บทที่ 5

การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการศึกษา

5.1 สมมุติฐานความสัมพันธ์ของตัวแปรการไหลของคลองเสถียรภาพ

ในการกำหนดขนาดหน้าตัดตามขวางและความยาวของคลองนั้น สำหรับรูปหน้าตัดตามขวางเราสามารถอธิบายได้ด้วยคุณลักษณะหน้าตัดทางเรขาคณิตของคลองซึ่งประกอบด้วย ความลึกของการไหล (depth of flow, d) พื้นที่หน้าตัดของการไหล (water area, A) เส้นขอบเปียกของคลอง (wetted perimeter, P) รัศมีชลศาสตร์ของคลอง (hydraulic radius, R) ความกว้างผิวน้ำ (water surface width, T) ความกว้างท้องคลอง (bottom width, b) และความกว้างเฉลี่ยของคลอง (average width, W) เป็นต้น และรูปหน้าตัดตามยาวอธิบายด้วยความลาดเอียงของท้องคลอง (bed slope, S_o) ที่สัมพันธ์กับปริมาณการไหลของน้ำในคลอง

ผลงานวิจัยและผลการศึกษาต่าง ๆ ได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ของปริมาณการไหลดังกล่าวกับคุณลักษณะหน้าตัดทางเรขาคณิตของคลอง เพื่อนำไปพิจารณากำหนดขนาดของคลอง โดยใช้เกณฑ์กำหนดต่าง ๆ เช่น เกณฑ์กำหนดความเร็วการไหลที่ยอมให้ ซึ่งสามารถพิจารณาพื้นที่หน้าตัดของคลองจากสมการต่อเนื่อง $Q = AV$ เมื่อทราบปริมาณการไหลของน้ำและความเร็วการไหลที่ยอมให้ เป็นต้น สำหรับแนวทางการออกแบบคลองโดยใช้หลักการคงสภาวะสมดุลย์ของคลอง หรือทฤษฎี Regime (Regime Theory) นั้น โดยทั่ว ๆ ไปแล้วมักจะให้ความสัมพันธ์ในการพิจารณาหน้าตัดของคลองจากสูตรและสมการในรูปแบบทั่ว ๆ ไป 3 ลักษณะ คือ

1. สมการความสัมพันธ์ของปริมาณการไหลกับความกว้างของคลอง (channel width)
2. สมการความสัมพันธ์ของปริมาณการไหลกับความลึกของคลอง (channel depth)
3. และสมการความสัมพันธ์ของปริมาณการไหลกับความลาดเอียงของท้องคลอง (channel bed slope)

สำหรับการกำหนดหน้าตัดตามขวางของคลองนั้น เนื่องจากรูปลักษณ์ของคลองที่มีอยู่จริงไม่คงรูปทรงเรขาคณิตให้เห็นเด่นชัด จึงมีความลำบากในการวัดขนาดของความกว้างและความลึกของคลองให้ถูกต้องได้ มีบางคนอธิบายหน้าตัดคลองด้วยตัวแปรเส้นขอบเปียกและรัศมีชลศาสตร์ของคลองซึ่งมีความถูกต้องมากกว่าสำหรับคลองที่มีหน้าตัดไม่ค่อยสม่ำเสมอดี เช่น ผลการศึกษาของ Lacey (1930) (ดูบทที่ 3) และจากผลการศึกษาของหลายคนพบว่า เส้นขอบเปียกและรัศมีชลศาสตร์ของคลองมีความสัมพันธ์กับปริมาณการไหลค่อนข้างแน่นอนในลักษณะสมการยกกำลัง ($P\alpha Q^{m1}, R\alpha Q^{m2}$) เช่น Lacey (1930), Inglish - Lacey (1958), Simons & Albertson (1960)

ถึงแม้ว่าการกำหนดหน้าตัดของคลองด้วยตัวแปรเส้นขอบเปียก (P) และรัศมีชลศาสตร์ของคลอง (R) จะมีความถูกต้องมากกว่าก็ตาม แต่เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติ จึงได้คนได้เปลี่ยนความสัมพันธ์ของเส้นขอบเปียก (P) เป็นความกว้างเฉลี่ย (W) และรัศมีชลศาสตร์ (R) เป็นความลึกเฉลี่ยของการไหล (d) เพื่อความสะดวกในการพิจารณากำหนดขนาดคลอง ดังเช่น ผลการศึกษา Lindley (1919), Lacey (1958), Blench (1957-60)

