

ความต้านทานการไหลของคลองที่มีขยะและผักตบชวาลอยบนผิวน้ำ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Flow Resistances of Canals Carrying Floating Garbage and Water Hyacinth



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Water Resources Engineering

Department of Water Resources Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความต้านทานการไหลของคลองที่มีขยะและผักตบชวาลอยบนผิวน้ำ
โดย	น.ส.สุวิภา กุศลจง
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนรรักษ์ ศรีอริยวัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักริภัย)

สุวิภา กุศลจุง : ความต้านทานการไหลของคลองที่มีขยะและผักตบชวาลอยบนผิวน้ำ. (Flow Resistances of Canals Carrying Floating Garbage and Water Hyacinth) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.เสรี จันทโรยธา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้านทานการไหลในคลองที่มีขยะและผักตบชวาลอยบนผิวน้ำ โดยศึกษาในห้องปฏิบัติการและทดลองในรางน้ำเปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $0.60 \times 18.0 \times 0.75$ ม. ที่มีการไหลเวียนของน้ำ ในห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การศึกษานี้ได้จำลองขยะที่ลอยอยู่บนผิวน้ำด้วยวัสดุพลาสติกถ่วงน้ำหนักและไม้ จำนวน 75 การทดลอง และผักตบชวา 50 การทดลอง ในการทดลองยังได้เปลี่ยนแปลงความลาดต้งน้ำ (S_0) 3 ค่า (0, 0.0001 และ 0.0002) โดยข้อมูลความลึกการไหลในรางน้ำอยู่ระหว่าง 0.45 ม. ถึง 0.60 ม. และอัตราการไหลของน้ำอยู่ระหว่าง 7.87 ลิตรต่อวินาที ถึง 16.15 ลิตรต่อวินาที

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ขยะลอยน้ำและผักตบชวาส่งผลให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้น และยังพบว่าทางน้ำที่มีขยะลอยน้ำและผักตบชวา ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิด (n) เพิ่มขึ้นสูงสุดประมาณ 450% และ 375% ตามลำดับ ระยะการลอยและความลึกจมของขยะลอยน้ำและผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า n เพิ่มขึ้น ในขณะที่ขยะลอยน้ำและผักตบชวา ส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตู (C_d) ลดลงสูงสุดประมาณ 0.56% และ 0.54% ตามลำดับ ระยะการลอยและความลึกจมของขยะลอยน้ำและผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า C_d ลดลง นอกจากนี้พบว่าที่ความลึกจมของขยะลอยน้ำและผักตบชวาเท่ากัน ขยะลอยน้ำส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า n และการลดลงของ C_d มากกว่าผักตบชวา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6270385521 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEYWORD: laboratory experiment, canal, Manning 'n', floating garbage, water hyacinth

Suwipa Kusolchoong : Flow Resistances of Canals Carrying Floating Garbage and Water Hyacinth. Advisor: Assoc. Prof. SEREE CHANYOTHA, Ph.D.

This experimental study aimed at investigating the resistances of canals carry floating garbage and water hyacinth. The study was conducted in a flow circulated rectangular flume of $0.60 \times 18.0 \times 0.75$ m in Coastal and Hydraulic Laboratory, Department of Water Resources Engineering, Chulalongkorn University. Floating garbage was modeled using weighed plastic and wood in this experiment with 75 sets. In addition, water hyacinth was modeled in this experiment with 50 sets. Three bed slopes were set for this study (0, 0.0001, and 0.0002). The experiments were performed with the ranges of flow depths of 0.45 m to 0.60 m and 7.87 liter/s to 16.15 liter/s, respectively.

The results from this study indicated that floating garbage and water hyacinths increased the water level. The canals carrying floating garbage and water hyacinths also increased the maximum of Manning's n roughness coefficient about 450% and 375%, respectively. The results also showed that the increase of length and submerge depth of both floating garbage and water hyacinth increased n . On the other hand, the floating garbage and water hyacinths decreased the maximum of sluice gate discharge coefficient (C_d) about 0.56% and 0.54%, respectively. Moreover, the increase of length and submerge depth of both floating garbage and water hyacinth also decreased C_d . By comparison at the same submerge depth, floating garbage increased n and decreased C_d more than water hyacinth.

Field of Study: Water Resources Engineering Student's Signature

Academic Year: 2020 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้
อบรมสั่งสอนข้าพเจ้า ทั้งทางด้านวิชาการและการใช้ชีวิต มีความเมตตา สนับสนุนและช่วยเหลือในทุก
ด้าน เป็นที่เคารพรักของข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์ ประธานกรรมการ รอง
ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล กรรมการ และรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย
กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย สำหรับการเสียสละเวลาให้คำปรึกษา ตีพิมพ์ แก้ไข ซึ่งเป็นประโยชน์
อย่างมากต่อวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า รวมถึงคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้อบรม สั่งสอนข้าพเจ้าให้มีความรู้เพิ่มพูนขึ้น
อาจารย์ทุกท่านเป็นที่เคารพรักของข้าพเจ้า

ขอขอบคุณบุคลากร ช่างปฏิบัติการ นิสิตรุ่นพี่รุ่นน้องทุกคน ในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือมาตลอด ทั้งทางด้านกำลังงาน
และกำลังใจ ให้คำปรึกษา รับฟังและช่วยแก้ไขปัญหาคือ ข้าพเจ้ามีความซาบซึ้งใจต่อทุกคนเป็นอย่างมาก

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า บิดา มารดาและน้องสาวที่เป็นกำลังใจสำคัญ
ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วง เข้าใจและสนับสนุนมาโดยตลอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สุวิภา กุศลจุง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การพิจารณาค่า Manning n ในทางน้ำเปิด.....	6
2.2 การพิจารณาค่า C_d ของประตุน้ำบานเลื่อนหรือยกตรงในแนวตั้ง.....	11
2.3 การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ.....	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 การทดลองและผลการทดลอง.....	20
3.1 แบบจำลองชลศาสตร์.....	20
3.2 การออกแบบการทดลอง.....	23
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	30

3.4 ผลการทดลอง	32
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล	41
4.1 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระทางน้ำเปิด (Manning's n).....	41
4.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การไหลลอดผ่านประตู (C_d).....	45
4.3 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ.....	48
4.4 ผลของขยะและผักตบชวาต่อชลศาสตร์การไหลของทางน้ำเปิด.....	55
4.5 ผลของขยะและผักตบชวาต่อชลศาสตร์การไหลผ่านประตูน้ำ.....	63
4.6 การเปรียบเทียบผลของขยะและผักตบชวาต่อชลศาสตร์การไหลของทางน้ำเปิดและผ่านบานประตู.....	81
4.7 การประมาณค่าการเพิ่มขึ้นของค่า n และการลดลงของ C_d	83
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	89
5.1 สรุปผลการศึกษา	89
5.2 ข้อเสนอแนะ	92
บรรณานุกรม.....	93
ภาคผนวก ก.....	95
ภาคผนวก ข.....	99
ภาคผนวก ค.....	120
ภาคผนวก ง	125
ประวัติผู้เขียน.....	130

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 2-1 ค่าสัมประสิทธิ์บีบการไหล กรณีของประตูในแนวตั้ง (Henderson, 1966).....	13
ตาราง 3-1 ข้อมูลการทดลอง	24
ตาราง 3-2 การทดลองกรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) 75 การทดลอง	25
ตาราง 3-3 การทดลองกรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) 50 การทดลอง.....	28
ตาราง 3-4 ตัวอย่างบันทึกผลการทดลอง กรณี S0Q1G0 ถึง S0Q1G4.....	31
ตาราง 3-5 ผลการทดลองกรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) 75 การทดลอง.....	33
ตาราง 3-6 ผลการทดลองกรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) 50 การทดลอง.....	36
ตาราง 3-7 ระดับท้องน้ำจากระดับอ้างอิงของรางทดลองที่ค่าความลาดท้องน้ำในกรณีต่างๆ	38
ตาราง 3-8 ลักษณะทางชลศาสตร์ของการทดลองในกรณีไม่มีขยะ และไม่มีผักตบชวา.....	39
ตาราง 4-1 ตัวอย่างการคำนวณค่า n โดยวิธีขั้นตอนมาตรฐาน.....	42
ตาราง 4-2 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Manning's n กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) กรณี S0 ($S_0 = 0$)	43
ตาราง 4-3 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Manning's n กรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) กรณี S1 ($S_0 = 0.0001$).....	44
ตาราง 4-4 ตัวอย่างการคำนวณค่า C_d	45
ตาราง 4-5 ผลการคำนวณค่า C_d กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) กรณี S0 ($S_0 = 0$)	46
ตาราง 4-6 ผลการคำนวณค่า C_d กรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) กรณี S1 ($S_0 = 0.0001$)	47
ตาราง 4-7 การเปลี่ยนแปลงระดับผิวน้ำในกรณีมีขยะ (floating garbage, G)	50
ตาราง 4-8 การเปลี่ยนแปลงระดับผิวน้ำในกรณีมีผักตบชวา (water hyacinth, WH)	54

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 1-1 คลองลาดพร้าวที่มีขยะลอยบนผิวน้ำ	2
รูป 1-2 การระบายน้ำที่มีฝักตบขवालอยบนผิวน้ำผ่านประตูน้ำเขื่อนเจ้าพระยา	2
รูป 2-1 การไหลเปลี่ยนแปลงน้อย (เสรี จันทโรยธา และชัยพันธุ์ รักริวิจัย, 2556).....	8
รูป 2-2 การไหลลอดประตูบานตรง (vertical sluice gate) (Henderson, 1966).....	13
รูป 2-3 สัมประสิทธิ์บีบการไหลของการไหลลอดประตูระบายน้ำบานเลื่อน (Henderson, 1966) ..	14
รูป 2-4 สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของการไหลลอดประตูระบายน้ำบานเลื่อน	14
รูป 3-1 รางน้ำเปิดจำลองการไหล	21
รูป 3-2 วัสดุลอยน้ำ 2 ชนิด.....	22
รูป 3-3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	23
รูป 3-4 เส้นผิวน้ำ กรณีขยะลอยน้ำ เมื่อความลาดท้องน้ำเฉลี่ย $S_0 = 0$ (S_0).....	40
รูป 4-1 กราฟเปรียบเทียบระดับผิวน้ำจากการคำนวณ กับผิวน้ำจากการวัด.....	45
รูป 4-2 เส้นผิวน้ำ กรณีขยะลอยน้ำ เมื่อความลาดท้องน้ำ $S_0 = 0$ (S_0)	51
รูป 4-3 เส้นผิวน้ำ กรณีขยะลอยน้ำ เมื่อความลาดท้องน้ำ $S_0 = 0.0001$ (S_1).....	51
รูป 4-4 เส้นผิวน้ำ กรณีขยะลอยน้ำ เมื่อความลาดท้องน้ำ $S_0 = 0.0002$ (S_2).....	52
รูป 4-5 เส้นผิวน้ำ กรณีฝักตบขวา เมื่อความลาดท้องน้ำ $S_0 = 0.0001$ (S_1)	54
รูป 4-6 เส้นผิวน้ำ กรณีฝักตบขวา เมื่อความลาดท้องน้ำ $S_0 = 0.0002$ (S_2)	55
รูป 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n กับปริมาณขยะตามระยะการลอย (L_g).....	56
รูป 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n กับปริมาณฝักตบขวาตามระยะการลอย (L_{wh}).....	57
รูป 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_g/n_0 กับปริมาณขยะตามระยะการลอย (L_g)	58
รูป 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_{wh}/n_0 กับปริมาณฝักตบขวาตามระยะการลอย (L_{wh})	58
รูป 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_g/n_0 กับ L_g/y_1 กรณีขยะ	60

รูป 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_{wh}/n_0 กับ L_{wh}/y_1 กรณีฝักตบขวา	60
รูป 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_g/n_0 กับ y_g/y_1 กรณีขยະ	62
รูป 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_{wh}/n_0 กับ y_{wh}/y_1 กรณีฝักตบขวา	62
รูป 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับปริมาณขยະตามระยะการลอย (L_g).....	64
รูป 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับปริมาณฝักตบขวาตามระยะการลอย (L_{wh}).....	64
รูป 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับ y_1/w ของขยະ.....	67
รูป 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับ y_1/w ที่ปริมาณขยະต่างๆ.....	69
รูป 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับ y_1/w ของฝักตบขวา	71
รูป 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับ y_1/w ที่ปริมาณฝักตบขวาต่างๆ.....	73
รูป 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับปริมาณขยະตามระยะการลอย (L_g).....	76
รูป 4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับปริมาณฝักตบขวาตามระยะการลอย (L_{wh}).....	76
รูป 4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับ L_g/y_1 ของขยະ.....	78
รูป 4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับ L_{wh}/y_1 ของฝักตบขวา.....	78
รูป 4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับ y_g/y_1 กรณีขยະ	80
รูป 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับ y_{wh}/y_1 กรณีฝักตบขวา.....	80
รูป 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_g/n_0 กับ L_g/y_1 (ขยະ) และค่า n_{wh}/n_0 กับ L_{wh}/y_1 (ฝักตบขวา) 81	
รูป 4-28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับ L_g/y_1 (ขยະ) และค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับ L_{wh}/y_1 (ฝักตบขวา)	82
รูป 4-29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϕn_g กับ L_g/y_1 กรณีขยະ.....	84
รูป 4-30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϕn_{wh} กับ L_{wh}/y_1 กรณีฝักตบขวา.....	84
รูป 4-31 ผลการเปรียบเทียบค่า ϕn_g จากค่ากราฟและค่าจากการทดลอง กรณีขยະ	85
รูป 4-32 ผลการเปรียบเทียบค่า ϕn_{wh} จากค่ากราฟและค่าจากการทดลอง กรณีฝักตบขวา.....	85
รูป 4-33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\phi C_{d,g}$ กับ L_g/y_1 กรณีขยະ	87
รูป 4-34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\phi C_{d,wh}$ กับ L_{wh}/y_1 กรณีฝักตบขวา	87

รูป 4-35 ผลการเปรียบเทียบค่า $\phi_{C_{d,g}}$ จากค่ากราฟและค่าจากการทดลอง กรณีขยชะ 88

รูป 4-36 ผลการเปรียบเทียบค่า $\phi_{C_{d,wh}}$ จากค่ากราฟ และค่าจากการทดลอง กรณีฝักตบชา 88



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัญหาเรื่องน้ำท่วมขังระบายน้ำได้ช้า เป็นปัญหาใหญ่ที่เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ บางพื้นที่อาจเกิดความเสียหายมาก เพราะเป็นชุมชนเมือง มีประชากรอาศัยจำนวนมาก พื้นที่เขตสนามบิน พื้นที่ทางหลวง พื้นที่อุตสาหกรรม พื้นที่เกษตรกรรม เป็นต้น ซึ่งก่อให้เกิดผลเสียทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสุขอนามัย วิธีการบรรเทาปัญหาอย่างหนึ่งคือ การปรับปรุงระบบระบายน้ำ เพื่อให้สมดุลกับปริมาณน้ำที่เข้ามาในพื้นที่นั้นๆ

ระบบระบายน้ำมีทั้งแบบเป็นไปตามธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น ระบบระบายน้ำตามธรรมชาติ ได้แก่ แม่น้ำ ลำคลอง เป็นต้น ระบบระบายน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ ท่อระบายน้ำ คลองระบายน้ำ อุโมงค์ระบายน้ำ บ่อสูบน้ำ เป็นต้น ระบบระบายน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น หรือโครงสร้างทางชลศาสตร์ต่างๆ ควรสามารถระบายน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำท่วมขัง และควรมีการศึกษาออกแบบก่อสร้างและดำเนินการให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ

คลองระบายน้ำเป็นโครงสร้างชลศาสตร์อย่างหนึ่งที่ใช้ในระบบระบายน้ำฝน (storm drain) หรือน้ำเสีย (waste water drain) โดยพิจารณาว่าน้ำที่ระบายนั้นเป็นน้ำที่ไม่มีวัสดุอื่นเจือปนที่ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของน้ำ (เช่น ความหนาแน่น ความหนืด) เปลี่ยนไปจากค่าที่กำหนดไว้ ตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร ใช้คลองระบายน้ำเป็นส่วนหนึ่งของระบบระบายน้ำ ภายใต้การดูแลของสำนักระบายน้ำกรุงเทพมหานคร แต่ปัญหาที่พบคือคลองระบายน้ำมีขยะและวัชพืชลอยอยู่เป็นจำนวนมาก (รูป 1-1) อาจมีผลให้ความสามารถการระบายน้ำของคลองเปลี่ยนแปลงไปจากเงื่อนไขที่ออกแบบไว้ นอกจากนี้ทางน้ำที่มีขยะและวัชพืช อาจส่งผลต่อการระบายน้ำผ่านประตูควบคุม (control gate) ทำให้การดำเนินการของประตู (gate operation) ไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ เช่นเดียวกับกรณีของทางน้ำที่ไม่มีขยะและวัชพืช ดังตัวอย่างของแม่น้ำเจ้าพระยา ที่พบว่ามีวัชพืชลอยขวางประตูระบายน้ำของเขื่อนเจ้าพระยา (รูป 1-2)

การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจำลองวัสดุลอยน้ำ 2 ชนิด

ได้แก่ ขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) และผักตบชวา (water hyacinth, WH) ปนมากับน้ำในแบบจำลองทางน้ำเปิดขนาด $0.60 \times 18.0 \times 0.75$ ม. โดยเป้าหมายเพื่อศึกษาความสามารถในการระบายน้ำของทางน้ำทิ้งและประตูควบคุม ในกรณีที่ทางน้ำมีขยะและวัชพืชลอยบนผิวน้ำในทางน้ำ



รูป 1-1 คลองลาดพร้าวที่มีขยะลอยบนผิวน้ำ



รูป 1-2 การระบายน้ำที่มีผักตบชวาลอยบนผิวน้ำผ่านประตูน้ำเขื่อนเจ้าพระยา

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

- 1) ศึกษาความสามารถการระบายน้ำของทางน้ำเปิดที่มีขยะและวัชพืช
- 2) ศึกษาความสามารถการระบายน้ำของประตูน้ำของทางน้ำเปิดที่มีขยะและวัชพืช
- 3) ศึกษาความสัมพันธ์ของชนิดและปริมาณขยะในทางน้ำเปิด กับความสามารถการไหลของทางน้ำและประตูน้ำ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้ใช้แบบจำลองทางกายภาพ ในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจำลองคลองระบายน้ำด้วยรางน้ำเปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $0.60 \times 18.0 \times 0.75$ ม. และจำลองวัสดุลอยน้ำ 2 ชนิด ได้แก่ ขยะ และวัชพืช รายละเอียดของขอบเขตการศึกษามีดังต่อไปนี้

- 1) การทดลองจะดำเนินการภายใต้การไหลในทางน้ำที่เป็นการไหลคงที่ (steady flow) และเป็นการไหลใต้วิกฤต (subcritical flow) โดยกำหนดทดลอง 5 อัตราการไหล สำหรับเงื่อนไขวัสดุลอยน้ำต่างๆ โดยอยู่ในช่วง 7.87-16.15 ลิตร/วินาที ส่วนประตูน้ำเป็นแบบบานชักตรง (Vertical sluice gate) และการไหลผ่านประตูเป็นแบบไหลอิสระ (free flow) โดยมีระยะเปิดบาน 0.9-1.4 ซม.

- 2) วัสดุลอยน้ำ 2 ชนิด ได้แก่ ขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) ประกอบด้วย กิ่งไม้ พลาสติก โฟม และกระป๋องที่เคลือบกัน ส่วนวัชพืชจะมีเพียงผักตบชวา (water hyacinth, WH) โดยระยะจมของขยะ (y_g) และผักตบชวา (y_{wh}) เฉลี่ยประมาณ 8 ซม. และระยะการลอยของขยะ (L_g) และผักตบชวา (L_{wh}) เหนือบานประตู เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 ม. ทั้งนี้ความหนาแน่นของขยะและผักตบชวาจะใช้ความหนาแน่นเดียว โดยใส่ขยะและผักตบชวาระบายสม่ำเสมอในรางน้ำ

- 3) ข้อมูลจากการทดลอง ประกอบด้วย ระดับผิวน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ (WS.EL.) ความลึกน้ำ (y) ระดับท้องน้ำ (z) ระยะจมของขยะ (y_g) ระยะจมของผักตบชวา (y_{wh}) ระยะการลอยของขยะ (L_g) ระยะการลอยของผักตบชวา (L_{wh}) อัตราการไหลของน้ำ (Q) และระยะเปิดบานประตู (w)

- 4) การศึกษาความสามารถการระบายน้ำของทางน้ำเปิด ที่มีขยะและผักตบชวาลอยบนผิวน้ำ จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหล (flow resistance coefficient) หรือ

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (roughness coefficient) ของ Manning ในเชิงเปรียบเทียบของกรณีทางน้ำที่มีขยะและวัชพืช กับกรณีทางน้ำที่ไม่มีขยะและวัชพืช

5) การศึกษาความสามารถการระบายน้ำของประตูน้ำ จากการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การไหลของประตู (discharge coefficient) ในเชิงเปรียบเทียบ ของกรณีทางน้ำที่มีขยะและวัชพืชกับกรณีทางน้ำที่ไม่มีขยะและวัชพืช

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษานี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติ เพื่อให้ครอบคลุมขอบข่ายและวัตถุประสงค์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ศึกษาทฤษฎี หลักการและสมมุติฐาน ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด และการไหลผ่านประตู เพื่อเป็นพื้นฐานและแนวทางสำหรับการศึกษาวิจัย

2) รวบรวมข้อมูลรายงาน และผลการศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้อง กับ การไหลของน้ำในทางน้ำเปิด และการไหลผ่านประตู เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาหาแนวทางหรือวิธีการที่ใช้ในการศึกษานี้ รวมถึงการทบทวนทฤษฎีการสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรมชลศาสตร์ เพื่อนำมาใช้วางแผนการทดลองและเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ผลการศึกษาในการศึกษานี้

3) ออกแบบการทดลอง ประกอบด้วย การกำหนดเงื่อนไขและกรณีของการศึกษานี้ และข้อมูลหรือตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ที่จะต้องวัด บันทึก และเก็บรวบรวม เพื่อนำไปวิเคราะห์หาคำตอบของปัญหาตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

4) เตรียมแบบจำลองเพื่อใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วย การปรับปรุงและตรวจสอบแบบจำลองทางกายภาพของทางน้ำ ประตูน้ำ ขยะลอยน้ำ ผักตบชวา ตลอดจนระบบการไหลเวียนของน้ำในระบบ

5) การพิจารณาจัดหาและ/หรือปรับปรุง และตรวจสอบอุปกรณ์/เครื่องมือที่ใช้ในการวัดเก็บข้อมูล จากการทดลอง ประกอบด้วย อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ อุปกรณ์วัดระดับน้ำ อุปกรณ์วัดความลึกจมของขยะและผักตบชวา อุปกรณ์วัดระยะเปิดบานประตูน้ำ และอุปกรณ์เก็บภาพ

6) ทำการทดลองในแบบจำลองเมื่อใส่ขยะและผักตบชวา และการไหลของน้ำตามเงื่อนไข และปรับปรุงการทดลอง เครื่องมือและวิธีการเก็บข้อมูลจากการทดลองให้มีความเหมาะสม และสะดวกต่อการใช้งาน โดยใช้การทดลองในเงื่อนไขที่ไม่มีขยะ เพื่อเป็นเงื่อนไขอ้างอิง (bench mark)

7) เก็บและรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยการวัดระดับผิวน้ำตลอดรางน้ำที่ ตำแหน่งต่างๆ ตามที่กำหนด วัดระยะจมของขยะและผักตบชวา ระยะเปิดบานประตู อัตราการไหล ของน้ำ และบันทึกภาพนิ่งระหว่างการทดลอง

8) นำข้อมูลมาตรวจสอบและวิเคราะห์ เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรปัญหากับตัวแปร ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ในรูปแบบสมการและ/หรือกราฟ โดยที่ตัวแปรหลัก ได้แก่ สัมประสิทธิ์ความขรุขระ ทางน้ำเปิด (Manning' n) และสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (discharge coefficient, C_d) และตัวแปร ตาม ได้แก่ ความลึกการไหลของน้ำหน้าบานประตู (y_1) ระยะเปิดบาน (w) ระยะจมของขยะ (y_g) ความลึกจมของผักตบชวา (y_{wh}) ระยะการลอยของขยะ (L_g) ระยะการลอยของผักตบชวา (L_{wh})

9) อภิปรายผลการศึกษาที่ได้ สรุปและให้ข้อเสนอแนะ

10) จัดทำรายงานวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงความสามารถการระบายน้ำของทางน้ำ เมื่อมีขยะชนิดต่างๆ ในทางน้ำ

2) ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงความสามารถการระบายน้ำของประตูน้ำ เมื่อมีขยะชนิดต่างๆ ในทางน้ำ

3) ผลการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในงานบริหารจัดการน้ำที่จะต้องมีการ ดำเนินการของทางระบายน้ำและประตูน้ำ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของระบบที่ได้ออกแบบไว้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การพิจารณาค่า Manning n ในทางน้ำเปิด

การไหลเปลี่ยนแปลงน้อย (gradually varied flow) ในที่นี้จะกล่าวถึงการไหลแบบคงที่เปลี่ยนแปลงน้อย โดย Chow (1959) ได้อธิบายถึงการไหลเปลี่ยนแปลงน้อย หรือการไหลแบบไม่สม่ำเสมอ (non-uniform flow) เป็นการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงความลึกการไหลอย่างช้าๆ ในทิศทางของการไหลตามความยาวทางน้ำเปิดที่มีความลาดท้องน้ำ (bed slope, S_0) ความลาดของผิวน้ำ (water surface slope, S_w) และความลาดพลังงานการไหล (energy slope, S_f) ไม่เท่ากัน ($S_0 \neq S_w \neq S_f$) ดังแสดงในรูป 2-1 และถ้าพิจารณา ณ จุดใดจุดหนึ่งจะพบว่าความลึก พื้นที่หน้าตัด ความเร็ว และอัตราการไหลของน้ำจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป

การพัฒนาวิธีการคำนวณวิเคราะห์ เกี่ยวกับการไหลเปลี่ยนแปลงน้อย ได้เริ่มพัฒนามาตามลำดับตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 18 โดยวิศวกรชลศาสตร์ โดยทฤษฎีที่พัฒนาส่วนใหญ่ตั้งอยู่บนข้อสมมติฐานดังต่อไปนี้ (Chow, 1959; Henderson, 1966; เสรี จันทโรยธา และ ชัยพันธุ์ รักรวิชัย, 2556)

- 1) เป็นการไหลเปลี่ยนแปลงน้อย ดังนั้นการคำนวณการสูญเสียพลังงาน (energy loss) ที่จุดหนึ่งจุดใด จะใช้หลักการเช่นเดียวกับการไหลแบบสม่ำเสมอ หรือจะใช้สูตรการไหลสม่ำเสมอได้
- 2) ความลาดทางน้ำเปิดน้อย ($S_0 < 0.10$ หรือ $\theta < 6^\circ$) จึงทำให้ $\cos\theta \approx 1$ ดังนั้นความลึกหน้าตัดการไหล (depth of flow section, d) จะประมาณความลึกการไหล (depth of flow, y) นอกจากนี้การไหลไม่มีการผสมตัวของน้ำและอากาศ
- 3) เป็นทางน้ำเปิดคงรูป (prismatic channel) โดยมีรูปร่างและแนวลำน้ำคงที่
- 4) การกระจายความเร็วบนหน้าตัดไม่เปลี่ยนแปลง หมายถึงสัมประสิทธิ์พลังงาน (energy coefficient, α) เป็นค่าคงที่ และมีค่าเท่ากับ 1
- 5) ปัจจัยหน้าตัดของการไหล (Z) เป็นฟังก์ชันของความลึก (y) และความสามารถส่งผ่านการไหล (K) เป็นฟังก์ชันของความลึก (y)
- 6) สัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิงหรือเชซี (Manning's n หรือ Chezy's C) มีค่าคงที่และเป็นอิสระต่อความลึกการไหล

จากการพิจารณาการไหลเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงความยาวทางน้ำเปิด dx สามารถเขียนเป็นสมการได้ตั้งสมการ 2-1 หรือสมการ 2-2 ในการคำนวณหรือวิเคราะห์สมการมีวิธีการหลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไปจึงมีความเหมาะสมเป็นกรณีๆ ไป และวิธีการต่างๆ ใช้กับทางน้ำเปิดรูปร่างคงที่เป็นส่วนใหญ่ การนำไปใช้กับทางน้ำเปิดธรรมชาติอาจต้องมีการดัดแปลงวิธีการและขั้นตอนการคำนวณให้เหมาะสม ปัจจุบันวิธีการที่ได้รับความนิยมนำมาใช้กับทางน้ำเปิดธรรมชาติหรือทางน้ำเปิดไม่คงรูป (non-prismatic channel) คือวิธีขั้นตอนมาตรฐาน (standard step method) โดยมีหลักการแบ่งทางน้ำออกเป็นช่วงๆ และคำนวณทีละช่วง ในการคำนวณจะต้องรู้ระยะทางระหว่างคู่น้ำตตที่คำนวณ และหาค่าความลึก (y) โดยใช้สมการพลังงานดังแสดงในสมการ 2-3

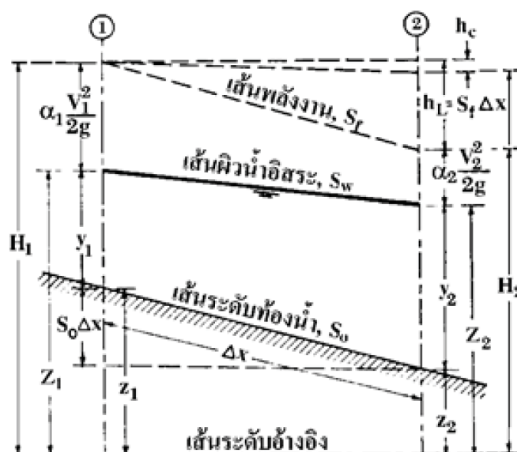
$$S_0 = \frac{h_2 - h_1}{L} \quad (2-1)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - Fr^2} \quad (2-2)$$

เมื่อ	E	คือ พลังงานจำเพาะ (specific energy)
	dx	คือ ความแตกต่างของความยาวทางน้ำเปิด (different length)
	dy	คือ ความแตกต่างของความลึก (different depth)
	S_0	คือ ความลาดชันท้องน้ำ (bed slope)
	S_f	คือ ความลาดชันพลังงาน (energy slope)
	Fr	คือ ค่าฟรูดนัมเบอร์ (froude number)

$$WS.EL.1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = WS.EL.2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f + h_e \quad (2-3)$$

เมื่อ	$WS.EL.$	คือ ระดับผิวน้ำ (water surface elevation) เป็นผลรวมของความลึก (y) และระดับท้องน้ำ (z)
	α	คือ สัมประสิทธิ์พลังงาน (energy coefficient)
	V	คือ ความเร็วเฉลี่ยของน้ำ (average velocity)
	g	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity acceleration)
	h_f	คือ ค่าการสูญเสียพลังงานจากความเสียดทาน (friction loss)
	h_e	คือ ค่าการสูญเสียพลังงานจากความหมุนเวียนของกระแสน้ำ (eddy loss)



รูป 2-1 การไหลเปลี่ยนแปลงน้อย (เสรี จันทโรโยธา และชัยพันธุ์ รักรวิชัย, 2556)

2.1.1 สัมประสิทธิ์ความขรุขระในทางน้ำเปิด

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในทางน้ำเปิด (Manning's n) หรือค่าแมนนิง n เป็นค่าความเสียดทานหรือต้านทานการไหลของน้ำทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ซึ่งมีความสำคัญของการไหลในทางน้ำเปิด ค่าแมนนิงได้จากการประเมินสภาพความเสียดทานการไหลของทางน้ำเปิดที่กำลังพิจารณา โดยแนวทางการประเมินค่าแมนนิง n พิจารณาจากองค์ประกอบที่มีผลต่อค่าแมนนิง n ได้แก่ ความขรุขระของผิวทางน้ำเปิด (surface roughness) พืชปกคลุม (vegetation) ความผันแปรของทางน้ำเปิด (channel irregularities) ความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด (channel alignment) การตกตะกอนและกัดเซาะ (siltation and scouring) สิ่งกีดขวาง (obstruction) ขนาดและรูปร่างของทางน้ำเปิด (size and shape of channel) ความลึกหรือระดับน้ำ และอัตราการไหล (stage and discharge) การแปรผันตามฤดูกาล (seasonal change) และวัสดุตะกอนแขวนลอยและตะกอนท้องน้ำ (suspended material and bed load) โดย Chow (1959) ได้เสนอค่าแมนนิงจากการศึกษาในแม่น้ำต่างๆ เพื่อเป็นค่าเบื้องต้นหรือแนวทางในการนำไปใช้หรือศึกษา

2.1.2 การไหลของน้ำในกรณีมีวัสดุลอยน้ำ

วัสดุลอยน้ำโดยเฉพาะขยะที่ปรากฏในทางน้ำเปิดในรูปของวัตถุที่เป็นชิ้นๆ ที่ทั้งจมมิดในทั้งหมด (fully immersed) หรือจมนบางส่วน (partially immersed) ทำให้เกิดความต้านทานต่อการไหล (flow resistance) ในรูปแบบของแรงดูดลากความดันหรือรูปร่าง (pressure or form drag) ที่อธิบายด้วยสมการ 2-4

$$F_D = C_D A_p \frac{\rho V^2}{2} \quad (2-4)$$

โดย	F_D	คือ แรงฉุดลากความดัน
	C_D	คือ สัมประสิทธิ์ฉุดลาก (drag coefficient)
	V	คือ ความเร็วการไหลของน้ำเฉลี่ย
	A_p	คือ พื้นที่หน้าตัดฉายเงาของวัตถุ (projection area) ในระนาบตั้งฉากกับการไหล
	ρ	คือ ความหนาแน่นของน้ำ

สัมประสิทธิ์ฉุดลาก C_D ขึ้นกับรูปแบบของวัตถุ (form) และเรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds number) ดังสมการ 2-5

$$C_D = \phi(\text{form}, \text{Re} = \frac{VD}{\nu}) \quad (2-5)$$

Wu et al. (1999) ได้แสดงความสัมพันธ์ สัมประสิทธิ์ฉุดลาก C_D กับสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n ดังสมการ 2-6

$$n = \left(\frac{y^{2/3}}{\sqrt{2g}} \right) \sqrt{C_D} \quad (2-6)$$

โดย y คือ ความลึกของการไหล

องค์ประกอบที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ n มีมากมายหลายประการ เช่น ความขรุขระของผิวทางน้ำเปิด พืชปกคลุม จะมีผลต่อความขรุขระของทางน้ำเปิด ลดพื้นที่หน้าตัดการไหล และยังทำให้การไหลช้าลงด้วย ความผันแปรของทางน้ำเปิด ความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด การตกตะกอนและกัดเซาะ สิ่งกีดขวาง รูปร่างการไหลของทางน้ำเปิด ความลึกหรือระดับน้ำและอัตราการไหล การแปรผันตามฤดูกาล และวัสดุตะกอนแขวนลอยและตะกอนท้องน้ำ เป็นต้น (Chow, 1959) ดังนั้นการที่น้ำมีขยะและวัชพืชปนจึงถือว่าเป็นลักษณะของการรวมกันขององค์ประกอบ พืชคลุมน้ำ สิ่งกีดขวางทางน้ำ และการมีวัสดุตะกอนขนาดใหญ่ปนไปกับน้ำ ย่อมเป็นผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ n และอัตราการไหล ในการไหลสม่ำเสมอค่าสัมประสิทธิ์ n สามารถคำนวณได้จากสมการ 2-7

$$n = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{Q} \quad (2-7)$$

สำหรับการไหลไม่สม่ำเสมอ (non-uniform flow) ที่แปรผันอย่างค่อยเป็นค่อยไป (gradually varied flow) ความลาดต่อน้ำ $S_0 \leq 0.1$ หรือ $\theta < 6^\circ$ เมื่อเขียนสมการ 2-3 ในรูปแบบสมการผลต่างอันดับ (finite difference) สำหรับการไหลในทางน้ำเปิดช่วงสั้นๆ (Δx) ระหว่างหน้าตัด 1 และ 2 (รูป 2-1) ถ้า $h_e \approx 0$ ในขณะ $h_f = \bar{S}_f \times \Delta x$ โดยที่ \bar{S}_f คือค่าเฉลี่ยของ $S_{f,1}$ และ $S_{f,2}$ ของหน้าตัด 1 และ 2 ของช่วง Δx โดยหาได้จากสมการ 2-7 คือ $S_{f,i} = (n_i V_i)^2 / R_i^{4/3}$ ดังนั้นในการคำนวณพิจารณาหาค่าสัมประสิทธิ์ n ของ Manning อาจหาได้จากสมการ 2-8 เมื่อพิจารณาคู่ของหน้าตัดทางน้ำดังในรูป 2-1 ในกรณี $n_1 = n_2 = n$, $\alpha_1 = \alpha_2 = 1.0$

$$n = \left[\frac{(WS.EL._1 - WS.EL._2) + \frac{Q^2 \left(\frac{1}{A_1^2} - \frac{1}{A_2^2} \right)}{2g}}{\frac{\Delta x}{2} Q^2 \left(\frac{1}{A_1^2 R_1^{4/3}} + \frac{1}{A_2^2 R_2^{4/3}} \right)} \right]^{1/2} \quad (2-8)$$

ในกรณีที่ต้องการลดความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ n ที่พิจารณาการไหลเพียงคู่หน้าตัดเดียว อาจใช้การพิจารณาโดยการคำนวณรูปตัดการไหล (flow profile) จากหลายหน้าตัดการไหลโดยวิธีขั้นตอนมาตรฐาน (standard step method) จากการลองค่า (trial and error) สัมประสิทธิ์ n แล้วตรวจสอบรูปตัดการไหลที่คำนวณได้ (computed flow profile) กับรูปตัดการไหลที่วัดจริง (observed flow profile)

สำหรับการไหลไม่สม่ำเสมอที่แปรผันอย่างค่อยเป็นค่อยไป อัตราส่วนสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n (n_0/n_1) จะเป็นสัดส่วนกลับกับอัตราส่วนอัตราการไหล (Q_1/Q_0) และสัดส่วนตรงกับอัตราส่วนลาดพลังงาน ($S_{f,0}/S_{f,1}$) ดังสมการ 2-9

$$\frac{n_0}{n_1} = \frac{Q_1}{Q_0} \sqrt{\frac{S_{f,0}}{S_{f,1}}} \quad (2-9)$$

จากสมการ 2-7 สำหรับการไหลในทางน้ำเปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของทางน้ำจะได้สมการ 2-10

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{1}{n} y \left(\frac{by}{b+2y} \right)^{2/3} S^{1/2} \quad (2-10)$$

และเมื่อเปรียบเทียบการไหลของทางน้ำ 1 และทางน้ำ 0 จะได้สมการ 2-11

$$\frac{q_1}{q_0} = \frac{n_0 y_1 \left(\frac{b_1 y_1}{b_1 + 2y_1} \right)^{2/3} S_1^{1/2}}{n_1 y_0 \left(\frac{b_0 y_0}{b_0 + 2y_0} \right)^{2/3} S_0^{1/2}} \quad (2-11)$$

กรณีที่ทางน้ำมีอัตราการไหลที่เท่ากัน ($q_1 = q_0 = q$) ความกว้างเท่ากัน ($b_1 = b_0 = b$) และลาดท้องน้ำที่เท่ากัน ($S_1 = S_0 = S$) จะได้อัตราส่วนของความลึกของน้ำเป็นสมการ 2-12

$$\frac{y_1}{y_0} = \left(\frac{n_1}{n_0} \right)^{3/5} \left(\frac{b+2y_1}{b+2y_0} \right)^{2/5} \quad (2-12)$$

2.2 การพิจารณาค่า C_d ของประตูน้ำบานเลื่อนหรือยกตรงในแนวตั้ง

สำหรับการวิเคราะห์การไหล เมื่อการไหลเป็นการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระ (free outflow) พิจารณาจากสมการพลังงานการไหลระหว่างหน้าตัด 1 และ 2 ดังแสดงในรูป 2-2 เมื่อไม่พิจารณาผลของความหนืดของน้ำ และการสูญเสียพลังงาน จะได้สมการ 2-13

$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} \quad (2-13)$$

จัดสมการใหม่จะได้สมการ 2-14

$$\phi n_g = \frac{n_g}{n_0} - 1 \quad (2-14)$$

ในกรณีที่เกิดขึ้นจริง น้ำมีความหนืด และมีการสูญเสียพลังงาน ที่หน้าตัด 2 กำหนดอยู่ที่หน้าตัดคอคอด (vena contraction) $y_2 = C_c w$ จะได้

$$q = C_c w \sqrt{2gy_1 \frac{y_1}{y_1 + y_2}} \quad (2-15)$$

อัตราการไหลทั้งหมด $Q = C_c w L \sqrt{2gy_1 \frac{y_1}{y_1+y_2}}$ (2-16)

หรือ $q = C_d w \sqrt{2gy_1}$ (2-17)

เมื่อ $C_d = \sqrt{\frac{C_c}{1+C_c w/y_1}}$ (2-19)

โดยทั่วไปจะกำหนดสูตรในรูปสมการดังนี้

$$Q = C_d A \sqrt{2gH} = C_d A \sqrt{2g \left(y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)} \quad (2-19)$$

และกรณี $\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g}$ มีค่าน้อยมาก $y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = y_1$

$$Q = C_d A \sqrt{2gH} = C_d A \sqrt{2gy_1} \quad \text{หรือ} \quad q = C_d w \sqrt{2gy_1} \quad (2-20)$$

โดย	Q	คือ อัตราการไหลผ่านระบาย/ประตูน้ำทั้งหมด
	q	คือ อัตราการไหลผ่านประตูน้ำ ต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของบานประตู
	C_c	คือ สัมประสิทธิ์บีบการไหล (contraction coefficient)
	C_d	คือ สัมประสิทธิ์อัตราการไหล (discharge coefficient)
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล (water area) ที่ใต้บานระบาย/ประตูน้ำ
	w	คือ ระยะการเปิดของประตูน้ำ
	H	คือ ความสูงของพลังงาน (energy head) = $Z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g}$

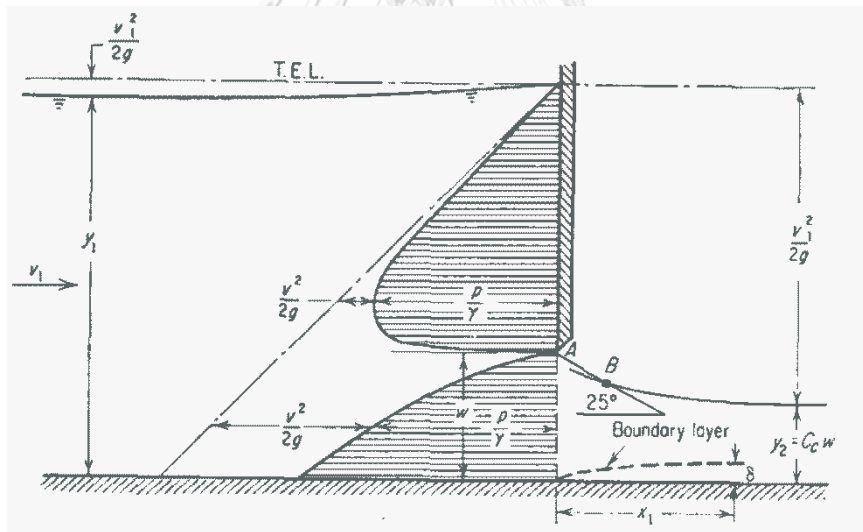
บางครั้งใช้ $H = y_1$ ในกรณี V_1 หรือ $\alpha_1 \frac{V_1^2}{2g}$ มีค่าน้อยมาก

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ C_c จะขึ้นกับลักษณะรูปทรงของขอบเขตการไหล ที่สำคัญก็คือค่า w/y_1 ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ C_d จึงขึ้นกับค่า w/y_1 ในการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ C_c ที่ค่า w/y_1 ต่างๆ นั้นมีการศึกษาและวิเคราะห์ทางทฤษฎี โดยมีความจำกัดของผลที่ได้ตามสมมุติฐานหรือเงื่อนไขที่กำหนดของการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ C_c สำหรับกรณีของประตูในแนวตั้งดังแสดงในตาราง 2-1

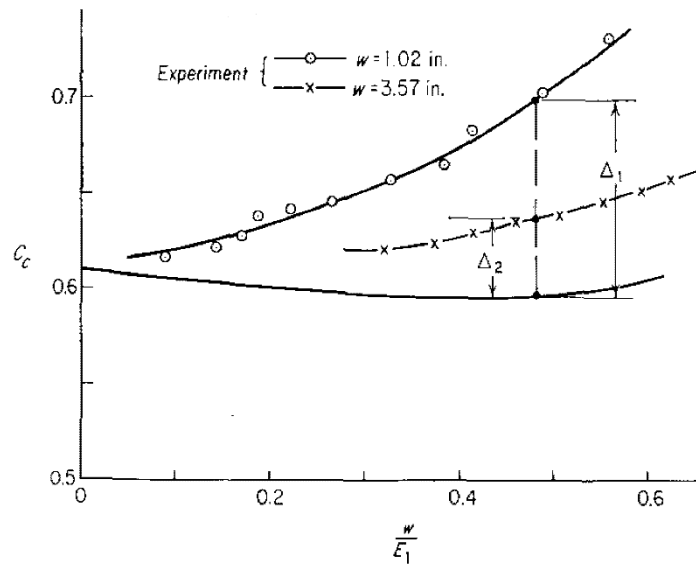
ตาราง 2-1 ค่าสัมประสิทธิ์บีบการไหล กรณีของประตูในแนวตั้ง (Henderson, 1966)

$w/E1$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
C_c	0.611	0.606	0.602	0.600	0.598	0.598

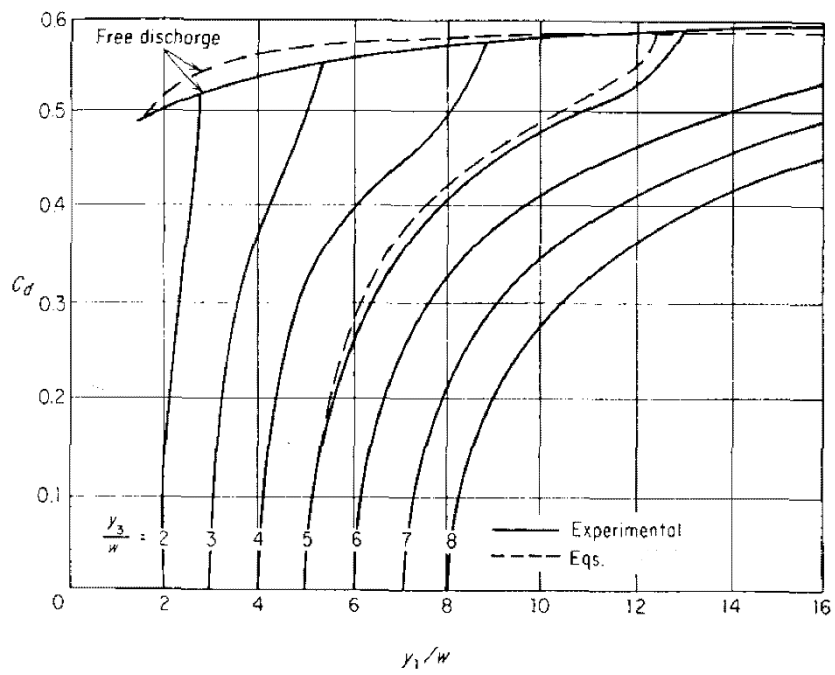
ในทางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีโดย Benjamin (1954) ได้แสดงตัวอย่างของค่าสัมประสิทธิ์ สำหรับกรณีของประตูในแนวตั้งในทางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและผลจากการทดลอง ดังแสดงในรูป 2-3 ซึ่ง Henderson (1966) แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างค่าสัมประสิทธิ์บีบการไหล ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและผลจากการทดลองประมาณได้ด้วยสมการ รูป 2-4 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของการไหลลอดประตูระบายน้ำบานเลื่อน (vertical sluice gate) ในทางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า กรณีการไหลแบบไหลอิสระ (free discharge) และการไหลแบบจมน้ำ (drowned outflow)



รูป 2-2 การไหลลอดประตูบานตรง (vertical sluice gate) (Henderson, 1966)



รูป 2-3 สัมประสิทธิ์บีบการไหลของการไหลลอดประตูระบายน้ำบานเลื่อน (Henderson, 1966)



รูป 2-4 สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของการไหลลอดประตูระบายน้ำบานเลื่อน (Henderson, 1966)

2.3 การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ

ในการศึกษาถึงชลศาสตร์การไหลของคลองที่มีขยะและผักตบชวาโดยใช้แบบจำลองกายภาพ มีตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในทางน้ำเปิด (Manning's n , n) และสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของประตู (discharge coefficient, C_d) ดังต่อไปนี้

1) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของของไหล (variables characterizing the fluid) ประกอบด้วย ความหนาแน่นของของไหล (density of fluid, ρ) ความหนืดจลน์ของของไหล (kinematics viscosity of fluid, ν) และความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก (acceleration due to gravity, g)

2) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการไหล (variables characterizing the flow) ประกอบด้วย ความลึกการไหล (depth of approach flow, y) ความเร็วการไหล (mean velocity of undisturbed flow, V) อัตราการไหล (discharge) ความลาดท้องน้ำ (bed slope, S_0) และระยะเปิดบานประตู (gate opening, w)

3) ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวัสดุลอยน้ำ ในกรณีของขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) ประกอบด้วย ระยะจมของขยะ (y_g) ระยะการลอยของขยะ (L_g) ส่วนในกรณีของผักตบชวา (water hyacinth, WH) ประกอบด้วย ระยะจมของผักตบชวา (y_{wh}) ระยะการลอยของผักตบชวา (L_{wh})

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก หากจะพิจารณาตัวแปรทั้งหมดจะก่อให้เกิดความยุ่งยากทั้งในการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ เพื่อเป็นการง่ายต่อการวิเคราะห์ตัวแปรดังกล่าว อีกทั้งเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา จึงได้ตั้งสมมติฐานและข้อจำกัด คือ ทดลองในของไหลชนิดเดียวกันและถือว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำมีน้อย ใช้ท้องน้ำแบบยึดแน่น (fixed bed) และใช้ขยะและผักตบชวาที่ความหนาแน่นเดียวโดยประมาณ นอกจากนี้อัตราการไหลของน้ำจะเปลี่ยนไปอยู่ในค่าของความลึกน้ำหน้าบาน (y_1) ซึ่งจะสัมพันธ์กับระยะเปิดบาน (w) ดังนั้นจะเหลือตัวแปรที่นำมาใช้พิจารณาความสัมพันธ์ดังนี้

การไหล : ความลึกการไหลหน้าบานประตู (y_1) และระยะเปิดบานประตู (w)

ขยะลอยน้ำ : ระยะจมของขยะ (y_g) ระยะการลอยหน้าบานประตูของขยะ (L_g)

ผักตบชวา : ระยะจมของผักตบชวา (y_{wh}) ระยะการลอยหน้าบานประตูของผักตบชวา (L_{wh})

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในทางน้ำเปิด (Manning's n , n) จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ดังสมการ 2-21 สำหรับขยะ และสมการ 2-22 สำหรับผักตบชวา

$$n = f(y_1, y_g, L_g) \quad (2-21)$$

$$n = f(y_1, y_{wh}, L_{wh}) \quad (2-22)$$

เมื่อพิจารณาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (dimensionless parameter) สามารถนำตัวแปรมาเขียนในรูปตัวแปรไร้หน่วย ได้ดังสมการ 2-23 และ 2-24 สำหรับขยะและผักตบชวาตามลำดับ

$$n = f\left(\frac{y_g}{y_1}, \frac{L_g}{y_1}\right) \quad (2-23)$$

$$n = f\left(\frac{y_{wh}}{y_1}, \frac{L_{wh}}{y_1}\right) \quad (2-24)$$

ในการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n โดยเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีวัสดุลอยน้ำ ดังแสดงในสมการ 2-9 ในข้างต้น ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรได้ดังสมการ 2-25 และ 2-26 สำหรับขยะและผักตบชวาตามลำดับ

$$\frac{n_g}{n_0} = f\left(\frac{y_g}{y_1}, \frac{L_g}{y_1}\right) \quad (2-25)$$

$$\frac{n_{wh}}{n_0} = f\left(\frac{y_{wh}}{y_1}, \frac{L_{wh}}{y_1}\right) \quad (2-26)$$

