

บทที่ 2

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

2.1 ลักษณะทางกายภาพของตะแกรงผันน้ำ

ก) เบื้องต้นเกี่ยวกับตะแกรงผันน้ำและการใช้ประโยชน์

Bottom-racks หรือตะแกรงที่ติดตั้งอยู่ที่ห้องน้ำของทางน้ำ เป็นโครงสร้างทางชลศาสตร์ (Hydraulic structure) ที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางสำหรับงานทางด้านวิศวกรรมชลศาสตร์ ซึ่งในบางกรณีอาจมีชื่อเรียกว่า Bottom-intakes เป็นโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่ถูกนำมาใช้ในการผัน (divert) น้ำออกจากทางน้ำเดิม การใช้งานหรือประโยชน์ที่ได้รับจาก Bottom-racks หรือ Bottom-intakes สามารถสรุปได้โดยย่อดังนี้คือ

1) ในทุกวันนี้การใช้งานของ Bottom-racks นิยมนำมาใช้ในการผันน้ำออกจากทางน้ำหลัก เนื่องจากว่าไม่ต้องมีการลงทุนที่สูงมากนักตลอดจนความสะดวกในการติดตั้งหรือทำการก่อสร้างและโอกาสที่จะเกิดความเสียหายในภาวะน้ำหลากจะมีน้อยมาก

2) ในระบบคลองชลประทาน ในบางครั้งการไหลบ่าของน้ำที่เกิดจากฝนอาจจะไหลลงสู่ลำคลองซึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำในลำคลองมีมากเกินไป อันจะมีผลต่อระบบระบายน้ำที่มีอยู่ ดังนั้นการใช้ bottom-racks สามารถใช้ในการช่วยลดปริมาณน้ำส่วนเกินดังกล่าวได้

3) การใช้ประโยชน์ของ bottom-racks ที่เห็นโดยทั่วไปอีกอย่างหนึ่งก็คือใช้เป็น "Kurb-outlets" ตามริมหรือขอบของถนนเพื่อใช้ในการระบายน้ำที่ไหลอยู่ตามท้องถนนให้ไหลไปสู่ระบบระบายน้ำใต้ดิน โดยในการสร้าง bottom-racks นั้นอาจจะให้วางตัวอยู่ในแนวราบหรือให้มีความเอียงเล็กน้อยก็ได้

4.) บ่อยครั้งที่ bottom-racks ถูกนำมาใช้งานเป็น "Skimmers" (โครงสร้างหรืออุปกรณ์ที่มีลักษณะคล้ายภาชนะที่มีรูพรุนที่ก้น) เพื่อใช้ในการลดปริมาณน้ำในกระบวนการต่างๆ เช่น ใช้ในกระบวนการขนถ่ายปลา (transport fish) เป็นต้น

5.) การใช้ bottom-racks ในถังตกตะกอน (sedimentation tanks) เพื่อใช้ในการดักเศษวัสดุต่างๆ ที่ปนมากับกรวดหรือทราย

6) ใช้ในการควบคุมระดับน้ำในคลองชลประทานหรือคลองระบายน้ำโดยการผันน้ำส่วนเกินไปสู่ทางน้ำสายรองที่สร้างขึ้นไว้เพื่อการป้องกันอุทกภัย หรือใช้ในการป้องกันการเอ่อล้นของน้ำในทางน้ำ

ข) ประเภทต่างๆของตะแกรงผันน้ำ

รูป 2-1 แสดงให้เห็นลักษณะของตะแกรงผันน้ำชนิดต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งตะแกรงผันน้ำได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้คือ

1)) *Longitudinal bar bottom-racks*

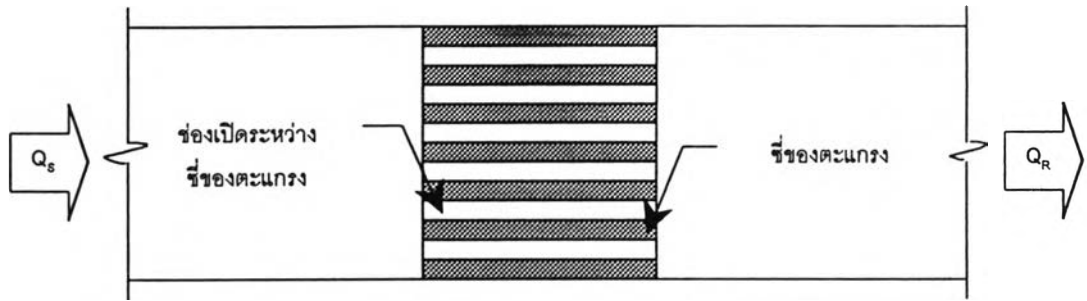
สำหรับตะแกรงประเภทนี้ซี่ของตะแกรงจะถูกวางให้ขนานกับทิศทางการไหลของน้ำ โดยซี่ดังกล่าวจะมีหน้าตัดเป็นรูปต่างๆแล้วแต่ความสะดวกในการก่อสร้าง โดยตะแกรงผันน้ำประเภทนี้ค่อนข้างที่จะมีความสะดวกในการติดตั้ง

