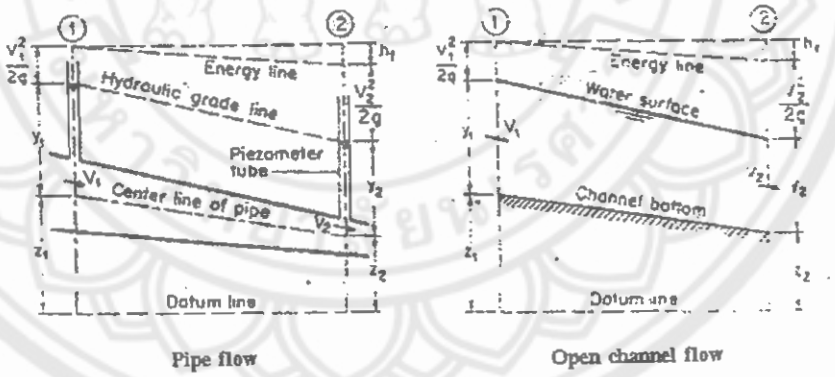
บทที่ 2

คุณสมบัติของ Open Channel

การไหลผ่านในท่อน้ำในท่อ ถ้าไหลไม่เต็มท่อก็เหมือนกับการไหลใน Open Channel การไหลใน Open Channel มีผิวน้ำที่ไหลอิสระหรือสัมผัสกับความดันบรรยากาศ แต่ปัญหาของการไหลใน Open Channel มีมากกว่าการไหลในท่อ ลักษณะการไหลใน Open Channel ยุ่งยากด้วยความจริงที่ว่าตำแหน่งของผิวน้ำเปลี่ยนไปตามเวลา และระยะทาง และด้วยความจริงที่ว่าความลึกของการไหล ปริมาณน้ำและความลาดเทของก้นทางน้ำและผิวน้ำขึ้นต่อกันและกัน ผลจากการทดลองที่แน่นอนของการไหลใน Open Channel หาได้ยาก นอกจากนี้ลักษณะทางฟิสิกส์ Open channel แปรผันไปได้มากกว่าของท่อ ในท่อรูปตัดคงที่และในทั่วไปเป็นทรงกลม แต่ใน Open channel อาจเป็นรูปใดๆก็ได้ จากรูปทรงกลมจนถึงรูปร่างของลำน้ำธรรมชาติที่ขรุขระ นอกเหนือไปจากนี้ความขรุขระของท้องน้ำยังผันแปรไปตามตำแหน่งของผิวน้ำดังนั้นการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานภายใน Open channel จึงมีความผันแปรมากกว่าในท่อ



รูปที่ 2 - 1 เปรียบเทียบระหว่างการไหลในท่อและใน Open channel

2.1 ลักษณะของการไหล

สถานะหรือลักษณะการไหลใน Open channel ถูกควบคุมโดยผลที่เกิดจากความหนืดและศูนย์ถ่วงของโลกซึ่งสัมพันธ์กับ Inertial Force ของการไหล แรงดึงผิวของน้ำอาจกระทบคุณลักษณะของการไหลบางกรณีแต่ก็ยังไม่มีความสำคัญในปัญหาวิศวกรรมของ Open channel

2.2 ผลกระทบจากความหนืด

ขึ้นอยู่กับผลของความหนืดมีมากเมื่อเทียบกับ Inertial ของการไหล อาจเป็น Laminar, Turbulent และ Transition การไหลเป็นแบบ Laminar ถ้าแรงจากความหนืดมีมากเมื่อเทียบกับ Inertial Force ดังนั้นความหนืดจึงเป็นตัวสำคัญที่จะกำหนดคุณลักษณะของการไหลใน Laminar Flow อนุภาคของน้ำเคลื่อนที่ไปตามแนวราบเรียบและแน่นอน หรือตาม Streamlines และเพียงแต่แผ่นบางเล็กๆของของเหลวเท่านั้นที่ดูเหมือนว่าเลื่อนไปสู่ขั้นข้างเคียง

การไหลจะเป็น Turbulent เมื่อแรงเนื่องจากความหนืดมีน้อยเมื่อเทียบกับ Inertial Force ใน Turbulent Flow อนุภาคของน้ำเคลื่อนที่ไม่แน่นอน ซึ่งไม่ใช่แนวราบเรียบหรือแนวคงที่ แต่ไหลปะปนรวมกันไป

