

บทที่ 2

ทฤษฎีและการศึกษาที่ผ่านมา

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวกับการไหลในทางน้ำเปิด ลักษณะคลื่นการวิเคราะห์สเปกตรัม ซึ่งทฤษฎีเหล่านี้เป็นทฤษฎีการศึกษากระบวนการเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าไปในทางน้ำดังจะกล่าวต่อไป

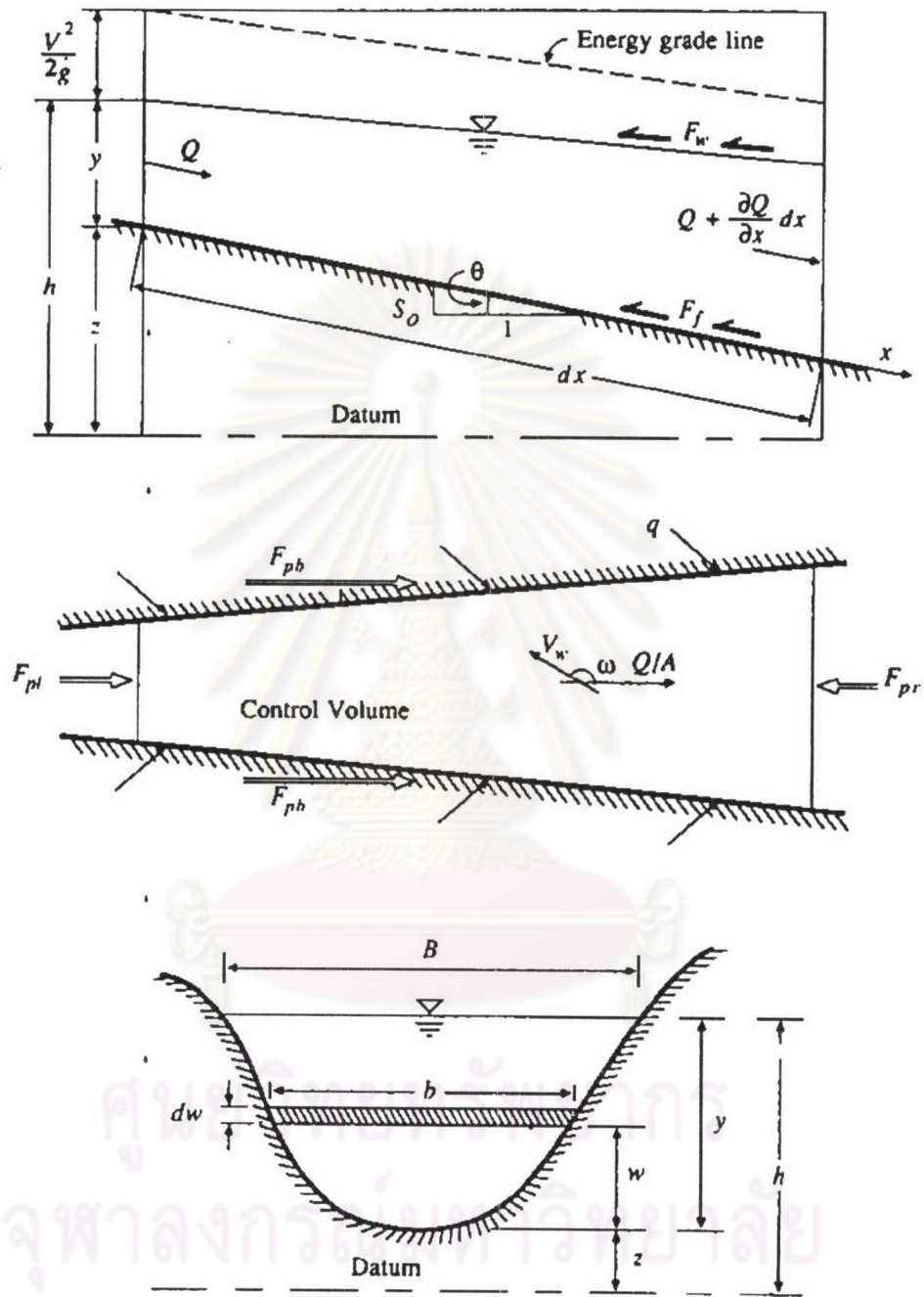
2.1 การไหลในทางน้ำเปิด

การไหลในทางน้ำเปิด แบ่งออกเป็นการไหลแบบคงที่ (steady flow) และการไหลแบบไม่คงที่ (unsteady flow) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการไหลแบบไม่คงที่ ซึ่งสมการที่ใช้สำหรับการไหลในทางน้ำเปิดแบบไม่คงที่ จะใช้สมการคือ "Saint Venant Equation" (Chow, 1988) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Barre de Saint-Venant ในปี 1871 อธิบายการไหลในทางน้ำเปิดแบบไม่คงที่ 1 มิติ ดังรูป 2-1 โดยมีสมมติฐานของสมการดังนี้

1. การไหลเป็นแบบ 1 มิติ พิจารณาความลึกการไหลและความเร็วการไหลในทิศทางตามยาวของทางน้ำ
2. สมมติการไหลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดทางน้ำ ดังนั้นมีความดันเนื่องจากความลึกน้ำ และไม่พิจารณาความเร่งในแนวตั้ง
3. สมมติทางน้ำเป็นแนวตรงตามความยาว
4. ความลาดชันท้องน้ำน้อยมากและมีค่าคงที่ ไม่มีผลเนื่องจากการกัดเซาะและการทับถม
5. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนสม่ำเสมอคงที่ (steady uniform turbulent flow)
6. ของไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้และมีความหนาแน่นคงที่

การวิเคราะห์เริ่มต้นจากการพิจารณาสมการต่อเนื่อง (continuity equation) ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots (2-1)$$



จาก V.T.Chow, 1988

รูป 2-1 แรงและตัวแปรต่างๆ ในทางน้ำเปิด

และพิจารณาหลักการสมดุลของแรงโมเมนตัมที่มีผลต่อการไหลในทางน้ำเปิด ซึ่งประกอบด้วยแรง 5 แรง คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (gravity force) แรงเสียดทาน (friction force) แรงเนื่องจากการบีบหรือขยายหน้าตัดทางน้ำ (contraction/expansion force) แรงเฉือนเนื่องจากลม(wind shear) และแรงดัน (pressure) จะได้สมการโมเมนตัม (momentum equation) ดังนี้

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0 \quad \dots (2-2)$$

2.2 ลักษณะคลื่น

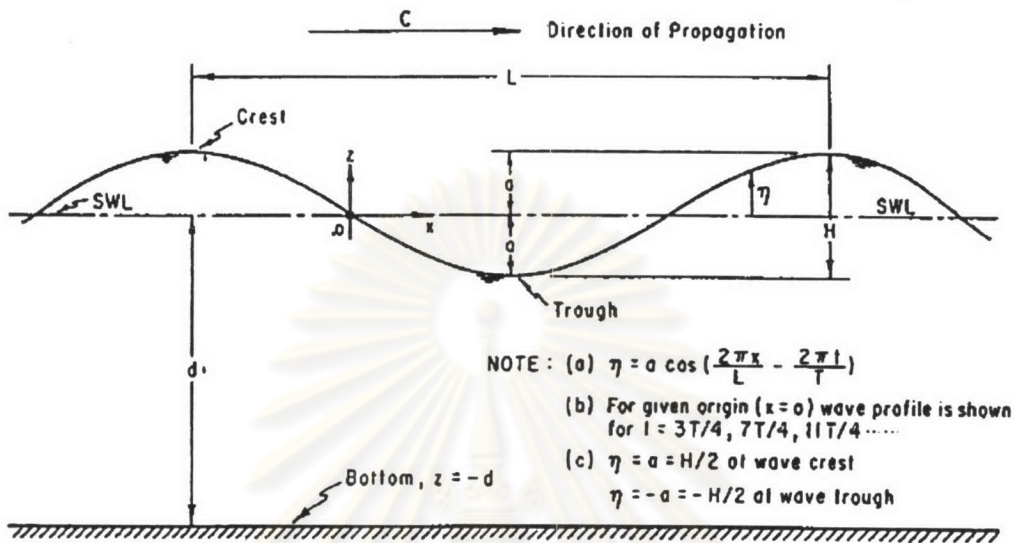
ลักษณะของคลื่นโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ คลื่นสม่ำเสมอ และคลื่นไม่สม่ำเสมอ โดยที่คลื่นสม่ำเสมอ (regular wave หรือ simple harmonic wave) เป็นคลื่นที่มีขนาดคลื่นขนาดเดียว ดังรูป 2-2 ซึ่งจะกล่าวถึงลักษณะคลื่นใน 2 มิติ คือในแกน X และแกน Z โดยมีนิยามของตัวแปรต่างๆ เสนอในรูปสมการ wave profile สำหรับคลื่นสม่ำเสมอ โดยทั่วไปมักจะแสดงดังนี้

