

การไหลผ่านประตูประบายน้ำแบบบานเลื่อนตรงของทางน้ำที่มีขยะ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Flow Through Sluice Gates of Channels Carrying Garbages



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 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบบานเลื่อนตรงของทางน้ำที่มีขยะ
โดย	นายธีรภัทร ล้อมลาย
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธา)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักรวิชัย)	

ธีรภัทร ล้อมลาย : การไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบบานเลื่อนตรงของทางน้ำที่มีขยะ. ( Flow Through Sluice Gates of Channels Carrying Garbages) อ.ที่ปรึกษาหลัก :  
รศ. ดร.เสรี จันทโรยธา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาถึงการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบบานเลื่อนตรงของทางน้ำที่มีขยะในทางน้ำ ภายใต้เงื่อนไขการไหลผ่านประตูแบบไหลออกอิสระ และ ไหลออกแบบท่วมจม การศึกษานี้ดำเนินการในห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยดำเนินการทดลองในรางน้ำเปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 0.60 เมตร ยาว 18.0 เมตร สูง 0.75 เมตร ที่มีการไหลเวียนของน้ำ การศึกษานี้ได้จำลองขยะที่ลอยอยู่บนผิวน้ำด้วยเศษวัสดุภัณฑ์ขวดน้ำพลาสติก เศษกิ่งไม้ และ อิฐมวลเบา โดยมีอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วง 17.7 ลิตรต่อวินาที ถึง 23.5 ลิตรต่อวินาที สำหรับการทดลองภายใต้เงื่อนไขการไหลออกอิสระ และ 12.3 ลิตรต่อวินาที ถึง 18.6 ลิตรต่อวินาที สำหรับการทดลองภายใต้เงื่อนไขการไหลออกท่วมจม ตามลำดับ การทดลองทั้งสิ้นมีทั้งหมด 160 การทดลอง ที่ประกอบด้วย การทดลองภายใต้เงื่อนไขการไหลออกอิสระ 40 การทดลอง และ การทดลองภายใต้เงื่อนไขการไหลออกท่วมจม 120 การทดลอง

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของประตูระบายแบบบานเลื่อนตรง ( $C_d$ ) ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดการไหลลอดผ่านประตูนั้น ของทางน้ำมีขยะปนจะมีค่าน้อยกว่าทางน้ำที่ไม่มีขยะปน นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล จะลดลงเมื่อปริมาณขยะเพิ่มมากขึ้น ทั้งสองเงื่อนไขของการไหลผ่านประตูระบายดังกล่าว

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ  
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6070221521 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEYWORD: sluice gate, discharge coefficient, floating garbage

Teerapat Lomlai : Flow Through Sluice Gates of Channels Carrying Garbages. Advisor: Asst. Prof. SEREE CHANYOTHA, Ph.D.

This experimental study aimed to investigate the under flow through sluice gates of waterway carrying garbage under free outflow and drowned outflow conditions. The study was performed in a flow-circulated rectangular flume of 0.60×18.0×0.75 m. in Coastal Hydraulic Laboratory, Department of Water Resources Engineering, Chulalongkorn University. This study simulates the floating garbage with plastic bottles, woods, and lightweight bricks. The experimental flow rates are in the ranges of 17.7 liters/s to 23.5 liters/s and 12.3 liters/s to 18.6 liters/s for free outflow and drowned outflow conditions, respectively. A total of 160 experiments consisted of 40 and 120 runs for free outflow and drowned outflow conditions, respectively.

The study results indicated that the discharge coefficient ( $C_d$ ) of the sluice gate, a flow parameter index, for channel carrying garbage is comparatively less than for channel carrying no garbage in both free outflow and drowned outflow conditions. Furthermore, the sluice gate discharge coefficient ( $C_d$ ) slightly decreases as the amount of the garbage increases for both the flow conditions.

Field of Study: Water Resources  
Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2021

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าสำเร็จไปได้ด้วยดีในครั้งนี้ นั้น เป็นไปไม่ได้เลยถ้าข้าพเจ้าทำแค่คนเดียวโดยปราศจากการให้ความช่วยเหลือความร่วมมือจากบุคคลหรือองค์กรทั้งหลายเหล่านี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาและให้โอกาสในการศึกษาระดับปริญญาโทมาหาบัณฑิต ณ ที่แห่งนี้

ขอขอบคุณพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธ่า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้การอบรมสั่งสอนทั้งในหลักวิชาการที่สอนและแนวทางในการทำงานวิจัย รวมถึงโภชนาการอาหารให้มีแรงในการขับเคลื่อนวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล กรรมการ และรองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักรวิชัย กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ทั้งช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางวิชาการและได้เสียสละเวลาให้คำปรึกษาแนะแนวในการทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า รวมถึงคณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ทางวิชาการซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ในการทำงานของข้าพเจ้าในภาคหน้าต่อไป

ขอขอบพระคุณ นายภาณุสิทธิ์ ดวงศรี และนายวุฒิชัย ชื่นจิตต์ สำหรับการจัดเตรียมซ่อมแซมอุปกรณ์เครื่องมือในการทดลองของข้าพเจ้าให้สมบูรณ์พร้อมใช้งานได้อยู่เสมอ ที่ลืมไปไม่ได้คือเงินทุนสนับสนุนซ่อมแซมอุปกรณ์เครื่องมืออุปกรณ์ในแลปการทดลองเสียหายจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยพันธุ์ รักรวิชัย

ขอขอบพระคุณ นายเจษฎายุทธ ไกรนรา นายนันท์ทวุฒิ อินทรีย์รงค์ และนางสาวสุวิภา กุศลจูง สำหรับการช่วยเหลือระหว่างที่ทำการทดลองและวิจัย รวมถึง นิสิต เพื่อน พี่ น้อง วิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดาและมารดาทั้งคู่ซึ่งได้ล่วงลับไปแล้ว ป้า พี่ชาย น้องชาย ของข้าพเจ้าที่ได้ผลักดันข้าพเจ้าจนก้าวมาถึงใน ณ จุดนี้ ขอขอบพระคุณครับ

ธีรภัทร ล้อมลาย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีการไหลในทางน้ำเปิด.....	5
2.2 ทฤษฎีการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำบานเลื่อนยกขึ้น-ลงในแนวตั้ง (vertical sluice gate) .....	9
2.3 การวิเคราะห์มิติเชิงไร้นหน่วยและแบบจำลองทางชลศาสตร์.....	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 การดำเนินการศึกษา.....	19
3.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	19
3.2 ขั้นตอนออกแบบการทดลอง.....	23

3.3 ขั้นตอนการทดลอง .....	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	27
4.1 ผลการทดลอง.....	27
4.2 การหาค่าระดับน้ำ.....	27
4.3 การเปรียบเทียบความเร็วของการไหล .....	29
4.4 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ .....	31
4.5 การเปลี่ยนแปลงทางชลศาสตร์การไหลผ่านประตูระบายน้ำอันเนื่องมาจากขยะ .....	35
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ .....	49
5.1 สรุปผลการศึกษา .....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	51
ภาคผนวก ก การสอบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	53
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง.....	56
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวัดความเร็วกระแสน้ำ.....	65
บรรณานุกรม.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	75



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ $n$ ของ Manning .....	7
ตารางที่ 2-2 สัมประสิทธิ์ $C_c$ ของการไหลลอดประตูระบายบานเลื่อนหรือยกตรงในแนวตั้ง.....	12
ตารางที่ 3-1 เงื่อนไขการทดลองการไหลออกอิสระ (free outflow).....	24
ตารางที่ 3-2 เงื่อนไขการทดลองการไหลออกท่วมจม (drowned outflow) .....	25
ตารางที่ 4-1 ตารางการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเมื่อมีขยะ (%) $y_g$ 0.1 เมตร, 0.2 เมตร (free outflow).....	31
ตารางที่ 4-2 ตารางการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเมื่อมีขยะ (%) $y_g$ 0.1 เมตร, 0.2 เมตร (drowned outflow).....	33
ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองการไหลออกอิสระ (free outflow) ; $y_g$ = 0.10, 0.20 เมตร.....	35
ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองการไหลออกท่วมจม (drowned outflow) ; $y_g$ = 0.10, 0.20 เมตร ....	40

## สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 รูปหน้าประตูระบายน้ำบริเวณลำน้ำปิง จังหวัดเชียงใหม่หลังคืนวันลอยกระทง (โพส্তুทุเคย์, 2560).....	2
รูปที่ 1-2 รูปหน้าเขื่อนเจ้าพระยาที่จังหวัดชัยนาท จากเว็บไซต์ โพส্তুทุเคย์ (2558).....	2
รูปที่ 2-1 การไหลแปรผันอย่างค่อยเป็นค่อยไป (เสรี จันทรโยธา และ ชัยพันธุ์ รักวิจิย์, 2556).....	8
รูปที่ 2-2 การไหลลุดประตูแบบอิสระ (free outflow).....	10
รูปที่ 2-3 การไหลลุดประตูแบบจมน้ำ (drowned outflow).....	13
รูปที่ 2-4 สัมประสิทธิ์บีบการไหล ( $C_c$ ) ของการไหลลุดผ่านประตูระบายน้ำบานเลื่อนยกในแนวตั้ง ที่มา : (Henderson, 1966).....	14
รูปที่ 2-5 สัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) ของการไหลลุดผ่านประตูระบายน้ำบานเลื่อนยกในแนวตั้ง .....	14
รูปที่ 3-1 รูปด้านข้างรางจำลองการไหลทางน้ำเปิด.....	20
รูปที่ 3-2 รูปแสดงระยงการจมของขยะในน้ำและระยงลุดหน้าบานประตู.....	20
รูปที่ 3-3 ก) รูปแสดงฝายสันคม ( V-notch weir ) ข) มานอมิเตอร์ (manometer) วัดอัตราการไหล .....	21
รูปที่ 3-4 รูปแสดงการสอบเทียบหาค่าอัตราการไหล (Q).....	21
รูปที่ 3-5 แสดงการหาอัตราการไหลจากมานอมิเตอร์จากสันฝาย (H).....	22
รูปที่ 3-6 ก) และ ข) เครื่องมือวัดกระแสน้ำ, ค) มานอมิเตอร์.....	22
รูปที่ 3-7 เครื่องมือวัดการไหลแบบอิสระ (point gauge).....	23
รูปที่ 3-8 เครื่องมือวัดการไหลออกท่วมจมนแบบมานอมิเตอร์.....	23
รูปที่ 4-1 เส้นระดับความลึกน้ำที่อัตราการไหล 17.95 ลิตร/วินาที (free outflow) ระยงจมน้ำของขยะ ( $y_g$ ) 0.10 เมตร.....	28
รูปที่ 4-2 เส้นระดับความลึกน้ำที่อัตราการไหล 12.73 ลิตร/วินาที (drowned outflow) ระยงจมน้ำของขยะ ( $y_g$ ) 0.10 เมตร.....	29

รูปที่ 4-3 กราฟเปรียบเทียบการวัดความเร็วการไหลระหว่างการคำนวณและเครื่องมือการวัด  
 ความเร็วการไหล ..... 30

รูปที่ 4-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $C_d$  กับ  $y_1/w$ ,  $C_d$  กับ  $Lg$  และ  $C_{d,g}/C_{d,0}$  กับ  $y_g/y_1$   
 (free outflow)..... 38

รูปที่ 4-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $C_d$  กับ  $y_1/w$ ,  $C_d$  กับ และ  $C_{d,g}/C_{d,0}$  กับ  $y_g/y_1$   
 (drowned outflow);  $y_g = 0.1$  เมตร ..... 46

รูปที่ 4-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $C_d$  กับ  $y_1/w$ ,  $C_d$  กับ และ  $C_{d,g}/C_{d,0}$  กับ  $y_g/y_1$   
 (drowned outflow);  $y_g = 0.2$  เมตร ..... 48



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในประเทศไทยนั้นมีคลองหรือแม่น้ำจำนวนมากที่กระจายน้ำไปสู่ภาคการเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และ อื่นๆ มักจะมีอาคารชลศาสตร์ใช้ควบคุมบังคับน้ำในลำน้ำต่างๆหลายชนิดด้วยกัน เช่น เขื่อนทดน้ำ อาคารประตูระบายน้ำ

นิยามของอาคารประตูระบายน้ำ (ปตร.) คือ สิ่งก่อสร้างในบริเวณทางน้ำที่ใช้ควบคุมการไหลของน้ำ ใน แม่น้ำ คลอง ทะเลสาบ ฝาย อ่างเก็บน้ำ ประตูระบายน้ำจะใช้สำหรับการปรับปริมาณน้ำที่ต้องการให้ไหลผ่าน ปรับความเร็วของน้ำ หรือใช้ในการกักเก็บน้ำได้ ในขณะเดียวกัน ประตูระบายน้ำยังช่วยป้องกันน้ำท่วมในกรณีที่มีพายุ โดยประตูระบายน้ำใช้ในการลดระดับน้ำสำหรับ แม่น้ำหรือคลองสายหลัก โดยให้น้ำไหลผ่านคลองทดน้ำ คลองผันน้ำ

โดยปกติการวิเคราะห์ด้านชลศาสตร์ของอาคารประตูระบายน้ำนั้น จะคิดในกรณีที่ไม่มีขยะหรือวัชพืชในทางน้ำ แต่เป็นอย่างไรที่ทราบกันว่าในประเทศไทยนั้น ประสบปัญหาขยะและวัชพืชใน แม่น้ำลำคลองเป็นจำนวนมาก ทั้งในชุมชนเมืองและชนบท อาจมีผลทำให้ความสามารถในการระบายน้ำของประตูระบาย ไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งเป็นที่มาของวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ โดยในรูปที่ 1-1 และ 1-2 แสดงปัญหาของขยะรวมถึงวัชพืชหน้าบานประตูระบายน้ำ ที่เป็นที่มาของการศึกษาวิจัยของการศึกษาวิจัยนี้

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการทดลอง ในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจำลองขยะ 1 ชนิด ได้แก่ ขยะลอยปนมากับน้ำ ในแบบจำลองทางน้ำเปิดขนาดกว้าง 0.60 เมตร ยาว 18 เมตร ลึก 0.75 เมตร มีเป้าหมายเพื่อศึกษาประสิทธิภาพอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริง ของทางน้ำเปิดที่ผ่านประตูน้ำและมีขยะปน ผลการศึกษาคาดว่าจะนำไปใช้เป็นข้อมูล พื้นฐานสำหรับการออกแบบและดำเนินงานทางระบบระบายน้ำ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานที่ถูกต้องมากขึ้น

### 1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

- 1) ศึกษาชลศาสตร์การไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบเลื่อนตรงของทางน้ำเปิดที่มีขยะ
- 2) ศึกษาความสัมพันธ์ของขยะในทางน้ำเปิดกับชลศาสตร์การไหลของทางน้ำและประตูระบายน้ำของ การไหลออกอิสระ (free outflow) และ การไหลออกจมน้ำ (drowned or submerged outflow)



รูปที่ 1-1 รูปหน้าประตูลอยน้ำบริเวณลำน้ำปิง จังหวัดเชียงใหม่หลังคืนวันลอยกระทง (โพสต์ทูเดย์, 2560)



รูปที่ 1-2 รูปหน้าเขื่อนเจ้าพระยาที่จังหวัดชัยนาท จากเว็บไซต์ โพสต์ทูเดย์ (2558)

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้ใช้แบบจำลองทางกายภาพ ในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยจำลองคลองระบายน้ำด้วยรางน้ำเปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 0.60 เมตร ลึก 0.75 เมตร ยาว 18 เมตร ลึก และจำลองขยะลอยน้ำจำพวก เศษไม้ ถูพลาสติก อิฐมวลเบา และขวดพลาสติกใสบรรจุน้ำจะมีจำนวนมากกว่าขยะชนิดอื่น เพื่อควบคุมความลึกเฉลี่ยส่วนที่จมน้ำของขยะ โดยการทดลองมีเงื่อนไขดังนี้

1) การไหลในทางน้ำผ่านประตูระบายน้ำแบบเลื่อนตรง เป็นการไหลคงที่ (steady flow) และทางท้ายบานประตูเป็นการไหลออกอิสระ (free outflow) โดยข้างหน้าบานประตูจะเป็นการไหลแบบใต้วิกฤติ (subcritical flow) และกำหนดอัตราการไหล 4 อัตราการไหล ซึ่งแต่ละอัตราการไหลจะอยู่ในช่วง 17.7-23.5 ลิตร/วินาที ในส่วนบานประตูระบายน้ำมีระยะเปิดบานที่ 2 เซนติเมตรทุกอัตราการไหล โดยบานระบายน้ำการไหลแบบคงที่จะเรียกว่าประตูระบายน้ำตัวที่ 1 โดยจะมีรูปภาพประกอบดังรูปที่ 3-2

2) การไหลในทางน้ำที่ผ่านประตูระบายน้ำแบบเลื่อนตรงเป็นการไหลคงที่ (steady flow) และทางท้ายบานประตูจำลองเป็นการไหลออกจมน้ำ (drowned outflow) โดยจะมีประตูระบายน้ำที่ปลายรางน้ำเป็นบานประตูตัวที่ 2 (คูรูปประกอบบทที่ 3) เพื่อยกระดับควบคุมระดับท้ายน้ำ ( $y_3$ ) เพื่อให้เกิดการท่วมจมไปถึงบานประตูตัวที่ 1 กำหนดอัตราการไหล 4 อัตราการไหล ซึ่งแต่ละอัตราการไหลจะอยู่ในช่วง 12.33-18.62 ลิตร/วินาที ในส่วนบานประตูระบายน้ำมีระยะเปิดบานที่ 2 เซนติเมตรทุกอัตราการไหล ด้านท้ายบานประตูที่เกิดการท่วมจม จะถูกกำหนดและควบคุมโดยบานประตูตัวที่ 2 ซึ่งเป็นแบบเลื่อนตรงเช่นกันดังที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยจะกำหนดค่าระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) กรณีเกิดการท่วมจม 3 ค่า คือ 20, 22 และ 24 เซนติเมตรตามลำดับ

3) ขยะลอยน้ำ ประกอบด้วยเศษไม้ อิฐมวลเบา ขวดพลาสติก โดยจะเน้นไปที่ขวดพลาสติก ซึ่งเป็นจำนวนประมาณ 80 % ของจำนวนขยะทั้งหมด เพื่อควบคุมระยะการจมของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) โดยจะกำหนดระยะการจมของขยะในน้ำเป็น 2 ระยะคือ 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร โดยการวิจัยนี้จะศึกษาความลึกในการจมในน้ำของขยะ 2 ค่านี้ ทั้งในกรณีการไหลออกอิสระ (free outflow) และการไหลออกท่วมจมน้ำ (drowned outflow) ซึ่งจะมีระยะของขยะ 4 ค่าคือ 2.25, 4.50, 6.75, และ 9.0 เมตร เริ่มระยะขยะจากบานประตูตามลำดับ โดยจะเป็นการปล่อยขยะไหลตามสภาพการไหลของน้ำ โดยการศึกษาวิจัยนี้ไม่รวมไปถึง ความหนาแน่นของขยะ การจัดเรียงตัวของขยะ

4) ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อนำไปศึกษาจะมีดังต่อไปนี้ ระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ), ระยะของขยะในรางน้ำจำลอง ( $L_c$ ), อัตราการไหล ( $Q$ ), ระยะความลึกของขยะที่จมในน้ำ ( $y_c$ ), ระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ), โดยตัวแปรที่ได้จะนำไปศึกษาประสิทธิภาพของการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบเลื่อนตรงระหว่างมีขยะที่ระยะต่างๆ เปรียบเทียบกับไม่มีขยะ ซึ่งเป็นจุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้

#### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1) ทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การไหลในทางน้ำเปิด การไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำ

2) ออกแบบการทดลองให้เหมาะสม จำแนกเป็น 2 กรณี การไหลแบบอิสระ และการไหลแบบท่วมจม

3) เตรียมแบบจำลองทางน้ำเปิด อุปกรณ์ในการเก็บค่าตัวแปรต่างๆที่ต้องใช้ จัดเตรียมสร้างประตูน้ำระบายน้ำและรวมรวมขยะที่ต้องใช้ ศึกษาขีดจำกัดความสามารถอุปกรณ์ที่มี เช่น รางน้ำ ปิ๊ม เพื่อช่วยกำหนดขอบเขตกรณีที่ใช้ในการศึกษา

4) ทำการทดลองในเงื่อนไขที่ไม่มีขยะ เพื่อเป็นเงื่อนไขอ้างอิง (Bench mark)

5) ทำการทดลองเมื่อใส่ขยะตามเงื่อนไขต่างๆ และการไหลตามเงื่อนไขต่างๆ

6) เก็บข้อมูล ปริมาณการไหล ระยะการเปิดของประตู และระดับน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ หน้าบานประตูระบายน้ำ ทั้งสองกรณีการไหล ทั้งแบบการไหลแบบอิสระ และการไหลแบบท่วมจม

7) นำข้อมูลที่ได้มาศึกษาวิจัยการไหลผ่านประตูระบายแบบเลื่อนตรง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างทางน้ำเปิดที่มีขยะ ความลึกการจมของขยะ ระยะขยะที่มีผลต่อการไหลผ่านประตูระบายน้ำ

8) สรุปอภิปรายผลการการศกษาวิจัยที่ได้ เสนอแนะการศึกษาต่อจากการวิจัยนี้

9) จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการระบายน้ำของประตูน้ำ เมื่อมีขยะในทางน้ำเปิด

2) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเปิด-ปิด การออกแบบหรือบริหารจัดการน้ำสำหรับประตูระบายน้ำในกรณีที่แม่น้ำหรือลำคลองมีขยะในลำน้ำ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้เป็นการศึกษาการไหลของน้ำผ่านประตูระบายน้ำแบบเลื่อนตรง (sluice gate) เป็น การไหลออกอิสระ (free outflow) และการไหลออกจมน้ำ (drowned outflow) โดยในทางน้ำ เช่น คลอง แม่น้ำ การศึกษานี้เป็นการศึกษาที่มีขะในทางน้ำ เพื่อศึกษาว่าเมื่อมีปริมาณขะในทางน้ำจะมี ผลต่อการไหลผ่านประตูระบายน้ำในรูปแบบการไหลจมน้ำเป็นอย่างไร โดยเปรียบเทียบกับ การไหลที่ ไม่มีขะ ว่ามีผลที่แตกต่างกันอย่างไรบ้าง การศึกษานี้มีความสลับซับซ้อนไม่สามารถวิเคราะห์ด้วย สมการทางคณิตศาสตร์ได้ ยกตัวอย่างเช่น สมประสิทธิ์ของการไหลลอดผ่านประตูระบายบานเลื่อน แบบยกขึ้นในแนวตั้ง ( $C_c$ ) จะเปลี่ยนแปลงเพราะเกี่ยวข้องกับค่าพารามิเตอร์หลายตัวแปร อย่างเช่น ระยะเปิดบาน ( $w$ ) ระดับน้ำหน้าบานประตูและท้ายบานประตู ( $y_1, y_2$ ) เป็นต้น โดยการศึกษานี้ทำการ จำลองทางน้ำในห้องปฏิบัติการ โดยมีทางน้ำจำลอง (flume) การไหลแบบสภาพจริงขึ้น ในหัวข้อนี้จะ สรุปลักษณะ ทฤษฎี และตัวแปรในการศึกษาต่างๆ ดังต่อไปนี้

#### 2.1 ทฤษฎีการไหลในทางน้ำเปิด

โดยทั่วไปแล้วการไหลสม่ำเสมอจะเป็นการไหลคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา (steady flow) ยกตัวอย่างเช่น มีระดับน้ำคงที่ ความเร็วคงที่เป็นต้น โดยสภาพการไหลสม่ำเสมอก็มักจะถูกนำไป ประยุกต์ใช้กับในทางน้ำเปิดด้วย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ง่ายต่อการคำนวณและความถูกต้องพอประมาณ ซึ่งการไหลแบบสมอนั้นอัตราการไหลของทางน้ำนั้น จะเปลี่ยนแปลงตามความลาดพลังงาน และ สมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ในการไหลแบบสม่ำเสมอ ความลาดพลังงาน ( $S_f$ ) เท่ากับ ความลาดผิวน้ำ ( $S_w$ ) และความลาดท้องน้ำ ( $S_0$ ) คือ  $S_f = S_w = S_0$  ดังนั้นถ้าตัวแปรความลาดท้องน้ำ เป็นค่าคงที่ด้วย อัตราการไหลจะแปรเปลี่ยนไปตามสมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ดังสมการ (2-1) (Chow, 1959)

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

โดย	Q	คือ อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
	V	คือ ความเร็วการไหลของน้ำเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล (ตารางเมตร)
	R	คือ รัศมีชลศาสตร์ (เมตร)
	$S_f$	คือ ความลาดพลังงาน (เมตรต่อเมตร)
	n	คือ สมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

โดยหน่วยระบบที่ใช้เป็นระบบเมตริก



จากสมการของ Manning ทำให้เราสามารถหาค่าของสัมประสิทธิ์ความขรุขระ ( $n$ ) จาก การคำนวณได้จากสมการ

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

**องค์ประกอบที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ความขรุขระ มีดังนี้ (Chow, 1959)**

- ความขรุขระของผิวน้ำทางน้ำเปิด (surface roughness) หมายถึงวัสดุ ขนาดและรูปร่างของ เม็ดวัสดุบนเส้นขอบเปียกบนทางน้ำเปิด
- พืชปกคลุม (vegetation) จะมีผลต่อความขรุขระของทางน้ำเปิด ลดพื้นที่หน้าตัดการไหล และยังทำให้การไหลช้าลงด้วย
- ความผันแปรของทางน้ำเปิด (channel irregularities) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของเส้น ขอบเปียก หน้าตัด ขนาด รูปร่าง ตามความยาวของทางน้ำเปิด และยังอาจหมายถึงสภาพ ท้องน้ำ เช่น สันทราย หลุมบ่อต่างๆในท้องน้ำ
- ความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด (channel alignment) ทางน้ำเปิดที่คดเคี้ยวมากก็มีส่วนทำให้ ค่า Manning's  $n$  สูงตามไปด้วย
- การตกตะกอนและการกัดเซาะ (silting and scouring) การตกตะกอนจะทำให้ท้องน้ำ ราบเรียบมากขึ้น จึงเป็นการลดความขรุขระ แต่ในทางตรงข้ามการกัดเซาะจะทำให้ค่า สัมประสิทธิ์ความขรุขระเพิ่มขึ้น และยังขึ้นอยู่กับวัสดุที่ตกตะกอนด้วย ถ้าเป็นตะกอนทราย จะเป็นการเพิ่มความขรุขระ และถ้าการกัดเซาะเป็นการกัดเซาะบริเวณกว้างทำให้พื้นที่นั้น ราบเรียบก็จะเป็นการลดความขรุขระเช่นกัน
- สิ่งกีดขวาง (obstruction) การไหล เช่น ท่อนซุง ต่อม่อสะพาน ก็จะเป็นการเพิ่ม Manning's  $n$
- ขนาดและรูปร่างทางน้ำเปิด
- ความลึกหรือระดับน้ำ และอัตราการไหล (stage and discharge) เมื่อสูงขึ้นค่า Manning's  $n$  จะลดลง
- การแปรผันตามฤดูกาล (season change) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวัชพืชน้ำตามลำคลอง
- วัสดุตะกอนแขวนลอยและตะกอนท้องน้ำ (suspended material and bed load) ซึ่งการ เคลื่อนที่ตะกอนเหล่านี้ต้องใช้พลังงานในการเคลื่อนทำให้ความขรุขระเพิ่มขึ้น โดยตารางที่ 2-1 จะแสดงค่า Manning's  $n$  บนวัสดุพื้นผิวชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2-1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n ของ Manning