โดย n_0 คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระ กรณีไม่มีวัสดุลอยน้ำ
 n_g คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระ กรณีมีขยะ
 n_{wh} คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระ กรณีมีผักตบชวา

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของประตู (discharge coefficient, C_d) จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ดังสมการ 2-27 สำหรับขยะ และสมการ 2-28 สำหรับผักตบชวา

$$C_d = f(w, y_1, y_g, L_g) \quad (2-27)$$

$$C_d = f(w, y_1, y_{wh}, L_{wh}) \quad (2-28)$$

เมื่อพิจารณาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (dimensionless parameter) สามารถนำตัวแปรมาเขียนในรูปตัวแปรไร้มิติ ได้ดังสมการ 2-29 และ 2-30 สำหรับขยะและผักตบชวาตามลำดับ

$$C_{d,g} = f \left(\frac{y_1}{w}, \frac{y_g}{y_1}, \frac{L_g}{y_1} \right) \quad (2-29)$$

$$C_{d,wh} = f \left(\frac{y_1}{w}, \frac{y_{wh}}{y_1}, \frac{L_{wh}}{y_1} \right) \quad (2-30)$$

ในการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของประตุ โดยเปรียบเทียบกรณีมีและไม่มีวัสดุลอยน้ำ สามารถเขียนความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปรได้ดังสมการ 2-31 และ 2-32 สำหรับขยะและผักตบชวาตามลำดับ

$$\frac{C_{d,g}}{C_{d,0}} = f \left(\frac{y_1}{w}, \frac{y_g}{y_1}, \frac{L_g}{y_1} \right) \quad (2-31)$$

$$\frac{C_{d,wh}}{C_{d,0}} = f \left(\frac{y_1}{w}, \frac{y_{wh}}{y_1}, \frac{L_{wh}}{y_1} \right) \quad (2-32)$$

โดย $C_{d,0}$ คือ สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของประตุ กรณีไม่มีวัสดุลอยน้ำ

$C_{d,g}$ คือ สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของประตุ กรณีมีขยะ

$C_{d,wh}$ คือ สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของประตุ กรณีมีผักตบชวา

ซึ่งกลุ่มตัวแปรเหล่านี้ใช้เป็นแนวทางในการอธิบายความสัมพันธ์ชลศาสตร์การไหลของคลองและประตุน้ำกับขยะและผักตบชวาในการศึกษานี้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการไหลในทางน้ำเปิด

Wu, Hsieh Wen, and Yi Ju (1999) ทำการศึกษาผลของความลึกการไหลต่อสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (roughness coefficient) ของทางน้ำที่มีพืชอยู่ในน้ำ ทั้งกรณีที่จมมิดน้ำเต็มความลึก (unsubmerged) และกรณีที่จมมิดน้ำไม่เต็มความลึก (submerged) โดยศึกษาในห้องปฏิบัติการ

และจำลองพีชในน้ำด้วยแผงตาข่ายขนม้า (horsehair mattress) พบว่ากรณีพีชจมมีดน้ำเต็มความลึก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะลดลงเมื่อความลึกการไหลเพิ่มขึ้น และกรณีพีชจมมีดน้ำไม่เต็มความลึก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกการไหลที่ความลึกต่างๆ และจะเริ่มมีค่าคงที่ที่ความลึกหนึ่ง

Shucksmith, Boxall, and Guymer (2010) ทำการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับผลกระทบจากพีชจมน้ำและพีชที่ไหลบนผิวน้ำในทางน้ำเปิด โดยทำการปลูกพีช 2 พันธุ์ ได้แก่ Reeds และ Carex ในรางน้ำและเก็บข้อมูลเป็นเวลาทั้งหมด 50 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า ในกรณีของพีชที่ยืนขึ้นบนผิวน้ำ Carex เติบโตได้ใหญ่กว่าและแข็งที่อกกว่า ทำให้มีผลในการลดความเร็วได้มากกว่า และ Reeds พีชจะมีความหนาแน่นเมื่อมีอายุมากขึ้น มีผลต่อความเร็วทำให้เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ ในกรณีของพีชจมน้ำความเร็วเฉือนในแนวตั้งเปลี่ยนแปลงไปตามการเติบโตของพีช

Pham, Penning, Mynett, and Raghurai (2011) ทำการศึกษาความต้านทานการไหลของทางน้ำที่มีพีช 3 ชนิดแบบจมน้ำ ได้แก่ สาหร่ายบัว ต้นเมฆออน และบัวแดง ทำการทดลองในรางน้ำขนาด $0.60 \times 12.0 \times 0.60$ ม. ใส่พีชโดยการกำหนดความหนาแน่นเป็นจำนวนต้นต่อตร.ม. พบว่าการไหลของทางน้ำที่มีสาหร่ายบัวความหนาแน่น 517 ต้นต่อตร.ม. จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ขรุขระของแมนนิ่งเท่ากับ 0.042 การไหลของทางน้ำที่มีต้นเมฆออนความหนาแน่น 724 ต้นต่อตร.ม. จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ขรุขระของแมนนิ่งเท่ากับ 0.064 และการไหลของทางน้ำที่มีบัวแดงความหนาแน่น 24 ต้นต่อตร.ม. จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ขรุขระของแมนนิ่งเท่ากับ 0.024

Urantinon and Pilailar (2015) ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาผลกระทบจากผักตบชวาในทางน้ำด้วยการศึกษาพฤติกรรมการไหล โดยทดลองในรางน้ำขนาด $0.30 \times 15.0 \times 0.40$ ม. ค่าความลาดท้องน้ำเท่ากับ 0.001 และผักตบชวาที่มีขนาดความยาวราก 4 ชุด ได้แก่ 2.5, 5.0, 10.0, 20.0 และ 30.0 ซม. เก็บข้อมูลที่หน้าตัดการไหลต่างๆ พบว่าที่ความลึกต่างๆ ความเร็วการไหลเปลี่ยนไป กล่าวคือมีพฤติกรรมการไหลเร็วขึ้นที่ความลึกมาก และไหลช้าลงที่บริเวณใกล้ผิวน้ำ และค่า Manning n กรณีไม่มีผักตบชวาเท่ากับ 0.01 กรณีผักตบชวาความยาวราก 5 ซม. เท่ากับ 0.0125 และกรณีผักตบชวาความยาวราก 30 ซม. เท่ากับ 0.0149

Mohamed, Abd-Elal, and Ahmed (2020) ทำการศึกษาลักษณะการไหลในทางน้ำเปิดที่มีพีชลอยน้ำ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้รางน้ำขนาด $0.30 \times 10.0 \times 0.30$ ม. ทดลองที่ความลึกระหว่าง 0.170 ม. ถึง 0.207 ม. อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวินาที ถึง 16 ลิตรต่อวินาที ควบคุมตัว

แปรความลึกกรากของพีช 3 ค่า ได้แก่ 1, 3, 5 ซม. ความหนาแน่นของพีช 4 ค่า ได้แก่ 30, 60, 90, 120 ต้นต่อตร.ม. และปริมาณการใส่พีชตามความยาวรางน้ำ 3 ค่า ได้แก่ 1, 3, 5 ม. พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของความลึกกราก ความหนาแน่น และปริมาณ

ภาณูสิทธิ์ ดวงศรี และคณะ (2559) ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่าแสดงประสิทธิภาพการระบายน้ำของคลองระบายน้ำที่มีขยะชนิดต่างๆ ปน โดยทดลองในรางน้ำเปิดหน้าตัดขนาดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $0.30 \times 8.0 \times 0.30$ ม. จำลองขยะ 4 รูปแบบ กำหนดให้ปริมาณขยะเท่ากันโดยน้ำหนัก ได้แก่ ขยะลอยบนผิวน้ำ ขยะที่จมอยู่ในน้ำ ขยะจมอยู่เหนือผิวท้องน้ำ ขยะรวมทั้งหมด พบว่าที่อัตราการไหลเท่ากัน ขยะที่อยู่เหนือผิวท้องน้ำมีผลทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระ n และระดับน้ำเพิ่มขึ้นมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 62 และร้อยละ 34 ตามลำดับ ขยะที่ลอยบนผิวน้ำไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระและระดับน้ำอย่างมีนัยยะ เท่ากับร้อยละ 2 และร้อยละ 1 ตามลำดับ

2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการไหลผ่านโครงสร้างทางชลศาสตร์

ปิยะ กุมาศ (2547) ทำการศึกษามูลของการไหลลอดประตูระบายแบบบานเลื่อน (vertical lift gate) ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพในห้องปฏิบัติการ ที่ระยะการเปิดประตูที่เท่ากัน และผลต่างของระดับน้ำเหนือประตูและระดับน้ำท้ายประตูที่เท่ากัน พบว่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (discharge coefficient, C_d) ของการไหลลอดประตูในการไหลภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจะมีค่าแตกต่างจากการไหลที่ไม่มีอิทธิพลของน้ำทะเลทั้งในช่วงน้ำขึ้นและน้ำลงอย่างมีนัยสำคัญ

สุวิภา กุศลจุง และคณะ (2560) ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายโอ๊กในทางน้ำที่มีขยะปน โดยทดลองในรางน้ำเปิดหน้าตัดขนาดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $0.30 \times 8.0 \times 0.30$ ม. ในการศึกษาได้จำลองขยะที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ ด้วยเศษวัสดุภัณฑ์ทำจากโฟม และพลาสติกที่ใช้แล้ว ทดลอง 2 กรณี 60 การทดลอง โดยความลึกการไหลอยู่ที่ 0.16-0.20 ม. และอัตราการไหล 0.16-5.29 ลิตร/นาที่ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ทางน้ำที่มีขยะลดอัตราการไหลลง 13.75% และยังพบว่าปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับความลึกการไหลของน้ำ จะทำให้สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลดลงมากขึ้น

บทที่ 3

การทดลองและผลการทดลอง

การศึกษาชลศาสตร์การไหลของคลองที่มีขยะและผักตบชวาครั้งนี้ เป็นการศึกษาโดยใช้แบบจำลองกายภาพ เงื่อนไขและขั้นตอนการดำเนินงานมีรายละเอียดดังนี้

3.1 แบบจำลองชลศาสตร์

การศึกษาค้างนี้ทดลองในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมืองค์ประกอบ 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

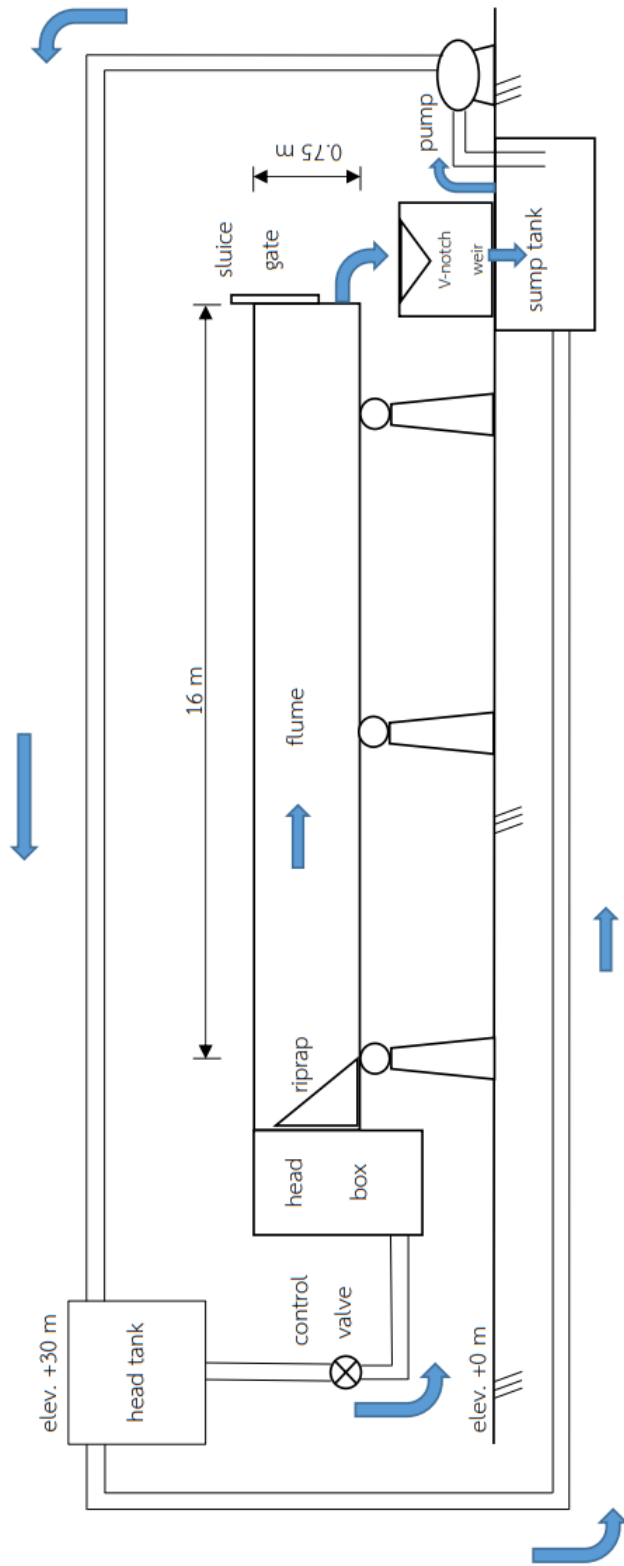
1) แบบจำลองรางจำลองการไหลทางน้ำเปิด (flume) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $0.60 \times 18.0 \times 0.75$ ม. ดังแสดงในรูป 3-1 ผนังสองด้านข้างเป็นกระจกใส พื้นรางเป็นโลหะ ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ที่ท้ายรางน้ำติดตั้งบานประตูแบบบานยก (vertical sluice gate) น้ำจะไหลจากรางจำลองลงสู่ถังรับน้ำ ซึ่งใช้วัดอัตราการไหลแบบฝายสันคมรูปตัววี (V-notch weir) แล้วปล่อยน้ำไปยังบ่อเก็บน้ำด้านล่างของราง และใช้เครื่องสูบน้ำสูบลบกลับขึ้นไปจนถึงที่ขึ้นดาดฟ้า และสามารถปรับความลาดท้องน้ำ ซึ่งได้สอบเทียบค่าความลาดท้องน้ำ ดังแสดงในภาคผนวก ก

2) แบบจำลองวัสดุลอยน้ำ 2 ชนิด ได้แก่ กระจิขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) ได้ใช้วัสดุจริงประกอบด้วย กิ่งไม้ พลาสติก โฟม กระจิขยะที่คละกัน และขวดน้ำ ในกรณีของผักตบชวา (water hyacinth, WH) ได้ใช้ผักตบจริงในธรรมชาติ โดยระยะจมของขยะ (y_g) และผักตบชวา (y_{wh}) เฉลี่ยประมาณ 8 ซม. และระยะการลอยของขยะ (L_g) และผักตบชวา (L_{wh}) เหนือบานประตู เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 ม.

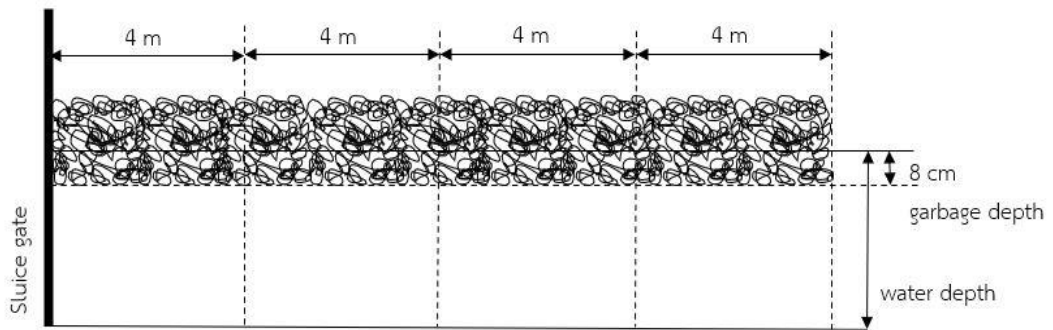
3) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูป 3-2 ประกอบด้วย

- เครื่องมือวัดระดับ (point gauge) ติดตั้งบนรางเลื่อนลูกล้อวิ่งบนรางน้ำเปิด เพื่อใช้วัดระดับท้องน้ำและผิวน้ำ ณ ตำแหน่งพื้นที่การทดลองที่ต้องการ

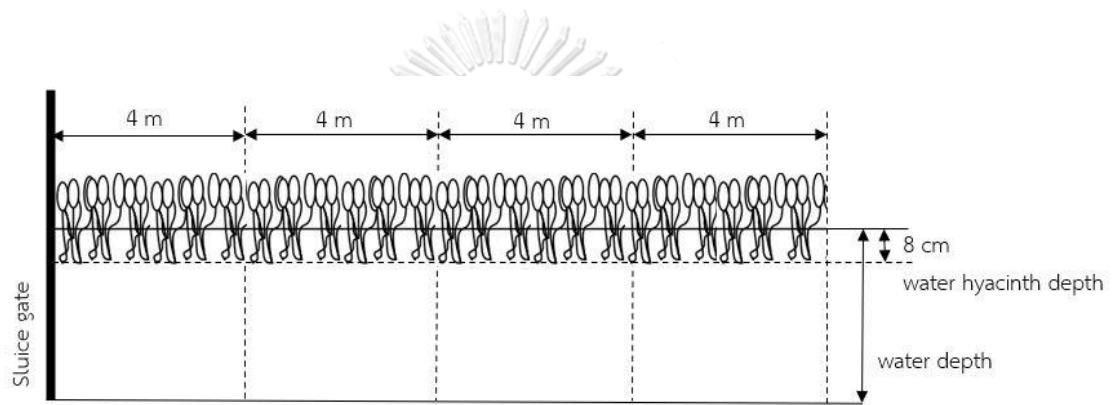
- ฝายสามเหลี่ยมสันคม (90° V-notch weir) ติดตั้งทางด้านท้ายน้ำของรางน้ำ เพื่อใช้วัดอัตราการไหลของน้ำ โดยการอ่านค่าระดับน้ำเหนือสันฝาย (H) ผ่านทางมานอมิเตอร์ (manometer) และนำไปคำนวณอัตราการไหลจากสมการ $Q = 0.0096H^{2.6004}$ โดยที่ Q คือ อัตราการไหลในหน่วย ลิตรต่อวินาที และ H คือ ระดับน้ำเหนือสันฝายในหน่วย ซม. ซึ่งสอบเทียบค่าดังแสดงในภาคผนวก ก



รูป 3-1 รางน้ำเปิดจำลองการไหล



ก) ขยะลอยน้ำ



ข) ผักตบชวา

รูป 3-2 วัสดุลอยน้ำ 2 ชนิด



ก) เครื่องมือวัดระดับ (point gauge)



ข) ฝ่ายสามเหลี่ยมสันคม (90° V-notch weir)

รูป 3-3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองได้พิจารณาถึงแบบจำลองวัสดุลอยน้ำ และสภาพการไหลของน้ำ โดยสรุปไว้ในตาราง 3-1

1) แบบจำลองวัสดุลอยน้ำ

แบบจำลองวัสดุลอยน้ำ 2 ชนิด ได้แก่ ขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) และผักตบชวา (water hyacinth, WH) โดยในกรณีของขยะได้ออกแบบการทดลองไว้โดยพิจารณาจากระยะการลอยของขยะ (L_g) เทียบบานประตู ที่ 4 ม. (G1), 8 ม. (G2), 12 ม. (G3) และ 16 ม. (G4) ทั้งนี้ความ

หนาแน่นของขยะจะใช้เวลาหนาแน่นเดียว โดยใส่ขยะกระจายสม่ำเสมอในรางน้ำ และระยะจมนเฉลี่ย 8 ซม. และทดลองกรณีไม่มีขยะ (G0) เป็นกรณีเปรียบเทียบ

ในกรณีของผักตบชวาได้ออกแบบการทดลองไว้ โดยพิจารณาจากระยะการลอยของผักตบชวา (L_{wh}) ที่ 4 ม. (WH1), 8 ม. (WH2), 12 ม. (WH3) และ 16 ม. (WH4) ทั้งนี้ความหนาแน่นของผักตบชวาจะใช้เวลาหนาแน่นเดียว โดยใส่ผักตบชวากระจายสม่ำเสมอในรางน้ำ และระยะจมนเฉลี่ย 8 ซม. และทดลองกรณีไม่มีผักตบชวา (WH0) เป็นกรณีเปรียบเทียบ

2) สภาพการไหลของน้ำ

ในการศึกษานี้ได้ออกแบบสภาพการไหล โดยพิจารณาขยะและผักตบชวาในแต่ละปริมาณจะทดลอง จะเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล 5 ค่า และเปลี่ยนแปลงระยะเปิดบานประตู (w) นอกจากนี้ได้กำหนดความลาดต่อน้ำ 3 ค่าสำหรับกรณีขยะ และความลาดต่อน้ำ 2 ค่าสำหรับกรณีผักตบชวา

ดังนั้นในการศึกษานี้ทำการทดลองทั้งสิ้นจำนวน 125 การทดลอง โดยเป็นกรณีขยะ 75 การทดลอง ดังในตาราง 3-2 และกรณีผักตบชวา 50 การทดลอง ดังในตาราง 3-3

ตาราง 3-1 ข้อมูลการทดลอง

ชนิดของวัสดุลอยน้ำ	ปริมาณวัสดุลอยน้ำ	ความลาดต่อน้ำ (S_0)	สภาพการไหล
ขยะ (floating garbage, G)	G0 ไม่มีขยะลอย	S0 คือ 0.0000	Q1 = 7.87-8.19 ลิตร/วินาที
	G1 ใส่ขยะลอย 4 ม.	S1 คือ 0.0001	Q2 = 10.05-10.23 ลิตร/วินาที
	G2 ใส่ขยะลอย 8 ม.	S2 คือ 0.0002	Q3 = 11.96 ลิตร/วินาที
	G3 ใส่ขยะลอย 12 ม.		Q4 = 13.74-14.29 ลิตร/วินาที
	G4 ใส่ขยะลอย 16 ม.		Q5 = 15.91-16.03 ลิตร/วินาที
ผักตบชวา (water hyacinth, WH)	WH0 ไม่มีวัชพืชลอย	S1 คือ 0.0001	Q1 = 13.30 ลิตร/วินาที
	WH1 ใส่วัชพืชลอย 4 ม.	S2 คือ 0.0002	Q2 = 9.52-9.87 ลิตร/วินาที
	WH2 ใส่วัชพืชลอย 8 ม.		Q3 = 11.76-12.16 ลิตร/วินาที
	WH3 ใส่วัชพืชลอย 12 ม.		Q4 = 13.63-14.07 ลิตร/วินาที
	WH4 ใส่วัชพืชลอย 16 ม.		Q5 = 15.67-16.15 ลิตร/วินาที

ตาราง 3-2 การทดลองกรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) 75 การทดลอง

Case No.	bed slope, S_0	discharge, Q (l/s)	gate opening, w (cm)	G length, L_g (m)	G depth, y_g (cm)
S0Q1G0	0	7.87	0.90	0	0.0
S0Q1G1	0	7.87	0.90	4	8.0
S0Q1G2	0	7.87	0.90	8	8.0
S0Q1G3	0	7.87	0.90	12	8.0
S0Q1G4	0	7.87	0.90	16	8.0
S0Q2G0	0	10.23	1.00	0	0.0
S0Q2G1	0	10.23	1.00	4	8.0
S0Q2G2	0	10.23	1.00	8	8.0
S0Q2G3	0	10.23	1.00	12	8.0
S0Q2G4	0	10.23	1.00	16	8.0
S0Q3G0	0	11.96	1.10	0	0.0
S0Q3G1	0	11.96	1.10	4	8.0
S0Q3G2	0	11.96	1.10	8	8.0
S0Q3G3	0	11.96	1.10	12	8.0
S0Q3G4	0	11.96	1.10	16	8.0
S0Q4G0	0	14.29	1.25	0	0.0
S0Q4G1	0	14.29	1.25	4	8.0
S0Q4G2	0	14.29	1.25	8	8.0
S0Q4G3	0	14.29	1.25	12	8.0
S0Q4G4	0	14.29	1.25	16	8.0
S0Q5G0	0	15.91	1.40	0	0.0
S0Q5G1	0	15.91	1.40	4	8.0
S0Q5G2	0	15.91	1.40	8	8.0
S0Q5G3	0	15.91	1.40	12	8.0
S0Q5G4	0	15.91	1.40	16	8.0

ตาราง 3-2 การทดลองกรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) 75 การทดลอง (ต่อ)

Case No.	bed slope, S_0	discharge, Q (l/s)	gate opening, w (cm)	G length, L_g (m)	G depth, y_g (cm)
S1Q1G0	0.0001	7.95	0.90	0	0.0
S1Q1G1	0.0001	7.95	0.90	4	8.0
S1Q1G2	0.0001	7.95	0.90	8	8.0
S1Q1G3	0.0001	7.95	0.90	12	8.0
S1Q1G4	0.0001	7.95	0.90	16	8.0
S1Q2G0	0.0001	10.05	1.00	0	0.0
S1Q2G1	0.0001	10.05	1.00	4	8.0
S1Q2G2	0.0001	10.05	1.00	8	8.0
S1Q2G3	0.0001	10.05	1.00	12	8.0
S1Q2G4	0.0001	10.05	1.00	16	8.0
S1Q3G0	0.0001	11.96	1.10	0	0.0
S1Q3G1	0.0001	11.96	1.10	4	8.0
S1Q3G2	0.0001	11.96	1.10	8	8.0
S1Q3G3	0.0001	11.96	1.10	12	8.0
S1Q3G4	0.0001	11.96	1.10	16	8.0
S1Q4G0	0.0001	13.85	1.30	0	0.0
S1Q4G1	0.0001	13.85	1.30	4	8.0
S1Q4G2	0.0001	13.85	1.30	8	8.0
S1Q4G3	0.0001	13.85	1.30	12	8.0
S1Q4G4	0.0001	13.85	1.30	16	8.0
S1Q5G0	0.0001	15.91	1.40	0	0.0
S1Q5G1	0.0001	15.91	1.40	4	8.0
S1Q5G2	0.0001	15.91	1.40	8	8.0
S1Q5G3	0.0001	15.91	1.40	12	8.0
S1Q5G4	0.0001	15.91	1.40	16	8.0

ตาราง 3-2 การทดลองกรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) 75 การทดลอง (ต่อ)

Case No.	bed slope, S_0	discharge, Q (l/s)	gate opening, w (cm)	G length, L_g (m)	G depth, y_g (cm)
S2Q1G0	0.0002	8.19	0.80	0	0.0
S2Q1G1	0.0002	8.19	0.80	4	8.0
S2Q1G2	0.0002	8.19	0.80	8	8.0
S2Q1G3	0.0002	8.19	0.80	12	8.0
S2Q1G4	0.0002	8.19	0.80	16	8.0
S2Q2G0	0.0002	10.05	1.00	0	0.0
S2Q2G1	0.0002	10.05	1.00	4	8.0
S2Q2G2	0.0002	10.05	1.00	8	8.0
S2Q2G3	0.0002	10.05	1.00	12	8.0
S2Q2G4	0.0002	10.05	1.00	16	8.0
S2Q3G0	0.0002	11.96	1.10	0	0.0
S2Q3G1	0.0002	11.96	1.10	4	8.0
S2Q3G2	0.0002	11.96	1.10	8	8.0
S2Q3G3	0.0002	11.96	1.10	12	8.0
S2Q3G4	0.0002	11.96	1.10	16	8.0
S2Q4G0	0.0002	13.74	1.30	0	0.0
S2Q4G1	0.0002	13.74	1.30	4	8.0
S2Q4G2	0.0002	13.74	1.30	8	8.0
S2Q4G3	0.0002	13.74	1.30	12	8.0
S2Q4G4	0.0002	13.74	1.30	16	8.0
S2Q5G0	0.0002	16.03	1.40	0	0.0
S2Q5G1	0.0002	16.03	1.40	4	8.0
S2Q5G2	0.0002	16.03	1.40	8	8.0
S2Q5G3	0.0002	16.03	1.40	12	8.0
S2Q5G4	0.0002	16.03	1.40	16	8.0

ตาราง 3-3 การทดลองกรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) 50 การทดลอง

Case No.	bed slope, S_0	discharge, Q (l/s)	gate opening, w (cm)	WH length, L_{wh} (m)	WH depth, Y_{wh} (m)
S1Q1WH0	0.0001	8.03	0.90	0	0.0
S1Q1WH1	0.0001	8.03	0.90	4	8.0
S1Q1WH2	0.0001	8.03	0.90	8	8.0
S1Q1WH3	0.0001	8.03	0.90	12	8.0
S1Q1WH4	0.0001	8.03	0.90	16	8.0
S1Q2WH0	0.0001	9.52	1.10	0	0.0
S1Q2WH1	0.0001	9.52	1.10	4	8.0
S1Q2WH2	0.0001	9.52	1.10	8	8.0
S1Q2WH3	0.0001	9.52	1.10	12	8.0
S1Q2WH4	0.0001	9.52	1.10	16	8.0
S1Q3WH0	0.0001	11.76	1.10	0	0.0
S1Q3WH1	0.0001	11.76	1.10	4	8.0
S1Q3WH2	0.0001	11.76	1.10	8	8.0
S1Q3WH3	0.0001	11.76	1.10	12	8.0
S1Q3WH4	0.0001	11.76	1.10	16	8.0
S1Q4WH0	0.0001	13.63	1.25	0	0.0
S1Q4WH1	0.0001	13.63	1.25	4	8.0
S1Q4WH2	0.0001	13.63	1.25	8	8.0
S1Q4WH3	0.0001	13.63	1.25	12	8.0
S1Q4WH4	0.0001	13.63	1.25	16	8.0
S1Q5WH0	0.0001	15.67	1.40	0	0.0
S1Q5WH1	0.0001	15.67	1.40	4	8.0
S1Q5WH2	0.0001	15.67	1.40	8	8.0
S1Q5WH3	0.0001	15.67	1.40	12	8.0
S1Q5WH4	0.0001	15.67	1.40	16	8.0

ตาราง 3-3 การทดลองกรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) 50 การทดลอง (ต่อ)

Case No.	bed slope, S_0	discharge, Q (l/s)	gate opening, w (cm)	WH length, L_{wh} (m)	WH depth, y_{wh} (m)
S2Q1WH0	0.0002	8.03	0.90	0	0.0
S2Q1WH1	0.0002	8.03	0.90	4	8.0
S2Q1WH2	0.0002	8.03	0.90	8	8.0
S2Q1WH3	0.0002	8.03	0.90	12	8.0
S2Q1WH4	0.0002	8.03	0.90	16	8.0
S2Q2WH0	0.0002	9.87	1.10	0	0.0
S2Q2WH1	0.0002	9.87	1.10	4	8.0
S2Q2WH2	0.0002	9.87	1.10	8	8.0
S2Q2WH3	0.0002	9.87	1.10	12	8.0
S2Q2WH4	0.0002	9.87	1.10	16	8.0
S2Q3WH0	0.0002	12.16	1.10	0	0.0
S2Q3WH1	0.0002	12.16	1.10	4	8.0
S2Q3WH2	0.0002	12.16	1.10	8	8.0
S2Q3WH3	0.0002	12.16	1.10	12	8.0
S2Q3WH4	0.0002	12.16	1.10	16	8.0
S2Q4WH0	0.0002	14.07	1.25	0	0.0
S2Q4WH1	0.0002	14.07	1.25	4	8.0
S2Q4WH2	0.0002	14.07	1.25	8	8.0
S2Q4WH3	0.0002	14.07	1.25	12	8.0
S2Q4WH4	0.0002	14.07	1.25	16	8.0
S2Q5WH0	0.0002	16.15	1.40	0	0.0
S2Q5WH1	0.0002	16.15	1.40	4	8.0
S2Q5WH2	0.0002	16.15	1.40	8	8.0
S2Q5WH3	0.0002	16.15	1.40	12	8.0
S2Q5WH4	0.0002	16.15	1.40	16	8.0

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมการก่อนการทดลอง

การเตรียมการก่อนการทดลอง มีดังต่อไปนี้

- 1) ติดตั้งเครื่องมือวัดระดับ (point gauge) เข้ากับภาชนะที่เคลื่อนที่ตำแหน่งจากประตูน้ำ 0.3, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 ม.
- 2) ทดสอบหาค่าความลาดเอียงของรางจำลองและระดับน้ำในรางที่ต้องการในแต่ละกรณีศึกษา โดยการปล่อยน้ำและปรับระดับห้องรางด้วยแม่แรงยกเพื่อให้ได้สภาพการไหลของน้ำ และควบคุมตำแหน่งการเปิดบานระบายน้ำให้ได้ระดับน้ำที่ต้องการ พร้อมบันทึกข้อมูล
- 3) ทดสอบหาค่าอัตราการไหล (Q) และระยะเปิดบานประตู (w) โดยเปิดวาล์วของรางน้ำ เปิด ปล่อยน้ำเข้ารางน้ำ จนได้อัตราการไหลที่ต้องการ ตามการคำนวณเบื้องต้นในแต่ละการทดลอง โดยใช้ฝายสันคมรูปตัววีวัดอัตราการไหลของน้ำ พร้อมทั้งปรับระดับยกบานประตูท้ายน้ำ ให้ได้ความลึกการไหลเข้าสู่แบบจำลองตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และบันทึกค่า
- 4) เตรียมขยะและผักตบชวาในปริมาณตามที่ได้คำนวณไว้ ให้เพียงพอกับพื้นที่ทดลองในรางน้ำยาว 16 ม.

3.3.2 การดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลอง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ปรับค่าความลาดของห้องรางน้ำเปิด โดยเริ่มที่ความลาดห้องน้ำ (S_0) เท่ากับ 0
- 2) ชั่งน้ำในรางจำลองเพื่อกำหนดระดับอ้างอิงตลอดทั้งราง โดยใช้ระดับอ้างอิง +0.000 ที่ห้องน้ำบริเวณบานประตู และปรับระดับของเครื่องมือวัดระดับ (point gauge) ให้เป็น 0 ที่ระดับอ้างอิง ดังนั้นค่าระดับผิวหน้าและค่าระดับห้องน้ำในการทดลอง จะอ้างอิงจากระดับอ้างอิงที่กำหนด และค่าอ้างอิงดังกล่าวจะต้องทำใหม่เมื่อเปลี่ยนความลาดห้องน้ำใหม่
- 3) วัดระดับห้องน้ำที่ตำแหน่งจากประตูน้ำ 0.3, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 ม.
- 4) ปล่อยน้ำตามเงื่อนไขการไหลที่ 1 โดยปรับอัตราการไหลของน้ำ (Q) และปรับระดับยกบานประตูท้ายน้ำ (w) ตามกำหนด

5) รอประมาณ 1 ชั่วโมง หรือจนกว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในรางน้ำ และวัดระดับผิวน้ำที่ตำแหน่งจากประตูน้ำ 0.3, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 ม. กรณีไม่มีขยะ

6) ใส่ขยะลอยน้ำ ระยะ 4 ม. จากบานประตู รอประมาณ 30 นาที หรือจนกว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในรางน้ำ และวัดระดับผิวน้ำที่ตำแหน่งจากประตูน้ำ 0.3, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 ม. กรณีมีขยะ

7) ทำซ้ำข้อ 6 โดยเปลี่ยนระยะขยะลอยน้ำจากบานประตูเป็น 8, 12 และ 16 ม.

8) ทำซ้ำข้อ 1) ถึงข้อ 7) โดยเปลี่ยนเงื่อนไขการไหลของน้ำที่ 2, 3, 4 และ 5

9) ทำซ้ำข้อ 1) ถึงข้อ 8) โดยเปลี่ยนความลาดท้องน้ำ เป็น 0.0001 (S1) และ 0.0002 (S2)

10) ทำซ้ำข้อ 1) ถึงข้อ 9) โดยเปลี่ยนเป็นผักตบชวา

ในการทดลอง 1 เงื่อนไขของการไหล จะต้องทดลองให้ครบในกรณีไม่มีขยะ และมีขยะ 4, 8, 12 และ 16 ม. เนื่องจากต้องการให้เงื่อนไขการไหลเดียวกัน ดังนั้นตารางบันทึกข้อมูลจะถูกกำหนดไว้ดังแสดงในตาราง 3-4

ตาราง 3-4 ตัวอย่างบันทึกผลการทดลอง กรณี S0Q1G0 ถึง S0Q1G4

กรณี : S0Q1G0 ถึง S0Q1G4											
วันที่ : _____ เวลา : _____											
อุณหภูมิน้ำ : 27° C											
ความลาดท้องน้ำ (S_0) : 0.0000											
ระยะเปิดบาน (Gate opening, w) : 0.009 ม.											
ระยะจมของขยะ (Garbage immersed depth, y_g) : 0.08 ม.											
Case No.	Q (l/s)	Garbage length, L_g (m)	WS.El. at positions from gate (cm)								
			0.3 m	1 m	2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m
S0Q1G0	7.87	0	45.10	45.20	45.10	45.15	45.10	45.20	45.20	45.20	45.20
S0Q1G1	7.87	4	45.20	45.30	45.20	45.20	45.20	45.30	45.30	45.30	45.25
S0Q1G2	7.87	8	45.30	45.40	45.30	45.30	45.30	45.40	45.40	45.40	45.35
S0Q1G3	7.87	12	45.40	45.40	45.40	45.35	45.40	45.45	45.45	45.45	45.45
S0Q1G4	7.87	16	45.55	45.60	45.55	45.50	45.55	45.60	45.60	45.60	45.60

3.4 ผลการทดลอง

3.4.1 ผลจากแบบจำลองกายภาพ

การศึกษาชลศาสตร์การไหลของคลองที่มีขยะและผักตบชวาครั้งนี้ได้ใช้แบบจำลองทางกายภาพของรางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำการทดลองทั้งสิ้น 125 การทดลอง โดยเป็นกรณีของขยะ 75 การทดลอง และกรณีผักตบชวา 50 การทดลอง ซึ่งผลการทดลองประกอบด้วย กรณีศึกษา (Case no.) อัตราการไหลของน้ำ (Q) ระยะเปิดบาน (w) ระยะการลอยของขยะ (L_g) และระยะการลอยของผักตบชวา (L_{wh}) และระดับผิวน้ำจากระดับอ้างอิง ($WS.El.$) สรุปลไว้ในตาราง 3-5 สำหรับกรณีของขยะ และตาราง 3-6 กรณีของผักตบชวา และยังได้สรุปลค่าระดับท้องน้ำจากระดับอ้างอิงของรางทดลองที่ค่าความลาดท้องน้ำจากการทดลองในกรณีต่างๆ ไว้ในตาราง 3-7



ตาราง 3-5 ผลการทดลองกรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) 75 การทดลอง

Case No.	Q (l/s)	w (cm)	L _g (m)	WS.El. at positions from gate (cm)								
				0.3 m	1 m	2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m
S0Q1G0	7.87	0.90	0	45.80	45.84	45.80	45.85	45.80	45.87	45.90	45.90	45.90
S0Q1G1	7.87	0.90	4	45.90	45.94	45.90	45.90	45.90	45.97	46.00	46.00	45.95
S0Q1G2	7.87	0.90	8	46.00	46.04	46.00	46.00	46.00	46.07	46.10	46.10	46.05
S0Q1G3	7.87	0.90	12	46.10	46.04	46.10	46.05	46.10	46.12	46.15	46.15	46.15
S0Q1G4	7.87	0.90	16	46.25	46.24	46.25	46.20	46.25	46.27	46.30	46.30	46.30
S0Q2G0	10.23	1.00	0	46.70	46.73	46.75	46.75	46.76	46.77	46.78	46.80	46.80
S0Q2G1	10.23	1.00	4	46.90	46.92	46.90	46.90	46.96	46.97	46.93	47.00	47.00
S0Q2G2	10.23	1.00	8	47.10	47.05	47.10	47.05	47.06	47.12	47.13	47.15	47.20
S0Q2G3	10.23	1.00	12	47.15	47.20	47.15	47.15	47.26	47.27	47.23	47.30	47.30
S0Q2G4	10.23	1.00	16	47.25	47.30	47.25	47.25	47.36	47.32	47.28	47.35	47.30
S0Q3G0	11.96	1.10	0	52.60	52.60	52.60	52.61	52.62	52.65	52.68	52.70	52.70
S0Q3G1	11.96	1.10	4	52.70	52.70	52.65	52.71	52.72	52.80	52.78	52.80	52.80
S0Q3G2	11.96	1.10	8	52.80	52.80	52.80	52.81	52.82	52.85	52.88	52.90	52.90
S0Q3G3	11.96	1.10	12	52.90	52.95	52.90	52.91	52.97	52.95	52.98	53.00	53.00
S0Q3G4	11.96	1.10	16	53.00	53.00	52.95	53.01	53.02	53.05	53.08	53.10	53.10
S0Q4G0	14.29	1.25	0	56.68	56.70	56.70	56.65	56.70	56.67	56.74	56.70	56.77
S0Q4G1	14.29	1.25	4	56.83	56.85	56.85	56.85	56.90	56.92	56.94	56.90	56.97
S0Q4G2	14.29	1.25	8	56.98	57.00	57.00	57.05	57.05	57.12	57.09	57.10	57.07
S0Q4G3	14.29	1.25	12	57.18	57.20	57.20	57.20	57.20	57.27	57.24	57.25	57.27
S0Q4G4	14.29	1.25	16	57.28	57.30	57.30	57.30	57.35	57.37	57.34	57.40	57.42
S0Q5G0	15.91	1.40	0	58.93	58.94	58.95	58.94	58.95	59.00	59.00	59.00	59.05
S0Q5G1	15.91	1.40	4	59.00	58.98	59.00	58.98	59.00	59.10	59.05	59.00	59.10
S0Q5G2	15.91	1.40	8	59.10	59.09	59.05	59.08	59.10	59.10	59.15	59.10	59.20
S0Q5G3	15.91	1.40	12	59.15	59.14	59.15	59.18	59.20	59.20	59.20	59.20	59.30
S0Q5G4	15.91	1.40	16	59.25	59.29	59.30	59.28	59.30	59.30	59.35	59.30	59.35

ตาราง 3-5 ผลการทดลองกรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) 75 การทดลอง (ต่อ)

Case No.	Q (l/s)	w (cm)	L _g (m)	WS.El. at positions from gate (cm)								
				0.3 m	1 m	2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m
S1Q1G0	7.95	0.90	0	45.32	45.31	45.34	45.33	45.34	45.36	45.38	45.40	45.42
S1Q1G1	7.95	0.90	4	45.52	45.51	45.51	45.54	45.55	45.55	45.57	45.59	45.64
S1Q1G2	7.95	0.90	8	45.62	45.61	45.64	45.63	45.64	45.66	45.68	45.70	45.72
S1Q1G3	7.95	0.90	12	45.71	45.71	45.73	45.73	45.69	45.76	45.77	45.80	45.78
S1Q1G4	7.95	0.90	16	45.79	45.78	45.80	45.80	45.79	45.81	45.83	45.86	45.88
S1Q2G0	10.05	1.00	0	49.33	49.31	49.34	49.38	49.36	49.37	49.38	49.40	49.41
S1Q2G1	10.05	1.00	4	49.38	49.36	49.37	49.43	49.41	49.42	49.43	49.45	49.46
S1Q2G2	10.05	1.00	8	49.45	49.41	49.45	49.48	49.48	49.52	49.53	49.58	49.56
S1Q2G3	10.05	1.00	12	49.48	49.46	49.50	49.53	49.51	49.57	49.58	49.60	49.60
S1Q2G4	10.05	1.00	16	49.53	49.51	49.55	49.58	49.56	49.62	49.63	49.65	49.66
S1Q3G0	11.96	1.10	0	51.71	51.71	51.72	51.73	51.74	51.76	51.78	51.80	51.82
S1Q3G1	11.96	1.10	4	51.86	51.86	51.87	51.88	51.86	51.93	51.93	51.95	51.97
S1Q3G2	11.96	1.10	8	51.91	51.90	51.92	51.93	51.94	51.96	51.98	52.00	52.02
S1Q3G3	11.96	1.10	12	52.01	52.00	52.05	52.03	52.04	52.01	52.08	52.10	52.12
S1Q3G4	11.96	1.10	16	52.21	52.16	52.22	52.23	52.19	52.16	52.23	52.25	52.32
S1Q4G0	13.85	1.30	0	55.61	55.61	55.60	55.64	55.64	55.66	55.67	55.70	55.72
S1Q4G1	13.85	1.30	4	55.76	55.71	55.75	55.74	55.80	55.83	55.82	55.80	55.87
S1Q4G2	13.85	1.30	8	55.81	55.76	55.80	55.84	55.84	55.91	55.92	55.93	55.92
S1Q4G3	13.85	1.30	12	55.91	55.91	55.95	55.94	55.99	56.01	56.02	56.03	56.07
S1Q4G4	13.85	1.30	16	56.01	55.98	56.02	55.99	56.04	56.06	56.07	56.07	56.12
S1Q5G0	15.91	1.40	0	59.46	59.46	59.47	59.48	59.48	59.50	59.51	59.55	59.56
S1Q5G1	15.91	1.40	4	59.66	59.61	59.67	59.63	59.68	59.70	59.69	59.70	59.73
S1Q5G2	15.91	1.40	8	59.71	59.69	59.72	59.73	59.75	59.77	59.76	59.80	59.81
S1Q5G3	15.91	1.40	12	59.86	59.81	59.87	59.88	59.88	59.85	59.91	59.90	59.94
S1Q5G4	15.91	1.40	16	59.92	59.91	59.92	59.93	59.93	59.95	60.00	59.99	60.03

ตาราง 3-5 ผลการทดลองกรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) 75 การทดลอง (ต่อ)

Case No.	Q (l/s)	w (cm)	L _g (m)	WS.El. at positions from gate (cm)								
				0.3 m	1 m	2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m
S2Q1G0	8.19	0.80	0	46.46	46.47	46.46	46.48	46.49	46.51	46.52	46.53	46.55
S2Q1G1	8.19	0.80	4	46.56	46.57	46.56	46.58	46.59	46.61	46.62	46.63	46.65
S2Q1G2	8.19	0.80	8	46.61	46.62	46.61	46.65	46.67	46.66	46.67	46.70	46.71
S2Q1G3	8.19	0.80	12	46.64	46.63	46.66	46.68	46.69	46.70	46.72	46.73	46.75
S2Q1G4	8.19	0.80	16	46.68	46.67	46.71	46.72	46.74	46.76	46.77	46.78	46.80
S2Q2G0	10.05	1.00	0	49.90	49.91	49.91	49.94	49.93	49.93	49.96	49.95	50.00
S2Q2G1	10.05	1.00	4	49.98	50.01	50.01	50.04	50.03	50.03	50.06	50.05	50.10
S2Q2G2	10.05	1.00	8	50.03	50.05	50.06	50.09	50.08	50.08	50.11	50.10	50.15
S2Q2G3	10.05	1.00	12	50.10	50.11	50.16	50.14	50.18	50.13	50.16	50.20	50.20
S2Q2G4	10.05	1.00	16	50.18	50.18	50.21	50.19	50.23	50.23	50.26	50.25	50.27
S2Q3G0	11.96	1.10	0	52.56	52.57	52.58	52.59	52.58	52.59	52.61	52.60	52.64
S2Q3G1	11.96	1.10	4	52.61	52.62	52.64	52.66	52.64	52.69	52.71	52.70	52.74
S2Q3G2	11.96	1.10	8	52.66	52.67	52.69	52.70	52.69	52.74	52.76	52.75	52.77
S2Q3G3	11.96	1.10	12	52.76	52.77	52.76	52.77	52.78	52.79	52.81	52.80	52.84
S2Q3G4	11.96	1.10	16	52.81	52.82	52.81	52.86	52.88	52.89	52.91	52.90	52.94
S2Q4G0	13.74	1.30	0	54.81	54.81	54.82	54.81	54.84	54.87	54.86	54.88	54.90
S2Q4G1	13.74	1.30	4	54.91	54.91	54.92	54.91	54.94	54.97	54.95	54.98	55.00
S2Q4G2	13.74	1.30	8	54.96	54.96	54.97	54.99	54.99	55.00	55.01	55.03	55.05
S2Q4G3	13.74	1.30	12	55.11	55.11	55.12	55.16	55.15	55.16	55.21	55.21	55.23
S2Q4G4	13.74	1.30	16	55.26	55.26	55.27	55.26	55.29	55.32	55.31	55.33	55.35
S2Q5G0	16.03	1.40	0	58.56	58.57	58.60	58.59	58.61	58.62	58.62	58.65	58.66
S2Q5G1	16.03	1.40	4	58.68	58.68	58.70	58.69	58.71	58.72	58.72	58.75	58.77
S2Q5G2	16.03	1.40	8	58.76	58.72	58.76	58.74	58.78	58.80	58.77	58.80	58.85
S2Q5G3	16.03	1.40	12	58.81	58.82	58.85	58.84	58.86	58.87	58.88	58.90	58.93
S2Q5G4	16.03	1.40	16	59.02	59.02	59.05	59.04	59.07	59.07	59.09	59.11	59.15

ตาราง 3-6 ผลการทดลองกรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) 50 การทดลอง

Case No.	Q (l/s)	w (cm)	L _{wh} (m)	WS.El. at positions from gate (cm)								
				0.3 m	1 m	2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m
S1Q1WH0	8.03	0.90	0	47.00	47.01	47.01	47.03	47.03	47.05	46.63	47.08	47.10
S1Q1WH1	8.03	0.90	4	47.02	47.02	47.04	47.04	47.04	47.07	46.64	47.09	47.11
S1Q1WH2	8.03	0.90	8	47.05	47.06	47.05	47.08	47.07	47.09	46.63	47.12	47.15
S1Q1WH3	8.03	0.90	12	47.07	47.09	47.06	47.10	47.08	47.10	46.63	47.16	47.18
S1Q1WH4	8.03	0.90	16	47.10	47.11	47.14	47.13	47.13	47.15	46.78	47.18	47.20
S1Q2WH0	9.52	1.10	0	49.94	49.94	49.96	49.97	49.97	49.99	49.57	50.04	50.05
S1Q2WH1	9.52	1.10	4	49.98	49.98	50.00	50.03	50.01	50.05	49.53	50.06	50.07
S1Q2WH2	9.52	1.10	8	50.01	50.00	50.02	50.03	50.02	50.05	49.58	50.10	50.11
S1Q2WH3	9.52	1.10	12	50.06	50.07	50.06	50.07	50.08	50.10	49.63	50.15	50.16
S1Q2WH4	9.52	1.10	16	50.10	50.11	50.12	50.12	50.18	50.15	49.73	50.20	50.21
S1Q3WH0	11.76	1.10	0	51.85	51.84	51.87	51.88	51.88	51.90	51.91	51.93	51.94
S1Q3WH1	11.76	1.10	4	51.90	51.89	51.92	51.93	51.93	51.95	51.96	51.99	52.00
S1Q3WH2	11.76	1.10	8	51.98	52.00	52.02	52.03	52.01	52.00	52.06	52.09	52.10
S1Q3WH3	11.76	1.10	12	52.30	52.30	52.32	52.33	52.33	52.35	52.41	52.41	52.45
S1Q3WH4	11.76	1.10	16	52.40	52.39	52.42	52.48	52.48	52.45	52.50	52.51	52.55
S1Q4WH0	13.63	1.25	0	55.10	55.11	55.13	55.13	55.13	55.16	55.13	55.19	55.20
S1Q4WH1	13.63	1.25	4	55.18	55.19	55.21	55.20	55.18	55.22	55.23	55.24	55.26
S1Q4WH2	13.63	1.25	8	55.28	55.29	55.31	55.33	55.33	55.37	55.38	55.43	55.45
S1Q4WH3	13.63	1.25	12	55.38	55.39	55.41	55.38	55.43	55.46	55.43	55.44	55.48
S1Q4WH4	13.63	1.25	16	55.50	55.49	55.52	55.53	55.53	55.56	55.53	55.59	55.62
S1Q5WH0	15.67	1.40	0	59.13	59.14	59.12	59.13	59.17	59.18	59.19	59.20	59.22
S1Q5WH1	15.67	1.40	4	59.17	59.18	59.19	59.20	59.19	59.20	59.25	59.27	59.29
S1Q5WH2	15.67	1.40	8	59.19	59.19	59.21	59.22	59.22	59.22	59.27	59.29	59.31
S1Q5WH3	15.67	1.40	12	59.22	59.22	59.23	59.24	59.27	59.25	59.24	59.31	59.33
S1Q5WH4	15.67	1.40	16	59.26	59.25	59.28	59.29	59.28	59.32	59.29	59.34	59.38