$$\eta = a \cos(kx - \sigma t) = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) \quad \dots (2-3)$$

คลื่นไม่สม่ำเสมอ (irregular wave) เช่น คลื่นในทะเลหรือในแม่น้ำธรรมชาติ เป็นคลื่นที่เกิดจากคลื่นหลายๆชนิดประกอบกัน ทั้งคลื่นที่มีรูปแบบความสูงคลื่นและคาบคลื่นคงที่ (regular wave) และคลื่นที่มีรูปแบบไม่แน่นอน (random wave) ในการวิเคราะห์คลื่นจึงต้องแยกคลื่นแต่ละตัวออกมาพิจารณา ตามรูปแบบของคลื่นแต่ละตัว คือมีความสูงคลื่นและคาบคลื่นแน่นอน โดยแยกคลื่นที่มีรูปแบบที่ไม่แน่นอนออกไป ดังรูป 2-3 ทั้งนี้สำหรับการทดลองในแบบจำลองที่เข้าใจว่าสามารถสร้างให้คลื่นสม่ำเสมอได้ อาจมีคลื่นที่ไม่มีรูปแบบรวมอยู่ด้วยเนื่องจากคลื่นในธรรมชาติและขนาดของแบบจำลอง วิธีหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์แยกคลื่น คือการวิเคราะห์สเปกตรัม

2.3 การวิเคราะห์สเปกตรัม

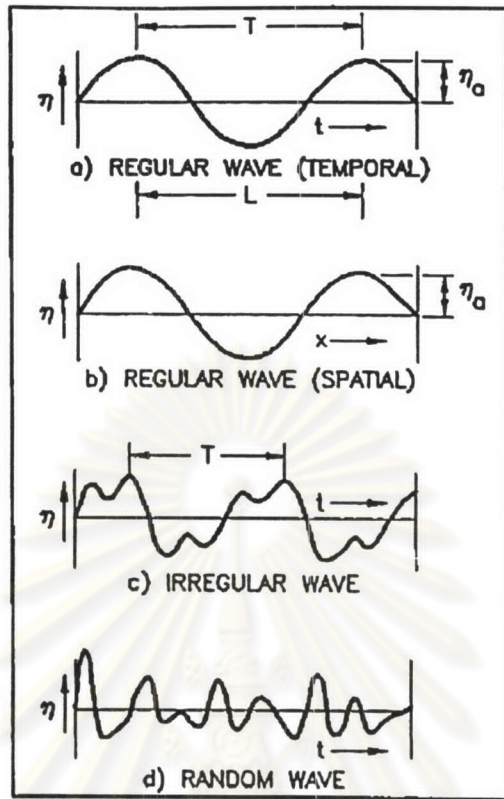
การวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analysis) เป็นการพิจารณาในแง่ความถี่ของข้อมูลที่เกิดขึ้นเป็นวงจร(cyclicities) ในที่นี้ วงจร หมายถึง รอบของการเกิดเหตุการณ์ ซึ่งเป็นผลจากการเคลื่อนตัวของโลก ดวงจันทร์ ดวงอาทิตย์ โดยมีวงจรพื้นฐาน 1 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วัน 1 ปี หรืออาจรวมวงจรอื่นๆ เช่น หลายอาทิตย์ หลายเดือน หลายปี ขึ้นอยู่กับกระบวนการที่เกิดขึ้นว่าได้รับอิทธิพลจากอะไร ในทางชลศาสตร์และสมุทรศาสตร์ วงจรสำคัญได้แก่ การเกิดน้ำขึ้นน้ำลง