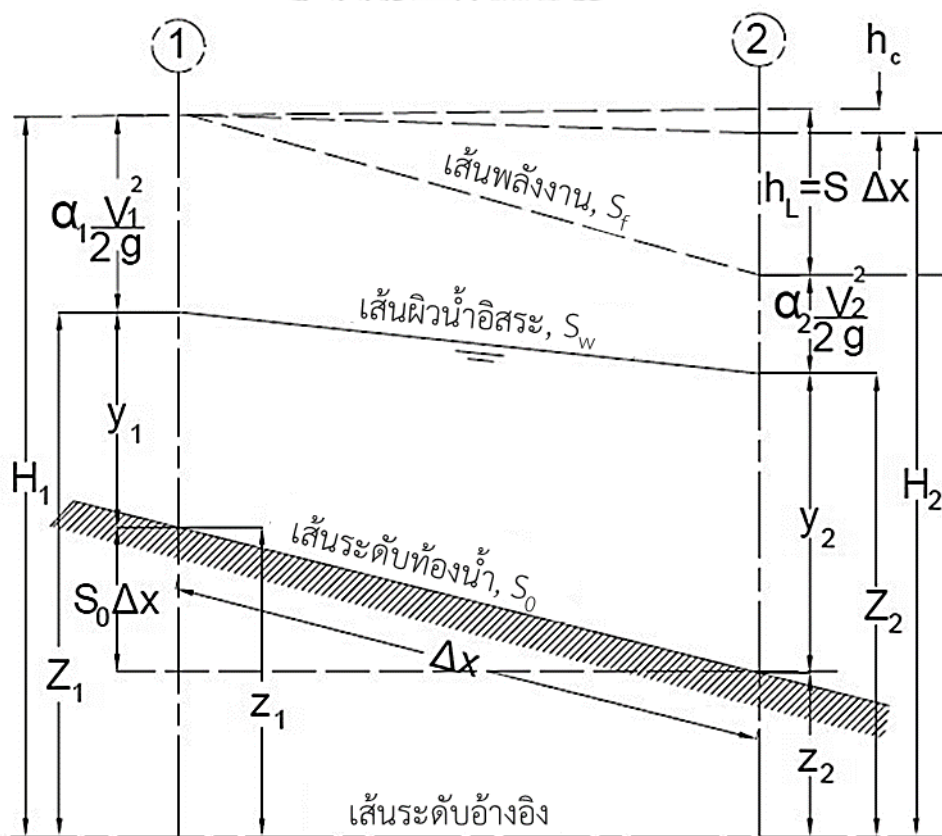
ชนิดและสภาพทางน้ำ (type of channel and description)	ค่าน้อย	ค่าปกติ	ค่ามาก
<b>ทางน้ำลาดผิวหรือสร้างขึ้น (lined or built-up channels)</b>			
1.1 วัสดุพวโลหะ (metal)			
1.1.1 เหล็กผิวเรียบ (smooth steel surface)			
1. ไม่ได้ทาสี (unpainted)	0.011	<b>0.012</b>	0.014
2. ทาสี (painted)	0.012	0.013	0.017
1.2 วัสดุโลหะ (nonmetal)			
1.2.1 ซีเมนต์ (cement)			
1. ผิวเรียบ (neat, surface)	0.010	0.011	0.013
2. มีมอร์ตาร์ (mortar)	0.011	0.013	0.015
1.2.2 ไม้ (wood)			
1. ผิวเรียบตามธรรมชาติ (planed, untreated)	0.010	0.012	0.014
2. ผิวเรียบ เคลือบผิว (planed, creosoted)	0.011	0.012	0.015
3. ผิวไม่เรียบ (unplanned)	0.011	0.013	0.015
4. ไม้ต่อกันแต่ละแผ่นด้วยการยึดเกาะ (plank with battens)	0.012	0.015	0.018
5. ไม้ลาดผิวด้วยการคลุมเป็นแผ่น (lined with roofing paper)	0.010	0.014	0.017
1.2.3 คอนกรีต (concrete)			
1. แต่งผิวด้วยอุปกรณ์โบกปูน (trowel finish)	0.011	0.013	0.015
2. ไม่แต่งผิว ไม่โบกปูน (float finish)	0.013	0.015	0.016
3. แต่งผิวและมีกรวดที่ท้องน้ำ (finished, with gravel on bottom)	0.015	0.017	0.020
4. ไม่แต่งผิว (unfinished)	0.014	0.017	0.020
5. หน้าตัดสภาพดี (gunite, good section)	0.016	0.019	0.023
6. หน้าตัดเป็นคลื่น (gunite, wavy section)	0.018	0.022	0.025
7. ดาดบนพื้นผิวหินที่ขุดไว้อย่างดี (on good excavated rock)	0.017	0.020	
8. ดาดบนพื้นผิวหินที่ขุดไว้ไม่สม่ำเสมอ (on irregular excavated rock)	0.022	0.027	
1.2.4 ท้องทางน้ำเป็นคอนกรีตที่ไม่มีการแต่งผิวโดยดาดโบกปูน ส่วนด้านข้างมี (concrete bottom float finished with sides of)			
1. มีหินตกแต่งในมอร์ตาร์ (dressed stone in mortar)	0.015	0.017	0.020
2. มีหินในมอร์ตาร์แบบไม่ตกแต่ง (random stone in mortar)	0.017	0.020	0.024
3. อิฐก่อซีเมนต์และฉาบปูน (cement rubble masonry, plastered)	0.016	0.020	0.024
4. อิฐก่อซีเมนต์ (cement rubble masonry)	0.020	0.025	0.030
5. หินแห้งหรือหินทิ้งยาคอนกรีต (dry rubble or riprap)	0.020	0.030	0.035
1.2.5 ท้องน้ำมีกรวดและด้านข้าง (gravel bottom with sides of)			
1. คอนกรีตใช้ไม้แบบ (formed concrete)	0.017	0.020	0.025
2. มีหินในมอร์ตาร์แบบไม่ตกแต่ง (random stone in mortar)	0.020	0.023	0.026
3. หินแห้งหรือหินทิ้งยาคอนกรีต (dry rubble or riprap)	0.023	0.033	0.036
1.2.6 อิฐ (brick)			
1. ผิวเป็นเงา (glazed)	0.011	0.013	0.015
2. ในซีเมนต์มอร์ตาร์ (in cement mortar)	0.012	0.026	0.018
1.2.7 อิฐก่อ (masonry)			
1. ผสมเศษหินซีเมนต์ (cemented rubble)	0.017	0.025	0.030
2. ผสมเศษหิน (dry rubble)	0.023	0.032	0.035

ตารางที่ 2-1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n ของ Manning (ต่อ)

ชนิดและสภาพทางน้ำ (type of channel and description)	ค่าน้อย	ค่าปกติ	ค่ามาก
1.2.8 หินก่อสร้างรูปสามเหลี่ยม (dressed ashlar)	0.013	0.015	0.017
1.2.9 แอสฟัลต์ (asphalt)			
1. ผิวเรียบ (smooth)	0.013	0.013	
2. ผิวขรุขระ (rough)	0.016	0.016	
1.2.10 ดาดด้วยพืช (vegetable lining)	0.030		0.500

ที่มา : (เสรี จันทโรยธา และ ชัยพันธุ์ รักวิจัย, 2556)

การไหลไม่สม่ำเสมอ (non-uniform flow) แบบเปลี่ยนแปลงน้อยนัย (gradually varied flow) คือ การไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงความลึกของการไหลช้าๆ ในทิศทางการไหลตามความยาวทางน้ำเปิดที่มีความลาดต้งน้ำ (bed slope,  $S_0$ ) ความลาดเอียงของผิวน้ำ (water surface slope,  $S_w$ ) และความลาดพลังงานของการไหล (energy slope,  $S_f$ ) ไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตาม การไหลยังคงที่ หรือการไหลไม่เปลี่ยนแปลงกับเวลา เช่น อัตราการไหล ( $Q$ ), ความเร็วการไหล ( $V$ ), ความลึกของการไหล ( $y$ ) ณ จุดใดจุดหนึ่งคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไปดังในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 การไหลแปรผันอย่างค่อยเป็นค่อยไป (เสรี จันทโรยธา และ ชัยพันธุ์ รักวิจัย, 2556)

โดยการไหลไม่สม่ำเสมอ (non-uniform) เป็นแบบเปลี่ยนแปลงน้อย (gradually varied flow) นั้น ตามรูปที่ 2-1 แสดงรูปตัดการไหลในทางน้ำเปิดช่วงสั้นๆ ระหว่างหน้าตัด 1 และ 2 ถ้าสมมติให้การสูญเสียพลังงานมีค่าน้อยมาก ( $h_e \approx 0$ ) ความลาดท้องน้ำ  $S_0 \leq 0.1$  หรือ  $\theta \leq 6^\circ$  สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 + \alpha \frac{dy}{dx} \left( \frac{V^2}{2g} \right)} \quad (2-3)$$

X = ระยะช่วงความยาวท้องน้ำ

Y = ระยะความลึกระดับน้ำ

$\theta$  = มุมความลาดท้องน้ำ

และจัดสมการให้อยู่ในรูปผลต่างอันตะ (finite difference)

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{S_0 - \bar{S}_f}{1 - Fr^2} \quad (2-4)$$

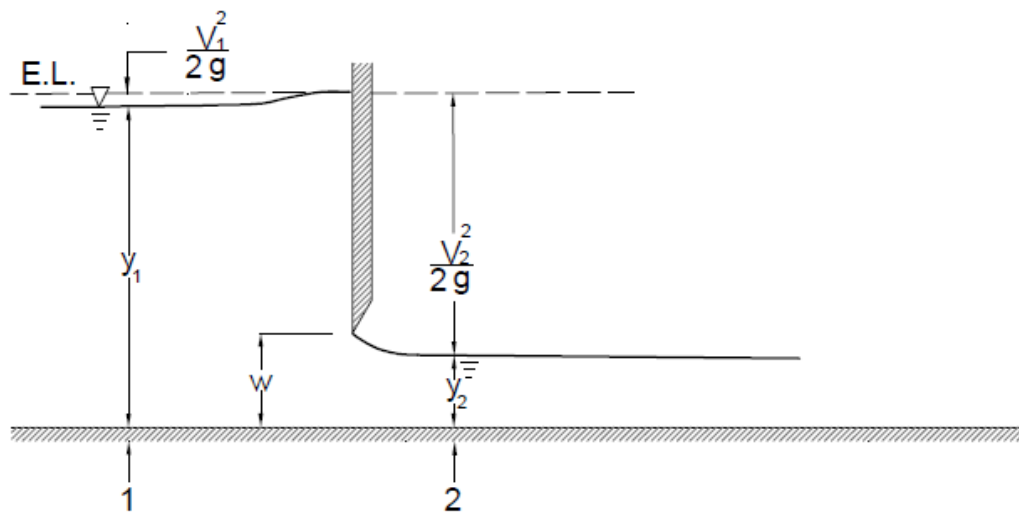
หรือ

$$\Delta x = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f} \quad (2-5)$$

โดยที่พลังงานจำเพาะ (specific energy)  $E = y + \alpha \frac{V^2}{2g}$ ; เมื่อ  $\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์ความเร็ว (velocity coefficient)

## 2.2 ทฤษฎีการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำบานเลื่อนยกขึ้น-ลงในแนวตั้ง (vertical sluice gate)

ประตูระบายน้ำเป็นอาคารชลศาสตร์ประเภทหนึ่งใช้ในการควบคุมน้ำ เช่นการไหลในแม่น้ำ การทดน้ำเพื่อยกระดับน้ำหน้าประตูผันน้ำเข้าคลองซอยแยกต่างๆ เป็นต้น สำหรับการวิเคราะห์การไหล เมื่อเป็นการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระ (free outflow) จะพิจารณาจากสมการไหลระหว่างหน้าตัด 1 และ 2 เมื่อไม่พิจารณาผลของความหนืดของน้ำ และการสูญเสียพลังงานตามรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 การไหลลอดประตูแบบอิสระ (free outflow)

จากรูปที่ 2-2 จะได้สมการพลังงานการไหลระหว่างหน้าตัด 1 และ 2 โดยสมมติกรณีไม่มีการสูญเสียพลังงานจะได้

$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2} \quad (2-6)$$

โดยที่  $q = Q/B$  ; อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง

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

$$q = C_c w \sqrt{2gy_1 \frac{y_1}{y_1 + y_2}} \quad (2-7)$$

อัตราการไหลทั้งหมด

$$Q = C_c w B \sqrt{2gy_1 \frac{y_1}{y_1 + y_2}} \quad (2-8)$$

8)

หรือ

$$q = C_d w \sqrt{2gy_1} \quad (2-9)$$

เมื่อ 
$$C_d = \sqrt{\frac{C_c}{1 + C_c w / y_1}} \quad (2-10)$$

โดยทั่วไปกำหนดสูตรในรูปแบบสมการดังนี้

$$Q = C_d A \sqrt{2gH} = C_d A \sqrt{2g \left( y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)} \quad (2-11)$$

หรือ 
$$Q = C_d y_2 B \sqrt{2gH} = C_d y_2 B \sqrt{2g \left( y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)} \quad \text{เมื่อ } A = C_c w B = y_2 B$$

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

$$Q = C_d A \sqrt{2gH} = C_d A \sqrt{2gy_1} \quad \text{หรือ} \quad q = C_d w \sqrt{2gy_1} \quad (2-12)$$

- โดย Q คือ อัตราการไหลผ่านระบาย/ประตูน้ำทั้งหมด
- q คือ อัตราการไหลผ่านระบาย/ประตูน้ำ ต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของบานประตู
- $C_c$  คือ สัมประสิทธิ์บีบการไหล (contraction coefficient)
- $C_d$  คือ สัมประสิทธิ์อัตราการไหล (discharge coefficient)
- A คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล (water area) ที่ใต้บานระบาย/ประตูน้ำ  
หรือ  $A = C_c w B = y_2 B$
- B คือ ความกว้างของบานระบาย/ประตูน้ำ
- w คือ ระยะการเปิดของบานระบาย/ประตูน้ำ
- H คือ ความสูงของพลังงาน (energy head) = บางครั้งใช้  $H = y_1$  ในกรณี  $V_1$  หรือ มีค่าน้อยมาก

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์  $C_c$  จะขึ้นกับลักษณะรูปทรงของขอบเขตการไหล ที่สำคัญก็คือค่า  $w/y_1$  ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์  $C_d$  จึงขึ้นกับค่า  $w/y_1$  ในการพิจารณาหาค่าสัมประสิทธิ์  $C_c$  ที่  $w/y_1$  ค่าต่างๆ นั้นได้มีบุคคลต่างๆ ทำการศึกษาและวิเคราะห์ทางทฤษฎี โดยมีความจำกัดของผลที่ได้ตามสมมุติฐานหรือเงื่อนไขที่กำหนดของการวิเคราะห์ ค่าสัมประสิทธิ์  $C_c$  สำหรับกรณีของประตูในแนวตั้ง (vertical sluice gate) ดังแสดงตามตารางที่ 2-2

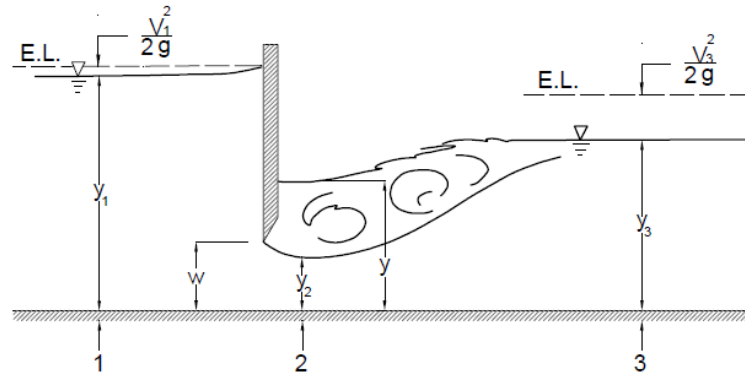
ตารางที่ 2-2 สัมประสิทธิ์  $C_c$  ของการไหลลอดประตูระบายบานเลื่อนหรือยกตรงในแนวตั้ง

$w/E_1$	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

ที่มา : (Henderson, 1966)

ในทางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีโดย Benjamin(1954) รูปที่ 2-2 ได้แสดงตัวอย่างของค่าสัมประสิทธิ์ สำหรับกรณีของประตูในแนวตั้งในทางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีและผลจากการทดลอง ซึ่ง Henderson (1966) แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างค่าสัมประสิทธิ์ ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี และผลจากการทดลองประมาณได้ด้วยสมการ (2-15) ในรูปที่ 2-2 สำหรับรูปที่ 2-3 ได้แสดงตัวอย่างของค่าสัมประสิทธิ์ สำหรับกรณีของประตูเลื่อนในแนวตั้ง (vertical sluice gate) ในทางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์ ที่มีอยู่ในตำราต่างๆ เป็นค่าสำหรับหน่วยระบบอังกฤษ ดังนั้นก่อนนำมาใช้จึงควรตรวจสอบและใช้ค่าให้ถูกต้อง

สำหรับการไหลลอดบานประตูแบบการไหลจมน้ำ (drowned outflow) ซึ่งระดับน้ำด้านท้ายน้ำจะสูงกว่าค่า  $y_2$  ที่คอขวด (vena contracta) ดังแสดงในรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 การไหลลอดประตูแบบจมน้ำ (drowned outflow)

สำหรับการไหลลอดผ่านประตูแบบจมน้ำดังแสดงในรูปที่ 2-3 เมื่อพิจารณาสมการโมเมนตัมระหว่างหน้าตัด 2 และ 3 จะได้

$$\frac{q^2}{gy_2} + \frac{y^2}{2} = \frac{q^2}{gy_3} + \frac{y_3^2}{2} \quad (2-13)$$

และค่า  $C_d$  สำหรับกรณีของประตูระบายน้ำบานเลื่อนตรงสำหรับในกรณีการไหลลอดประตูระบายน้ำแบบจมน้ำสามารถหาได้เมื่อพิจารณารูปที่ 2-3 ระหว่างหน้าตัด 1 และ 3 จากสมการที่ (2-11)

จะได้

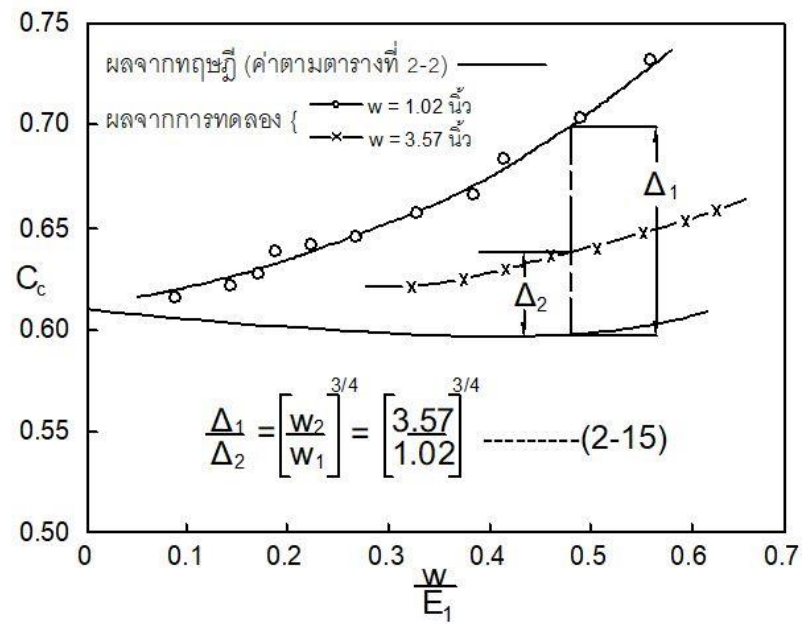
$$Q = C_d A \sqrt{2gH} = C_d A \sqrt{2g \left( y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)}$$

$$Q = C_d wL \sqrt{2g(H_1 - H_3)}$$

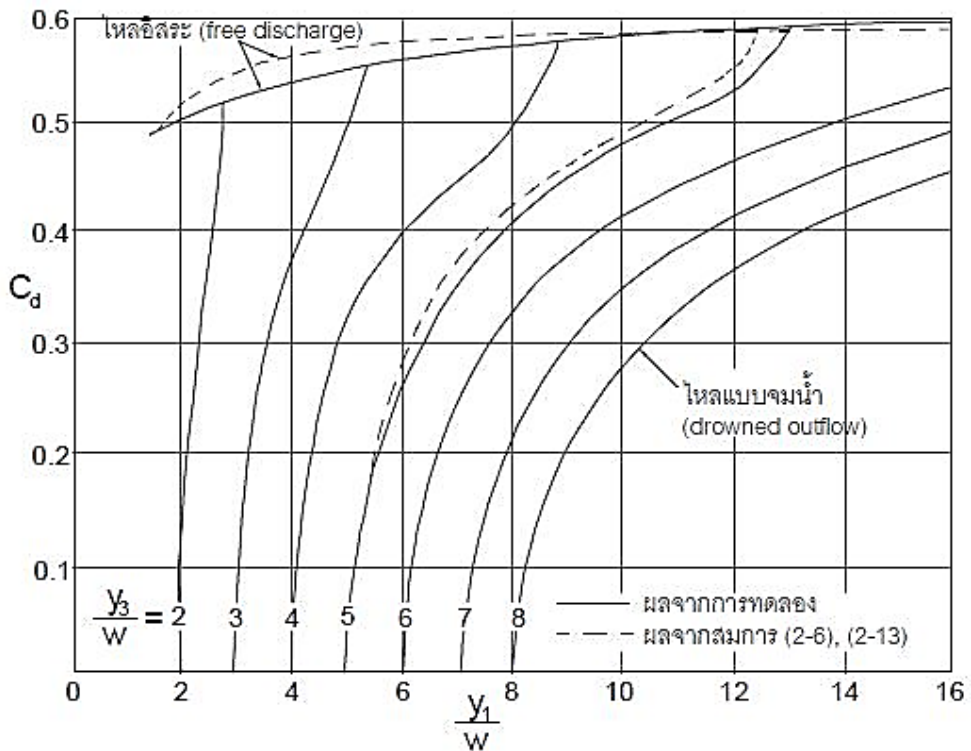
$$Q = C_d wL \sqrt{2g \left( \left( y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left( y_3 + \frac{V_3^2}{2g} \right) \right)}$$

$$C_d = \frac{Q}{wL \sqrt{2g \left( \left( y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left( y_3 + \frac{V_3^2}{2g} \right) \right)}} \quad (2-14)$$





รูปที่ 2-4 สัมประสิทธิ์ปีบการไหล ( $C_c$ ) ของการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำบานเลื่อนยกในแนวตั้ง  
ที่มา : (Henderson, 1966)



รูปที่ 2-5 สัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) ของการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำบานเลื่อนยกในแนวตั้ง  
ที่มา : (Henderson, 1966)

### 2.3 การวิเคราะห์มิติเชิงไร้หน่วยและแบบจำลองทางชลศาสตร์

ในการวิเคราะห์ปัญหาทางชลศาสตร์นั้น ถ้าปัญหาไม่ซับซ้อนมากนัก หรือมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก จะสามารถใช้ทฤษฎีต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นเข้าช่วยแก้ปัญหาได้ แต่ถ้าปัญหานั้นมีความซับซ้อน มีหลายตัวแปรที่เกี่ยวข้อง จึงจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองทางชลศาสตร์เพื่อที่จะแก้ปัญหานั้นๆ โดยตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่ไม่สามารถอธิบายได้ทั้งหมด ซึ่งสามารถนำวิธีวิเคราะห์เชิงมิติ (dimensional analysis) เข้าร่วมวิเคราะห์กับแบบจำลองทางชลศาสตร์ที่จำลองขึ้นมา

ในการศึกษาการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบเลื่อนตรงในทางน้ำที่มีขยะนั้น โดยอาศัยรางน้ำจำลอง (flume) เป็นแบบจำลองทางชลศาสตร์นั้น มีตัวแปรที่มีผลต่อการลดไหลผ่านประตูระบายน้ำในทางน้ำที่มีขยะดังต่อไปนี้

- 1) กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำที่ไหลผ่านลอดบานประตูระบายน้ำทั้งกรณีการไหลแบบอิสระ (free flow) และการไหลแบบจมน้ำ (submerge flow) มีดังต่อไปนี้ ความลึกการไหล (flow depth,  $y$ ) โดยที่  $y_1$  จะเป็นความลึกน้ำหน้าบานประตู และ  $y_3$  คือความลึกน้ำท้ายบานประตู, ความเร็วของการไหล (mean velocity,  $V$ ), อัตราการไหล (discharge,  $Q$ ) และระยะการยกบาน (gate opening,  $w$ )
- 2) กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับขยะที่ใช้ในการทดลอง มีดังต่อไปนี้ ขยะ ( $g$ ), ระยะการลอยของขยะ ( $L_g$ ), ความลึกของขยะส่วนที่จมน้ำ ( $y_g$ ),

ทั้งนี้คงจะเห็นได้ว่ามีตัวแปรเป็นจำนวนมากที่สัมพันธ์กับการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบเลื่อนตรงในทางน้ำที่มีขยะ ซึ่งทำให้ยากต่อการวิเคราะห์ เพราะเหตุนี้การวิเคราะห์เชิงมิติจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ปัญหาทางชลศาสตร์ โดยจะพิจารณาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติ (dimensionless parameter)

การไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบเลื่อนตรงในทางน้ำที่มีขยะ จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านบานประตู ( $C_d$ ) โดยสามารถนำตัวแปรความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องมาเขียนเป็นฟังก์ชันความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$C_d = f(w, y_1, y_g, L_g) \quad (2-16)$$

และเมื่อนำสมการที่ (2-20) มาเขียนความสัมพันธ์ในรูปแบบตัวแปรไร้มิติ (dimensionless parameter) จะได้

$$C_{d,g} = f\left(\frac{y_1}{w}, \frac{y_g}{y_1}, \frac{L_g}{y_1}\right) \quad (2-17)$$

และในการศึกษาวิจัยจะเป็นการเปรียบกับการไหลผ่านบานประตูระบายน้ำระหว่าง มีขยะกับไม่มีขยะ เพราะฉะนั้นจะเขียนฟังก์ชันความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{C_{d,g}}{C_{d,0}} = f\left(\frac{y_1}{w}, \frac{y_g}{y_1}, \frac{L_g}{y_1}\right) \quad (2-18)$$

$C_{d,0}$  = สัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านบานประตูระบายน้ำไม่มีขยะ

$C_{d,g}$  = สัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านบานประตูระบายน้ำที่มีขยะ

ซึ่งกลุ่มตัวแปรเหล่านี้จะถูกลำเอียงมาใช้อธิบายการศึกษาวิจัยการไหลผ่านลอดบานประตูแบบเลื่อนตรง ในทางน้ำที่มีน้ำต่อไป

#### 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wu et al. and Chou (1999) ได้ศึกษาพิสูจน์สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพีชในทางน้ำเปิด โดยจำลองแผงขนม้า (horsehair mattress) แทนพีช แล้วทดลองในทางน้ำเปิดจำลองในห้องปฏิบัติการ โดยผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะลดลงเมื่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำที่ยังไม่ท่วมแผงพีชที่จำลองขึ้น เมื่อเกิดกรณีการท่วมจนแล้วปรากฏว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ระดับน้ำต่ำแต่จะลดลงสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง

Shucksmith et al. (2010) ทำการศึกษาวิจัยผลกระทบของพีชต่อการไหลในทางน้ำเปิด โดยได้ทำการทดลองในทางน้ำจำลองในห้องปฏิบัติการ โดยทางน้ำเปิด กว้าง 0.6 เมตร ยาว 14.5 เมตร แล้วทำการใช้พีชธรรมชาติ 2 ชนิดปลูกในทางน้ำจำลองเป็นเวลา 26 สัปดาห์ ซึ่งในระหว่างการทดลองพีชจะจมน้ำและโตขึ้นมาพันน้ำ โดยระดับน้ำสูงสุดที่ทำการทดลองอยู่ที่ 0.50 เมตรแล้วจดบันทึกข้อมูลความเร็วโดยใช้เครื่องมือวัดความเร็ว (Acoustic Doppler Velocimeter) จากการศึกษาพบว่า การทดลองที่พีชโตพันน้ำนั้นจะช่วยส่งเสริมการกระจายความเร็วให้เป็นรูปแบบมากขึ้น ซึ่งมีประโยชน์ในการลดความเร็วของการไหลของน้ำ สำหรับการทดลองที่พีชจมอยู่ใต้น้ำนั้นความเร็วเฉือนจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำจะไหลเร็วมากที่ส่วนยอดของพีชเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองที่โตพันน้ำ

M. Bijankhan et al. (2012) ได้ทำการศึกษาวิจัยการไหลแบบอิสระ (free flow) และการไหลแบบจมน้ำ (submerged flow) ผ่านบานประตูระบายน้ำแบบตั้งตรง พบว่าการไหลแบบอิสระ การใช้สูตรการวิเคราะห์เชิงมิตินั้นให้ค่าคำนวณออกมาเป็นที่ยอมรับได้ แต่สำหรับการไหลแบบจมน้ำนั้นจะให้ผลที่ยอมรับได้ในกรณีระดับน้ำท้ายบานประตูไม่สูงนัก และจากการศึกษาวิจัยได้สร้างความสัมพันธ์สมการขึ้นเพื่อให้หาค่าจากการสอบเทียบบานประตูแบบตั้งตรงทั้งจากการไหลแบบอิสระ และการไหลแบบท่วมจม ซึ่งสมการที่ผู้วิจัยได้พัฒนามาคือสมการ DRF (discharge reduction factor)

Sauida (2014) ได้ศึกษาวิจัยพิสูจน์เกี่ยวกับค่าผลกระทบพารามิเตอร์ของอัตราการไหลผ่านบานประตูแบบตั้งตรงซึ่งมีจำนวนหลายบานประตูในการวิจัยนี้ และเป็นการไหลแบบจมน้ำท้ายบานประตู ซึ่งได้ทำการทดลองที่แล็บปฏิบัติการที่สถาบันชลศาสตร์ ของกระทรวงแหล่งน้ำและชลประทานในประเทศอียิปต์ โดยใช้การวิเคราะห์แบบถดถอย (regression analysis) จากการศึกษาพบการขยายตัวของอัตราส่วนพารามิเตอร์ต่างๆในการวิจัยในการทดลองเปิดบานแบบไม่สมมาตรกัน

Li et al. (2014) ทำการศึกษาวิจัยผลกระทบของพีชที่มีความยืดหยุ่นที่จมน้ำต่อโครงสร้างที่มีการไหลของน้ำ โดยทดลองโดยใช้เครื่องวัดอนุภาควัดความเร็ว (Acoustic Doppler Velocimeter) โดยทดลองในทางน้ำจำลอง แล้วสังเกตผลการศึกษาเหนือพีชเทียมที่ได้จำลองขึ้น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลอันเนื่องมาจากความหนาแน่นของพีชที่จำลองใต้น้ำ และการศึกษายังแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการไหลที่กลับเข้าสู่ภาวะปกติเมื่อสิ้นสุดระยะพื้นที่ที่มีพีชจำลอง

Urantinon (2015) ทำการศึกษาศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของผักตบชวาที่มีผลต่อพฤติกรรมการไหลในลำน้ำ และ การส่งผ่านอนุภาคละเอียดในทางน้ำเปิด โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการแบบจำลอง ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน โดยมีตัวแปรที่ควบคุมคือ ความหนาแน่นผักตบชวา ( $\lambda$ ) ความยาวราก ( $h$ ) โดยผลจากการศึกษาทดลองพบว่า ผักตบชวามีพฤติกรรมเหมือนของแข็งและเป็นสาเหตุเกิดความเสียหายด้านการไหล โดยมีภาวะการกระจายตัวเป็นแบบหัวลูกกระสุน และเหมือนทฤษฎีการกระจายความเร็ว การไหลในท่อปิดแทนที่จะเป็นการไหลในทางน้ำเปิด และยังพบอีกว่าความหนาแน่นผักตบชวา อัตราส่วนความลึกรากต่อความลึกระดับน้ำที่มากมีส่วนเพิ่มความต้านทานการไหลในรูปของค่าสัมประสิทธิ์ของแมนนิ่งที่เพิ่มขึ้น และมีผลต่อการส่งผ่านอนุภาคละเอียดที่ติดกับราก โดยมีแนวโน้มที่ความหนาแน่นผักตบชวาเยอะ รากยาว จะดักอนุภาคละเอียดได้สูงขึ้นเช่นกัน แต่จะดักอนุภาคได้ถึงระดับหนึ่งเท่านั้น คือระดับที่ขีดจำกัดความอึดตัว เกิดการสมดุลระหว่าง มวลละเอียดที่ติดติดกับรากกับมวลละเอียดที่หลุดจากรากจะมีอัตราเท่ากัน และหลังจากการทดลองผู้วิจัยได้สร้างสมการแสดงผลของผักตบชวาที่มีต่อพฤติกรรมการไหล และอนุภาคในทางน้ำเปิด