2) *Transverse bar bottom-racks*

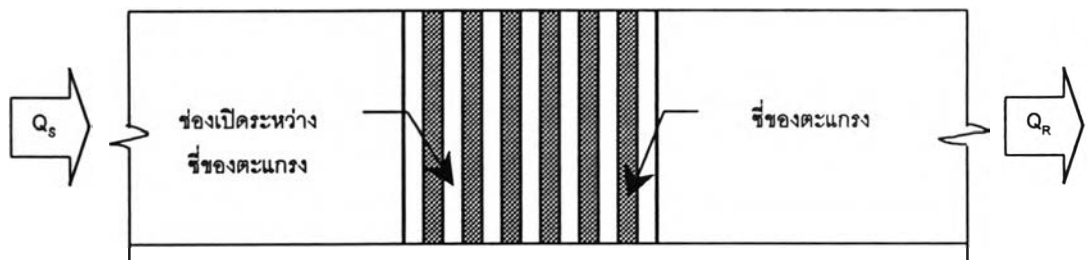
สำหรับตะแกรงแบบนี้ ซี่(bars)ของตะแกรงจะถูกวางในแนวขวางกับทิศทางการไหล และลักษณะของซี่ดังกล่าวอาจจะมีหน้าตัดเป็นวงกลม,สี่เหลี่ยมหรืออาจจะมีหน้าตัดเป็นรูปแบบอื่นๆตามแต่ละกรณีแต่จะพบว่าเมื่อความกว้างของทางน้ำมีความกว้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของตะแกรงจะมีผลทำให้การติดตั้งตะแกรงประเภทนี้มีค่าลงทุนที่ไม่ประหยัด เนื่องจากจะต้องใช้ความยาวของซี่ตะแกรงที่มากตามไปด้วย

3) *Perforated plate bottom-racks*

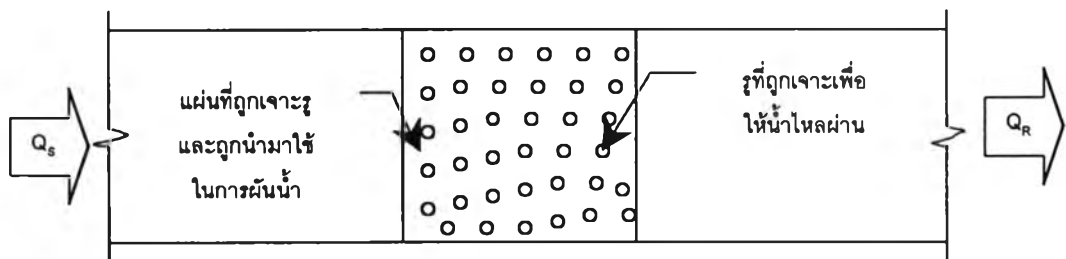
โดยทั่วไปแล้วตะแกรงประเภทนี้จะถูกใช้มากในงานทางด้านอุตสาหกรรมซึ่งแผ่นของตะแกรงจะถูกเจาะรูเพื่อให้น้ำสามารถไหลลอดผ่านไปได้ โดยรูที่เจาะจะมีช่องห่างแบบสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอก็ได้



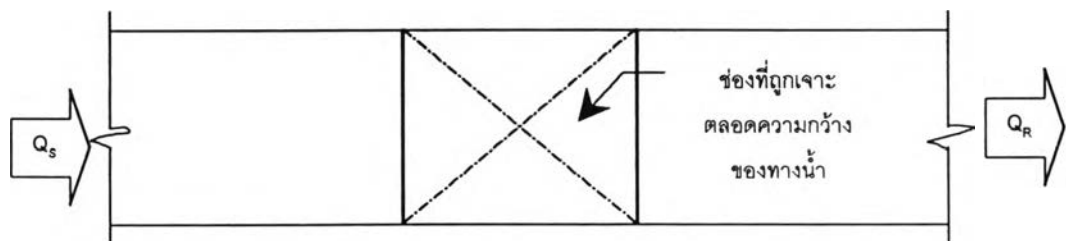
n) Longitudinal bar bottom-racks



ข) Transverse bar bottom-racks



ค) Perforated plate bottom-racks



ง) Slot

รูป 2-1 ลักษณะของตะแกรงผัดน้ำชนิดต่างๆ

4) Slots

สำหรับ Slots จะเป็นกรณีพิเศษของตะแกรงผันทันน้ำที่ไม่มีซี่ของตะแกรงติดตั้งไว้ด้วย กล่าวคือจะมีลักษณะเป็นช่องเปิดที่เกิดจากการเจาะพื้นของทางน้ำ เพื่อให้ น้ำไหลลงสู่ด้านล่างของทางน้ำ

นอกเหนือจากการแบ่งประเภทของตะแกรงผันทันน้ำทั้ง 4 ประเภทดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีการแบ่งตามลักษณะการวางตัวของตะแกรงได้เป็นประเภทที่วางตัวอยู่ในแนวราบกับประเภทที่วางตัวอยู่ในแนวเอียงเมื่อเทียบกับระดับท้องน้ำของทางน้ำ

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะจำกัดอยู่ที่การศึกษาตะแกรงผันทันน้ำที่ติดตั้งอยู่ที่ท้องน้ำ โดยซี่ของตะแกรงดังกล่าวจะมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและวางตัวตามยาวในแนวราบ (Longitudinal Rectangular Bar Bottom-racks) เท่านั้น และด้วยเหตุที่ว่าการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องของตะแกรงผันทันน้ำที่ติดตั้งอยู่บริเวณท้องน้ำของทางน้ำ (bottom-racks) นี้ได้รับความสนใจเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานจริง ดังนั้นจุดมุ่งหมายหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาในครั้งนี้ก็คือการนำไปใช้เป็นแนวทางในการใช้งานจริง

การพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมกรไหลผ่านตะแกรงผันทันน้ำที่ติดตั้งอยู่ที่ท้องน้ำตลอดจนการสร้างแบบจำลองทางกายภาพ (Physical Models) เปรียบเทียบกัน ถือเป็นแนวทางหนึ่งในการที่จะใช้ในการทำนายหรือคาดการณ์พฤติกรรมหรือลักษณะต่างๆทางชลศาสตร์ของการไหลในลักษณะดังกล่าว รวมทั้งเป็นการปรับปรุงหรือนำเสนอแนวคิดใหม่ๆที่จะเพิ่มความสะดวกในการแก้ปัญหาหรือการวิเคราะห์การไหลในลักษณะดังกล่าว