จาก US.CERC, 1984

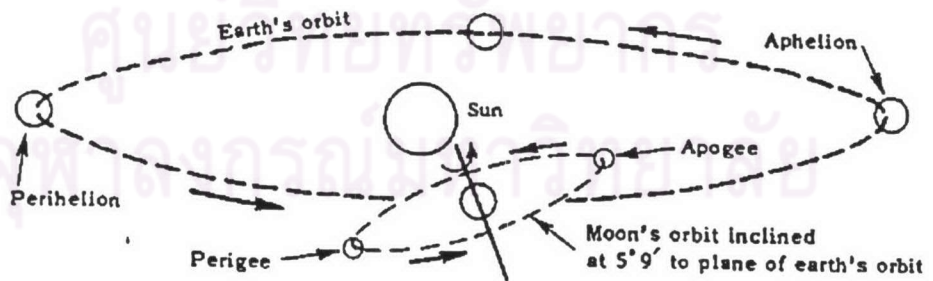
รูป 2-2 นิยามและค่าตัวแปรต่างๆ ของคลื่น

- d = ความลึกของน้ำจากระดับน้ำเฉลี่ย (mean water level) ถึงก้นทะเล
- $\eta(x,t)$ = ระยะแนวตั้งของการแทนที่ของผิวน้ำเหนือระดับน้ำเฉลี่ยที่จุด x เวลา t
- a = แอมพลิจูดของคลื่น , H = ความสูงคลื่น = 2a
- L = ความยาวคลื่น , T = ช่วงเวลาคลื่น
- C = ความเร็วที่คลื่นเคลื่อนที่ = L/T , k = จำนวนคลื่น = $2\pi/L$
- σ = ความถี่เชิงมุมของคลื่น = $2\pi/T$



จาก T. Ippen, 1966

รูป 2-3 คลื่นไม่สม่ำเสมอและองค์ประกอบคลื่นในทะเล



จาก T. Ippen, 1966

รูป 2-4 ระบบโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์

ซึ่งน้ำขึ้นน้ำลงเป็นคลื่นยาว (long wave) ที่ก่อให้เกิดการสูงขึ้นและลดต่ำลงของระดับน้ำทะเล และส่งผลต่อเนื่องเข้าไปในบริเวณปากแม่น้ำด้วย ความยาวคลื่นและคาบของน้ำขึ้นน้ำลงใหญ่กว่าคลื่นธรรมดา

ระบบของโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ และการโคจรของดวงจันทร์รอบโลก ซึ่งมีลักษณะวงโคจรเป็นรูปวงรี (elliptic) ดวงจันทร์และโลก ต่างก็หมุนรอบแกนตัวเองไปด้วย ระนาบที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เรียกว่าระนาบ ecliptic ตำแหน่งที่ดวงจันทร์โคจรมาอยู่ใกล้โลกมากที่สุด เรียกว่า perigee และห่างจากโลกมากที่สุด เรียกว่า apogee ดังนั้นเมื่อดวงจันทร์อยู่ที่ perigee จะเกิดน้ำขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของดวงจันทร์มากที่สุด ส่วนตำแหน่งที่โลกโคจรอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด เรียกว่า perihelion และห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด เรียกว่า aphelion ดังรูป 2-4

รูปแบบของข้อมูลแบบวงจรโดยทั่วไป จะเสนอในรูปความสัมพันธ์ของระดับผิวน้ำ ซึ่งเป็นผลรวมของคลื่นแต่ละวงจร (Yevjevich, 1972) ดังสมการ 2-4

$$x_t = a_0 + \sum_{i=1}^m [a_i \cos(2\pi f_i t) + b_i \sin(2\pi f_i t)] + e_t \quad \dots\dots (2-4)$$