Abdelhaleem (2016) ได้ศึกษาประมาณค่าการไหลแบบจมน้ำผ่านประตูแบบบานโค้ง (radial gates) โดยข้อมูลที่บันทึกผ่านอาคารควบคุมบังคับน้ำสามแห่งในประเทศอียิปต์ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากคำนวณโดยวิธี เช่น หลักการพลังงาน-โมเมนต์, โปรแกรมคอมพิวเตอร์ HEC-RAS และ วิธี Dimensionless calibration methods ซึ่งผู้วิจัยพบว่ามีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% สำหรับการศึกษาค่าข้อมูลจากอาคารบังคับน้ำทั้งสามแห่งในอียิปต์นี้

Mohammad Bijankhan et al. (2017) ได้ศึกษาทำการทดลองในห้องปฏิบัติการที่มหาวิทยาลัยเตหะราน บนทางน้ำจำลอง (flume) โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับรูปร่างของความเร็ว

(velocity profile) ของการไหลจมน้ำ (submerged flow) ผ่านบานประตูระบายน้ำแบบตั้งตรง โดยอาศัยเครื่องมือวัดที่เรียกว่า Acoustic Doppler Velocimetry measurement (ADV) โดยใช้หลักการคลื่นความถี่ 200 เฮิรต์ในการวัดรูปร่างความเร็วคลื่น จากการศึกษาพบว่าผลลัพธ์จากการคำนวณโดยวิธีดั้งเดิมโดยใช้หลักการพลังงาน-โมเมนตัมนั้น ให้ค่าที่ไม่แม่นยำนักในกรณีที่มีการไหลจมน้ำในค่าระดับน้ำสูง

สุวิภา กุศลจุง และคณะ (2560) ทำการศึกษาหาสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายสันโอ๊กในทางน้ำที่มีขยะปน โดยทดลองทางน้ำเปิดจำลองสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 0.30 เมตร ยาว 8.0 เมตร สูง 0.30 เมตร ในห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผลการศึกษาพบว่าเมื่อทางมีขยะจะทำให้สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลดลง 13.75% และยังพบว่าจำนวนปริมาณขยะยิ่งมากขึ้นจะทำให้สัมประสิทธิ์อัตราการไหลลดลงมากขึ้นด้วย

หริส ประสารฉำ (2561) ได้ศึกษาวิจัยประเมินคุณสมบัติการไหลของน้ำผ่านสิ่งกีดขวางที่มีขยะปนในทางน้ำเปิด ทำการทดลองในปฏิบัติการ โดยจำลองสิ่งกีดขวางการไหลเป็นแท่งทรงสี่เหลี่ยมวางเป็นระยะต่างๆขวางลำน้ำ แล้วจำลองขยะชนิดต่างๆลดสิ่งกีดขวาง จากการศึกษาพบว่าค่าอัตราการไหลมีความผันแปรตามปริมาณขยะที่เพิ่มมากขึ้น แบบจำลองขยะประเภทถุงพลาสติกและลูกโป่งมีผลทำให้ค่า Manning n เพิ่มขึ้น ในขณะที่ขยะประเภทโฟมมีผลต่อค่า Manning n เพียงเล็กน้อย

## บทที่ 3

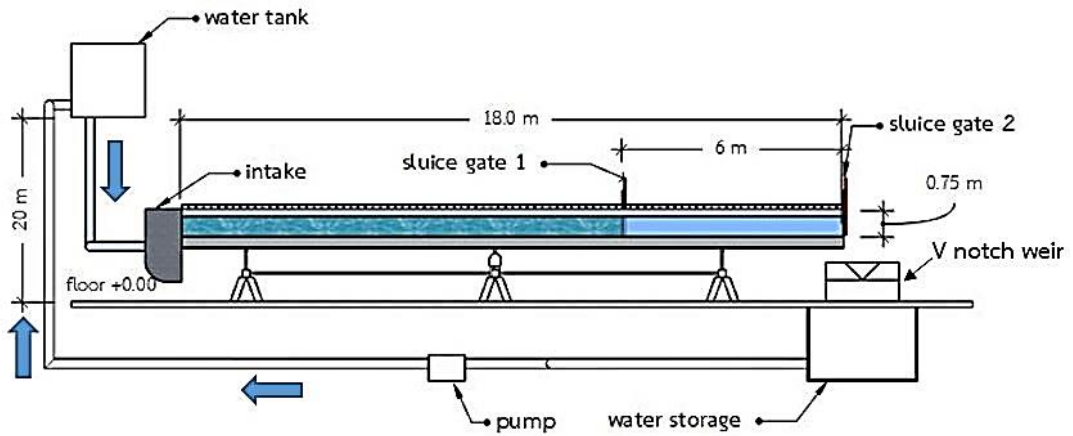
### การดำเนินการศึกษา

ในการศึกษาทดลองหาประสิทธิภาพและสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านประตูระบายบานเลื่อนแบบยกขึ้นในแนวตั้ง (sluice gate) ของคลองที่มีขยะ ได้ทำการทดลองด้วยรางน้ำเปิด ณ ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

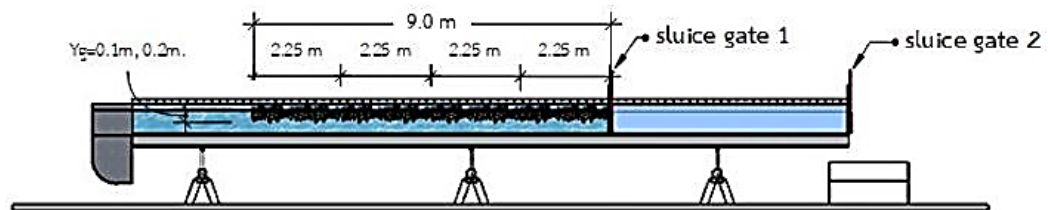
#### 3.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) รางน้ำเปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 0.60 เมตร ลึก 0.75 เมตร ยาว 18 เมตร ผนังสองด้านข้างเป็นกระจกใส พื้นรางเป็นโลหะ ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน โดยนำน้ำเข้าสู่รางเป็นท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว ต่อมาจากถังน้ำที่มีความจุประมาณ 30 ลูกบาศก์เมตร บนชั้นดาดฟ้าของตึกวิศวกรรม 5 ตรงกลางรางน้ำจะมีติดตั้งบานประตูบานยกตัวที่ 1 และท้ายรางน้ำติดตั้งบานประตูแบบบานยกตัวที่ 2 (sluice gate) รวมเป็นสองบาน น้ำจะไหลจากรางจำลองลงสู่ถังรับน้ำ ซึ่งใช้วัดอัตราการไหลแบบฝายสันคมรูปตัววี (V-notch weir) แล้วปล่อยน้ำไปยังบ่อพักเก็บน้ำด้านล่างของราง และใช้เครื่องสูบน้ำสูบกลับขึ้นไปจนถึงเก็บน้ำที่ชั้นดาดฟ้าอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 3-1
- 2) ขยะลอยน้ำ ประกอบด้วยเศษไม้ อิฐมวลเบา ขวดพลาสติก โดยจะเน้นไปที่ขวดพลาสติก ซึ่งเป็นจำนวนประมาณ 80 % ของจำนวนชนิดรวมทั้งหมด เพื่อควบคุมระยะเวลาการจมของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) โดยจะกำหนดระยะเวลาการจมของขยะในน้ำเป็น 2 ระยะคือ 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตร และระยะลอยขยะหน้าบานประตูระบายน้ำ ( $L_g$ ) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ 2.25 เมตร, 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร ตามลำดับ ทั้งระยะเวลาการจมของขยะในน้ำ และระยะลอยหน้าบานประตู จะถูกนำมาใช้เป็นเคสการทดลองทั้งการไหลออกอิสระ (free outflow) และการไหลออกท่วมจม (drowned outflow) ดังแสดงในรูปที่ 3-2
- 3) ฝายสามเหลี่ยมสันคม (V-notch weir) ติดตั้งไว้ที่ท้ายรางน้ำ เพื่อวัดอัตราการไหลที่ออกจากรางน้ำ โดยการอ่านค่าระดับน้ำเหนือสันฝาย (H) ผ่านทางมานอมิเตอร์ (manometer) และนำไปวัดอัตราการไหล (Q) จากสมการ  $Q = 0.0173H^{2.432}$  โดยจะทำการสอบเทียบอุปกรณ์ก่อนเริ่มทำการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3-4 และ 3-5 การสอบเทียบหาอัตราการไหลจะอยู่ในภาคผนวก ก
- 4) เครื่องมือวัดกระแสน้ำ (current meter) ใช้วัดเปรียบเทียบความเร็วน้ำ และอุปกรณ์วัดระดับน้ำหน้าบานประตูระบายน้ำตัวที่ 1 ( $y_1$ ) ดังแสดงในรูปที่ 3-6 ในส่วนระดับน้ำหลังบาน

ประตุน้ำตัวที่ 1 ( $y_2$ ) สำหรับการไหลแบบอิสระใช้เครื่องมือวัดระดับ (point gauge) ดังแสดงในรูป 3-7 และ ( $y_3$ ) ใช้การวัดแบบมานอมิเตอร์ (manometer) ดังที่แสดงในรูป 3-8 สำหรับการไหลออกแบบท่วมจม



รูปที่ 3-1 รูปด้านข้างร่างจำลองการไหลทางน้ำเปิด



รูปที่ 3-2 รูปแสดงระยะการจมของขยะในน้ำและระยะลอยหน้าบานประตู



รูปที่ 3-3 ก) รูปแสดงฝายสันคัม ( V-notch weir) ข) มานอมิเตอร์ (manometer) วัดอัตราการไหล

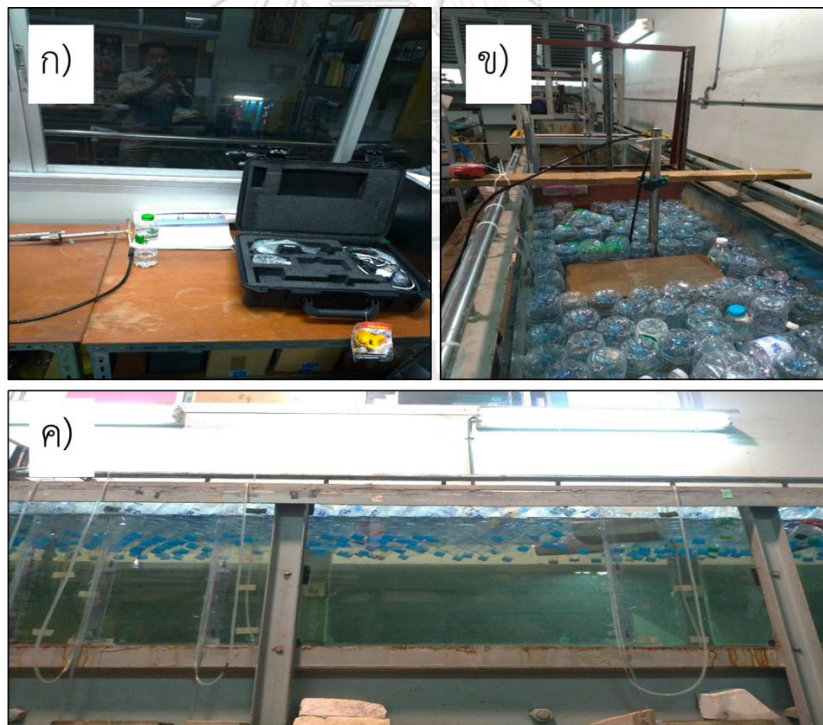


รูปที่ 3-4 รูปแสดงการสอบเทียบหาค่าอัตราการไหล (Q)





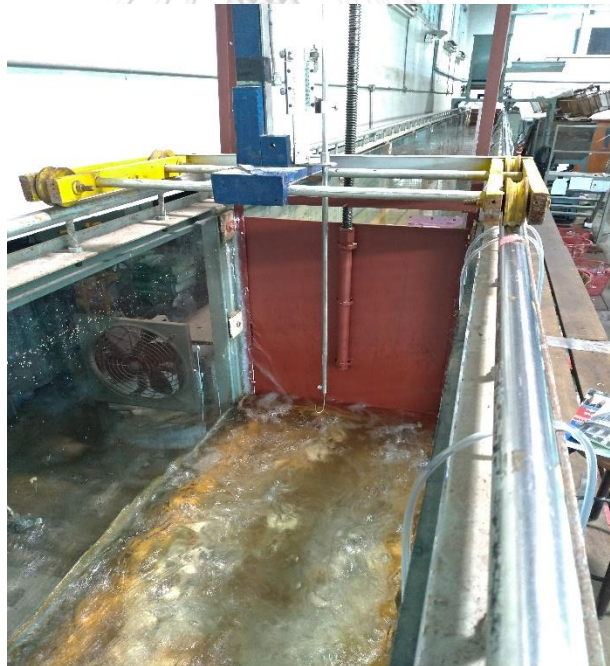
รูปที่ 3-5 แสดงการหาอัตราการไหลจากมานอมิเตอร์จากสันฝาย (H)



รูปที่ 3-6 ก) และ ข) เครื่องมือวัดกระแส น้ำ, ค) มานอมิเตอร์



รูปที่ 3-7 เครื่องมือวัดการไหลแบบอิสระ (point gauge)



รูปที่ 3-8 เครื่องมือวัดการไหลออกท่วมจมแบบมานอมิเตอร์

### 3.2 ขั้นตอนออกแบบการทดลอง

มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ในการทดลองจะออกแบบแบ่งแยกเป็น 2 สภาพการไหลคือ การไหลออกอิสระและการไหลออกท่วมจม

- 1) การไหลออกอิสระจะจำลองใช้ขยะประกอบด้วยเศษไม้ อิฐมวลเบา ขวดพลาสติก โดยจะเน้นไปที่ขวดพลาสติก ซึ่งเป็นจำนวนประมาณ 80 % ของขยะรวมทั้งหมด เพื่อควบคุมระยะการจมของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) โดยจะกำหนดระยะการจมของขยะในน้ำเป็น 2 ระยะคือ 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตรเป็นระยะจมโดยเฉลี่ย และระยะการลอยน้ำของขยะ ( $L_g$ ) หน้าบานประตูระบายน้ำจำลองเป็นระยะตั้งแต่ 2.25 เมตร (G1), 4.25 เมตร (G2), 6.75 เมตร (G3) และ 9.0 เมตร (G4) ตามลำดับแสดงระยะขยะในรูปที่ 3-3 เพื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีขยะ ( $G_0; L_g=0$  m) และมีอัตราการไหล (Q) ทั้งหมด 4 อัตราการไหล โดยมีระยะยกบานประตูระบายน้ำจำลอง (w) ที่ระยะ 2 เซนติเมตรทุกกรณี โดยการทดลองนี้จะแบ่งได้เป็นกรณีทดลอง 40 กรณี ได้สรุปรายละเอียดเป็นดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 เงื่อนไขการทดลองการไหลออกอิสระ (free outflow)

ความลึกขยะจมน้ำ ( $y_g$ )	ระยะลอยขยะ ( $L_g$ )	ระยะยกบานประตู (w)	อัตราการไหล (Q)
10 เซนติเมตร (D1)	G0 = ไม่มีขยะ	2 เซนติเมตร	Q1=17.70-17.95 ลิตร/วินาที
20 เซนติเมตร (D2)	G1 = 2.50 เมตร		Q2=20.25-20.35 ลิตร/วินาที
	G2 = 4.50 เมตร		Q3=22.00-22.25 ลิตร/วินาที
	G3 = 6.75 เมตร		Q4=23.10-23.50 ลิตร/วินาที
	G4 = 9.00 เมตร		

- 2) การไหลออกท่วมจมจะจำลองใช้ขยะประกอบด้วยเศษไม้ อิฐมวลเบา ขวดพลาสติก โดยจะเน้นไปที่ขวดพลาสติกใส่น้ำ ซึ่งเป็นจำนวนประมาณ 80 % ขยะจำนวนรวมทั้งหมด เพื่อควบคุมระยะการจมของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) โดยจะกำหนดระยะการจมของขยะในน้ำเป็น 2 ระยะคือ 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตรเป็นระยะจมโดยเฉลี่ย และระยะการลอยน้ำของขยะ ( $L_g$ ) หน้าบานประตูระบายน้ำจำลองเป็นระยะตั้งแต่ 2.25 เมตร (G1), 4.25 เมตร (G2), 6.75 เมตร (G3) และ 9.0 เมตร (G4) ตามลำดับ เพื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีขยะ ( $G_0; L_g=0$  m) และมีอัตราการไหล (Q) ทั้งหมด 4 อัตราการไหล และจะกำหนดระดับน้ำที่เกิดการท่วมจม ( $Y_3$ ) ทำบานประตูระบายน้ำจำลองมี 3 ค่าคือ 20 เซนติเมตร, 22 เซนติเมตร และ 24 เซนติเมตรซึ่งเป็นค่าโดยเฉลี่ย โดยมีระยะยกบานประตูระบายน้ำจำลอง (w) ที่ระยะ 2 เซนติเมตรทุกกรณี โดยการทดลองนี้จะแบ่งได้เป็นกรณีทดลอง 120 กรณี ตามตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 เงื่อนไขการทดลองการไหลออกท่วมจม (drowned outflow)

ความลึกขณะจมน้ำ ( $y_3$ )	ระยะลอยขยะ ( $L_g$ )	ระยะยกบาน ประตู ( $w$ )	ระดับน้ำท้ายบาน ประตู ( $Y_3$ )	อัตราการไหล ( $Q$ )
10 เซนติเมตร (D1)	G0 = ไม่มีขยะ	2 เซนติเมตร	20 เซนติเมตร (Y1)	Q1=12.33-12.73 ลิตร/วินาที
20 เซนติเมตร (D2)	G1 = 2.50 เมตร		22 เซนติเมตร (Y2)	Q2=14.44-14.77 ลิตร/วินาที
	G2 = 4.50 เมตร		24 เซนติเมตร (Y3)	Q3=16.75-17.73 ลิตร/วินาที
	G3 = 6.75 เมตร			
	G4 = 9.00 เมตร			Q4=17.28-18.62 ลิตร/วินาที

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ช่วงก่อนการทดลองดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) ตรวจสอบเช็คสภาพอุปกรณ์ความสามารถขีดจำกัดอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง ให้เหมาะสมกับการทดลอง ความสามารถปั๊ม (pump), อัตราการไหล (Q), สภาพรางจำลอง ก่อนการทดลอง
- 2) จัดเตรียมปริมาณขยะให้พร้อมสำหรับความต้องการที่ใช้ในการทดลอง
- 3) ติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำมานอมิเตอร์หน้าบานประตู 6 ตำแหน่งจากหน้าบานประตู 0.1 เมตร, 0.2 เมตร, 0.3 เมตร, 0.5 เมตร, 0.75 เมตร, และ 1.0 เมตร และเครื่องวัดความเร็วน้ำ (current meter) หน้าประตูระบายน้ำที่ระยะ 0.5 เมตร ตามลำดับ เพื่อหาค่าระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) และความเร็วน้ำ ทั้งกรณีการไหลออกอิสระ (free outflow) และการไหลออกท่วมจม (drowned outflow) และติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำมานอมิเตอร์ ท้ายบานประตูห่างจากบานประตู 1 เมตรเพื่อวัดระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_2$ ) สำหรับการไหลแบบอิสระ และใช้เพื่อควบคุมระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) สำหรับการไหลแบบท่วมจม

ช่วงทำการทดลองดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) เปิดเครื่องสูบน้ำและวาล์วให้น้ำเข้าแบบรางจำลองด้วยอัตราการไหลตามที่กำหนดไว้ตามแต่ละกรณีศึกษาสอบเทียบหาอัตราการไหลจากการซึ่งดวงอัตราการไหลดังที่แสดงในรูปที่ 3-4 และ 3-5 โดยใช้การสังเกตระดับมานอมิเตอร์ตามรูปที่ 3-6 ที่ฝ่ายสันคมที่ได้จากการสอบเทียบหาอัตราการไหล โดยการอ่านค่าระดับน้ำเหนือสันฝาย (H) ผ่านทางมานอมิเตอร์ (manometer) และนำไปวัดหาค่าอัตราการไหล (Q) จากสมการ  $Q = 0.0173H^{2.432}$  ที่ได้ หลังจากนั้นรอกจนระดับน้ำในรางน้ำจำลองนิ่ง ระดับน้ำไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นจดค่าระดับน้ำทั้งหน้าบานประตูระบายน้ำ ( $y_1$ ) ทั้งกรณีการไหลออกอิสระและท่วมจม และระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_2$ ) สำหรับการไหลแบบอิสระ ส่วนการไหลออกท่วมจมจะอาศัยบานประตูท้ายบานควบคุมระดับน้ำท้ายบาน ( $y_3$ ) ของประตูระบายน้ำจำลองให้ได้ระดับตามแต่ละกรณี

- 2) ใส่ขยะเข้าไปตามสัดส่วนตามระยะที่กำหนดตามความยาวรางน้ำจำลองหน้าบานประตูกลาง รางน้ำจำลองโดยเริ่มที่ระยะ 9.0 เมตรซึ่งเป็นระยะขยะที่ยาวที่สุด จากนั้นรอนจนวน้ำนิ่งจด บันที่ค่าระดับน้ำและค่าอัตราการไหลตามที่ได้กล่าวถึงไว้ตามข้อที่ 1) สิ้นสุดกระบวนการ ทดลองต่อ 1 กรณี จากนั้นลดขยะเป็นที่ระยะ 6.75 เมตรต่อมารอนจนวนระดับน้ำไม่ เปลี่ยนแปลงแล้วจดบันที่ระดับน้ำและค่าอัตราการไหลตามที่ได้กล่าวมาทั้งในข้อ 1) จากนั้นทำซ้ำกระบวนการเดิมโดยลดระยะจาก 4.50 เมตร, 2.25 เมตร ไปจนกระทั่งไม่มีขยะ ในรางน้ำ (0.0 เมตร) โดยระยะที่ไม่มีขยะในรางน้ำนี้จะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อ เปรียบเทียบการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบมีขยะในรางน้ำกับไม่มีขยะในรางน้ำ จาก กระบวนการนี้แต่ละอัตราการไหลจะได้รับการทดลอง 5 กรณีศึกษา
- 3) เปลี่ยนอัตราการไหล จากนั้นทำระเบียบวิธีการเดียวจากทั้ง ในข้อ 1) และข้อ 2) จบครบ กรณีศึกษาทั้งหมด 160 กรณีศึกษา



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 ผลการทดลอง

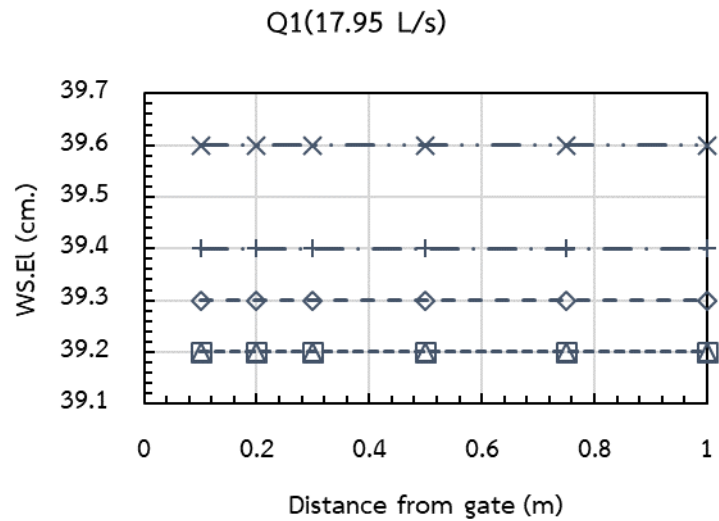
การศึกษาการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบเลื่อนตรงของทางน้ำที่มีขยะนั้น ได้ใช้แบบจำลองทางกายภาพในการทดลอง โดยมีกรณีทดลองทั้งหมด 160 กรณี แบ่งเป็นการไหลออกอิสระ (free outflow) 40 กรณี และการไหลออกท่วมจม (drowned outflow) 120 กรณี โดยจะมีตัวแปรและผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องทั้งสองกรณีการไหลดังนี้

- 1) อัตราการไหล ( $Q$ )
- 2) ระยะยกบานประตู ( $w$ )
- 3) ระยะการลอยขยหน้าบานประตูระบายน้ำจำลอง ( $L_g$  หรือ  $G$ )
- 4) ระยะการจมในน้ำของขย ( $y_g$ )
- 5) ระดับหน้าบานประตูระบายน้ำจำลอง (water surface elevation หรือ  $y_1$ )
- 6) ระดับท้ายบานประตูระบายน้ำจำลอง ( $y_2, y_3$ )

ผลการทดลองทั้งหมดมีดังต่อไปนี้ และแสดงรายละเอียดข้อมูลการวัดดังตารางในภาคผนวก ข

#### 4.2 การหาค่าระดับน้ำ

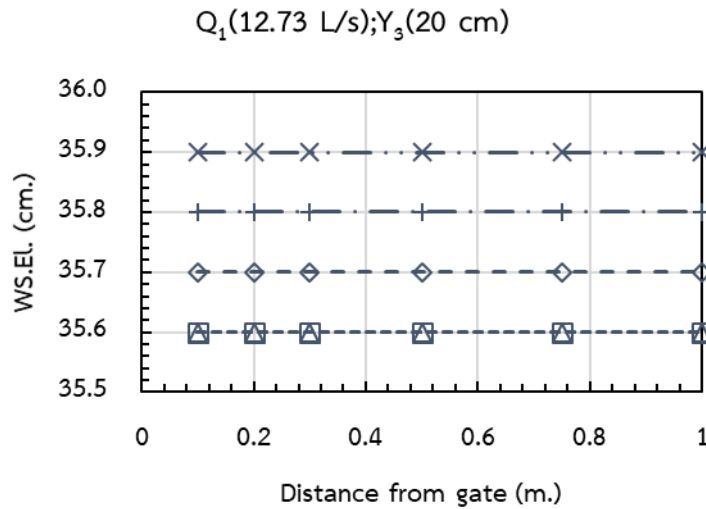
ในการศึกษาเรื่องการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบเลื่อนตรงของทางน้ำที่มีขยะนั้น จะทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพการของไหลของน้ำผ่านลอดบานประตูระบายน้ำ ซึ่งจะสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) ซึ่งสัมประสิทธิ์อัตราการไหลจะมีความสัมพันธ์กับระดับความลึกของระดับน้ำหน้าประตูระบายน้ำ ( $y_1$ ) ดังตามสมการที่ 2-12 แต่ในสภาพการไหลตามธรรมชาติ ตำแหน่งที่จะนำมาคำนวณ ( $y_1$ ) ระดับผิวน้ำอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากการไหลของน้ำ จึงได้ตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำแบบமானอมิเตอร์ติดตั้งหน้าบานประตูระบายน้ำที่ระยะ 0.1 เมตร, 0.2 เมตร, 0.3 เมตร, 0.5 เมตร, 0.75 เมตร และ 1 เมตร ตามลำดับ รวมทั้งหมด 6 จุด นำมาสร้างกราฟเส้นระดับผิวน้ำเพื่อหาค่าความลึกระดับน้ำหน้าบานประตูระบายน้ำจำลอง ( $y_1$ ) เพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป โดยจะยกตัวอย่างรูปกราฟเส้นระดับผิวน้ำ (water surface elevation) ดังรูปที่ 4-1 และแสดงรายละเอียดพร้อมทั้งรายละเอียดรูปการวิเคราะห์ระดับน้ำในภาคผนวก ข



รูปที่ 4-1 เส้นระดับความลึกน้ำที่อัตราการไหล 17.95 ลิตร/วินาที (free outflow)

ระยะจมน้ำของขยะ ( $y_g$ ) 0.10 เมตร

จากรูปที่ 4-1 แสดงเส้นระดับน้ำของอัตราการไหล Q1 ที่ 17.95 ลิตร/วินาที ซึ่งเป็นการไหลออกแบบอิสระ โดยลอยขยะที่ระยะต่างๆกัน โดยที่ G0 คือไม่มีขยะ, G1 คือมีขยะ 2.25 เมตร, G2 คือมีขยะ 4.50 เมตร, G3 คือมีขยะ 6.75 เมตร และ G4 คือมีขยะ 9.0 เมตร ตามลำดับ แต่ละจุดของเส้นระดับน้ำมาจากการใช้เครื่องวัดระดับน้ำแบบมานอมิเตอร์ โดยระยะเริ่มห่างจากบานประตูตั้งแต่ 0.1 เมตร, 0.2 เมตร, 0.3 เมตร, 0.5 เมตร, 0.75 เมตร และ 1 เมตร ตามลำดับ โดยใช้ข้อมูลตรวจวัดมาสร้างรูปที่ 4-1 แสดงเส้นระดับน้ำ สำหรับการในการศึกษาเรื่องการศึกษาการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบเลื่อนตรงของทางน้ำที่มีขยะนั้น จะทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพการของไหลของน้ำผ่านลอดบานประตูระบายน้ำ ซึ่งจะสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) ซึ่งสัมประสิทธิ์อัตราการไหลจะมีความสัมพันธ์กับระดับความลึกของระดับน้ำหน้าประตูระบายน้ำ ( $y_1$ )



รูปที่ 4-2 เส้นระดับความลึกน้ำที่อัตรการไหล 12.73 ลิตร/วินาที (drowned outflow)  
ระยะจมน้ำของขยะ ( $y_3$ ) 0.10 เมตร