ตาราง 3-6 ผลการทดลองกรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) 50 การทดลอง (ต่อ)

Case No.	Q (l/s)	w (cm)	L _{wh} (m)	WS.El. at positions from gate (cm)								
				0.3 m	1 m	2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m
S2Q1WH0	8.03	0.90	0	47.00	47.01	47.01	47.03	47.03	47.05	47.06	47.08	47.10
S2Q1WH1	8.03	0.90	4	47.02	47.02	47.04	47.04	47.04	47.07	47.08	47.09	47.11
S2Q1WH2	8.03	0.90	8	47.05	47.06	47.05	47.08	47.07	47.09	47.14	47.12	47.15
S2Q1WH3	8.03	0.90	12	47.07	47.09	47.06	47.10	47.08	47.10	47.17	47.16	47.18
S2Q1WH4	8.03	0.90	16	47.10	47.11	47.14	47.13	47.13	47.15	47.20	47.18	47.20
S2Q2WH0	9.87	1.10	0	49.94	49.94	49.96	49.97	49.97	49.99	50.02	50.04	50.05
S2Q2WH1	9.87	1.10	4	49.98	49.98	50.00	50.03	50.01	50.05	49.98	50.06	50.07
S2Q2WH2	9.87	1.10	8	50.01	50.00	50.02	50.03	50.02	50.05	50.03	50.10	50.11
S2Q2WH3	9.87	1.10	12	50.06	50.07	50.06	50.07	50.08	50.10	50.08	50.15	50.16
S2Q2WH4	9.87	1.10	16	50.10	50.11	50.12	50.12	50.18	50.15	50.18	50.20	50.21
S2Q3WH0	12.16	1.10	0	53.91	53.92	53.92	53.94	53.93	53.95	53.96	53.95	53.99
S2Q3WH1	12.16	1.10	4	54.01	54.02	54.02	54.04	54.05	54.05	54.06	54.07	54.09
S2Q3WH2	12.16	1.10	8	54.11	54.10	54.12	54.13	54.13	54.14	54.16	54.15	54.19
S2Q3WH3	12.16	1.10	12	54.18	54.17	54.17	54.19	54.18	54.20	54.26	54.25	54.29
S2Q3WH4	12.16	1.10	16	54.21	54.22	54.22	54.24	54.28	54.25	54.26	54.32	54.34
S2Q4WH0	14.07	1.25	0	55.41	55.42	55.44	55.44	55.48	55.47	55.51	55.50	55.53
S2Q4WH1	14.07	1.25	4	55.51	55.52	55.54	55.54	55.53	55.57	55.61	55.60	55.64
S2Q4WH2	14.07	1.25	8	55.63	55.62	55.64	55.64	55.63	55.67	55.71	55.70	55.74
S2Q4WH3	14.07	1.25	12	55.69	55.70	55.69	55.69	55.68	55.72	55.76	55.75	55.79
S2Q4WH4	14.07	1.25	16	55.77	55.76	55.79	55.80	55.78	55.79	55.86	55.85	55.89
S2Q5WH0	16.15	1.40	0	60.21	60.20	60.23	60.23	60.25	60.26	60.26	60.28	60.29
S2Q5WH1	16.15	1.40	4	60.31	60.30	60.33	60.33	60.35	60.36	60.36	60.38	60.39
S2Q5WH2	16.15	1.40	8	60.34	60.35	60.37	60.33	60.38	60.36	60.41	60.43	60.44
S2Q5WH3	16.15	1.40	12	60.39	60.40	60.43	60.42	60.45	60.41	60.46	60.48	60.51
S2Q5WH4	16.15	1.40	16	60.49	60.50	60.53	60.52	60.55	60.55	60.54	60.58	60.62

ตาราง 3-7 ระดับท้องน้ำจากระดับอ้างอิงของรางทดลองที่ค่าความลาดท้องน้ำในกรณีต่างๆ

Distance from gate (m)	Bed elevation, z (cm)					Remarks
	G S0	G S1	G S2	WH S1	WH S2	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	บานประตู
0.3	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	
1.0	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	
2.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	
3.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.2	
4.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	
6.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	
8.0	0.4	0.5	0.1	0.0	0.1	
10.0	1.3	1.3	1.5	1.4	1.5	
12.0	0.5	0.7	0.8	0.7	0.8	

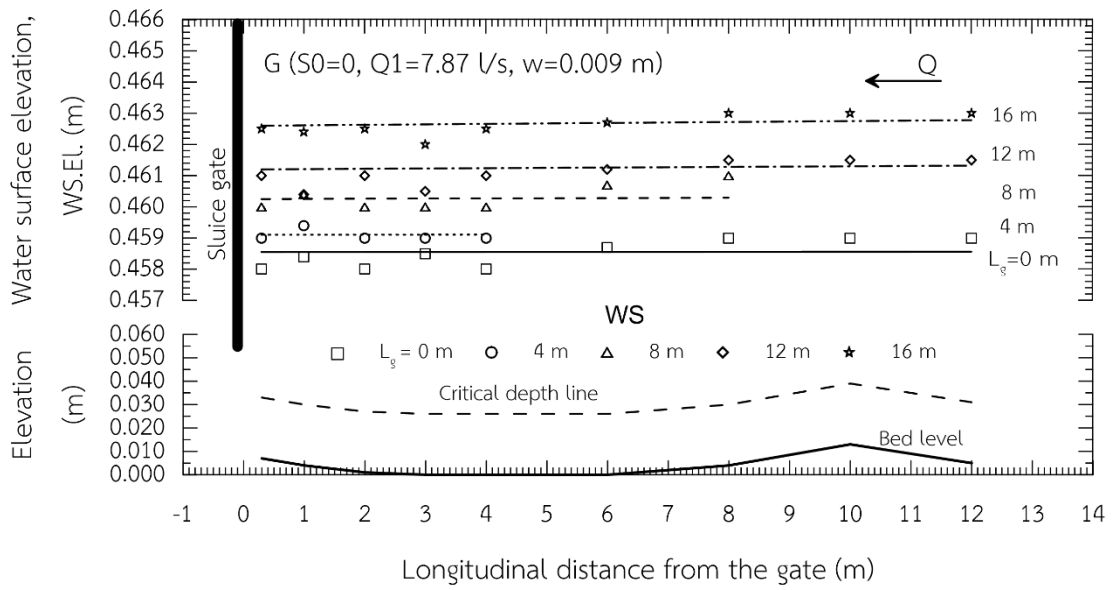
3.4.2 การหาค่าระดับน้ำ

ในการทดลองได้วัดระดับผิวน้ำที่ระยะ 0.3, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 ม. จากบานประตู พบว่าข้อมูลจากการวัดมีลักษณะขึ้นลง โดยทั่วไประดับผิวน้ำที่หน้าบานประตูต้องมีระดับต่ำสุดและค่อยๆ เพิ่มระดับขึ้นไปทางเหนือน้ำ ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการไหลของน้ำจริง จึงต้องลากเส้นระดับผิวน้ำ โดยพิจารณาจากเส้นผิวน้ำให้มีความใกล้เคียงข้อมูลจากการทดลอง และพิจารณาเงื่อนไขทางชลศาสตร์จากค่าความลึกวิกฤติ (y_c) และความลึกปกติ (y_n) ในกรณีไม่มีขยะและผักตบชวา ดังตาราง 3-7 ซึ่งค่า y_n ที่ใช้สำหรับเป็นแนวทางในการลากเส้น คำนวณมาจากค่า n เท่ากับ 0.016 จากผลการศึกษารางน้ำในอดีต (ธรรมวัฒน์ การุณธนกุล, 2541) จะพบว่า ในกรณีทางน้ำที่มีความลาดท้องน้ำมากกว่า 0 มีระดับผิวน้ำสูงกว่าค่า y_c และ y_n อย่างชัดเจน และค่าฟรูดนัมเบอร์ (Fr) ต่ำมาก แสดงว่าเกิดน้ำเอ่อ (backwater) ด้านเหนือบานประตู โดยแสดงตัวอย่างข้อมูลจากการทดลองและการลากเส้นผิวน้ำ ดังรูป 3-4 (ข้อมูลทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ข) ซึ่งระดับน้ำหน้าบานใหม่จะนำไปหาค่าความลึกน้ำ (y_1) สำหรับใช้ในการคำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลลอดผ่านประตู (C_d) ส่วนระดับผิวน้ำจะนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในทางน้ำเปิด (Manning's n)

ตาราง 3-8 ลักษณะทางชลศาสตร์ของการทดลองในกรณีไม่มีขยะ และไม่มีผักตบชวา

Type	Case No.	Bed slope, S_0	Discharge, Q (l/s)	Froude number, Fr	Critical depth, y_c (m)	*Normal depth, y_n (n=0.016) (m)
floating garbage, G	S0Q1G0	0.0000	7.87	0.013	0.026	∞
	S0Q2G0	0.0000	10.23	0.017	0.031	∞
	S0Q3G0	0.0000	11.96	0.017	0.034	∞
	S0Q4G0	0.0000	14.29	0.018	0.039	∞
	S0Q5G0	0.0000	15.91	0.019	0.042	∞
	S1Q1G0	0.0001	7.95	0.014	0.026	0.113
	S1Q2G0	0.0001	10.05	0.015	0.031	0.132
	S1Q3G0	0.0001	11.96	0.017	0.034	0.149
	S1Q4G0	0.0001	13.85	0.018	0.038	0.165
	S1Q5G0	0.0001	15.91	0.018	0.042	0.182
	S2Q1G0	0.0002	8.19	0.014	0.027	0.091
	S2Q2G0	0.0002	10.05	0.015	0.031	0.104
	S2Q3G0	0.0002	11.96	0.017	0.034	0.117
	S2Q4G0	0.0002	13.74	0.018	0.038	0.129
	S2Q5G0	0.0002	16.03	0.018	0.042	0.143
water hyacinth, WH	S1Q1WH0	0.0001	8.03	0.013	0.026	0.113
	S1Q2WH0	0.0001	9.52	0.014	0.029	0.127
	S1Q3WH0	0.0001	11.76	0.017	0.034	0.147
	S1Q4WH0	0.0001	13.63	0.018	0.037	0.163
	S1Q5WH0	0.0001	15.67	0.018	0.041	0.180
	S2Q1WH0	0.0002	8.03	0.013	0.026	0.090
	S2Q2WH0	0.0002	9.87	0.014	0.030	0.103
	S2Q3WH0	0.0002	12.16	0.016	0.035	0.119
	S2Q4WH0	0.0002	14.07	0.018	0.038	0.131
	S2Q5WH0	0.0002	16.15	0.018	0.042	0.144

หมายเหตุ *คำนวณ y_n จาก n เท่ากับ 0.016 (ธรรมวัฒน์ การุณธนกุล, 2541)



รูป 3-4 เส้นผิวน้ำ กรณีขยชะลอน้ำ เมื่อความลาดท้องน้ำเฉลี่ย $S_0 = 0$ (S_0)

อัตราการไหล (Q) 7.87 ลิตร/วินาที ระยะเปิดบาน (w) 0.9 ซม.

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลและผล

ในการศึกษาความสามารถในการระบายน้ำของทางน้ำเปิด และชลศาสตร์การระบายน้ำผ่านประตูน้ำ ของทางน้ำเปิดที่มีขยะลอยน้ำและผักตบชวา ได้พิจารณาหัวข้อต่างๆ โดยรายละเอียดดังกล่าวต่อไปนี้

4.1 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระทางน้ำเปิด (Manning's n)

ผลการทดลองของระดับผิวน้ำที่ระยะ 0.3, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 ม. จากบานประตู มีลักษณะขึ้นลง จึงใช้ระดับผิวน้ำที่ลากขึ้น นำมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระในทางน้ำเปิด (Manning's n) โดยใช้หลักการวิเคราะห์การไหลเปลี่ยนแปลงน้อยวิธีขั้นตอนโดยมาตรฐาน (standard step method) ดังตาราง 4-1 ทดลองเปลี่ยนค่า n ที่ทำให้ระดับผิวน้ำจากการคำนวณ (computed data) เท่ากับหรือใกล้เคียงกับผิวน้ำจากการวัด (observed data) ซึ่งพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดและค่าจากการคำนวณจากค่า Mean Absolute Error (MAE) ในบรรทัดสุดท้ายของตารางช่อง 22 หากค่า n ใด ที่ทำให้ค่า MAE น้อยสุด แสดงว่าเป็นค่า n เหมาะสม และสามารถดูผลการเปรียบเทียบของระดับผิวน้ำจากการคำนวณและค่าจากการวัดจริง ดังแสดงในรูป 4-1 อย่างไรก็ตามการคำนวณด้วยวิธีขั้นตอนมาตรฐานจะมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก เมื่อกำหนดค่า n ต้องมาเดาค่าระดับผิวน้ำในช่อง 3 เพื่อให้ค่าหัวพลังงาน (H) ในช่อง 9 และ 18 เท่ากัน หรือใกล้เคียงกันในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อหาค่าระดับผิวน้ำได้ครบทุกตำแหน่งแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริง หากยังไม่ใกล้เคียงกันต้องเปลี่ยนค่า n ใหม่ และเดาค่าระดับน้ำใหม่ ทำซ้ำจนระดับผิวน้ำคำนวณและค่าที่วัดจริงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ตัวอย่างผลการคำนวณค่า n ของขยะและผักตบชวา ดังแสดงในตาราง 4-2 และ 4-3 ตามลำดับ และผลการคำนวณทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ค

ตาราง 4-1 ตัวอย่างการคำนวณค่า n โดยวิธีขั้นตอนมาตรฐาน

Case	50Q1G0				
Discharge	Q =	0.00787	m ³ /s	Allowable (H-H*)	0.000001 m
Width	B =	0.600	m	Row count	9
Manning	n =	0.0150			

		Trial				Check				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sta	WS.El	WS.El	Bed El.	y	A	V	V ² /2g	H	P	R
	Actual	Trial								
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.3	0.45855	0.458550	0.0070	0.451550	0.2709	0.029048	0.000043	0.458593	1.5031	0.1802
1.0	0.45855	0.458551	0.0040	0.454551	0.2727	0.028856	0.000042	0.458593	1.5091	0.1807
2.0	0.45855	0.458553	0.0010	0.457553	0.2745	0.028667	0.000042	0.458595	1.5151	0.1812
3.0	0.45855	0.458554	0.0000	0.458554	0.2751	0.028604	0.000042	0.458596	1.5171	0.1814
4.0	0.45855	0.458555	0.0000	0.458555	0.2751	0.028604	0.000042	0.458597	1.5171	0.1814
6.0	0.45856	0.458558	0.0000	0.458558	0.2751	0.028604	0.000042	0.458600	1.5171	0.1814
8.0	0.45856	0.458560	0.0040	0.454560	0.2727	0.028856	0.000042	0.458602	1.5091	0.1807
10.0	0.45856	0.458562	0.0130	0.445562	0.2673	0.029438	0.000044	0.458606	1.4911	0.1793
12.0	0.45856	0.458567	0.0050	0.453567	0.2721	0.028919	0.000043	0.458610	1.5071	0.1806

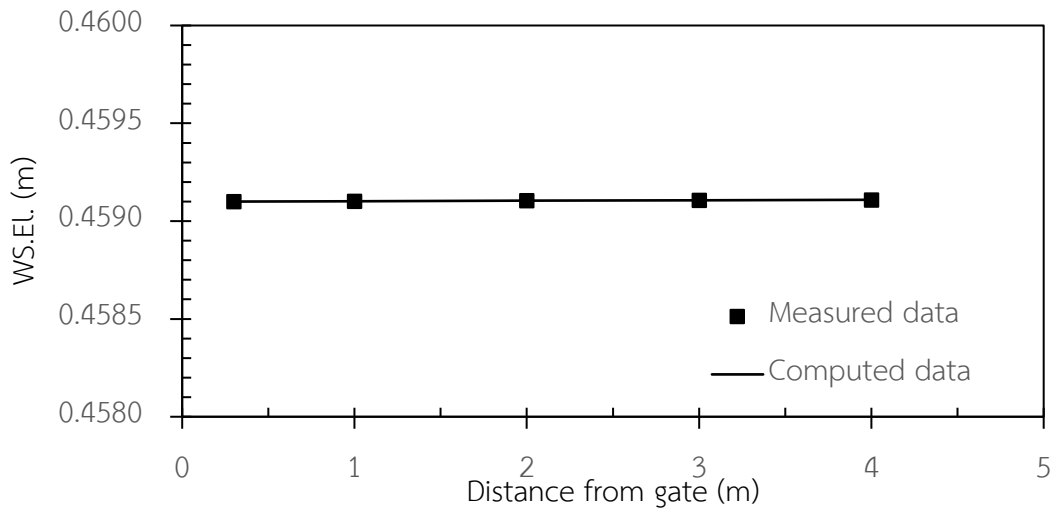
						Check				
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
R ^{2/3}	S _f	$\frac{1}{S_f}$	Δx	h _f	h _e	H*	Abs	Allowable	WS.El	WS.El
			(m)	(m)	(m)	(m)	H-H*	H-H*	different	Abs.dif.
							(m)	(m)	Act&Trial	(m)
0.3191	0.0000019					0.458593	0.000000	0.000001	0.000000	0.00000000
0.3197	0.0000018	0.0000018	0.7	0.0000013	0	0.458594	0.000001	0.000001	0.000000	0.00000000
0.3202	0.0000018	0.0000018	1.0	0.0000018	0	0.458595	0.000000	0.000001	0.000000	0.00000000
0.3204	0.0000018	0.0000018	1.0	0.0000018	0	0.458597	0.000001	0.000001	0.000000	0.00000000
0.3204	0.0000018	0.0000018	1.0	0.0000018	0	0.458597	0.000001	0.000001	0.000000	0.00000000
0.3204	0.0000018	0.0000018	2.0	0.0000036	0	0.458600	0.000001	0.000001	0.000000	0.00000000
0.3197	0.0000018	0.0000018	2.0	0.0000036	0	0.458603	0.000001	0.000001	0.000000	0.00000000
0.3180	0.0000019	0.0000019	2.0	0.0000038	0	0.458606	0.000000	0.000001	0.000000	0.00000000
0.3195	0.0000018	0.0000019	2.0	0.0000038	0	0.458610	0.000000	0.000001	0.000000	0.00000000
									MAE (m)	0.00000000

ตาราง 4-2 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Manning's n กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) กรณี S_0 ($S_0 = 0$)

Case No.	floating garbage		water depth, y_1 (m)	Manning' s n	L_g/y_1	y_g/y_1	n_g/n_0
	Length, L_g (m)	Depth, y_g (m)					
S0Q1G0	0	0.00	0.4586	0.0150	0.0	0.000	1.000
S0Q1G1	4	0.08	0.4591	0.0180	8.7	0.174	1.200
S0Q1G2	8	0.08	0.4603	0.0270	17.4	0.174	1.800
S0Q1G3	12	0.08	0.4612	0.0362	26.0	0.173	2.413
S0Q1G4	16	0.08	0.4626	0.0450	34.6	0.173	3.000
S0Q2G0	0	0.00	0.4676	0.0110	0.0	0.000	1.000
S0Q2G1	4	0.08	0.4692	0.0170	8.5	0.171	1.545
S0Q2G2	8	0.08	0.4708	0.0210	17.0	0.170	1.909
S0Q2G3	12	0.08	0.4723	0.0290	25.4	0.169	2.636
S0Q2G4	16	0.08	0.4729	0.0355	33.8	0.169	3.227
S0Q3G0	0	0.00	0.5265	0.0110	0.0	0.000	1.000
S0Q3G1	4	0.08	0.5270	0.0150	7.6	0.152	1.364
S0Q3G2	8	0.08	0.5282	0.0210	15.1	0.151	1.909
S0Q3G3	12	0.08	0.5295	0.0290	22.7	0.151	2.636
S0Q3G4	16	0.08	0.5304	0.0350	30.2	0.151	3.182
S0Q4G0	0	0.00	0.5670	0.0100	0.0	0.000	1.000
S0Q4G1	4	0.08	0.5686	0.0130	7.0	0.141	1.300
S0Q4G2	8	0.08	0.5703	0.0190	14.0	0.140	1.900
S0Q4G3	12	0.08	0.5722	0.0260	21.0	0.140	2.600
S0Q4G4	16	0.08	0.5733	0.0320	27.9	0.140	3.200
S0Q5G0	0	0.00	0.5898	0.0100	0.0	0.000	1.000
S0Q5G1	4	0.08	0.5900	0.0130	6.8	0.136	1.300
S0Q5G2	8	0.08	0.5909	0.0180	13.5	0.135	1.800
S0Q5G3	12	0.08	0.5920	0.0245	20.3	0.135	2.450
S0Q5G4	16	0.08	0.5930	0.0300	27.0	0.135	3.000

ตาราง 4-3 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า Manning's n กรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) กรณี S1 ($S_0 = 0.0001$)

Case No.	water hyacinth		water depth, y_1 (m)	Manning' s n	L_{wh}/y_1	y_{wh}/y_1	n_{wh}/n_0
	Length, L_{wh} (m)	Depth, y_{wh} (m)					
S1Q1WH0	0	0.00	0.4705	0.0170	0.0	0.000	1.000
S1Q1WH1	4	0.08	0.4706	0.0180	8.5	0.170	1.059
S1Q1WH2	8	0.08	0.4709	0.0280	17.0	0.170	1.647
S1Q1WH3	12	0.08	0.4713	0.0370	25.5	0.170	2.176
S1Q1WH4	16	0.08	0.4715	0.0450	33.9	0.170	2.647
S1Q2WH0	0	0.00	0.4999	0.0160	0.0	0.000	1.000
S1Q2WH1	4	0.08	0.5002	0.0200	8.0	0.160	1.250
S1Q2WH2	8	0.08	0.5003	0.0245	16.0	0.160	1.531
S1Q2WH3	12	0.08	0.5010	0.0335	24.0	0.160	2.094
S1Q2WH4	16	0.08	0.5015	0.0410	31.9	0.160	2.563
S1Q3WH0	0	0.00	0.5189	0.0135	0.0	0.000	1.000
S1Q3WH1	4	0.08	0.5192	0.0170	7.7	0.154	1.259
S1Q3WH2	8	0.08	0.5201	0.0210	15.4	0.154	1.556
S1Q3WH3	12	0.08	0.5235	0.0290	22.9	0.153	2.148
S1Q3WH4	16	0.08	0.5246	0.0350	30.5	0.152	2.593
S1Q4WH0	0	0.00	0.5514	0.0130	0.0	0.000	1.000
S1Q4WH1	4	0.08	0.5519	0.0160	7.2	0.145	1.231
S1Q4WH2	8	0.08	0.5533	0.0190	14.5	0.145	1.462
S1Q4WH3	12	0.08	0.5542	0.0265	21.7	0.144	2.038
S1Q4WH4	16	0.08	0.5553	0.0325	28.8	0.144	2.500
S1Q5WH0	0	0.00	0.5916	0.0120	0.0	0.000	1.000
S1Q5WH1	4	0.08	0.5918	0.0150	6.8	0.135	1.250
S1Q5WH2	8	0.08	0.5921	0.0180	13.5	0.135	1.500
S1Q5WH3	12	0.08	0.5926	0.0250	20.2	0.135	2.083
S1Q5WH4	16	0.08	0.5929	0.0305	27.0	0.135	2.542



รูป 4-1 กราฟเปรียบเทียบระดับผิวน้ำจากการคำนวณ กับผิวน้ำจากการวัด

4.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การไหลลอดผ่านประตู (C_d)

เนื่องจากความลึกน้ำหน้าบานประตู (y_1) ที่ได้จากการทดลองมีความผันแปร จึงลากเส้นผิวน้ำ ทำให้ได้ระดับน้ำที่หน้าบานประตูใหม่ ซึ่งระดับน้ำหน้าบานนี้จะถูกนำไปหาค่าความลึกน้ำ (y_1) สำหรับใช้ในการคำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลลอดผ่านประตู (C_d) โดยในการคำนวณค่า C_d จะใช้สมการ 2-19 ตัวอย่างการคำนวณค่า C_d ดังแสดงในตาราง 4-4 ตัวอย่างผลการคำนวณค่า C_d ของขยะและผักตบชวา ดังแสดงในตาราง 4-5 และ 4-6 ตามลำดับ และผลการคำนวณทั้งหมดดังแสดงในภาคผนวก ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 4-4 ตัวอย่างการคำนวณค่า C_d

Q (l/s)	Gate (cm)	L_g (m)	y_g (m)	y_c (m)	y_1 (m)	V	H	compute C_d From	
								y	H
7.87	0.90	0	0.00	0.026	0.4586	0.0286	0.4586	0.4862	0.4862
	0.90	4	0.08		0.4591	0.0286	0.4591	0.4859	0.4859
	0.90	8	0.08		0.4603	0.0285	0.4603	0.4853	0.4853
	0.90	12	0.08		0.4612	0.0285	0.4612	0.4848	0.4848
	0.90	16	0.08		0.4626	0.0284	0.4626	0.4840	0.4840

ตาราง 4-5 ผลการคำนวณค่า C_d กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) กรณี S_0 ($S_0 = 0$)

Case No.	Gate opening, w (cm)	floating garbage		water depth, y_1 (m)	C_d	y_1/w	L_g/y_1	y_g/y_1	$C_{d,g}/C_{d,0}$
		Length, L_g (m)	Depth, y_g (m)						
S0Q1G0	0.90	0	0.00	0.45855	0.4862	51.0	0.0	0.000	1.0000
S0Q1G1	0.90	4	0.08	0.45910	0.4859	51.0	8.7	0.174	0.9994
S0Q1G2	0.90	8	0.08	0.46025	0.4853	51.1	17.4	0.174	0.9981
S0Q1G3	0.90	12	0.08	0.46120	0.4848	51.2	26.0	0.173	0.9971
S0Q1G4	0.90	16	0.08	0.46260	0.4840	51.4	34.6	0.173	0.9955
S0Q2G0	1.00	0	0.00	0.46760	0.5631	46.8	0.0	0.000	1.0000
S0Q2G1	1.00	4	0.08	0.46920	0.5621	46.9	8.5	0.171	0.9984
S0Q2G2	1.00	8	0.08	0.47080	0.5612	47.1	17.0	0.170	0.9966
S0Q2G3	1.00	12	0.08	0.47230	0.5603	47.2	25.4	0.169	0.9950
S0Q2G4	1.00	16	0.08	0.47290	0.5599	47.3	33.8	0.169	0.9945
S0Q3G0	1.10	0	0.00	0.52650	0.5636	47.9	0.0	0.000	1.0000
S0Q3G1	1.10	4	0.08	0.52700	0.5633	47.9	7.6	0.152	0.9995
S0Q3G2	1.10	8	0.08	0.52820	0.5627	48.0	15.1	0.151	0.9984
S0Q3G3	1.10	12	0.08	0.52950	0.5620	48.1	22.7	0.151	0.9972
S0Q3G4	1.10	16	0.08	0.53040	0.5615	48.2	30.2	0.151	0.9963
S0Q4G0	1.25	0	0.00	0.56700	0.5712	45.4	0.0	0.000	1.0000
S0Q4G1	1.25	4	0.08	0.56860	0.5704	45.5	7.0	0.141	0.9986
S0Q4G2	1.25	8	0.08	0.57030	0.5696	45.6	14.0	0.140	0.9970
S0Q4G3	1.25	12	0.08	0.57220	0.5686	45.8	21.0	0.140	0.9954
S0Q4G4	1.25	16	0.08	0.57330	0.5681	45.9	27.9	0.140	0.9944
S0Q5G0	1.40	0	0.00	0.58980	0.5568	42.1	0.0	0.000	1.0000
S0Q5G1	1.40	4	0.08	0.59000	0.5567	42.1	6.8	0.136	0.9998
S0Q5G2	1.40	8	0.08	0.59090	0.5562	42.2	13.5	0.135	0.9991
S0Q5G3	1.40	12	0.08	0.59200	0.5557	42.3	20.3	0.135	0.9982
S0Q5G4	1.40	16	0.08	0.59300	0.5553	42.4	27.0	0.135	0.9973

ตาราง 4-6 ผลการคำนวณค่า C_d กรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) กรณี S1 ($S_0 = 0.0001$)

Case No.	Gate opening w (cm)	water hyacinth		water depth, y_1 (m)	C_d	y_1/w	L_{wh}/y_1	y_{wh}/y_1	$C_{d,wh}/C_{d,0}$
		Length, L_{wh} (m)	Depth, y_{wh} (m)						
S1Q1WH0	0.90	0	0.00	0.47050	0.4895	52.3	0.0	0.000	1.0000
S1Q1WH1	0.90	4	0.08	0.47060	0.4894	52.3	8.5	0.170	0.9998
S1Q1WH2	0.90	8	0.08	0.47090	0.4892	52.3	17.0	0.170	0.9994
S1Q1WH3	0.90	12	0.08	0.47130	0.4890	52.4	25.5	0.170	0.9990
S1Q1WH4	0.90	16	0.08	0.47150	0.4889	52.4	33.9	0.170	0.9988
S1Q2WH0	1.10	0	0.00	0.49990	0.4606	45.4	0.0	0.000	1.0000
S1Q2WH1	1.10	4	0.08	0.50020	0.4604	45.5	8.0	0.160	0.9998
S1Q2WH2	1.10	8	0.08	0.50030	0.4604	45.5	16.0	0.160	0.9996
S1Q2WH3	1.10	12	0.08	0.50100	0.4601	45.5	24.0	0.160	0.9989
S1Q2WH4	1.10	16	0.08	0.50150	0.4598	45.6	31.9	0.160	0.9985
S1Q3WH0	1.10	0	0.00	0.51890	0.5582	47.2	0.0	0.000	1.0000
S1Q3WH1	1.10	4	0.08	0.51915	0.5581	47.2	7.7	0.154	0.9998
S1Q3WH2	1.10	8	0.08	0.52010	0.5576	47.3	15.4	0.154	0.9989
S1Q3WH3	1.10	12	0.08	0.52350	0.5558	47.6	22.9	0.153	0.9955
S1Q3WH4	1.10	16	0.08	0.52460	0.5552	47.7	30.5	0.152	0.9946
S1Q4WH0	1.25	0	0.00	0.55140	0.5524	44.1	0.0	0.000	1.0000
S1Q4WH1	1.25	4	0.08	0.55190	0.5522	44.2	7.2	0.145	0.9995
S1Q4WH2	1.25	8	0.08	0.55330	0.5515	44.3	14.5	0.145	0.9982
S1Q4WH3	1.25	12	0.08	0.55420	0.5510	44.3	21.7	0.144	0.9975
S1Q4WH4	1.25	16	0.08	0.55530	0.5505	44.4	28.8	0.144	0.9964
S1Q5WH0	1.40	0	0.00	0.59160	0.5476	42.3	0.0	0.000	1.0000
S1Q5WH1	1.40	4	0.08	0.59180	0.5475	42.3	6.8	0.135	0.9998
S1Q5WH2	1.40	8	0.08	0.59210	0.5474	42.3	13.5	0.135	0.9996
S1Q5WH3	1.40	12	0.08	0.59260	0.5471	42.3	20.2	0.135	0.9993
S1Q5WH4	1.40	16	0.08	0.59290	0.5470	42.4	27.0	0.135	0.9989

4.3 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองในกรณีของขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) และ ผักตบชวา (water hyacinth, WH) ซึ่งได้วัดระดับผิวน้ำที่ระยะ 0.3, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 ม. จากบานประตู พบว่า ข้อมูลระดับผิวน้ำจากการวัดมีลักษณะไม่คงที่ โดยทั่วไประดับผิวน้ำที่หน้าบานประตูต้องมีระดับต่ำสุดและค่อยๆ เพิ่มระดับขึ้นไปทางเหนือน้ำ สาเหตุของการแปรผันของผิวน้ำมาจากอัตราการไหลของน้ำ อาจมีการผันแปรบนค่าเฉลี่ยค่าหนึ่ง โดยผลการลากเส้นผิวน้ำได้แสดงดังรูป และสรุปข้อมูลระดับน้ำไว้ในตารางได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

4.3.1 ผลของขยะลอยน้ำต่อระดับน้ำ

ในการศึกษาผลของขยะลอยน้ำต่อระดับน้ำ ได้พิจารณาระดับผิวน้ำที่ระยะ 0.3, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 ม. จากบานประตู ในกรณีที่ไม่มีการลอย และกรณีที่มีการลอยของขยะ (L_g) เหนือบานประตู เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 ม. และเปลี่ยนแปลงความลาดตองน้ำ (S_0) 3 ค่า ได้แก่ 0, 0.0001 และ 0.0002 โดยในแต่ละความลาดตองน้ำยังได้เปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการไหล (อัตราการไหล (Q) และระยะเปิดบาน (w)) 5 ค่า อัตราการไหลอยู่ในช่วง 7.87-16.03 ลิตร/วินาที และระยะเปิดบานอยู่ในช่วง 0.009-0.014 ม. ผลการศึกษาดังตัวอย่างในรูป 4-2 ถึงรูป 4-4 ตาราง 4-7 และได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข

ผลของขยะลอยน้ำต่อระดับน้ำในกรณีความลาดตองน้ำ เท่ากับ 0 (S_0) ดังตัวอย่างในรูป 4-2 และตาราง 4-7 (รายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข) พบว่าภาพรวมของทุกเงื่อนไขการไหลของน้ำ มีระดับผิวน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 0.17%, 0.43%, 0.70% และ 0.89% เมื่อระยะการลอยของขยะ (L_g) เหนือบานประตู เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาลักษณะของเส้นผิวน้ำตามยาว พบว่าระดับผิวน้ำทั้งในกรณีมีและไม่มีขยะสูงกว่าเส้นการไหลวิกฤติ และยังพบว่าทุกเงื่อนไขการไหลของน้ำมีระดับผิวน้ำสูงขึ้นและมีความลาดผิวน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้น

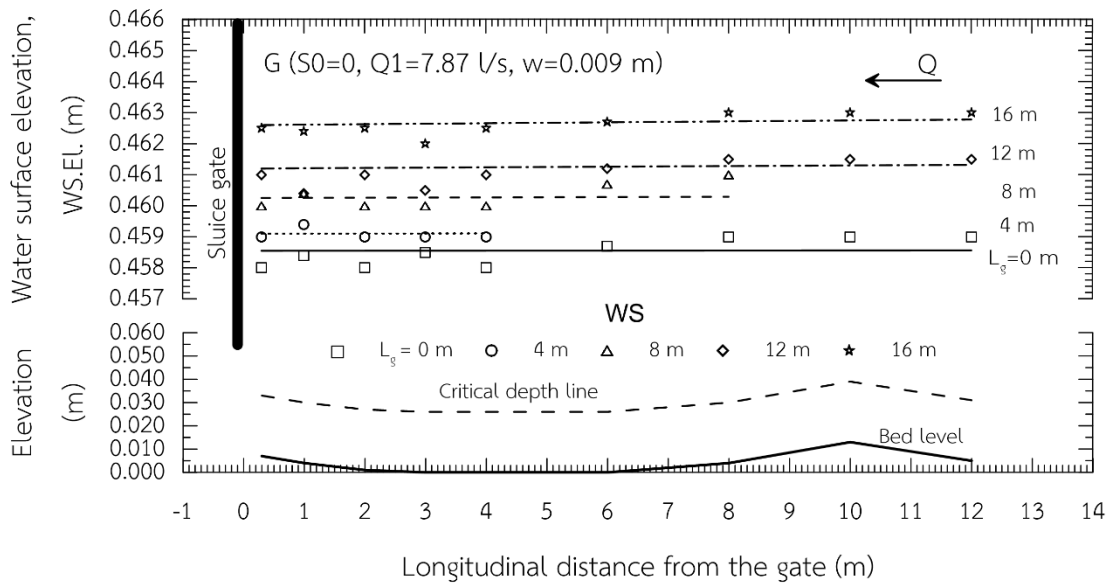
ผลของขยะลอยน้ำต่อระดับน้ำในกรณีความลาดตองน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.0001 (S_1) ดังตัวอย่างในรูป 4-3 และตาราง 4-7 (รายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข) พบว่าภาพรวมของทุกเงื่อนไขการไหลของน้ำ มีระดับผิวน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 0.22%, 0.39%, 0.60% และ 0.77% เมื่อระยะการลอยของขยะ (L_g) เหนือบานประตู เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาลักษณะของเส้นผิวน้ำตามยาว พบว่าระดับผิวน้ำทั้งในกรณีมีและไม่มีขยะสูงกว่าเส้นการไหลวิกฤติ และยังพบว่าทุกเงื่อนไขการไหลของน้ำมีระดับผิวน้ำสูงขึ้นและมีความลาดผิวน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้น

ผลของขยะลอยน้ำต่อระดับน้ำในกรณีความลาดท้องน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.0002 (S2) ดังตัวอย่างในรูป 4-4 และตาราง 4-7 (รายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข) พบว่าภาพรวมของทุกเงื่อนไขการไหลของน้ำ มีระดับผิวน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 0.14%, 0.26%, 0.45% และ 0.65% เมื่อระยะเวลาการลอยของขยะ (L_c) เหนือบานประตู เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาลักษณะของเส้นผิวน้ำตามยาว พบว่าระดับผิวน้ำทั้งในกรณีมีและไม่มีขยะสูงกว่าเส้นการไหลวิกฤติ และยังพบว่าทุกเงื่อนไขการไหลของน้ำมีระดับผิวน้ำสูงขึ้นและมีความลาดผิวน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้น

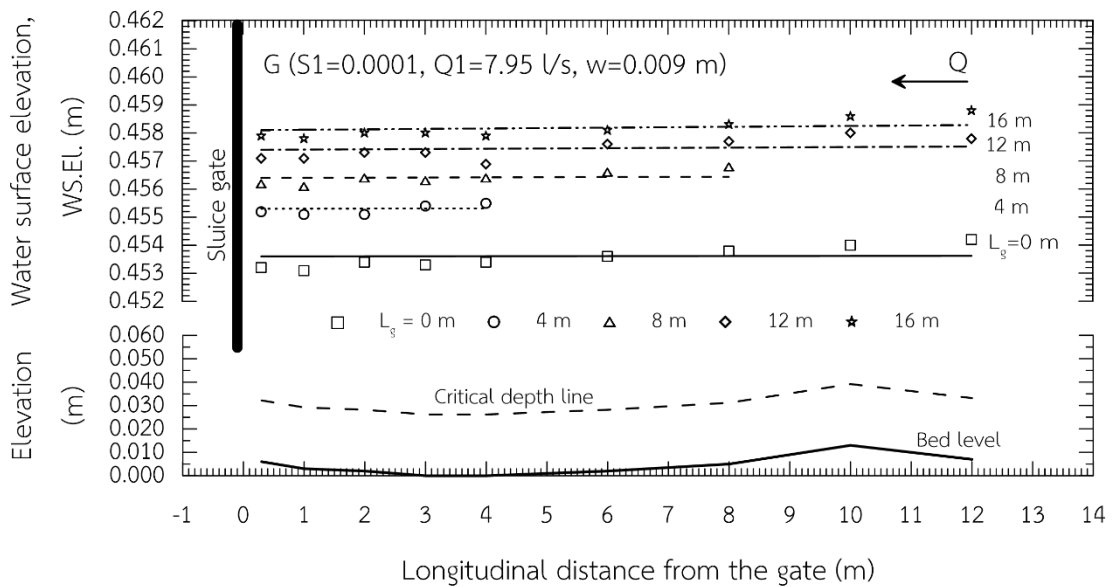
จากการศึกษาในภาพรวมทั้ง 3 ความลาดท้องน้ำ พบว่าระดับน้ำเพิ่มขึ้นและความลาดผิวน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อปริมาณของขยะเพิ่มขึ้น เนื่องจากขยะทำให้ทางน้ำมีความเสียดทานเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิด (n) เพิ่มขึ้น เมื่อค่า n เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้น หากเป็นกรณีของการไหลแบบสม่ำเสมอ จะพบว่าระดับผิวน้ำจะเพิ่มขึ้นเท่ากันตลอดทางน้ำ แต่ในการศึกษานี้เป็นการจำลองทางน้ำเปิดที่ถูกควบคุมโดยบานประตู การไหลของน้ำจึงเป็นการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อย ดังนั้นเมื่อค่า n เพิ่มขึ้น ระดับน้ำจึงเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นในแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน จึงทำให้ความลาดผิวน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อค่า n เพิ่มขึ้น ผลการศึกษายังพบว่า ระดับผิวน้ำที่หน้าบานประตูเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของขยะเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของขยะไปลดประสิทธิภาพการไหลผ่านบานประตู อย่างไรก็ตามความลาดท้องน้ำอาจจะส่งผลโดยทางอ้อม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความลาดท้องน้ำส่งผลต่อความลึกการไหลของน้ำ ซึ่งความลึกของน้ำเป็นพารามิเตอร์หนึ่งในการศึกษาการไหลผ่านบานประตู

ตาราง 4-7 การเปลี่ยนแปลงระดับผิวน้ำในกรณีมีขยะ (floating garbage, G)

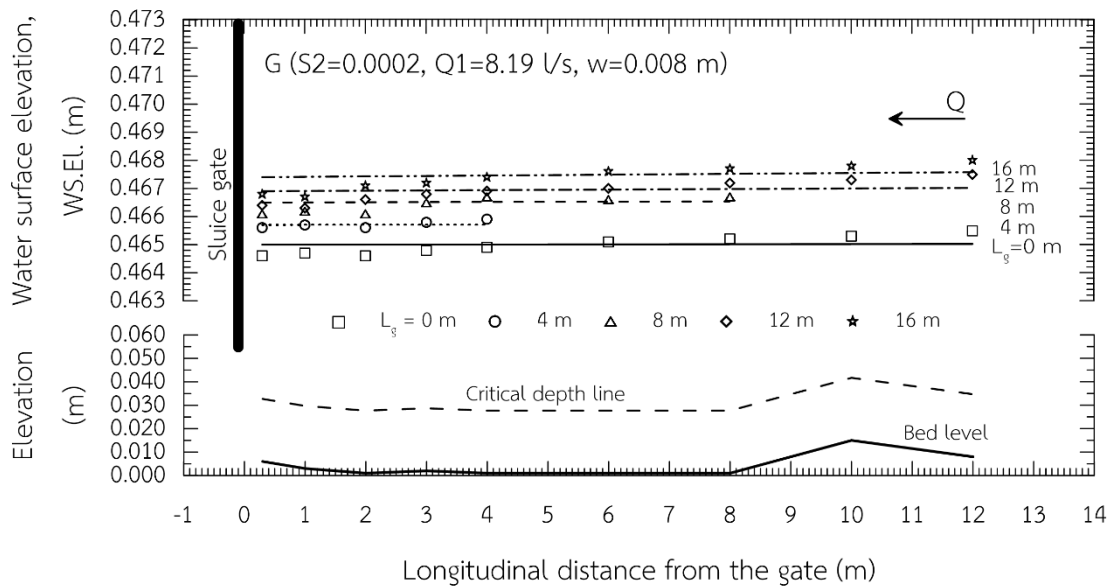
S ₀	Q (l/s)	w (m)	ระดับผิวน้ำเฉลี่ย กรณีไม่มีขยะ, G ₀ (m)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของระดับผิวน้ำ กรณีมีขยะ (%)			
				G1	G2	G3	G4
0	7.87	0.0090	0.45856	0.12	0.37	0.59	0.90
	10.23	0.0100	0.46761	0.34	0.69	1.01	1.15
	11.96	0.0110	0.52651	0.10	0.33	0.58	0.75
	14.29	0.0125	0.56701	0.28	0.58	0.92	1.12
	15.91	0.0140	0.58981	0.03	0.19	0.38	0.55
	เฉลี่ย			0.17	0.43	0.70	0.89
0.0001	7.95	0.0090	0.45361	0.38	0.62	0.85	1.01
	10.05	0.0100	0.49361	0.06	0.23	0.35	0.46
	11.96	0.0110	0.51751	0.23	0.35	0.59	0.92
	13.85	0.0130	0.55651	0.18	0.34	0.58	0.69
	15.91	0.0140	0.59501	0.25	0.39	0.65	0.77
	เฉลี่ย			0.22	0.39	0.60	0.77
0.0002	8.19	0.0080	0.46501	0.15	0.33	0.42	0.53
	10.05	0.0100	0.49931	0.16	0.26	0.45	0.57
	11.96	0.0110	0.52591	0.08	0.21	0.37	0.53
	13.74	0.0130	0.54841	0.15	0.26	0.59	0.83
	16.03	0.0140	0.58611	0.14	0.26	0.43	0.78
	เฉลี่ย			0.14	0.26	0.45	0.65



รูป 4-2 เส้นผิวน้ำ กรณีขยชะลอน้ำ เมื่อความลาดท้องน้ำ $S_0 = 0$ (S_0)
 อัตราการไหล (Q) 7.87 ลิตร/วินาที ระยะเปิดบาน (w) 0.9 ซม.



รูป 4-3 เส้นผิวน้ำ กรณีขยชะลอน้ำ เมื่อความลาดท้องน้ำ $S_0 = 0.0001$ (S_1)
 อัตราการไหล (Q) 7.95 ลิตร/วินาที ระยะเปิดบาน (w) 0.9 ซม.



รูป 4-4 เส้นผิวน้ำ กรณีขยชะลอน้ำ เมื่อความลาดท้องน้ำ $S_0 = 0.0002$ (S_2)
อัตราการไหล (Q) 8.19 ลิตร/วินาที ระยะเปิดบาน (w) 0.9 ซม.

4.3.2 ผลของผักตบชวาต่อระดับน้ำ

การศึกษาผลของผักตบชวาต่อระดับน้ำ ได้พิจารณาระดับผิวน้ำที่ระยะ 0.3, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 ม. จากบานประตู ในกรณีที่ไม่มีผักตบชวา และกรณีมีไม่มีผักตบชวา ที่ระยะการลอยของผักตบชวา (L_{wh}) เหนือบานประตู เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 ม. และเปลี่ยนแปลงความลาดท้องน้ำ (S_0) 2 ค่า ได้แก่ 0.0001 และ 0.0002 โดยในแต่ละความลาดท้องน้ำยังได้เปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการไหล (อัตราการไหล (Q) และระยะเปิดบาน (w)) 5 ค่า อัตราการไหลอยู่ในช่วง 8.03-16.15 ลิตร/วินาที และระยะเปิดบานอยู่ในช่วง 0.009-0.014 ม. ผลการศึกษาดังตัวอย่างในรูป 4-5 ถึงรูป 4-6 และได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข

ผลของผักตบชวาต่อระดับน้ำในกรณีความลาดท้องน้ำ เท่ากับ 0.0001 (S_1) ดังตัวอย่างในรูป 4-5 และตาราง 4-8 (รายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข) พบว่าภาพรวมของทุกเงื่อนไขการไหลของน้ำ มีระดับผิวน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 0.10%, 0.20%, 0.05% และ 0.17% เมื่อระยะการลอยของผักตบชวา (L_{wh}) เหนือบานประตู เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาลักษณะของเส้นผิวน้ำตามยาว พบว่าระดับผิวน้ำทั้งในกรณีมีและไม่มีผักตบชวาสูงกว่าเส้นการไหลวิกฤติ และท้องน้ำมีความลาด ผิวน้ำจึงมีลักษณะเป็น M1 โดยระดับผิวน้ำสูงสุดด้านต้นน้ำ (ระยะ 12 ม.) และระดับผิวน้ำค่อยๆ ลดลงเล็กน้อยจนระดับผิวน้ำต่ำสุดบริเวณหน้าบาน ซึ่งทุกเงื่อนไขการไหลของน้ำมี

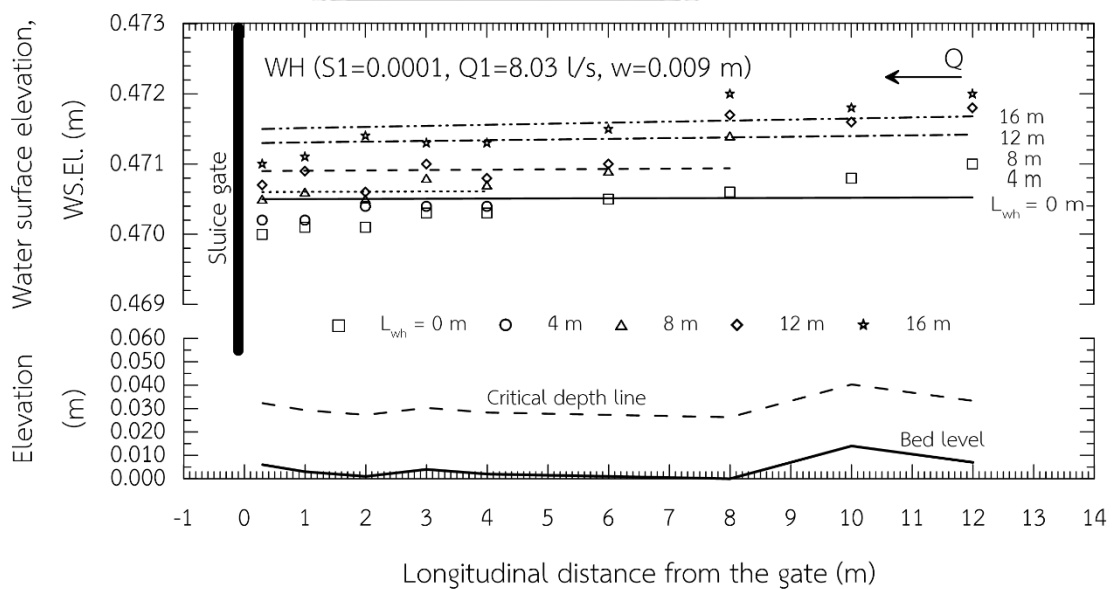
ลักษณะเหมือนกัน และยังพบว่าทุกเงื่อนไขการไหลของน้ำมีระดับผิวน้ำสูงขึ้นและมีความลาดผิวน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น

ผลของผักตบชวาลอยน้ำต่อระดับน้ำในกรณีความลาดท้องน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.0002 (S2) ดังตัวอย่างในรูป 4-6 และตาราง 4-8 (รายละเอียดไว้ในภาคผนวก ข) พบว่าภาพรวมของทุกเงื่อนไขการไหลของน้ำ มีระดับผิวน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 0.20%, 0.30%, 0.12% และ 0.31% เมื่อระยะเวลาการลอยของผักตบชวา (L_{wh}) เหนือบานประตู เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณา ลักษณะของเส้นผิวน้ำตามยาว พบว่าระดับผิวน้ำทั้งในกรณีมีและไม่มีผักตบชวาสูงกว่าเส้นการไหลวิกฤติ และท้องน้ำมีความลาด ผิวน้ำจึงมีลักษณะเป็น M1 โดยระดับผิวน้ำสูงสุดด้านต้นน้ำ (ระยะ 12 ม.) และระดับผิวน้ำค่อยๆ ลดลงเล็กน้อยจนระดับผิวน้ำต่ำสุดบริเวณหน้าบาน ซึ่งทุกเงื่อนไขการไหลของน้ำมีลักษณะเหมือนกัน และทุกเงื่อนไขการไหลของน้ำมีระดับผิวน้ำสูงขึ้นและมีความลาดผิวน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาในภาพรวมทั้ง 2 ความลาดท้องน้ำ พบว่า ระดับน้ำเพิ่มขึ้นและความลาดผิวน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณของผักตบชวาเพิ่มขึ้น เนื่องจากผักตบชวาทำให้ทางน้ำมีความเสียดทานเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิด (n) เพิ่มขึ้น เมื่อค่า n เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้น หากเป็นกรณีของการไหลแบบสม่ำเสมอจะพบว่า ระดับผิวน้ำจะเพิ่มขึ้นเท่ากันตลอดทางน้ำ แต่ในการศึกษานี้เป็นการจำลองทางน้ำเปิดที่ถูกควบคุมโดยบานประตู การไหลของน้ำจึงเป็นการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อย ดังนั้น เมื่อค่า n เพิ่มขึ้น ระดับน้ำจึงเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นในแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน จึงทำให้ความลาดผิวน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อค่า n เพิ่มขึ้น ผลการศึกษายังพบว่าระดับผิวน้ำที่หน้าบานประตูเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของผักตบชวาเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของผักตบชวาไปลดประสิทธิภาพการไหลผ่านบานประตู อย่างไรก็ตามความลาดท้องน้ำอาจจะส่งผลโดยทางอ้อมเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความลาดท้องน้ำส่งผลต่อความลึกการไหลของน้ำ ซึ่งความลึกของน้ำเป็นพารามิเตอร์หนึ่งในการศึกษาการไหลผ่านบานประตู

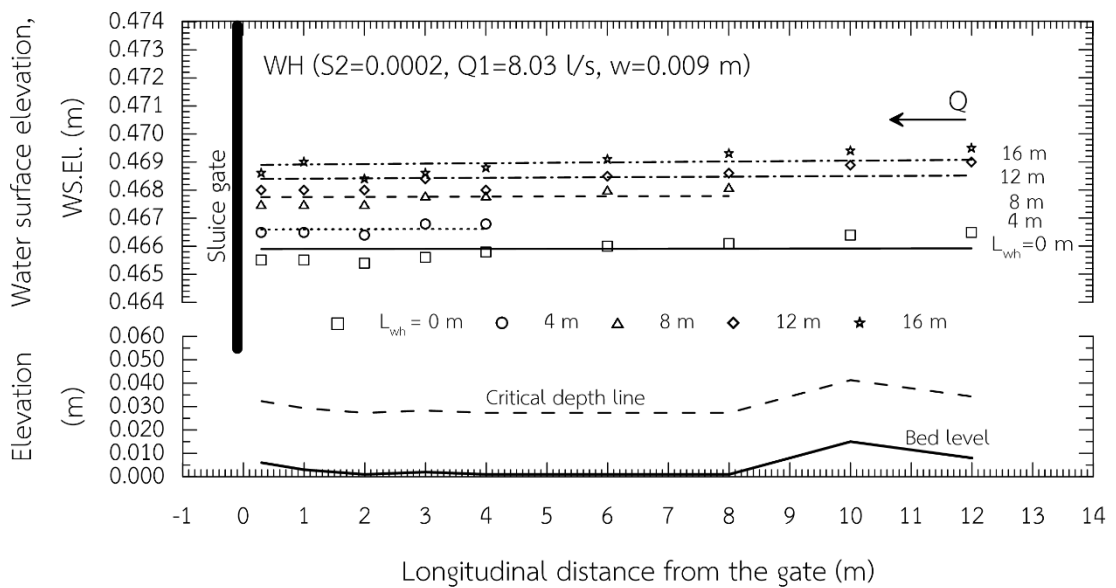
ตาราง 4-8 การเปลี่ยนแปลงระดับผิวน้ำในกรณีมีผักตบชวา (water hyacinth, WH)

S_0	Q (L/s)	w (m)	ระดับผิวน้ำเฉลี่ย กรณีไม่มีผักตบชวา ,WH0 (m)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของระดับผิวน้ำกรณีมี ผักตบชวา (%)			
				WH1	WH2	WH3	WH4
0.0001	8.03	0.0090	0.47051	0.02	0.09	0.18	0.23
	9.52	0.0110	0.49991	0.06	0.08	0.23	0.33
	11.76	0.0110	0.51891	0.05	0.23	0.89	1.11
	13.63	0.0125	0.55141	0.09	0.35	0.52	0.72
	15.67	0.0140	0.59161	0.03	0.09	0.18	0.23
	เฉลี่ย			0.10	0.20	0.05	0.17
0.0002	8.03	0.0090	0.46591	0.15	0.40	0.55	0.66
	9.87	0.0110	0.50841	0.07	0.26	0.42	0.51
	12.16	0.0110	0.53951	0.15	0.33	0.47	0.59
	14.07	0.0125	0.55471	0.11	0.35	0.46	0.61
	16.15	0.0140	0.60251	0.12	0.20	0.32	0.48
	เฉลี่ย			0.20	0.30	0.12	0.31



รูป 4-5 เส้นผิวน้ำ กรณีผักตบชวา เมื่อความลาดท้องน้ำ $S_0 = 0.0001$ (S_1)

อัตราการไหล (Q) 8.03 ลิตร/วินาที ระยะเปิดบาน (w) 0.9 ซม.