โดยที่ x_t = ระยะเวลาในแนวตั้งจากผิวน้ำถึงจุดอ้างอิง

$$f_i = \frac{i}{N}, \text{ เป็นความถี่ลำดับที่ } i$$

$$N = 2m + 1, m = \text{จำนวนข้อมูล}$$

$$a_0 = \bar{x}, \text{ ค่าเฉลี่ยของ } x_t$$

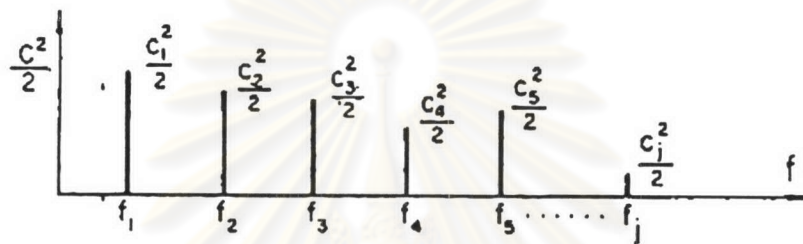
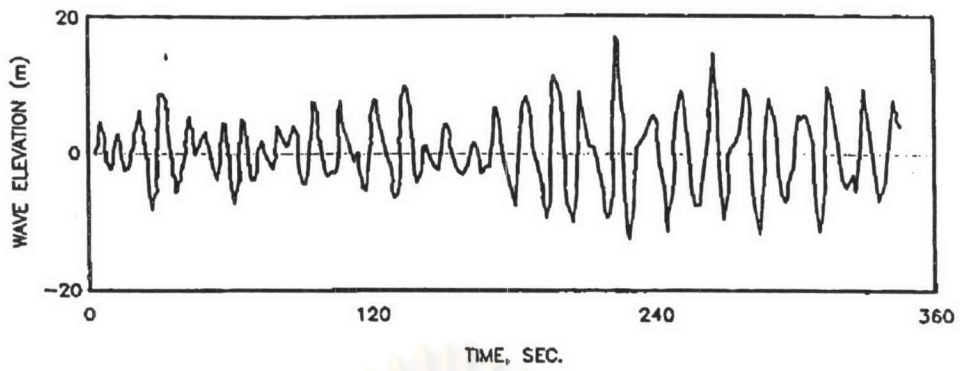
$$a_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x_t \cos(2\pi f_i t)$$

$$b_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x_t \sin(2\pi f_i t)$$

$$e_t = \text{ค่าสุ่ม (random)}$$

การสร้างกราฟของค่าสเปกตรัม $S(f_i)$ ที่แต่ละความถี่ หรือ spectrum density ช่วยให้เราสามารถพิจารณาคลื่นที่เกิดขึ้นทั้งหมดของข้อมูล และคลื่นที่มีนัยสำคัญในเบื้องต้นได้ ดังรูป 2-5

$$S(f_i) = \frac{N}{2} (a_i^2 + b_i^2) = \frac{C_i^2}{2}, C = \text{แอมพลิจูดคลื่น}$$



จาก V.Yevjevich, 1972

รูป 2-5 การวิเคราะห์สเปกตรัมของข้อมูลวงจร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\text{Var}(x_t) = \sum_{i=1}^N (x_t - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^m S(f_i)$$

การวิเคราะห์หา phase คลื่น สามารถหาได้จากสมการ

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{b_i \sin(2\pi f_i t)}{a_i \cos(2\pi f_i t)} \right) \dots\dots\dots (2-5)$$

2.4 การศึกษาที่ผ่านมา

พิชัย พิธานพิทยารัตน์ (1986) การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อระบายและไล่น้ำเสียในคลอง มาประยุกต์ใช้กับคลองผดุงกรุงเกษม ที่มีปลายทั้ง 2 ด้านติดกับแม่น้ำเจ้าพระยา โดยการจำลองการดำเนินการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำ, การเพิ่มปริมาณน้ำโดยใช้ปั๊มน้ำทั้งกรณีขุดและไม่ขุดลอกคลอง โดยใช้ดัชนีชี้วัดคืออัตราการไหลและปริมาณน้ำที่ไหลเข้า-ออก จากผลการทดสอบพบว่า การเปิด-ปิดประตูระบายน้ำพร้อมกับการเดินเครื่องสูบน้ำของกรณีขุดลอกคลองจะช่วยให้การระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสียในคลองดีขึ้นกว่ากรณีไม่ขุดลอกคลอง

Folkertsma (1986) ศึกษากระบวนการผลัดต้นน้ำในคลองกรุงเทพมหานครชั้นใน ประกอบด้วย คลองผดุงกรุงเกษม คลองหลอด, คลองโอง่าง, และคลองมหานาค โดยนำข้อมูลคุณภาพน้ำโดยเฉลี่ยของสำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานคร ที่ปราศจากการวัดค่าอัตราการไหลและระดับน้ำ ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาของ LOHANI, B.N. (1980) การศึกษานี้พบว่าผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำเกิดจากการพาไป convection เป็นส่วนใหญ่