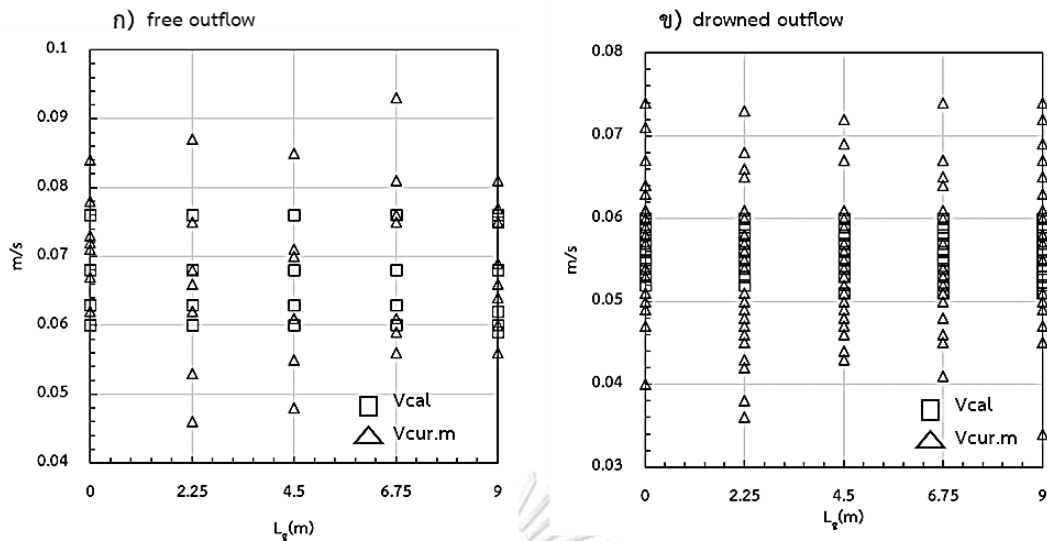
จากรูปที่ 4-2 แสดงตัวอย่างเส้นระดับน้ำของอัตรการไหล  $Q_1$  ที่ 12.73 ลิตร/วินาที ซึ่งเป็นการไหลออกท่วมจมน้ำ โดยกระบวนการหาค่าระดับน้ำหน้าประตูระบายน้ำ จะทำวิธีเดียวกับการไหลออกแบบอิสระ

#### 4.3 การเปรียบเทียบความเร็วของการไหล

การเก็บข้อมูลของความเร็วในการไหลของน้ำ (V) จะทำการเก็บข้อมูล 2 วิธีคือ วิธีแรกการหาความเร็วเฉลี่ยจากการคำนวณ ( $V_{cal}$ ) จากสมการที่ 2-1 และจากวิธีการวัดโดยใช้อุปกรณ์ Current Meter ( $V_{cur.m.}$ ) โดยจะใช้อุปกรณ์วัดความเร็วของการไหลวัดที่ระยะ 0.2 และ 0.8 ของความลึกที่ตำแหน่งห่างจากบานประตูไปเหนือน้ำ 0.5 เมตร จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าความเร็วของการไหล ตามวิธีการวัดใช้งานอุปกรณ์ Current Meter ของ Linsley (1988) ผลการเปรียบเทียบความเร็วน้ำระหว่างการคำนวณกับอุปกรณ์การวัดความเร็วการไหล แสดงผลการตามตารางที่ 4-1 กรณีการไหลออกอิสระ และตามตารางที่ 4-2 ของการไหลออกท่วมจมน้ำ เมื่อเทียบแล้วพบว่าความเร็วการไหลออกแบบอิสระจะแตกต่างจากการใช้อุปกรณ์วัดความเร็วการไหลโดยเฉลี่ยประมาณ 9.6 % และการไหลออกแบบท่วมจมน้ำมีแตกต่างโดยเฉลี่ยเป็น 11.6 % พบว่าการไหลออกแบบอิสระวิธีการคำนวณความเร็วเฉลี่ยมีค่ามากกว่าวิธีการวัดโดยใช้อุปกรณ์ ส่วนการไหลแบบท่วมจมน้ำวิธีการวัดความเร็วเฉลี่ยมีค่ามากกว่าวิธีการวัดโดยใช้อุปกรณ์ ส่วนการไหลแบบท่วมจมน้ำวิธีการวัดความเร็วเฉลี่ยมีค่ามากกว่าวิธีการวัดโดยใช้อุปกรณ์ ส่วนการไหลแบบท่วมจมน้ำวิธีการวัดความเร็วเฉลี่ยมีค่ามากกว่าวิธีการวัดโดยใช้อุปกรณ์ ส่วนการไหลแบบท่วมจมน้ำวิธีการวัดความเร็วเฉลี่ยมีค่ามากกว่าวิธีการวัดโดยใช้อุปกรณ์ ส่วนการไหลแบบท่วมจมน้ำวิธีการวัดความเร็วเฉลี่ยมีค่ามากกว่าวิธีการวัดโดยใช้อุปกรณ์

มาสร้างความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างการวัดความเร็วกับระยะทางลอยขยะในน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4-3





รูปที่ 4-3 กราฟเปรียบเทียบการวัดความเร็วการไหลระหว่างการคำนวณและเครื่องมือการวัดความเร็วการไหล

จากรูปที่ 4-3 แสดงการเก็บข้อมูลการวัดความเร็วของการไหลทั้งการไหลแบบอิสระและการไหลแบบท่วมจม จากการวัดแบบการคำนวณตามสมการที่ 2-1 และการใช้อุปกรณ์วัดความเร็ว ( $V_{cur.}$ ) current meter สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วน้ำกับระยะทางของขยะ พบว่ามีความเร็วเฉลี่ยของการไหลที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาวิธีการวัดโดยใช้ current meter ที่ระยะประมาณ 0.2 ( $v_{0.2D}$ ) ของความลึกจากระดับผิวน้ำ ซึ่งจะเป็นระยะที่มีความลึกของขยะเข้ามามีอิทธิพลในการไหล พบว่าเมื่อมีขยะจะทำให้ความเร็วของการไหลได้ขยะความเร็วของการไหลจะลดลงอย่างมากและความเร็วน้ำจะเพิ่มขึ้นสูงมากที่ระยะประมาณ 0.8 ( $v_{0.8D}$ ) ของความลึกจากระดับผิวน้ำซึ่งเป็นความลึกที่ใกล้ท้องน้ำ แต่เมื่อเทียบกับการไหลกรณีปกติแบบไม่มีขยะซึ่งเป็นการไหลในทางน้ำเปิดที่ความเร็วน้ำที่ระยะความลึก 0.2 และ 0.8 ของความลึกระดับน้ำจะไม่ต่างกันมากซึ่งเป็นการกระจายความเร็วตามหน้าตัดการไหลแบบปกติที่ไม่มีสิ่งกีดขวางลำน้ำ ทำให้ผลการวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดความเร็วน้ำเกิดการกระจายตัวของการวัดมากกว่าการวัดโดยวิธีการคำนวณ ดังแสดงในรูป 4-3 ซึ่งในการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพในการไหลลอดผ่านบานประตูระบายน้ำในหัวข้อต่อไปจะใช้ค่าที่วัดได้จากமானอมิเตอร์แล้วใช้การคำนวณความเร็วน้ำตามสมการที่ 2-1 เป็นหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์คำนวณหาสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านบานประตู

#### 4.4 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ

##### 4.4.1 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำอันเนื่องมาจากขยะของการไหลลอดผ่านประตูแบบอิสระ (free outflow)

การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำหน้าบานประตูระบายน้ำของการไหลลอดผ่านประตูแบบอิสระอันเนื่องมาจากอิทธิพลของขยะลอยน้ำ มาจากการติดตั้งตัววัดระดับน้ำแบบमानमीटरหน้าบานประตูระบายน้ำที่ระยะ 0.1 เมตร, 0.2 เมตร, 0.3 เมตร, 0.5 เมตร, 0.75 เมตร, และ 1.0 เมตร ตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ ตามรูปตัวอย่างที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ตารางการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเมื่อมีขยะ (%)  $y_g$  0.1 เมตร, 0.2 เมตร (free outflow)

อัตราการไหล Q (l/s)	เปิดบาน w (cm)	ความลึกขยะ $y_g$ (cm)	ระดับน้ำ ไม่มีขยะ	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำกรณีที่มีขยะ (%)				
			$y_1$					
			$G_0$ (cm)	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	
17.95	2	10	39.2	0	0.26	0.51	1.02	
20.35	2	10	50	0	0	0.20	0.40	
22.25	2	10	59	0	0	0.34	1.02	
23.5	2	10	65.6	0	0	0.15	0.46	
17.7	2	20	38.8	0	0	0.52	1.29	
20.25	2	20	49.5	0	0.20	0.40	0.61	
22	2	20	58.1	0	0.17	0.34	1.03	
23.1	2	20	63.9	0	0.16	0.31	0.47	

จากตารางที่ 4-1 แสดงถึงผลของขยะต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ระยะขยะลอยน้ำที่ 2.25 เมตร ( $G_1$ ), 4.50 เมตร ( $G_2$ ), 6.75 เมตร ( $G_3$ ) และ 9.0 เมตร ( $G_4$ ) โดยที่ระยะความลึกขยะ ( $y_g$ ) ที่จมในน้ำคือ 10 เซนติเมตรโดยเฉลี่ย จากการศึกษาพบว่าระดับน้ำของการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระ โดยขยะเริ่มมีผลต่อระดับน้ำที่ระยะ 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร พบว่าระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นที่อัตราการไหล 17.95-23.5 ลิตร/วินาที ระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นจะอยู่ในช่วง 0.15% ถึง 1.02% และยังพบว่าที่อัตราการไหลต่ำที่สุด 17.95 ลิตร/วินาที ระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นในระดับที่มากกว่าในอัตราการไหลที่สูงกว่าคิดเป็น 0.25%, 0.51%, และ 1.02% ของระยะขยะตั้งแต่ 4.5-9.0 เมตรตามลำดับ วิเคราะห์ได้ว่าที่อัตราการไหลที่ต่ำกว่า การจมในน้ำของขยะจะมีอัตราส่วนการจมของขยะต่อระดับน้ำ

ที่มีค่าสูงกว่าอัตราการไหลสูงกว่า มีผลทำให้ที่ระยะขยะ 6.75 เมตร ถึง 9.0 เมตร การไหลของน้ำจะถูกขยะต้านทานการไหลเป็นผลทำให้ระดับน้ำสูงขึ้นเนื่องจากความเร็วน้ำที่ลดลง เพราะอัตราการไหลที่ควบคุมไว้ยังเท่าเดิม ส่วนที่ระยะขยะ 2.25 เมตร และ 4.50 เมตร ระดับน้ำไม่เปลี่ยนแปลงเกิดจากสาเหตุที่ระยะขยะไม่ยาวพอจนเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ โดยในการจมที่ความลึกของขยะในน้ำ ( $y_3$ ) ที่ความลึก 10 เซนติเมตรมีผลต่อการไหลทำให้สัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) มีค่าน้อยลงทำให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่ากรณีไม่มีขยะซึ่งใช้เป็นกรณีเปรียบเทียบ โดยจะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์อัตราการไหลในหัวข้อต่อไป

จากตารางที่ 4-1 แสดงถึงผลของขยะต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ระยะขยะลอยน้ำที่ 2.25 เมตร (G1), 4.50 เมตร (G2), 6.75 เมตร (G3) และ 9.0 เมตร (G4) โดยที่ระยะความลึกขยะ ( $y_3$ ) ที่จมในน้ำคือ 20 เซนติเมตรโดยเฉลี่ย จากการศึกษาพบว่าระดับน้ำของการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระ โดยขยะส่วนใหญ่เริ่มมีผลต่อระดับน้ำที่ระยะ 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร พบว่าระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นที่อัตราการไหล 17.7-23.1 ลิตร/วินาที ระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นจะอยู่ในช่วง 0.16% ถึง 1.29% และยังพบว่าที่อัตราการไหลต่ำที่สุด 17.7 ลิตร/วินาที ระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นในระดับที่มากกว่าในอัตราการไหลที่สูงกว่าคิดเป็น 0.52, 1.29 % วิเคราะห์ได้ว่าที่อัตราการไหลที่ต่ำกว่า การจมในน้ำของขยะจะมีอัตราส่วนการจมของขยะต่อระดับน้ำที่มีค่าสูงกว่าอัตราการไหลสูงกว่า มีผลทำให้ที่ระยะขยะ 6.75 เมตร ถึง 9.0 เมตร การไหลของน้ำจะถูกขยะต้านทานการไหลเป็นผลทำให้ระดับน้ำสูงขึ้นเนื่องจากความเร็วน้ำที่ลดลง เพราะอัตราการไหลที่ควบคุมไว้ยังเท่าเดิม ส่วนที่ระยะขยะ 2.25 เมตร ของทุกอัตราการไหลที่ระยะจมขยะลึก 20 เซนติเมตรระดับน้ำไม่เปลี่ยนแปลง โดยในการจมที่ความลึกของขยะในน้ำ ( $y_3$ ) ที่ความลึก 20 เซนติเมตรมีผลต่อการไหลทำให้สัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) มีค่าน้อยลงทำให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่ากรณีไม่มีขยะซึ่งใช้เป็นกรณีเปรียบเทียบ โดยจะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์อัตราการไหลในหัวข้อต่อไป

#### 4.4.2 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำอันเนื่องมาจากขยะของการไหลลอดผ่านประตูแบบท่วมจม (drowned outflow)

การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำหน้าบานประตูระบายน้ำของการไหลลอดบานประตูแบบท่วมจมอันเนื่องมาจากอิทธิพลของขยะลอยน้ำ มาจากการติดตั้งตัววัดระดับน้ำแบบบานอมิเตอร์หน้าบานประตูระบายน้ำที่ระยะ 0.1 เมตร, 0.2 เมตร, 0.3 เมตร, 0.5 เมตร, 0.75 เมตร, และ 1.0 เมตร ตามลำดับ และหลังบานประตูระบายน้ำห่างจากบานประตู 1.0 m ระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) ถูกกำหนดไว้ที่ระดับ 20 เซนติเมตร, 22 เซนติเมตร และ 24 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าที่วัดโดยเฉลี่ยตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้และข้อมูลอยู่ในภาคผนวก ข โดยตัวอย่างตามรูปที่ 4-2 จะเป็นผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงระดับของการไหลลอดผ่านบานประตูแบบท่วมจมที่ระยะการจมของขยะในน้ำ ( $y_3$ ) ที่ความลึกโดยเฉลี่ย ส่วนผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทุกกรณีการศึกษาแสดงไว้ที่ภาคผนวก ข

ตารางที่ 4-2 ตารางการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเมื่อมีขยะ (%)  $y_g$  0.1 เมตร, 0.2 เมตร (drowned outflow)

อัตราการไหล Q (l/s)	เปิดบาน w (cm)	ความลึก ขยะ $y_g$ (cm)	ระดับน้ำ ท้ายบาน ประตู $y_3$ (cm)	ระดับน้ำ ไม่มีขยะ	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำกรณีที่มีขยะ				
				$y_1$					
				$G_0$ (cm)	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	
12.73	2	10	20	35.60	0	0.28	0.56	0.84	
14.77	2	10	20	40.70	0	0.25	0.25	0.98	
17.73	2	10	20	50.70	0	0.20	0.39	0.99	
18.5	2	10	20	53.50	0	0.19	0.37	0.93	
12.63	2	10	22	37.70	0	0.27	0.80	1.33	
14.75	2	10	22	43.40	0	0.23	0.46	0.92	
17.36	2	10	22	52.00	0	0.19	0.38	0.96	
18.62	2	10	22	56.50	0	0.18	0.35	0.88	
12.7	2	10	24	39.90	0	0.25	0.25	1.00	
14.6	2	10	24	45.30	0	0.22	0.22	0.88	
17.4	2	10	24	54.60	0	0.18	0.18	0.92	
18.6	2	10	24	58.40	0	0.17	0.17	0.86	
12.53	2	20	20	35.00	0	0.29	0.57	0.57	
14.5	2	20	20	40.00	0	0.50	0.50	1.75	
16.75	2	20	20	47.20	0	0.42	0.42	0.42	
17.28	2	20	20	48.90	0	0.20	0.41	0.82	
12.57	2	20	22	37.20	0.27	0.27	0.81	1.08	
14.65	2	20	22	43.10	0.23	0.46	0.70	1.39	
17.28	2	20	22	51.90	0	0.58	0.77	1.16	
18.54	2	20	22	56.70	0	0.18	0.35	0.71	
12.7	2	20	24	39.10	0	0.26	0.51	0.77	
14.6	2	20	24	44.90	0	0.00	0.22	0.45	
17.4	2	20	24	53.90	0	0.09	0.19	0.56	
18.6	2	20	24	58.50	0	0.17	0.34	0.68	

จากตารางที่ 4-2 แสดงถึงผลของระยะต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ระยะขยชะลอน้ำที่ 2.25 เมตร (G1), 4.50 เมตร (G2), 6.75 เมตร (G3) และ 9.0 เมตร (G4) โดยที่ระยะความลึกขยชะ (y<sub>g</sub>) ที่จมในน้ำคือ 10 เซนติเมตรโดยเฉลี่ยเฉลี่ย และระดับน้ำท้ายบานประตู (y<sub>3</sub>) ถูกควบคุมระดับน้ำโดยเฉลี่ยที่ 20, 22 และ 24 เซนติเมตร ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าระดับน้ำของการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบท่วมจมโดยขยชะส่วนใหญ่เริ่มมีผลต่อระดับน้ำที่ระยะ 4.50, 6.75, 9.0 เมตร โดยที่ระยะ 2.25 เมตร ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ ซึ่งพบว่าระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นของทุกอัตราการไหล ระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นจะอยู่ในช่วง 0.17% ถึง 1.33% เมื่อเทียบกับไม่มีขยชะในทางน้ำ การไหลของน้ำเมื่อเข้าสู่ระยะที่มีการขยชะที่ระยะจมในน้ำประมาณ 10 เซนติเมตรจะเกิดแรงเสียดทานต้านการไหลในน้ำทำให้ระดับน้ำในการขยชะ ทำให้ความเร็วการไหลลดลง เพราะอัตราการไหลที่ควบคุมไว้ยังเท่าเดิม โดยในการจมที่ความลึกของขยชะในน้ำ (y<sub>g</sub>) ที่ความลึก 10 เซนติเมตรมีผลต่อการไหลทำให้สัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C<sub>d</sub>) มีค่าน้อยลงทำให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่ากรณีไม่มีขยชะซึ่งใช้เป็นกรณีเปรียบเทียบ โดยจะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์อัตราการไหลในหัวข้อต่อไป

จากตารางที่ 4-2 แสดงถึงผลของระยะต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ระยะขยชะลอน้ำที่ 2.25 เมตร (G1), 4.50 เมตร (G2), 6.75 เมตร (G3) และ 9.0 เมตร (G4) โดยที่ระยะความลึกขยชะ (y<sub>g</sub>) ที่จมในน้ำคือ 20 เซนติเมตรโดยเฉลี่ย และระดับน้ำท้ายบานประตู (y<sub>3</sub>) ถูกควบคุมระดับน้ำโดยเฉลี่ยที่ 20, 22 และ 24 เซนติเมตร ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าระดับน้ำของการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบท่วมจมโดยขยชะส่วนใหญ่เริ่มมีผลต่อระดับน้ำที่ระยะ 4.50, 6.75, 9.0 เมตร โดยที่ระยะ 2.25 เมตร เกือบทุกอัตราการไหลไม่พบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ ซึ่งพบว่าระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นในช่วง 0.09% ถึง 1.75% เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีขยชะในทางน้ำ การไหลของน้ำเมื่อเข้าสู่ระยะที่มีการขยชะที่ระยะจมในน้ำประมาณ 20 เซนติเมตรจะเกิดแรงเสียดทานต้านการไหลในน้ำ ทำให้ความเร็วการไหลลดลงโดยที่อัตราการไหลที่ควบคุมไว้ยังเท่าเดิม โดยในการจมที่ความลึกของขยชะในน้ำ (y<sub>g</sub>) ที่ความลึก 20 เซนติเมตรมีผลต่อการไหลทำให้สัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C<sub>d</sub>) มีค่าน้อยลงทำให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่ากรณีไม่มีขยชะซึ่งใช้เป็นกรณีเปรียบเทียบ โดยจะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์อัตราการไหลในหัวข้อต่อไป

#### 4.5 การเปลี่ยนแปลงทางชลศาสตร์การไหลผ่านประตูระบายน้ำอันเนื่องมาจากขยะ

การวิเคราะห์ผลของขยะต่อชลศาสตร์การไหลผ่านประตูระบายน้ำ ได้พิจารณาผลของขยะ ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของประตู ( $C_d$ ) ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลจะมีความสัมพันธ์กับระดับความลึกของระดับน้ำหน้าประตูระบายน้ำ ( $y_1$ ) โดยจะใช้ตำแหน่งที่ระดับน้ำที่ระยะห่างจากบานประตูระบายน้ำ 0.5 เมตร จากนั้นจะใช้สมการที่ 2-12 สำหรับการไหลออกแบบอิสระ และใช้สมการ 2-14 สำหรับคำนวณการไหลออกท่วมจม

##### 4.5.1 ผลของขยะที่มีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระ (free outflow)

ผลของการวิเคราะห์การไหลผ่านประตูน้ำแบบบานเลื่อนตรงบนทางน้ำที่มีขยะแบบการไหลออกอิสระนั้นพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) ที่ได้ทำการทดลองเงื่อนไขที่มีการจมลึกของขยะโดยเฉลี่ย ( $y_g$ ) ในน้ำ 2 ระยะคือ 10 เซนติเมตร และ 20 เซนติเมตรตามลำดับนั้น โดยในส่วนของผลของขยะที่มีผลต่อค่า  $C_d$  ดังแสดงดังในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองการไหลออกอิสระ (free outflow) ;  $y_g = 0.10, 0.20$  เมตร

Case No.	Q (l/s)	$y_g$ (cm)	$y_1$ (cm)	$y_2$	$v_1$	Vav cur.m. (m/s)	Diff.V(%) ( $v_1, v_{cur}$ )	$y_g/y_1$	$y_1/w$	$C_d$	$C_{d,g}/C_{d,0}$
FQ1G0D1	17.95	10	39.2	1.5	0.076	0.084	10.53	0.26	19.6	0.7189	1
FQ2G0D1	20.35	10	50	1.5	0.068	0.072	5.88	0.2	25	0.7217	1
FQ3G0D1	22.25	10	59	1.5	0.063	0.067	6.35	0.17	29.5	0.7265	1
FQ4G0D1	23.5	10	65.6	1.5	0.06	0.062	3.33	0.15	32.8	0.7277	1
FQ1G1D1	17.95	10	39.2	1.5	0.076	0.062	18.42	0.26	19.6	0.7189	1
FQ2G1D1	20.35	10	50	1.5	0.068	0.066	2.94	0.2	25	0.7217	1
FQ3G1D1	22.25	10	59	1.5	0.063	0.075	19.05	0.17	29.5	0.7265	1
FQ4G1D1	23.5	10	65.6	1.5	0.06	0.046	23.33	0.15	32.8	0.7277	1
FQ1G2D1	17.95	10	39.3	1.5	0.076	0.07	7.89	0.25	19.65	0.718	0.9987
FQ2G2D1	20.35	10	50	1.5	0.068	0.061	10.29	0.2	25	0.7217	1
FQ3G2D1	22.25	10	59	1.5	0.063	0.071	12.70	0.17	29.5	0.7265	1
FQ4G2D1	23.5	10	65.6	1.5	0.06	0.048	20.00	0.15	32.8	0.7277	1
FQ1G3D1	17.95	10	39.4	1.5	0.076	0.075	1.32	0.25	19.7	0.7171	0.9975
FQ2G3D1	20.35	10	50.1	1.5	0.068	0.061	10.29	0.2	25.05	0.721	0.999
FQ3G3D1	22.25	10	59.2	1.5	0.063	0.059	6.35	0.17	29.6	0.7253	0.9983

ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองการไหลออกอิสระ (free outflow) ;  $y_g = 0.10, 0.20$  เมตร (ต่อ)

Case No.	Q (l/s)	$y_g$ (cm)	$y_1$ (cm)	$y_2$	$v_1$	Vav cur.m. (m/s)	Diff.V(%) ( $v_1, v_{cur}$ )	$y_g/y_1$	$y_1/w$	$C_d$	$C_{d,g}/C_{d,0}$
FQ4G3D1	23.5	10	65.7	1.5	0.06	0.093	55.00	0.15	32.85	0.7272	0.9992
FQ1G4D1	17.95	10	39.6	1.5	0.076	0.077	1.32	0.25	19.8	0.7153	0.9949
FQ2G4D1	20.35	10	50.2	1.5	0.068	0.069	1.47	0.2	25.1	0.7203	0.998
FQ3G4D1	22.25	10	59.6	1.5	0.062	0.06	3.23	0.17	29.8	0.7228	0.995
FQ4G4D1	23.5	10	65.9	1.5	0.059	0.066	11.86	0.15	32.95	0.7261	0.9977
FQ1G0D2	17.7	20	38.8	1.5	0.076	0.078	2.63	0.52	19.4	0.7125	1
FQ2G0D2	20.25	20	49.5	1.5	0.068	0.073	7.35	0.4	24.75	0.7218	1
FQ3G0D2	22	20	58.1	1.5	0.063	0.071	12.70	0.34	29.05	0.7239	1
FQ4G0D2	23.1	20	63.9	1.5	0.06	0.062	3.33	0.31	31.95	0.7248	1
FQ1G1D2	17.7	20	38.8	1.5	0.076	0.087	14.47	0.52	19.4	0.7125	1
FQ2G1D2	20.25	20	49.5	1.5	0.068	0.068	0.00	0.4	24.75	0.7218	1
FQ3G1D2	22	20	58.1	1.5	0.063	0.062	1.59	0.34	29.05	0.7239	1
FQ4G1D2	23.1	20	63.9	1.5	0.06	0.053	11.67	0.31	31.95	0.7248	1
FQ1G2D2	17.7	20	38.8	1.5	0.076	0.085	11.84	0.52	19.4	0.7125	1
FQ2G2D2	20.25	20	49.6	1.5	0.068	0.07	2.94	0.4	24.8	0.7211	0.9989
FQ3G2D2	22	20	58.2	1.5	0.063	0.061	3.17	0.34	29.1	0.7233	0.9991
FQ4G2D2	23.1	20	64	1.5	0.06	0.055	8.33	0.31	32	0.7242	0.9992
FQ1G3D2	17.7	20	39	1.5	0.076	0.081	6.58	0.51	19.5	0.7107	0.9974
FQ2G3D2	20.25	20	49.7	1.5	0.068	0.076	11.76	0.4	24.85	0.7204	0.9978
FQ3G3D2	22	20	58.3	1.5	0.063	0.076	20.63	0.34	29.15	0.7226	0.9982
FQ4G3D2	23.1	20	64.1	1.5	0.06	0.056	6.67	0.31	32.05	0.7237	0.9984
FQ1G4D2	17.7	20	39.3	1.5	0.075	0.081	8.00	0.51	19.65	0.708	0.9936
FQ2G4D2	20.25	20	49.8	1.5	0.068	0.075	10.29	0.4	24.9	0.7196	0.9969
FQ3G4D2	22	20	58.7	1.5	0.062	0.064	3.23	0.34	29.35	0.7202	0.9948
FQ4G4D2	23.1	20	64.2	1.5	0.06	0.056	6.67	0.31	32.1	0.7231	0.9976

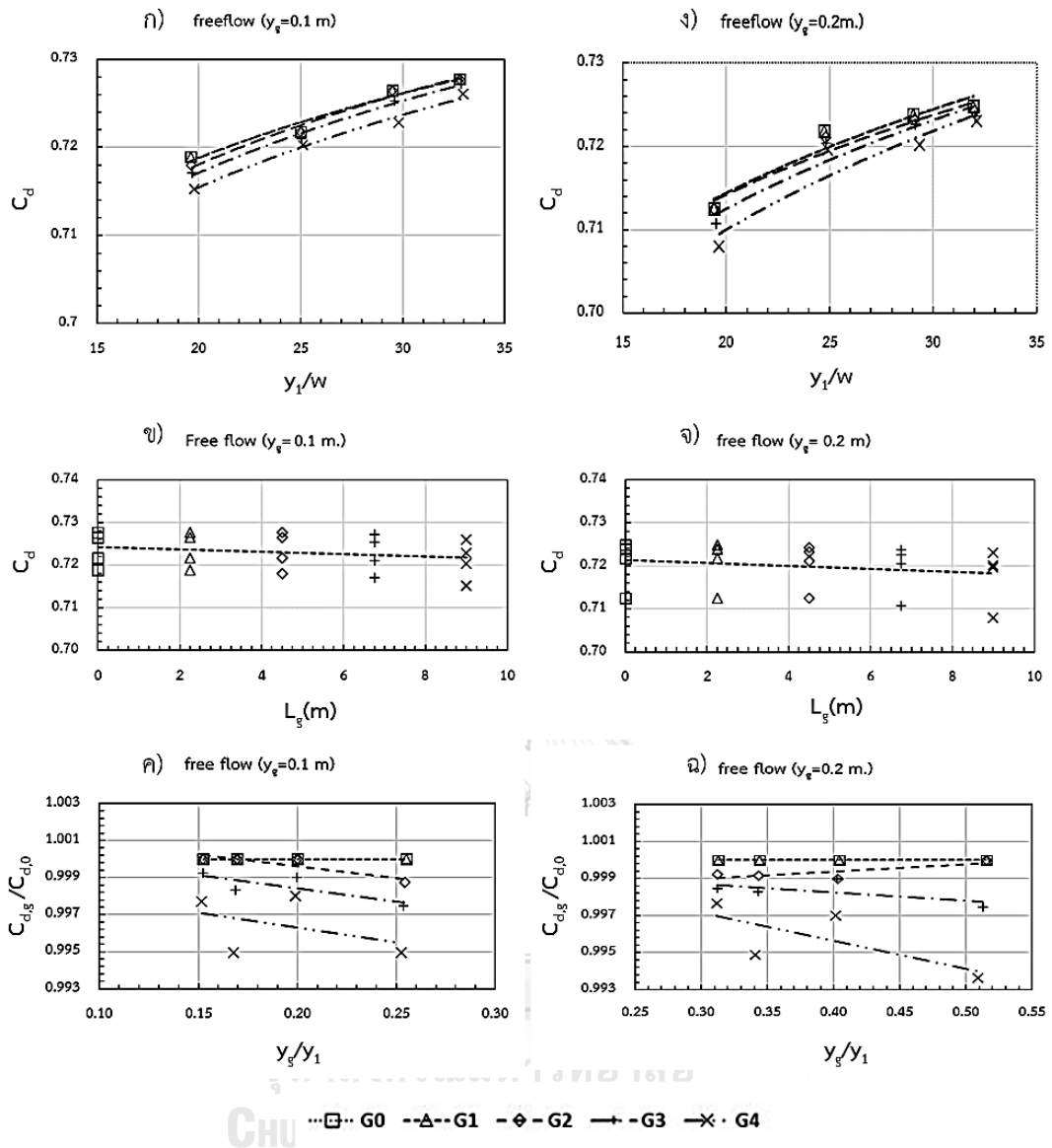
จากตารางที่ 4-3 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) ของการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระ (free outflow) และมีระยะจมในน้ำโดยเฉลี่ยของขยะที่ ( $y_g$ ) 10 เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4-3 จะเป็นค่า  $C_d$  ที่คำนวณได้ในแต่ละกรณีการทดลองโดย 4 ช่องทางขวามือ แสดงผลการคำนวณค่า  $y_1/w$ ,  $y_g/y_1$ ,  $C_d$  และ  $C_{d,g}/C_{d,0}$  ตามลำดับ เพื่อใช้แสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่า  $C_d$  เนื่องจากอิทธิพลของขยะในทางน้ำของกรณีมีขยะในทางน้ำ ( $C_{d,g}$ ) กับกรณีไม่มีขยะในทางน้ำ ( $C_{d,0}$ ) โดยถ้าค่าสัดส่วนนี้ ( $C_{d,g}/C_{d,0}$ ) เท่ากับ 1 แสดงว่าผลของขยะไม่มีผลต่อค่า  $C_d$  ของการทดลองกรณีนั้น

เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราการไหลเดียวกัน ( $Q$  เท่ากัน) ถ้าสัดส่วนนี้มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าขยะทำให้การไหลลอดผ่านประตูน้ำตื้นระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) จะลดลง ถ้าค่าสัดส่วน  $C_{d,g}/C_{d,0}$  มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าประสิทธิภาพในการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำลดลงเมื่อมีขยะ จะมีผลทำให้ระดับน้ำหน้าบานประตูเพิ่มขึ้น

จากการทดลองได้ผลลัพธ์วิเคราะห์ออกมาได้ว่า ในไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระในกรณีขยะมีระยะจมลึกในน้ำ 10 เซนติเมตร จะพบการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์อัตราการไหลน้อยมาก ( $C_d$ ) โดยเมื่อพิจารณาค่า  $C_d$  และความสัมพันธ์กับปริมาณระยะขยะ ( $L_g$ ) ที่ระยะ 0 เมตร, 2.25 เมตร, 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร ( $G_0, G_1, G_2, G_3, G_4$ ) ตามลำดับ จากรูปที่ 4-4 ที่ได้นำข้อมูลจากตารางที่ 4-3 ค่า  $C_d$  ( $Q_1-Q_4$ ) ของปริมาณขยะในทางน้ำแต่ละระยะจะอยู่ในช่วง 0.7189-0.7277, 0.7189-0.7277, 0.7180-0.7277, 0.7171-0.7272 และ 0.7253-0.7261 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย  $C_d$  ของระยะขยะแต่ละช่วงอยู่ที่ 0.7237, 0.7237, 0.7235, 0.7226 และ 0.7211 ตามลำดับ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์  $C_d$  กับ  $L_g$  ให้เห็นความสัมพันธ์ของระยะขยะที่ผลต่อค่า  $C_d$  ดังรูปที่ 4-4

จากรูปที่ 4-4 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ระยะทางยาวของขยะที่ระยะ 6.75 เมตร ไปจนถึงที่ระยะ 9.0 เมตร พบว่าค่า  $C_d$  จะลดลงตามระยะทางขยะที่เพิ่มขึ้น ส่วนที่ระยะขยะ 2.25 เมตร และ 4.50 เมตร ส่วนใหญ่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่า  $C_d$  เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีขยะซึ่งใช้เป็นตัวอ้างอิง และเมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนระหว่างความลึกการจมของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) ต่อระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) หรือ  $y_g/y_1$  กับค่าสัดส่วน  $C_{d,g}/C_{d,0}$  ดังรูปที่ 4-4 จากรูปและตารางที่ 4-3 จะเห็นได้ว่าระยะขยะระยะการจมในน้ำของขยะจะมีผลต่อค่าสัดส่วน  $C_{d,g}/C_{d,0}$  เล็กน้อยที่ระยะขยะ 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร โดยจะมีค่า  $C_{d,g}/C_{d,0}$  ลดลงกว่าการไหลแบบไม่มีขยะเล็กน้อยคืออยู่ในช่วงวง 0.9949-0.9992 และค่าสัดส่วน  $y_g/y_1$  อยู่ที่ระหว่าง 0.17-0.25 จากกราฟรูปที่ 4-4 พบว่าเมื่อระยะทางขยะที่มากขึ้นกับค่าสัดส่วน  $y_g/y_1$  ที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มมีผลทำให้ค่า  $C_d$  ลดลงไปในทิศทางเดียวกัน





รูปที่ 4-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $C_d$  กับ  $y_1/w$ ,  $C_d$  กับ  $L_g$  และ  $C_{d,g}/C_{d,0}$  กับ  $y_g/y_1$  (free outflow)

ผลการศึกษาพบว่าในการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระ (free outflow) ในกรณีที่มีขยะจม ( $y_g$ ) ในน้ำลึก 10 เซนติเมตร พบว่าปริมาณขยะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย โดยขยะจะมีผลที่ระยะของขยะ ( $L_g$ ) ในทางน้ำและอัตราสัดส่วนระหว่างความลึกของขยะในน้ำต่อความลึกระดับน้ำ ( $y_g/y_1$ ) โดยจำนวนปริมาณขยะจะมีผลที่ระยะ 6.75 เมตรขึ้นไปจนถึงระยะ 9.0 เมตร ซึ่งเป็นระยะทางยาวขยะสูงสุดของการทดลองโดยที่อัตราส่วนความลึกของขยะในน้ำต่อความลึกระดับน้ำอยู่ระหว่าง 0.17-0.25 มีผลทำให้ระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) เพิ่มขึ้นเนื่องจากด้วยปริมาณขยะที่มารวมถึงการจมของขยะ จะไปรบกวนการไหลของน้ำเกิดความเสียดทานทำให้ระดับน้ำสูงขึ้น

สำหรับกรณีของการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระ (free outflow) และมีระยะจมในน้ำของขยะ ( $y_g$ ) 20 เซนติเมตรโดยเฉลี่ย พิจารณาได้จากตารางที่ 4-3 รวมถึงค่าตัวแปรและค่าการคำนวณต่างๆเช่นเดียวกับกรณีขยะจมในน้ำ 10 เซนติเมตร

จากการทดลองได้ผลลัพธ์วิเคราะห์ออกมาได้ว่า ในไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระในกรณีขยะมีระยะจมลึกในน้ำ 20 เซนติเมตร จะพบการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์อัตราการไหลน้อยมาก ( $C_d$ ) โดยเมื่อพิจารณาค่า  $C_d$  และความสัมพันธ์กับปริมาณระยะขยะ ( $L_g$ ) ที่ระยะ 0 เมตร, 2.25 เมตร, 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร ( $G_0, G_1, G_2, G_3, G_4$ ) ตามลำดับ จากรูปที่ 4-4 ที่ได้นำข้อมูลจากตารางที่ 4-3 ค่า  $C_d$  ( $Q_1-Q_4$ ) ของปริมาณขยะในทางน้ำแต่ละระยะจะอยู่ในช่วง 0.7125-0.7248, 0.7125-0.7248, 0.7125-0.7242, 0.7107-0.7237 และ 0.7080-0.7231 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย  $C_d$  ของระยะขยะแต่ละช่วงอยู่ที่ 0.7208, 0.7208, 0.7203, 0.7193 และ 0.7177 ตามลำดับ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์  $C_d$  กับ  $L_g$  ให้เห็นความสัมพันธ์ของระยะขยะที่ผลต่อค่า  $C_d$

ซึ่งจากรูปที่ 4-4 และตารางที่ 4-3 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ระยะทางยาวของขยะที่ระยะ 4.50 เมตร ไปจนถึงที่ระยะ 9.0 เมตร พบว่าค่า  $C_d$  จะลดลงตามระยะทางขยะที่เพิ่มขึ้น ส่วนที่ระยะขยะ 2.25 เมตร ส่วนใหญ่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่า  $C_d$  เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีขยะซึ่งใช้เป็นตัวอ้างอิง และเมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนระหว่างความลึกการจมของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) ต่อระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) หรือ  $y_g/y_1$  กับค่าสัดส่วน  $C_{d,g}/C_{d,0}$  ดังรูปที่ 4-4 และตารางที่ 4-3 จะเห็นได้ว่าระยะระยะการจมในน้ำของขยะจะมีผลต่อค่าสัดส่วน  $C_{d,g}/C_{d,0}$  เล็กน้อยที่ระยะขยะ 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร โดยจะมีค่า  $C_{d,g}/C_{d,0}$  ลดลงกว่าการไหลแบบไม่มีขยะเล็กน้อยคืออยู่ในช่วงวง 0.9936-0.9992 และค่าสัดส่วน  $y_g/y_1$  อยู่ที่ระหว่าง 0.31-0.51 จากกราฟรูปที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_{d,g}/C_{d,0}$  และ  $y_g/y_1$  พบว่าเมื่อระยะทางขยะที่มากขึ้นกับค่าสัดส่วน  $y_g/y_1$  ที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มมีผลทำให้ค่า  $C_d$  ลดลงไปในทิศทางเดียวกัน

ผลการศึกษาพบว่าในการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระ (free outflow) ในกรณีที่ มีขยะจม ( $y_g$ ) ในน้ำลึก 20 เซนติเมตร นั้น พบว่าปริมาณขยะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย โดยขยะจะมีผลที่ระยะของขยะ ( $L_g$ ) ในทางน้ำและอัตราสัดส่วนระหว่างความลึกของขยะในน้ำต่อความลึกระดับน้ำ ( $y_g/y_1$ ) โดยจำนวนปริมาณขยะจะมีผลที่ระยะ 4.50 เมตร ขึ้นไปจนถึงระยะ 9.0 เมตร ซึ่งเป็นระยะทางยาวขยะสูงสุดของการทดลองโดยที่อัตราส่วนความลึกของขยะในน้ำต่อความลึกระดับน้ำอยู่ระหว่าง 0.31-0.51 มีผลทำให้ระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) เพิ่มขึ้นเนื่องจากด้วยปริมาณขยะที่มากรวมถึงการจมของขยะ จะไปรบกวนการไหลของน้ำเกิดความเสียดทานทำให้ระดับน้ำสูงขึ้น

#### 4.5.2 ผลของขยะที่มีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบท่วมจม (drowned outflow)

ผลของการวิเคราะห์การไหลผ่านประตูน้ำแบบบานเลื่อนตรงบนทางน้ำที่มีขยะแบบการไหลแบบท่วมจมนั้นพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) ที่ได้ทำการทดลองเงื่อนไขที่มีการจมลึกของขยะโดยเฉลี่ย ( $y_g$ ) ในน้ำ 2 ระยะคือ 10 และ 20 เซนติเมตรและกำหนดค่าระดับท้ายน้ำหลังบานประตูตัวที่ 1 โดยเฉลี่ย ( $y_3$ ) เป็น 20, 22 และ 24 เซนติเมตรตามลำดับนั้น โดยในส่วนของผลของขยะที่มีผลต่อค่า  $C_d$  ของทั้งสองกรณีจะแสดงดังในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองการไหลออกท่วมจม (drowned outflow) ;  $y_g = 0.10, 0.20$  เมตร

Case No	Q (l/s)	G $y_g$ (cm)	$y_1$ (cm)	$V_1$	Vav cur.m (m/s)	Diff.V(%) ( $V_1, V_{cur}$ )	$y_3$ (cm)	$V_3$ (m/s)	$C_d$	$\frac{C_{d,y_g}}{C_{d,0}}$	$\frac{y_g}{y_1}$	$\frac{y_1}{w}$
DQ1G0D1Y1	12.73	10	35.6	0.06	0.064	6.7	20	0.11	0.6965	1	0.28	17.8
DQ2G0D1Y1	14.77	10	40.7	0.06	0.057	5.0	20	0.12	0.716	1	0.25	20.35
DQ3G0D1Y1	17.73	10	50.7	0.058	0.06	3.4	20	0.15	0.7167	1	0.2	25.35
DQ4G0D1Y1	18.5	10	53.5	0.058	0.053	8.6	20	0.16	0.7184	1	0.19	26.75
DQ1G1D1Y1	12.73	10	35.6	0.06	0.06	0.0	20	0.11	0.6965	1	0.28	17.8
DQ2G1D1Y1	14.77	10	40.7	0.06	0.05	16.7	20	0.12	0.716	1	0.25	20.35
DQ3G1D1Y1	17.73	10	50.7	0.058	0.058	0.0	20	0.15	0.7167	1	0.2	25.35
DQ4G1D1Y1	18.5	10	53.5	0.058	0.051	12.1	20	0.16	0.7184	1	0.19	26.75
DQ1G2D1Y1	12.73	10	35.7	0.059	0.056	5.1	20	0.11	0.6939	0.9962	0.28	17.85
DQ2G2D1Y1	14.77	10	40.8	0.06	0.061	1.7	20	0.12	0.7138	0.997	0.25	20.4
DQ3G2D1Y1	17.73	10	50.8	0.058	0.047	19.0	20	0.15	0.7152	0.9978	0.2	25.4
DQ4G2D1Y1	18.5	10	53.6	0.058	0.05	13.8	20	0.16	0.717	0.998	0.19	26.8
DQ1G3D1Y1	12.73	10	35.8	0.059	0.054	8.5	20	0.11	0.6913	0.9924	0.28	17.9
DQ2G3D1Y1	14.77	10	40.8	0.06	0.05	16.7	20	0.12	0.7138	0.997	0.25	20.4
DQ3G3D1Y1	17.73	10	50.9	0.058	0.048	17.2	20	0.15	0.7137	0.9957	0.2	25.45
DQ4G3D1Y1	18.5	10	53.7	0.057	0.054	5.3	20	0.16	0.7156	0.996	0.19	26.85
DQ1G4D1Y1	12.73	10	35.9	0.059	0.057	3.4	20	0.11	0.6887	0.9887	0.28	17.95
DQ2G4D1Y1	14.77	10	41.1	0.06	0.045	25.0	20	0.12	0.7074	0.9881	0.24	20.55
DQ3G4D1Y1	17.73	10	51.2	0.058	0.05	13.8	20	0.15	0.7091	0.9894	0.2	25.6
DQ4G4D1Y1	18.5	10	54	0.057	0.069	21.1	20	0.16	0.7113	0.9901	0.19	27

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองการไหลออกท่วมจม (drowned outflow) ;  $y_s = 0.10, 0.20$  เมตร (ต่อ)

Case No	Q (l/s)	G $y_s$ (cm)	$y_1$ (cm)	$V_1$	Vav cur.m (m/s)	Diff.V(%) ( $v_1, v_{cur}$ )	$y_3$ (cm)	$V_3$ (m/s)	$C_d$	$\frac{C_{d, \xi}}{C_{d,0}}$	$\frac{y_\xi}{y_1}$	$\frac{y_1}{w}$
DQ1G0D1Y2	12.63	10	37.7	0.056	0.063	12.5	22	0.10	0.6657	1	0.27	18.85
DQ2G0D1Y2	14.75	10	43.4	0.057	0.04	29.8	22	0.11	0.676	1	0.23	21.7
DQ3G0D1Y2	17.36	10	52	0.056	0.057	1.8	22	0.13	0.6805	1	0.19	26
DQ4G0D1Y2	18.62	10	56.5	0.055	0.067	21.8	22	0.14	0.6841	1	0.18	28.25
DQ1G1D1Y2	12.63	10	37.7	0.056	0.038	32.1	22	0.10	0.6657	1	0.27	18.85
DQ2G1D1Y2	14.75	10	43.4	0.057	0.054	5.3	22	0.11	0.676	1	0.23	21.7
DQ3G1D1Y2	17.36	10	52	0.056	0.042	25.0	22	0.13	0.6805	1	0.19	26
DQ4G1D1Y2	18.62	10	56.5	0.055	0.046	16.4	22	0.14	0.6841	1	0.18	28.25
DQ1G2D1Y2	12.63	10	37.8	0.056	0.048	14.3	22	0.10	0.6634	0.9964	0.26	18.9
DQ2G2D1Y2	14.75	10	43.5	0.057	0.046	19.3	22	0.11	0.6742	0.9973	0.23	21.75
DQ3G2D1Y2	17.36	10	52.1	0.056	0.048	14.3	22	0.13	0.6791	0.998	0.19	26.05
DQ4G2D1Y2	18.62	10	56.6	0.055	0.044	20.0	22	0.14	0.6829	0.9982	0.18	28.3
DQ1G3D1Y2	12.63	10	38	0.055	0.053	3.6	22	0.10	0.6587	0.9893	0.26	19
DQ2G3D1Y2	14.75	10	43.6	0.056	0.046	17.9	22	0.11	0.6723	0.9945	0.23	21.8
DQ3G3D1Y2	17.36	10	52.2	0.055	0.041	25.5	22	0.13	0.6777	0.9959	0.19	26.1
DQ4G3D1Y2	18.62	10	56.7	0.055	0.064	16.4	22	0.14	0.6817	0.9964	0.18	28.35
DQ1G4D1Y2	12.63	10	38.2	0.055	0.051	7.3	22	0.10	0.654	0.9824	0.26	19.1
DQ2G4D1Y2	14.75	10	43.8	0.056	0.034	39.3	22	0.11	0.6687	0.9892	0.23	21.9
DQ3G4D1Y2	17.36	10	52.5	0.055	0.055	0.0	22	0.13	0.6736	0.9899	0.19	26.25
DQ4G4D1Y2	18.62	10	57	0.054	0.065	20.4	22	0.14	0.678	0.9911	0.18	28.5
DQ1G0D1Y3	12.33	10	39.9	0.052	0.074	42.3	24	0.09	0.6289	1	0.25	19.95
DQ2G0D1Y3	14.44	10	45.3	0.053	0.058	9.4	24	0.10	0.6448	1	0.22	22.65
DQ3G0D1Y3	17.35	10	54.6	0.053	0.061	15.1	24	0.12	0.6547	1	0.18	27.3
DQ4G0D1Y3	18.48	10	58.4	0.053	0.05	5.7	24	0.13	0.6608	1	0.17	29.2
DQ1G1D1Y3	12.33	10	39.9	0.052	0.045	13.5	24	0.09	0.6289	1	0.25	19.95
DQ2G1D1Y3	14.44	10	45.3	0.053	0.049	7.5	24	0.10	0.6448	1	0.22	22.65
DQ3G1D1Y3	17.35	10	54.6	0.053	0.047	11.3	24	0.12	0.6547	1	0.18	27.3

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองการไหลออกท่วมจม (drowned outflow) ;  $y_s = 0.10, 0.20$  เมตร (ต่อ)

Case No	Q (l/s)	G $y_s$ (cm)	$y_1$ (cm)	$V_1$	Vav cur.m (m/s)	Diff.V(%) ( $v_1, v_{cur}$ )	$y_3$ (cm)	$V_3$ (m/s)	$C_d$	$\frac{C_{d, \xi}}{C_{d,0}}$	$\frac{y_\xi}{y_1}$	$\frac{y_1}{w}$
DQ4G1D1Y3	18.48	10	58.4	0.053	0.036	32.1	24	0.13	0.6608	1	0.17	29.2
DQ1G2D1Y3	12.33	10	40	0.051	0.043	15.7	24	0.09	0.6268	0.9966	0.25	20
DQ2G2D1Y3	14.44	10	45.4	0.053	0.047	11.3	24	0.10	0.6431	0.9974	0.22	22.7
DQ3G2D1Y3	17.35	10	54.7	0.053	0.049	7.5	24	0.12	0.6535	0.9981	0.18	27.35
DQ4G2D1Y3	18.48	10	58.5	0.053	0.046	13.2	24	0.13	0.6596	0.9983	0.17	29.25
DQ1G3D1Y3	12.33	10	40	0.051	0.045	11.8	24	0.09	0.6268	0.9966	0.25	20
DQ2G3D1Y3	14.44	10	45.4	0.053	0.051	3.8	24	0.10	0.6431	0.9974	0.22	22.7
DQ3G3D1Y3	17.35	10	54.7	0.053	0.051	3.8	24	0.12	0.6535	0.9981	0.18	27.35
DQ4G3D1Y3	18.48	10	58.5	0.053	0.045	15.1	24	0.13	0.6596	0.9983	0.17	29.25
DQ1G4D1Y3	12.33	10	40.3	0.051	0.045	11.8	24	0.09	0.6204	0.9865	0.25	20.15
DQ2G4D1Y3	14.44	10	45.7	0.053	0.047	11.3	24	0.10	0.6381	0.9896	0.22	22.85
DQ3G4D1Y3	17.35	10	55.1	0.052	0.049	5.8	24	0.12	0.6486	0.9906	0.18	27.55
DQ4G4D1Y3	18.48	10	58.9	0.052	0.051	1.9	24	0.13	0.6551	0.9915	0.17	29.45
DQ1G0D2Y1	12.53	20	35	0.06	0.047	21.7	20	0.11	0.6982	1	0.57	17.5
DQ2G0D2Y1	14.5	20	40	0.06	0.071	18.3	20	0.12	0.7132	1	0.5	20
DQ3G0D2Y1	16.75	20	47.2	0.059	0.051	13.6	20	0.14	0.7162	1	0.42	23.6
DQ4G0D2Y1	17.28	20	48.9	0.059	0.051	13.6	20	0.15	0.7192	1	0.41	24.45
DQ1G1D2Y1	12.53	20	35	0.06	0.073	21.7	20	0.11	0.6982	1	0.57	17.5
DQ2G1D2Y1	14.5	20	40	0.06	0.068	13.3	20	0.12	0.7132	1	0.5	20
DQ3G1D2Y1	16.75	20	47.2	0.059	0.061	3.4	20	0.14	0.7162	1	0.42	23.6
DQ4G1D2Y1	17.28	20	48.9	0.059	0.057	3.4	20	0.15	0.7192	1	0.41	24.45
DQ1G2D2Y1	12.53	20	35.1	0.059	0.069	16.9	20	0.11	0.6955	0.9961	0.57	17.55
DQ2G2D2Y1	14.5	20	40.2	0.06	0.059	1.7	20	0.12	0.7088	0.9938	0.5	20.1
DQ3G2D2Y1	16.75	20	47.4	0.059	0.067	13.6	20	0.14	0.7128	0.9952	0.42	23.7
DQ4G2D2Y1	17.28	20	49	0.059	0.06	1.7	20	0.15	0.7176	0.9977	0.41	24.5
DQ1G3D2Y1	12.53	20	35.2	0.059	0.074	25.4	20	0.11	0.6928	0.9922	0.57	17.6
DQ2G3D2Y1	14.5	20	40.2	0.06	0.065	8.3	20	0.12	0.7088	0.9938	0.5	20.1

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองการไหลออกท่วมจม (drowned outflow) ;  $y_s = 0.10, 0.20$  เมตร (ต่อ)

Case No	Q (l/s)	G $y_s$ (cm)	$y_1$ (cm)	$V_1$	Vav cur.m (m/s)	Diff.V(%) ( $V_1/V_{cur}$ )	$y_3$ (cm)	$V_3$ (m/s)	$C_d$	$\frac{C_{d,s}}{C_{d,0}}$	$\frac{y_s}{y_1}$	$\frac{y_1}{w}$
DQ3G3D2Y1	16.75	20	47.4	0.059	0.06	1.7	20	0.14	0.7128	0.9952	0.42	23.7
DQ4G3D2Y1	17.28	20	49.1	0.059	0.061	3.4	20	0.15	0.716	0.9955	0.41	24.55
DQ1G4D2Y1	12.53	20	35.2	0.059	0.074	25.4	20	0.11	0.6928	0.9922	0.57	17.6
DQ2G4D2Y1	14.5	20	40.7	0.059	0.061	3.4	20	0.12	0.6982	0.9789	0.49	20.35
DQ3G4D2Y1	16.75	20	47.4	0.059	0.06	1.7	20	0.14	0.7128	0.9952	0.42	23.7
DQ4G4D2Y1	17.28	20	49.3	0.058	0.061	5.2	20	0.15	0.7128	0.991	0.41	24.65
DQ1G0D2Y2	12.57	20	37.2	0.056	0.061	8.9	22	0.10	0.6741	1	0.54	18.6
DQ2G0D2Y2	14.65	20	43.1	0.057	0.064	12.3	22	0.11	0.6758	1	0.46	21.55
DQ3G0D2Y2	17.28	20	51.9	0.055	0.059	7.3	22	0.13	0.6778	1	0.39	25.95
DQ4G0D2Y2	18.54	20	56.7	0.054	0.061	13.0	22	0.14	0.6778	1	0.35	28.35
DQ1G1D2Y2	12.57	20	37.3	0.056	0.066	17.9	22	0.10	0.6716	0.9963	0.54	18.65
DQ2G1D2Y2	14.65	20	43.2	0.057	0.065	14.0	22	0.11	0.6739	0.9972	0.46	21.6
DQ3G1D2Y2	17.28	20	51.9	0.055	0.055	0.0	22	0.13	0.6778	1	0.39	25.95
DQ4G1D2Y2	18.54	20	56.7	0.054	0.048	11.1	22	0.14	0.6778	1	0.35	28.35
DQ1G2D2Y2	12.57	20	37.3	0.056	0.072	28.6	22	0.10	0.6716	0.9963	0.54	18.65
DQ2G2D2Y2	14.65	20	43.3	0.056	0.055	1.8	22	0.11	0.6721	0.9945	0.46	21.65
DQ3G2D2Y2	17.28	20	52.2	0.055	0.054	1.8	22	0.13	0.6737	0.9939	0.38	26.1
DQ4G2D2Y2	18.54	20	56.8	0.054	0.057	5.6	22	0.14	0.6766	0.9982	0.35	28.4
DQ1G3D2Y2	12.57	20	37.5	0.056	0.067	19.6	22	0.10	0.6667	0.989	0.53	18.75
DQ2G3D2Y2	14.65	20	43.4	0.056	0.054	3.6	22	0.11	0.6702	0.9917	0.46	21.7
DQ3G3D2Y2	17.28	20	52.3	0.055	0.057	3.6	22	0.13	0.6723	0.9919	0.38	26.15
DQ4G3D2Y2	18.54	20	56.9	0.054	0.054	0.0	22	0.14	0.6754	0.9964	0.35	28.45
DQ1G4D2Y2	12.57	20	37.6	0.056	0.067	19.6	22	0.10	0.6643	0.9854	0.53	18.8
DQ2G4D2Y2	14.65	20	43.7	0.056	0.063	12.5	22	0.11	0.6648	0.9837	0.46	21.85
DQ3G4D2Y2	17.28	20	52.5	0.055	0.058	5.5	22	0.13	0.6696	0.9879	0.38	26.25
DQ4G4D2Y2	18.54	20	57.1	0.054	0.057	5.6	22	0.14	0.673	0.9929	0.35	28.55
DQ1G0D2Y3	12.49	20	39.1	0.053	0.053	0.0	24	0.09	0.6568	1	0.51	19.55

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองการไหลออกท่วมจม (drowned outflow) ;  $y_s = 0.10, 0.20$  เมตร (ต่อ)

Case No	Q (l/s)	G $y_s$ (cm)	$y_1$ (cm)	$V_1$	Vav cur.m (m/s)	Diff.V(%) ( $V_1 \cdot V_{cur}$ )	$y_3$ (cm)	$V_3$ (m/s)	$C_d$	$\frac{C_{d_{y_3}}}{C_{d_0}}$	$\frac{y_3}{y_1}$	$\frac{y_1}{w}$
DQ2G0D2Y3	14.55	20	44.9	0.054	0.054	0.0	24	0.10	0.6577	1	0.45	22.45
DQ3G0D2Y3	17.24	20	53.9	0.053	0.049	7.5	24	0.12	0.6585	1	0.37	26.95
DQ4G0D2Y3	18.49	20	58.5	0.053	0.054	1.9	24	0.13	0.6601	1	0.34	29.25
DQ1G1D2Y3	12.49	20	39.1	0.053	0.056	5.7	24	0.09	0.6568	1	0.51	19.55
DQ2G1D2Y3	14.55	20	44.9	0.054	0.056	3.7	24	0.10	0.6577	1	0.45	22.45
DQ3G1D2Y3	17.24	20	53.9	0.053	0.058	9.4	24	0.12	0.6585	1	0.37	26.95
DQ4G1D2Y3	18.49	20	58.5	0.053	0.043	18.9	24	0.13	0.6601	1	0.34	29.25
DQ1G2D2Y3	12.49	20	39.2	0.053	0.053	0.0	24	0.09	0.6544	0.9964	0.51	19.6
DQ2G2D2Y3	14.55	20	44.9	0.054	0.067	24.1	24	0.10	0.6577	1	0.45	22.45
DQ3G2D2Y3	17.24	20	53.95	0.053	0.051	3.8	24	0.12	0.6578	0.999	0.37	26.975
DQ4G2D2Y3	18.49	20	58.6	0.053	0.052	1.9	24	0.13	0.6589	0.9983	0.34	29.3
DQ1G3D2Y3	12.49	20	39.3	0.053	0.067	26.4	24	0.09	0.6521	0.9928	0.51	19.65
DQ2G3D2Y3	14.55	20	45	0.054	0.064	18.5	24	0.10	0.6559	0.9973	0.44	22.5
DQ3G3D2Y3	17.24	20	54	0.053	0.052	1.9	24	0.12	0.6572	0.9981	0.37	27
DQ4G3D2Y3	18.49	20	58.7	0.052	0.053	1.9	24	0.13	0.6578	0.9966	0.34	29.35
DQ1G4D2Y3	12.49	20	39.4	0.053	0.072	35.8	24	0.09	0.6497	0.9893	0.51	19.7
DQ2G4D2Y3	14.55	20	45.1	0.054	0.058	7.4	24	0.10	0.6542	0.9946	0.44	22.55
DQ3G4D2Y3	17.24	20	54.2	0.053	0.055	3.8	24	0.12	0.6546	0.9942	0.37	27.1
DQ4G4D2Y3	18.49	20	58.9	0.052	0.058	11.5	24	0.13	0.6556	0.9932	0.34	29.45