รูป 4-6 เส้นผิวน้ำ กรณีผักตบชวา เมื่อความลาดท้องน้ำ $S_0 = 0.0002$ (S2)
อัตราการไหล (Q) 8.03 ลิตร/วินาที ระยะเปิดบาน (w) 0.9 ซม.

4.4 ผลของขยะและผักตบชวาต่อชลศาสตร์การไหลของทางน้ำเปิด

การวิเคราะห์ผลของขยะและผักตบชวา ต่อชลศาสตร์การไหลของทางน้ำเปิด ได้พิจารณาผลของขยะและผักตบชวา ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิด (Manning's n , n) โดยที่ค่า n ได้จากการนำเส้นผิวน้ำ ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.3 มาวิเคราะห์โดยวิธีขั้นตอนมาตรฐาน (standard step method) โดยตัวอย่างผลการคำนวณค่า n และค่าสัดส่วนของตัวแปรต่างๆ ในกรณีของขยะ (floating garbage, G) ดังแสดงในตาราง 4-5 ส่วนตัวอย่างการคำนวณในกรณีของผักตบชวา (water hyacinth, WH) ดังแสดงในตาราง 4-6 โดยรายละเอียดของผลการคำนวณ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

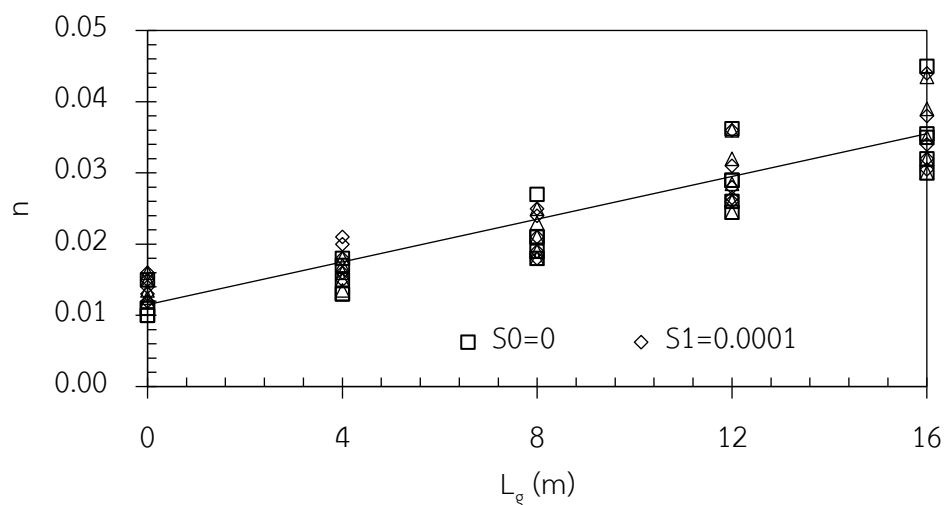
4.4.1 ผลของปริมาณขยะและผักตบชวาต่อค่า n

ในการศึกษาผลของปริมาณขยะและผักตบชวา ต่อค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิด (Manning's n , n) ได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า n กับปริมาณขยะตามระยะการลอย (L_g) และผักตบชวา (L_{wh}) เหนือบานประตู ในกรณีของขยะ เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า n กับปริมาณขยะตามระยะการลอย (L_g) จากรูป 4-7 พบว่า ค่า n ที่ปริมาณขยะต่างๆ มีความผันแปรในช่วง 0.0100-0.0160, 0.0130-0.0210, 0.0180-0.0270, 0.0245-0.0362 และ 0.0300-0.0450

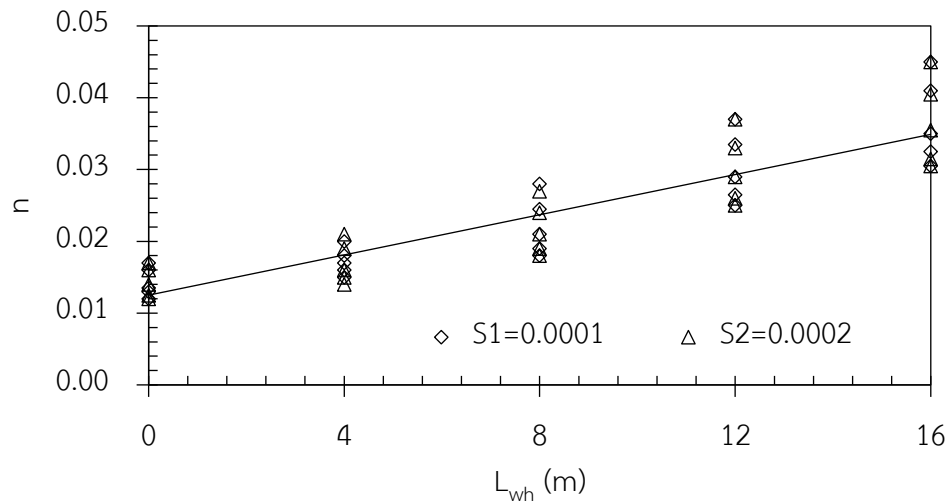
เฉลี่ย 0.0131, 0.0164, 0.0213, 0.0293 และ 0.0357 เมื่อปริมาณขยะตามระยะการลอย เหนือบานประตู เท่ากับ 0, 4, 8, 12 และ 16 ม. อย่างไรก็ตาม ค่า n มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณขยะเพิ่มขึ้น

ในกรณีของผักตบชวา เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า n กับปริมาณผักตบชวาตามระยะการลอย (L_{wh}) จากรูป 4-7 พบว่า ค่า n ที่ปริมาณผักตบชวาต่างๆ มีความผันแปรอยู่ในช่วง 0.0120-0.0170, 0.0140-0.0210, 0.0180-0.0280, 0.0250-0.0370 และ 0.0305-0.0450 เฉลี่ย 0.0143, 0.0171, 0.0220, 0.0301 และ 0.0367 เมื่อปริมาณผักตบชวาตามระยะการลอย เหนือบานประตู เท่ากับ 0, 4, 8, 12 และ 16 ม. อย่างไรก็ตามค่า n มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณผักตบชวาเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณขยะและผักตบชวาตามระยะการลอยที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า n เพิ่มขึ้น เนื่องจากขยะและผักตบชวาเพิ่มความเสียดทานให้แก่ทางน้ำ และการแปรผันของค่า n ในกรณีที่ใส่ขยะและผักตบชวาเท่ากัน เพราะเป็นการทดลองที่ความลาดต่อน้ำต่ำ ค่า n จึงมีความอ่อนไหวมาก



รูป 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n กับปริมาณขยะตามระยะการลอย (L_g) ที่ความลาดต่อน้ำต่างๆ



รูป 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n กับปริมาณฝักตบชวาตามระยะการลอย (L_{wh}) ที่ความลาดท้องน้ำต่างๆ

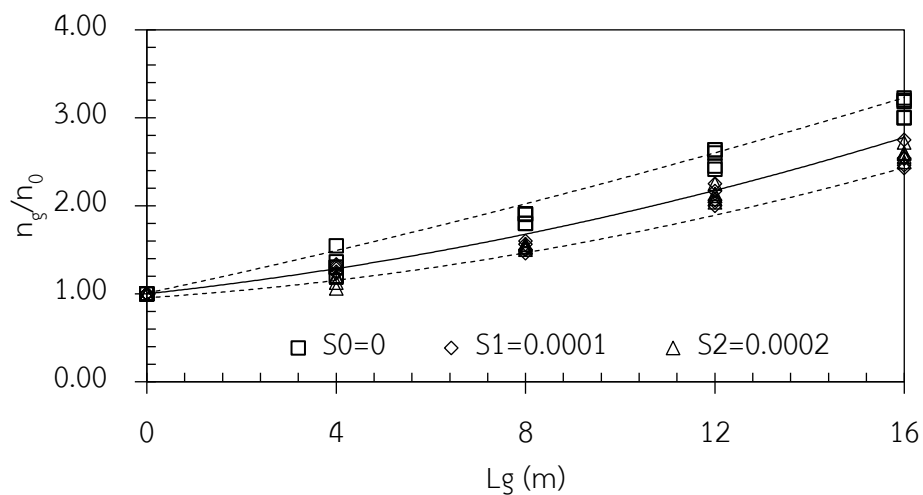
4.4.2 ผลของปริมาณขยะและฝักตบชวาต่อค่าสัดส่วนของค่า n กรณีมีและไม่มีวัสดุลอยน้ำ

ในการศึกษาผลของปริมาณขยะและฝักตบชวา ต่อค่าสัดส่วนของค่า n กรณีมีและไม่มีวัสดุลอยน้ำ ในกรณีของขยะลอยน้ำพิจารณาค่าสัดส่วนค่า n กรณีมีขยะต่อกรณีไม่มีขยะ (n_g/n_0) กับปริมาณขยะตามระยะการลอย (L_g) ส่วนในกรณีของฝักตบชวาพิจารณาค่าสัดส่วนของค่า n (n_{wh}/n_0) กรณีมีฝักตบชวาต่อกรณีไม่มีฝักตบชวา กับปริมาณฝักตบชวาตามระยะการลอย (L_{wh}) หากค่า n_g/n_0 และ n_{wh}/n_0 เท่ากับ 1 แสดงว่าขยะและฝักตบชวาไม่ได้ส่งผลต่อการไหลในทางน้ำเปิด แต่ถ้าหาก n_g/n_0 และ n_{wh}/n_0 มากกว่า 1 แสดงว่าขยะและฝักตบชวาส่งผลให้ค่า n เพิ่มขึ้น อีกนัยหนึ่งคือขยะและฝักตบชวาส่งผลให้ประสิทธิภาพการไหลของน้ำลดลง ในทางกลับกันหากค่า n_g/n_0 และ n_{wh}/n_0 น้อยกว่า 1 แสดงว่าขยะและฝักตบชวาส่งผลให้ค่า n ลดลง อีกนัยหนึ่งก็คือขยะและฝักตบชวาส่งผลให้ประสิทธิภาพการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น

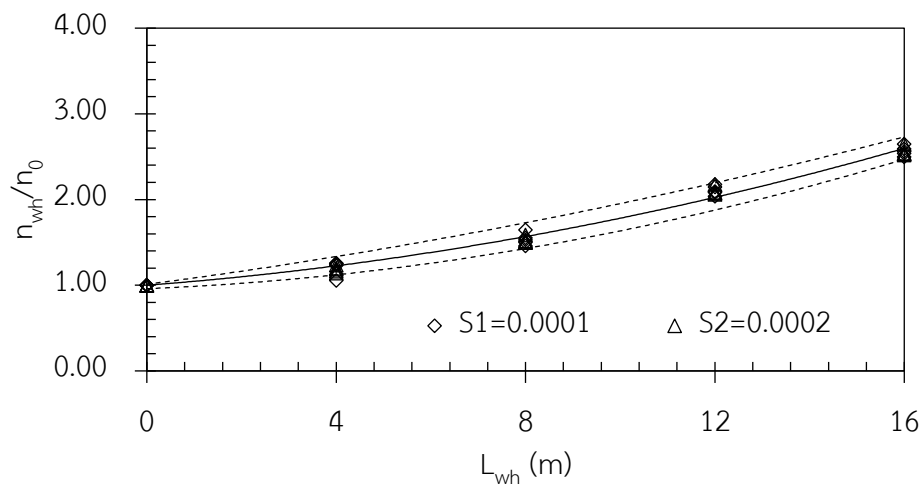
ผลการศึกษารณีของขยะ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_g/n_0 กับปริมาณขยะตามระยะการลอย เหนือบานประตู ในรูป 4-9 พบว่า ค่า n_g/n_0 ที่ปริมาณขยะต่างๆ มีความผันแปรเล็กน้อย โดยค่า n_g/n_0 ในกรณีไม่มีขยะ (ขยะ 0 ม.) เท่ากับ 1 ส่วนค่า n_g/n_0 กรณีมีขยะอยู่ในช่วง 1.0625-1.5455, 1.4615-1.9091, 2.000-2.6364 และ 2.486-3.2273 เฉลี่ย 1.2596, 1.6409, 1.2583 และ 1.7530 เมื่อปริมาณขยะตามระยะการลอยเป็น 4, 8, 12 และ 16 ม. แสดงว่าค่า n_g/n_0 เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณขยะเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษากฎของผักตบชวา ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_{wh}/n_0 กับปริมาณผักตบชวา ตามระยะการลอยเหนือบานประตู ในรูป 4-10 พบว่า ค่า n_{wh}/n_0 ที่ปริมาณผักตบชวาต่างๆ มีความผันแปรค่อนข้างน้อย โดยค่า n_{wh}/n_0 ในกรณีไม่มีผักตบชวา (ผักตบชวา 0 ม.) เท่ากับ 1 ส่วนค่า n_{wh}/n_0 กรณีมีผักตบชวา อยู่ในช่วง 1.0588-1.2593, 1.4615-1.6471, 2.0385-2.1765 และ 2.5000-2.6471 เฉลี่ย 1.1981, 1.5304, 2.1014 และ 2.5620 เมื่อปริมาณผักตบชวาตามระยะการลอยเป็น 4, 8, 12 และ 16 ม. แสดงว่า ค่า n_{wh}/n_0 เพิ่มขึ้น เมื่อค่าปริมาณผักตบชวาเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณขยะและผักตบชวาตามระยะการลอยที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า n_g/n_0 และค่า n_{wh}/n_0 เพิ่มขึ้น เนื่องจากขยะและผักตบชวาเพิ่มความเสียดทานให้แก่ทางน้ำ



รูป 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_g/n_0 กับปริมาณขยะตามระยะการลอย (L_g) ที่ความลาดท้องน้ำต่างๆ



รูป 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_{wh}/n_0 กับปริมาณผักตบชวาตามระยะการลอย (L_{wh}) ที่ความลาดท้องน้ำต่างๆ

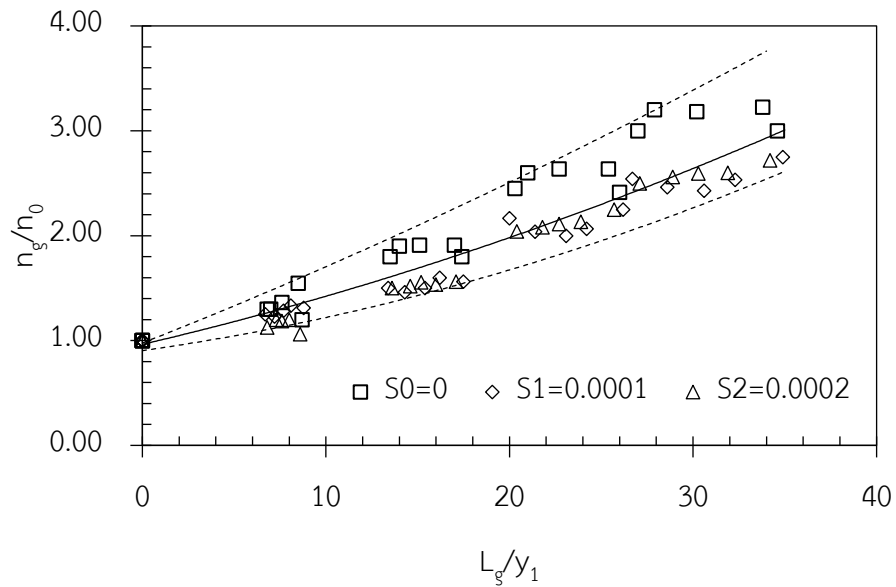
4.4.3 ผลของค่าสัดส่วนปริมาณขยะและผักตบชวาตามระยะเวลาการลอยต่อความลึกน้ำ กับค่าสัดส่วนของค่า n กรณีมีและไม่มีวัสดุลอยน้ำ

จากการศึกษาผลของปริมาณขยะและผักตบชวาต่อค่าสัดส่วนของค่า n กรณีมีและไม่มีวัสดุลอยน้ำในหัวข้อ 4.4.2 ที่ผ่านมา พบว่าค่า n_g/n_0 ที่ปริมาณขยะและผักตบชวาตามระยะเวลาการลอยต่างๆ มีความผันแปรเล็กน้อย แสดงว่าปริมาณขยะและผักตบชวาตามระยะเวลาการลอยอาจจะมีตัวแปรอื่นที่มีความสัมพันธ์อยู่ ดังนั้นจึงได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนค่า n กรณีมีขยะต่อกรณีไม่มีขยะ (n_g/n_0) กับค่าสัดส่วนระหว่างระยะเวลาการลอยของขยะต่อความลึกน้ำ (L_g/y_1) ส่วนในกรณีของผักตบชวาพิจารณา ค่าสัดส่วนของค่า n (n_{wh}/n_0) กรณีมีผักตบชวาต่อกรณีไม่มีผักตบชวา กับค่าสัดส่วนระหว่างความยาวของผักตบชวาต่อความลึกน้ำ (L_{wh}/y_1) หากค่า n_g/n_0 หรือ n_{wh}/n_0 เพิ่มขึ้นจาก 1 แสดงว่าประสิทธิภาพการไหลของน้ำลดลง ในทางกลับกันหากค่า n_g/n_0 หรือ n_{wh}/n_0 ลดลงจาก 1 แสดงว่าประสิทธิภาพการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น แต่ถ้าหากค่า n_g/n_0 หรือ n_{wh}/n_0 เท่ากับ 1 แสดงว่า ขยะและผักตบชวาไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการไหลในทางน้ำเปิด ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่า L_g/y_1 หรือ L_{wh}/y_1 แสดงว่าปริมาณขยะหรือผักตบชวาตามระยะเวลาการลอยเพิ่มขึ้น และค่า L_g/y_1 หรือ L_{wh}/y_1 เท่ากับ 0 แสดงว่า ไม่มีขยะและผักตบชวา ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นของการลากเส้นกราฟตามข้อจำกัดทางกายภาพ (physical limit)

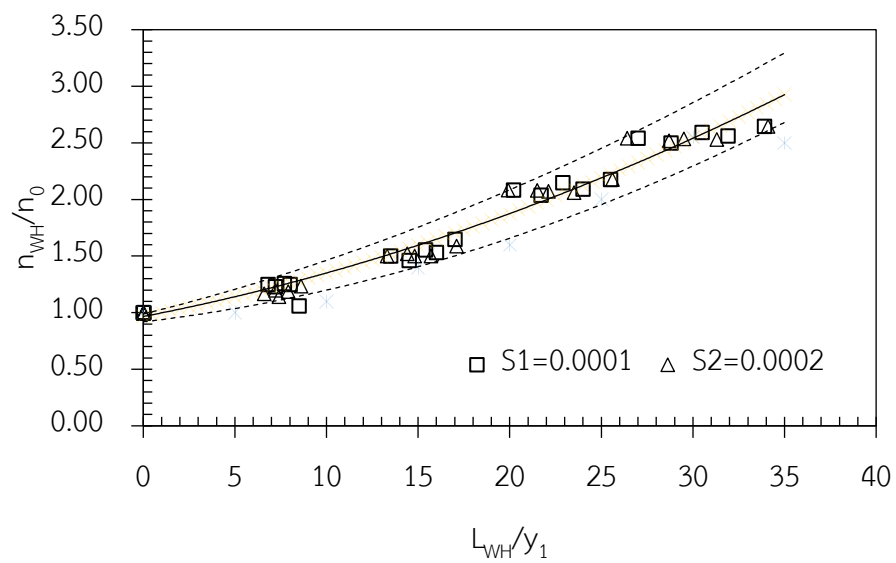
ผลการศึกษากฎของขยะ จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_g/n_0 กับค่า L_g/y_1 ในรูป 4-11 แสดงให้เห็นว่า ค่า L_g/y_1 อยู่ในช่วง 0-35 และค่า n_g/n_0 ผันแปรอยู่ในช่วง 1.00-3.23 โดยพบว่า ค่า n_g/n_0 เพิ่มขึ้น เมื่อค่า L_g/y_1 เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะการเพิ่มขึ้นเป็นเส้นโค้ง

ผลการศึกษากฎของผักตบชวาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_{wh}/n_0 กับค่า L_{wh}/y_1 ในรูปที่ 4-12 แสดงให้เห็นว่า ค่า L_{wh}/y_1 อยู่ในช่วง 0-34 และ ค่า n_{wh}/n_0 ผันแปรอยู่ในช่วง 1-1.1828 โดยพบว่า ค่า n_{wh}/n_0 เพิ่มขึ้นเมื่อค่า L_{wh}/y_1 เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะการเพิ่มขึ้นเป็นเส้นโค้ง

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณขยะและผักตบชวาตามระยะเวลาการลอยที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า n_g/n_0 และค่า n_{wh}/n_0 เพิ่มขึ้น เนื่องจากขยะและผักตบชวาเพิ่มความเสียดทานให้แก่ทางน้ำ



รูป 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_g/n_0 กับ L_g/y_1 กรณีขยชะ



รูป 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_{wh}/n_0 กับ L_{wh}/y_1 กรณีฝักตบขวา

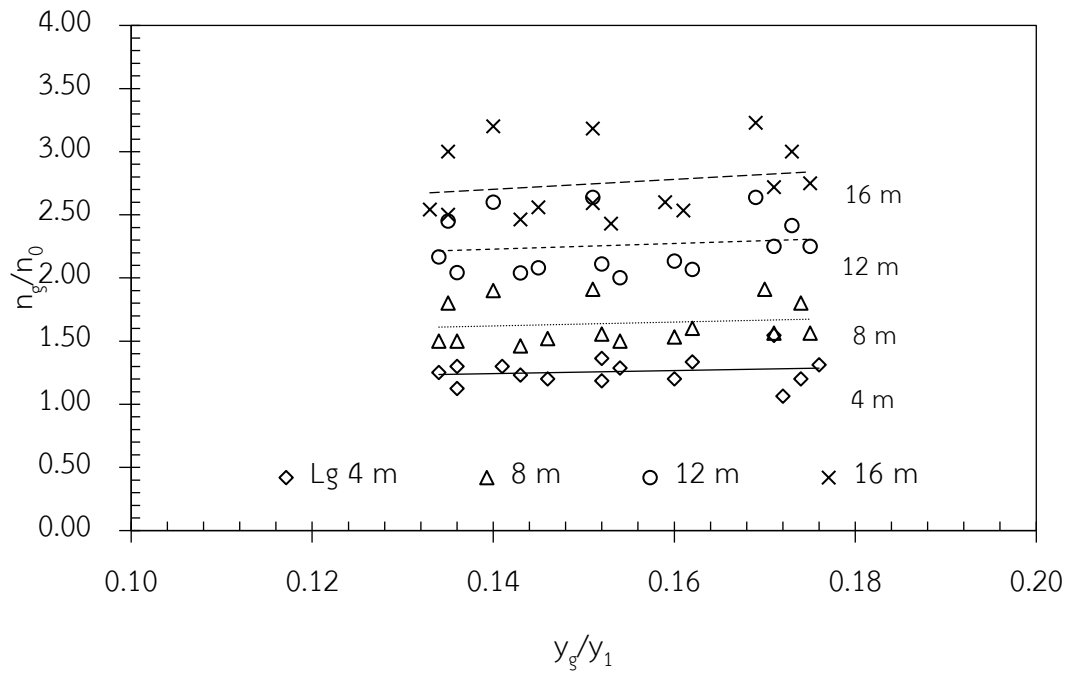
4.4.4 ผลของความลึกจมของขยะและผักตบชวาต่อค่าสัดส่วนของ n กรณีมีและไม่มีวัสดุลอยน้ำ

ในการศึกษาผลของระยะจมของวัสดุลอยน้ำต่อค่า n ในกรณีของขยะลอยน้ำได้พิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนของ n (n_g/n_0) กรณีมีขยะต่อกรณีไม่มีขยะ กับค่าสัดส่วนระหว่างระยะจมของขยะต่อความลึกน้ำ (y_g/y_1) ส่วนในกรณีของผักตบได้พิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนของ n (n_{wh}/n_0) กรณีมีผักตบชวาต่อกรณีไม่มีผักตบชวา กับค่าสัดส่วนระหว่างความยาวของผักตบชวาต่อความลึกน้ำ (y_{wh}/y_1) หากค่า n_g/n_0 หรือ n_{wh}/n_0 เพิ่มขึ้นจาก 1 จะแสดงว่าประสิทธิภาพการไหลของน้ำลดลง ในทางกลับกันหากค่า n_g/n_0 หรือ n_{wh}/n_0 ลดลงจาก 1 แสดงว่าประสิทธิภาพการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น แต่ถ้าหากค่า n_g/n_0 หรือ n_{wh}/n_0 เท่ากับ 1 แสดงว่า ขยะและผักตบชวาไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการไหลในทางน้ำเปิด ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่า y_g/y_1 หรือ y_{wh}/y_1 แสดงว่าระยะจมของขยะหรือผักตบชวาเพิ่มขึ้น

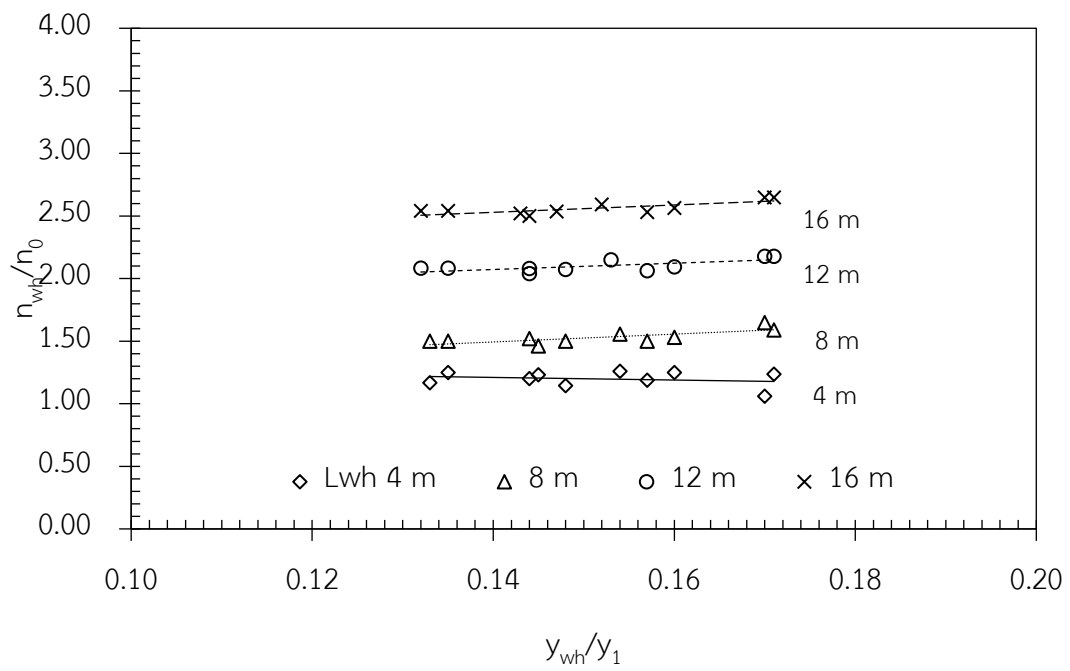
ผลการศึกษากรณีของขยะจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_g/n_0 กับค่า y_g/y_1 เมื่อปริมาณขยะตามระยะการลอยเหนือบานประตูต่างๆ ในรูป 4-13 แสดงให้เห็นว่า ค่า y_g/y_1 อยู่ในช่วง 0.1340-0.1760, 0.1340-0.1750, 0.1340-0.1750 และ 0.1330-0.1750 ค่า n_g/n_0 อยู่ในช่วง 1.0625-1.5455, 1.4615-1.9091, 2.0000-2.6364 และ 2.4286-3.2273 เมื่อปริมาณขยะตามระยะลอยเหนือบานประตูเป็น 4, 8, 12 และ 16 ตามลำดับ และยังพบว่า ค่า n_g/n_0 เพิ่มขึ้น เมื่อค่า y_g/y_1 เพิ่มขึ้น

ผลการศึกษากรณีของผักตบชวาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_{wh}/n_0 กับค่า y_{wh}/y_1 ในรูป 4-14 แสดงให้เห็นว่า ค่า y_{wh}/y_1 อยู่ในช่วง 0.1330-0.1710, 0.1330-0.1710, 0.1320-0.1710 และ 0.1320-0.1710 ค่า n_{wh}/n_0 อยู่ในช่วง 1.0588-1.2593, 1.4615-1.6471, 2.0385-2.1765 และ 2.5000-2.6471 เมื่อปริมาณผักตบชวาตามระยะลอยเหนือบานประตูเป็น 4, 8, 12 และ 16 ตามลำดับ และยังพบว่า ค่า n_{wh}/n_0 เพิ่มขึ้น เมื่อค่า y_{wh}/y_1 เพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระยะจมของขยะและผักตบชวาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า n_g/n_0 และค่า n_{wh}/n_0 เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดเมื่อ y_g/y_1 หรือ y_{wh}/y_1 เป็น 1 หรือกรณีขยะและผักตบชวาจมตลอดความลึก เนื่องจากขยะหรือผักตบชวาที่จมมากขึ้น จะไปขวางการไหลของน้ำมากขึ้น หรือเพิ่มความเสียดทานของทางน้ำมากขึ้น



รูป 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_g/n_0 กับ y_g/y_1 กรณีขี้นยะ



รูป 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_{wh}/n_0 กับ y_{wh}/y_1 กรณีฝักตบขวา

4.5 ผลของขยะและผักตบชวาต่อชลศาสตร์การไหลผ่านประตูน้ำ

การวิเคราะห์ผลของขยะและผักตบชวา ต่อชลศาสตร์การไหลผ่านประตูน้ำ ได้พิจารณาผลของขยะและผักตบชวา ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของประตู (discharge coefficient, C_d) โดยที่ค่า C_d ได้จากการนำระดับน้ำที่หน้าบานประตู (y_1) จากเส้นผิวน้ำเฉลี่ยที่ลากขึ้นจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ดังกล่าวในหัวข้อ 4.3 มาคำนวณหาค่า C_d โดยตัวอย่างผลการคำนวณค่า C_d และค่าสัดส่วนของตัวแปรต่างๆ ในกรณีของขยะ (floating garbage, G) ดังแสดงในตาราง 4-4 ส่วนตัวอย่างการคำนวณในกรณีของผักตบชวา (water hyacinth, WH) ดังแสดงในตาราง 4-5 โดยรายละเอียดของผลการคำนวณ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง

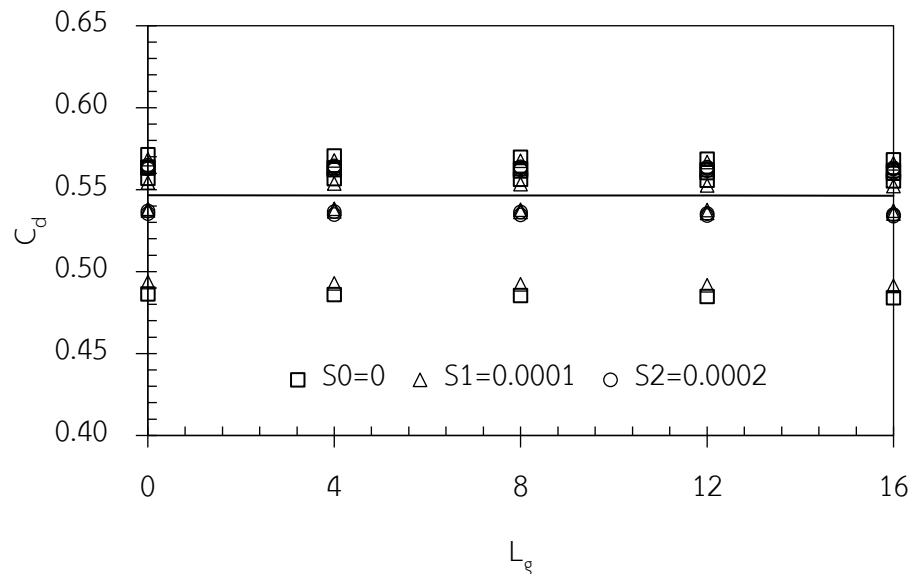
4.5.1 ผลของปริมาณขยะและผักตบชวาต่อค่า C_d

ในการศึกษาผลของปริมาณขยะและผักตบชวาต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของประตู (discharge coefficient, C_d) ได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับปริมาณตามระยะการลอยของขยะ (L_g) และผักตบชวา (L_{wh}) เหนือบานประตู ในกรณีของขยะ เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับปริมาณตามระยะการลอยของขยะ (L_g) จากรูปที่ 4-15 พบว่าค่า C_d ที่ปริมาณขยะต่างๆ มีความผันแปรค่อนข้างสูง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลและระดับน้ำหน้าบานประตู โดยค่า C_d อยู่ในช่วง 0.4862-0.5712, 0.4859-0.5704, 0.4853-0.5696, 0.4848-0.5686 และ 0.4840-0.5681 เฉลี่ย 0.5464, 0.5459, 0.5455, 0.5449 และ 0.5444 เมื่อปริมาณขยะตามระยะลอยเป็น 0, 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่า C_d ในภาพรวมมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณขยะเพิ่มขึ้น

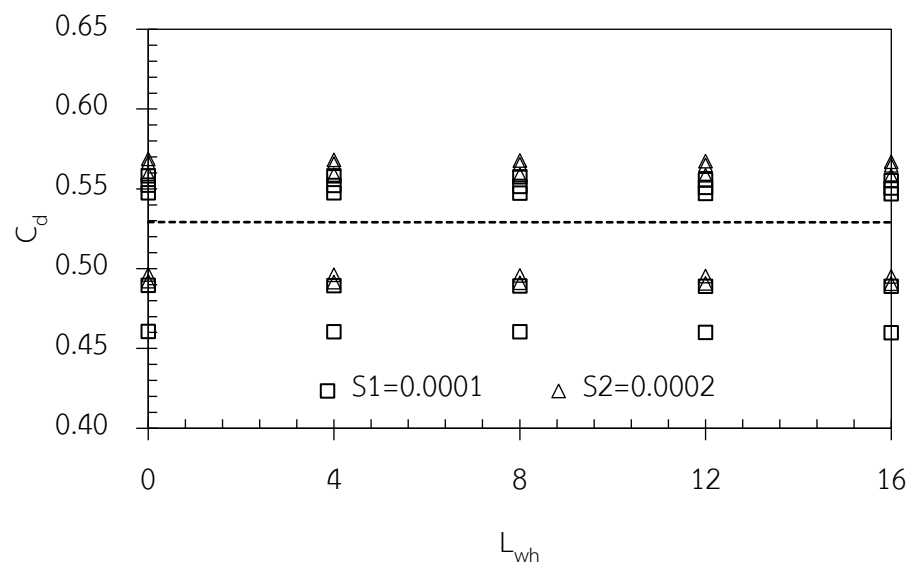
เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับปริมาณผักตบชวาตามระยะการลอย (L_{wh}) จากรูป 4-16 พบว่า ค่า C_d ที่ปริมาณผักตบชวาต่างๆ มีความผันแปรค่อนข้างสูง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลและระดับน้ำหน้าบานประตู โดยค่า C_d อยู่ในช่วง 0.4606-0.5688, 0.4604-0.5683, 0.4604-0.5678, 0.4601-0.5674 และ 0.4598-0.5670 เฉลี่ย 0.5291, 0.5288, 0.5285, 0.5280 และ 0.5277 เมื่อปริมาณผักตบชวาตามระยะลอยเป็น 0, 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่า C_d ในภาพรวมมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อปริมาณผักตบชวาเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณขยะและผักตบชวาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า C_d ลดลง เนื่องจากขยะและผักตบชวาเพิ่มความต้านทานให้แก่ทางน้ำ ซึ่งอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการกระจายความเร็วการไหลที่ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความลึกของน้ำ ทำให้แตกต่างจากกรณีไม่มีวัสดุลอยน้ำ และอาจส่งผลให้การไหลของน้ำผ่านบานประตูมีประสิทธิภาพลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงค่า C_d ที่อัตราการไหล

เดียวกันทั้งในกรณีของขยะและผักตบชวาที่ปริมาณต่างๆ มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ใช้ความลึกน้ำหน้าบานประตู (y_1) สูงมากกว่า 40 เท่าของระยะเปิดบาน (w) อาจจะทำให้ความเร็วการไหลน้อยและไม่มีความแตกต่างกันมากนักในแต่ละปริมาณขยะและผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่าผลของขยะและผักตบชวาในขอบเขตของการศึกษานี้ไม่ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า C_d อย่างมีนัยสำคัญ



รูป 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับปริมาณขยะตามระยะการลอย (L_g) ที่ความลาดต่อน้ำต่างๆ



รูป 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับปริมาณผักตบชวาตามระยะการลอย (L_{wh}) ที่ความลาดต่อน้ำต่างๆ

4.5.2 ผลของสัดส่วนความลึกน้ำหน้าบานต่อระยะเปิดบาน (y_1/w) ต่อค่า C_d

การศึกษความสัมพันธ์ของค่า C_d กับค่า y_1/w และความสัมพันธ์ของค่าสัดส่วนความลึกน้ำหน้าบานต่อระยะเปิดบาน (y_1/w) กับสัดส่วนค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตูกรณีมีขยะกับไม่มีขยะ ($C_{d,g}/C_{d,0}$) และค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตูกรณีมีผักตบชวากับไม่มีผักตบชวา ($C_{d,wh}/C_{d,0}$) เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ และค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ เมื่อค่า y_1/w เพิ่มขึ้น ซึ่งในการพิจารณาค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ หากมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าขยะและผักตบชวาไม่ได้ส่งผลต่อการไหลผ่านประตูระบายน้ำ แต่ถ้าหาก $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ มากกว่า 1 แสดงว่าขยะและผักตบชวาส่งผลให้ค่า C_d เพิ่มขึ้น อีกนัยหนึ่งก็คือขยะและผักตบชวาส่งผลให้ประสิทธิภาพการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น หากค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ น้อยกว่า 1 แสดงว่าขยะและผักตบชวาส่งผลให้ค่า C_d ลดลง อีกนัยหนึ่งก็คือ ขยะและผักตบชวาส่งผลให้ประสิทธิภาพการไหลของน้ำผ่านประตูระบายน้ำลดลง

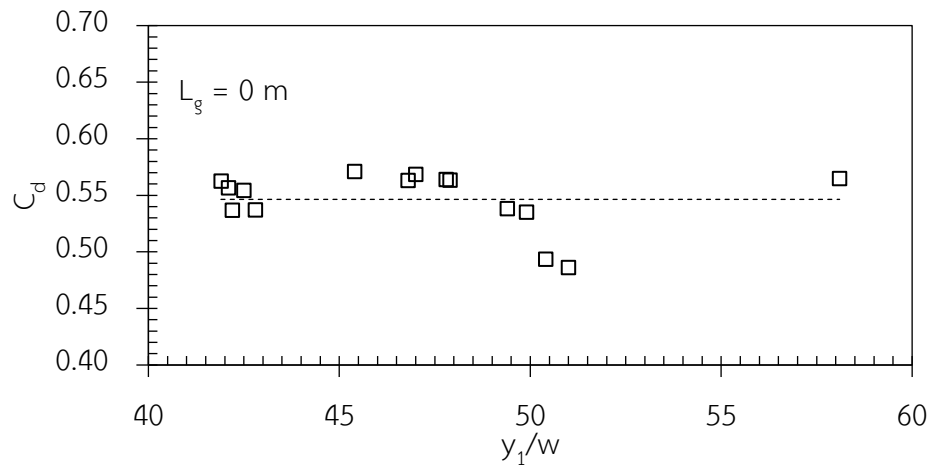
ผลการศึกษารณีย์ของขยะลอยน้ำ ได้พิจารณาความสัมพันธ์ของค่า C_d กับค่า y_1/w ในรูป 4-17 พบว่าค่า C_d อยู่ในช่วง 0.4862-0.5712, 0.4859-0.5704, 0.4853-0.5696, 0.4848-0.5686 และ 0.4840-0.5681 เฉลี่ย 0.5464, 0.5459, 0.5455, 0.5449 และ 0.5444 เมื่อปริมาณขยะตามระยะลอยเหนือบานประตู เท่ากับ 0, 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ โดยค่า C_d ทั้งกรณีไม่มีขยะและมีขยะในทุกกรณี มีค่าคงที่ เมื่อค่า y_1/w เพิ่มขึ้นในช่วง 40-60 ค่า C_d โดยเฉลี่ยลดลง เมื่อปริมาณขยะเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับค่า y_1/w ในรูป 4-18 พบว่า ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ ในกรณีไม่มีขยะ เท่ากับ 1 ส่วนค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กรณีมีขยะ ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ อยู่ในช่วง 0.9982-0.9998, 0.9966-0.9991, 0.9950-0.9983 และ 0.9944-0.9978 เฉลี่ย 0.9991, 0.9982, 0.9972 และ 0.9962 เมื่อปริมาณขยะตามระยะลอยเหนือบานประตู เท่ากับ 0, 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ เมื่อค่า y_1/w ในช่วง 40-60 ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ มีสัดส่วนคงที่โดยประมาณในทุกๆ ค่า y_1/w ที่เพิ่มขึ้น และค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ เฉลี่ยลดลงเมื่อปริมาณขยะเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษารณีย์ของกรณีของผักตบชวา ได้พิจารณาความสัมพันธ์ของค่า C_d กับค่า y_1/w ในรูป 4-19 พบว่า ค่า C_d อยู่ในช่วง 0.4606-0.5688, 0.4604-0.5683, 0.4604-0.5678, 0.4601-0.5674 และ 0.4598-0.5670 เฉลี่ย 0.5291, 0.5288, 0.5285, 0.5280 และ 0.5277 เมื่อปริมาณผักตบชวาตามระยะลอยเหนือบานประตู เท่ากับ 0, 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ โดยค่า C_d ทั้งกรณีไม่มีผักตบชวาและมีผักตบชวาในทุกกรณี มีค่าคงที่ เมื่อค่า y_1/w เพิ่มขึ้นในช่วง 40-60 และค่า C_d โดยเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณผักตบชวา (L_{wh}) เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับค่า y_1/w ในรูป 4-20 พบว่า ค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ในกรณีไม่มีผักตบชวา เท่ากับ 1 ส่วนค่า

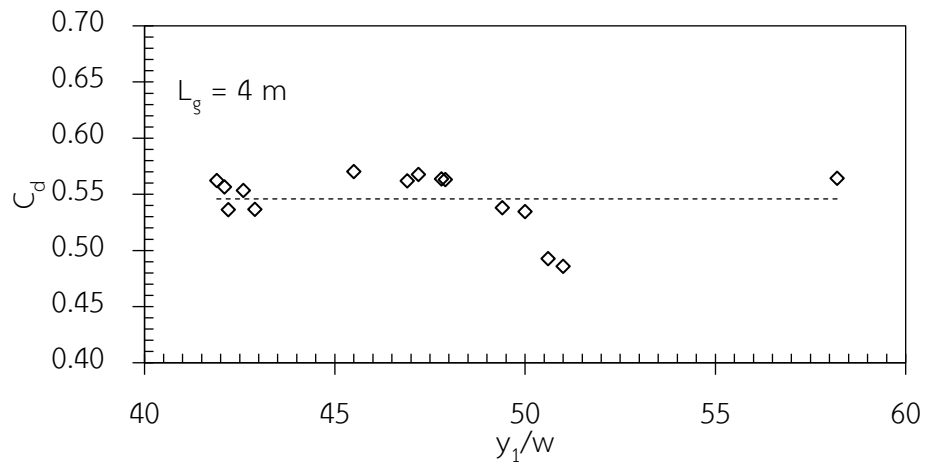
$C_{d,wh}/C_{d,0}$ กรณีมีผักตบชวา ค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ อยู่ในช่วง 0.9990-0.9998, 0.9980-0.9996, 0.9955-0.9993 และ 0.9946-0.9989 เฉลี่ย 0.9995, 0.9988, 0.9980 และ 0.9973 เมื่อปริมาณผักตบชวาตามระยะลอยเหนือบานประตู เท่ากับ 0, 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ โดยทั้งค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กรณีไม่มีผักตบชวาและมีผักตบชวา ค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ มีค่าคงที่ เมื่อค่า y_1/w ที่เพิ่มขึ้น ในช่วง 40-60 แต่ค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ เฉลี่ยลดลงเมื่อปริมาณผักตบชวา (L_{wh}) เพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าทั้งกรณีของขยะและผักตบชวามีค่า C_d รวมถึงค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ และค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ มีค่าคงที่ เมื่อค่า y_1/w เพิ่มขึ้นในช่วง 40-60 เนื่องจากเมื่อน้ำลึกมากขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง จะส่งผลต่อการไหลผ่านประตูน้อย ส่วนสาเหตุที่ทำให้ค่า C_d ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ และค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ลดลงเมื่อปริมาณขยะและผักตบชวาเพิ่มขึ้น เนื่องจากขยะและผักตบชวาส่งผลให้ความเสียดทานเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการไหลของน้ำผ่านบานประตูลดลง และอิทธิพลยิ่งมากขึ้นเมื่อปริมาณขยะและผักตบชวาเพิ่มขึ้น

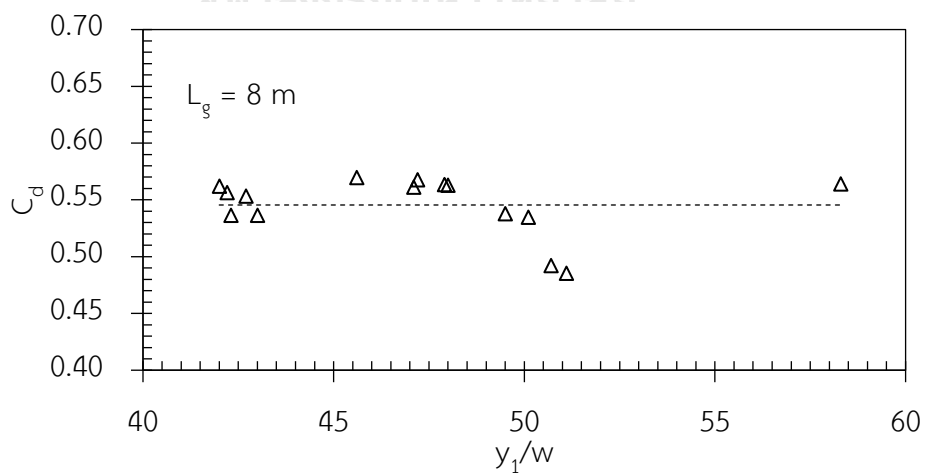




ก) ไม่มีขยะลอยเหนือบานประตู

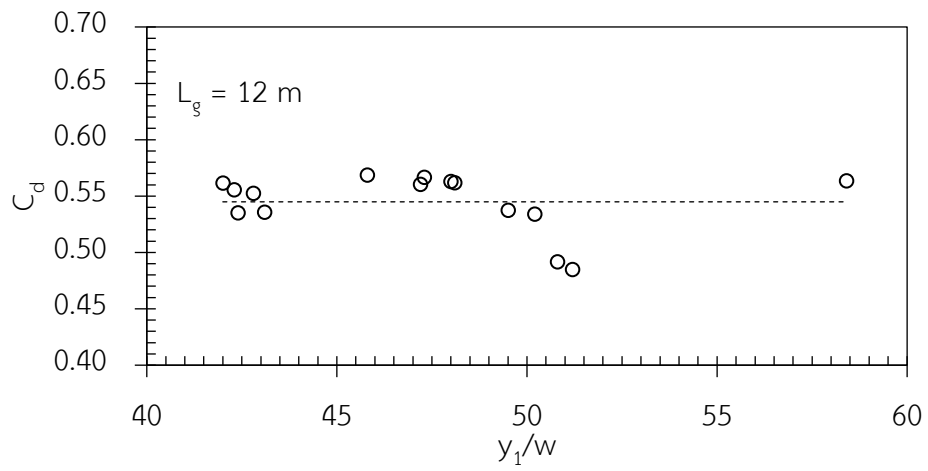


ข) ขยะลอยเหนือบานประตู 4 ม.