Hayashi (1986) ได้นำข้อมูลการศึกษาระบบผลัดต้นน้ำโดยอาศัยการขึ้นลงของระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา ในโครงการปรับปรุงคุณภาพน้ำในคลองตามพระราชดำริ โดยการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในคลองก่อนและหลังดำเนินโครงการ ซึ่งให้ผลของคุณภาพน้ำดีขึ้นโดยเฉพาะปากคลองที่ใกล้กับแม่น้ำเจ้าพระยาเท่านั้น เนื่องจากการควบคุมการเปิดปิดประตูระบายน้ำ ไม่สัมพันธ์กับน้ำขึ้นน้ำลงของแม่น้ำเจ้าพระยา อีกทั้งมีการปิดกั้นคลองเพื่อป้องกันน้ำท่วม ทำให้น้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาไม่สามารถเข้ามาเจือจางน้ำเสียในคลองได้

Vibunsirikun (1989) ศึกษาการชะล้างน้ำเสียในคลองโดยอาศัยน้ำขึ้น น้ำลงและปั๊มน้ำ โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ (MIKE 11) ซึ่งแบบจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือวิเคราะห์สภาพชลศาสตร์และวิเคราะห์คุณภาพน้ำ โดยศึกษาระบบคลองในกรุงเทพมหานคร ผลการศึกษากการชะล้างน้ำเสียในคลองที่อาศัยน้ำขึ้นน้ำลงเพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอต่อการชะล้างน้ำเสียเนื่อง

จากปริมาณน้ำที่ เข้า-ออกน้อยเกินไป เมื่อเทียบกับบริเวณน้ำเสียที่ถูกทิ้ง จึงนำบิมน้ำเข้ามาช่วยเพิ่มปริมาณน้ำเข้า-ออก จากคลอง มีผลให้คุณภาพน้ำในคลองดีกว่าที่ใช้น้ำขึ้นน้ำลงเพียงอย่างเดียว

JICA (1990) ศึกษาความเป็นไปได้โครงการปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานคร ผลสรุปว่าคุณภาพของน้ำในคลองที่อยู่ในพื้นที่เขตชั้นในกรุงเทพมหานคร มีค่าความสกปรกในรูปของค่าบีโอดีสูงเมื่อเทียบกับคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา สำหรับคลองที่ได้รับอิทธิพลการเจือจางน้ำคลองจากแม่น้ำเจ้าพระยาจะมีค่าบีโอดีต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับคลองในพื้นที่เขตชั้นในกรุงเทพมหานคร ซึ่งค่าบีโอดีในคลองที่ได้รับการเจือจางน้ำเสียในคลองจะมีการแปรเปลี่ยนตามทิศทางการไหลของน้ำในคลองขึ้นอยู่กับการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำและเครื่องสูบน้ำ ซึ่งจากการศึกษาสรุปว่าเมื่อมีการเจือจางน้ำในคลองคุณภาพน้ำคลองจะดีขึ้นโดยเฉพาะในฤดูแล้ง ส่วนในฤดูฝนแนะนำให้ปิดประตูระบายน้ำและสูบน้ำออกจากคลองลงแม่น้ำเจ้าพระยา

Goodwin (1991) ศึกษาแบบหมุนเวียนและผลักดันน้ำในคลองโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ The Branched Lagrangian Transport Model (BLTM) จำลองลักษณะทางชลศาสตร์ของคลองในเมือง Cape Corak และจำลองการติดตั้งประตูระบายน้ำ (Tidal Gate) เพื่อบังคับทิศทางการไหลให้เป็นแบบทิศทางเดียวของคลอง พบว่าประสิทธิภาพในการเจือจางน้ำเสียในคลองขึ้นอยู่กับขนาดความสูงน้ำขึ้นน้ำลงและตำแหน่งการติดตั้งประตูระบายน้ำ