จากตารางที่ 4-4 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) ของการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบท่วมจม (drowned outflow) และมีระยะจมในน้ำของขยะ ( $y_s$ ) 10 เซนติเมตร ค่าตัวแปรและค่าการคำนวณต่างๆตามตารางที่ 4-4 สามารถพิจารณาเช่นเดียวกับกรณีขยะจมในน้ำ 10 และ 20 เซนติเมตร ของการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระ

จากการทดลองได้ผลลัพธ์วิเคราะห์ออกมาได้ว่า ในการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบท่วมจมในกรณีขยะมีระยะจมลึกในน้ำ 10 เซนติเมตร พบการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์อัตราการไหลไม่มาก ( $C_d$ ) โดยเมื่อพิจารณาค่า  $C_d$  และความสัมพันธ์กับปริมาณระยะขยะ ( $L_s$ ) ที่ระยะ 0 เมตร, 2.25 เมตร, 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร (G0, G1, G2, G3, G4) พบว่าค่า  $C_d$  ของปริมาณ

ขยะในทางน้ำแต่ละระยะสำหรับระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) 20 เซนติเมตร จะอยู่ในช่วง 0.6965-0.7184, 0.6965-0.7184, 0.6939-0.7170, 0.6913-0.7156 และ 0.6887-0.7113 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย  $C_d$  ของระยะขยะแต่ละช่วงอยู่ที่ 0.7119, 0.7119, 0.7100, 0.7086 และ 0.7041 ตามลำดับ , ค่า  $C_d$  ของปริมาณขยะในทางน้ำแต่ละระยะสำหรับระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) 22 เซนติเมตร จะอยู่ในช่วง 0.6657-0.6841, 0.6657-0.6841, 0.6634-0.6829, 0.6587-0.6817 และ 0.6540-0.6780 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย  $C_d$  ของระยะขยะแต่ละช่วงอยู่ที่ 0.6766, 0.6766, 0.6749, 0.6726 และ 0.6686 ตามลำดับ และค่า  $C_d$  (Q1-Q4) ของปริมาณขยะในทางน้ำแต่ละระยะสำหรับระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) 24 เซนติเมตร จะอยู่ในช่วง 0.6289-0.6608, 0.6289-0.6608, 0.6268-0.6596, 0.6268-0.6596 และ 0.6204-0.6551 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย  $C_d$  ของระยะขยะแต่ละช่วงอยู่ที่ 0.6473, 0.6473, 0.6457, 0.6457 และ 0.6405 ตามลำดับ ผลของค่า  $C_d$  สามารถนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์  $C_d$  กับ  $L_g$  ให้เห็นความสัมพันธ์ของระยะขยะที่ผลต่อค่า  $C_d$  ดังแสดงในรูปที่ 4-5

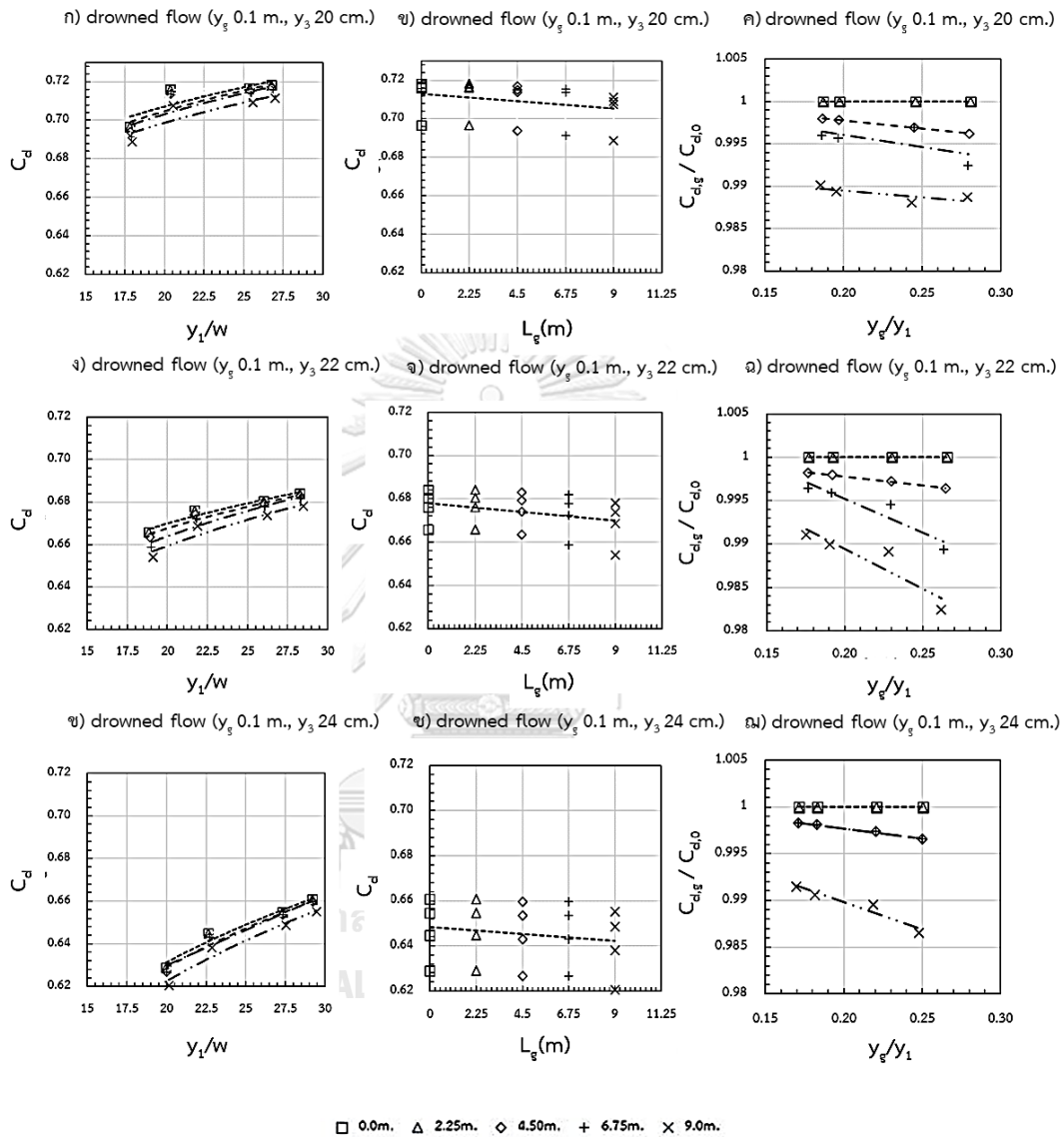
จากรูปที่ 4-5 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ระยะทางยาวของขยะที่ระยะ 4.50 เมตร ไปจนถึงที่ระยะ 9.0 เมตร พบว่าค่า  $C_d$  จะลดลงตามระยะทางขยะที่เพิ่มขึ้น ส่วนที่ระยะขยะ 2.25 เมตร ส่วนใหญ่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่า  $C_d$  เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีขยะซึ่งใช้เป็นตัวอ้างอิง

เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนระหว่างความลึกการจมของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) ต่อระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) หรือ  $y_g/y_1$  กับค่าสัดส่วน  $C_{d,g}/C_{d,0}$  ดังรูปที่ 4-5 พบว่าระยะการจมในน้ำของขยะจะมีผลต่อค่าสัดส่วน  $C_{d,g}/C_{d,0}$  เล็กน้อยที่ระยะขยะ 4.50, 6.75 m และ 9.0 เมตร โดยจะมีค่า  $C_{d,g}/C_{d,0}$  ลดลงกว่าการไหลแบบไม่มีขยะเล็กน้อยคืออยู่ในช่วง 0.9824-0.9983 และค่าสัดส่วน  $y_g/y_1$  อยู่ที่ระหว่าง 0.17-0.28 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_{d,g}/C_{d,0}$ ,  $y_g/y_1$  และ  $C_{d,L_g}$  พบว่าเมื่อระยะทางขยะที่มากขึ้นกับค่าสัดส่วน  $y_g/y_1$  ที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มมีผลทำให้ค่า  $C_d$  ลดลงไปในทิศทางเดียวกัน

ผลการศึกษาพบว่าในการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบท่วมจมในกรณีที่มีขยะจม ( $y_g$ ) ในน้ำลึก 10 เซนติเมตร และกำหนดค่าระดับท้ายน้ำ ( $y_3$ ) เป็น 20, 22 และ 24 เซนติเมตรตามลำดับนั้น พบว่าปริมาณขยะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย โดยขยะจะมีผลที่ระยะของขยะ ( $L_g$ ) ในทางน้ำและอัตราสัดส่วนระหว่างความลึกของขยะในน้ำต่อความลึกระดับน้ำ ( $y_g/y_1$ ) และระดับความแตกต่างระหว่างระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) กับระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) โดยจำนวนปริมาณขยะจะมีผลที่ระยะ 4.50 ไปจนถึง 9.0 เมตร ซึ่งเป็นระยะทางยาวขยะสูงสุดของการทดลองโดยที่อัตราส่วนความลึกของขยะในน้ำต่อความลึกระดับน้ำหน้าบานประตูอยู่ระหว่าง 0.17-0.28 มีผลทำให้ระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) สูงขึ้นเนื่องจากสัมประสิทธิ์อัตราการไหลที่ลดลง



ด้วยปริมาณขยะที่มากขึ้น รวมถึงการจมของขยะที่เพิ่มขึ้นที่ไปรบกวนการไหลของน้ำ ทำให้เกิดแรงเสียดทานต้านการไหล มีผลทำให้ระดับน้ำหน้าบานประตูสูงขึ้น โดยทั้งสองปัจจัยนี้มีผลทำให้ค่า  $C_d$  ลดลงมากขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 4-5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $C_d$  กับ  $y_1/w$ ,  $C_d$  กับ  $L_g$  และ  $C_{d,g}/C_{d,0}$  กับ  $y_g/y_1$  (drowned outflow);  $y_g = 0.1$  เมตร

จากตารางที่ 4-4 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) ของการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบท่วมจม (drowned outflow) และมีระยะจมในน้ำของขยะ ( $y_g$ ) 20 เซนติเมตร ค่าตัวแปรและค่าการคำนวณต่างๆตามตารางที่ 4-4 สามารถพิจารณาเช่นเดียวกับกรณีขยะจมในน้ำ 10 และ 20 เซนติเมตร ของการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระ

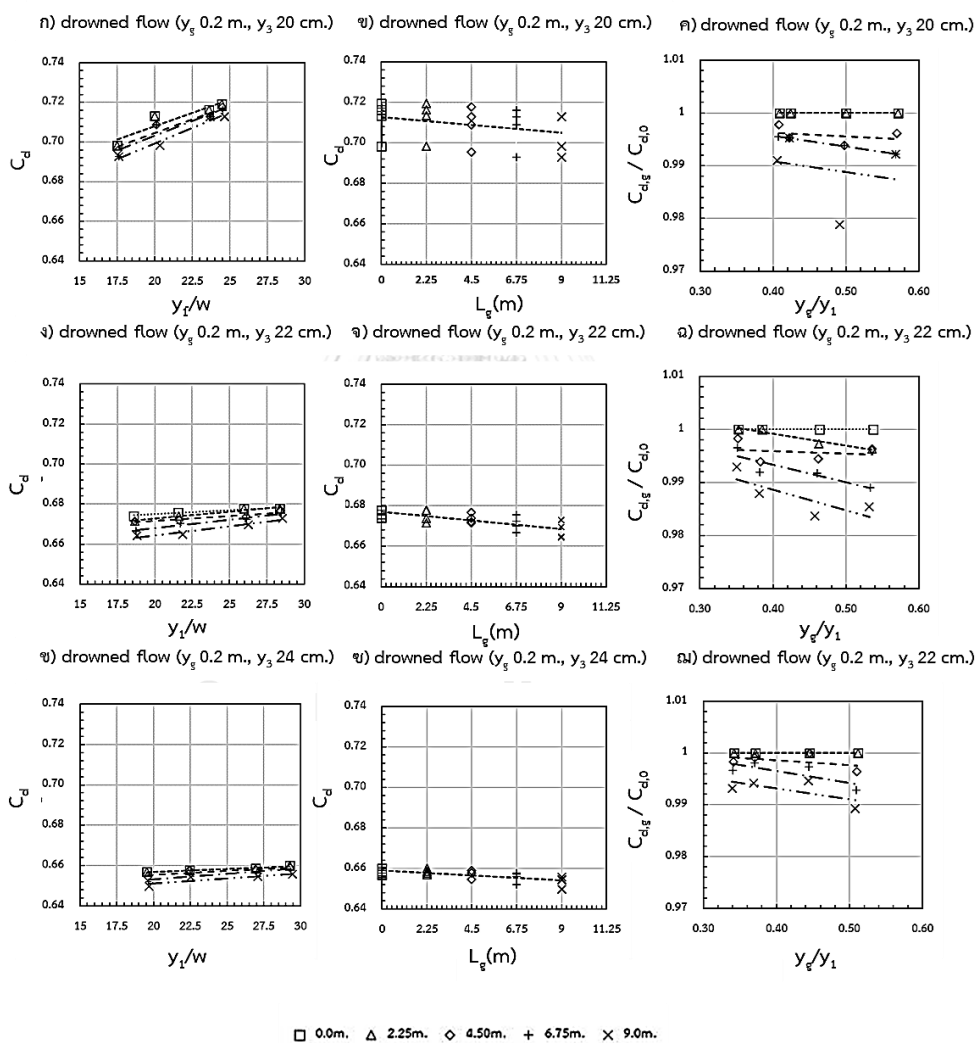
จากการทดลองได้ผลลัพธ์วิเคราะห์ออกมาได้ว่า ในการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบท่วมจมในกรณีขยะมีระยะจมลึกในน้ำ 20 เซนติเมตร พบการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์อัตราการไหลไม่มาก ( $C_d$ ) โดยเมื่อพิจารณาค่า  $C_d$  และความสัมพันธ์กับปริมาณระยะขยะ ( $L_g$ ) ที่ระยะ 0 เมตร, 2.25 เมตร, 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร (G0, G1, G2, G3, G4) ตามลำดับ พบว่าค่า  $C_d$  ของปริมาณขยะในทางน้ำแต่ละระยะสำหรับระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) 20 เซนติเมตร ในช่วง 0.6982-0.7192, 0.6982-0.7192, 0.6955-0.7176, 0.6928-0.7160 และ 0.6928-0.7128 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย  $C_d$  ของระยะขยะแต่ละช่วงอยู่ที่ 0.7117, 0.7117, 0.7087, 0.7076 และ 0.7041 ตามลำดับ, ค่า  $C_d$  ของปริมาณขยะในทางน้ำแต่ละระยะสำหรับระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) 22 cm จะอยู่ในช่วง 0.6741- 0.6778, 0.6716- 0.6778, 0.6716-0.6766, 0.6667-0.6754 และ 0.6643-0.6730 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย  $C_d$  ของระยะขยะแต่ละช่วงอยู่ที่ 0.6764, 0.6753, 0.6735, 0.6712 และ 0.6679 ตามลำดับ และค่า  $C_d$  ของปริมาณขยะในทางน้ำแต่ละระยะสำหรับระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) 24 เซนติเมตร จะอยู่ในช่วง 0.6568- 0.6601, 0.6568-0.6601, 0.6544- 0.6589, 0.6521-0.6578 และ 0.6497-0.6556 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย  $C_d$  ของระยะขยะแต่ละช่วงอยู่ที่ 0.6582, 0.6582, 0.6572, 0.6557 และ 0.6535 ตามลำดับ ผลของค่า  $C_d$  สามารถนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์  $C_d$  กับ  $L_g$  ให้เห็นความสัมพันธ์ของระยะขยะที่ผลต่อค่า  $C_d$  ดังแสดงในรูปที่ 4-6

จากรูปที่ 4-6 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ระยะทางยาวของขยะส่วนใหญ่เริ่มที่ระยะ 4.50 เมตร ไปจนถึงที่ระยะ 9.0 เมตร พบว่าค่า  $C_d$  จะลดลงตามระยะทางขยะที่เพิ่มขึ้น ส่วนที่ระยะขยะ 2.25 เมตร ส่วนใหญ่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่า  $C_d$  เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีขยะซึ่งใช้เป็นตัวอ้างอิง

เมื่อพิจารณาค่าสัดส่วนระหว่างความลึกการจมของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) ต่อระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) หรือ  $y_g/y_1$  กับค่าสัดส่วน  $C_{d,g}/C_{d,0}$  ดังรูปที่ 4-6 จากรูปแสดงความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่า ระยะการจมในน้ำของขยะจะมีผลต่อค่าสัดส่วน  $C_{d,g}/C_{d,0}$  เล็กน้อยที่ระยะขยะ 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร โดยจะมีค่า  $C_{d,g}/C_{d,0}$  ลดลงกว่าการไหลแบบไม่มีขยะเล็กน้อยคืออยู่ในช่วง 0.9789-0.9990 และค่าสัดส่วน  $y_g/y_1$  อยู่ที่ระหว่าง 0.34-0.57 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง  $C_d$ ,  $L_g$  และกราฟ  $C_{d,g}/C_{d,0}$ ,  $y_g/y_1$  พบว่าเมื่อระยะทางขยะที่มากขึ้นกับค่าสัดส่วน  $y_g/y_1$  ที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มมีผลทำให้ค่า  $C_d$  ลดลงไปในทิศทางเดียวกัน

ผลการศึกษาพบว่าในการไหลลอดผ่านประตูระบายน้ำแบบท่วมจมในกรณีที่มีขยะจม ( $y_g$ ) ในน้ำลึก 20 เซนติเมตร และกำหนดค่าระดับท้ายน้ำ ( $y_3$ ) เป็น 20, 22 และ 24 เซนติเมตรตามลำดับนั้น พบว่าปริมาณขยะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย โดยขยะจะมีผลที่ระยะของขยะ ( $L_g$ ) ในทางน้ำและอัตราสัดส่วนระหว่างความลึกของขยะในน้ำต่อความลึกระดับน้ำ

( $y_g/y_1$ ) และระดับความแตกต่างระหว่างระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) กับระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) โดยจำนวนปริมาณขยะส่วนใหญ่จะมีผลที่ระยะ 4.50 ไปจนถึง 9.0 เมตร ซึ่งเป็นระยะทางยาวขยะสูงสุดของการทดลองโดยที่อัตราส่วนความลึกของขยะในน้ำต่อความลึกระดับน้ำหน้าบานประตูอยู่ระหว่าง 0.34-0.57 มีผลทำให้ระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) สูงขึ้นเนื่องจากสัมประสิทธิ์อัตราการไหลที่ลดลงด้วยปริมาณขยะที่มากขึ้น รวมถึงการจมของขยะที่เพิ่มขึ้นที่ไปรบกวนการไหลของน้ำ ทำให้เกิดแรงเสียดทานต้านการไหล มีผลทำให้ระดับน้ำหน้าบานประตูสูงขึ้น โดยทั้งสองปัจจัยนี้มีผลทำให้ค่า  $C_d$  ลดลงมากขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 4-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $C_d$  กับ  $y_1/w$ ,  $C_d$  กับ และ  $C_{d,g}/C_{d,0}$  กับ  $y_g/y_1$  (drowned outflow);  $y_g = 0.2$  เมตร

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบการไหลของน้ำลอดผ่านประตูระบายน้ำบานเลื่อนตรง (vertical sluice gate) ของทางน้ำที่มีขยะ และ ไม่มีขยะ ที่มีการไหลผ่านประตู ทั้งแบบการไหลออกอิสระ (free outflow) และการไหลออกท่วมจม (drowned outflow) โดยพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (discharge coefficient;  $C_d$ ) ของประตูระบายน้ำที่อัตราการไหลและระยะเปิดบานประตูเดียวกัน

การศึกษานี้อาศัยการทดลองด้วยรางน้ำเปิด ณ ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขนาดของรางน้ำจำลองขนาด 0.60 เมตร x 0.75 เมตร x 18 เมตร ผังสองด้านข้างเป็นกระจกใส พื้นรางเป็นโลหะ ใช้ระบบน้ำหมุนเวียน ขยะลอยน้ำ ประกอบด้วยเศษไม้ อิฐมวลเบา ขวดพลาสติก โดยจะเน้นไปที่ขวดพลาสติก ซึ่งเป็นจำนวนประมาณ 80 % ของชนิดทุกชนิดทั้งหมด เพื่อควบคุมระยะการจมของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) โดยจะกำหนดระยะการจมของขยะในน้ำเป็น 2 ระยะคือ 0.10 เมตร และ 0.20 เมตร ซึ่งเป็นระยะการจมโดยเฉลี่ย และปริมาณขยะ ( $L_g$ ) ในรางน้ำ 4 ค่าคือ 2.25 เมตร, 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร วัดจากหน้าบานประตูระบายน้ำจำลอง ระยะขยะและความลึกในการจมน้ำของขยะถูกใช้ในการศึกษาทั้งสองสภาพการไหล แต่ในการทดลองของการไหลแบบท่วมจม จะเพิ่มกำหนดระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) จำนวน 3 ค่า คือ 0.20 เมตร, 0.22 เมตร และ 0.24 เมตรซึ่งเป็นระดับน้ำโดยเฉลี่ยเช่นกัน ซึ่งรวมการทดลองทั้งสองสภาพการไหลเป็นจำนวน 160 กรณี แบ่งเป็นการไหลแบบอิสระ 40 กรณี และการไหลแบบท่วมจม 120 กรณี

##### 5.1.1 การไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบไหลออกอิสระ

ผลของการศึกษาการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบอิสระ พบว่าปริมาณขยะจะทำให้สัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย โดยกรณีที่ความลึกขยะ 0.10 เมตร มีผลที่ระยะขยะความยาวจากหน้าบานประตู 4.50, 6.75 และ 9.0 เมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนค่า  $C_d$  ระหว่างขยะ ( $C_{d,g}$ ) กับของน้ำไม่มีขยะ ( $C_{d,0}$ ) คือค่า  $C_{d,g}/C_{d,0}$  มีค่าน้อยกว่า 1 เล็กน้อยคือ 0.9949-0.9992 โดยมีผลทำให้ระดับน้ำหน้าบานประตูเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่อัตราการไหลและระยะเปิดบานประตูเดียวกัน โดยนอกจากระยะทางยาวของขยะแล้ว อัตราส่วนระหว่างความลึกของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) ต่อความลึกของระดับน้ำหน้าบานประตูระบายน้ำ ( $y_1$ ) โดยถ้าอัตราส่วน  $y_g/y_1$  มีค่าประมาณ 0.17-0.25 ทั้งสองปัจจัยมีส่วนทำให้ระดับน้ำหน้าบานประตูระบายน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อยคิดออกมาเป็น

เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีขยะอยู่ในช่วง 0.15-1.02% เนื่องด้วยปริมาณขยะและความลึกของขยะรบกวนการไหลทำให้เกิดแรงเสียดทานด้านการไหลระดับน้ำจึงเพิ่มขึ้น และสังเกตได้จากอัตราส่วนค่า  $C_{d,g}/C_{d,0}$  มีค่าน้อยกว่า 1

สำหรับกรณีที่มีความลึกขยะ 0.20 เมตร มีผลที่ระยะขยะความยาวจากหน้าบานประตู 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร พบได้ว่าอัตราส่วนค่า  $C_d$  ระหว่างขยะ ( $C_{d,g}$ ) กับของน้ำไม่มีขยะ ( $C_{d,0}$ ) คือค่า  $C_{d,g}/C_{d,0}$  มีค่าน้อยกว่า 1 เล็กน้อยคือ 0.9936-0.9992 โดยมีผลทำให้ระดับน้ำหน้าบานประตูเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่อัตราการไหลและระยะเปิดบานประตูเดียวกัน โดยนอกจากระยะทางยาวของขยะแล้ว อัตราส่วนระหว่างความลึกของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) ต่อความลึกของระดับน้ำหน้าบานประตูระบายน้ำ ( $y_1$ ) โดยถ้าอัตราส่วน  $y_g/y_1$  มีค่าประมาณ 0.31-0.51 ทั้งสองปัจจัยมีส่วนทำให้ระดับน้ำบานประตูระบายน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีขยะอยู่ในช่วง 0.16-1.29% เนื่องด้วยปริมาณขยะและความลึกของขยะรบกวนการไหลทำให้เกิดแรงเสียดทานด้านการไหลระดับน้ำจึงเพิ่มขึ้น และสังเกตได้จากอัตราส่วนค่า  $C_{d,g}/C_{d,0}$  มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งเมื่อเทียบระหว่างระยะการจมของขยะในน้ำที่ระยะ 0.10 เมตรแล้ว การจมของขยะที่ระยะ 0.20 เมตร ทำให้ค่า  $C_d$  ต่ำกว่าเล็กน้อย

### 5.1.2 การไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบไหลออกท่วมจม

ผลของการศึกษาการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบท่วมจม พบว่าปริมาณขยะจะทำให้สัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย โดยกรณีที่ระยะขยะจมลึก 0.10 เมตร และระดับน้ำท้ายบานประตูระบายน้ำ ( $y_3$ ) ที่ 0.20 เมตร, 0.22 เมตร และ 0.24 เมตร การเปลี่ยนแปลงจะมีผลที่ระยะขยะความยาวจากหน้าบานประตูส่วนใหญ่เริ่มที่ 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร พบได้ว่าอัตราส่วนค่า  $C_d$  ระหว่างขยะ ( $C_{d,g}$ ) กับของน้ำเปล่า ( $C_{d,0}$ ) คือค่า  $C_{d,g}/C_{d,0}$  มีค่าน้อยกว่า 1 เล็กน้อยคือ 0.9824-0.9983 โดยมีผลทำให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้นโดยนอกจากระยะทางยาวของขยะแล้ว อัตราส่วนระหว่างความลึกของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) ต่อความลึกของระดับน้ำหน้าบานประตูระบายน้ำ ( $y_1$ ) ค่าอัตราส่วน  $y_g/y_1$  มีค่าประมาณ 0.17-0.28 สาเหตุทั้งสองปัจจัยนี้มีผลทำให้ค่า  $C_d$  ลดลงไปในทิศทางเดียว เมื่อทั้งสองค่ามีค่าที่เพิ่มขึ้น คิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกรณีไม่มีขยะอยู่ในช่วง 0.17-1.33% เนื่องด้วยปริมาณขยะและความลึกของขยะรบกวนการไหลทำให้เกิดแรงเสียดทานด้านการไหลระดับน้ำหน้าบานประตูจึงเพิ่มขึ้น และสังเกตได้จากอัตราส่วนค่า  $C_{d,g}/C_{d,0}$  มีค่าน้อยกว่า 1.0

สำหรับกรณีที่ระยะขยะจมลึก 0.20 เมตร และระดับน้ำท้ายบานประตูระบายน้ำ ( $y_3$ ) ที่ 0.20 เมตร, 0.22 เมตร และ 0.24 เมตร การเปลี่ยนแปลงจะมีผลที่ระยะขยะความยาวจากหน้าบานประตูส่วนใหญ่เริ่มที่ 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนค่า  $C_d$  ระหว่างขยะ ( $C_{d,g}$ ) กับของน้ำเปล่า ( $C_{d,0}$ ) คือค่า  $C_{d,g}/C_{d,0}$  มีค่าน้อยกว่า 1 เล็กน้อยคือ 0.9789-0.9990 และ

ค่าสัดส่วน  $y_g/y_1$  อยู่ระหว่าง 0.34-0.57 โดยมีผลทำให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้นโดยนอกระยะทางยาวของขยะแล้ว อัตราส่วนระหว่างความลึกของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) ต่อความลึกของระดับน้ำหน้าบานประตูระบายน้ำ ( $y_1$ ) ค่าอัตราส่วน  $y_g/y_1$  มีค่าประมาณ 0.34-0.57 สาเหตุทั้งสองปัจจัยนี้มีผลทำให้ค่า  $C_d$  ลดลงไปในทิศทางเดียว เมื่อทั้งสองค่ามีค่าที่เพิ่มขึ้น คิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกรณีไม่ขยะอยู่ในช่วง 0.09-1.75% เมื่อเทียบระหว่างระยะการจมของขยะในน้ำที่ระยะ 0.10 เมตร แล้วการจมของขยะที่ระยะ 0.20 เมตร ทำให้ค่า  $C_d$  ต่ำกว่าเล็กน้อย แต่พอสรุปได้ว่าด้วยปริมาณขยะและความลึกของขยะรบกวนการไหลทำให้เกิดแรงเสียดทานต้านการไหลระดับน้ำหน้าบานประตูจึงเพิ่มขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาเรื่องการไหลผ่านบานประตูระบายน้ำแบบบานเลื่อนตรงบนทางน้ำที่มีขยะในการศึกษาวิจัยนี้นั้น ได้ใช้แบบจำลองทางกายภาพใช้ในการศึกษาวิจัย โดยที่ระหว่างการดำเนินการผู้วิจัยได้พบปัญหาและอุปสรรคต่างๆ รวมถึงขีดข้อจำกัดบางประการของการศึกษานี้ เพื่อที่จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจที่จะทำการศึกษาต่อยอดหรือนำแนวคิดวิธีการทดลองเพื่อที่จะนำไปใช้ให้เป็นประโยชน์

- 1) จากการศึกษาของงานวิจัยนี้พบว่าความลึกของขยะ ( $y_g$ ) และระยะทางยาวของขยะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ( $C_d$ ) ในการวิจัยนี้จะใช้ความลึกส่วนจมน้ำของขยะที่ 0.10 เมตร และ 0.20 เมตร และระยะทางยาวของขยะที่ 2.25 เมตร, 4.50 เมตร, 6.75 เมตร และ 9.0 เมตร ซึ่งสามารถขยายในการศึกษาที่ความลึกส่วนจมน้ำของขยะและระยะทางยาวของขยะที่หลากหลายค่ามากกว่านี้ เพื่อหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของค่า  $C_d$  ต่อความลึกส่วนจมน้ำของขยะและระยะทางยาวของขยะในลำน้ำที่ชัดเจนและถูกต้องยิ่งขึ้นไป
- 2) ชนิดของขยะและความหนาแน่นของขยะขยะลอยน้ำ ประกอบด้วยเศษไม้ อิฐมวลเบา ขวดพลาสติก โดยจะเน้นไปที่ขวดพลาสติก ซึ่งเป็นจำนวนประมาณ 80 % ของชนิดแต่ขยะแต่ละชนิด เพื่อควบคุมระยะการจมของขยะในน้ำ ( $y_g$ ) โดยการศึกษาวิจัยนี้ใช้สภาพการไหลตามธรรมชาติไม่ได้ควบคุมความหนาแน่นของขยะซึ่งอาจมีส่วนต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลด้วยเช่นกัน และรวมไปถึงชนิดของขยะที่อาจจะมีต่างชนิดกันมากขึ้น เพื่อให้เข้ากับสภาพทางธรรมชาติ ซึ่งในการวิจัยนี้ใช้การจำลองทางน้ำที่ใช้ระบบปิดหมุนเวียน จึงไม่สามารถจำลองขยะจำพวกสารที่เป็นอินทรีย์ได้จึงใช้แต่ขยะจำพวกอนินทรีย์อย่างเดียว เพราะจะทำให้ระบบน้ำซึ่งเป็นระบบปิดเกิดการเน่าเสียได้ โดยในสภาพคลองแม่น้ำโดยทั่วไปแล้วจะขยะที่เป็นสารอินทรีย์ปะปนอยู่ด้วย เช่น ถ้าในชนบทจะเป็นพวกวัชพืชลอยตามลำน้ำ เช่น ผักตบชวา เป็นต้น

