{j+1}^{n}\right) - \frac{1}{2}\left(Q_{j-1}^{n+1} + Q_{j+1}^{n}\right)\right] \qquad (15)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} \cong \frac{1}{\Delta t}\left(h_{j}^{n+1} + h_{j}^{n}\right) \qquad (16)$$

$$b_s = \frac{A_{0,j} + A_{0,j+1}}{2\Delta X_j} \qquad (17)$$

เมื่อ A_{0j} = พื้นที่ผิวระหว่างกริด j –l และ j

A_{0j+1} = พื้นที่ผิวระหว่างกริด j และ j+l

$2\Delta X_j$ = ระยะทางระหว่างกริด j-l และ j+l

รวมสมการที่ 15 กับสมการที่ 16 และสมการที่ 17 แทนในสมการที่ 14 สามารถจัดรูปสมการต่อเนื่องได้เป็นสมการที่ 18

$$\alpha_j Q_{j-1}^{n+1} + \beta_j h_j^{n+1} + \gamma_j Q_{j+1}^{n+1} = \delta_j \qquad (18)$$

ค่า Alpha (α) Beta (β) และ Gamma (γ) เป็นฟังก์ชั่นของ b และ Delta (δ) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า h ที่ Time Level n และ Q ที่ Time Level + ½

การแก้สมการ Finite Difference Momentum Equation สามารถจัดรูปสมการได้ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \cong \frac{1}{\Delta t}\left[Q_j^{n+1} - Q_j^{n}\right] \tag{19}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha\frac{Q^2}{A}\right) = -\frac{1}{2\Delta x_j}\left[\left(\alpha\frac{Q^2}{A}\right)_{j+1}^{n+1/2} - \left(\alpha\frac{Q^2}{A}\right)_{j-1}^{n+1/2}\right] \tag{20}$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} \cong \frac{1}{2\Delta x_j}\left[1/2\left(h_{j+1}^{n} + h_{j+1}^{n+1}\right) - 1/2\left(h_{j+1}^{n} + h_{j-1}^{n+1}\right)\right] \tag{21}$$

สำหรับสมการที่ 20 สามารถลดเทอมเป็นฟังก์ชั่นกำลังสองโดยเปลี่ยนค่าตาม Time Step ได้ดังสมการที่ 22

$$\mathrm{Q}^2 \cong fQ_j^{n+1}Q_j^{n} - (f-1)Q_j^{n}Q_j^{n} \tag{22}$$

เมื่อกำหนด f = 1 สามารถจัดภาพสมการที่ 18 ในสมการที่ 15 ให้เป็นรูปแบบที่ง่ายขึ้น ดังนี้

$$\alpha_j h_{j-1}^{n+1} + \beta_j Q_j^{n+1} + \gamma_j h_{j+1}^{n+1} = \delta_j \tag{23}$$

เมื่อ

α_j = $f(A)$

β_j = $f\left(Q_j^{n}, \Delta t, \Delta x, C.A.R\right)$

δ_j = $f\left(A, \Delta, x, \Delta t, \alpha, p, v, \beta, \gamma, h_{j+1}^{n}, Q_{j-1}^{n+1/2}, Q_j^{n}, Q_{j+1}^{n+1/2}\right)$

γ_j = $f(A)$

เมื่อ Greek Parameters (Z) เป็นฟังก์ชั่นของ Channel Parameters h และ Q เป็นค่า Time Step ของ Computational Grid และสามารถจัดรูปโดยรวมสมการที่ 15 ถึงสมการที่ 19 ให้อยู่ในรูปของค่า Z ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า h และ Q จะได้

$$\alpha_j Z_{j-1}^{n+i} + \beta_j Z_j^{n+1} + \gamma_j Z_{j+1}^{n+1} = \delta_1 \qquad (24)$$