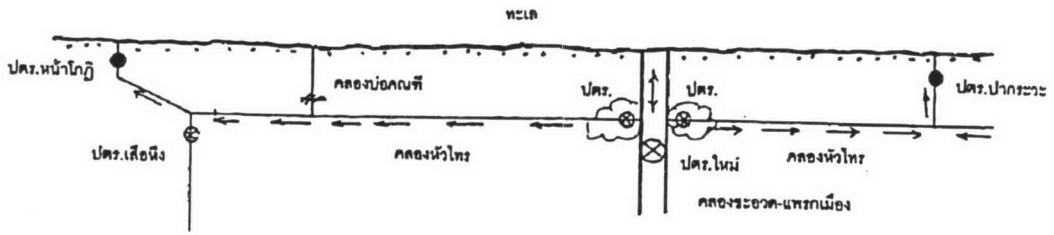
กรุงเทพมหานคร (2536) ศึกษากระบวนการไหลเวียนของน้ำและชุดคลองในเขตชุมชนหนาแน่นของกรุงเทพมหานคร โดยในการศึกษาได้วางแผนงานในการปรับปรุงคุณภาพน้ำในคลองทั้งหมด 4 โครงการคือ 1. ระบบเจือจางน้ำในคลองได้ทำการดึงน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าคลองโดยอาศัยการควบคุมการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำและเครื่องสูบน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำให้เข้ามาเจือจางน้ำในคลอง 2. โครงการสร้างระบบ Aerated Lagoon เนื่องจากที่บางส่วนของคลองน้ำจากระบบเจือจางไม่สามารถเข้าถึงหรือไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการเจือจาง จึงต้องใช้ระบบ Aerated Lagoon เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยการดึงน้ำจากคลองเข้าสู่ระบบแล้วจึงปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดสู่คลองสายเดิม 3. โครงการติดตั้งเครื่องเติมอากาศในกรณีที่น้ำจากระบบเจือจางน้ำคลองเข้าไปไม่ถึง 4. โครงการชุดคลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านชลศาสตร์การไหล คือสามารถเพิ่มปริมาณการเจือจางของน้ำ

Arachchi (1999) ศึกษาการชะล้างน้ำเสียในคลองโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ Finite difference โดยเลือกศึกษาน้ำที่บริเวณคลองसानโดยเป็นคลองที่มีปลายทั้ง 2 ด้านติดต่อกับแม่น้ำเจ้าพระยา โดยการเปิด-ปิด ประตูตามจังหวะการขึ้นลงของระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งใน

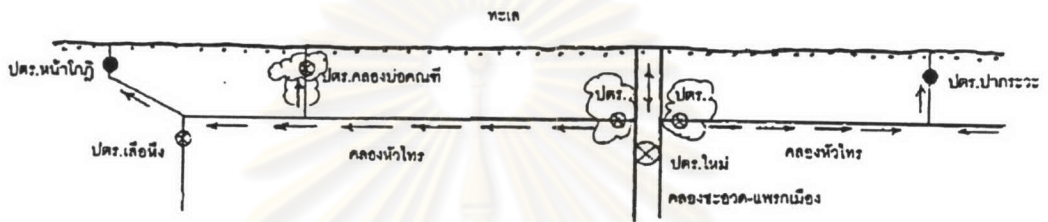
การศึกษาแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ การศึกษาโดยการใช้ประตูละบายน้ำเพียงอย่างเดียว , ศึกษาโดยใช้ประตูละบายน้ำและบิมน้ำออกอย่างเดียวร่วมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการชะล้างให้สูงขึ้น และศึกษาโดยใช้ประตูละบายน้ำ และบิมน้ำดูหน้าเข้า-ออกร่วมกัน ผลการศึกษา จากลักษณะทางกายภาพมีความลาดชันค่อนข้างน้อย ทำให้การใช้ประตูละบายน้ำเพียงอย่างเดียวระดับน้ำด้านต้นคลองกับท้ายคลอง ไม่มีความแตกต่างกันมาก มีผลให้อัตราการไหลเข้า-ออกคลองค่อนข้างน้อย ส่วนกรณีใช้ประตูละบายน้ำ และใช้บิมน้ำดูหน้าออกอย่างเดียวร่วมกันนั้น จากการตรวจสอบประสิทธิภาพจากการชะล้าง โดยดูจากค่าของ BOD ที่ลดลงกว่ากรณีใช้ประตูละบายน้ำระบายน้ำเพียงอย่างเดียว ส่วนกรณีสุดท้ายจะเป็นกรณีที่ให้ประสิทธิภาพการชะล้างสูงกว่าทุกกรณี เนื่องจากสามารถเพิ่มปริมาณน้ำเข้า-ออกจากคลองได้มาก