- 3) ในระหว่างขั้นตอนการทดลองถ้าเป็นการจำลองทางกายภาพโดยอาศัยอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลให้คงที่เช่น ปัม ควรตรวจสอบถึงประสิทธิภาพขณะใช้หรือขณะทำการวัดว่าคงที่พร้อมที่จะใช้งานหรือไม่ เพราะการวิจัยหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลในทางน้ำที่มีขยะนั้นปัจจัยส่วนนี้จะมีผลอย่างมากต่อความถูกต้องของงานวิจัย
- 4) การไหลทั้งแบบการไหลออกอิสระ (free outflow) และการไหลออกท่วมจม (drowned outflow) ควรมีการเพิ่มกรณีศึกษาที่เพิ่มขึ้นทั้งอัตราการไหล ( $Q$ ) ระดับน้ำหน้าบานประตู ( $y_1$ ) และระดับน้ำท้ายบานประตู ( $y_3$ ) ที่ครอบคลุมขึ้นเพื่อให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้น
- 5) นอกจากขยะที่ลอยบนทางน้ำแล้ว ตามสภาพจริงยังมีขยะที่จมในน้ำที่ระดับต่างๆ จึงควรมีการนำมาศึกษาต่อเพิ่มเติมว่าจะมีผลต่อการไหลอย่างไร ทั้งการไหลออกอิสระและการไหลออกท่วมจม



## ภาคผนวก ก

### การสอบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตามรูปที่ ก-1 คือการสอบเทียบเพื่อหาค่าอัตราการไหลในการวิจัยทดลอง โดยจะมีกระบวนการสอบเทียบดังนี้

- 1) เปิดปั๊มอัตราการไหลที่ค่าหนึ่ง โดยเริ่มอัตราการไหลน้อย
- 2) ใช้ถังน้ำรองน้ำจากฝายสันคมซึ่งมีตาชั่งวัดน้ำหนัก
- 3) เมื่อถึงน้ำรับน้ำจนถึง 200 ลิตรทำการจับเวลา 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยอัตราการไหล จะได้ 1 อัตราการไหล พร้อมทั้งจดบันทึกค่าระดับน้ำความสูงผ่านสันฝาย จากนั้นทำกระบวนการเดิม โดยเพิ่มอัตราการไหลที่ปั๊ม จนได้อัตราการไหลที่ครอบคลุมการทดลองตามตารางที่ ก-1
- 4) นำไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำเหนือสันฝายกับอัตราการไหล (rating curve) ดังรูปที่ ก-2



รูปที่ ก - 1 การสอบเทียบอัตราการไหลผ่านฝายสันคม

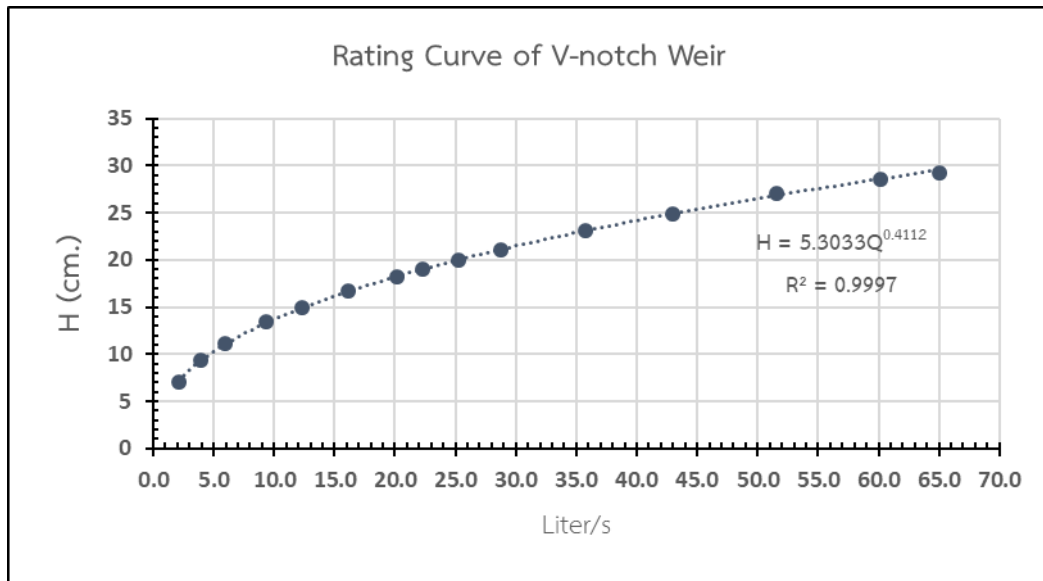


ตารางที่ ก - 1 การสอบเทียบหาอัตราการไหลผ่านฝายสันคม

ปริมาตร (liters)	ความสูงน้ำ เหนือสัน ฝาย cm	เวลา ครั้งที่ 1 sec.	เวลา ครั้งที่ 2 sec.	เวลา ครั้งที่ 3 sec.	อัตราการ ไหล 1 liters/s	อัตราการ ไหล 2 liters/s	อัตราการ ไหล 3 liters/s	อัตราการ ไหล เฉลี่ย liters/s
200	29.2	3.1	3.07	3.05	64.52	65.15	65.57	65.08
200	28.5	3.33	3.4	3.24	60.06	58.82	61.73	60.20
200	27	3.82	3.9	3.91	52.36	51.28	51.15	51.60
200	24.9	4.61	4.72	4.62	43.38	42.37	43.29	43.02
200	23.1	5.55	5.58	5.67	36.04	35.84	35.27	35.72
200	21.1	6.88	6.94	7.04	29.07	28.82	28.41	28.77
200	20	7.91	7.92	7.89	25.28	25.25	25.35	25.30
200	19	9.07	9.04	8.85	22.05	22.12	22.60	22.26
200	18.2	9.92	9.75	10.04	20.16	20.51	19.92	20.20
200	16.7	12.48	12.37	12.42	16.03	16.17	16.10	16.10
200	15	16.14	16.17	16.32	12.39	12.37	12.25	12.34
200	13.4	21.28	21.29	21.34	9.40	9.39	9.37	9.39
200	11.1	33.33	33.46	33.78	6.00	5.98	5.92	5.97
200	9.4	50.67	50.95	50.58	3.95	3.93	3.95	3.94
200	7.1	95.03	93.01	95.02	2.10	2.15	2.10	2.12

โดยข้อมูลจากกราฟสามารถสร้างความสัมพันธ์สมการหาค่าอัตราการไหลได้ดังนี้

$$H=5.3033Q^{0.4112} \quad (R^2=0.9997) \quad \text{หรือ} \quad Q = 0.0173H^{2.432} \quad (\text{ก-1})$$



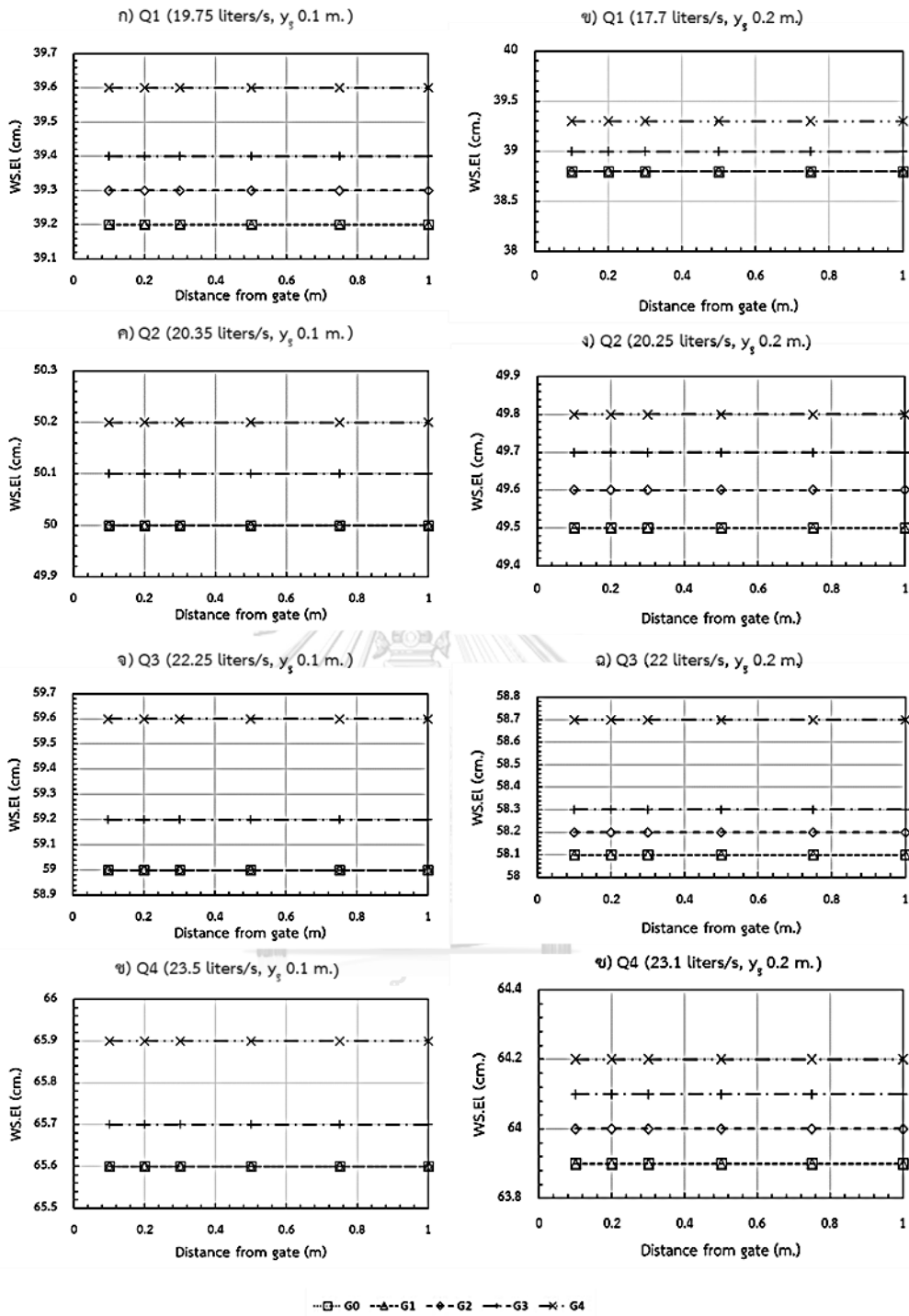
รูปที่ ก - 2 การสอบเทียบอัตราการไหลผ่านฝายสันคม





ตารางที่ ข-1 ข้อมูลการเก็บค่าระดับน้ำของการไหลแบบอิสระ 40 กรณี (ต่อ)

Case No	Discharge Q (VS)	Water depth $y_2$	water surface elevation (cm)					
			distance from sluice gate (m)					
			0.1 m	0.2 m	0.3 m	0.5 m	0.75 m	1 m
FQ4G1D1	23.5	1.5	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6
FQ4G2D1	23.5	1.5	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6
FQ4G3D1	23.5	1.5	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7
FQ4G4D1	23.5	1.5	65.9	65.9	65.9	65.9	65.9	65.9
FQ1G0D2	17.7	1.5	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8
FQ1G1D2	17.7	1.5	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8
FQ1G2D2	17.7	1.5	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8
FQ1G3D2	17.7	1.5	39	39	39	39	39	39
FQ1G4D2	17.7	1.5	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3
FQ2G0D2	20.25	1.5	49.5	49.5	49.5	49.5	49.5	49.5
FQ2G1D2	20.25	1.5	49.5	49.5	49.5	49.5	49.5	49.5
FQ2G2D2	20.25	1.5	49.6	49.6	49.6	49.6	49.6	49.6
FQ2G3D2	20.25	1.5	49.7	49.7	49.7	49.7	49.7	49.7
FQ2G4D2	20.25	1.5	49.8	49.8	49.8	49.8	49.8	49.8
FQ3G0D2	22	1.5	58.1	58.1	58.1	58.1	58.1	58.1
FQ3G1D2	22	1.5	58.1	58.1	58.1	58.1	58.1	58.1
FQ3G2D2	22	1.5	58.2	58.2	58.2	58.2	58.2	58.2
FQ3G3D2	22	1.5	58.3	58.3	58.3	58.3	58.3	58.3
FQ3G4D2	22	1.5	58.7	58.7	58.7	58.7	58.7	58.7
FQ4G0D2	23.1	1.5	63.9	63.9	63.9	63.9	63.9	63.9
FQ4G1D2	23.1	1.5	63.9	63.9	63.9	63.9	63.9	63.9
FQ4G2D2	23.1	1.5	64	64	64	64	64	64
FQ4G3D2	23.1	1.5	64.1	64.1	64.1	64.1	64.1	64.1
FQ4G4D2	23.1	1.5	64.2	64.2	64.2	64.2	64.2	64.2



รูปที่ ข - 1 ระดับน้ำหน้าบานประตูระบายน้ำการไหลแบบอิสระ ( $y_g$  10, 20 เซนติเมตร)

ตารางที่ ข-2 ข้อมูลการเก็บค่าระดับน้ำของการไหลออกท่วมจม 120 กรณี

Case No	Discharge Q (l/s)	G length, $L_g$ (m)	G depth $y_g$ (m)	Water depth $y_3$ (cm)	water surface elevation (cm)					
					distance from sluice gate (m)					
					0.1 m	0.2 m	0.3 m	0.5 m	0.75 m	1 m
DQ1G0D1Y1	12.73	0	10	20	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6
DQ2G0D1Y1	14.77	0	10	20	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7
DQ3G0D1Y1	17.73	0	10	20	50.7	50.7	50.7	50.7	50.7	50.7
DQ4G0D1Y1	18.5	0	10	20	53.5	53.5	53.5	53.5	53.5	53.5
DQ1G1D1Y1	12.73	2.25	10	20	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6
DQ2G1D1Y1	14.77	2.25	10	20	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7
DQ3G1D1Y1	17.73	2.25	10	20	50.7	50.7	50.7	50.7	50.7	50.7
DQ4G1D1Y1	18.5	2.25	10	20	53.5	53.5	53.5	53.5	53.5	53.5
DQ1G2D1Y1	12.73	4.5	10	20	35.7	35.7	35.7	35.7	35.7	35.7
DQ2G2D1Y1	14.77	4.5	10	20	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8
DQ3G2D1Y1	17.73	4.5	10	20	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8	50.8
DQ4G2D1Y1	18.5	4.5	10	20	53.6	53.6	53.6	53.6	53.6	53.6
DQ1G3D1Y1	12.73	6.75	10	20	35.8	35.8	35.8	35.8	35.8	35.8
DQ2G3D1Y1	14.77	6.75	10	20	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8	40.8
DQ3G3D1Y1	17.73	6.75	10	20	50.9	50.9	50.9	50.9	50.9	50.9
DQ4G3D1Y1	18.5	6.75	10	20	53.7	53.7	53.7	53.7	53.7	53.7
DQ1G4D1Y1	12.73	9	10	20	35.9	35.9	35.9	35.9	35.9	35.9
DQ2G4D1Y1	14.77	9	10	20	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1	41.1
DQ3G4D1Y1	17.73	9	10	20	51.2	51.2	51.2	51.2	51.2	51.2
DQ4G4D1Y1	18.5	9	10	20	54	54	54	54	54	54
DQ1G0D1Y2	12.63	0	10	22	37.7	37.7	37.7	37.7	37.7	37.7
DQ2G0D1Y2	14.75	0	10	22	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4
DQ3G0D1Y2	17.36	0	10	22	52	52	52	52	52	52
DQ4G0D1Y2	18.62	0	10	22	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5
DQ1G1D1Y2	12.63	2.25	10	22	37.7	37.7	37.7	37.7	37.7	37.7
DQ2G1D1Y2	14.75	2.25	10	22	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4
DQ3G1D1Y2	17.36	2.25	10	22	52	52	52	52	52	52
DQ4G1D1Y2	18.62	2.25	10	22	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5
DQ1G2D1Y2	12.63	4.5	10	22	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8
DQ2G2D1Y2	14.75	4.5	10	22	43.5	43.5	43.5	43.5	43.5	43.5
DQ3G2D1Y2	17.36	4.5	10	22	52.1	52.1	52.1	52.1	52.1	52.1
DQ4G2D1Y2	18.62	4.5	10	22	56.6	56.6	56.6	56.6	56.6	56.6
DQ1G3D1Y2	12.63	6.75	10	22	38	38	38	38	38	38
DQ2G3D1Y2	14.75	6.75	10	22	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6
DQ3G3D1Y2	17.36	6.75	10	22	52.2	52.2	52.2	52.2	52.2	52.2
DQ4G3D1Y2	18.62	6.75	10	22	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7

ตารางที่ ข-2 ข้อมูลการเก็บค่าระดับน้ำของการไหลออกท่วมจมน้ำ 120 กรณี (ต่อ)

Case No	Discharge Q (l/s)	G length, $L_g$ (m)	G depth $y_g$	Water depth $y_3$ (cm)	water surface elevation (cm)					
					distance from sluice gate (m)					
					0.1 m	0.2 m	0.3 m	0.5 m	0.75 m	1 m
DQ1G4D1Y2	12.63	9	10	22	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2
DQ2G4D1Y2	14.75	9	10	22	43.8	43.8	43.8	43.8	43.8	43.8
DQ3G4D1Y2	17.36	9	10	22	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5
DQ4G4D1Y2	18.62	9	10	22	57	57	57	57	57	57
DQ1G0D1Y3	12.33	0	10	24	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9
DQ2G0D1Y3	14.44	0	10	24	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3
DQ3G0D1Y3	17.35	0	10	24	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6
DQ4G0D1Y3	18.48	0	10	24	58.4	58.4	58.4	58.4	58.4	58.4
DQ1G1D1Y3	12.33	2.25	10	24	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9	39.9
DQ2G1D1Y3	14.44	2.25	10	24	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3	45.3
DQ3G1D1Y3	17.35	2.25	10	24	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6
DQ4G1D1Y3	18.48	2.25	10	24	58.4	58.4	58.4	58.4	58.4	58.4
DQ1G2D1Y3	12.33	4.5	10	24	40	40	40	40	40	40
DQ2G2D1Y3	14.44	4.5	10	24	45.4	45.4	45.4	45.4	45.4	45.4
DQ3G2D1Y3	17.35	4.5	10	24	54.7	54.7	54.7	54.7	54.7	54.7
DQ4G2D1Y3	18.48	4.5	10	24	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5
DQ1G3D1Y3	12.33	6.75	10	24	40	40	40	40	40	40
DQ2G3D1Y3	14.44	6.75	10	24	45.4	45.4	45.4	45.4	45.4	45.4
DQ3G3D1Y3	17.35	6.75	10	24	54.7	54.7	54.7	54.7	54.7	54.7
DQ4G3D1Y3	18.48	6.75	10	24	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5
DQ1G4D1Y3	12.33	9	10	24	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3
DQ2G4D1Y3	14.44	9	10	24	45.7	45.7	45.7	45.7	45.7	45.7
DQ3G4D1Y3	17.35	9	10	24	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1	55.1
DQ4G4D1Y3	18.48	9	10	24	58.9	58.9	58.9	58.9	58.9	58.9
DQ1G0D2Y1	12.53	0	20	20	35	35	35	35	35	35
DQ2G0D2Y1	14.5	0	20	20	40	40	40	40	40	40
DQ3G0D2Y1	16.75	0	20	20	47.2	47.2	47.2	47.2	47.2	47.2
DQ4G0D2Y1	17.28	0	20	20	48.9	48.9	48.9	48.9	48.9	48.9
DQ1G1D2Y1	12.53	2.25	20	20	35	35	35	35	35	35
DQ2G1D2Y1	14.5	2.25	20	20	40	40	40	40	40	40
DQ3G1D2Y1	16.75	2.25	20	20	47.2	47.2	47.2	47.2	47.2	47.2
DQ4G1D2Y1	17.28	2.25	20	20	48.9	48.9	48.9	48.9	48.9	48.9
DQ1G2D2Y1	12.53	4.5	20	20	35.1	35.1	35.1	35.1	35.1	35.1
DQ2G2D2Y1	14.5	4.5	20	20	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2
DQ3G2D2Y1	16.75	4.5	20	20	47.4	47.4	47.4	47.4	47.4	47.4
DQ4G2D2Y1	17.28	4.5	20	20	49	49	49	49	49	49

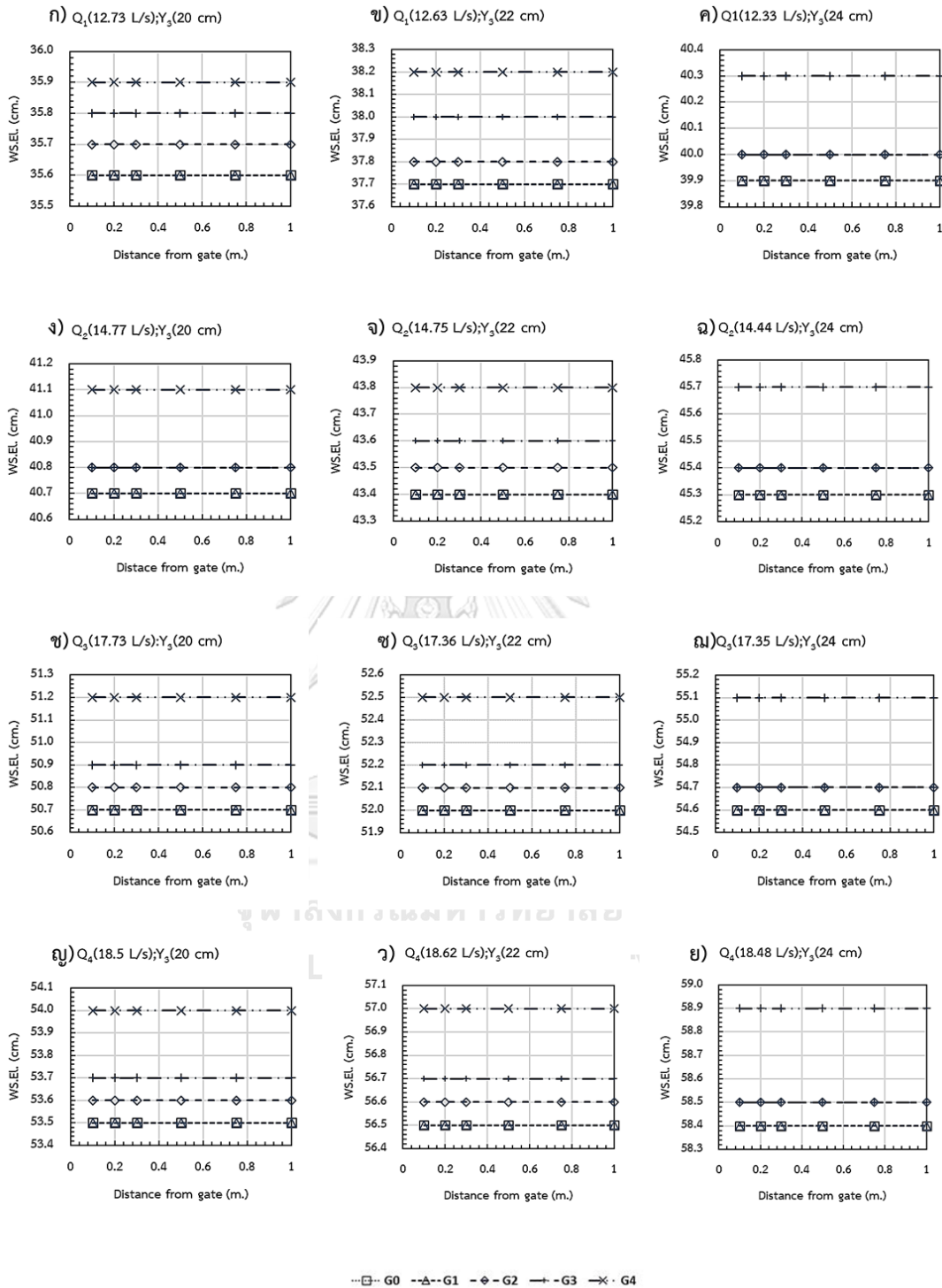
ตารางที่ ข-2 ข้อมูลการเก็บค่าระดับน้ำของการไหลออกท่วมจม 120 กรณี (ต่อ)

Case No	Discharge Q (l/s)	G length, $L_g$ (m)	G depth $y_g$	Water depth $y_3$ (cm)	water surface elevation (cm)					
					distance from sluice gate (m)					
					0.1 m	0.2 m	0.3 m	0.5 m	0.75 m	1 m
DQ1G3D2Y1	12.53	6.75	20	20	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2
DQ2G3D2Y1	14.5	6.75	20	20	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2
DQ3G3D2Y1	16.75	6.75	20	20	47.4	47.4	47.4	47.4	47.4	47.4
DQ4G3D2Y1	17.28	6.75	20	20	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1	49.1
DQ1G4D2Y1	12.53	9	20	20	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2
DQ2G4D2Y1	14.5	9	20	20	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7	40.7
DQ3G4D2Y1	16.75	9	20	20	47.4	47.4	47.4	47.4	47.4	47.4
DQ4G4D2Y1	17.28	9	20	20	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3
DQ1G0D2Y2	12.57	0	20	22	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2
DQ2G0D2Y2	14.65	0	20	22	43.1	43.1	43.1	43.1	43.1	43.1
DQ3G0D2Y2	17.28	0	20	22	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9
DQ4G0D2Y2	18.54	0	20	22	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7
DQ1G1D2Y2	12.57	2.25	20	22	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3
DQ2G1D2Y2	14.65	2.25	20	22	43.2	43.2	43.2	43.2	43.2	43.2
DQ3G1D2Y2	17.28	2.25	20	22	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9
DQ4G1D2Y2	18.54	2.25	20	22	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7
DQ1G2D2Y2	12.57	4.5	20	22	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3
DQ2G2D2Y2	14.65	4.5	20	22	43.3	43.3	43.3	43.3	43.3	43.3
DQ3G2D2Y2	17.28	4.5	20	22	52.2	52.2	52.2	52.2	52.2	52.2
DQ4G2D2Y2	18.54	4.5	20	22	56.8	56.8	56.8	56.8	56.8	56.8
DQ1G3D2Y2	12.57	6.75	20	22	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5
DQ2G3D2Y2	14.65	6.75	20	22	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4	43.4
DQ3G3D2Y2	17.28	6.75	20	22	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3	52.3
DQ4G3D2Y2	18.54	6.75	20	22	56.9	56.9	56.9	56.9	56.9	56.9
DQ1G4D2Y2	12.57	9	20	22	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6
DQ2G4D2Y2	14.65	9	20	22	43.7	43.7	43.7	43.7	43.7	43.7
DQ3G4D2Y2	17.28	9	20	22	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5
DQ4G4D2Y2	18.54	9	20	22	57.1	57.1	57.1	57.1	57.1	57.1
DQ1G0D2Y3	12.49	0	20	24	39.1	39.1	39.1	39.1	39.1	39.1
DQ2G0D2Y3	14.55	0	20	24	44.9	44.9	44.9	44.9	44.9	44.9
DQ3G0D2Y3	17.24	0	20	24	53.9	53.9	53.9	53.9	53.9	53.9
DQ4G0D2Y3	18.49	0	20	24	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5
DQ1G1D2Y3	12.49	2.25	20	24	39.1	39.1	39.1	39.1	39.1	39.1
DQ2G1D2Y3	14.55	2.25	20	24	44.9	44.9	44.9	44.9	44.9	44.9
DQ3G1D2Y3	17.24	2.25	20	24	53.9	53.9	53.9	53.9	53.9	53.9
DQ4G1D2Y3	18.49	2.25	20	24	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5