2.2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาเกี่ยวกับการไหลผ่านตะแกรงผันทันน้ำที่อยู่ห้องน้ำของทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากนั้นจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยเทียบตามระยะทาง (Spatially Varied Flow) ซึ่งจะใช้เป็นหลักเบื้องต้นในการนำไปสู่การพัฒนาสมการที่เกี่ยวข้องดังที่ได้กล่าวต่อไป

2.2.1) หลักเบื้องต้นและสมมติฐาน

สำหรับลักษณะการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยเทียบตามระยะทาง (Spatially and Gradually Varied Flow) จะเป็นการไหลในลักษณะที่มีปริมาณน้ำไม่แน่นอนเนื่องจากมีน้ำเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามระยะทางการไหล การที่น้ำเพิ่มเข้ามาหรือมีการลดลงของน้ำจะทำให้เกิดการผันแปรของพลังงานหรือโมเมนตัมที่อยู่ในการไหล เป็นผลทำให้คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่าการไหลที่มีปริมาณน้ำคงที่ นอกเหนือไปจากนี้คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยที่มีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นยังมีความแตกต่างในบางลักษณะจากการไหลที่คล้ายคลึงกันเมื่อปริมาณน้ำลดลง ดังนั้นการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยทั้งสองแบบจึงจำเป็นต้องอธิบายแยกจากกัน

ก) การไหลเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น การไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยในกรณีแบบนี้ การสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งเนื่องจากการไหลรวมแบบปั่นป่วน (Turbulent Mixing) ของน้ำที่ไหลเพิ่มเข้ามาและน้ำที่ไหลอยู่ในทางน้ำ การไหลรวม (Mixing) นี้จะมีขนาดและความไม่แน่นอนสูง เนื่องจากผลของความสูญเสียสูงและ ความสูญเสียจากความไม่แน่นอนจะพบว่าการใช้สมการของโมเมนตัมจะมีความสะดวกกว่าการใช้สมการพลังงานในการแก้ปัญหา

ข) การไหลเมื่อปริมาณน้ำลดลง โดยหลักการเบื้องต้นการไหลแบบเปลี่ยนแปลง

น้อยในกรณีแบบนี้อาจเปรียบเสมือนการผันการไหล ณ ที่ซึ่งน้ำที่ผันจะไม่มีผลกระทบต่อค่าศักย์ของพลังงาน (Energy Head) ข้อความดังกล่าวนี้ได้รับการยืนยันทั้งในทางทฤษฎีและจากผลการทดลอง ดังนั้นจะพบว่าในการแก้ปัญหาแบบนี้ การใช้สมการของพลังงานนั้นสะดวกกว่าการใช้สมการของโมเมนตัม ทฤษฎีของการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยนั้นในบางที่อาจถูกใช้ในการออกแบบเบื้องต้นของ Lateral Spillways , Side-Spillway Weirs , Side Channel Spillways หรือ Bottom-racks ซึ่งบางที่อาจถูกเรียกว่า Bottom-intakes ก็ได้ การทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับลักษณะของโครงสร้างแบบต่างๆ ได้มีการกระทำเป็นครั้งแรกโดย Engels ,Coleman และ Smith ส่วน Forchheimer ได้ใช้แนวทางในการแก้ปัญหาโดยการสมมติให้เส้นพลังงานขนานกับสันทางน้ำสันและท้องของทางน้ำและยังสมมติให้ flow profile ตามแนวสันของทางน้ำสันมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้นอีกด้วย สำหรับในแง่ของทฤษฎี De Marchi ได้พิสูจน์ว่าค่าศักย์ของพลังงานตามแนวสันของทางน้ำสันจะมีค่าคงที่และหน้าข้างการไหล(flow profile) จะมีลักษณะโค้งโดยจะเพิ่มสูงขึ้นในกรณีที่เป็นการไหลได้วิกฤติ (subcritical flow) และจะลดลงเมื่อเป็นการไหลเหนือวิกฤติ (supercritical flow)

ในการหาสมการของการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยที่จะกล่าวต่อไปมีสมมติฐานดังต่อไปนี้คือ

1) การไหลจะถูกพิจารณาเป็นแบบการไหลในทิศทางเดียว (unidirectional) ซึ่งโดยความเป็นจริงแล้วจะมีกระแสการไหลตัดขวางผ่าน (cross currents)ที่อยู่ในรูปของการไหลแบบเกลียว (spiral flow) โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน Lateral Spillways Channel ผลเนื่องจากกระแสการไหลดังกล่าวนี้ตลอดจนการไหลแบบปั่นป่วนทำให้ไม่สามารถทำการประเมินค่าได้ง่ายนัก แต่ถ้าหากใช้หลักของโมเมนตัมในการวิเคราะห์ก็สามารถรวมเข้าไปในการคำนวณได้อื่นๆ ความไม่เท่ากันของระดับผิวน้ำตามแนวด้านข้างซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากกระแสการไหลตัดขวางผ่านสามารถตัดทิ้งได้

2) การกระจายความเร็วของการไหลตลอดทั้งหน้าตัดของการไหลมีค่าคงที่ และสม่ำเสมอตลอดทั้งหน้าตัด นั่นหมายความว่าค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความเร็วถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 1.00 แต่ถึงอย่างไรก็ตามหากมีความจำเป็น การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความเร็วที่เหมาะสมก็เป็นสิ่งที่ควรจะทำ