ชัยพันธุ์ รักวิจัย (2545) ได้เสนอแผนงานควบคุมคุณภาพน้ำในคลองหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยที่ลักษณะทางกายภาพของคลองหัวไทร เป็นคลองที่มีการเชื่อมต่อกับทะเล การถ่ายเทน้ำในคลองจะขึ้นอยู่กับสภาพน้ำขึ้นน้ำลง และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าคลอง แต่ในปัจจุบันได้มีการปิดกั้นคลองหัวไทรบางส่วน เพื่อก่อสร้างประตูละบายน้ำทำนาทุ่งกุลาดำ ทำให้น้ำในคลองไม่มีการถ่ายเทประกอบกับการปล่อยน้ำเสียลงสู่คลองหัวไทรมาก จนเกิดสภาพปัญหาเน่าเสียอย่างรุนแรง ดังนั้นจึงได้เสนอแนวทางในการแก้ปัญหาเน่าเสียในคลองโดยใช้ระบบผลักดันน้ำโดยน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Flushing) ดังแสดงในรูป 2-6 ซึ่งเป็นภาพการบังคับให้เกิดการไหลทิศทางเดียวในคลองโดยการเปิด-ปิดประตูละบายน้ำสลับกันตามจังหวะน้ำขึ้นน้ำลง

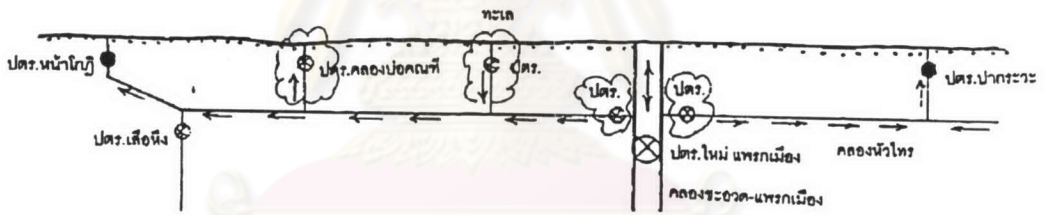
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



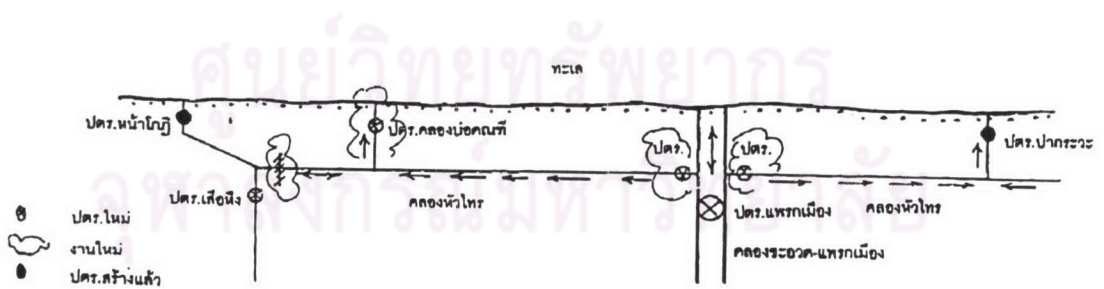
ทางเลือก 1 - ระบายน้ำออกคลองหัวไทรผ่าน ประตูหน้าโกฏิ



ทางเลือก 2 - ระบายน้ำออกผ่าน ประตูหน้าโกฏิและประตูปอดคนที



ทางเลือก 3 - เพิ่มช่องทางรับน้ำเข้า - ออก



ทางเลือก 4 - ไม่ให้น้ำไหลผ่าน ประตูหน้าโกฏิ / ป้องกันน้ำจืดไหลเข้าคลองหัวไทร

จาก ชัยพันธุ์, 2545

รูป 2-6 ตัวอย่างแนวทางระบบผลักดันน้ำโดยน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Flushing)