ระหว่าง Laminar และ Turbulent มีการผสมกันซึ่งเรียกว่า Transitional State

ผลกระทบของความหนืดซึ่งสัมพันธ์กับ Inertial สามารถเขียนความสัมพันธ์ในรูปของ Reynold number ได้คือ

$$R_e = VL/\nu \qquad (2\text{-}1)$$

V = อัตราความเร็วของการไหล (เมตรต่อวินาที)

L = Characteristic Length (เมตร เมื่อเทียบกับ Hydraulic radius R ของท่อ

ν = Kinematics viscosity ของน้ำ (เมตร^{2}ต่อวินาที)

$\nu = \mu/\rho$

μ = Dynamic viscosity (slugต่อเมตรต่อวินาที)

ρ = Density ของมวลสาร (slugต่อเมตร^3)

การไหลใน Open channel เป็น Laminar ถ้า Renolds number R_eมีค่าน้อยและเป็น Turbulent ถ้า R_eจะมีค่ามากจากการทดลองพบว่าการไหลในท่อการเปลี่ยนจาก Laminar เป็น Turbulent ในช่วงของ R_eจะมีค่า Critical คือ 2,000 ไปจนถึงค่าสูงสุดคือ 50,000 ในการทดลองดังกล่าวแล้วใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อแทน Characteristic Length ในการหาค่า Renold number เมื่อใช้ค่า Hydraulic Radius แทน Characteristic Length ค่า R_e จะเปลี่ยนเป็นจาก 500 ถึง 12,500 เพราะว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเป็น 4 เท่าของ Hydraulic Radius

การไหลที่เป็นแบบ Laminar ,Turbulent หรือที่อยู่ระหว่าง 2 กรณีใน Open channel สามารถที่จะแสดงได้โดยความสัมพันธ์ระหว่าง Renolds number และ Friction Factor จากสูตร

ใช้ค่า Hydraulic Radius แทน Characteristic Length ค่า R_e จะเปลี่ยนเป็นจาก 500 ถึง 12,500 เพราะว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเป็น 4 เท่าของ Hydraulic Radius

การไหลที่เป็นแบบ Laminar ,Turbulent หรือที่อยู่ระหว่าง 2 กรณีใน Open channel สามารถที่จะแสดงได้โดยความสัมพันธ์ระหว่าง Renolds number และ Friction Factor จากสูตร Dracy - Weisbach ความสัมพันธ์ดังกล่าวแล้วโดยทั่วไปก็คือ Stanton Driagram ซึ่งนำมาใช้สำหรับการไหลในท่อ สูตร Dracy - Weisbach ก็เช่นเดียวกัน คือใช้ในสำหรับการไหลในท่อ คือ

$$h_f = fLV^2/(2dg) \qquad (2\text{-}2)$$

ซึ่ง h_f คือการสูญเสียเนื่องจากความฝืดของการไหลในท่อเป็นเมตร

f = Friction Factor

L = ความยาวของท่อเป็นเมตร

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเป็นเมตร

V = อัตราเร็วของการไหลในท่อเป็นเมตรต่อวินาที

g = อัตราเร่งเนื่องจาก gravity เป็นเมตรต่อวินาที^{2}

R = รัศมีของท่อเป็นเมตร

เพราะว่า d = 2R และ Energy Gradient $S = h_f/L$ จากสมการที่ (2-2) จะกลายเป็น

$$f = 4gRS/V^2 \qquad (2\text{-}3)$$

สมการนี้อาจใช้กับการไหลที่ uniform หรือเกือบ uniform ใน open channel ความสัมพันธ์ของ f - R_e ใน smooth pipe สามารถแสดงโดยสมการของ Blasius