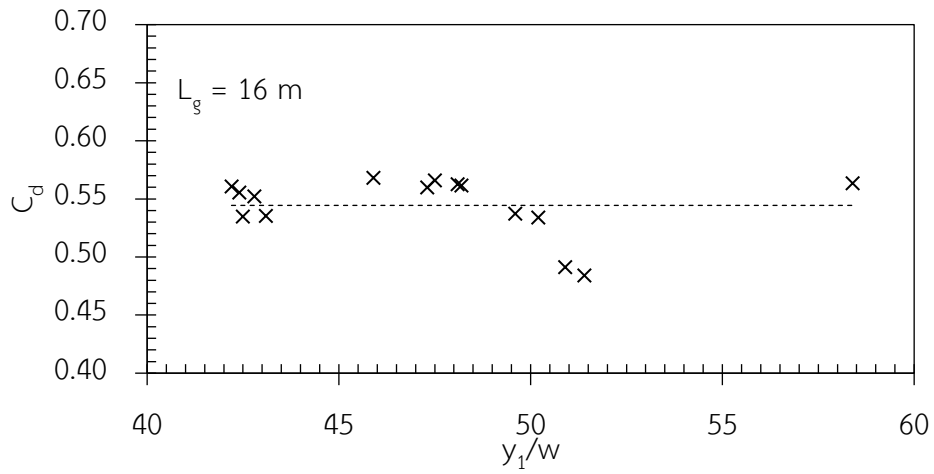


ค) ขยะลอยเหนือบานประตู 8 ม.

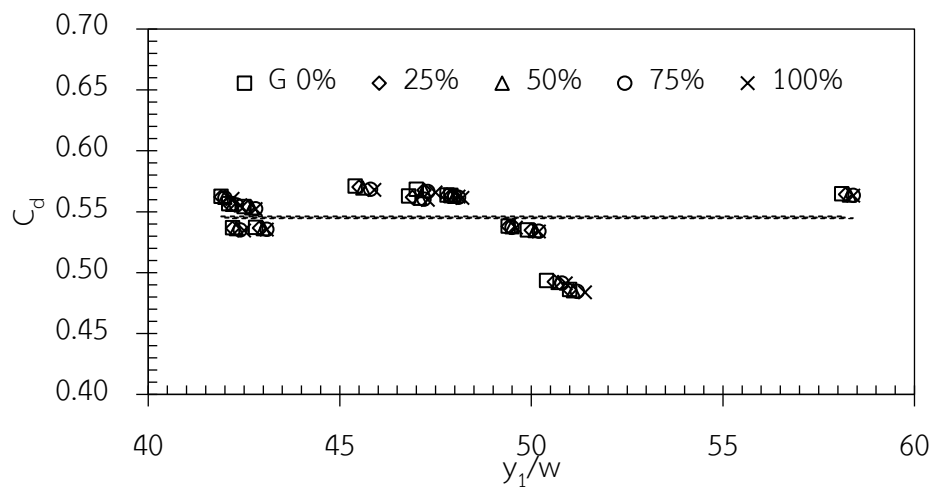
รูป 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับ y_1/w ของขยะ



ง) ขยะลอยเหนือบานประตู 12 ม.

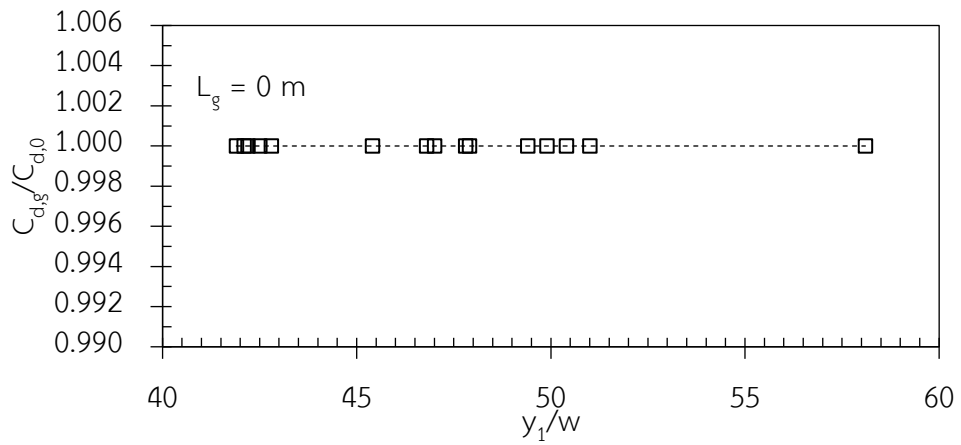


จ) ขยะลอยเหนือบานประตู 16 ม.

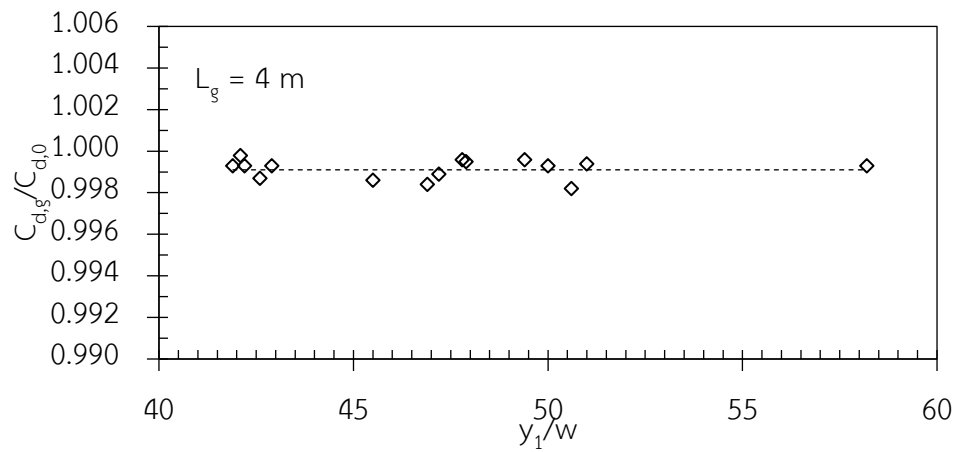


ฉ) รวมทั้งหมด

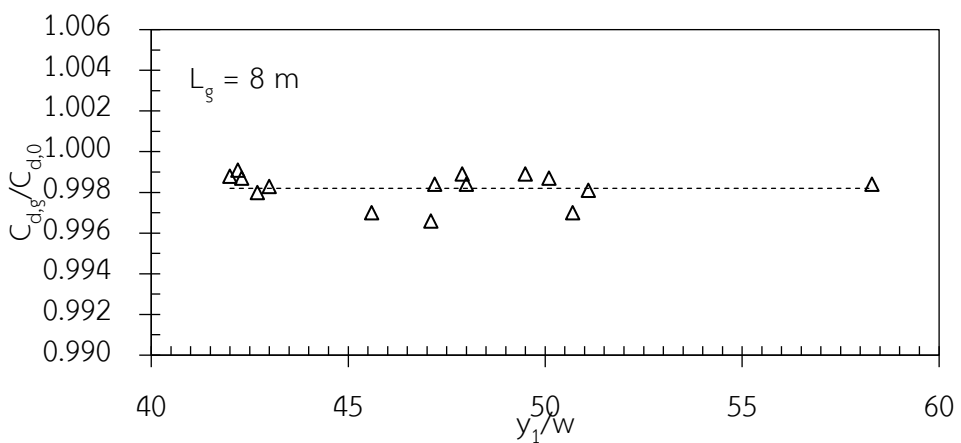
รูป 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับ y_1/w ของขยะ (ต่อ)



ก) ไม่มีขยะลอยเหนือบานประตู

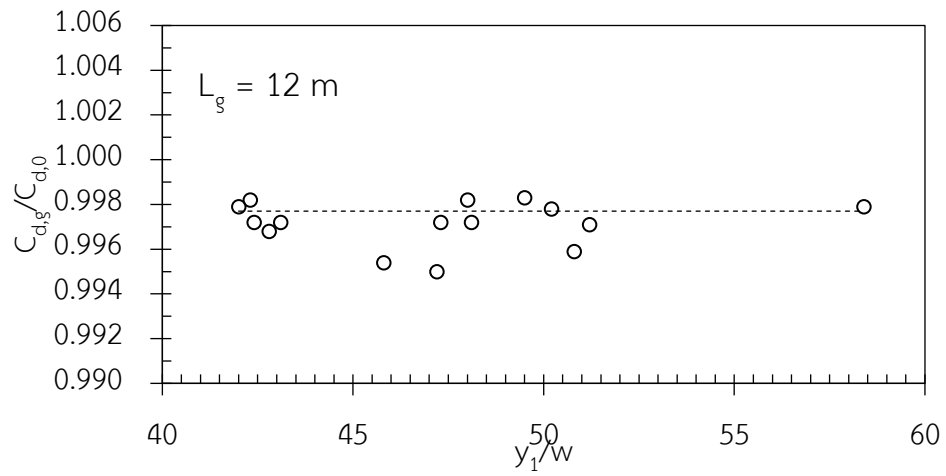


ข) ขยะลอยเหนือบานประตู 4 ม.

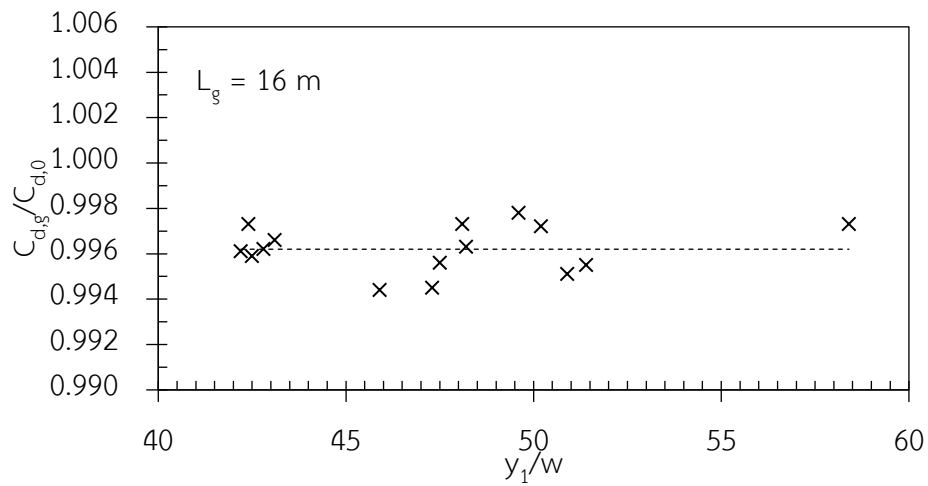


ค) ขยะลอยเหนือบานประตู 8 ม.

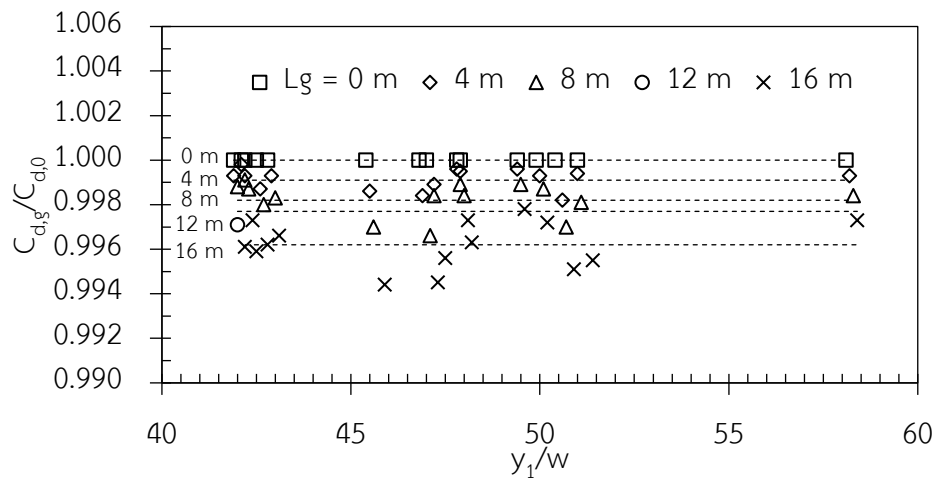
รูป 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับ y_1/w ที่ปริมาณขยะต่างๆ



ง) ขยะลอยเหนือบานประตู 12 ม.

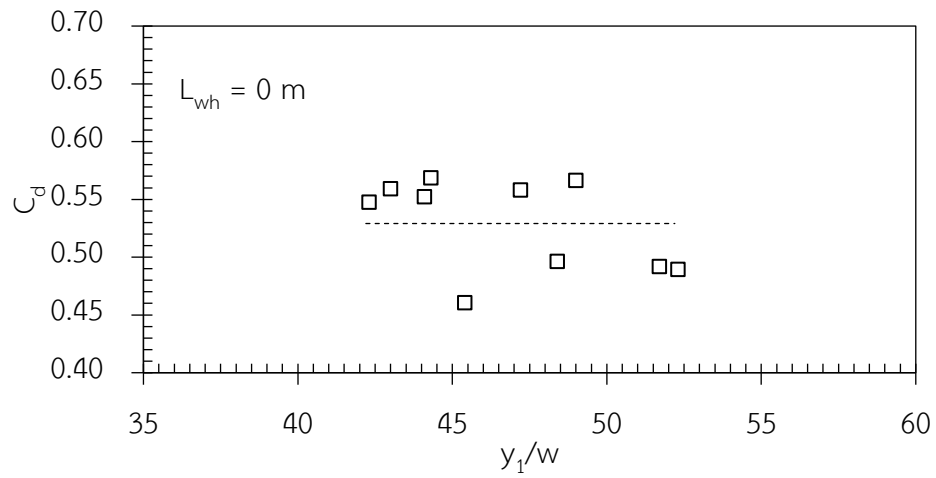


จ) ขยะลอยเหนือบานประตู 16 ม.

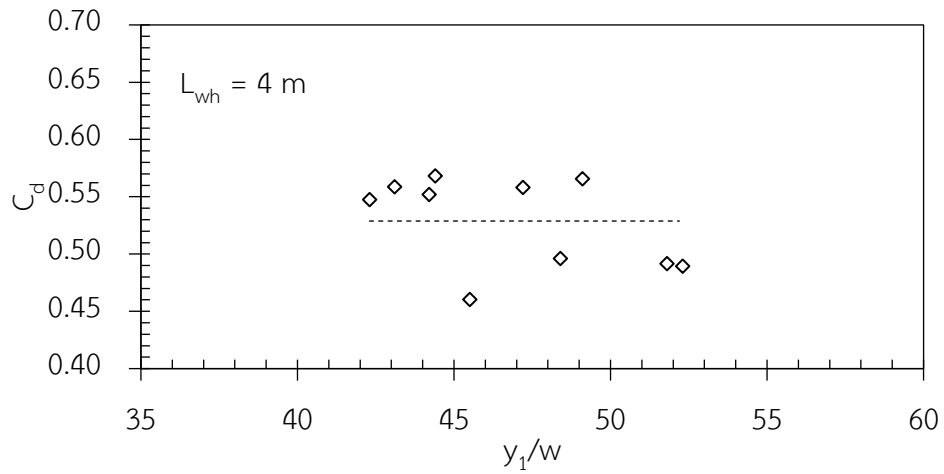


ฉ) ขยะรวมทั้งหมด

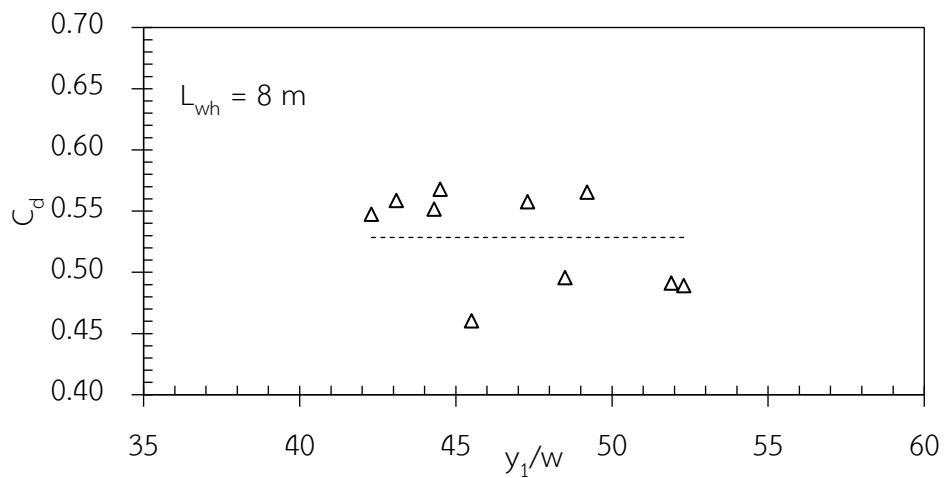
รูป 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับ y_1/w ที่ปริมาณขยะต่างๆ (ต่อ)



ก) ไม่มีฝักตบชวาลอยเหนือบานประตู

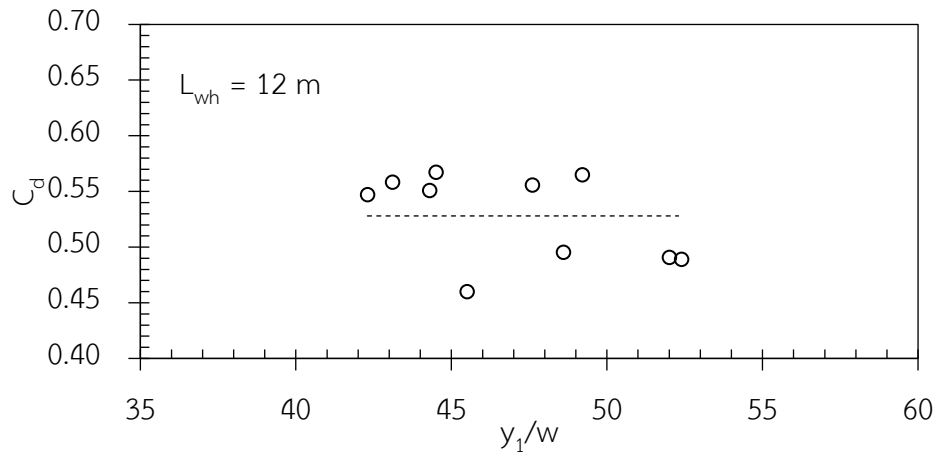


ข) ฝักตบชวาลอยเหนือบานประตู 4 ม.

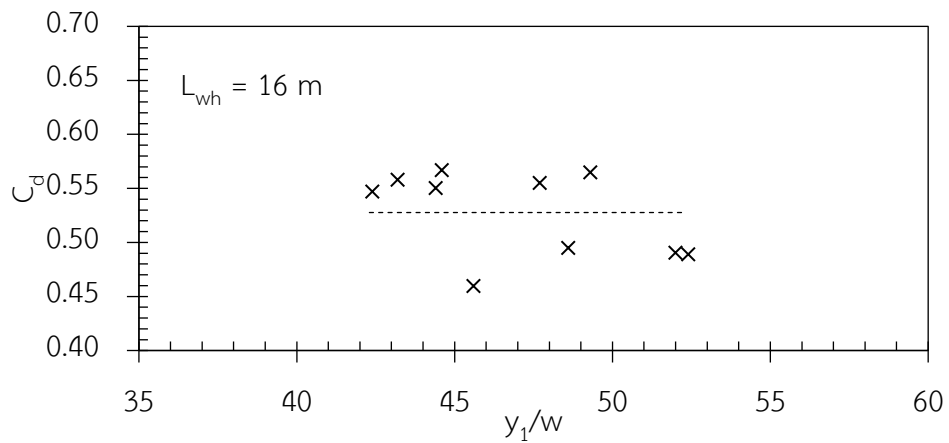


ค) ฝักตบชวาลอยเหนือบานประตู 8 ม.

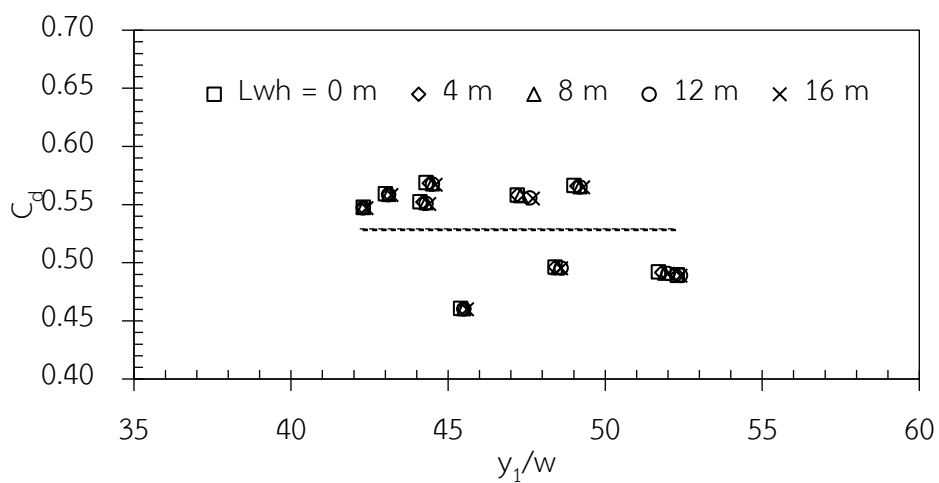
รูป 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับ y_1/w ของฝักตบชวา



ง) ผักตบชวาลอยเหนือบานประตู 12 ม.

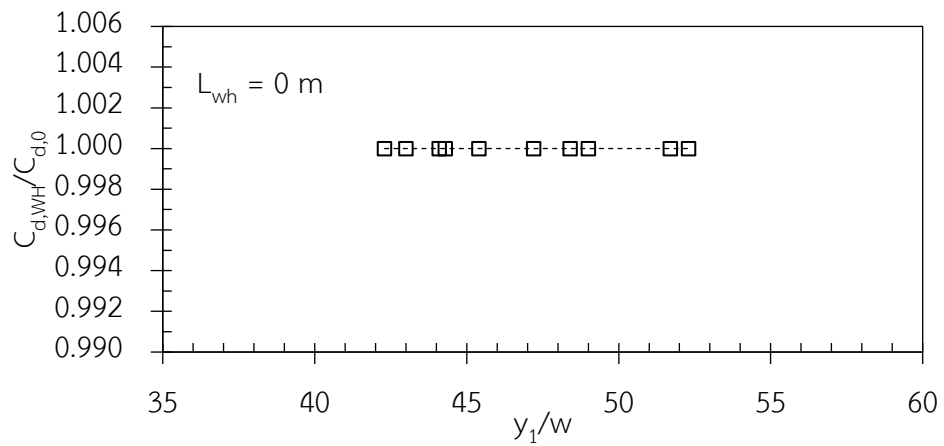


จ) ผักตบชวาลอยเหนือบานประตู 16 ม.

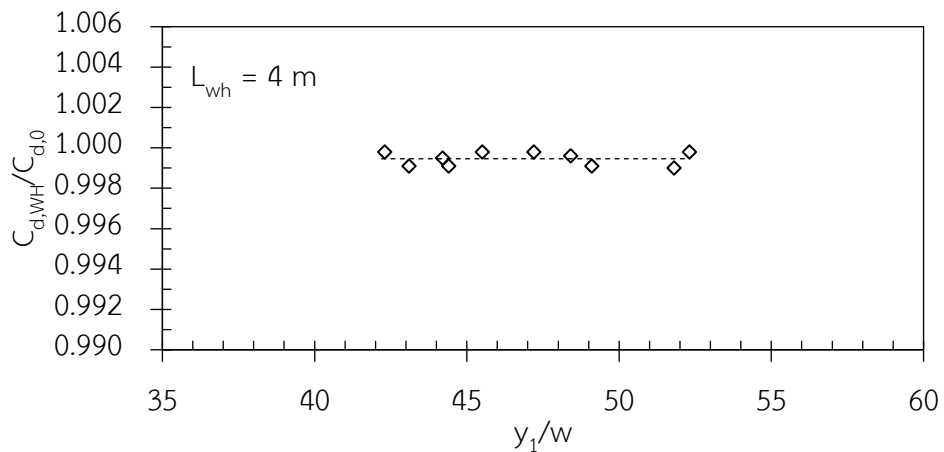


ฉ) ขยะรวมทั้งหมด

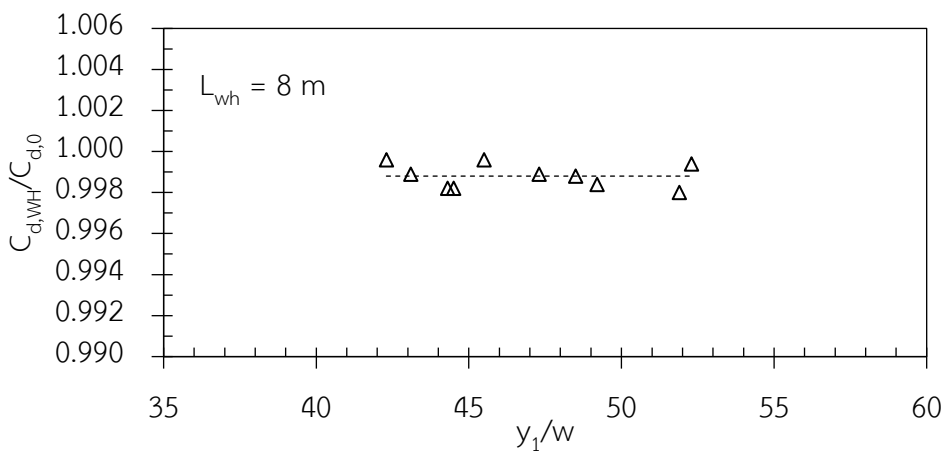
รูป 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_d กับ y_1/w ของผักตบชวา (ต่อ)



ก) ไม่มีฝักตบชวาลอยเหนือบานประตู

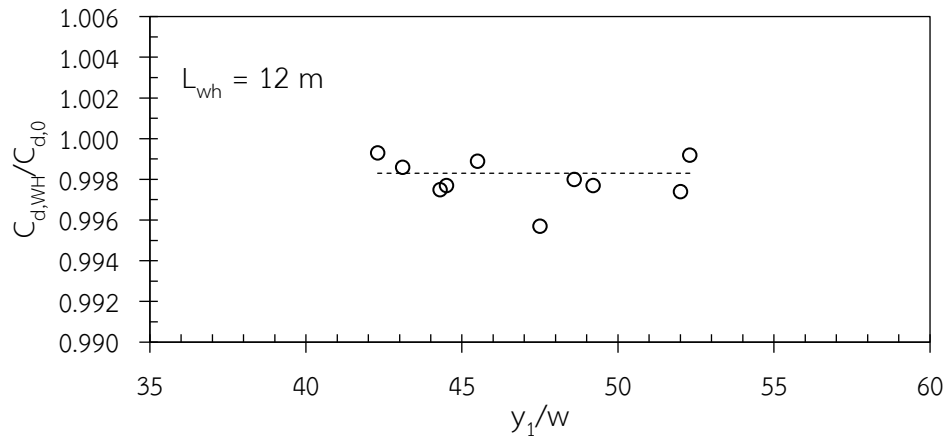


ข) ฝักตบชวาลอยเหนือบานประตู 4 ม.

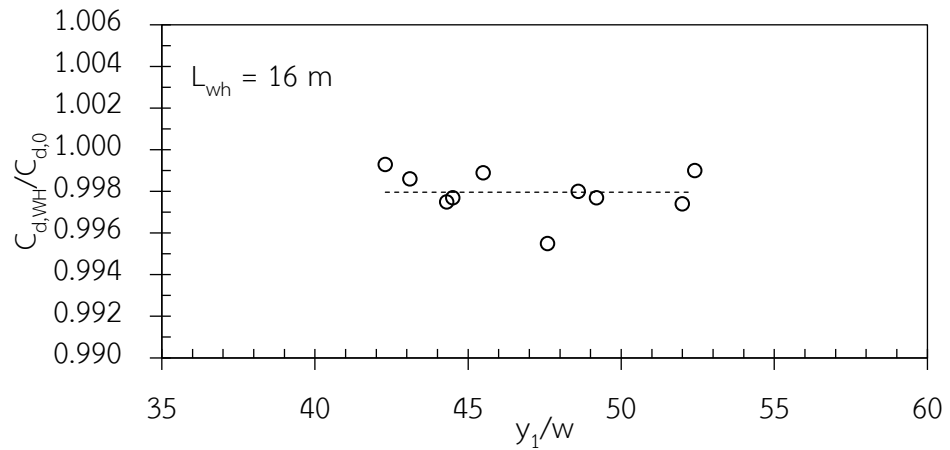


ค) ฝักตบชวาลอยเหนือบานประตู 8 ม.

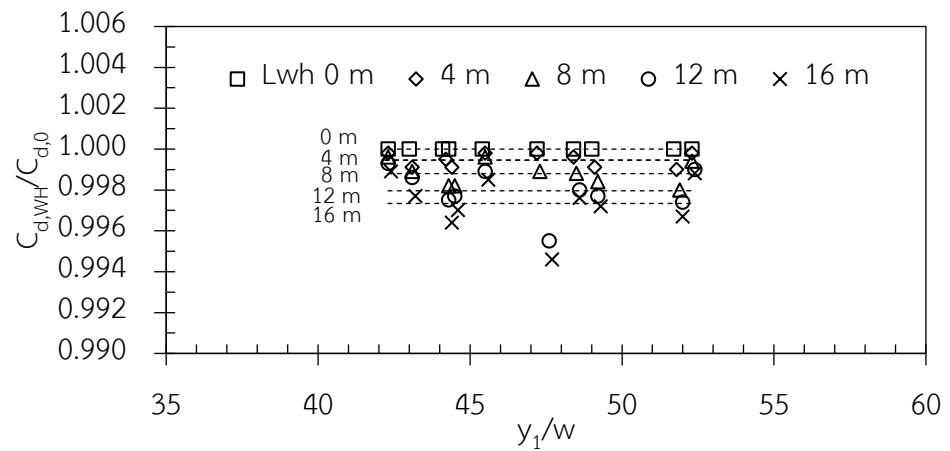
รูป 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับ y_1/w ที่ปริมาณฝักตบชวาต่างๆ



ง) ผักตบชวาลอยเหนือบานประตู 12 ม.



จ) ผักตบชวาลอยเหนือบานประตู 16 ม.



ฉ) ขยะรวมทั้งหมด

รูป 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับ y_1/w ที่ปริมาณผักตบชวาต่างๆ (ต่อ)

4.5.3 ผลของปริมาณขยะและผักตบชวาต่อค่าสัดส่วนของค่า C_d กรณีมีและไม่มีวัสดุลอยน้ำ

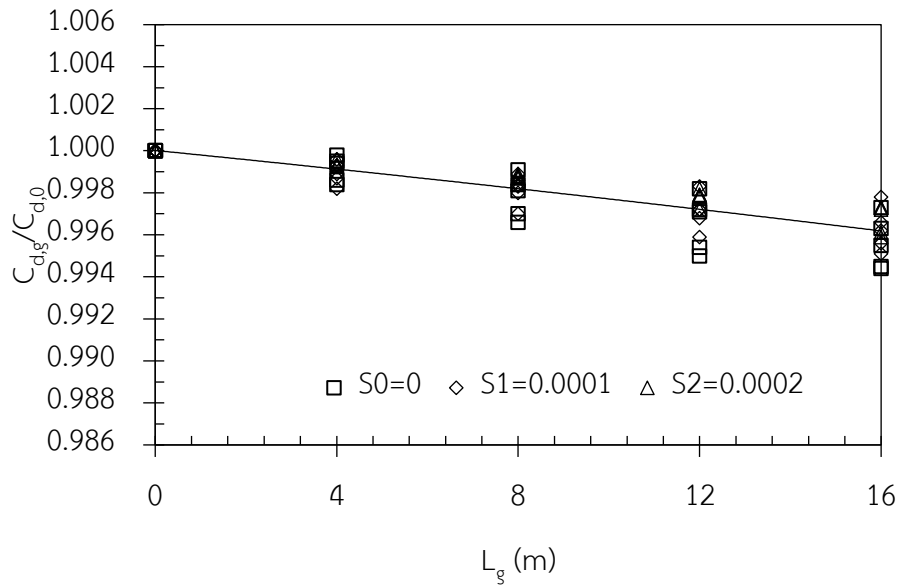
การศึกษาผลของปริมาณขยะและผักตบชวา ต่อค่าสัดส่วนของค่า C_d กรณีมีและไม่มีวัสดุลอยน้ำ ในกรณีขยะลอยน้ำพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าสัดส่วนค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตูกรณีมีขยะต่อไม่มีขยะ ($C_{d,g}/C_{d,0}$) กับปริมาณของขยะตามระยะการลอย (L_g) ส่วนในกรณีผักตบชวาพิจารณาค่าสัดส่วน ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตูกรณีมีผักตบชวาต่อไม่มีผักตบชวา ($C_{d,wh}/C_{d,0}$) กับปริมาณผักตบชวาตามระยะการลอย (L_{wh}) ซึ่งถ้าหากค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าขยะและผักตบชวาไม่ได้ส่งผลต่อการไหลผ่านประตูระบายน้ำ แต่ถ้าหากค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ มากกว่า 1 แสดงว่าขยะและผักตบชวาส่งผลให้ค่า C_d เพิ่มขึ้น อีกนัยหนึ่งก็คือขยะและผักตบชวาส่งผลให้ประสิทธิภาพการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันหากค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ น้อยกว่า 1 แสดงว่าขยะและผักตบชวาส่งผลให้ค่า C_d ลดลง อีกนัยหนึ่งก็คือขยะและผักตบชวา ส่งผลให้ประสิทธิภาพการไหลของน้ำผ่านประตูระบายน้ำลดลง

ผลการศึกษารณียะลอยน้ำ จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับ L_g จากรูป 4-21 แสดงให้เห็นว่าค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ ที่ปริมาณขยะต่างๆ มีความผันแปรค่อนข้างสูง โดยที่ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ ในกรณีไม่มีขยะ เท่ากับ 1 ส่วนค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กรณีมีขยะ ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ อยู่ในช่วง 0.9982-0.9998, 0.9966-0.9991, 0.9950-0.9983 และ 0.9944-0.9978 เฉลี่ย 0.9991, 0.9982, 0.9972 และ 0.9962 เมื่อปริมาณขยะตามระยะการลอยเป็น 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ ผลการศึกษายังเห็นว่า ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ ลดลงเมื่อค่า L_g เพิ่มขึ้น โดยลักษณะการลดลงเป็นเส้นโค้ง แสดงว่าค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ ลดลงมากในช่วงปริมาณขยะน้อย และเมื่อปริมาณขยะมากขึ้นอัตราส่วนการลดลงจะน้อยลง

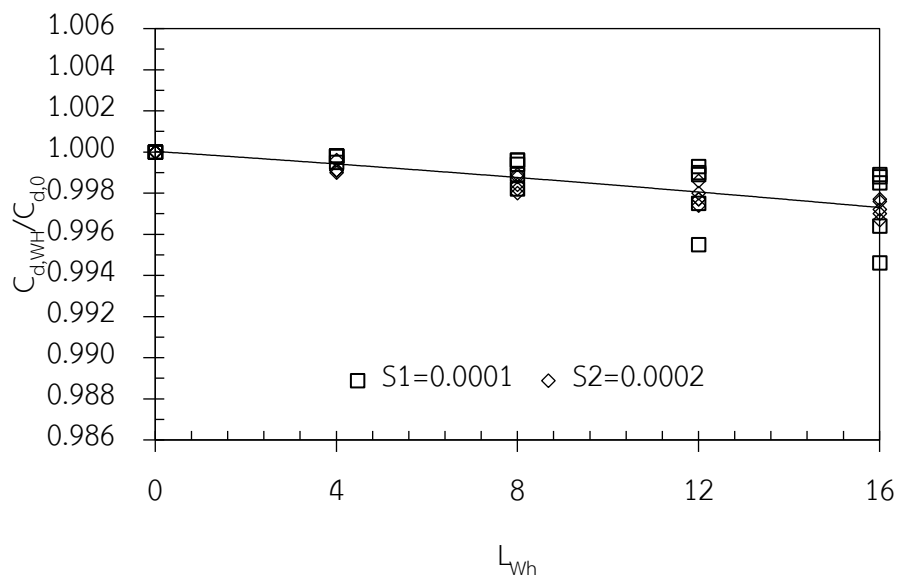
ผลการศึกษารณียะผักตบชวา จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับ L_{wh} จากรูป 4-22 แสดงให้เห็นว่าค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ที่ปริมาณผักตบชวาต่างๆ มีความผันแปรค่อนข้างสูง โดยที่ค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ในกรณีไม่มีผักตบชวา เท่ากับ 1 ส่วนค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กรณีมีผักตบชวา ค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ อยู่ในช่วง 0.9990-0.9998, 0.9980-0.9996, 0.9955-0.9993 และ 0.9946-0.9989 เฉลี่ย 0.9995, 0.9988, 0.9980 และ 0.9973 เมื่อปริมาณผักตบชวาตามระยะการลอยเป็น 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ ผลการศึกษายังเห็นว่า ค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ลดลงเมื่อค่า L_{wh} เพิ่มขึ้น โดยลักษณะการลดลงเป็นเส้นโค้ง แสดงว่าค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ลดลงมากในช่วงปริมาณผักตบชวาน้อย และเมื่อปริมาณผักตบชวามากขึ้นอัตราส่วนการลดลงจะน้อยลง

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณขยะและผักตบชวาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ลดลง เนื่องจากขยะและผักตบชวาเพิ่มความเสียดทานให้แก่ทางน้ำ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงการกระจายความเร็วการไหลที่ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความลึกของน้ำให้แตกต่างจากกรณีไม่มีวัสดุลอยน้ำ ทำให้การไหลของน้ำผ่านบานประตูมีประสิทธิภาพลดลง



รูป 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับปริมาณขยะตามระยะการลอย (L_g)



รูป 4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับปริมาณผักตบชวาตามระยะการลอย (L_{wh})

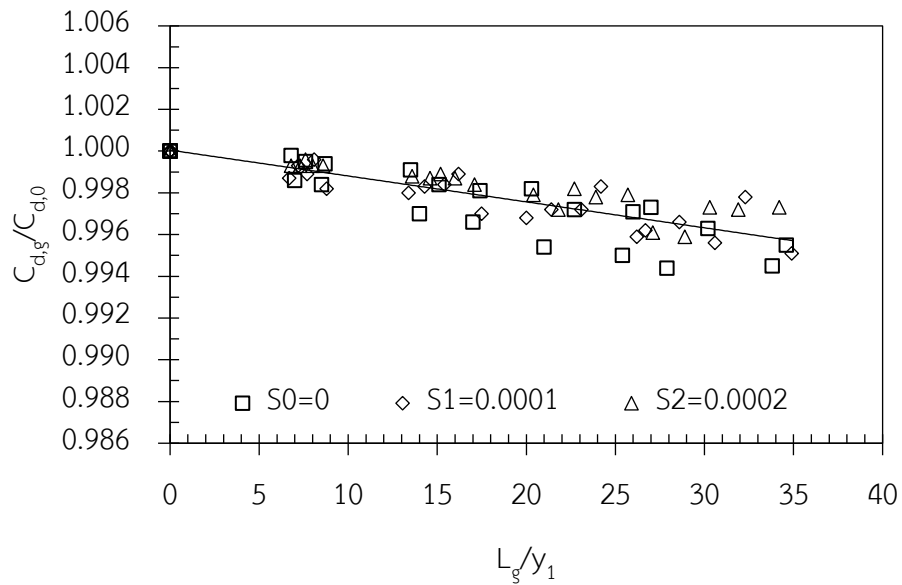
4.5.4 ผลของค่าสัดส่วนปริมาณขยะและผักตบชวาต่อความลึกน้ำ กับค่าสัดส่วนของค่า C_d กรณีมีและไม่มีวัสดุลอยน้ำ

จากการศึกษาผลของปริมาณขยะและผักตบชวา ต่อค่าสัดส่วนของค่า C_d กรณีมีและไม่มีวัสดุลอยน้ำในหัวข้อ 4.5.3 ที่ผ่านมา พบว่าค่าสัดส่วนค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตูกรณีมีขยะต่อไม่มีขยะ ($C_{d,g}/C_{d,0}$) ที่ปริมาณขยะต่างๆ และค่าสัดส่วนค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตูกรณีมีผักตบชวาต่อไม่มีผักตบชวา ($C_{d,wh}/C_{d,0}$) ที่ปริมาณผักตบชวาต่างๆ มีความผันแปรค่อนข้างสูง แสดงว่า ค่าปริมาณขยะและผักตบชวาอาจจะมีตัวแปรอื่นที่มีความสัมพันธ์อยู่ ดังนั้นจึงได้ศึกษาผลของปริมาณของวัสดุลอยน้ำตามระยะการลอยต่อค่าสัดส่วนของ C_d โดยในกรณีขยะลอยน้ำได้จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับสัดส่วนของปริมาณขยะตามระยะการลอยต่อความลึกน้ำหน้าบาน (L_g/y_1) และในกรณีผักตบชวาได้พิจารณาค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับสัดส่วนของปริมาณผักตบชวาต่อความลึกน้ำหน้าบาน (L_{wh}/y_1) หากค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ เพิ่มขึ้นจาก 1 แสดงว่าประสิทธิภาพการไหลของน้ำผ่านบานประตูเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันหากค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ลดลงจาก 1 แสดงว่าประสิทธิภาพการไหลของน้ำผ่านบานประตูลดลง แต่ถ้าหากค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ เท่ากับ 1 แสดงว่า ขยะและผักตบชวาไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการไหลของน้ำผ่านบานประตู ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่า L_g/y_1 หรือ L_{wh}/y_1 แสดงว่าปริมาณขยะหรือผักตบชวาเพิ่มขึ้น และค่า L_g/y_1 หรือ L_{wh}/y_1 เท่ากับ 0 แสดงว่า ไม่มีขยะและผักตบชวา ซึ่งจะเป็จุดเริ่มต้นของการลากเส้นกราฟตามข้อจำกัดทางกายภาพ (physical limit)

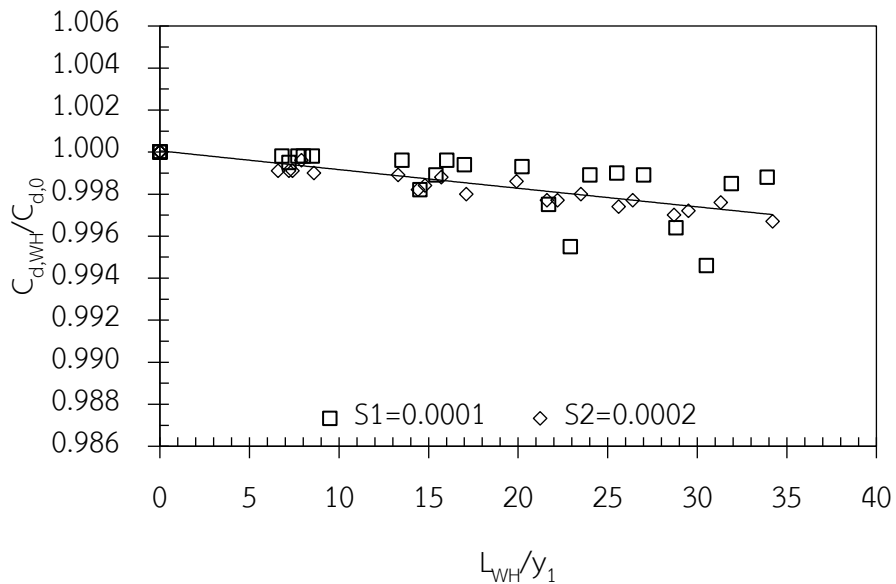
ผลการศึกษากรณีขยะ จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับค่า L_g/y_1 ในรูป 4-23 แสดงให้เห็นว่า ค่า L_g/y_1 อยู่ในช่วง 0-35 และค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ ผันแปรอยู่ในช่วง 0.9944-1 โดยพบว่า ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ ลดลง เมื่อค่า L_g/y_1 เพิ่มขึ้น โดยลักษณะการลดลงเป็นเส้นโค้ง แสดงว่า ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ ลดลงมากในช่วงปริมาณขยะน้อย และเมื่อปริมาณขยะมากขึ้นทำให้อัตราส่วนการลดลงน้อยลง ลักษณะดังกล่าว อาจเป็นไปได้ว่าเมื่อค่า L_g/y_1 เพิ่มขึ้น จนถึงค่าหนึ่งจะทำให้ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ คงที่หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

ผลการศึกษากรณีผักตบชวา จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับค่า L_{wh}/y_1 ในรูป 4-24 แสดงให้เห็นว่า ค่า L_{wh}/y_1 อยู่ในช่วง 0-34 และค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ผันแปรอยู่ในช่วง 0.9946-1 โดยพบว่า ค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ลดลง เมื่อค่า L_{wh}/y_1 เพิ่มขึ้น โดยลักษณะการลดลงเป็นเส้นโค้ง แสดงว่า ค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ลดลงมากในช่วงปริมาณผักตบชวาน้อย และเมื่อปริมาณขยะมากขึ้นทำให้อัตราส่วนการลดลงน้อยลง ลักษณะดังกล่าวอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อค่า L_{wh}/y_1 เพิ่มขึ้น จนถึงค่าหนึ่งจะทำให้ค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ คงที่หรือเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณขยะและผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ และค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ลดลง เนื่องจากปริมาณขยะและผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น ไปเพิ่มความเสียดทานให้แก่ทางน้ำ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการกระจายความเร็วการไหลที่ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความลึกของน้ำให้แตกต่างจากกรณีไม่มีวัสดุลอยน้ำ ทำให้การไหลของน้ำผ่านบานประตูมีประสิทธิภาพลดลง



รูป 4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับ L_g/y_1 ของขยะ



รูป 4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับ L_{wh}/y_1 ของผักตบชวา

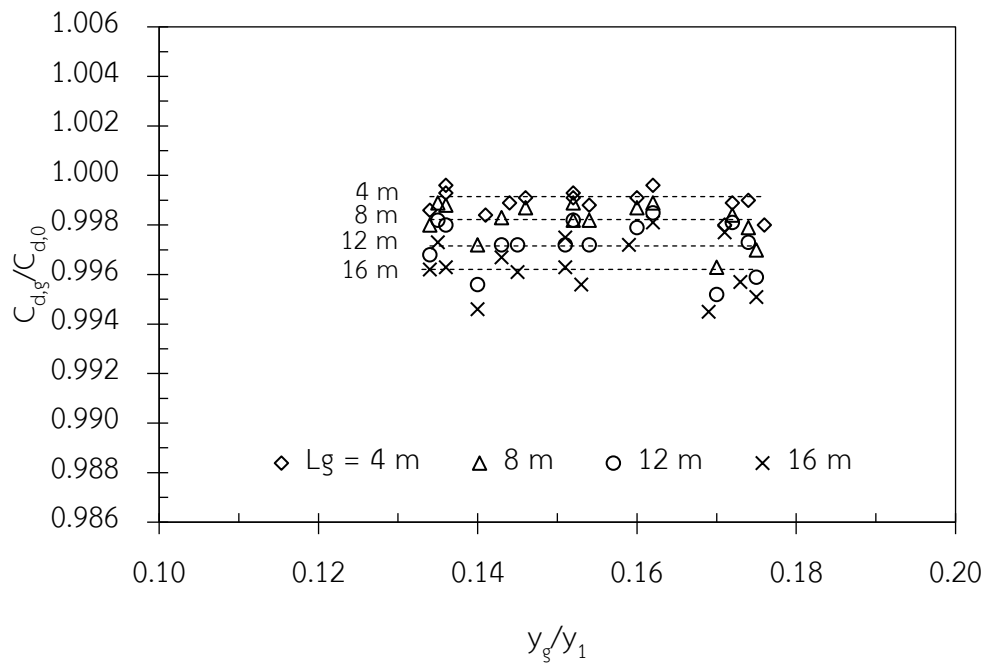
4.5.5 ผลของระยะจมของขยะและผักตบชวาต่อค่าสัดส่วนของค่า C_d กรณีมีและไม่มีวัสดุลอยน้ำ

ในการศึกษาผลของระยะจมของวัสดุลอยน้ำต่อค่า C_d ในกรณีขยะลอยน้ำได้จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตูกรณีมีขยะต่อไม่มีขยะ ($C_{d,g}/C_{d,0}$) กับสัดส่วนของระยะจมของขยะต่อความลึกน้ำหน้าบาน (y_g/y_1) และในกรณีผักตบชวาได้พิจารณาค่าสัดส่วนค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตู กรณีมีผักตบชวาต่อไม่มีผักตบชวา ($C_{d,wh}/C_{d,0}$) กับสัดส่วนของระยะจมของผักตบชวาต่อความลึกน้ำหน้าบาน (y_{wh}/y_1) หากค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ เพิ่มขึ้นจาก 1 แสดงว่าประสิทธิภาพการไหลของน้ำผ่านบานประตูเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันหากค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ลดลงจาก 1 แสดงว่าประสิทธิภาพการไหลของน้ำผ่านบานประตูลดลง แต่ถ้าหากค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ หรือ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ เท่ากับ 1 แสดงว่าขยะและผักตบชวาไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการไหลของน้ำผ่านบานประตู ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่า y_g/y_1 หรือ y_{wh}/y_1 แสดงว่าระยะจมของขยะหรือผักตบชวาเพิ่มขึ้น และ ค่า y_g/y_1 หรือ y_{wh}/y_1 เท่ากับ 0 แสดงว่า ไม่มีขยะและผักตบชวา ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นของการลากเส้นกราฟตามข้อจำกัดทางกายภาพ (physical limit)

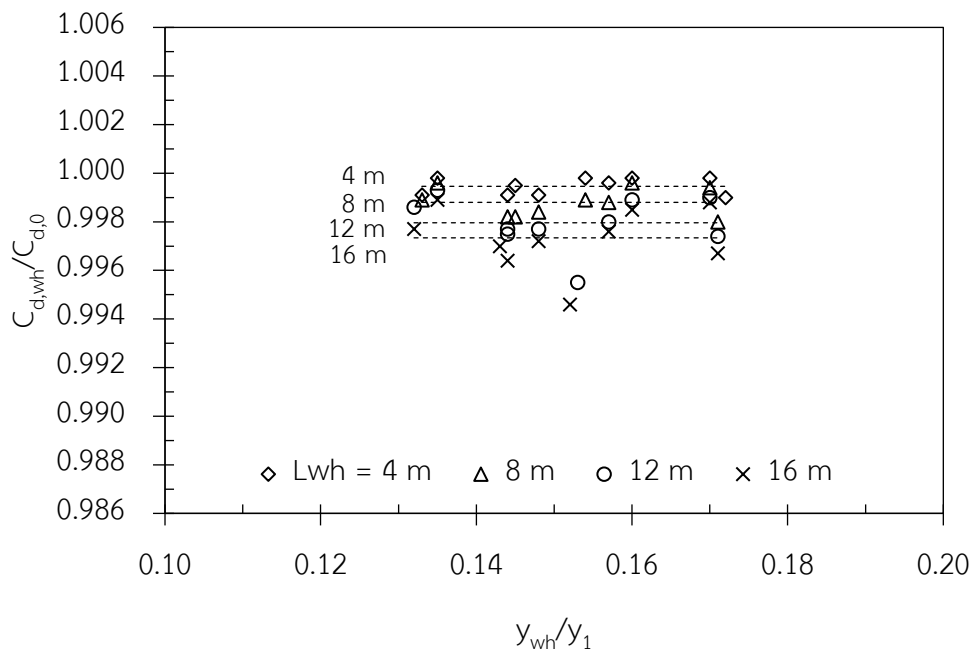
ผลการศึกษากรณีของขยะจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับค่า y_g/y_1 ในรูป 4-25 แสดงให้เห็นว่า ค่า y_g/y_1 อยู่ในช่วง 0.133-0.176 โดยค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ ที่ปริมาณขยะต่างๆ อยู่ในช่วง 0.9982-0.9998, 0.9966-0.9991, 0.9950-0.9983 และ 0.9944-0.9978 เมื่อปริมาณขยะตามระยะการลอยเหนือบานประตู เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ และยังพบว่า ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ ลดลงเมื่อค่า y_g/y_1 เพิ่มขึ้น

ผลการศึกษากรณีของผักตบชวาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับค่า y_{wh}/y_1 ในรูป 4-26 แสดงให้เห็นว่า ค่า y_{wh}/y_1 อยู่ในช่วง 0.132-0.172 โดยค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ที่ปริมาณผักตบชวาต่างๆ อยู่ในช่วง 0.9990-0.9998, 0.9980-0.9996, 0.9955-0.9993 และ 0.9946-0.9989 เมื่อปริมาณผักตบชวาตามระยะการลอยเหนือบานประตู เท่ากับ 4, 8, 12 และ 16 ม. ตามลำดับ และยังพบว่า ค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ลดลง เมื่อค่า y_{wh}/y_1 เพิ่มขึ้น

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระยะจมของขยะและผักตบชวาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ และค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ ลดลง ระยะจมของปริมาณขยะและผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น ไปเพิ่มความเสียดทานให้แก่ทางน้ำ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการกระจายความเร็วการไหลที่ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความลึกของน้ำ ทำให้การไหลของน้ำผ่านบานประตูมีประสิทธิภาพลดลง



รูป 4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับ y_g/y_1 กรณีขี้ชะ



รูป 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,whr}/C_{d,0}$ กับ y_{whr}/y_1 กรณีฝักตบชวา

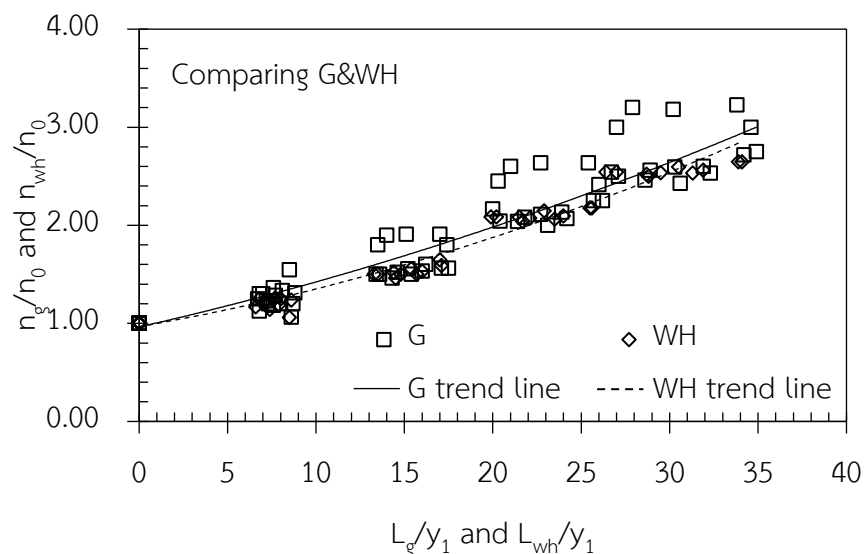
4.6 การเปรียบเทียบผลของขยะและผักตบชวาต่อชลศาสตร์การไหลของทางน้ำเปิดและผ่านบานประตู

4.6.1 การเปรียบเทียบผลของขยะและผักตบชวาต่อชลศาสตร์การไหลของทางน้ำเปิด

การเปรียบเทียบผลของขยะและผักตบชวา ต่อชลศาสตร์การไหลของทางน้ำเปิด ซึ่งทั้งขยะและผักตบชวามีระยะจมประมาณ 8 ซม. ในกรณีของขยะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิด (n_g/n_0) กรณีมีขยะต่อกรณีไม่มีขยะ กับค่าสัดส่วนระหว่างความยาวขยะต่อความลึกน้ำ (L_g/y_1) ส่วนในกรณีของผักตบชวาได้พิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิด (n_{wh}/n_0) กรณีมีผักตบชวาต่อกรณีไม่มีผักตบชวา กับค่าสัดส่วนระหว่างความยาวของผักตบชวาต่อความลึกน้ำ (L_{wh}/y_1) ดังแสดงในรูป 4-27

ผลการศึกษาจากรูป 4-27 เมื่อพิจารณาจากข้อมูล พบว่า กรณีที่มีขยะ (L_g/y_1 มากกว่า 0) ค่า n_g/n_0 อยู่ในช่วง 1.0625-3.2273 เฉลี่ย 1.9780 ในขณะที่กรณีที่มีผักตบชวา (L_{wh}/y_1 มากกว่า 0) ค่า n_{wh}/n_0 อยู่ในช่วง 1.0588-2.6471 เฉลี่ย 1.8480 ซึ่งค่า n_g/n_0 สูงกว่าค่า n_{wh}/n_0 และเมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟพบว่า เส้นกราฟของขยะอยู่เหนือเส้นกราฟของผักตบชวา แสดงว่า ค่า n ของขยะมากกว่าผักตบชวาเล็กน้อย

ขยะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า n มากกว่าผักตบชวา เพราะขยะเป็นวัสดุที่แข็งกว่าจึงทำให้เพิ่มความเสียดทานในทางน้ำได้มากกว่า และขยะยังมีการอัดแน่นและจมเพิ่มขึ้นในบริเวณหน้าบานประตูเมื่อมีปริมาณขยะมากขึ้น จึงทำให้ทางน้ำมีความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น แต่กรณีของผักตบชวามีเพียงการอัดตัวแต่ไม่ได้จมเพิ่มขึ้น ทำให้ความต้านทานการไหลน้อยกว่า

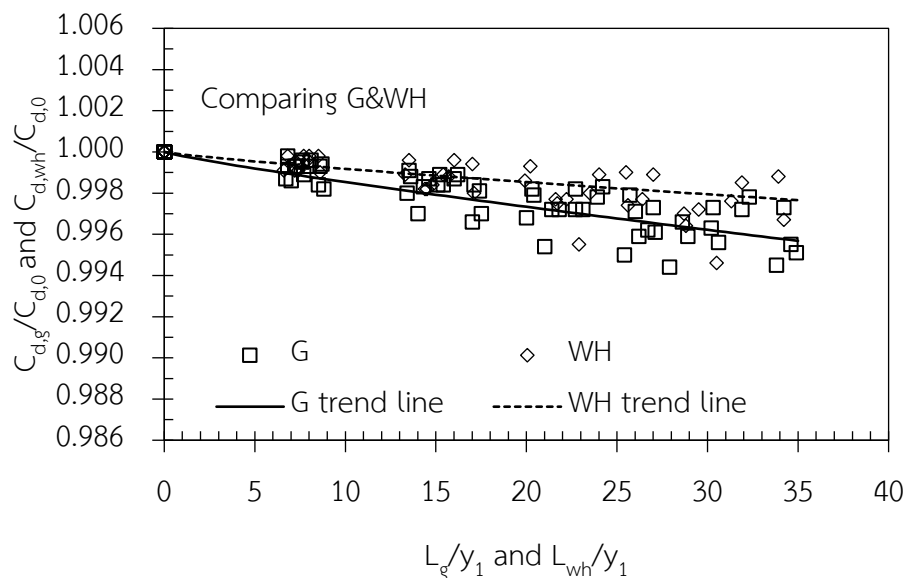


รูป 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า n_g/n_0 กับ L_g/y_1 (ขยะ) และค่า n_{wh}/n_0 กับ L_{wh}/y_1 (ผักตบชวา)

4.6.2 การเปรียบเทียบผลของขยะและผักตบชวาต่อชลศาสตร์การไหลผ่านบานประตู

การเปรียบเทียบผลของขยะและผักตบชวาต่อชลศาสตร์การไหลผ่านบานประตู ซึ่งทั้งขยะและผักตบชวามีระยะจมประมาณ 8 ซม. ในกรณีของขยะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตู ($C_{d,g}/C_{d,0}$) กรณีมีขยะต่อไม่มีขยะ กับสัดส่วนของความยาวขยะต่อความลึกน้ำหน้าบาน (L_g/y_1) และในกรณีผักตบชวาพิจารณาค่าสัดส่วนค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตู ($C_{d,wh}/C_{d,0}$) กรณีมีผักตบชวาต่อไม่มีผักตบชวา กับสัดส่วนของความยาวผักตบชวาต่อความลึกน้ำหน้าบาน (L_{wh}/y_1) ดังแสดงในรูป 4-28

ผลการศึกษาจากเมื่อพิจารณารูป 4-28 เมื่อพิจารณาจากข้อมูล พบว่ากรณีที่มีขยะ (L_g/y_1 มากกว่า 0) ค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ อยู่ในช่วง 0.9944-0.9998 เฉลี่ย 0.9977 ในขณะที่กรณีที่มีผักตบชวา (L_{wh}/y_1 มากกว่า 0) ค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ อยู่ในช่วง 0.9946-0.9998 เฉลี่ย 0.9984 ซึ่งค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ ต่ำกว่าค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ แสดงว่าค่า C_d ของขยะน้อยกว่าค่า C_d ของผักตบชวา และเมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟพบว่า เส้นกราฟของขยะอยู่ต่ำกว่าเส้นกราฟของผักตบชวา ทุกค่าปริมาณตามระยะการลอยของขยะและค่า C_d ของขยะลดลงมากกว่าค่า C_d ผักตบชวาเล็กน้อย เมื่อปริมาณของขยะเพิ่มขึ้น เพราะขยะเป็นวัสดุที่แข็งกว่าจึงทำให้เพิ่มความเสียดทานในทางน้ำได้มากกว่า



รูป 4-28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ กับ L_g/y_1 (ขยะ) และค่า $C_{d,wh}/C_{d,0}$ กับ L_{wh}/y_1 (ผักตบชวา)

4.7 การประมาณค่าการเพิ่มขึ้นของค่า n และการลดลงของ C_d

4.7.1 การประมาณค่าการเพิ่มขึ้นของค่า n

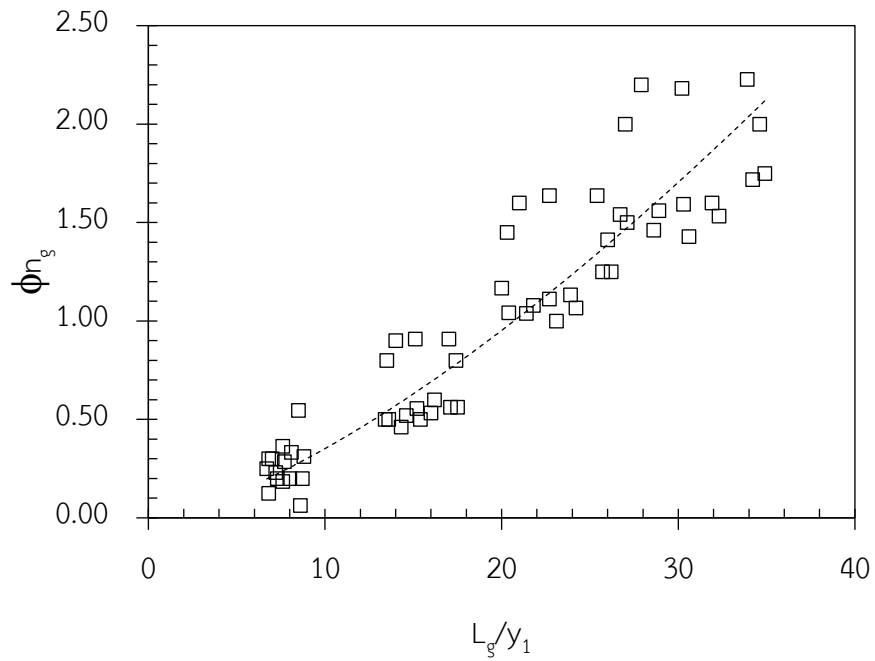
จากการวิเคราะห์ผลของขยะและผักตบชวา ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิด โดยในกรณีของขยะลอยน้ำได้พิจารณาจาก ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วน (n_g/n_0) กรณีมีขยะต่อกรณีไม่มีขยะ ส่วนในกรณีของผักตบชวาได้พิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วน (n_{wh}/n_0) กรณีมีผักตบชวาต่อกรณีไม่มีผักตบชวา พบว่า ทั้งค่า n_g/n_0 และ n_{wh}/n_0 มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าขยะและผักตบชวาส่งผลให้ค่า n สูงขึ้น ดังนั้นจึงได้พิจารณาเป็นค่าการเพิ่มขึ้นของค่า n (increase in Manning's n , ϕn) โดยในกรณีของขยะค่า ϕn_g คำนวณจากสมการ 4-1 และในกรณีของผักตบชวา ค่า ϕn_{wh} คำนวณจากสมการ 4-2

$$\phi n_g = \frac{n_g}{n_0} - 1 \quad (4-1)$$

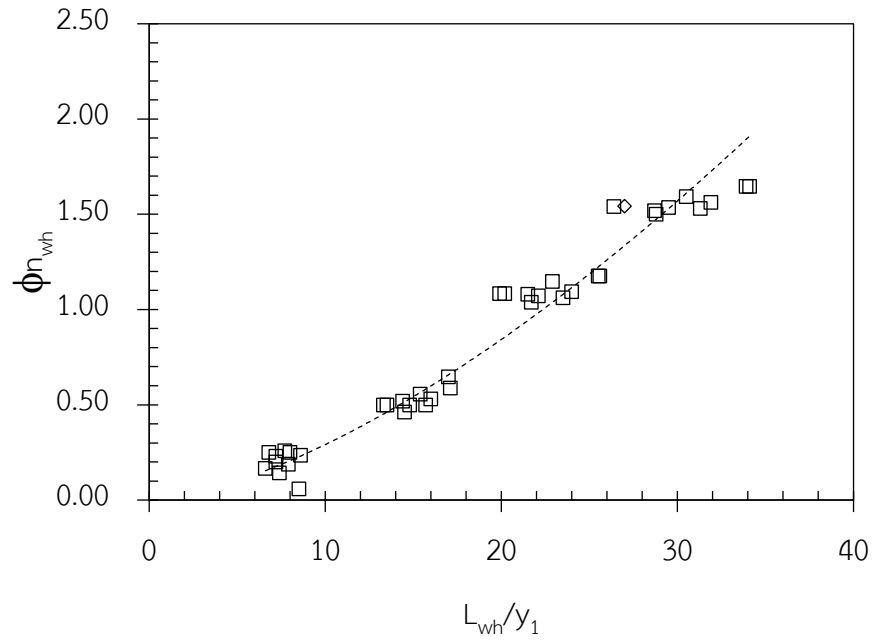
$$\phi n_{wh} = \frac{n_{wh}}{n_0} - 1 \quad (4-2)$$

การศึกษาด้วยวิธีกราฟในหัวข้อข้างต้นได้พิจารณาตัวแปรของปริมาณขยะและผักตบชวาตามระยะการลอยต่อความลึกน้ำหน้าบานประตู (L_g/y_1 และ L_{wh}/y_1) และระยะจมของขยะและผักตบชวาต่อความลึกน้ำหน้าบานประตู (y_g/y_1 และ y_{wh}/y_1) พบว่าค่า n มีความสัมพันธ์ดีกับค่า L_g/y_1 และ L_{wh}/y_1 ในขณะที่ y_g/y_1 และ y_{wh}/y_1 ยังไม่ชัดเจน เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ข้อมูล y_g/y_1 และ y_{wh}/y_1 อยู่ในช่วงที่แคบ (0.132-0.176) ค่าการเพิ่มขึ้นของค่า n ของขยะและผักตบชวาเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของขยะและผักตบชวาเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูป 4-29 และรูป 4-30

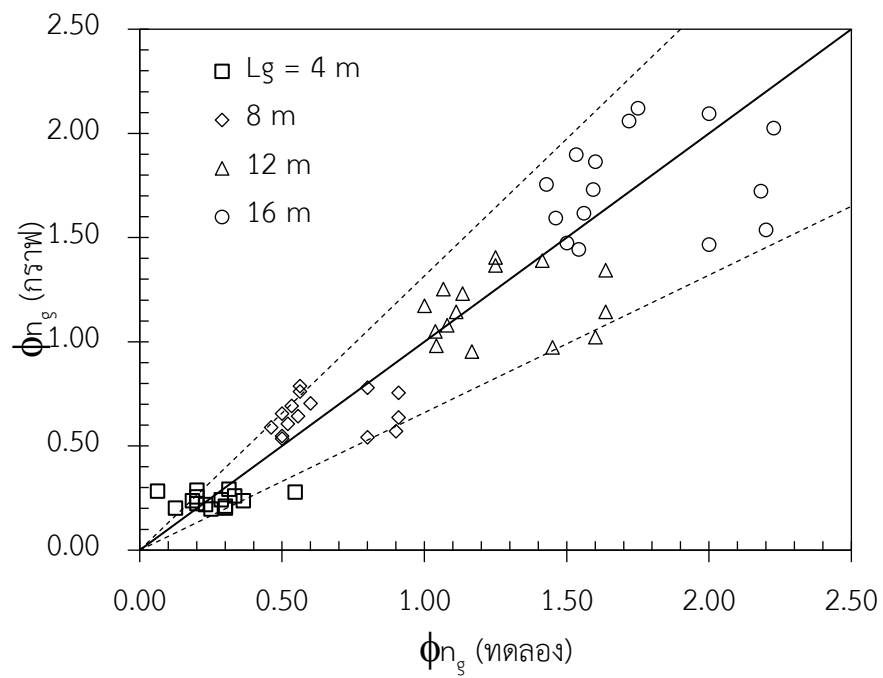
เมื่อนำค่าจากเส้นกราฟ (จากรูป 4-29 และรูป 4-30) และค่าจากการทดลอง มาเปรียบเทียบในกรณีขยะและผักตบชวา ดังแสดงในรูป 4-31 และรูป 4-32 พบว่าค่าอยู่ใกล้เส้น 45 องศา แสดงถึงค่าจากการคำนวณสอดคล้องกับค่าจากการทดลอง อย่างไรก็ตามสมการทั้งขยะและผักตบชวาจะใช้ได้กับกรณีที่มีระยะจมของขยะและผักตบชวา (y_g และ y_{wh}) อยู่ในช่วง 0.132-0.176 เท่าของความลึกน้ำหน้าบานประตู (y_1)



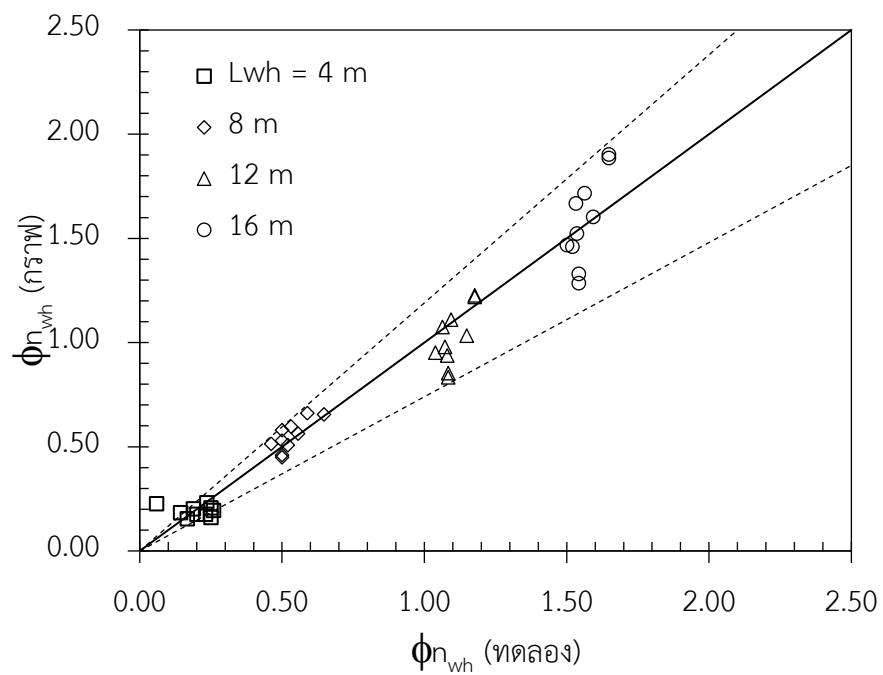
รูป 4-29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϕ_{n_s} กับ L_g/y_1 กรณีขี้ยะ



รูป 4-30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\phi_{n_{wh}}$ กับ L_{wh}/y_1 กรณีผักตบชวา



รูป 4-31 ผลการเปรียบเทียบค่า ϕ_{ng} จากค่ากราฟและค่าจากการทดลอง กรณีขี้นชะ



รูป 4-32 ผลการเปรียบเทียบค่า ϕ_{wh} จากค่ากราฟและค่าจากการทดลอง กรณีฝึกตบขวา

4.7.2 การประมาณค่าการลดลงของ C_d

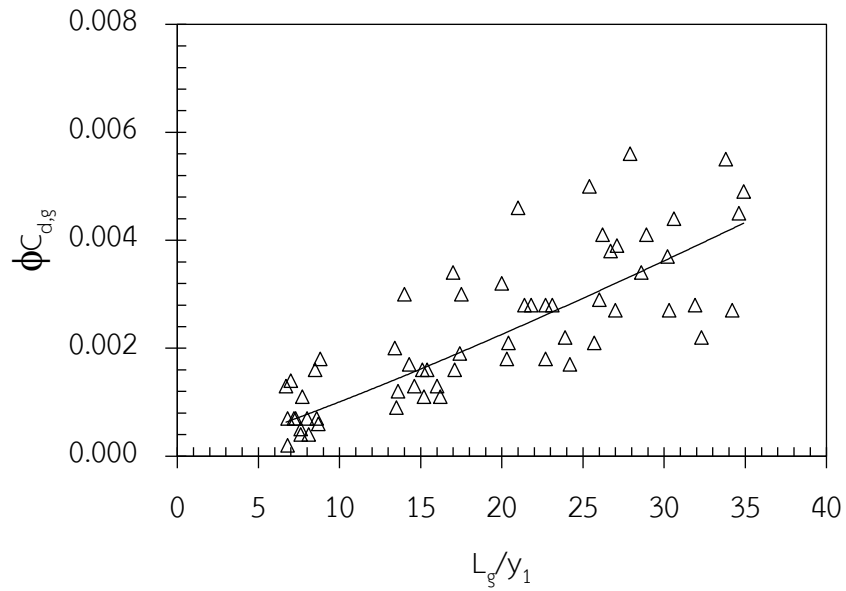
จากการวิเคราะห์ผลของขยะและผักตบชวาที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของประตูด (discharge coefficient, C_d) โดยในกรณีของขยะลอยน้ำพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนค่า ($C_{d,g}/C_{d,0}$) กรณีมีขยะต่อกรณีไม่มีขยะ ส่วนในกรณีของผักตบชวาพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนของค่า ($C_{d,wh}/C_{d,0}$) กรณีมีผักตบชวาต่อกรณีไม่มีผักตบชวา พบว่าทั้งค่า $C_{d,g}/C_{d,0}$ และ $C_{d,wh}/C_{d,0}$ มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ขยะและผักตบชวาส่งผลให้ค่า C_d ลดลง ดังนั้นจึงได้พิจารณาเป็นค่าการลดลงของค่า C_d (reduction in C_d , ϕC_d) โดยในกรณีของขยะค่า $\phi C_{d,g}$ คำนวณจากสมการ 4-3 และในกรณีของผักตบชวาค่า $\phi C_{d,wh}$ คำนวณจากสมการ 4-4

$$\phi C_{d,g} = 1 - \frac{C_{d,g}}{C_{d,0}} \quad (4-3)$$

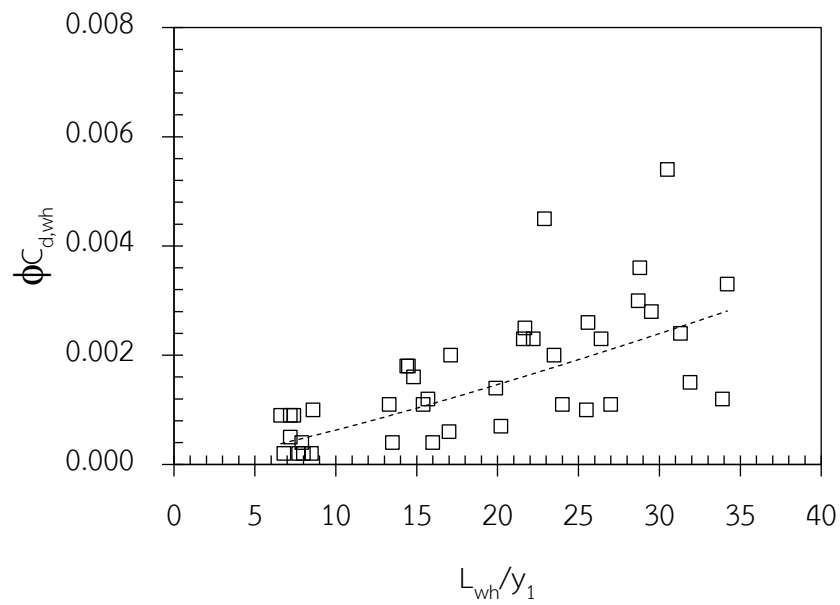
$$\phi C_{d,wh} = 1 - \frac{C_{d,wh}}{C_{d,0}} \quad (4-4)$$

การศึกษาด้วยวิธีกราฟในหัวข้อข้างต้น พิจารณาตัวแปรของปริมาณขยะและผักตบชวา ในรูปแบบของความยาวของขยะและผักตบชวา ต่อความลึกน้ำหน้าบานประตู (L_g/y_1 และ L_{wh}/y_1) และความลึกจมของขยะและผักตบชวาต่อความลึกน้ำหน้าบานประตู (y_g/y_1 และ y_{wh}/y_1) รวมถึงค่าสัดส่วนของความลึกน้ำหน้าบานต่อระยะเปิดบาน (y_1/w) พบว่าค่า C_d สัมพันธ์กับค่า L_g/y_1 และ L_{wh}/y_1 ในขณะที่ y_g/y_1 และ y_{wh}/y_1 ยังไม่ชัดเจน เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ข้อมูล y_g/y_1 และ y_{wh}/y_1 อยู่ในช่วงที่แคบ (0.134-0.176) และค่า C_d ยังคงที่เมื่อค่า y_1/w เพิ่มขึ้น ค่าการลดลงของค่า C_d ของขยะและผักตบชวาเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณขยะและผักตบชวาเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูป 4-33 และรูป 4-34

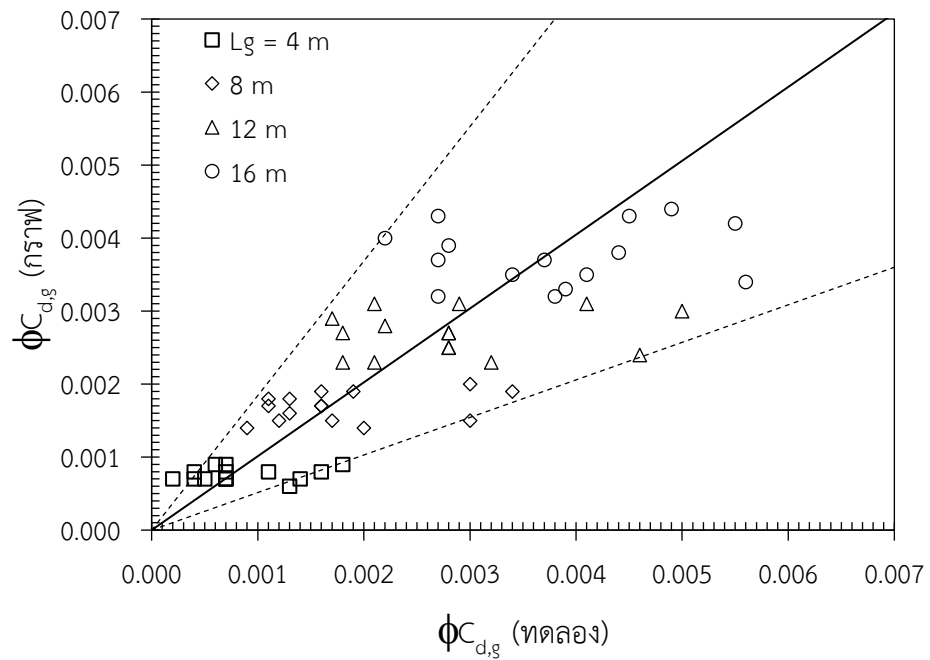
เมื่อนำค่าจากเส้นกราฟ (รูป 4-33 และรูป 4-34) และค่าจากการทดลอง มาเปรียบเทียบกับในกรณีขยะและผักตบชวา ดังแสดงในรูป 4-35 และรูป 4-36 พบว่าค่าอยู่ใกล้เส้น 45 องศา แสดงถึงค่าจากการคำนวณสอดคล้องกับค่าจากการทดลอง อย่างไรก็ตาม สมการทั้งขยะและผักตบชวาจะใช้ได้กับกรณีที่มีระยะจมของขยะและผักตบชวา (y_g และ y_{wh}) อยู่ในช่วง 0.134-0.176 เท่าของความลึกน้ำหน้าบานประตู (y_1)



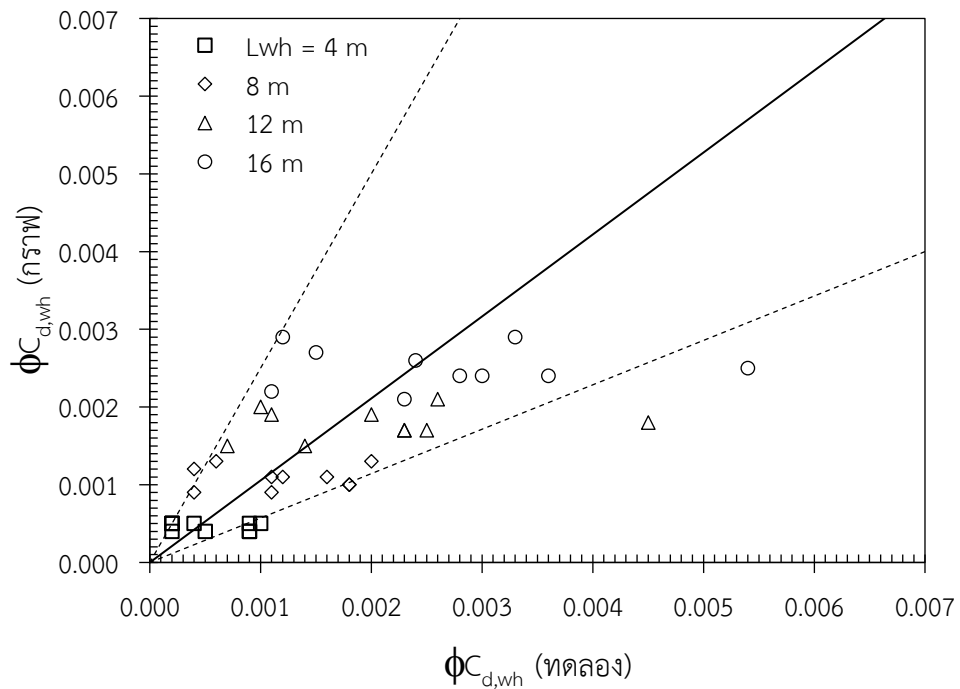
รูป 4-33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\phi_{C_{d,g}}$ กับ L_g/y_1 กรณีขยชะ



รูป 4-34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\phi_{C_{d,wh}}$ กับ L_{wh}/y_1 กรณีฝักตบชวา



รูป 4-35 ผลการเปรียบเทียบค่า $\phi_{C_{d,g}}$ จากค่ากราฟและค่าจากการทดลอง กรณีขี้ชะ



รูป 4-36 ผลการเปรียบเทียบค่า $\phi_{C_{d,wh}}$ จากค่ากราฟ และค่าจากการทดลอง กรณีผักตบชวา

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นถึงการศึกษาชลศาสตร์การระบายน้ำของทางน้ำเปิดและชลศาสตร์การระบายน้ำผ่านประตูน้ำของทางน้ำเปิดที่มีขยะลอยน้ำและผักตบชวา ในการศึกษาชลศาสตร์การระบายน้ำของทางน้ำเปิดจะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระทางน้ำเปิด (Manning' n) กับตัวแปรการไหลของน้ำ ขยะ และผักตบชวา ส่วนการศึกษาชลศาสตร์การระบายน้ำผ่านประตูน้ำ จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (discharge coefficient, C_d) กับตัวแปรการไหลของน้ำ ขยะ และผักตบชวา

ในการศึกษาได้ใช้แบบจำลองทางกายภาพในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจำลองคลองระบายน้ำด้วยรางน้ำเปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด $0.60 \times 18.0 \times 0.75$ ม. ขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) ประกอบด้วย กิ่งไม้ พลาสติก โฟม กระบองที่เคลือบกัน และขวดน้ำ สำหรับวัชพืชมีเพียงผักตบชวา (water hyacinth, WH) โดยแต่ละชนิดใช้ความหนาแน่นเชิงพื้นที่เดียวกัน มีระยะจมของขยะ (y_g) และผักตบชวา (y_{wh}) เฉลี่ยประมาณ 8 ซม. และปริมาณขยะตามระยะการลอย (L_g) และผักตบชวา (L_{wh}) ที่ 4, 8, 12 และ 16 ม. ในการทดลองได้เปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการไหลของน้ำ โดยเปลี่ยนอัตราการไหลและระยะเปิดบานพร้อมกัน 5 ค่า และเปลี่ยนแปลงค่าความลาดตองน้ำ 3 ค่า ในกรณีของขยะ และในกรณีของผักตบชวา 2 ค่า รวมการทดลองทั้งสิ้น 125 กรณี (ขยะ 75 กรณี และผักตบชวา 50 กรณี) สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจากผลของขยะและผักตบชวา

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจากผลของขยะและผักตบชวาแสดงให้เห็นว่า ขยะและผักตบชวาส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำในทางน้ำเปิด โดยปริมาณขยะและผักตบชวาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำเมื่อมีขยะและผักตบชวา มีลักษณะเพิ่มขึ้นทุกตำแหน่งตลอดความยาวของรางทดลอง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำหน้าบานประตู และการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ เกิดจากการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิด (n)

5.1.2 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิดที่มีขยะและผักตบชวา

การศึกษาชลศาสตร์การระบายน้ำของทางน้ำเปิดที่มีขยะลอยน้ำและผักตบชวาได้พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิด (Manning' n) ซึ่งผลการคำนวณค่า Manning's n ทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.0100-0.0450

ในการศึกษาผลปริมาณขยะ (L_g) และผักตบชวา (L_{wh}) พบว่า ผลของปริมาณขยะและผักตบชวาที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า n อย่างเห็นได้ชัด ในกรณีของขยะค่า n เพิ่มขึ้นถึง 450% จากกรณีไม่มีขยะ เมื่อระยะเวลาการลอยเหนือบานประตูของขยะต่อความลึกน้ำ (L_g/y_1) มากกว่า 34 และในกรณีของผักตบชวาเพิ่มขึ้นถึง 375% จากกรณีไม่มีผักตบชวา เมื่อระยะเวลาการลอยเหนือบานประตูของของผักตบชวาต่อความลึกน้ำ (L_{wh}/y_1) มากกว่า 34

ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าระยะจมของขยะ (y_g) และผักตบชวา (y_{wh}) เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า n เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ได้ทดลองระยะจมของขยะและผักตบชวาต่อความลึกน้ำ (y_g/y_1 และ y_{wh}/y_1) ในช่วงที่แคบ 0.133-0.176 และ 0.132-0.171 สำหรับกรณีของขยะและผักตบชวาตามลำดับ จึงทำให้เห็นแนวโน้มยังไม่ชัดเจน

5.1.3 สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของประตูน้ำของทางน้ำเปิดที่มีขยะลอยน้ำและผักตบชวา

การศึกษาชลศาสตร์การระบายน้ำผ่านประตูน้ำของทางน้ำเปิดที่มีขยะลอยน้ำและผักตบชวาได้พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (discharge coefficient, C_d) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่า C_d ลดลงเล็กน้อย (น้อยกว่า 0.6 %) เมื่อปริมาณขยะ (L_g) และผักตบชวา (L_{wh}) เพิ่มขึ้น แสดงว่าภายใต้เงื่อนไขของการศึกษาครั้งนี้ค่า C_d ไม่ได้เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของค่า C_d และค่า y_1/w พบว่า ค่า C_d ลดลงเล็กน้อย เมื่อค่า y_1/w เพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะในการศึกษานี้ค่าความลึกของน้ำค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเปิดบานจึงส่งผลให้ค่า C_d เปลี่ยนแปลงน้อยมาก ผลการศึกษาพบว่าค่า C_d ลดลงเป็นสัดส่วนเดียวกันในทุกค่า y_1/w ในแต่ละปริมาณขยะและผักตบชวาเพิ่มขึ้น

การศึกษาผลของความยาวของปริมาณขยะ (L_g) และผักตบชวา (L_{wh}) พบว่า ผลของปริมาณขยะและผักตบชวาตามระยะเวลาการลอยที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการลดลงของค่า C_d โดยมีลักษณะลดลงในอัตราที่ลดลงเมื่อปริมาณขยะและผักตบชวาเพิ่มขึ้น ในกรณีของขยะค่า C_d ลดลงมากที่สุด 0.56 % จากกรณีไม่มีขยะ เมื่อปริมาณขยะตามระยะเวลาการลอยต่อความลึกน้ำ (L_g/y_1) มากกว่า 27 และในกรณี

ของฝักตบชวาลดลงมากที่สุด 0.54 % จากกรณีไม่มีฝักตบชวา เมื่อปริมาณฝักตบชวาตามระยะเวลาการลอยต่อความลึกน้ำ (L_{wh}/y_1) มากกว่า 30

ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าระยะจมของขยะ (y_g) และฝักตบชวา (y_{wh}) เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า C_d ลดลง อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ได้ทดลองระยะจมของขยะและฝักตบชวาต่อความลึกน้ำ (y_g/y_1 และ y_{wh}/y_1) ในช่วงที่แคบ 0.133-0.176 และ 0.132-0.171 สำหรับกรณีของขยะและฝักตบชวาตามลำดับ จึงทำให้เห็นแนวโน้มยังไม่ชัดเจน

5.1.4 ความแตกต่างระหว่างผลของขยะและฝักตบชวาต่อชลศาสตร์การไหลของน้ำ

ในการศึกษาความแตกต่างระหว่างผลของขยะและฝักตบชวาต่อชลศาสตร์การไหลของน้ำ ประกอบด้วย ชลศาสตร์การระบายน้ำของทางน้ำเปิด และชลศาสตร์การระบายน้ำผ่านประตูน้ำของทางน้ำเปิด ซึ่งขยะและฝักตบชวาที่ลอยน้ำมีระยะจมประมาณ 8 ซม. ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าขยะทำให้ประสิทธิภาพการระบายน้ำในทางน้ำเปิดลดลงมากกว่ากรณีของฝักตบชวา โดยค่า n ของขยะมากกว่าฝักตบชวาอย่างชัดเจนทุกค่า ปริมาณขยะตามระยะเวลาการลอยต่อความลึกน้ำ (L_g/y_1) ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพการระบายน้ำผ่านประตูน้ำลดลง โดยค่า C_d ของขยะน้อยกว่าฝักตบชวาอย่างชัดเจนเมื่อค่าปริมาณขยะตามระยะเวลาการลอยต่อความลึกน้ำ (L_g/y_1) มากกว่า 5

5.1.5 การประมาณค่าอัตราการไหลของน้ำในทางน้ำที่มีขยะและฝักตบชวา

ในการประมาณค่าอัตราการไหลของน้ำในทางน้ำที่มีขยะและฝักตบชวา ประกอบด้วย การระบายน้ำของทางน้ำเปิด ซึ่งพิจารณาเป็นค่าการเพิ่มขึ้นของค่า n (increase in Manning's n , ϕn) และการระบายน้ำผ่านประตูน้ำ ซึ่งพิจารณาเป็นค่าการลดลงของค่า C_d (reduction in C_d , ϕC_d) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ค่าการเพิ่มขึ้นของค่า n (ϕn) และค่าการลดลงของค่า C_d (ϕC_d) จากกราฟทั้งของขยะและฝักตบชวามีความสอดคล้องกับค่าจากการทดลอง สามารถนำไปประมาณค่าการเพิ่มขึ้นของค่า n และค่าการลดลงของค่า C_d ของขยะและฝักตบชวาได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาชลศาสตร์การระบายน้ำของทางน้ำเปิดและชลศาสตร์การระบายน้ำผ่านประตูน้ำของทางน้ำเปิดที่มีขยะลอยน้ำและผักตบชวาในครั้งนี้ ได้ศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพ ในการดำเนินงานได้พบปัญหา อุปสรรค และข้อจำกัดหลายประการ เพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจและต้องการศึกษาเพิ่มเติม รวมถึงการต่อยอดงานวิจัยต่อไปในอนาคต จึงมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1) ผลการศึกษาของการมีขยะและผักตบชวาปนมากับทางน้ำเปิด พบว่าส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระทางน้ำเปิด (Manning' n) ของทางน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (discharge coefficient, C_d) ของประตูน้ำของทางน้ำเปิดอย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดของการศึกษาระยะจนของขยะและผักตบชวา และลักษณะการไหลในทางน้ำ ดังนั้นจึงควรจะมีการขยายการศึกษานี้ต่อไปเพื่อให้ได้คำตอบที่ครอบคลุมเงื่อนไขต่างๆ ที่เป็นสภาพจริง หรือใกล้เคียงที่เป็นจริง

2) ถึงแม้การศึกษานี้จะได้ข้อมูลมาจากแบบจำลองทางกายภาพ ซึ่งเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาอย่างหนึ่งทางด้านชลศาสตร์การไหลของน้ำ แต่ก็ยังคงอยู่บนพื้นฐานและข้อสมมติฐานของเครื่องมือที่ใช้เพื่อให้มีความเหมาะสมในสภาวะการไหลหนึ่งเท่านั้น รวมทั้งไม่อาจคงความเหมือนทางด้านพฤติกรรมชลศาสตร์ของต้นแบบมาได้ทุกประการ และที่สำคัญที่สุดไม่สามารถจำลองการเกิดเหตุการณ์ทางธรรมชาติที่มีการเกิดแบบสุ่ม และส่งผลถึงกันอย่างเป็นระบบที่ต่อเนื่องได้ในห้องปฏิบัติการ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องอาศัยการเก็บวัดจริงในภาคสนามเท่าที่สามารถเก็บวัดได้ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลขั้นพื้นฐานในการใช้ควบคู่กับผลที่ได้จากการทดลอง

3) การนำผักตบชวาของจริงมาใช้ในการทดลองควรระวังในเรื่องของผักตบชวาเน่าเปื่อยได้ง่าย ส่งผลให้น้ำในห้องปฏิบัติการเน่าเสีย ควรทดลองให้เสร็จก่อนที่ลักษณะทางกายภาพของผักตบชวาจะเปลี่ยนแปลงไปและไม่ควรทิ้งไว้ในรางน้ำ

4) การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเฉพาะทางน้ำที่มีขยะลอยน้ำเท่านั้น ในสภาพจริงยังมีขยะบางส่วนที่ไหลแขวนลอยอยู่ในน้ำ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในกรณีขยะที่แขวนลอยอยู่ในน้ำร่วมด้วย

5) การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเฉพาะการไหลของน้ำในทางน้ำเปิดที่ควบคุมด้านท้ายน้ำด้วยบานประตู และการไหลของน้ำผ่านบานประตูแบบอิสระ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในกรณีท้ายน้ำแบบจม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- เสรี จันทโรยธา และ ชัยพันธุ์ รัทวิชัย. (2556). ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดชั้นพื้นฐาน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธรรมวัฒน์ การุณชนกุล. (2541). การกัดเซาะรอบตอม่อสะพานที่เรียงเป็นตับ. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- ปิยะ กุณาศล. (2547). การไหลลอดประตูระบายภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- ภานุสิทธิ์ ดวงศรี, สุวิภา กุศลจุง เสรี จันทโรยธา และ อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์. (2559, 28-30 มิถุนายน 2559). การไหลของคลองระบายน้ำที่มีขยะปน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21, จังหวัดสงขลา.
- สุวิภา กุศลจุง, ภานุสิทธิ์ ดวงศรี เสรี จันทโรยธา และ อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์. (2560, 18-20 กรกฎาคม 2560). สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายโอ๊กในทางน้ำที่มีขยะปน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 22, จังหวัดนครราชสีมา.

ภาษาอังกฤษ

- Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. Singapore: McGraw-Hill.
- Henderson, F. M. (1966). *Open-Channel Hydraulics*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Mohamed, H. I., Abd-Elaal, A.-E. M., & Ahmed, A. (2020). Flow Characteristics of Open Channels with Floating Vegetation. *Journal of Engineering Research*.
- Pham, N., Penning, E., Mynett, A., & Raghurai, R. (2011). Effects of Submerged Tropical Macrophytes on Flow Resistance and Velocity Profiles in Open Channels. *International Journal of River Basin Management*, 9, 195-203.
- Shucksmith, J. D., Boxall, J. B., & Guymer, I. (2010). Effects of emergent and submerged natural vegetation on longitudinal mixing in open channel flow. *AGU* 46(4).
- Urantinon, A., & Pilailar, S. (2015). Effect of Water Hyacinth on Open-Channel Water Flow Behavior: Laboratory Scale. *Kasetsart Journal*, 49, 913-923.
- Wu, F. C., Hsieh Wen, S., & Yi Ju, C. (1999). Variation of Roughness Coefficients for

Unsubmerged and Submerged Vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering* 934-942.