ในการพิจารณา Number of Grid Point ซึ่งค่า h และ Q สามารถจัดรูปฟังก์ชั่นของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ (H_{us} และ H_{ds})

$$h = h\left(H_{us}, H_{ds}\right) \qquad (25)$$

$$Q = Q\left(H_{us}, H_{ds}\right) \qquad (26)$$

การคำนวณจุด Node สามารถแก้สมการในเทอมของ Node h ซึ่งก็คือความลึกของระดับน้ำ และในส่วนของการแก้สมการของ Branch ทำได้โดย Local Elimination ซึ่งขั้นตอนต่างๆ เหล่านี้ทำซ้ำจนกว่าจะได้คำตอบ

3) ความต้านทานที่ท้องลำน้ำ

แบบจำลอง MIKE 11 จะทำการวิเคราะห์ความต้านทานของการไหลเนื่องจากความเสียดทานที่ท้องน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการของ Chezy's หรือ Manning สำหรับสมการ Chezy's แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 27

$$Q = AC\sqrt{RS} \qquad (27)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (m^3/s)

A = พื้นที่หน้าตัดการไหล (m^2)

R = รัศมีชลศาสตร์ (m)

C = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Chezy's

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} = MAR^{2/3} S^{1/2} \qquad (28)$$

สำหรับสมการ Manning' s "n" แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

เมื่อ n = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Manning

M = Manning number Mannivo Strickler

ค่า M คือ ส่วนกลับของ Manning Coefficient n (M = 1/n) โดยค่า Manning' s "n" มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.01 จนถึง 0.10 ดังนั้นค่า M ที่สอดคล้องกันจะมีค่าตั้งแต่ 100

สัมประสิทธิ์ของ Chezy และสัมประสิทธิ์ของ Manning' s " n" ซึ่งแสดงความสัมพันธ์กันโดย Cunge et al. (1980) แสดงได้ดังสมการ

$$C = \frac{R^{1/3}}{n} = MR^{1/6} \qquad (29)$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล เนื่องจากความขรุขระของทางน้ำซึ่งก็จะหมายถึงค่า c , n หรือ M นั้น สามารถประเมินได้โดยการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) โดยการเปรียบเทียบระหว่างลักษณะทางกายภาพที่ได้จากแบบจำลอง และลักษณะทางกายภาพของสภาพความเป็นจริงที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในสนาม นอกจากนั้นแล้วยังสามารถประเมินค่า Manning's "n" ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) ของระบบการทำงานอื่นๆ ที่มีลักษณะทางกายภาพของภูมิประเทศที่คล้ายคลึงกัน สำหรับค่า Manning' s "n" โดยประมาณการไหลในทางน้ำเปิดทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์ความขรุขระ(n) ของทางน้ำธรรมชาติ

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของทางน้ำธรรมชาติ

ชนิดและลักษณะของทางน้ำ	ต่ำสุด	ปานกลาง	สูงสุด
1. ลำน้ำย่อย (ความกว้างผิวน้ำที่เกิดจากอุทกภัย 100 ฟุต)			
1.1 ลำน้ำบนที่ราบ			
1. สะอาด ตรง ระดับสูงไม่มีแยกหรือบ่อเล็กๆ	0.025	0.030	0.033
2. เหมือนข้อแรก แต่มีหินและวัชพืชมากกว่า	0.030	0.035	0.040
3. สะอาด คดเคี้ยว มีบ่อและแก่งใต้น้ำ	0.033	0.035	0.045
4. เหมือนข้อ 3) แต่วัชพืชและหิน	0.035	0.045	0.050
5. เหมือนข้อ 4) แต่มีระดับต่ำกว่าความลาดเทและภาพตัดไม่แน่นอน	0.040	0.048	0.055
6. เหมือนข้อ 4) แต่มีหินมากกว่า	0.045	0.050	0.060
7. ช่วงไหลช้า วัชพืช บ่อลึก	0.050	0.070	0.080
1.2 ลำน้ำในหุบเขาไม่มีวัชพืชในทางน้ำตลิ่งลาดชัน ต้นไม้และพุ่มไม้ตามตลิ่งอยู่ใต้น้ำที่ระดับการไหลสูง	.	.	.
1. ก้น : กรวด ก้อนหิน และหินก้อนใหญ่ๆ	0.030	0.040	0.050
2. ก้น : ก้อนหิน หินก้อนใหญ่กว่า ข้อ 1)	0.040	0.050	0.070
2. ทาม (Flood plain)			
2.1 ทุ่งหญ้า ไม่มีหญ้าพุ่ม			
1. หญ้าสั้น	0.025	0.030	0.035
2. หญ้ายาว	0.030	0.035	0.050
2.2 พื้นที่เพาะปลูก			