$$f = 0.223/R_e^{0.25} \qquad (2\text{-}4)$$

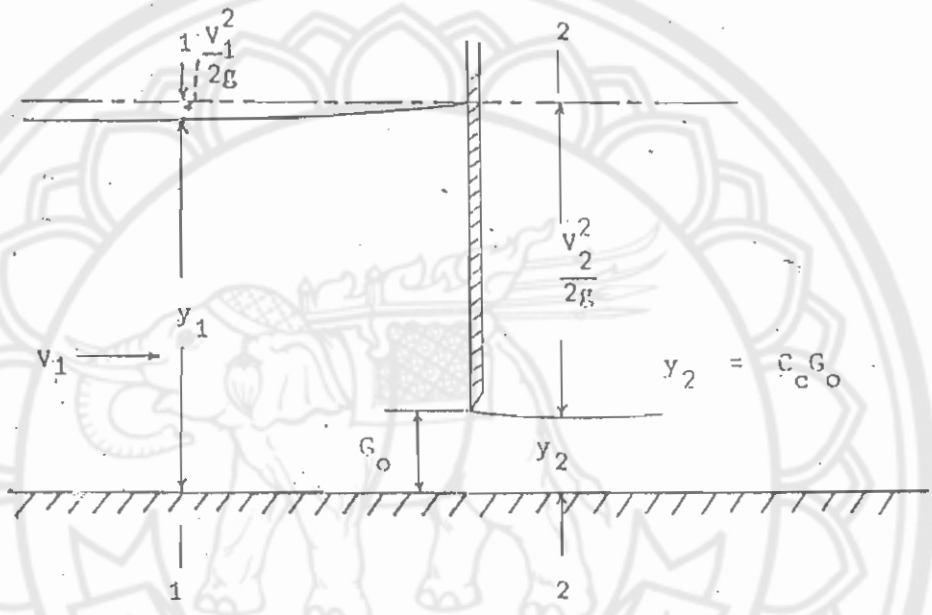
ซึ่งเชื่อว่าจะใช้ได้เมื่อค่า R_e อยู่ระหว่าง 750 และ 25000 สำหรับค่า R_e ที่สูงกว่าใช้สมการของ Prandtl-von Karman

$$1/f = 2\log(R_e(f)^{1/2}) + 0.4 \qquad (2\text{-}5)$$

2.3 <u>ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ</u>

2.3.1 กรณีที่ทางออกท้ายน้ำ เป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow)

กรณีการไหลของน้ำท้ายประตูระบายอิสระ ไม่อยู่ใต้การถูกบังคับของการไหลท้ายน้ำ ดังรูป



รูปที่ 2 – 1 การไหลท้ายประตูระบายเป็น Free Flow

จากรูปตัดที่ 1 – 1 ด้านเหนือน้ำ และรูปตัดที่ 2 – 2 ด้านท้ายน้ำ เมื่อเขียนสมการของ Energy ระหว่างรูตัดทั้งสองจะได้

$$Y_1 + V_1^2/2g = Y_2 + V_2^2/2g$$

โดยสมมุติว่า head losses มีค่าน้อยมากไม่นำมาคิด

$$Y_1 + q^2/2gY_1^2 = Y_2 + q^2/2gY_2^2$$

เพราะว่า $q = Y_1V_1 = Y_2V_2$ ปริมาณน้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง เมื่อจัดรูปของสมการใหม่จะได้

$$q = Y_1Y_2[2g/(Y_1+Y_2)^{1/2}]$$

โดยทั่วไปมักเขียนสมการออกมาในรูป G_o คูณด้วยอัตราความเร็ว $(2gY_1)^{1/2}$ และสัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำ C_d ซึ่งจะได้