ภาคผนวก ก
การสอบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองจะถูกสอบเทียบก่อนเริ่มการทดลอง เพื่อศึกษาขีดจำกัดและความถูกต้องแม่นยำ

ก-1 การสอบเทียบความลาดท้องน้ำ

รางน้ำจำลองการไหลสามารถปรับความลาดท้องน้ำได้ โดยใช้ระบบไฟฟ้าแบบแม่แรงหมุนยกด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อ่านมาตรฐานความลาดท้องน้ำได้จากไม้บรรทัดมาตราเมตริกดังรูป ก-1 วิธีการสอบเทียบเริ่มจากการชั่งน้ำไว้ในราง วัดความลึกน้ำที่ตำแหน่งทั้ง 7 ตำแหน่ง ได้แก่ 2, 4, 6, 8, 12 และ 14 ม. นับจากประตูบานยกด้านท้ายน้ำ และคำนวณความลาดท้องน้ำจากสมการ

$$S_0 = \frac{h_2 - h_1}{L} \quad (\text{ก-1})$$

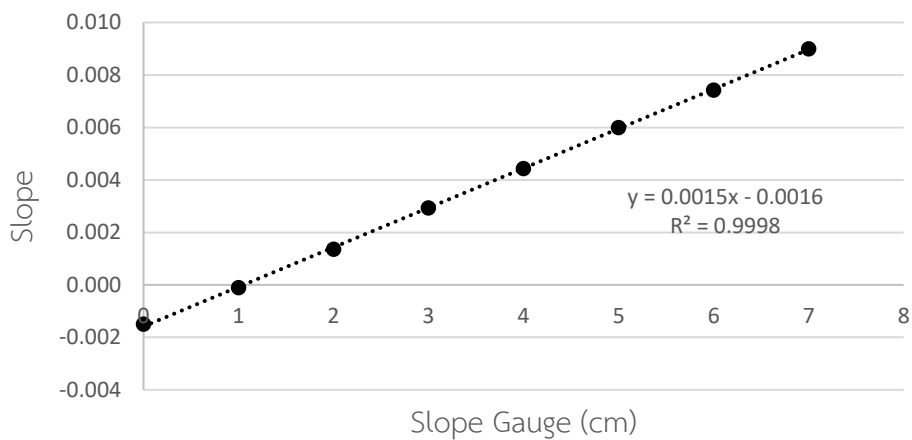


รูปที่ ก-1 มาตรฐานวัดความลาดชัน

ข้อมูลและผลการสอบเทียบความลาดท้องน้ำ แสดงดังตาราง ก-1 และรูป ก-2

ตาราง ก-1 ข้อมูลการสอบเทียบความลาดท้องน้ำ

Slope Gauge (cm)	ความลึกน้ำ (cm)							Slope
	#2m	#4m	#6m	#8m	#12m	#14m	#16m	
0	8.8	9.5	9.8	9.7	10.2	10.7	10.9	-0.00150
1	9.6	10.0	10.1	9.8	9.6	9.9	9.8	-0.00011
2	10.5	10.6	10.4	9.8	9.0	9.0	8.6	0.00136
3	11.5	11.3	10.8	9.8	8.5	8.2	7.4	0.00293
4	12.5	12.0	11.2	9.9	8.0	7.8	6.3	0.00443
5	13.5	12.7	11.6	10.0	7.5	6.5	5.1	0.00600
6	14.4	13.4	12.0	10.0	6.9	5.7	4.0	0.00743
7	15.5	14.1	11.9	10.1	6.3	4.9	2.9	0.00900



รูปที่ ก-2 ผลการสอบเทียบความลาดท้องน้ำ

ก-2 การสอบเทียบอัตราการไหลผ่านฝายสันคม

$$Q = 0.0096H^{2.6004} \quad (R^2 = 0.9992) \quad (\text{ก-2})$$

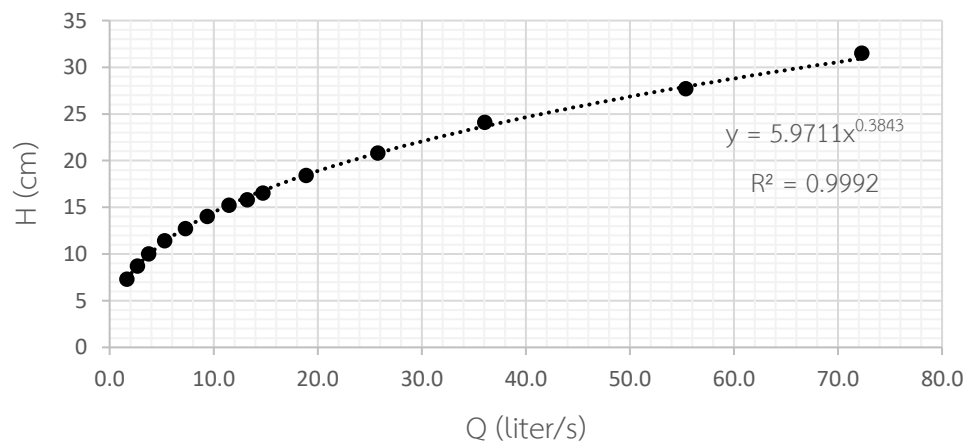
ตาราง ก-2 ข้อมูลการสอบเทียบอัตราการไหลผ่านฝายสันคม

ปริมาตร (ลิตร)	เวลา #1 (วินาที)	เวลา #2 (วินาที)	เวลา #3 (วินาที)	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	ความสูงน้ำ เหนือสันฝาย (ซม.)	อัตราการไหล จากสมการ (ลิตร/วินาที)
45.16	27.49	27.53	27.55	27.52	1.64	7.30	1.69
45.16	16.43	17.43	16.83	16.90	2.67	8.70	2.66
45.16	12.29	12.42	11.70	12.14	3.72	10.00	3.83
45.16	8.85	8.44	8.47	8.59	5.26	11.40	5.38
45.16	6.08	6.35	6.23	6.22	7.26	12.70	7.12
50.18	5.40	5.16	5.49	5.35	9.38	14.00	9.18
50.18	4.21	4.31	4.63	4.38	11.45	15.20	11.36
95.34	6.99	7.40	7.24	7.21	13.22	15.80	12.57
95.34	6.45	6.54	6.45	6.48	14.71	16.50	14.07
95.34	5.07	5.02	5.06	5.05	18.88	18.40	18.68
95.34	3.62	3.73	3.75	3.70	25.77	20.80	25.69
140.49	3.84	3.93	3.93	3.90	36.02	24.10	37.68
200.71	3.70	3.55	3.63	3.63	55.34	27.70	54.11
200.71	2.74	2.78	2.81	2.78	72.28	31.50	75.59

ตาราง ก-3 ข้อมูลการอ่านค่าอัตราการไหลจากมาตรวัดอัตราการไหล

ลำดับที่	ความสูงระดับน้ำ H (ซม.)	อัตราการไหล Q (ลิตรต่อวินาที)
1	7.3	1.64
2	8.7	2.67
3	10.0	3.72
4	11.4	5.26
5	12.7	7.26
6	14.0	9.38
7	15.2	11.45
8	15.8	13.22
9	16.5	14.71
10	18.4	18.88
11	20.8	25.77
12	24.1	36.02
13	27.7	55.34
14	31.5	72.28

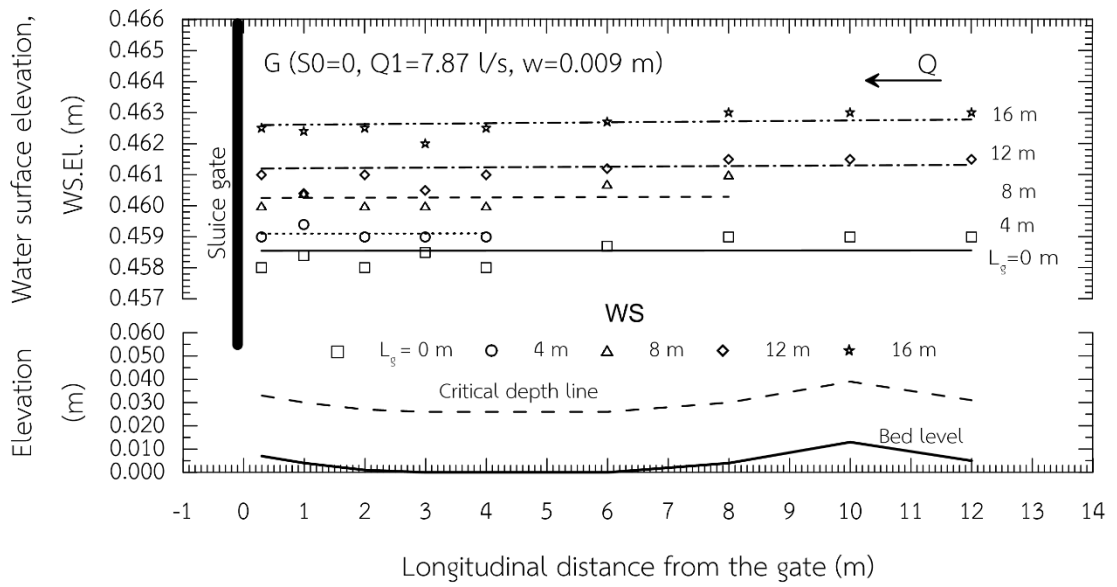
Rating Curve of V-notch Weir



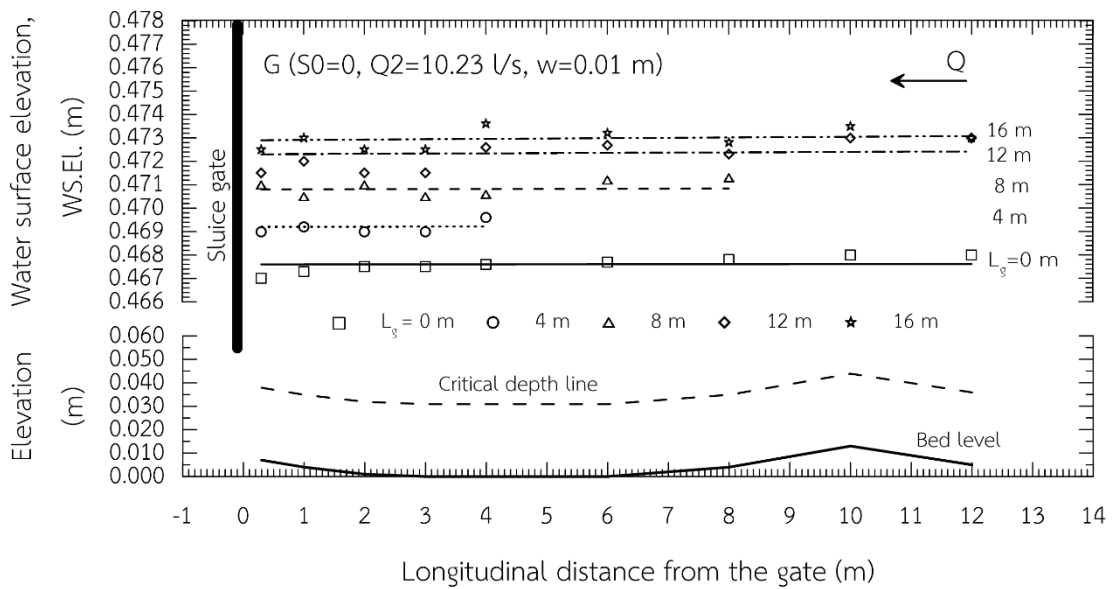
รูปที่ ก-3 ผลการสอบเทียบอัตราการไหล

ภาคผนวก ข การลากเส้นผิวน้ำ

การลากเส้นผิวน้ำได้พิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองซึ่งได้วัดระดับผิวน้ำที่ระยะ 0.3, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 และ 12 ม. จากบานประตู พบว่า ข้อมูลจากการวัดมีลักษณะไม่คงที่ ไม่เป็นระนาบเดียวกัน เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการไหลของน้ำที่เป็นจริง จึงลากเส้นผิวน้ำเฉลี่ยใกล้เคียงกับข้อมูลจากการทดลอง โดยกรณีของขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) มี 3 ความลาดต่องน้ำ ได้แสดงผลเส้นผิวน้ำไว้ในรูป ข-1 ถึงรูป ข-3 และได้แสดงค่าของระดับน้ำไว้ในตาราง ข-1 ถึงตาราง ข-3 และกรณีของผักตบชวา (water hyacinth, WH) มี 2 ความลาดต่องน้ำ แสดงผลเส้นผิวน้ำไว้ในรูป ข-4 และรูป ข-5 และแสดงค่าของระดับน้ำไว้ในตาราง ข-4 และตาราง ข-5

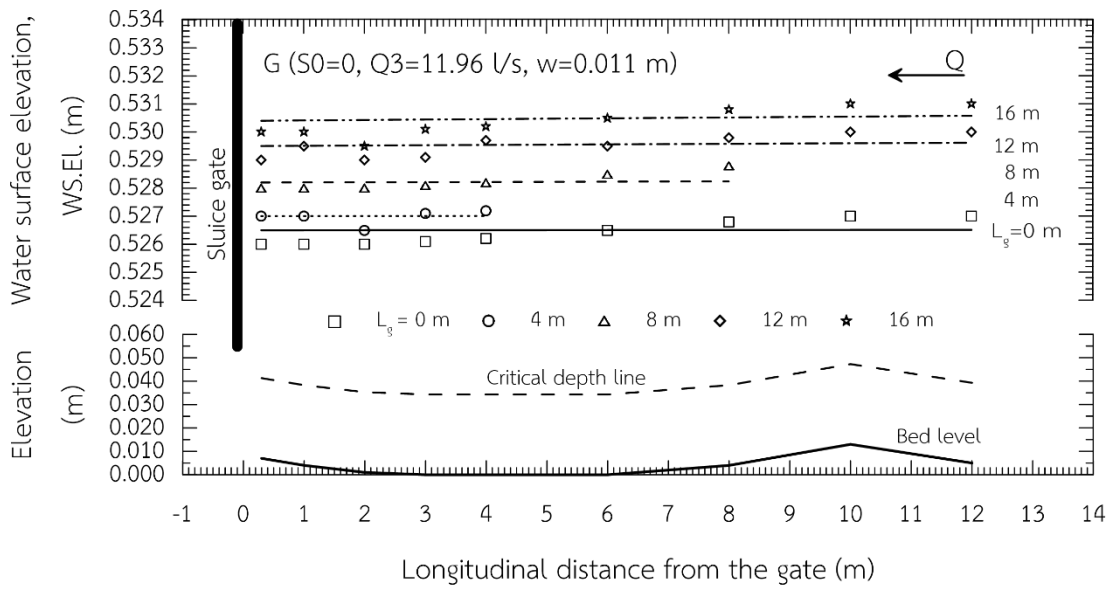


ก) อัตราการไหล Q_1

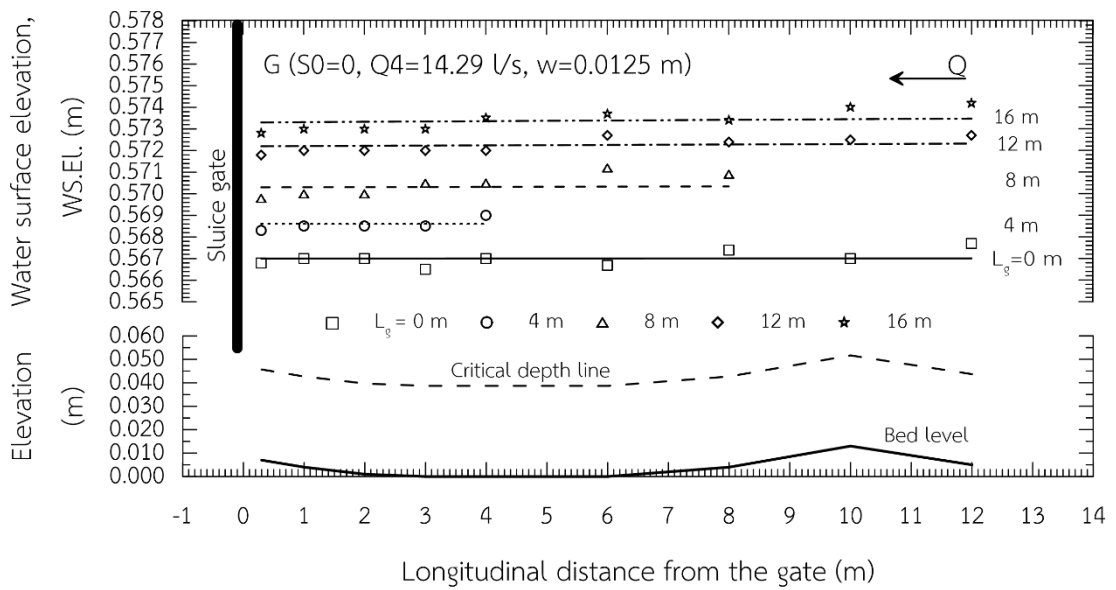


ข) อัตราการไหล Q_2

รูป ข-1 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0$ กรณีขยะลอยน้ำ

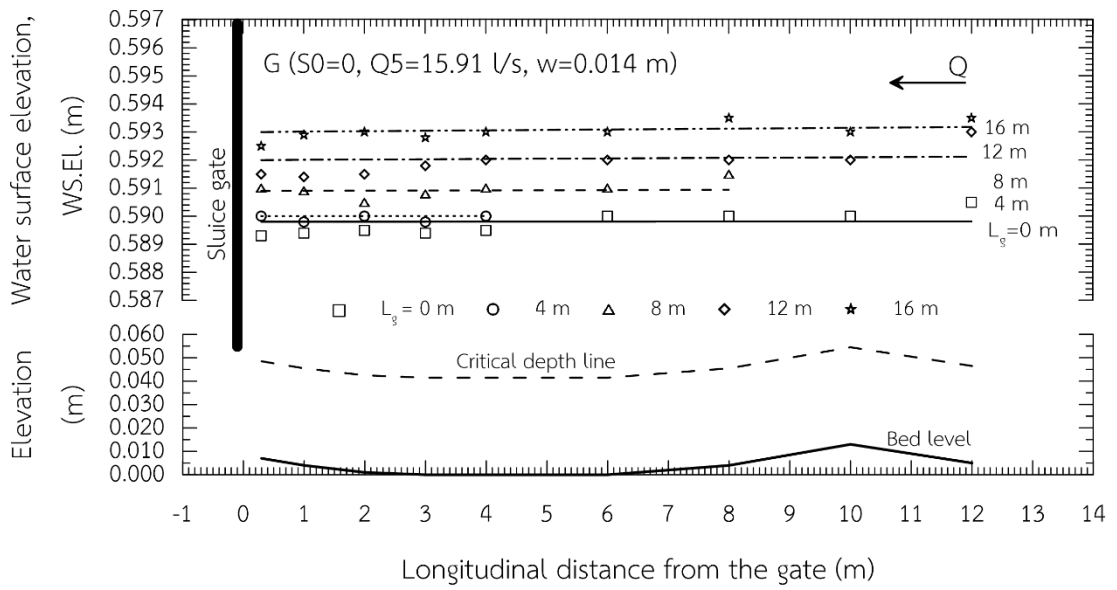


ค) อัตราการไหล Q3



ง) อัตราการไหล Q4

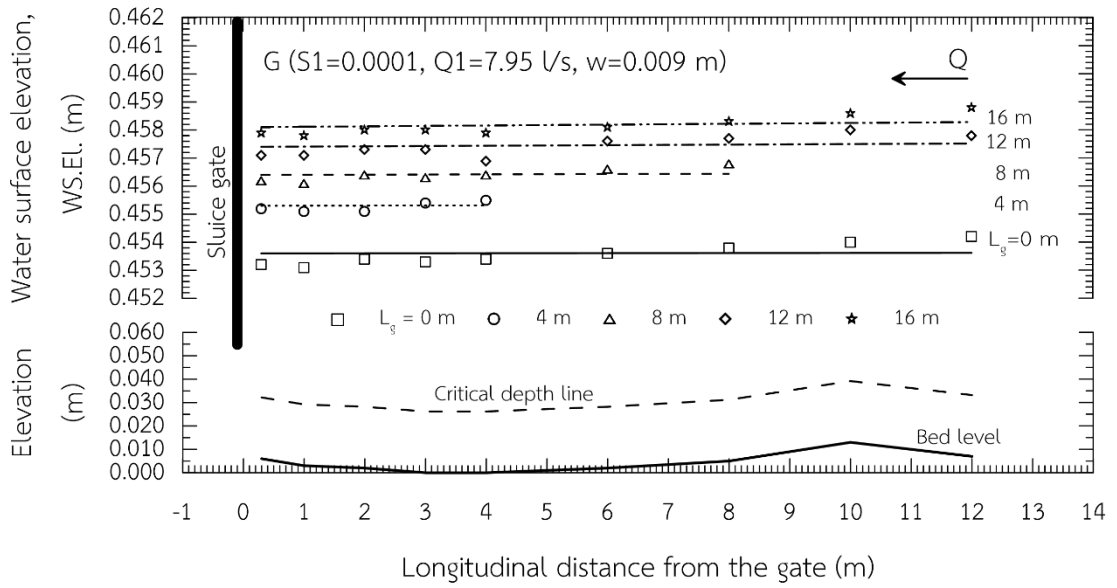
รูป ข-1 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0$ กรณีขยชะลอน้ำ (ต่อ)



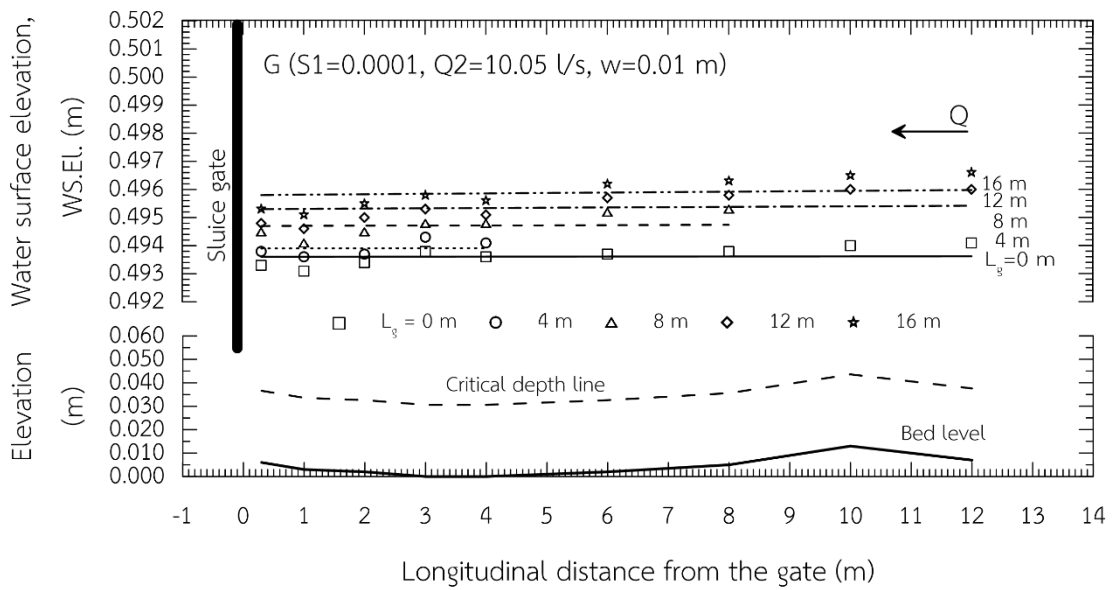
จ) อัตราการไหล Q5

รูป ข-1 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0$ กรณีขะลอยน้ำ (ต่อ)



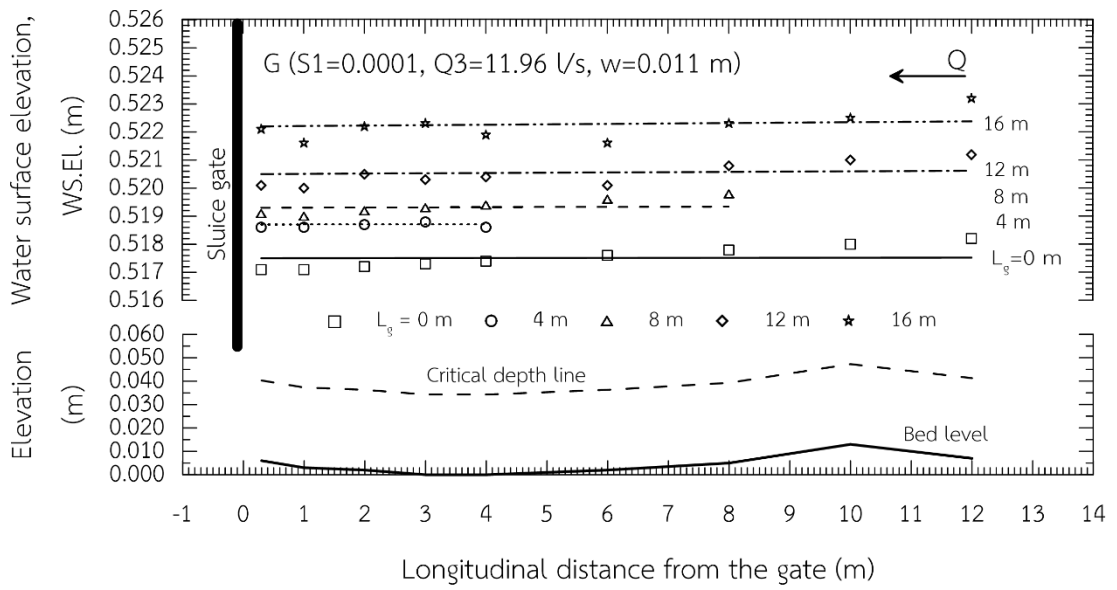


ก) อัตราการไหล Q1

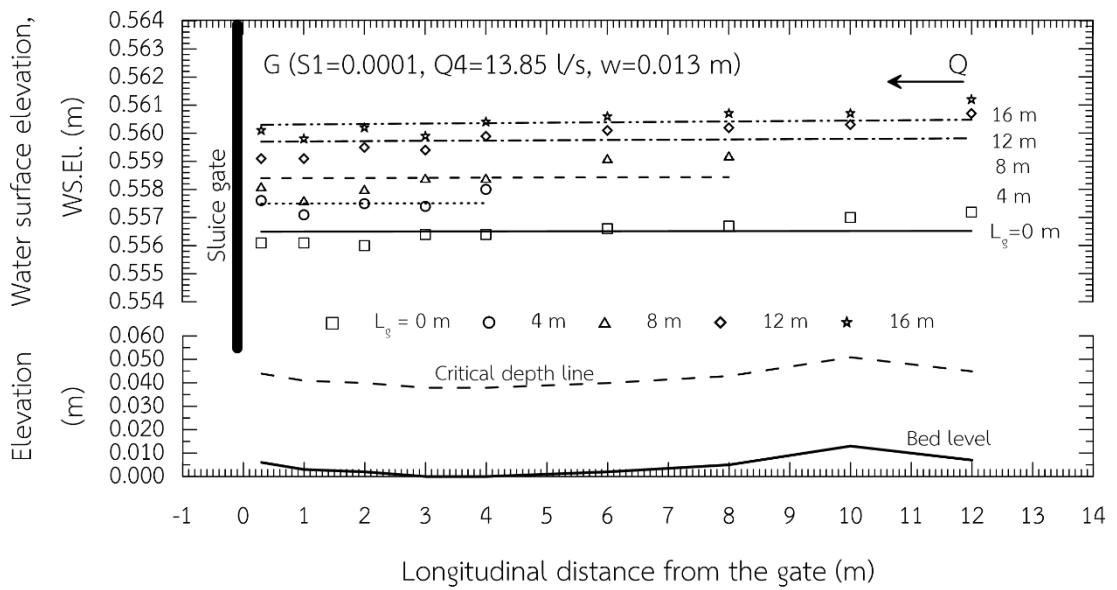


ข) อัตราการไหล Q2

รูป ข-2 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0.0001$ กรณีขยะลอยน้ำ

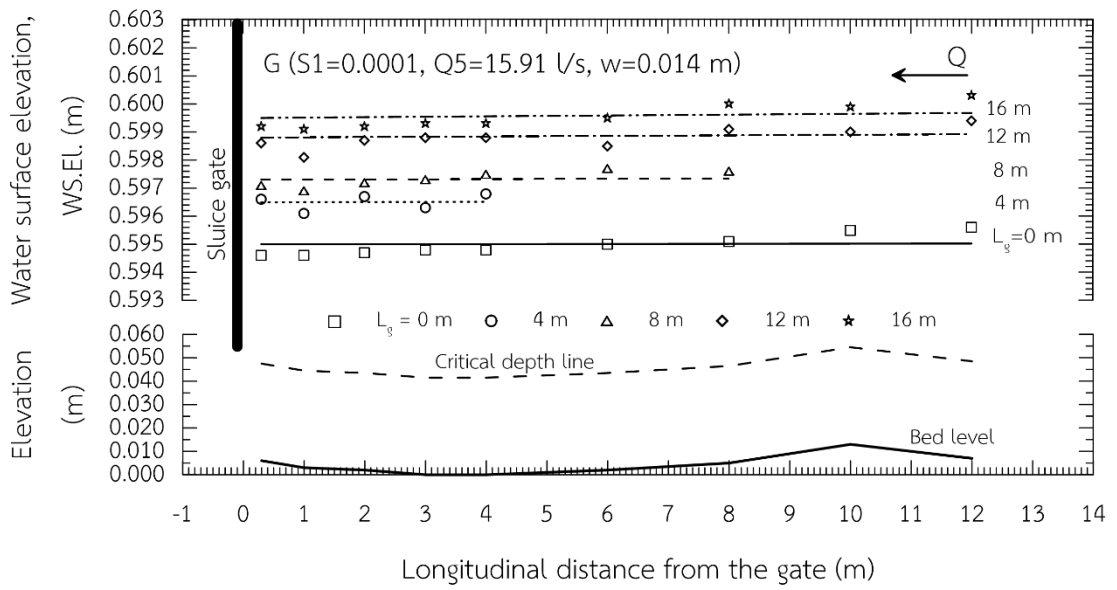


ค) อัตราการไหล Q3



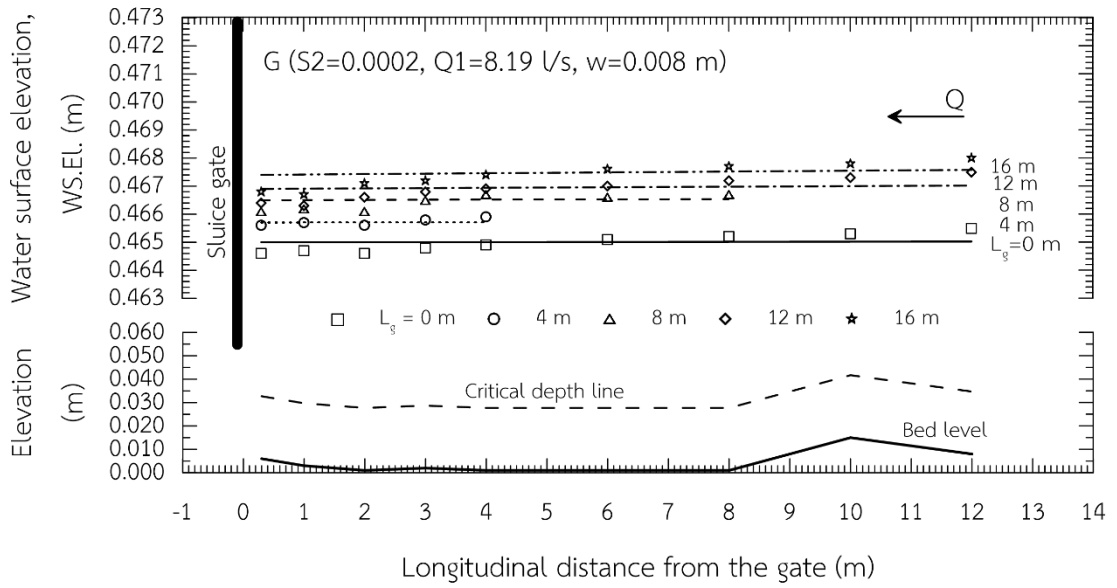
ง) อัตราการไหล Q4

รูป ข-2 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0.0001$ กรณีขยะลอยน้ำ (ต่อ)

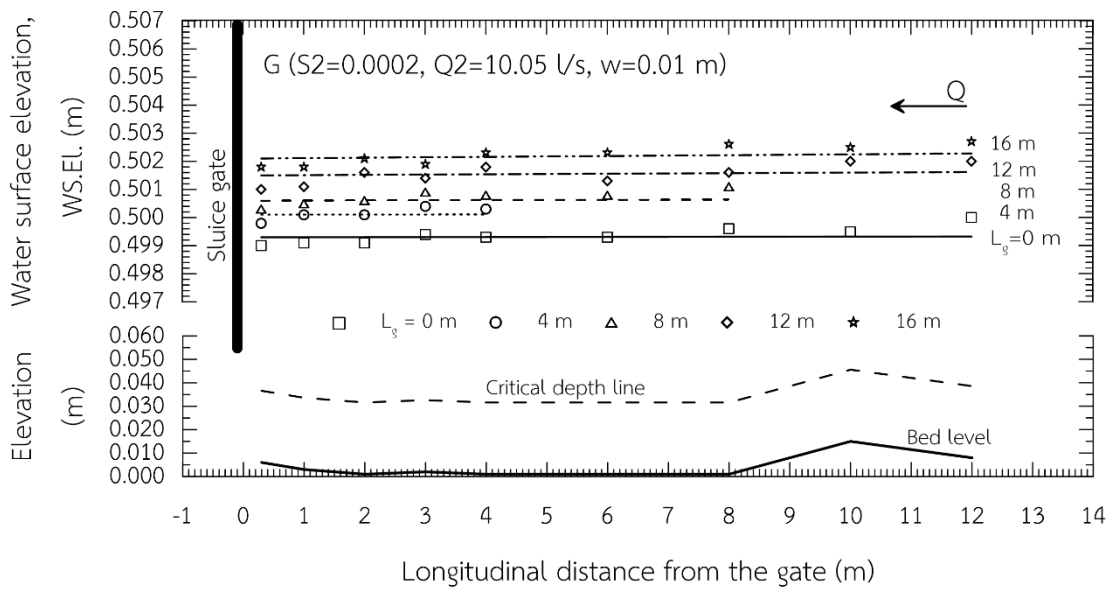


จ) อัตราการไหล Q5

รูป ข-2 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0.0001$ กรณีขยชะลอน้ำ (ต่อ)

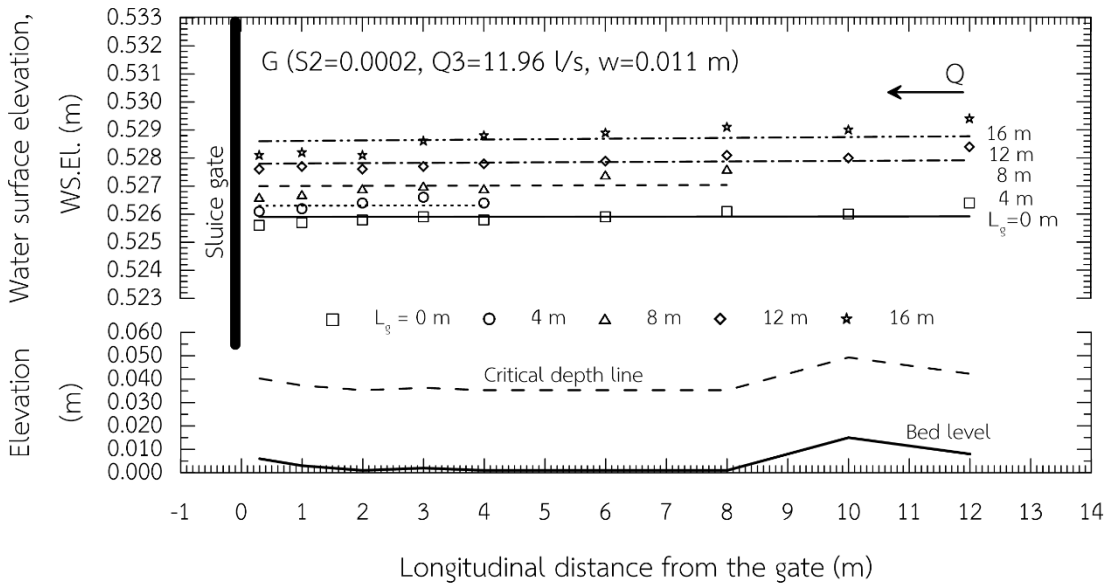


ก) อัตราการไหล Q1

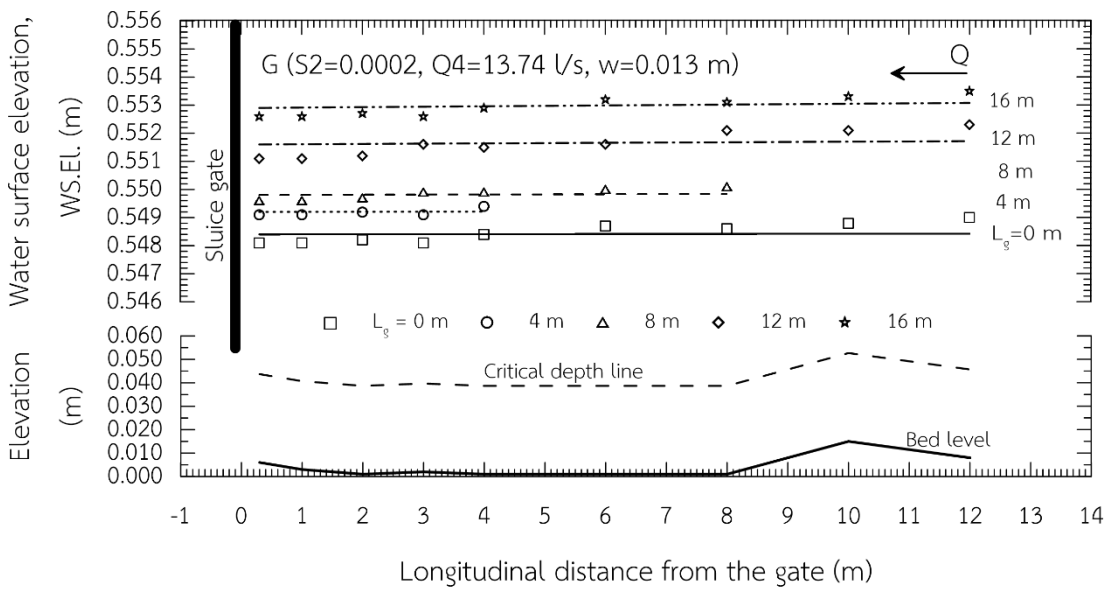


ข) อัตราการไหล Q2

รูป ข-3 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0.0002$ กรณีขะลยน้ำ

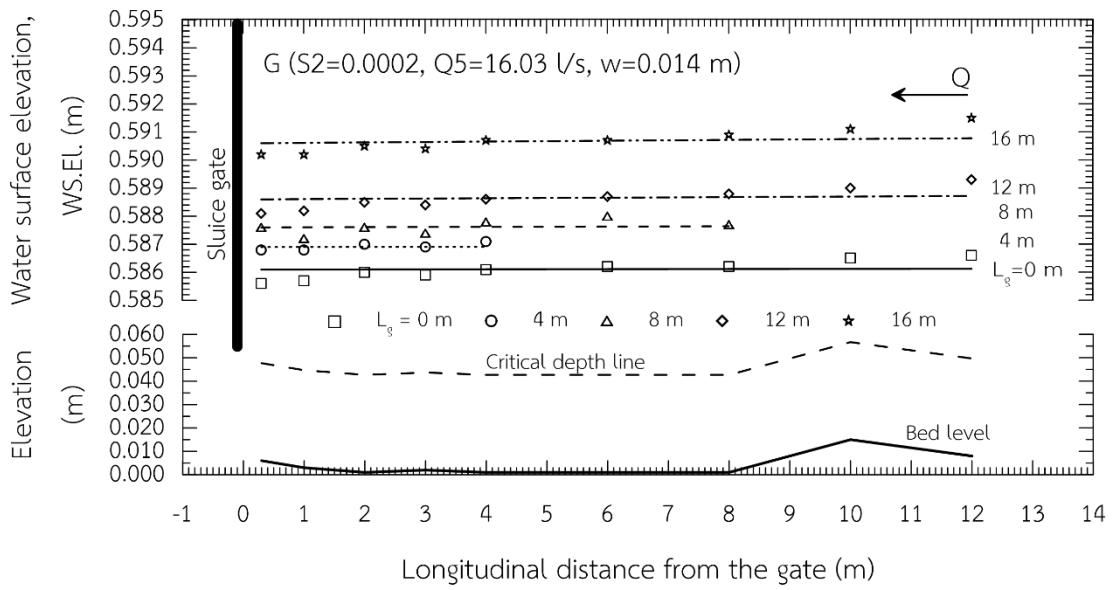


ค) อัตราการไหล Q3



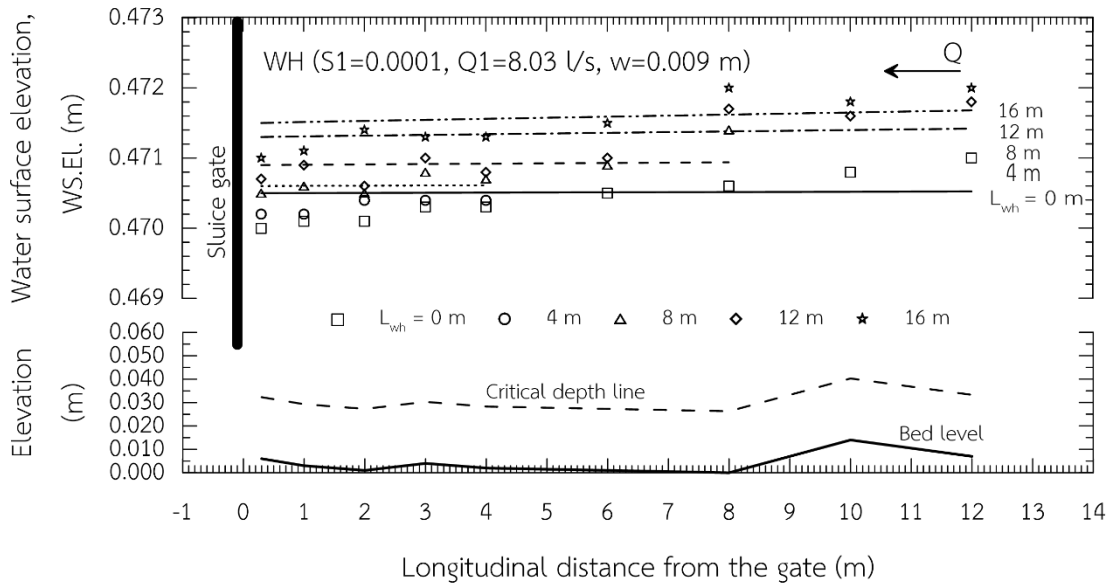
ง) อัตราการไหล Q4

รูป ข-3 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0.0002$ กรณีขยชะลอน้ำ (ต่อ)

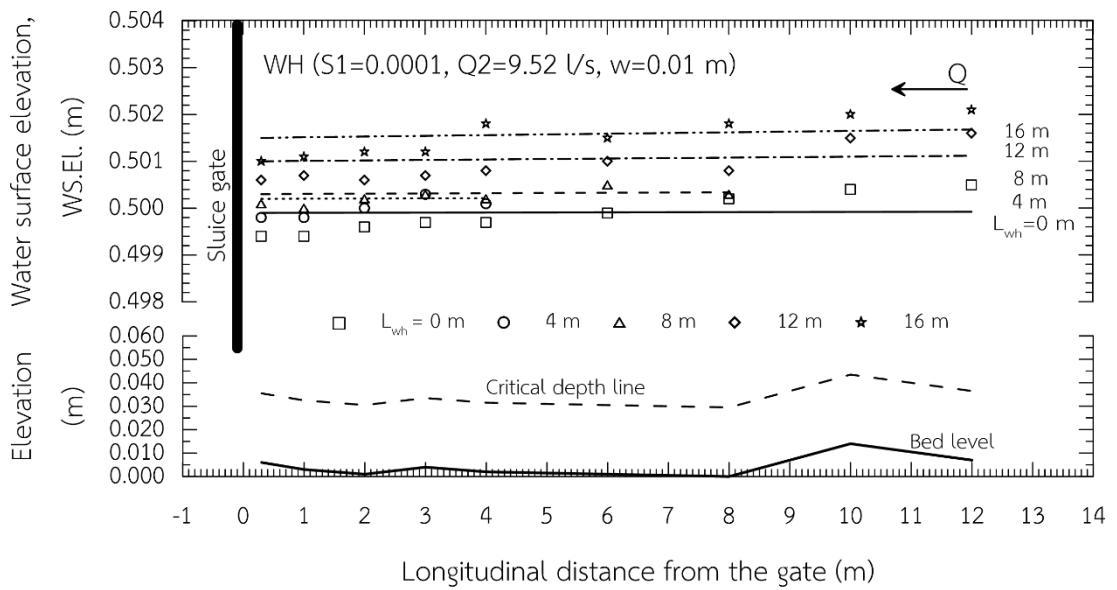


จ) อัตราการไหล Q5

รูป ข-3 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0.0002$ กรณีขยชะลอน้ำ (ต่อ)

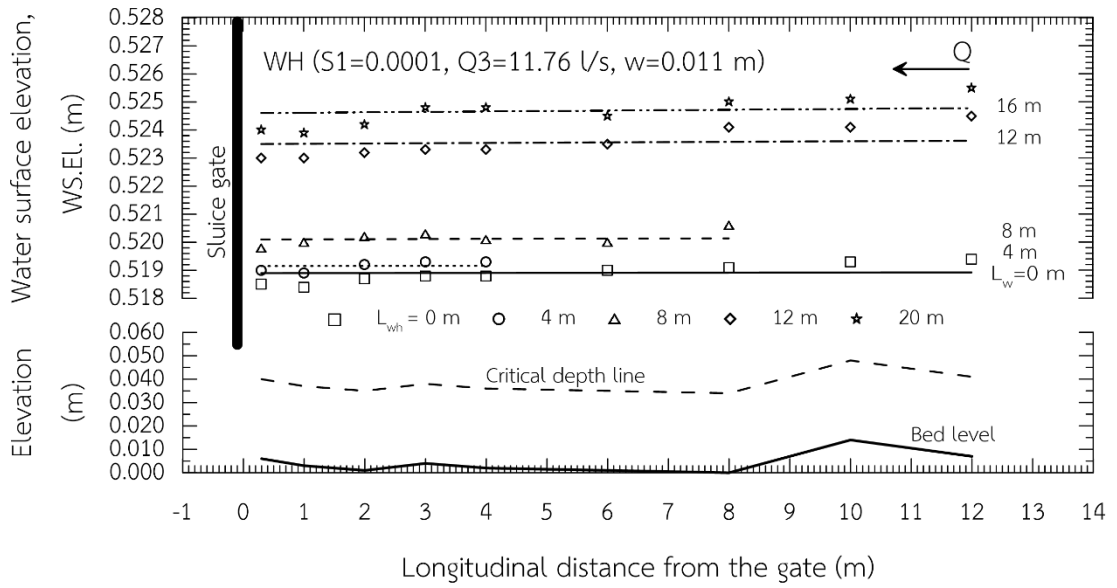


ก) อัตราการไหล Q_1

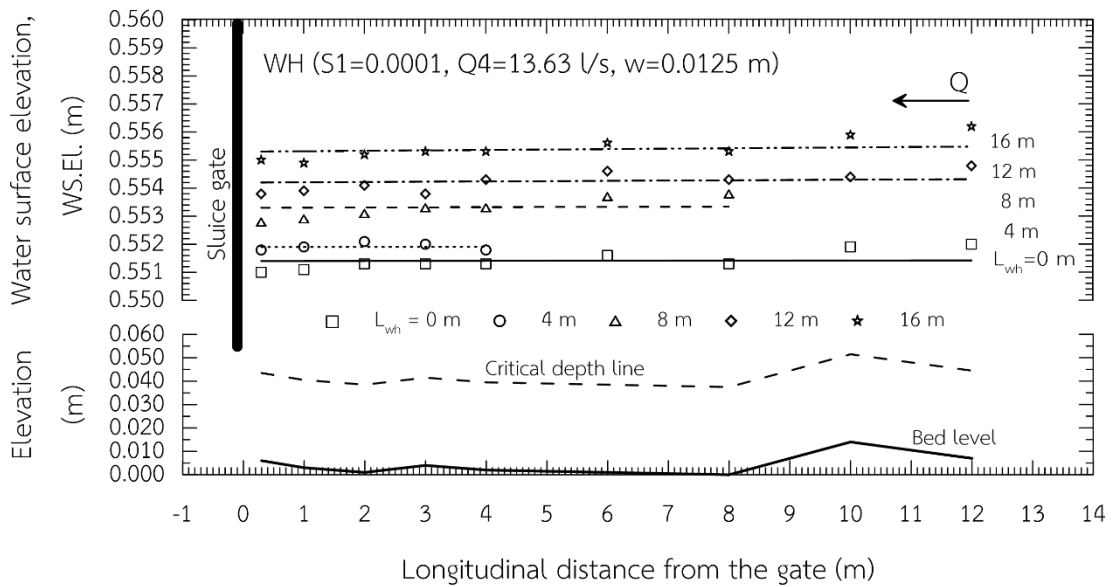


ข) อัตราการไหล Q_2

รูป ข-4 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0.0001$ กรณีฝักตบขวา

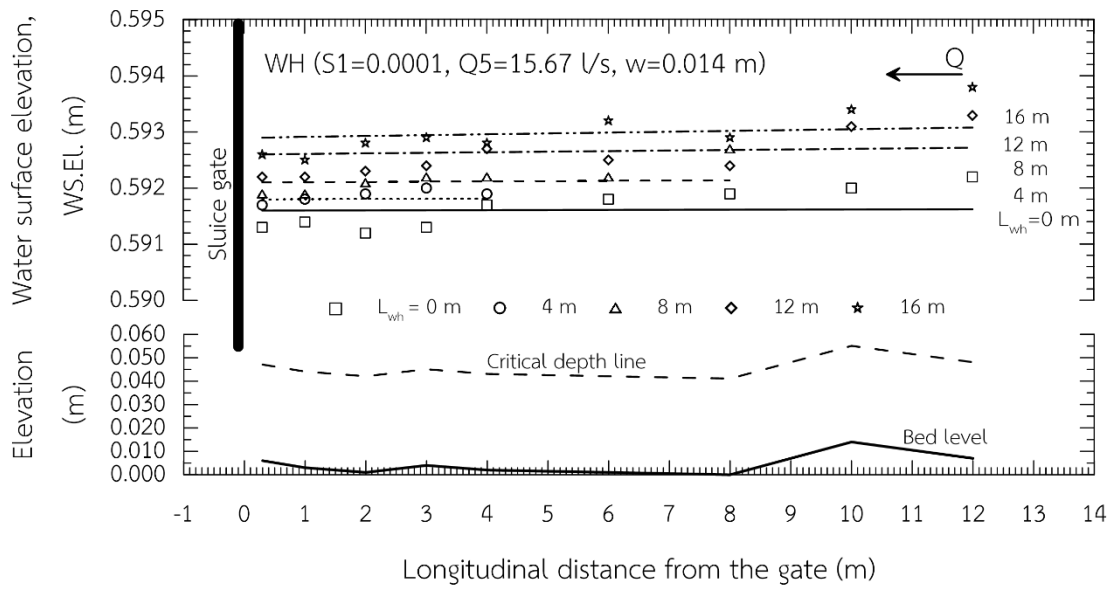


ค) อัตราการไหล Q3



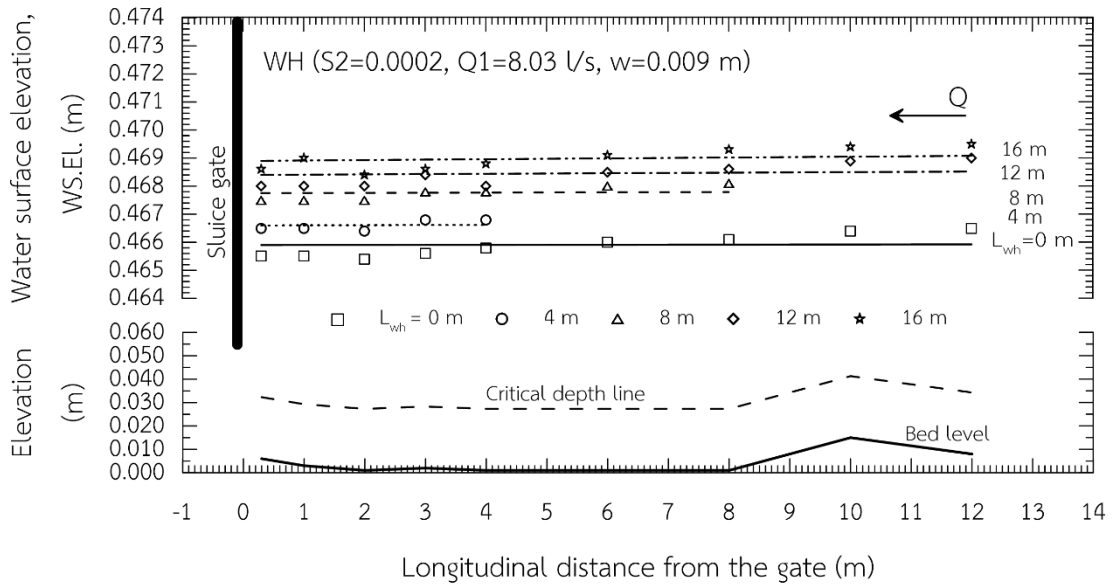
ง) อัตราการไหล Q4

รูป ข-4 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0.0001$ กรณีผักตบชวา (ต่อ)

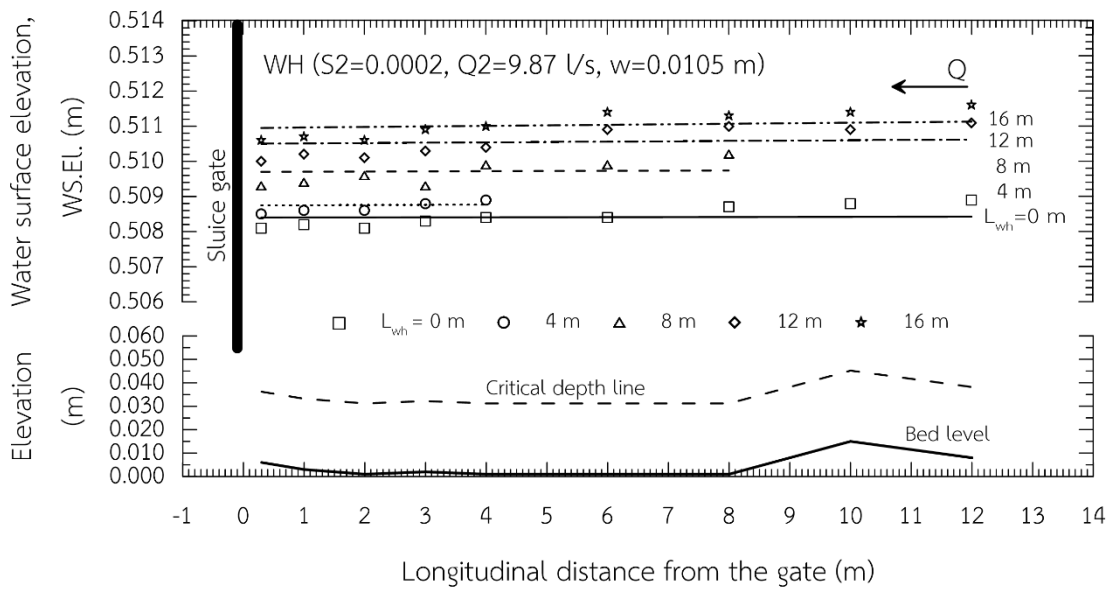


จ) อัตราการไหล Q_5

รูป ข-4 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0.0001$ กรณีฝักตบขวา (ต่อ)

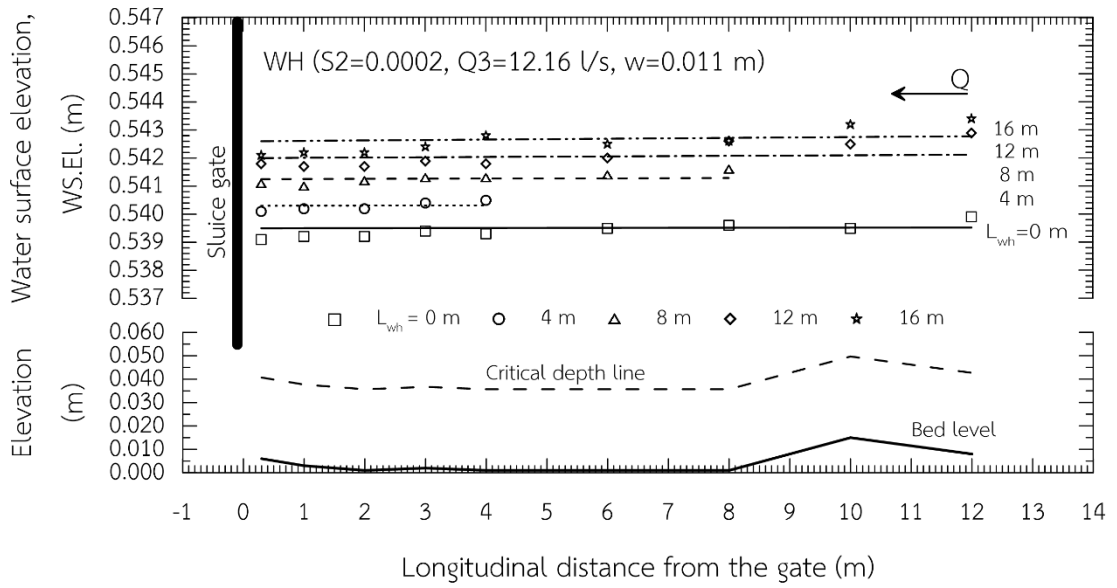


ก) อัตราการไหล Q_1

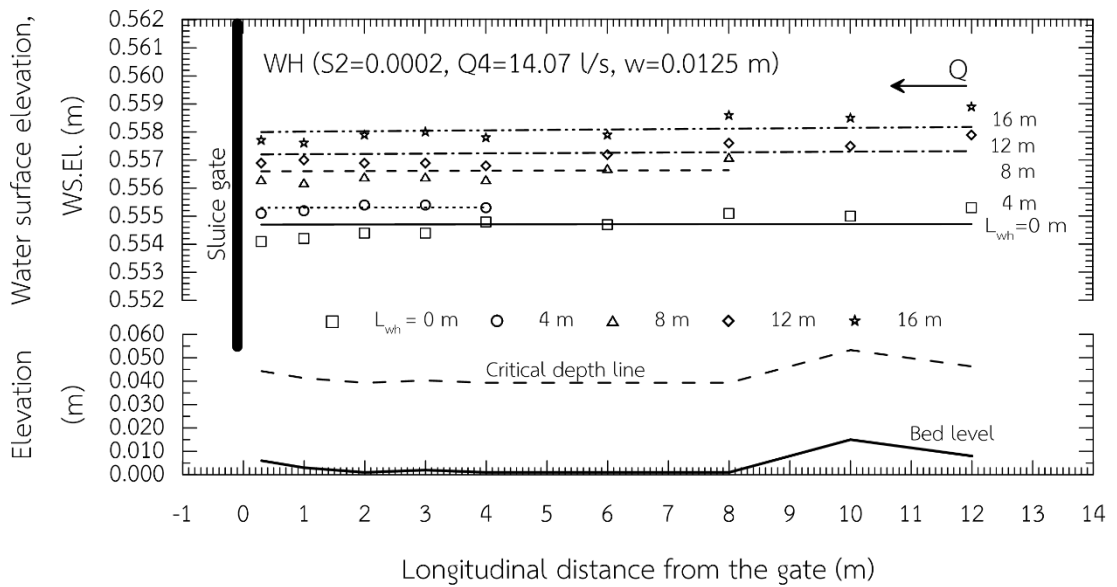


ข) อัตราการไหล Q_2

รูป ข-5 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0.0002$ กรณีฝักตบขวา