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ชนิดและลักษณะของทางน้ำ	ต่ำสุด	ปานกลาง	สูงสุด
1. ไม่มีพืช	0.020	0.030	0.040
2. พืชเป็นแถวที่แก่	0.025	0.035	0.045
2.3 ไม้พุ่ม			
1. ไม้พุ่มกระจัดกระจาย วัชพืชขึ้นหนา	0.035	0.050	0.070
2.4 ต้นไม้			
1. พื้นที่ว่างเปล่ามีต่อไม้ ไม่มีหน่อ	0.030	0.040	0.050
2. เหมือนข้อ 1) แต่มีหน่อมาก	0.050	0.060	0.080
3. มีไม้ยืนต้นมาก มีไม้ล้มเล็กน้อย ต้นเล็กมีเล็กน้อย ระดับน้ำต่ำกว่ากิ่งก้าน	0.080	0.100	0.120
4. เหมือนข้อ 3) แต่ระดับน้ำถึงกิ่งก้าน	0.100	0.012	0.160
3. ลำน้ำหลัก (ผิวน้ำเมื่อเกิดอุทกภัยกว้าง 100 ฟุต) ค่า n น้อยกว่าลำน้ำย่อยที่มีลักษณะเหมือนกัน เพราะว่าความต้านทานบนตลิ่งน้อยกว่า			
1. ภาพตัดสม่ำเสมอไม่มีก้อนหินหรือไม้พุ่ม	0.025	-	0.060
2. ไม่สม่ำเสมอและภาพตัดขรุขระ	0.035	-	0.100

ที่มา : Chow (1959)

4) สภาพเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

เงื่อนไขขอบเขตที่ต้องกำหนดในแบบจำลองอุทกศาสตร์ (HD Module) แบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไขขอบเขต คือ

- ขอบเขตด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลองได้ โดยอาศัยข้อมูลอัตราการไหลคงที่จากอ่างเก็บน้ำ อัตราการไหลของกราฟน้ำท่าจากเหตุการณ์ต่าง ๆ

- ขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลองได้ โดยอาศัยข้อมูลระดับน้ำคงที่ เช่น ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ระดับน้ำเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เช่น ระดับน้ำขึ้นลงของน้ำทะเลหรือ โค้งความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Rating Curve)

5) เงื่อนไขเสถียรภาพ (Stability Condition)

เสถียรภาพและความถูกต้องแม่นยำของวิธีการในการแก้สมการ Finite Difference ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังต่อไปนี้ คือ

Courant Condition (Cr) โดยทั่วไปค่าของ Cr จะมีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15

$$C_r = \frac{\Delta t\left(v + \sqrt{gy}\right)}{\Delta x} \le 10 - 15 \qquad (30)$$

เมื่อ V = ความเร็วที่หน้าตัดการไหล (m/s)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

y = ความลึก (m)

t = ช่วงเวลา (s)

x = ระยะทางระหว่างกริดที่คำนวณ (m)

Velocity Condition เงื่อนไขความเร็วจะเป็นตัวกำหนดค่าTime Step โดยสมการที่จะเป็นสมการที่กำหนดค่าTime Step ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดขวาง (Cross – Section) อย่างรวดเร็ว

$$\frac{V\Delta t}{\Delta x} \le 1 - 2 \qquad (31)$$