3) ความดันของการไหลเป็นแบบความดันสถิตย์ (Hydrostatic) นั่นคือการไหลเป็นแบบขนาน ถึงแม้ว่าการไหลที่ตรงทางออกจะมีลักษณะโค้งและผันแปรไปมากจากสมมติฐานการไหลแบบขนานก็ตามแต่ในบางกรณีอาจต้องใช้สัมประสิทธิ์การกระจายความดันที่เหมาะสมหากจำเป็น

4) ความลาดชัน (Slope) ของทางน้ำมีค่าน้อยดังนั้นผลของความลาดชันของทางน้ำต่อค่าศักย์ความดัน (Pressure Head) และแรงที่กระทำต่อหน้าตัดของทางน้ำสามารถตัดทิ้งได้ แต่ถ้าหากว่าความลาดชันของทางน้ำมีมากพอที่จะมีผลต่อลักษณะดังกล่าวข้างต้นก็อาจจะต้องใช้ค่าปรับแก้ที่เหมาะสม

5) สูตรของ Manning จะถูกใช้ในการประเมินค่าความสูญเสียเนื่องจากความฝืด (Friction Loss) อันเกิดจากแรงเฉือนที่เกิดขึ้นตามแนวผนังของทางน้ำ

6) ผลกระทบเนื่องจากการปะปนของอากาศต่อการไหล (Air Entrainment) สามารถตัดทิ้งได้ แต่ถ้าหากจำเป็นในการคำนวณก็อาจจะต้องใช้ค่าปรับแก้ที่เหมาะสม

2.2.2) สมการพลศาสตร์สำหรับการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยเทียบตามระยะทางในกรณีที่มีอัตราการไหลลดลง (Dynamic Equation for Spatially Varied Flow with Decreasing Discharge)

สำหรับการวิเคราะห์การไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยในกรณีนี้สามารถใช้สมการพลังงานมาทำการวิเคราะห์ได้โดยตรง กำหนดให้ z คือระยะทางจากท้องน้ำของทางน้ำเหนือระดับอ้างอิง

พลังงานทั้งหมดในหน้าตัดของทางน้ำคือ

$$H = z + y + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \quad (2-1)$$

หาอนุพันธ์ย่อยของสมการนี้เทียบกับ x จะได้

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{2QdQ}{A^2 dx} - \frac{2Q^2 dA}{A^3 dx} \right) \quad (2-2)$$

ให้ $dH/dx = -S_f, dz/dx = -S_0, dQ/dx = q$. จะได้

$$\frac{dA}{dx} = \left(\frac{dA}{dy} \right) \left(\frac{dy}{dx} \right) = \frac{Tdy}{dx} \quad (2-3)$$

สมการข้างต้นสามารถลดรูปได้เป็น

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \alpha Q q / gA^2}{1 - \alpha Q^2 / gA^2 D} \quad (2-4)$$

ซึ่งสมการนี้ก็คือสมการพลศาสตร์ของการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยในกรณีที่เป็นการไหลแบบมีการลดลงของอัตราการไหล (Dynamic Equation for Spatially Varied Flow with Decreasing Discharge)

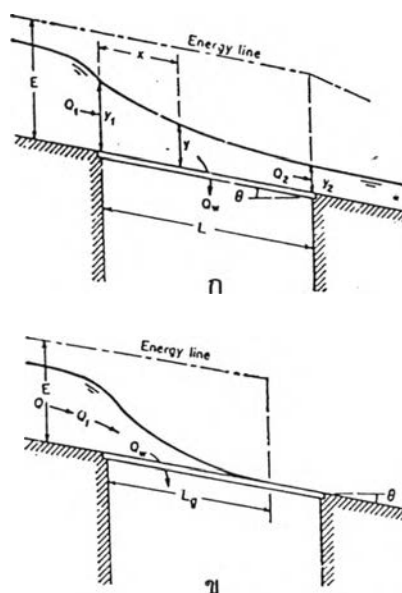
จากสมการที่ (2-4) ซึ่งเป็นสมการที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาในครั้งนี้จะเห็นได้ว่าการที่จะแก้สมการเพื่อหาระดับผิวน้ำตามระยะทาง x นั้นค่อนข้างที่จะยุ่งยากพอสมควรเพราะตัวแปรต่างๆทางขวามือของสมการมีตัวที่ไม่รู้ค่าหลายตัวและปัญหาอีกประการหนึ่งก็คือการไหลจะเป็นแบบอัตราการไหลไม่คงที่ ซึ่งหมายความว่าเมื่อระยะทางเปลี่ยนไปอัตราการไหลก็จะเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นการใช้วิธี Finite Difference Method จึงน่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาในลักษณะนี้ได้

2.2.3) สมการทั่วไปของการไหลผ่านตะแกรงฝัมน้ำที่ท้องน้ำของทางน้ำ

การไหลของน้ำในทางน้ำที่มีตะแกรงฝัมน้ำอยู่ที่ท้องน้ำเป็นกรณีของการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยเทียบตามระยะทางสำหรับกรณีที่มีอัตราการไหลลดลง ตะแกรงดังกล่าวมัก จะสร้างขึ้นจากซี่ของวัสดุที่วางขนานกันหรือมีลักษณะเจาะเป็นรูคล้ายๆกับตะแกรงทั่วไป

จากรูป 2-2 สมมติให้ $\alpha = 1$ และ $\theta = 0$ พลังงานจำเพาะ (Specific Energy) ที่หน้าตัดใดๆของทางน้ำคือ

$$E = y + \frac{V^2}{2g} = y + \frac{Q^2}{2gb^2y^2} \quad (2-5)$$



รูป 2-2 ทางน้ำที่มีตะแกรงฝัมน้ำที่ท้องน้ำ

- ก) มีการไหลออกบางส่วน
- ข) มีการไหลออกหมด

สำหรับการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อยในกรณีนี้ที่อัตราการไหลลดลงค่าพลังงานจำเพาะสามารถพิจารณาให้มีค่าคงที่ตลอดทางน้ำ นั่นคือ $\frac{dE}{dx} = 0$ หรือจากสมการ (2-5)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Qy(-dQ/dx)}{gb^2y^3 - Q^2} \quad (2-6)$$