$$q = C_c G_o [2gY_1(Y_1/(Y_1+Y_2))]^{1/2}$$

โดยให้ $Y_2 = C_c G_o$

หรือ $q = C_d G_o (2gY_1)^{1/2}$

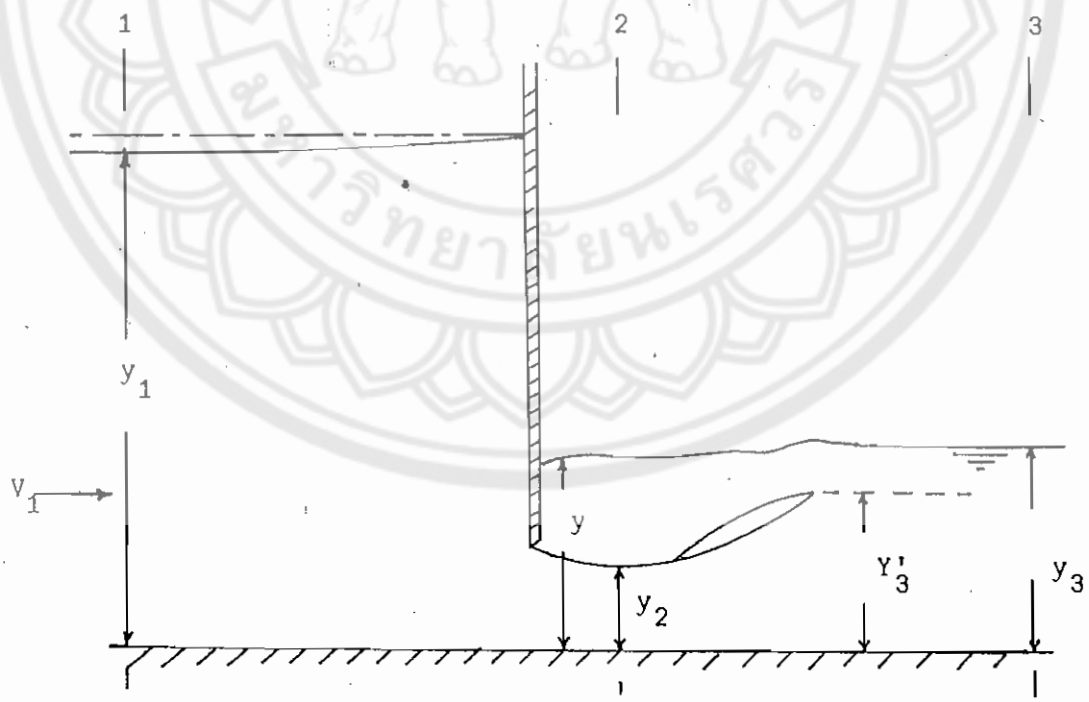
ซึ่ง $C_d = C_c[1/(1+C_c G_o/Y_1)]^{1/2}$

หรือ $C_d = (Y_2/G_o)[1/(1+Y_2/Y_1)]^{1/2}$

ดังนั้นค่า C_d ขึ้นอยู่กับค่า G_o/Y_1 เป็นสำคัญ ส่วนค่าอัตราความเร็ว $(2gY_1)^{1/2}$ ไม่ได้เกิดขึ้นเป็นแต่การเขียนออกมาในรูปสมการมาตรฐานเท่านั้น

2.3.2 กรณีการไหลท้ายน้ำไม่อิสระ (Submerge Flow)

กรณีนี้ความลึก Y_2 ที่เกิดจากการเปิดบานประตู และความลึก Y_3 ที่เกิดจากลักษณะการควบคุมทางท้ายน้ำมีความสำคัญมาก กล่าวคือ ถ้า Y_3 มีค่ามากกว่าความลึกหลังจากเกิด hydraulic jump (Y_3') เนื่องจาก Y_2 ที่เกิดจาก Submerge ท้ายประตูที่เปิด ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2 – 3 แสดงลักษณะ Submerge Flow ท้ายประตูระบาย

เนื่องจากไหลจะเกิด Head losses ระหว่างการไหลจากรูปตัด 1 – 1 ไปสู่รูปตัด 2 – 2 head losses จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อน้ำ เมื่อน้ำไหลจากรูปตัด 2 – 2 ไปสู่รูปตัด 3 – 3

U.S. Army Engineering Waterway Experiment Station ได้พัฒนาสูตรสำหรับใช้คำนวณปริมาณน้ำผ่านประตูประบายกรณีที่เป็น Submerge Flow โดยได้ดัดแปรงมาจากสูตรของ Standard orifice

$$Q = CbG_o(2gh)^{1/2}$$

หรือ $$Q(h_s/G_o) = CbG_o(h_s/G_o)(2gh)^{1/2}$$

$$Q = C_s b(h_s/G_o)(2gh)^{1/2}$$

$$Q = C_s bh_s(2gh)^{1/2}$$

ซึ่ง $C_s = C(G_o/h_s)$

G_o = การเปิดบานประตู

Q = อัตราการไหลของน้ำ

C_s = สัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล Submerge Flow

b = ความกว้างของช่องประตูระบาย

h_s = ระดับท้ายน้ำ – ระดับธรณีประตู

g = อัตราเร่งเนื่องจากศูนย์ถ่วง

h = ผลต่างของ head ระหว่างเหนือน้ำและท้ายน้ำ ซึ่งรวมถึง approach velocity head ด้วย