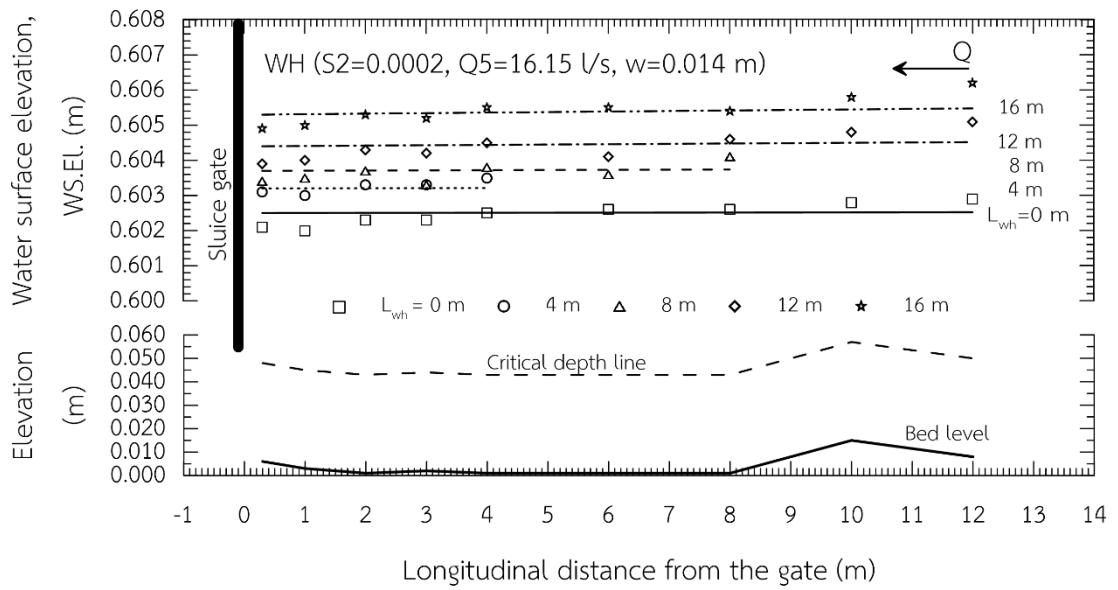


ค) อัตราการไหล Q_3



ง) อัตราการไหล Q_4

รูป ข-5 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0.0002$ กรณีฝักตบขวา (ต่อ)



จ) อัตราการไหล Q_5

รูป ข-5 เส้นผิวน้ำจากข้อมูลทดลอง เมื่อ $S_0=0.0002$ กรณีฝักตบขวา (ต่อ)

ตาราง ข-1 ระดับเส้นผิวน้ำ กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0

Case No.	WS.El. at positions from gate (m)									WS.El. average	Ratio WS_s/WS_0
	0.3 m	1 m	2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m		
S0Q1G0	0.45855	0.45855	0.45855	0.45855	0.45855	0.45856	0.45856	0.45856	0.45856	0.4586	1.000
S0Q1G1	0.45910	0.45910	0.45910	0.45911	0.45911	0.45911	0.45912	0.45912	0.45912	0.4591	1.001
S0Q1G2	0.46025	0.46026	0.46026	0.46027	0.46027	0.46028	0.46029	0.46030	0.46031	0.4603	1.004
S0Q1G3	0.46120	0.46121	0.46122	0.46123	0.46124	0.46126	0.46128	0.46130	0.46132	0.4613	1.006
S0Q1G4	0.46260	0.46262	0.46263	0.46265	0.46266	0.46269	0.46272	0.46275	0.46278	0.4627	1.009
S0Q2G0	0.46760	0.46760	0.46760	0.46760	0.46760	0.46761	0.46761	0.46761	0.46761	0.4676	1.000
S0Q2G1	0.46920	0.46920	0.46920	0.46921	0.46921	0.46921	0.46922	0.46922	0.46922	0.4692	1.003
S0Q2G2	0.47080	0.47081	0.47081	0.47082	0.47082	0.47083	0.47084	0.47085	0.47086	0.4708	1.007
S0Q2G3	0.47230	0.47231	0.47232	0.47233	0.47234	0.47236	0.47238	0.47240	0.47242	0.4724	1.010
S0Q2G4	0.47290	0.47292	0.47293	0.47295	0.47296	0.47299	0.47302	0.47305	0.47308	0.4730	1.012
S0Q3G0	0.52650	0.52650	0.52650	0.52650	0.52650	0.52651	0.52651	0.52651	0.52651	0.5265	1.000
S0Q3G1	0.52700	0.52700	0.52700	0.52701	0.52701	0.52701	0.52702	0.52702	0.52702	0.5270	1.001
S0Q3G2	0.52820	0.52821	0.52821	0.52822	0.52822	0.52823	0.52824	0.52825	0.52826	0.5282	1.003
S0Q3G3	0.52950	0.52951	0.52952	0.52953	0.52954	0.52956	0.52958	0.52960	0.52962	0.5296	1.006
S0Q3G4	0.53040	0.53042	0.53043	0.53045	0.53046	0.53049	0.53052	0.53055	0.53058	0.5305	1.008
S0Q4G0	0.56700	0.56700	0.56700	0.56700	0.56700	0.56701	0.56701	0.56701	0.56701	0.5670	1.000
S0Q4G1	0.56860	0.56860	0.56860	0.56861	0.56861	0.56861	0.56862	0.56862	0.56862	0.5686	1.003
S0Q4G2	0.57030	0.57031	0.57031	0.57032	0.57032	0.57033	0.57034	0.57035	0.57036	0.5703	1.006
S0Q4G3	0.57220	0.57221	0.57222	0.57223	0.57224	0.57226	0.57228	0.57230	0.57232	0.5723	1.009
S0Q4G4	0.57330	0.57332	0.57333	0.57335	0.57336	0.57339	0.57342	0.57345	0.57348	0.5734	1.011
S0Q5G0	0.58980	0.58980	0.58980	0.58980	0.58980	0.58981	0.58981	0.58981	0.58981	0.5898	1.000
S0Q5G1	0.59000	0.59000	0.59000	0.59001	0.59001	0.59001	0.59002	0.59002	0.59002	0.5900	1.000
S0Q5G2	0.59090	0.59091	0.59091	0.59092	0.59092	0.59093	0.59094	0.59095	0.59096	0.5909	1.002
S0Q5G3	0.59200	0.59201	0.59202	0.59203	0.59204	0.59206	0.59208	0.59210	0.59212	0.5921	1.004
S0Q5G4	0.59300	0.59302	0.59303	0.59305	0.59306	0.59309	0.59312	0.59315	0.59318	0.5931	1.006

ตาราง ข-2 ระดับเส้นผิวน้ำ กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0.0001

Case No.	WS.El. at positions from gate (m)									WS.El. average	Ratio WS_g/WS_0
	0.3 m	1 m	2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m		
S1Q1G0	0.45360	0.45360	0.45360	0.45361	0.45361	0.45361	0.45362	0.45362	0.45362	0.4536	1.000
S1Q1G1	0.45530	0.45530	0.45531	0.45531	0.45531	0.45532	0.45532	0.45533	0.45534	0.4553	1.004
S1Q1G2	0.45640	0.45641	0.45641	0.45642	0.45642	0.45643	0.45644	0.45645	0.45646	0.4564	1.006
S1Q1G3	0.45740	0.45741	0.45742	0.45743	0.45744	0.45746	0.45748	0.45750	0.45752	0.4575	1.009
S1Q1G4	0.45810	0.45812	0.45813	0.45815	0.45816	0.45819	0.45822	0.45825	0.45828	0.4582	1.010
S1Q2G0	0.49360	0.49360	0.49360	0.49361	0.49361	0.49361	0.49362	0.49362	0.49362	0.4936	1.000
S1Q2G1	0.49390	0.49390	0.49391	0.49391	0.49391	0.49392	0.49392	0.49393	0.49394	0.4939	1.001
S1Q2G2	0.49470	0.49471	0.49471	0.49472	0.49472	0.49473	0.49474	0.49475	0.49476	0.4947	1.002
S1Q2G3	0.49530	0.49531	0.49532	0.49533	0.49534	0.49536	0.49538	0.49540	0.49542	0.4954	1.004
S1Q2G4	0.49580	0.49582	0.49583	0.49585	0.49586	0.49589	0.49592	0.49595	0.49598	0.4959	1.005
S1Q3G0	0.51750	0.51750	0.51750	0.51751	0.51751	0.51751	0.51752	0.51752	0.51752	0.5175	1.000
S1Q3G1	0.51870	0.51870	0.51871	0.51871	0.51871	0.51872	0.51872	0.51873	0.51874	0.5187	1.002
S1Q3G2	0.51930	0.51931	0.51931	0.51932	0.51932	0.51933	0.51934	0.51935	0.51936	0.5193	1.003
S1Q3G3	0.52050	0.52051	0.52052	0.52053	0.52054	0.52056	0.52058	0.52060	0.52062	0.5206	1.006
S1Q3G4	0.52220	0.52222	0.52223	0.52225	0.52226	0.52229	0.52232	0.52235	0.52238	0.5223	1.009
S1Q4G0	0.55650	0.55650	0.55650	0.55651	0.55651	0.55651	0.55652	0.55652	0.55652	0.5565	1.000
S1Q4G1	0.55750	0.55750	0.55751	0.55751	0.55751	0.55752	0.55752	0.55753	0.55754	0.5575	1.002
S1Q4G2	0.55840	0.55841	0.55841	0.55842	0.55842	0.55843	0.55844	0.55845	0.55846	0.5584	1.003
S1Q4G3	0.55970	0.55971	0.55972	0.55973	0.55974	0.55976	0.55978	0.55980	0.55982	0.5598	1.006
S1Q4G4	0.56030	0.56032	0.56033	0.56035	0.56036	0.56039	0.56042	0.56045	0.56048	0.5604	1.007
S1Q5G0	0.59500	0.59500	0.59500	0.59501	0.59501	0.59501	0.59502	0.59502	0.59502	0.5950	1.000
S1Q5G1	0.59650	0.59650	0.59651	0.59651	0.59651	0.59652	0.59652	0.59653	0.59654	0.5965	1.003
S1Q5G2	0.59730	0.59731	0.59731	0.59732	0.59732	0.59733	0.59734	0.59735	0.59736	0.5973	1.004
S1Q5G3	0.59880	0.59881	0.59882	0.59883	0.59884	0.59886	0.59888	0.59890	0.59892	0.5989	1.007
S1Q5G4	0.59950	0.59952	0.59953	0.59955	0.59956	0.59959	0.59962	0.59965	0.59968	0.5996	1.008

ตาราง ข-3 ระดับเส้นผิวน้ำ กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0.0002

Case No.	WS.El. at positions from gate (m)									WS.El. average	Ratio WS_y/WS_0
	0.3 m	1 m	2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m		
S2Q1G0	0.46500	0.46500	0.46500	0.46501	0.46501	0.46501	0.46502	0.46502	0.46502	0.4650	1.000
S2Q1G1	0.46570	0.46570	0.46571	0.46571	0.46571	0.46572	0.46572	0.46573	0.46574	0.4657	1.002
S2Q1G2	0.46650	0.46651	0.46651	0.46652	0.46652	0.46653	0.46654	0.46655	0.46656	0.4665	1.003
S2Q1G3	0.46690	0.46691	0.46692	0.46693	0.46694	0.46696	0.46698	0.46700	0.46702	0.4670	1.004
S2Q1G4	0.46740	0.46742	0.46743	0.46745	0.46746	0.46749	0.46752	0.46755	0.46758	0.4675	1.005
S2Q2G0	0.49930	0.49930	0.49930	0.49931	0.49931	0.49931	0.49932	0.49932	0.49932	0.4993	1.000
S2Q2G1	0.50010	0.50010	0.50011	0.50011	0.50011	0.50012	0.50012	0.50013	0.50014	0.5001	1.002
S2Q2G2	0.50060	0.50061	0.50061	0.50062	0.50062	0.50063	0.50064	0.50065	0.50066	0.5006	1.003
S2Q2G3	0.50150	0.50151	0.50152	0.50153	0.50154	0.50156	0.50158	0.50160	0.50162	0.5016	1.005
S2Q2G4	0.50210	0.50212	0.50213	0.50215	0.50216	0.50219	0.50222	0.50225	0.50228	0.5022	1.006
S2Q3G0	0.52590	0.52590	0.52590	0.52591	0.52591	0.52591	0.52592	0.52592	0.52592	0.5259	1.000
S2Q3G1	0.52630	0.52630	0.52631	0.52631	0.52631	0.52632	0.52632	0.52633	0.52634	0.5263	1.001
S2Q3G2	0.52700	0.52701	0.52701	0.52702	0.52702	0.52703	0.52704	0.52705	0.52706	0.5270	1.002
S2Q3G3	0.52780	0.52781	0.52782	0.52783	0.52784	0.52786	0.52788	0.52790	0.52792	0.5279	1.004
S2Q3G4	0.52860	0.52862	0.52863	0.52865	0.52866	0.52869	0.52872	0.52875	0.52878	0.5287	1.005
S2Q4G0	0.54840	0.54840	0.54840	0.54841	0.54841	0.54841	0.54842	0.54842	0.54842	0.5484	1.000
S2Q4G1	0.54920	0.54920	0.54921	0.54921	0.54921	0.54922	0.54922	0.54923	0.54924	0.5492	1.001
S2Q4G2	0.54980	0.54981	0.54981	0.54982	0.54982	0.54983	0.54984	0.54985	0.54986	0.5498	1.003
S2Q4G3	0.55160	0.55161	0.55162	0.55163	0.55164	0.55166	0.55168	0.55170	0.55172	0.5517	1.006
S2Q4G4	0.55290	0.55292	0.55293	0.55295	0.55296	0.55299	0.55302	0.55305	0.55308	0.5530	1.008
S2Q5G0	0.58610	0.58610	0.58610	0.58611	0.58611	0.58611	0.58612	0.58612	0.58612	0.5861	1.000
S2Q5G1	0.58690	0.58690	0.58691	0.58691	0.58691	0.58692	0.58692	0.58693	0.58694	0.5869	1.001
S2Q5G2	0.58760	0.58761	0.58761	0.58762	0.58762	0.58763	0.58764	0.58765	0.58766	0.5876	1.003
S2Q5G3	0.58860	0.58861	0.58862	0.58863	0.58864	0.58866	0.58868	0.58870	0.58872	0.5887	1.004
S2Q5G4	0.59060	0.59062	0.59063	0.59065	0.59066	0.59069	0.59072	0.59075	0.59078	0.5907	1.008

ตาราง ข-4 ระดับเส้นผิวน้ำ กรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0.0001

Case No.	WS.El. at positions from gate (m)									WS.El. average	Ratio WS_{wh}/WS_0
	0.3 m	1 m	2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m		
S1Q1WH0	0.47050	0.47050	0.47050	0.47051	0.47051	0.47051	0.47052	0.47052	0.47052	0.4705	1.000
S1Q1WH1	0.47060	0.47060	0.47061	0.47061	0.47061	0.47062	0.47062	0.47063	0.47064	0.4706	1.000
S1Q1WH2	0.47090	0.47091	0.47091	0.47092	0.47092	0.47093	0.47094	0.47095	0.47096	0.4709	1.001
S1Q1WH3	0.47130	0.47131	0.47132	0.47133	0.47134	0.47136	0.47138	0.47140	0.47142	0.4714	1.002
S1Q1WH4	0.47150	0.47152	0.47153	0.47155	0.47156	0.47159	0.47162	0.47165	0.47168	0.4716	1.002
S1Q2WH0	0.49990	0.49990	0.49990	0.49991	0.49991	0.49991	0.49992	0.49992	0.49992	0.4999	1.062
S1Q2WH1	0.50020	0.50020	0.50021	0.50021	0.50021	0.50022	0.50022	0.50023	0.50024	0.5002	1.063
S1Q2WH2	0.50030	0.50031	0.50031	0.50032	0.50032	0.50033	0.50034	0.50035	0.50036	0.5003	1.063
S1Q2WH3	0.50100	0.50101	0.50102	0.50103	0.50104	0.50106	0.50108	0.50110	0.50112	0.5011	1.065
S1Q2WH4	0.50150	0.50152	0.50153	0.50155	0.50156	0.50159	0.50162	0.50165	0.50168	0.5016	1.066
S1Q3WH0	0.51890	0.51890	0.51890	0.51891	0.51891	0.51891	0.51892	0.51892	0.51892	0.5189	1.103
S1Q3WH1	0.51915	0.51915	0.51916	0.51916	0.51916	0.51917	0.51917	0.51918	0.51919	0.5192	1.104
S1Q3WH2	0.52010	0.52011	0.52011	0.52012	0.52012	0.52013	0.52014	0.52015	0.52016	0.5201	1.105
S1Q3WH3	0.52350	0.52351	0.52352	0.52353	0.52354	0.52356	0.52358	0.52360	0.52362	0.5236	1.113
S1Q3WH4	0.52460	0.52462	0.52463	0.52465	0.52466	0.52469	0.52472	0.52475	0.52478	0.5247	1.115
S1Q4WH0	0.55140	0.55140	0.55140	0.55141	0.55141	0.55141	0.55142	0.55142	0.55142	0.5514	1.172
S1Q4WH1	0.55190	0.55190	0.55191	0.55191	0.55191	0.55192	0.55192	0.55193	0.55194	0.5519	1.173
S1Q4WH2	0.55330	0.55331	0.55331	0.55332	0.55332	0.55333	0.55334	0.55335	0.55336	0.5533	1.176
S1Q4WH3	0.55420	0.55421	0.55422	0.55423	0.55424	0.55426	0.55428	0.55430	0.55432	0.5543	1.178
S1Q4WH4	0.55530	0.55532	0.55533	0.55535	0.55536	0.55539	0.55542	0.55545	0.55548	0.5554	1.180
S1Q5WH0	0.59160	0.59160	0.59160	0.59161	0.59161	0.59161	0.59162	0.59162	0.59162	0.5916	1.257
S1Q5WH1	0.59180	0.59180	0.59181	0.59181	0.59181	0.59182	0.59182	0.59183	0.59184	0.5918	1.258
S1Q5WH2	0.59210	0.59211	0.59211	0.59212	0.59212	0.59213	0.59214	0.59215	0.59216	0.5921	1.258
S1Q5WH3	0.59260	0.59261	0.59262	0.59263	0.59264	0.59266	0.59268	0.59270	0.59272	0.5927	1.260
S1Q5WH4	0.59290	0.59292	0.59293	0.59295	0.59296	0.59299	0.59302	0.59305	0.59308	0.5930	1.260

ตาราง ข-5 ระดับเส้นผิวน้ำ กรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0.0002

Case No.	WS.El. at positions from gate (m)									WS.El. average	Ratio WS_{wh}/WS_0
	0.3 m	1 m	2 m	3 m	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m		
S2Q1WH0	0.46590	0.46590	0.46590	0.46591	0.46591	0.46591	0.46592	0.46592	0.46592	0.4659	1.000
S2Q1WH1	0.46660	0.46660	0.46661	0.46661	0.46661	0.46662	0.46662	0.46663	0.46664	0.4666	1.002
S2Q1WH2	0.46775	0.46776	0.46776	0.46777	0.46777	0.46778	0.46779	0.46780	0.46781	0.4678	1.004
S2Q1WH3	0.46840	0.46841	0.46842	0.46843	0.46844	0.46846	0.46848	0.46850	0.46852	0.4685	1.006
S2Q1WH4	0.46890	0.46892	0.46893	0.46895	0.46896	0.46899	0.46902	0.46905	0.46908	0.4690	1.007
S2Q2WH0	0.50840	0.50840	0.50840	0.50841	0.50841	0.50841	0.50842	0.50842	0.50842	0.5084	1.000
S2Q2WH1	0.50875	0.50875	0.50876	0.50876	0.50876	0.50877	0.50877	0.50878	0.50879	0.5088	1.001
S2Q2WH2	0.50970	0.50971	0.50971	0.50972	0.50972	0.50973	0.50974	0.50975	0.50976	0.5097	1.003
S2Q2WH3	0.51050	0.51051	0.51052	0.51053	0.51054	0.51056	0.51058	0.51060	0.51062	0.5106	1.004
S2Q2WH4	0.51095	0.51097	0.51098	0.51100	0.51101	0.51104	0.51107	0.51110	0.51113	0.5110	1.005
S2Q3WH0	0.53950	0.53950	0.53950	0.53951	0.53951	0.53951	0.53952	0.53952	0.53952	0.5395	1.000
S2Q3WH1	0.54030	0.54030	0.54031	0.54031	0.54031	0.54032	0.54032	0.54033	0.54034	0.5403	1.001
S2Q3WH2	0.54125	0.54126	0.54126	0.54127	0.54127	0.54128	0.54129	0.54130	0.54131	0.5413	1.003
S2Q3WH3	0.54200	0.54201	0.54202	0.54203	0.54204	0.54206	0.54208	0.54210	0.54212	0.5421	1.005
S2Q3WH4	0.54260	0.54262	0.54263	0.54265	0.54266	0.54269	0.54272	0.54275	0.54278	0.5427	1.006
S2Q4WH0	0.55470	0.55470	0.55470	0.55471	0.55471	0.55471	0.55472	0.55472	0.55472	0.5547	1.000
S2Q4WH1	0.55530	0.55530	0.55531	0.55531	0.55531	0.55532	0.55532	0.55533	0.55534	0.5553	1.001
S2Q4WH2	0.55660	0.55661	0.55661	0.55662	0.55662	0.55663	0.55664	0.55665	0.55666	0.5566	1.003
S2Q4WH3	0.55720	0.55721	0.55722	0.55723	0.55724	0.55726	0.55728	0.55730	0.55732	0.5573	1.005
S2Q4WH4	0.55800	0.55802	0.55803	0.55805	0.55806	0.55809	0.55812	0.55815	0.55818	0.5581	1.006
S2Q5WH0	0.60250	0.60250	0.60250	0.60251	0.60251	0.60251	0.60252	0.60252	0.60252	0.6025	1.000
S2Q5WH1	0.60320	0.60320	0.60321	0.60321	0.60321	0.60322	0.60322	0.60323	0.60324	0.6032	1.001
S2Q5WH2	0.60370	0.60371	0.60371	0.60372	0.60372	0.60373	0.60374	0.60375	0.60376	0.6037	1.002
S2Q5WH3	0.60440	0.60441	0.60442	0.60443	0.60444	0.60446	0.60448	0.60450	0.60452	0.6045	1.003
S2Q5WH4	0.60530	0.60532	0.60533	0.60535	0.60536	0.60539	0.60542	0.60545	0.60548	0.6054	1.005

ภาคผนวก ค

ผลการคำนวณค่า n

ตาราง ค-1 ผลการคำนวณค่า Manning's n กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0

Case No.	floating garbage		water depth, y_1 (m)	Manning' s n	L_g/y_1	y_g/y_1	n_g/n_0
	Length, L_g (m)	Depth, y_g (m)					
S0Q1G0	0	0.00	0.4586	0.0150	0.0	0.000	1.000
S0Q1G1	4	0.08	0.4591	0.0180	8.7	0.174	1.200
S0Q1G2	8	0.08	0.4603	0.0270	17.4	0.174	1.800
S0Q1G3	12	0.08	0.4612	0.0362	26.0	0.173	2.413
S0Q1G4	16	0.08	0.4626	0.0450	34.6	0.173	3.000
S0Q2G0	0	0.00	0.4676	0.0110	0.0	0.000	1.000
S0Q2G1	4	0.08	0.4692	0.0170	8.5	0.171	1.545
S0Q2G2	8	0.08	0.4708	0.0210	17.0	0.170	1.909
S0Q2G3	12	0.08	0.4723	0.0290	25.4	0.169	2.636
S0Q2G4	16	0.08	0.4729	0.0355	33.8	0.169	3.227
S0Q3G0	0	0.00	0.5265	0.0110	0.0	0.000	1.000
S0Q3G1	4	0.08	0.5270	0.0150	7.6	0.152	1.364
S0Q3G2	8	0.08	0.5282	0.0210	15.1	0.151	1.909
S0Q3G3	12	0.08	0.5295	0.0290	22.7	0.151	2.636
S0Q3G4	16	0.08	0.5304	0.0350	30.2	0.151	3.182
S0Q4G0	0	0.00	0.5670	0.0100	0.0	0.000	1.000
S0Q4G1	4	0.08	0.5686	0.0130	7.0	0.141	1.300
S0Q4G2	8	0.08	0.5703	0.0190	14.0	0.140	1.900
S0Q4G3	12	0.08	0.5722	0.0260	21.0	0.140	2.600
S0Q4G4	16	0.08	0.5733	0.0320	27.9	0.140	3.200
S0Q5G0	0	0.00	0.5898	0.0100	0.0	0.000	1.000
S0Q5G1	4	0.08	0.5900	0.0130	6.8	0.136	1.300
S0Q5G2	8	0.08	0.5909	0.0180	13.5	0.135	1.800
S0Q5G3	12	0.08	0.5920	0.0245	20.3	0.135	2.450
S0Q5G4	16	0.08	0.5930	0.0300	27.0	0.135	3.000

ตาราง ค-2 ผลการคำนวณค่า Manning's n กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0.0001

Case No.	floating garbage		water depth, y_1 (m)	Manning' s n	L_g/y_1	y_g/y_1	n_g/n_0
	Length, L_g (m)	Depth, y_g (m)					
S1Q1G0	0	0.00	0.4536	0.0160	0.0	0.000	1.0000
S1Q1G1	4	0.08	0.4553	0.0210	8.8	0.176	1.3125
S1Q1G2	8	0.08	0.4564	0.0250	17.5	0.175	1.5625
S1Q1G3	12	0.08	0.4574	0.0360	26.2	0.175	2.2500
S1Q1G4	16	0.08	0.4581	0.0440	34.9	0.175	2.7500
S1Q2G0	0	0.00	0.4936	0.0150	0.0	0.000	1.0000
S1Q2G1	4	0.08	0.4939	0.0200	8.1	0.162	1.3333
S1Q2G2	8	0.08	0.4947	0.0240	16.2	0.162	1.6000
S1Q2G3	12	0.08	0.4953	0.0310	24.2	0.162	2.0667
S1Q2G4	16	0.08	0.4958	0.0380	32.3	0.161	2.5333
S1Q3G0	0	0.00	0.5175	0.0140	0.0	0.000	1.0000
S1Q3G1	4	0.08	0.5187	0.0180	7.7	0.154	1.2857
S1Q3G2	8	0.08	0.5193	0.0210	15.4	0.154	1.5000
S1Q3G3	12	0.08	0.5205	0.0280	23.1	0.154	2.0000
S1Q3G4	16	0.08	0.5222	0.0340	30.6	0.153	2.4286
S1Q4G0	0	0.00	0.5565	0.0130	0.0	0.000	1.0000
S1Q4G1	4	0.08	0.5575	0.0160	7.2	0.143	1.2308
S1Q4G2	8	0.08	0.5584	0.0190	14.3	0.143	1.4615
S1Q4G3	12	0.08	0.5597	0.0265	21.4	0.143	2.0385
S1Q4G4	16	0.08	0.5603	0.0320	28.6	0.143	2.4615
S1Q5G0	0	0.00	0.595	0.0120	0.0	0.000	1.0000
S1Q5G1	4	0.08	0.5965	0.0150	6.7	0.134	1.2500
S1Q5G2	8	0.08	0.5973	0.0180	13.4	0.134	1.5000
S1Q5G3	12	0.08	0.5988	0.0260	20.0	0.134	2.1667
S1Q5G4	16	0.08	0.5995	0.0305	26.7	0.133	2.5417

ตาราง ค-3 ผลการคำนวณค่า Manning's n กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0.0002

Case No.	floating garbage		water depth, y_1 (m)	Manning' s n	L_g/y_1	y_g/y_1	n_g/n_0
	Length, L_g (m)	Depth, y_g (m)					
S2Q1G0	0	0.00	0.4650	0.0160	0.0	0.000	1.0000
S2Q1G1	4	0.08	0.4657	0.0170	8.6	0.172	1.0625
S2Q1G2	8	0.08	0.4665	0.0250	17.1	0.171	1.5625
S2Q1G3	12	0.08	0.4669	0.0360	25.7	0.171	2.2500
S2Q1G4	16	0.08	0.4674	0.0435	34.2	0.171	2.7188
S2Q2G0	0	0.00	0.4993	0.0150	0.0	0.000	1.0000
S2Q2G1	4	0.08	0.5001	0.0180	8.0	0.160	1.2000
S2Q2G2	8	0.08	0.5006	0.0230	16.0	0.160	1.5333
S2Q2G3	12	0.08	0.5015	0.0320	23.9	0.160	2.1333
S2Q2G4	16	0.08	0.5021	0.0390	31.9	0.159	2.6000
S2Q3G0	0	0.00	0.5259	0.0135	0.0	0.000	1.0000
S2Q3G1	4	0.08	0.5263	0.0160	7.6	0.152	1.1852
S2Q3G2	8	0.08	0.5270	0.0210	15.2	0.152	1.5556
S2Q3G3	12	0.08	0.5278	0.0285	22.7	0.152	2.1111
S2Q3G4	16	0.08	0.5286	0.0350	30.3	0.151	2.5926
S2Q4G0	0	0.00	0.5484	0.0125	0.0	0.000	1.0000
S2Q4G1	4	0.08	0.5492	0.0150	7.3	0.146	1.2000
S2Q4G2	8	0.08	0.5498	0.0190	14.6	0.146	1.5200
S2Q4G3	12	0.08	0.5516	0.0260	21.8	0.145	2.0800
S2Q4G4	16	0.08	0.5529	0.0320	28.9	0.145	2.5600
S2Q5G0	0	0.00	0.5861	0.0120	0.0	0.000	1.0000
S2Q5G1	4	0.08	0.5869	0.0135	6.8	0.136	1.1250
S2Q5G2	8	0.08	0.5876	0.0180	13.6	0.136	1.5000
S2Q5G3	12	0.08	0.5886	0.0245	20.4	0.136	2.0417
S2Q5G4	16	0.08	0.5906	0.0300	27.1	0.135	2.5000

ตาราง ค-4 ผลการคำนวณค่า Manning's n กรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0.0001

Case No.	water hyacinth		water depth, y_1 (m)	Manning' s n	L_{wh}/y_1	y_{wh}/y_1	n_{wh}/n_0
	Length, L_{wh} (m)	Depth, y_{wh} (m)					
S1Q1WH0	0	0.00	0.4705	0.0170	0.0	0.000	1.000
S1Q1WH1	4	0.08	0.4706	0.0180	8.5	0.170	1.059
S1Q1WH2	8	0.08	0.4709	0.0280	17.0	0.170	1.647
S1Q1WH3	12	0.08	0.4713	0.0370	25.5	0.170	2.176
S1Q1WH4	16	0.08	0.4715	0.0450	33.9	0.170	2.647
S1Q2WH0	0	0.00	0.4999	0.0160	0.0	0.000	1.000
S1Q2WH1	4	0.08	0.5002	0.0200	8.0	0.160	1.250
S1Q2WH2	8	0.08	0.5003	0.0245	16.0	0.160	1.531
S1Q2WH3	12	0.08	0.5010	0.0335	24.0	0.160	2.094
S1Q2WH4	16	0.08	0.5015	0.0410	31.9	0.160	2.563
S1Q3WH0	0	0.00	0.5189	0.0135	0.0	0.000	1.000
S1Q3WH1	4	0.08	0.5192	0.0170	7.7	0.154	1.259
S1Q3WH2	8	0.08	0.5201	0.0210	15.4	0.154	1.556
S1Q3WH3	12	0.08	0.5235	0.0290	22.9	0.153	2.148
S1Q3WH4	16	0.08	0.5246	0.0350	30.5	0.152	2.593
S1Q4WH0	0	0.00	0.5514	0.0130	0.0	0.000	1.000
S1Q4WH1	4	0.08	0.5519	0.0160	7.2	0.145	1.231
S1Q4WH2	8	0.08	0.5533	0.0190	14.5	0.145	1.462
S1Q4WH3	12	0.08	0.5542	0.0265	21.7	0.144	2.038
S1Q4WH4	16	0.08	0.5553	0.0325	28.8	0.144	2.500
S1Q5WH0	0	0.00	0.5916	0.0120	0.0	0.000	1.000
S1Q5WH1	4	0.08	0.5918	0.0150	6.8	0.135	1.250
S1Q5WH2	8	0.08	0.5921	0.0180	13.5	0.135	1.500
S1Q5WH3	12	0.08	0.5926	0.0250	20.2	0.135	2.083
S1Q5WH4	16	0.08	0.5929	0.0305	27.0	0.135	2.542

ตาราง ค-5 ผลการคำนวณค่า Manning's n กรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0.0002

Case No.	water hyacinth		water depth, y_1 (m)	Manning' s n	L_{wh}/y_1	y_{wh}/y_1	n_{wh}/n_0
	Length, L_{wh} (m)	Depth, y_{wh} (m)					
S2Q1WH0	0	0.00	0.4659	0.0170	0.0	0.000	1.0000
S2Q1WH1	4	0.08	0.4666	0.0210	8.6	0.171	1.2353
S2Q1WH2	8	0.08	0.4678	0.0270	17.1	0.171	1.5882
S2Q1WH3	12	0.08	0.4684	0.0370	25.6	0.171	2.1765
S2Q1WH4	16	0.08	0.4689	0.0450	34.1	0.171	2.6471
S2Q2WH0	0	0.00	0.5084	0.0160	0.0	0.000	1.0000
S2Q2WH1	4	0.08	0.5088	0.0190	7.9	0.157	1.1875
S2Q2WH2	8	0.08	0.5097	0.0240	15.7	0.157	1.5000
S2Q2WH3	12	0.08	0.5105	0.0330	23.5	0.157	2.0625
S2Q2WH4	16	0.08	0.5110	0.0405	31.3	0.157	2.5313
S2Q3WH0	0	0.00	0.5395	0.0140	0.0	0.000	1.0000
S2Q3WH1	4	0.08	0.5403	0.0160	7.4	0.148	1.1429
S2Q3WH2	8	0.08	0.5413	0.0210	14.8	0.148	1.5000
S2Q3WH3	12	0.08	0.5420	0.0290	22.1	0.148	2.0714
S2Q3WH4	16	0.08	0.5426	0.0355	29.5	0.147	2.5357
S2Q4WH0	0	0.00	0.5547	0.0125	0.0	0.000	1.0000
S2Q4WH1	4	0.08	0.5553	0.0150	7.2	0.144	1.2000
S2Q4WH2	8	0.08	0.5566	0.0190	14.4	0.144	1.5200
S2Q4WH3	12	0.08	0.5572	0.0260	21.5	0.144	2.0800
S2Q4WH4	16	0.08	0.5580	0.0315	28.7	0.143	2.5200
S2Q5WH0	0	0.00	0.6025	0.0120	0.0	0.000	1.0000
S2Q5WH1	4	0.08	0.6032	0.0140	6.6	0.133	1.1667
S2Q5WH2	8	0.08	0.6037	0.0180	13.3	0.133	1.5000
S2Q5WH3	12	0.08	0.6044	0.0250	19.9	0.132	2.0833
S2Q5WH4	16	0.08	0.6053	0.0305	26.4	0.132	2.5417

ภาคผนวก ง

ผลการคำนวณค่า C_d

ตาราง ง-1 ผลการคำนวณค่า C_d กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0

Case No.	Gate opening, w (m)	floating garbage		Water depth, y_1 (m)	C_d	y_1/w	L_g/y_1	y_g/y_1	$C_{d,g}/C_{d,0}$
		Length, L_g (m)	Depth, y_g (m)						
S0Q1G0	0.90	0	0.00	0.45855	0.4862	51.0	0.0	0.0000	1.000
S0Q1G1	0.90	4	0.08	0.45910	0.4859	51.0	8.7	0.1740	0.999
S0Q1G2	0.90	8	0.08	0.46025	0.4853	51.1	17.4	0.1740	0.998
S0Q1G3	0.90	12	0.08	0.46120	0.4848	51.2	26.0	0.1730	0.997
S0Q1G4	0.90	16	0.08	0.46260	0.4840	51.4	34.6	0.1730	0.996
S0Q2G0	1.00	0	0.00	0.46760	0.5631	46.8	0.0	0.0000	1.000
S0Q2G1	1.00	4	0.08	0.46920	0.5621	46.9	8.5	0.1710	0.998
S0Q2G2	1.00	8	0.08	0.47080	0.5612	47.1	17.0	0.1700	0.997
S0Q2G3	1.00	12	0.08	0.47230	0.5603	47.2	25.4	0.1690	0.995
S0Q2G4	1.00	16	0.08	0.47290	0.5599	47.3	33.8	0.1690	0.995
S0Q3G0	1.10	0	0.00	0.52650	0.5636	47.9	0.0	0.0000	1.000
S0Q3G1	1.10	4	0.08	0.52700	0.5633	47.9	7.6	0.1520	1.000
S0Q3G2	1.10	8	0.08	0.52820	0.5627	48.0	15.1	0.1510	0.998
S0Q3G3	1.10	12	0.08	0.52950	0.5620	48.1	22.7	0.1510	0.997
S0Q3G4	1.10	16	0.08	0.53040	0.5615	48.2	30.2	0.1510	0.996
S0Q4G0	1.25	0	0.00	0.56700	0.5712	45.4	0.0	0.0000	1.000
S0Q4G1	1.25	4	0.08	0.56860	0.5704	45.5	7.0	0.1410	0.999
S0Q4G2	1.25	8	0.08	0.57030	0.5696	45.6	14.0	0.1400	0.997
S0Q4G3	1.25	12	0.08	0.57220	0.5686	45.8	21.0	0.1400	0.995
S0Q4G4	1.25	16	0.08	0.57330	0.5681	45.9	27.9	0.1400	0.994
S0Q5G0	1.40	0	0.00	0.58980	0.5568	42.1	0.0	0.0000	1.000
S0Q5G1	1.40	4	0.08	0.59000	0.5567	42.1	6.8	0.1360	1.000
S0Q5G2	1.40	8	0.08	0.59090	0.5562	42.2	13.5	0.1350	0.999
S0Q5G3	1.40	12	0.08	0.59200	0.5557	42.3	20.3	0.1350	0.998
S0Q5G4	1.40	16	0.08	0.59300	0.5553	42.4	27.0	0.1350	0.997

ตาราง ง-2 ผลการคำนวณค่า C_d กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0.0001

Case No.	Gate opening, w (m)	floating garbage		Water depth, y_1 (m)	C_d	y_1/w	L_g/y_1	y_g/y_1	$C_{d,g}/C_{d,0}$
		Length, L_g (m)	Depth, y_g (m)						
S1Q1G0	0.90	0	0.00	0.45360	0.4936	50.4	0.0	0.0000	1.000
S1Q1G1	0.90	4	0.08	0.45530	0.4927	50.6	8.8	0.1760	0.998
S1Q1G2	0.90	8	0.08	0.45640	0.4921	50.7	17.5	0.1750	0.997
S1Q1G3	0.90	12	0.08	0.45740	0.4916	50.8	26.2	0.1750	0.996
S1Q1G4	0.90	16	0.08	0.45810	0.4912	50.9	34.9	0.1750	0.995
S1Q2G0	1.00	0	0.00	0.49360	0.5383	49.4	0.0	0.0000	1.000
S1Q2G1	1.00	4	0.08	0.49390	0.5382	49.4	8.1	0.1620	1.000
S1Q2G2	1.00	8	0.08	0.49470	0.5377	49.5	16.2	0.1620	0.999
S1Q2G3	1.00	12	0.08	0.49530	0.5374	49.5	24.2	0.1620	0.998
S1Q2G4	1.00	16	0.08	0.49580	0.5371	49.6	32.3	0.1610	0.998
S1Q3G0	1.10	0	0.00	0.51750	0.5685	47.0	0.0	0.0000	1.000
S1Q3G1	1.10	4	0.08	0.51870	0.5678	47.2	7.7	0.1540	0.999
S1Q3G2	1.10	8	0.08	0.51930	0.5675	47.2	15.4	0.1540	0.998
S1Q3G3	1.10	12	0.08	0.52050	0.5668	47.3	23.1	0.1540	0.997
S1Q3G4	1.10	16	0.08	0.52220	0.5659	47.5	30.6	0.1530	0.996
S1Q4G0	1.30	0	0.00	0.55650	0.5372	42.8	0.0	0.0000	1.000
S1Q4G1	1.30	4	0.08	0.55750	0.5367	42.9	7.2	0.1430	0.999
S1Q4G2	1.30	8	0.08	0.55840	0.5363	43.0	14.3	0.1430	0.998
S1Q4G3	1.30	12	0.08	0.55970	0.5357	43.1	21.4	0.1430	0.997
S1Q4G4	1.30	16	0.08	0.56030	0.5354	43.1	28.6	0.1430	0.997
S1Q5G0	1.40	0	0.00	0.59500	0.5543	42.5	0.0	0.0000	1.000
S1Q5G1	1.40	4	0.08	0.59650	0.5536	42.6	6.7	0.1340	0.999
S1Q5G2	1.40	8	0.08	0.59730	0.5533	42.7	13.4	0.1340	0.998
S1Q5G3	1.40	12	0.08	0.59880	0.5526	42.8	20.0	0.1340	0.997
S1Q5G4	1.40	16	0.08	0.59950	0.5522	42.8	26.7	0.1330	0.996

ตาราง ง-3 ผลการคำนวณค่า C_d กรณีขยะลอยน้ำ (floating garbage, G) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0.0002

Case No.	Gate opening, w (m)	floating garbage		Water depth, y_1 (m)	C_d	y_1/w	L_g/y_1	y_g/y_1	$C_{d,g}/C_{d,0}$
		Length, L_g (m)	Depth, y_g (m)						
S2Q1G0	0.80	0	0.00	0.46500	0.5648	58.1	0.0	0.0000	1.000
S2Q1G1	0.80	4	0.08	0.46570	0.5644	58.2	8.6	0.1720	0.999
S2Q1G2	0.80	8	0.08	0.46650	0.5639	58.3	17.1	0.1710	0.998
S2Q1G3	0.80	12	0.08	0.46690	0.5636	58.4	25.7	0.1710	0.998
S2Q1G4	0.80	16	0.08	0.46740	0.5633	58.4	34.2	0.1710	0.997
S2Q2G0	1.00	0	0.00	0.49930	0.5353	49.9	0.0	0.0000	1.000
S2Q2G1	1.00	4	0.08	0.50010	0.5348	50.0	8.0	0.1600	0.999
S2Q2G2	1.00	8	0.08	0.50060	0.5346	50.1	16.0	0.1600	0.999
S2Q2G3	1.00	12	0.08	0.50150	0.5341	50.2	23.9	0.1600	0.998
S2Q2G4	1.00	16	0.08	0.50210	0.5338	50.2	31.9	0.1590	0.997
S2Q3G0	1.10	0	0.00	0.52590	0.5639	47.8	0.0	0.0000	1.000
S2Q3G1	1.10	4	0.08	0.52630	0.5637	47.8	7.6	0.1520	1.000
S2Q3G2	1.10	8	0.08	0.52700	0.5633	47.9	15.2	0.1520	0.999
S2Q3G3	1.10	12	0.08	0.52780	0.5629	48.0	22.7	0.1520	0.998
S2Q3G4	1.10	16	0.08	0.52860	0.5625	48.1	30.3	0.1510	0.997
S2Q4G0	1.30	0	0.00	0.54840	0.5369	42.2	0.0	0.0000	1.000
S2Q4G1	1.30	4	0.08	0.54920	0.5365	42.2	7.3	0.1460	0.999
S2Q4G2	1.30	8	0.08	0.54980	0.5362	42.3	14.6	0.1460	0.999
S2Q4G3	1.30	12	0.08	0.55160	0.5353	42.4	21.8	0.1450	0.997
S2Q4G4	1.30	16	0.08	0.55290	0.5347	42.5	28.9	0.1450	0.996
S2Q5G0	1.40	0	0.00	0.58610	0.5627	41.9	0.0	0.0000	1.000
S2Q5G1	1.40	4	0.08	0.58690	0.5623	41.9	6.8	0.1360	0.999
S2Q5G2	1.40	8	0.08	0.58760	0.5620	42.0	13.6	0.1360	0.999
S2Q5G3	1.40	12	0.08	0.58860	0.5615	42.0	20.4	0.1360	0.998
S2Q5G4	1.40	16	0.08	0.59060	0.5606	42.2	27.1	0.1350	0.996

ตาราง ง-4 ผลการคำนวณค่า C_d กรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0.0001

Case No.	Gate opening, w (cm)	water hyacinth		water depth, y_1 (m)	C_d	y_1/w	L_{wh}/y_1	y_{wh}/y_1	$C_{d,wh}/C_{d,0}$
		Length, L_{wh} (m)	Depth, y_{wh} (m)						
S1Q1WH0	0.90	0	0.00	0.47050	0.4895	52.3	0.0	0.0000	1.000
S1Q1WH1	0.90	4	0.08	0.47060	0.4894	52.3	8.5	0.1700	1.000
S1Q1WH2	0.90	8	0.08	0.47090	0.4892	52.3	17.0	0.1700	0.999
S1Q1WH3	0.90	12	0.08	0.47130	0.4890	52.4	25.5	0.1700	0.999
S1Q1WH4	0.90	16	0.08	0.47150	0.4889	52.4	33.9	0.1700	0.999
S1Q2WH0	1.10	0	0.00	0.49990	0.4606	45.4	0.0	0.0000	1.000
S1Q2WH1	1.10	4	0.08	0.50020	0.4604	45.5	8.0	0.1600	1.000
S1Q2WH2	1.10	8	0.08	0.50030	0.4604	45.5	16.0	0.1600	1.000
S1Q2WH3	1.10	12	0.08	0.50100	0.4601	45.5	24.0	0.1600	0.999
S1Q2WH4	1.10	16	0.08	0.50150	0.4598	45.6	31.9	0.1600	0.999
S1Q3WH0	1.10	0	0.00	0.51890	0.5582	47.2	0.0	0.0000	1.000
S1Q3WH1	1.10	4	0.08	0.51915	0.5581	47.2	7.7	0.1540	1.000
S1Q3WH2	1.10	8	0.08	0.52010	0.5576	47.3	15.4	0.1540	0.999
S1Q3WH3	1.10	12	0.08	0.52350	0.5558	47.6	22.9	0.1530	0.996
S1Q3WH4	1.10	16	0.08	0.52460	0.5552	47.7	30.5	0.1520	0.995
S1Q4WH0	1.25	0	0.00	0.55140	0.5524	44.1	0.0	0.0000	1.000
S1Q4WH1	1.25	4	0.08	0.55190	0.5522	44.2	7.2	0.1450	1.000
S1Q4WH2	1.25	8	0.08	0.55330	0.5515	44.3	14.5	0.1450	0.998
S1Q4WH3	1.25	12	0.08	0.55420	0.5510	44.3	21.7	0.1440	0.998
S1Q4WH4	1.25	16	0.08	0.55530	0.5505	44.4	28.8	0.1440	0.996
S1Q5WH0	1.40	0	0.00	0.59160	0.5476	42.3	0.0	0.0000	1.000
S1Q5WH1	1.40	4	0.08	0.59180	0.5475	42.3	6.8	0.1350	1.000
S1Q5WH2	1.40	8	0.08	0.59210	0.5474	42.3	13.5	0.1350	1.000
S1Q5WH3	1.40	12	0.08	0.59260	0.5471	42.3	20.2	0.1350	0.999
S1Q5WH4	1.40	16	0.08	0.59290	0.5470	42.4	27.0	0.1350	0.999

ตาราง ง-5 ผลการคำนวณค่า C_d กรณีผักตบชวา (water hyacinth, WH) เมื่อ S_0 เท่ากับ 0.0002

Case No.	Gate opening, W (cm)	water hyacinth		water depth, y_1 (m)	C_d	y_1/w	L_{wh}/y_1	y_{wh}/y_1	$C_{d,wh}/C_{d,0}$
		Length, L_{wh} (m)	Depth, y_{wh} (m)						
S2Q1WH0	0.90	0	0.00	0.46553	0.4921	51.7	0.0	0.0000	1.000
S2Q1WH1	0.90	4	0.08	0.46643	0.4916	51.8	8.6	0.1720	0.999
S2Q1WH2	0.90	8	0.08	0.46743	0.4911	51.9	17.1	0.1710	0.998
S2Q1WH3	0.90	12	0.08	0.46793	0.4908	52.0	25.6	0.1710	0.997
S2Q1WH4	0.90	16	0.08	0.46843	0.4905	52.0	34.2	0.1710	0.997
S2Q2WH0	1.10	0	0.00	0.50813	0.4963	48.4	0.0	0.0000	1.000
S2Q2WH1	1.10	4	0.08	0.50853	0.4961	48.4	7.9	0.1570	1.000
S2Q2WH2	1.10	8	0.08	0.50933	0.4957	48.5	15.7	0.1570	0.999
S2Q2WH3	1.10	12	0.08	0.51003	0.4954	48.6	23.5	0.1570	0.998
S2Q2WH4	1.10	16	0.08	0.51053	0.4951	48.6	31.3	0.1570	0.998
S2Q3WH0	1.10	0	0.00	0.53913	0.5664	49.0	0.0	0.0000	1.000
S2Q3WH1	1.10	4	0.08	0.54013	0.5658	49.1	7.4	0.1480	0.999
S2Q3WH2	1.10	8	0.08	0.54093	0.5654	49.2	14.8	0.1480	0.998
S2Q3WH3	1.10	12	0.08	0.54173	0.5650	49.2	22.2	0.1480	0.998
S2Q3WH4	1.10	16	0.08	0.54213	0.5648	49.3	29.5	0.1480	0.997
S2Q4WH0	1.25	0	0.00	0.55423	0.5688	44.3	0.0	0.0000	1.000
S2Q4WH1	1.25	4	0.08	0.55513	0.5683	44.4	7.2	0.1440	0.999
S2Q4WH2	1.25	8	0.08	0.55613	0.5678	44.5	14.4	0.1440	0.998
S2Q4WH3	1.25	12	0.08	0.55683	0.5674	44.5	21.6	0.1440	0.998
S2Q4WH4	1.25	16	0.08	0.55763	0.5670	44.6	28.7	0.1430	0.997
S2Q5WH0	1.40	0	0.00	0.60213	0.5594	43.0	0.0	0.0000	1.000
S2Q5WH1	1.40	4	0.08	0.60313	0.5589	43.1	6.6	0.1330	0.999
S2Q5WH2	1.40	8	0.08	0.60343	0.5587	43.1	13.3	0.1330	0.999
S2Q5WH3	1.40	12	0.08	0.60393	0.5585	43.1	19.9	0.1320	0.999
S2Q5WH4	1.40	16	0.08	0.60493	0.5581	43.2	26.4	0.1320	0.998

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สุวิภา กุศลจุง
วัน เดือน ปี เกิด	17 เมษายน 2535
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (วศ.บ. โยธา) สำเร็จการศึกษาปี พ.ศ. 2556
ที่อยู่ปัจจุบัน	99/58 ถ.พหลโยธิน ต.สวนดอก อ.เมือง จ.ลำปาง 52100
ผลงานตีพิมพ์	- บทความเรื่อง "สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายสันโอ๊กในทางน้ำที่มีขยะปน" ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 22 วันที่ 18-20 กรกฎาคม 2560 ณ เดอะกรีนเนอรี รีสอร์ท เขาใหญ่ จ.นครราชสีมา - บทความเรื่อง "สัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิดที่มีขยะและผักตบชวา" ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 วันที่ 25-27 กรกฎาคม 2563