เมื่อ $-dQ/dx$ คืออัตราการไหลออกตลอดความยาว dx ของตะแกรงและสมการ (2-6) คือสมการพลศาสตร์ทั่วไปของการไหลที่พิจารณา

อัตราการไหลผ่านตะแกรงขึ้นอยู่กับศักย์ประสิทธิผล (Effective head) เหนือตะแกรง เมื่อทิศทางการไหลผ่านช่องเปิดของตะแกรงเกือบจะอยู่ในแนวตั้งการสูญเสียพลังงานในกระบวนการจะถูกตัดทิ้ง ดังนั้นในทางปฏิบัติค่าศักย์ประสิทธิผล (effective head) เหนือตะแกรงจะมีค่าเท่ากับพลังงานจำเพาะ E ซึ่ง Mostkow (1957 : 570) พบว่าเป็นจริงสำหรับตะแกรงที่ประกอบด้วยซี่ (bars) ที่ขนานกัน ในทางกลับกันเมื่อทิศทางการไหลผ่านช่องเปิดของตะแกรงทำมุมกับแนวตั้ง การไหลจะมีอิทธิพลต่อต้านข้างของช่องเปิดเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานและเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลจากแบบเอียงไปเป็นในแนวตั้งจากการทดลอง Mostkow พบว่าเป็นจริงสำหรับตะแกรงที่มีลักษณะเป็นรูและการสูญเสียพลังงานมีค่าประมาณเท่ากับศักย์ความเร็วของการไหลเหนือตะแกรง ดังนั้นจึงอาจสมมติให้ศักย์ประสิทธิผล (effective head) เหนือตะแกรงมีค่าเท่ากับศักย์สถิตย์ (static head) หรือความลึกการไหลเหนือตะแกรง

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้นั้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเป็นการศึกษาพฤติกรรมการไหลในทางน้ำรูสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มีตะแกรงอยู่ที่ท้องน้ำโดยตะแกรงจะมีลักษณะเป็นซี่ขนานกัน ดังนั้นจากหัวข้อข้างต้นการพิจารณาการไหลผ่านช่องเปิดของตะแกรงจะพิจารณาให้การไหลผ่านช่องเปิดของตะแกรงนั้นเป็นการไหลในแนวตั้ง ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

สำหรับการไหลในแนวตั้งผ่านช่องเปิดของตะแกรงนี้ อัตราการไหลตลอดความยาว dx ของตะแกรงอาจจะแสดงได้โดย

$$-\frac{dQ}{dx} = \epsilon \cdot cb \sqrt{2gE} \quad (2-7)$$

เมื่อ

ϵ คืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ของช่องเปิดต่อพื้นที่ผิวหน้าทั้งหมดของตะแกรง

c คือสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านช่องเปิด

จากสมการ (2-5) อัตราการไหลคือ

$$Q = by \sqrt{2g(E-y)} \quad (2-8)$$

แทนค่าสมการ (2-7) สำหรับ $-dQ/dx$ และ สมการ (2-8) สำหรับ Q ลงในสมการ (2-6) และจัดรูปให้ง่ายจะได้

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2\epsilon \cdot c \sqrt{E(E-y)}}{3y-2E} \quad (2-9)$$

อินทิเกรตสมการดังกล่าวนี้จะได้สมการของ flow profile คือ

$$x = -\frac{E}{\epsilon \cdot c} \frac{y}{E} \sqrt{1 - \frac{y}{E}} + C \quad (2-10)$$

สำหรับ $y = y_1$ และ $x = 0$ ค่าคงที่จากการอินทิเกรตในสมการ (2-10) คือ

$$C = (E/\varepsilon.c)(y_1/E)\sqrt{1-y_1/E}$$

ดังนั้น

$$x = \frac{E}{\varepsilon.c} \left(\frac{y_1}{E} \sqrt{1-\frac{y_1}{E}} - \frac{y}{E} \sqrt{1-\frac{y}{E}} \right) \quad (2-11)$$

สมการ (2-11) เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหลใดๆ กับระยะทางตามแนวตะแกรงผิวน้ำ (ดูรูป 2-3 ประกอบ)