สำหรับการพิจารณาหน้าตัดตามยาวนั้น บางคนได้ศึกษาและให้ความสัมพันธ์ของความลาดเอียงของท้องคลอง (bed slope, S_o) กับปริมาณการไหลโดยตรง ในลักษณะสมการยกกำลัง ($S\alpha Q^{m3}$) เช่น Leopald & Maddock (1953) แต่จากผลการศึกษาของหลายคนพบว่า ค่าของผลคูณ R^xS^y สำหรับคลองหนึ่งที่มีปริมาณการไหลคงที่และมีความสม่ำเสมอ จะมีค่าคงที่ ผู้ที่ทำการศึกษาดังกล่าว เช่น Lacey (1958), Liu an Hwang (1959), Henderson (1961) เป็นต้น และในการกำหนดขนาดความลาดเอียงของท้องคลอง Lacey (1930) พิจารณาจากความสัมพันธ์ของความเร็วการไหลของน้ำกับผลคูณของความลาดเอียงท้องคลองกับรัศมีชลศาสตร์ยกกำลังสอง (R^2S) โดยให้เหตุผลจากผลที่ได้ในการศึกษาเช่นเดียวกับ Henderson (1961) ว่า สำหรับคลองหนึ่ง ค่าของ $R^{\frac{1}{2}}S$ จะมีค่าคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์ของ $R^{\frac{1}{2}}$ นั้นจะแปรเปลี่ยนไปในแต่ละคลอง

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรการไหลต่าง ๆ นั้น อาศัยแนวทางการพิจารณาจากสมมุติฐานความสัมพันธ์ของตัวแปรการไหลต่าง ๆ ดังกล่าวในหัวข้อ 5.1 และในการพิจารณา

ตัวแปรการไหลต่าง ๆ ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 สำหรับความสัมพันธ์ของตัวแปรการไหลต่าง ๆ ที่ทำการวิเคราะห์หา ประกอบด้วย

1. เส้นขอบเปียกของคลอง (P) กับปริมาณการไหลของน้ำ (Q) สำหรับการพิจารณาหาปริมาณการไหลของน้ำ พิจารณาจาก 2 แนวทาง คือ

   ก). ปริมาณการไหลของน้ำ จากการวัดโดยใช้เครื่องมือวัดกระแสน้ำ (Current Meter) แบบ Price ในการหาความเร็วกระแสน้ำของหน้าตัด

   ข). ปริมาณการไหลของน้ำ จากการคำนวณ โดยใช้สมการ Manning ในการพิจารณาหาความเร็วการไหลของหน้าตัด จากเส้นขอบเปียกของคลอง (P) และปริมาณการไหลของน้ำ (Q) ที่ได้ ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ในรูปแบบของสมการยกกำลัง ซึ่งผลได้แสดงไว้ในหัวข้อ 5.3

2. รัศมีชลศาสตร์ของคลอง (R) กับปริมาณการไหลของน้ำ (Q) โดยการพิจารณาค่ารัศมีชลศาสตร์จากสมการ $R = A/P$ และปริมาณการไหลในสองลักษณะ เช่นเดียวกับข้อ (1)

3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลของน้ำ (V) กับผลคูณ R^2S โดยพิจารณาความเร็วการไหลของน้ำจากสองลักษณะ เช่นเดียวกับข้อ (1)

4. ความกว้างเฉลี่ยของคลอง (W) กับเส้นขอบเปียกของคลอง (P) เพื่อให้อีกแนวทางหนึ่งในการพิจารณากำหนดขนาดคลอง โดยใช้ตัวแปรของความกว้างเฉลี่ยเป็นตัวกำหนดแทนตัวแปรเส้นขอบเปียกคลอง

5. รัศมีชลศาสตร์ของคลอง (R) กับความลึกโดยเฉลี่ยของการไหล (d) เพื่อให้อีกแนวทางหนึ่งในการพิจารณากำหนดขนาดคลอง โดยใช้ตัวแปรของความลึกของการไหล (d) แทนตัวแปรรัศมีชลศาสตร์