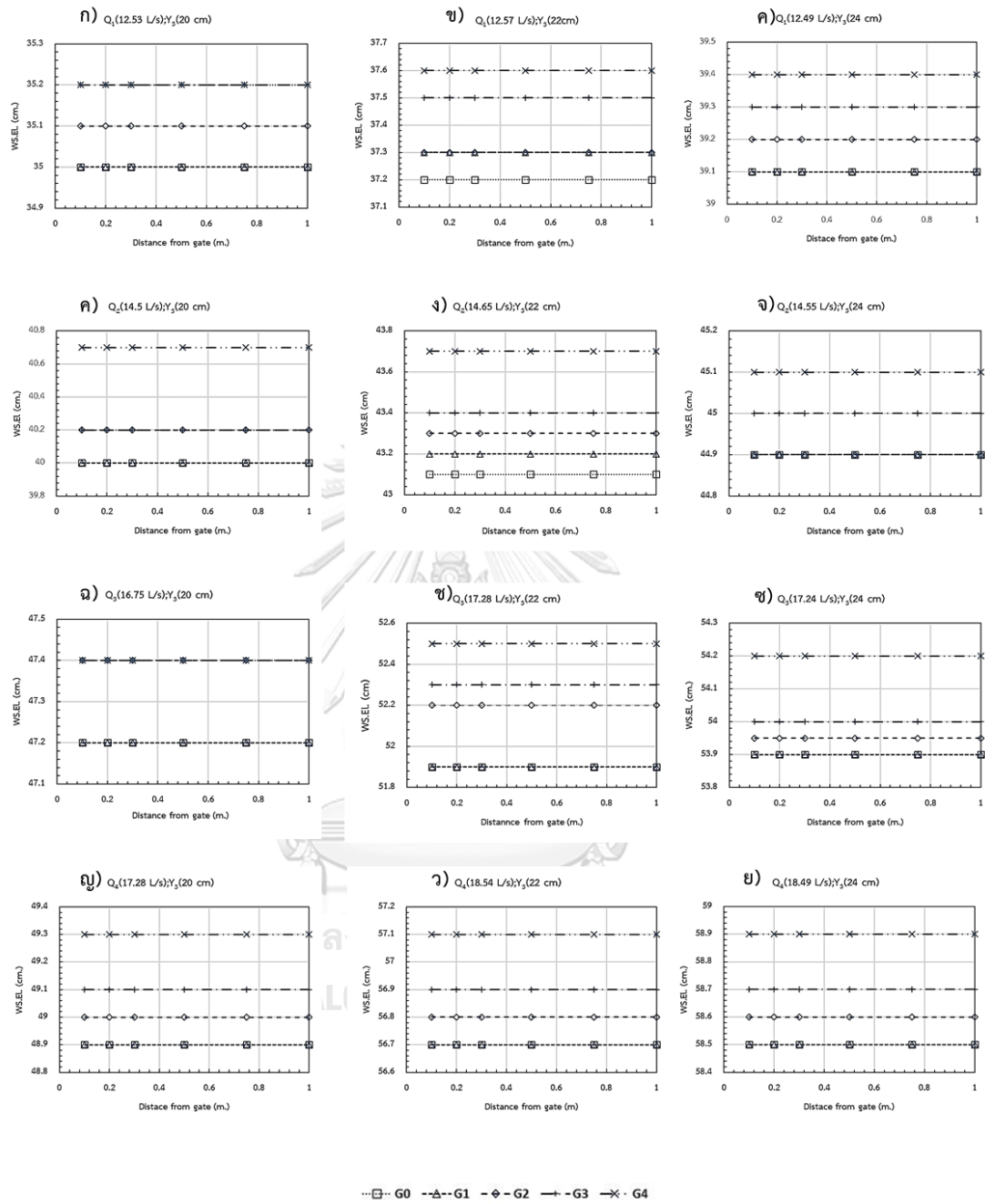


ตารางที่ ข-2 ข้อมูลการเก็บค่าระดับน้ำของการไหลออกท่วมจม 120 กรณี (ต่อ)

Case No	Discharge Q (l/s)	G length, $L_g$ (m)	G depth $y_g$	Water depth $y_3$ (cm)	water surface elevation (cm)					
					distance from sluice gate (m)					
					0.1 m	0.2 m	0.3 m	0.5 m	0.75 m	1 m
DQ1G2D2Y3	12.49	4.5	20	24	39.2	39.2	39.2	39.2	39.2	39.2
DQ2G2D2Y3	14.55	4.5	20	24	44.9	44.9	44.9	44.9	44.9	44.9
DQ3G2D2Y3	17.24	4.5	20	24	53.95	53.95	53.95	53.95	53.95	53.95
DQ4G2D2Y3	18.49	4.5	20	24	58.6	58.6	58.6	58.6	58.6	58.6
DQ1G3D2Y3	12.49	6.75	20	24	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3
DQ2G3D2Y3	14.55	6.75	20	24	45	45	45	45	45	45
DQ3G3D2Y3	17.24	6.75	20	24	54	54	54	54	54	54
DQ4G3D2Y3	18.49	6.75	20	24	58.7	58.7	58.7	58.7	58.7	58.7
DQ1G4D2Y3	12.49	9	20	24	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4
DQ2G4D2Y3	14.55	9	20	24	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1	45.1
DQ3G4D2Y3	17.24	9	20	24	54.2	54.2	54.2	54.2	54.2	54.2
DQ4G4D2Y3	18.49	9	20	24	58.9	58.9	58.9	58.9	58.9	58.9



รูปที่ ข - 2 ระดับน้ำหน้าบานประตูระบายน้ำการไหลแบบท่วมจม  
 ( $y_g$  10 เซนติเมตร,  $y_3$  20, 22, 24 เซนติเมตร)



รูปที่ ข - 3 ระดับน้ำหน้าบานประตูระบายน้ำการไหลแบบท่วมจม  
 ( $y_g$  20 เซนติเมตร,  $y_3$  20, 22, 24 เซนติเมตร)

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการวัดความเร็วกระแสน้ำ

การเก็บข้อมูลของความเร็วในการไหลของน้ำ (V) จะทำการเก็บข้อมูล 2 วิธีคือ วิธีแรกการหาความเร็วเฉลี่ยจากการคำนวณจากสมการที่ 2-1 และจากวิธีการวัดโดยใช้อุปกรณ์ Current Meter โดยจะใช้อุปกรณ์วัดความเร็วของการไหลวัดที่ระยะ 0.2 และ 0.8 ของความลึกแต่ละกรณีทดลอง จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ค่าความเร็วของการไหล โดยมีข้อมูลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ค-1 การวัดเก็บข้อมูลการไหลด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วการไหล (current meter)

Case No	discharge Q (l/s)	Channel Width m	gate opening w(cm)	G length, $L_g$ (m)	G depth $Y_g$ (cm)	water depth $Y_1$ (cm)	Velocity $v_1$ (m/s)	Vcur. $V_{0.2D}$ (m/s)	Vcur. $V_{0.8D}$ (m/s)	Vav cur.m. (m/s)
FQ1G0D1	17.95	0.6	2	0	10	39.2	0.076	0.078	0.09	0.084
FQ2G0D1	20.35	0.6	2	0	10	50	0.068	0.062	0.083	0.072
FQ3G0D1	22.25	0.6	2	0	10	59	0.063	0.057	0.078	0.067
FQ4G0D1	23.5	0.6	2	0	10	65.6	0.06	0.043	0.08	0.062
FQ1G1D1	17.95	0.6	2	2.25	10	39.2	0.076	0.043	0.08	0.062
FQ2G1D1	20.35	0.6	2	2.25	10	50	0.068	0.021	0.11	0.066
FQ3G1D1	22.25	0.6	2	2.25	10	59	0.063	0.056	0.094	0.075
FQ4G1D1	23.5	0.6	2	2.25	10	65.6	0.06	0.003	0.09	0.046
FQ1G2D1	17.95	0.6	2	4.5	10	39.3	0.076	0.006	0.133	0.07
FQ2G2D1	20.35	0.6	2	4.5	10	50	0.068	0.014	0.108	0.061
FQ3G2D1	22.25	0.6	2	4.5	10	59	0.063	0.036	0.106	0.071
FQ4G2D1	23.5	0.6	2	4.5	10	65.6	0.06	0.001	0.095	0.048
FQ1G3D1	17.95	0.6	2	6.75	10	39.4	0.076	0.012	0.138	0.075
FQ2G3D1	20.35	0.6	2	6.75	10	50.1	0.068	0.011	0.112	0.061
FQ3G3D1	22.25	0.6	2	6.75	10	59.2	0.063	0.009	0.109	0.059
FQ4G3D1	23.5	0.6	2	6.75	10	65.7	0.06	0.081	0.104	0.093
FQ1G4D1	17.95	0.6	2	9	10	39.6	0.076	0.015	0.139	0.077
FQ2G4D1	20.35	0.6	2	9	10	50.2	0.068	0.032	0.106	0.069
FQ3G4D1	22.25	0.6	2	9	10	59.6	0.062	0.01	0.109	0.06

ตารางที่ ค-1 การวัดเก็บข้อมูลการไหลด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วการไหล  
(current meter) (ต่อ)

Case No	discharge Q (l/s)	Channel Width m	gate opening w(cm)	G length, $L_g$ (m)	G depth $Y_g$ (cm)	water depth $Y_1$ (cm)	Velocity $v_1$ (m/s)	Vcur. $V_{0.2D}$ (m/s)	Vcur. $V_{0.8D}$ (m/s)	Vav cur.m. (m/s)
FQ4G4D1	23.5	0.6	2	9	10	65.9	0.059	0.031	0.1	0.066
FQ1G0D2	17.7	0.6	2	0	20	38.8	0.076	0.077	0.079	0.078
FQ2G0D2	20.25	0.6	2	2.25	20	49.5	0.068	0.064	0.082	0.073
FQ3G0D2	22	0.6	2	4.5	20	58.1	0.063	0.06	0.081	0.071
FQ4G0D2	23.1	0.6	2	6.75	20	63.9	0.06	0.052	0.072	0.062
FQ1G1D2	17.7	0.6	2	9	20	38.8	0.076	0.001	0.172	0.087
FQ2G1D2	20.25	0.6	2	0	20	49.5	0.068	0.001	0.134	0.068
FQ3G1D2	22	0.6	2	2.25	20	58.1	0.063	0.008	0.115	0.062
FQ4G1D2	23.1	0.6	2	4.5	20	63.9	0.06	0.001	0.104	0.053
FQ1G2D2	17.7	0.6	2	6.75	20	38.8	0.076	0.006	0.164	0.085
FQ2G2D2	20.25	0.6	2	9	20	49.6	0.068	0.001	0.139	0.07
FQ3G2D2	22	0.6	2	0	20	58.2	0.063	0.004	0.117	0.061
FQ4G2D2	23.1	0.6	2	2.25	20	64	0.06	0.001	0.109	0.055
FQ1G3D2	17.7	0.6	2	4.5	20	39	0.076	0.001	0.162	0.081
FQ2G3D2	20.25	0.6	2	6.75	20	49.7	0.068	0.014	0.138	0.076
FQ3G3D2	22	0.6	2	9	20	58.3	0.063	0.034	0.118	0.076
FQ4G3D2	23.1	0.6	2	0	20	64.1	0.06	0.001	0.111	0.056
FQ1G4D2	17.7	0.6	2	2.25	20	39.3	0.075	0	0.162	0.081
FQ2G4D2	20.25	0.6	2	4.5	20	49.8	0.068	0.012	0.138	0.075
FQ3G4D2	22	0.6	2	6.75	20	58.7	0.062	0.01	0.117	0.064
FQ4G4D2	23.1	0.6	2	9	20	64.2	0.06	0	0.112	0.056

ตารางที่ ค-2 การวัดเก็บข้อมูลการไหลด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วการไหล (current meter)

Case No	discharge Q (l/s)	Channel Width m	gate opening w(cm)	G length $L_g$ (m)	G depth $Y_g$ (cm)	water depth $Y_1$ (cm)	Velocity $v_1$ (m/s)	Vcur. $v_{0.2D}$ (m/s)	Vcur. $v_{0.8D}$ (m/s)	Vav cur.m. (m/s)	$y_3$ (cm)
DQ1G0D1Y1	12.73	0.6	2	0	10	35.6	0.06	0.058	0.07	0.064	20
DQ2G0D1Y1	14.77	0.6	2	0	10	40.7	0.06	0.059	0.055	0.057	20
DQ3G0D1Y1	17.73	0.6	2	0	10	50.7	0.058	0.053	0.067	0.06	20
DQ4G0D1Y1	18.5	0.6	2	0	10	53.5	0.058	0.049	0.057	0.053	20
DQ1G1D1Y1	12.73	0.6	2	2.25	10	35.6	0.06	0.009	0.112	0.06	20
DQ2G1D1Y1	14.77	0.6	2	2.25	10	40.7	0.06	0.02	0.081	0.05	20
DQ3G1D1Y1	17.73	0.6	2	2.25	10	50.7	0.058	0.02	0.096	0.058	20
DQ4G1D1Y1	18.5	0.6	2	2.25	10	53.5	0.058	0.012	0.091	0.051	20
DQ1G2D1Y1	12.73	0.6	2	4.5	10	35.7	0.059	0.003	0.11	0.056	20
DQ2G2D1Y1	14.77	0.6	2	4.5	10	40.8	0.06	0.032	0.09	0.061	20
DQ3G2D1Y1	17.73	0.6	2	4.5	10	50.8	0.058	0.005	0.089	0.047	20
DQ4G2D1Y1	18.5	0.6	2	4.5	10	53.6	0.058	0	0.1	0.05	20
DQ1G3D1Y1	12.73	0.6	2	6.75	10	35.8	0.059	0.003	0.105	0.054	20
DQ2G3D1Y1	14.77	0.6	2	6.75	10	40.8	0.06	0.009	0.091	0.05	20
DQ3G3D1Y1	17.73	0.6	2	6.75	10	50.9	0.058	0.007	0.089	0.048	20
DQ4G3D1Y1	18.5	0.6	2	6.75	10	53.7	0.057	0.01	0.097	0.054	20
DQ1G4D1Y1	12.73	0.6	2	9	10	35.9	0.059	0.003	0.11	0.057	20
DQ2G4D1Y1	14.77	0.6	2	9	10	41.1	0.06	0.01	0.079	0.045	20
DQ3G4D1Y1	17.73	0.6	2	9	10	51.2	0.058	0.007	0.093	0.05	20
DQ4G4D1Y1	18.5	0.6	2	9	10	54	0.057	0.034	0.104	0.069	20
DQ1G0D1Y2	12.63	0.6	2	0	10	37.7	0.056	0.087	0.039	0.063	22
DQ2G0D1Y2	14.75	0.6	2	0	10	43.4	0.057	0.042	0.038	0.04	22
DQ3G0D1Y2	17.36	0.6	2	0	10	52	0.056	0.051	0.063	0.057	22
DQ4G0D1Y2	18.62	0.6	2	0	10	56.5	0.055	0.06	0.074	0.067	22
DQ1G1D1Y2	12.63	0.6	2	2.25	10	37.7	0.056	0.013	0.062	0.038	22
DQ2G1D1Y2	14.75	0.6	2	2.25	10	43.4	0.057	0	0.107	0.054	22

ตารางภาคที่ ค-2 การวัดเก็บข้อมูลการไหลด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วการไหล  
(current meter) (ต่อ)

Case No	discharge Q (l/s)	Channel Width m	gate opening w(cm)	G length $L_g$ (m)	G depth $Y_g$ (cm)	water depth $Y_1$ (cm)	Velocity $v_1$ (m/s)	Vcur. $v_{0.2D}$ (m/s)	Vcur. $v_{0.8D}$ (m/s)	Vav cur.m. (m/s)	$Y_3$ (cm)
DQ3G1D1Y2	17.36	0.6	2	2.25	10	52	0.056	0.002	0.083	0.042	22
DQ4G1D1Y2	18.62	0.6	2	2.25	10	56.5	0.055	0.024	0.069	0.046	22
DQ1G2D1Y2	12.63	0.6	2	4.5	10	37.8	0.056	0.01	0.087	0.048	22
DQ2G2D1Y2	14.75	0.6	2	4.5	10	43.5	0.057	0	0.092	0.046	22
DQ3G2D1Y2	17.36	0.6	2	4.5	10	52.1	0.056	0.002	0.094	0.048	22
DQ4G2D1Y2	18.62	0.6	2	4.5	10	56.6	0.055	0.01	0.077	0.044	22
DQ1G3D1Y2	12.63	0.6	2	6.75	10	38	0.055	0.006	0.1	0.053	22
DQ2G3D1Y2	14.75	0.6	2	6.75	10	43.6	0.056	0.007	0.085	0.046	22
DQ3G3D1Y2	17.36	0.6	2	6.75	10	52.2	0.055	0.009	0.074	0.041	22
DQ4G3D1Y2	18.62	0.6	2	6.75	10	56.7	0.055	0.029	0.098	0.064	22
DQ1G4D1Y2	12.63	0.6	2	9	10	38.2	0.055	0	0.102	0.051	22
DQ2G4D1Y2	14.75	0.6	2	9	10	43.8	0.056	0.001	0.066	0.034	22
DQ3G4D1Y2	17.36	0.6	2	9	10	52.5	0.055	0.02	0.089	0.055	22
DQ4G4D1Y2	18.62	0.6	2	9	10	57	0.054	0.034	0.096	0.065	22
DQ1G0D1Y3	12.33	0.6	2	0	10	39.9	0.052	0.077	0.072	0.074	24
DQ2G0D1Y3	14.44	0.6	2	0	10	45.3	0.053	0.055	0.062	0.058	24
DQ3G0D1Y3	17.35	0.6	2	0	10	54.6	0.053	0.053	0.069	0.061	24
DQ4G0D1Y3	18.48	0.6	2	0	10	58.4	0.053	0.046	0.055	0.05	24
DQ1G1D1Y3	12.33	0.6	2	2.25	10	39.9	0.052	0.001	0.089	0.045	24
DQ2G1D1Y3	14.44	0.6	2	2.25	10	45.3	0.053	0.006	0.093	0.049	24
DQ3G1D1Y3	17.35	0.6	2	2.25	10	54.6	0.053	0.003	0.09	0.047	24
DQ4G1D1Y3	18.48	0.6	2	2.25	10	58.4	0.053	0.001	0.071	0.036	24
DQ1G2D1Y3	12.33	0.6	2	4.5	10	40	0.051	0.001	0.086	0.043	24
DQ2G2D1Y3	14.44	0.6	2	4.5	10	45.4	0.053	0.004	0.091	0.047	24
DQ3G2D1Y3	17.35	0.6	2	4.5	10	54.7	0.053	0.01	0.088	0.049	24

ตารางที่ ค-2 การวัดเก็บข้อมูลการไหลด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วการไหล  
(current meter) (ต่อ)

Case No	discharge Q (L/S)	Channel Width m	gate opening w(cm)	G length $L_g$ (m)	G depth $Y_g$ (cm)	water depth $Y_1$ (cm)	Velocity $v_1$ (m/s)	Vcur. $v_{0.2D}$ (m/s)	Vcur. $v_{0.8D}$ (m/s)	Vav cur.m. (m/s)	$Y_3$ (cm)
DQ4G2D1Y3	18.48	0.6	2	4.5	10	58.5	0.053	0.005	0.087	0.046	24
DQ1G3D1Y3	12.33	0.6	2	6.75	10	40	0.051	0.006	0.084	0.045	24
DQ2G3D1Y3	14.44	0.6	2	6.75	10	45.4	0.053	0.003	0.1	0.051	24
DQ3G3D1Y3	17.35	0.6	2	6.75	10	54.7	0.053	0.02	0.082	0.051	24
DQ4G3D1Y3	18.48	0.6	2	6.75	10	58.5	0.053	0.003	0.087	0.045	24
DQ1G4D1Y3	12.33	0.6	2	9	10	40.3	0.051	0.002	0.089	0.045	24
DQ2G4D1Y3	14.44	0.6	2	9	10	45.7	0.053	0.003	0.091	0.047	24
DQ3G4D1Y3	17.35	0.6	2	9	10	55.1	0.052	0.005	0.094	0.049	24
DQ4G4D1Y3	18.48	0.6	2	9	10	58.9	0.052	0.01	0.092	0.051	24
DQ1G0D2Y1	12.53	0.6	2	0	20	35	0.06	0.037	0.057	0.047	20
DQ2G0D2Y1	14.5	0.6	2	0	20	40	0.06	0.057	0.085	0.071	20
DQ3G0D2Y1	16.75	0.6	2	0	20	47.2	0.059	0.058	0.045	0.051	20
DQ4G0D2Y1	17.28	0.6	2	0	20	48.9	0.059	0.052	0.05	0.051	20
DQ1G1D2Y1	12.53	0.6	2	2.25	20	35	0.06	0.019	0.128	0.073	20
DQ2G1D2Y1	14.5	0.6	2	2.25	20	40	0.06	0.007	0.129	0.068	20
DQ3G1D2Y1	16.75	0.6	2	2.25	20	47.2	0.059	0.01	0.112	0.061	20
DQ4G1D2Y1	17.28	0.6	2	2.25	20	48.9	0.059	0	0.115	0.057	20
DQ1G2D2Y1	12.53	0.6	2	4.5	20	35.1	0.059	0	0.137	0.069	20
DQ2G2D2Y1	14.5	0.6	2	4.5	20	40.2	0.06	0.001	0.117	0.059	20
DQ3G2D2Y1	16.75	0.6	2	4.5	20	47.4	0.059	0.01	0.123	0.067	20
DQ4G2D2Y1	17.28	0.6	2	4.5	20	49	0.059	0.005	0.115	0.06	20
DQ1G3D2Y1	12.53	0.6	2	6.75	20	35.2	0.059	0.004	0.143	0.074	20
DQ2G3D2Y1	14.5	0.6	2	6.75	20	40.2	0.06	0.003	0.126	0.065	20
DQ3G3D2Y1	16.75	0.6	2	6.75	20	47.4	0.059	0.002	0.119	0.06	20
DQ4G3D2Y1	17.28	0.6	2	6.75	20	49.1	0.059	0	0.121	0.061	20



ตารางที่ ค-2 การวัดเก็บข้อมูลการไหลด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วการไหล  
(current meter) (ต่อ)

Case No	discharge Q (l/s)	Channel Width m	gate opening w(cm)	G length $L_g$ (m)	G depth $Y_g$ (cm)	water depth $Y_1$ (cm)	Velocity $v_1$ (m/s)	Vcur. $v_{0.2D}$ (m/s)	Vcur. $v_{0.8D}$ (m/s)	Vav cur.m. (m/s)	$Y_3$ (cm)
DQ1G4D2Y1	12.53	0.6	2	9	20	35.2	0.059	0	0.147	0.074	20
DQ2G4D2Y1	14.5	0.6	2	9	20	40.7	0.059	0	0.121	0.061	20
DQ3G4D2Y1	16.75	0.6	2	9	20	47.4	0.059	0	0.12	0.06	20
DQ4G4D2Y1	17.28	0.6	2	9	20	49.3	0.058	0	0.121	0.061	20
DQ1G0D2Y2	12.57	0.6	2	0	20	37.2	0.056	0.001	0.12	0.061	22
DQ2G0D2Y2	14.65	0.6	2	0	20	43.1	0.057	0.054	0.074	0.064	22
DQ3G0D2Y2	17.28	0.6	2	0	20	51.9	0.055	0.048	0.07	0.059	22
DQ4G0D2Y2	18.54	0.6	2	0	20	56.7	0.054	0.051	0.071	0.061	22
DQ1G1D2Y2	12.57	0.6	2	2.25	20	37.3	0.056	0.01	0.122	0.066	22
DQ2G1D2Y2	14.65	0.6	2	2.25	20	43.2	0.057	0.005	0.125	0.065	22
DQ3G1D2Y2	17.28	0.6	2	2.25	20	51.9	0.055	0.005	0.105	0.055	22
DQ4G1D2Y2	18.54	0.6	2	2.25	20	56.7	0.054	0.005	0.09	0.048	22
DQ1G2D2Y2	12.57	0.6	2	4.5	20	37.3	0.056	0.013	0.132	0.072	22
DQ2G2D2Y2	14.65	0.6	2	4.5	20	43.3	0.056	0.003	0.106	0.055	22
DQ3G2D2Y2	17.28	0.6	2	4.5	20	52.2	0.055	0.003	0.105	0.054	22
DQ4G2D2Y2	18.54	0.6	2	4.5	20	56.8	0.054	0.01	0.104	0.057	22
DQ1G3D2Y2	12.57	0.6	2	6.75	20	37.5	0.056	0.003	0.13	0.067	22
DQ2G3D2Y2	14.65	0.6	2	6.75	20	43.4	0.056	0.004	0.105	0.054	22
DQ3G3D2Y2	17.28	0.6	2	6.75	20	52.3	0.055	0.003	0.111	0.057	22
DQ4G3D2Y2	18.54	0.6	2	6.75	20	56.9	0.054	0.005	0.104	0.054	22
DQ1G4D2Y2	12.57	0.6	2	9	20	37.6	0.056	0.003	0.13	0.067	22
DQ2G4D2Y2	14.65	0.6	2	9	20	43.7	0.056	0.002	0.123	0.063	22
DQ3G4D2Y2	17.28	0.6	2	9	20	52.5	0.055	0.006	0.111	0.058	22
DQ4G4D2Y2	18.54	0.6	2	9	20	57.1	0.054	0.01	0.104	0.057	22
DQ1G0D2Y3	12.49	0.6	2	0	20	39.1	0.053	0.076	0.03	0.053	24

ตารางที่ ค-2 การวัดเก็บข้อมูลการไหลด้วยอุปกรณ์วัดความเร็วการไหล  
(current meter) (ต่อ)

Case No	discharge Q (L/S)	Channel Width m	gate opening w(cm)	G length $L_g$ (m)	G depth $Y_g$ (cm)	water depth $Y_1$ (cm)	Velocity $v_1$ (m/s)	Vcur. $v_{0.2D}$ (m/s)	Vcur. $v_{0.8D}$ (m/s)	Vav cur.m. (m/s)	$Y_3$ (cm)
DQ2G0D2Y3	14.55	0.6	2	0	20	44.9	0.054	0.046	0.063	0.054	24
DQ3G0D2Y3	17.24	0.6	2	0	20	53.9	0.053	0.05	0.048	0.049	24
DQ4G0D2Y3	18.49	0.6	2	0	20	58.5	0.053	0.053	0.055	0.054	24
DQ1G1D2Y3	12.49	0.6	2	2.25	20	39.1	0.053	0.007	0.105	0.056	24
DQ2G1D2Y3	14.55	0.6	2	2.25	20	44.9	0.054	0.024	0.089	0.056	24
DQ3G1D2Y3	17.24	0.6	2	2.25	20	53.9	0.053	0.012	0.105	0.058	24
DQ4G1D2Y3	18.49	0.6	2	2.25	20	58.5	0.053	0.01	0.077	0.043	24
DQ1G2D2Y3	12.49	0.6	2	4.5	20	39.2	0.053	0.003	0.102	0.053	24
DQ2G2D2Y3	14.55	0.6	2	4.5	20	44.9	0.054	0.026	0.107	0.067	24
DQ3G2D2Y3	17.24	0.6	2	4.5	20	53.95	0.053	0.011	0.09	0.051	24
DQ4G2D2Y3	18.49	0.6	2	4.5	20	58.6	0.053	0.004	0.099	0.052	24
DQ1G3D2Y3	12.49	0.6	2	6.75	20	39.3	0.053	0.013	0.121	0.067	24
DQ2G3D2Y3	14.55	0.6	2	6.75	20	45	0.054	0.01	0.119	0.064	24
DQ3G3D2Y3	17.24	0.6	2	6.75	20	54	0.053	0.002	0.101	0.052	24
DQ4G3D2Y3	18.49	0.6	2	6.75	20	58.7	0.052	0.01	0.095	0.053	24
DQ1G4D2Y3	12.49	0.6	2	9	20	39.4	0.053	0.016	0.129	0.072	24
DQ2G4D2Y3	14.55	0.6	2	9	20	45.1	0.054	0.01	0.106	0.058	24
DQ3G4D2Y3	17.24	0.6	2	9	20	54.2	0.053	0	0.11	0.055	24
DQ4G4D2Y3	18.49	0.6	2	9	20	58.9	0.052	0.018	0.099	0.058	24

## บรรณานุกรม

ภาษาอังกฤษ

- Abdelhaleem, F. S. F. (2016). Discharge estimation for submerged parallel radial gates. *Flow Measurement and Instrumentation*, 52, 240-245.
- Bijankhan, M., Ferro, V., and Kouchakzadeh, S. (2012). New stage–discharge relationships for free and submerged sluice gates. *Flow Measurement and Instrumentation*, 28, 50-56. doi:10.1016/j.flowmeasinst.2012.07.004
- Bijankhan, M., Kouchakzadeh, S., and Belaud, G. (2017). Application of the submerged experimental velocity profiles for the sluice gate's stage-discharge relationship. *Flow Measurement and Instrumentation*, 54, 97-108.
- Chow, V. T. (1959). *OPEN CHANNEL HYDRAULICS*.
- Henderson, F. M. (1966). *OPEN CHANNEL FLOW*: MACMILLAN COMPANY,.
- Li, Y., Wang, Y., Anim, D. O., Tang, C., Du, W., Ni, L., Yu, Z., and Acharya, K. (2014). Flow characteristics in different densities of submerged flexible vegetation from an open-channel flume study of artificial plants. *Geomorphology*, 204, 314-324.
- Linsley, R. K. (1988). *Hydrology for Engineers*. Singapore: McGraw-Hill.
- Sauida, M. F. (2014). Calibration of submerged multi-sluice gates. *Alexandria Engineering Journal*, 53(3), 663-668. doi:10.1016/j.aej.2014.04.008
- Shucksmith, J., Boxall, J., and Guymer, I. (2010). Effects of emergent and submerged natural vegetation on longitudinal mixing in open channel flow. *Water Resources Research*, 46(4).
- Urantinon, A. (2015). *THE STUDY OF WATER HYACINTH EFFECT ON FINE PARTICULATE MATTER TRANSPORT IN OPEN CHANNEL*. (Doctor of Engineering). Kasetsart University,
- Wu fc, S. h., and Chou, Y. (1999). Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(9), 934-942.

ภาษาไทย

เสรี จันทโรยธา และ ชัยพันธุ์ รักรวิชัย. (2556). ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดชั้นพื้นฐาน: สำนักพิมพ์  
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โพสต์ทูเดย์. (2558). เขื่อนเจ้าพระยาพร่องน้ำเพิ่มหลังปริ่มตลิ่ง. Retrieved from  
<https://www.posttoday.com/social/local/389512>

โพสต์ทูเดย์. (2560). ครันหลงลอยกระทง ขยะแน่นคลอง-แม่น้ำ. Retrieved from  
<https://www.posttoday.com/social/general/523673>

สุวิภา กุศลจุง, ภาณุสิทธิ์ ดวงศรี เสรี จันทโรยธา และ อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์,. (2560). สัมประสิทธิ์อัตรา  
การไหลของฝายสันโอ๊กในทางน้ำที่มีขยะปน.

หริส ประสารฉ่ำ, สุจิรา ศรีจันทร จักริ ตันกันยา และ ชัชพล คัดทะมาร. (2561). คุณสมบัติการไหล  
ในทางน้ำเปิดที่มีสิ่งกีดขวางและขยะปน.





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ธีรภัทร ล้อมลาย
วัน เดือน ปี เกิด	27 มกราคม 2525
สถานที่เกิด	ชัยนาท
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2542 สำเร็จการศึกษาจากโรงเรียนสิงห์บุรี พ.ศ.2551 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	144 ม.5 ต.บางซุด อ.สรรคบุรี จ.ชัยนาท 17140
ผลงานตีพิมพ์	คุณสมบัติการไหลผ่านประตูระบายน้ำแบบบานเลื่อนตรงในทางน้ำที่มีขยะ ปน (การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24)