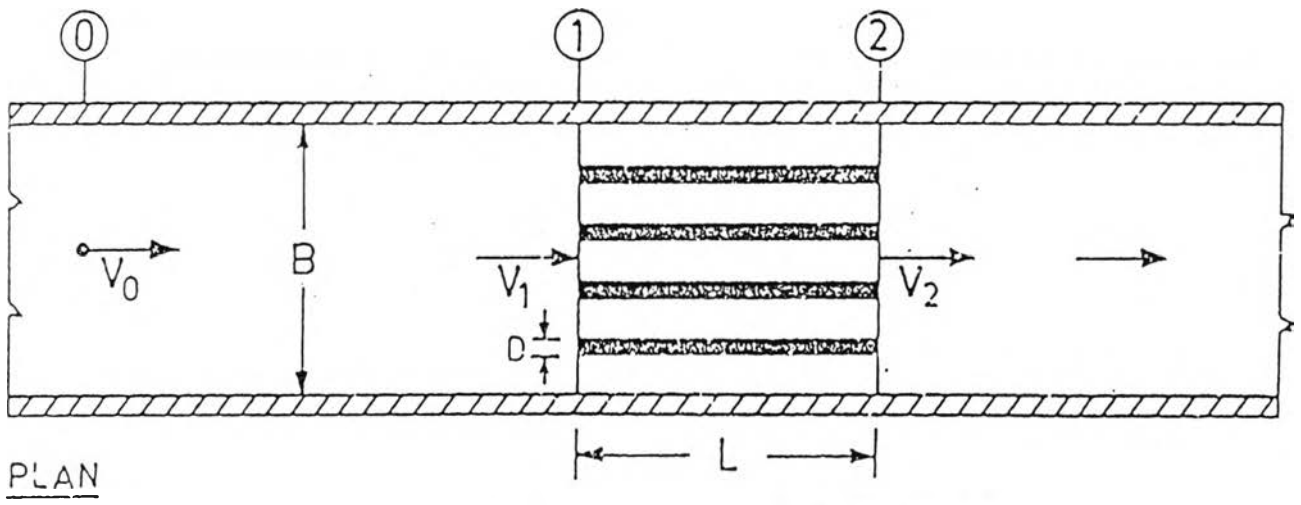
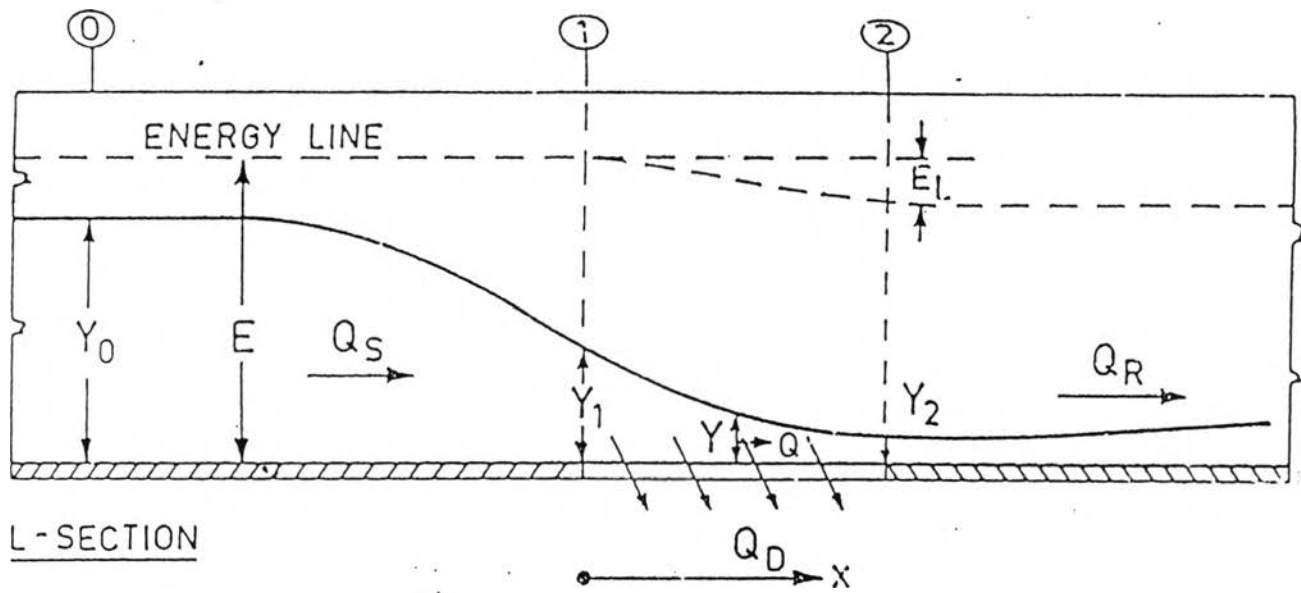
เมื่อ $y = 0$ สมการ (2-11) จะกลายเป็นสมการที่ใช้หาความยาวของตะแกรงที่เหมาะสมในการดักน้ำออกจนหมดจากทางน้ำสายหลักตลอดช่วงของตะแกรงหรือ

$$L_g = \frac{E}{\varepsilon.c} \left(\frac{y_1}{E} \sqrt{1-\frac{y_1}{E}} \right) \quad (2-12)$$

จากสมการ (2-8) สมการข้างต้นจะลดรูปเป็น

$$L_g = \frac{Q_1}{\varepsilon.cb\sqrt{2gE}} \quad (2-13)$$

เมื่อ Q_1 คืออัตราการไหลเข้าตะแกรงและมีค่าเท่ากับอัตราการไหลออก Q_o



รูป 2-3 ลักษณะทั่วไปของตะแกรงฝึบน้ำที่อยู่ท้องน้ำ

2.2.4) พลังงานการไหลในทางน้ำเปิด

จากการศึกษาชลศาสตร์เบื้องต้น พลังงานที่มีอยู่ในการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำหรือเส้นการไหล (Stream line) ใดๆ ซึ่งนิยามกล่าวถึงในเทอมของความสูงของน้ำ คือ พลังงานต่อหน่วยน้ำหนักของน้ำ เช่น เมตร-กิโลกรัม/กิโลกรัม หรือ เมตร - ของความสูงของน้ำ หรือ ฟุต - ปอนด์/ปอนด์ หรือ ฟุต - ของความสูงของน้ำ สามารถคำนวณได้จากนิพจน์ Bernoulli (Bernoulli Expression)

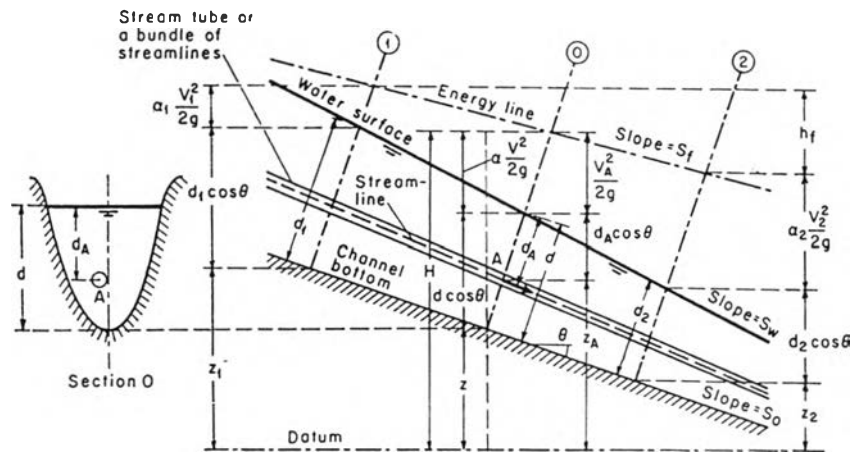
$$H_T = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (2-14)$$

เมื่อ	H_T	=	หัวพลังงานทั้งหมด (Total head)
	z	=	ระดับความสูง (elevation)
	P/γ	=	หัวความดัน (pressure head)
	$v^2/2g$	=	หัวความเร็ว (velocity head)

โดยการพิจารณาการเคลื่อนที่ของลำกระแสน้ำ (Stream tube) A ในรูป 2-4 สามารถเขียนนิพจน์ Bernoulli สำหรับหัวพลังงาน H_T ที่หน้าตัด (0) ได้ดังนี้

$$H_T = z_A + d_A \cos\theta + \frac{v_A^2}{2g} \quad (2-15)$$

จากรูปจะเห็นว่าค่าพลังงานศักย์ $PE = z_A + d_A \cos\theta$ จะมีค่าคงที่ที่ทุกความลึก d_A ของลำกระแสน้ำบนหน้าตัด (0) และระดับของพลังงานศักย์จะอยู่ที่ผิวน้ำอิสระ (free water surface) ด้วยเหตุนี้ Hydraulic Grade Line (HGL.) ของการไหลในทางน้ำเปิดจึงอยู่ที่ผิวน้ำอิสระ ดังแสดงในรูป 2-4 และพลังงานศักย์ในการไหลผ่านหน้าตัด (0) นิยมให้ $PE = z + d \cos\theta$ โดย z = ระดับท้องน้ำที่หน้าตัด (0) และ d = ความลึกของน้ำบนหน้าตัด (0)



รูป 2-4 พลังงานของการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงในทางน้ำเปิดใดๆ

ในประเด็นของหัวความเร็ว $v^2/2g$ (velocity head) จะเห็นได้ว่ามีค่าไม่คงที่ทุกจุดของหน้าตัด (0) เนื่องมาจากการกระจายความเร็วที่ไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ อาจสมมติได้ว่า ให้ค่าหัวความเร็ว $\alpha v^2/2g$ เป็นค่าเฉลี่ยคงที่ ณ ทุกๆจุดบนหน้าตัด (0) โดย $v =$ ค่าความเร็วเฉลี่ยและค่า $\alpha =$ สัมประสิทธิ์การกระจายความเร็ว ดังนั้นหัวพลังงานทั้งหมด (total head) ของการไหล ณ หน้าตัดการไหลใดๆ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$H = z + d \cos \theta + \alpha \frac{v^2}{2g} \quad (2-16)$$

ถ้า $\theta \approx$ small slope

$$\therefore H = z + d + \alpha \frac{v^2}{2g} \quad (2-17)$$

2.2.5) พลังงานจำเพาะ

พลังงานจำเพาะ (Specific energy) ในทางน้ำเปิด ณ หน้าตัดหนึ่งๆ หมายถึง ค่าหัวพลังงาน (Energy head) เมื่อวัดจากท้องน้ำ (channel bottom) ของทางน้ำเปิด โดยจากสมการ (2-16) ถ้า $z = 0$ จะได้ว่า

$$\text{specific energy ; } E = d \cos \theta + \alpha \frac{v^2}{2g} \quad (2-18)$$

และสำหรับทางน้ำเปิดที่มีความลาดชันน้อย $\theta \rightarrow 0$ และ $\alpha = 1.0$

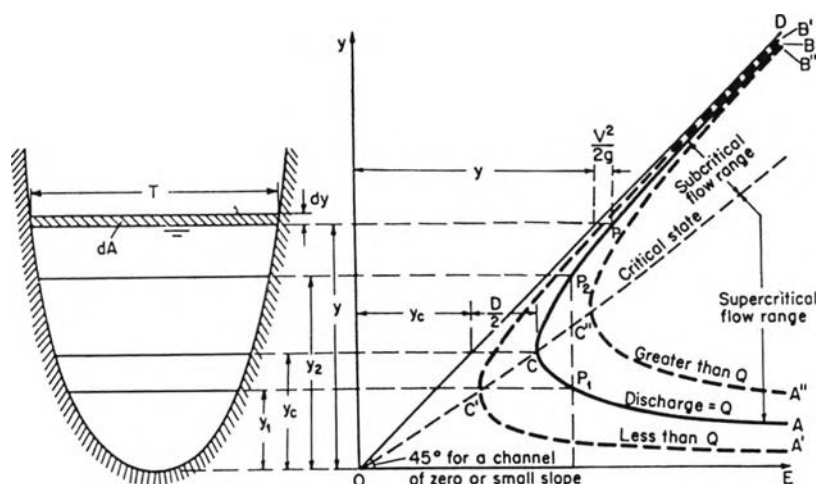
$$E = y + \frac{v^2}{2g} \quad (2-19)$$

ซึ่งหมายความว่า พลังงานจำเพาะ E คือผลบวกของความลึกการไหลและหัวความเร็ว เพื่อความสะดวกต่อการอธิบายจะใช้นิพจน์ของสมการ (2-19) ในการแสดงเนื้อหาต่อไป

เนื่องจากความเร็วเฉลี่ย $v = Q/A$ จะได้ว่า

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (2-20)$$

ซึ่งถ้า $Q =$ ค่าคงที่ ในการไหลคงที่ (Steady flow) จะได้ว่าค่าพลังงานจำเพาะ E ของหน้าตัดที่กำหนดให้จะเป็นฟังก์ชันของความลึกการไหล y เท่านั้น ดังแสดงด้วยเส้น ACB ในรูป 2-5 ถ้าค่า Q น้อยลง เส้นโค้ง $E = f(y)$ จะได้แก่เส้น A'C'B' และถ้าค่า Q มากขึ้น จะได้แก่เส้น A"C"B" ซึ่งจะเห็นได้ว่าเส้นโค้ง $E = f(y)$ จะอยู่ระหว่างเส้นแกน E และเส้น OD ซึ่งทำมุม 45° กับแกน E สำหรับทางน้ำเปิดลาดชันน้อย แต่ถ้าเป็นกรณีของทางน้ำเปิดลาดชันมากจะพบว่ามุมดังกล่าวจะมีค่ามากกว่า 45°



รูป 2-5 พลังงานจำเพาะของการไหลในทางน้ำเปิด

ตามรูป 2-5 ที่ค่า Q ที่กำหนดให้จะพบว่าที่ค่า E ใดๆค่าหนึ่งจะมีความลึกการไหลได้สองค่า เช่นที่จุด P_1 และ P_2 บนเส้นโค้ง $E = f(y)$ ที่ค่าความลึก y_1 จะเรียกว่าระดับน้ำต่ำ (low stage) และ y_2 จะเรียกว่าระดับน้ำสูง (high stage) โดยที่ y_1 และ y_2 จะเป็นค่าความลึกสลับ (Alternate depth) ของกันและกันและกันและเมื่อค่า E ลดต่ำลงผลต่างของค่า $(y_2 - y_1)$ จะลดต่ำลงจนกระทั่ง $y_2 = y_1$ ที่จุด C ซึ่งมีค่าพลังงานจำเพาะ E เป็นค่าต่ำสุดสำหรับอัตราการไหล Q ที่กำหนดค่าหนึ่งๆ และการไหลที่จุด C นี้จะเรียกว่า การไหลสภาวะวิกฤติ (Critical state flow) โดยมีความลึกการไหล $y_c = y_2 = y_1$ การไหลที่เกิดขึ้นภายใต้เส้นเชื่อมจุด $C''C''$ จะเป็นการไหลที่มีความลึกการไหล $y_1 < y_c$ ซึ่งเรียกว่าการไหลสภาวะเหนือวิกฤติ (Supercritical flow) และการไหลที่มีความลึก $y_2 > y_c$ จะเรียกว่าการไหลสภาวะใต้วิกฤติ (Subcritical flow) โดยจะมี $v_1 > v_1 > v_1$ ดังแสดงในรูป 2-5

2.2.6) พลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผิวน้ำ (E_0)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะใช้ E_0 แทนพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผิวน้ำ โดยจากสมการทั่วไปของการไหลผ่านตะแกรงผิวน้ำจะเห็นว่า พลังงานจำเพาะของการไหลจะเป็นพารามิเตอร์ที่มีบทบาทสำคัญต่อตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง แต่เนื่องจากว่า ณ ตำแหน่งบริเวณที่ใกล้ๆกับทางเข้าของตะแกรงผิวน้ำ จะมีสภาพการไหลแบบเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและเนื่องจากการไหลบริเวณเหนือซี่ของตะแกรงและเหนือช่องเปิดของตะแกรงจะมีความลึกการไหลไม่สม่ำเสมอแม้จะอยู่บริเวณหน้าตัดเดียวกันก็ตาม จึงอาจมีผลต่อการวัดค่าความลึกการไหล ณ จุดนั้นๆ ดังนั้นจึงได้กำหนดตำแหน่งที่จะใช้หาค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผิวน้ำ (E_0) โดยให้ห่างจากจุดทางเข้าของตะแกรงผิวน้ำไปทางเหนือน้ำเป็นระยะทางพอสมควร โดยค่าพลังงานจำเพาะของการไหลที่ตำแหน่งดังกล่าวจะมีค่าเทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับพลังงานจำเพาะของการไหลที่จุดทางเข้าของตะแกรงผิวน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่า พลังงานจำเพาะของการไหลมีค่าคงที่หรือการไหลมีการสูญเสียพลังงานน้อยมาก (Mostkow : 1957) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการกำหนดตำแหน่งที่ใช้ในการหาค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผิวน้ำ (E_0) คือ ที่หน้าตัดที่อยู่ห่างจากทางเข้าของตะแกรงผิวน้ำไปทางเหนือน้ำเป็นระยะทาง 5 เท่า ของความลึกการไหลที่หน้าตัดทางเข้าของตะแกรงผิวน้ำ (Shree Kant Shukla : 1987) โดยพิจารณาในสมมติฐานที่ว่า

- ก) ตำแหน่งที่ใช้ในการวัดหาค่าความลึกการไหล y_0 เพื่อหาค่าพลังงานจำเพาะของการไหลเข้าสู่ตะแกรงผิวน้ำ (E_0) จะมีพลังงานจำเพาะเทียบเท่ากับพลังงานจำเพาะของการไหล ณ จุดทางเข้าของตะแกรงผิวน้ำ
- ข) ความลึกการไหลที่หน้าตัดดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเทียบกับหน้าตัดที่เป็นทางเข้าของตะแกรงผิวน้ำ