6. ความกว้างผิวน้ำ (T) กับความกว้างเฉลี่ยของคลอง (W) เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการพิจารณาความลาดเอียงของฝั่งคลอง

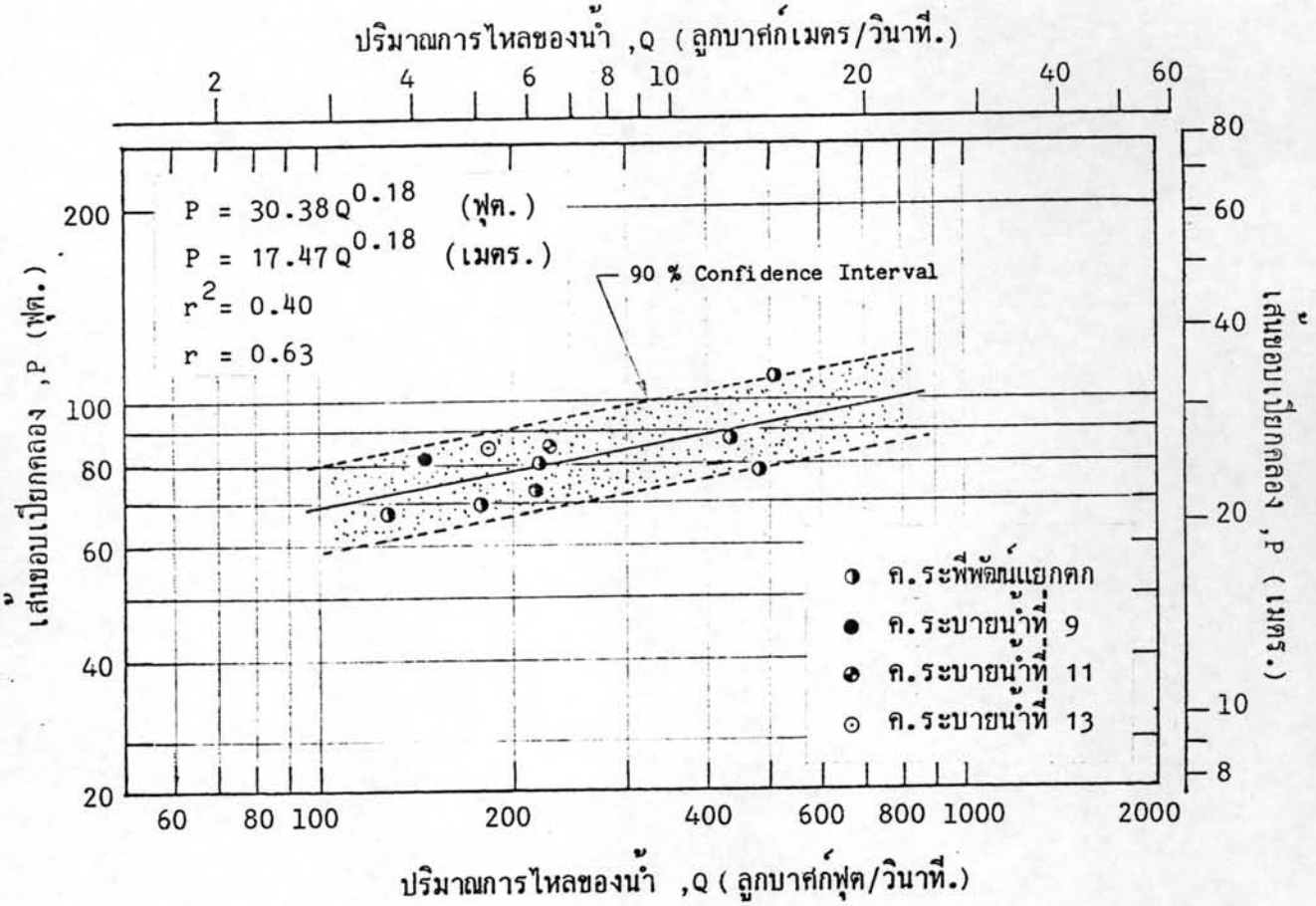
7. ความเร็วการไหลของน้ำ (V) กับความลึกการไหล (d) เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ที่ได้กับผลการศึกษาของ Kennedy

5.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

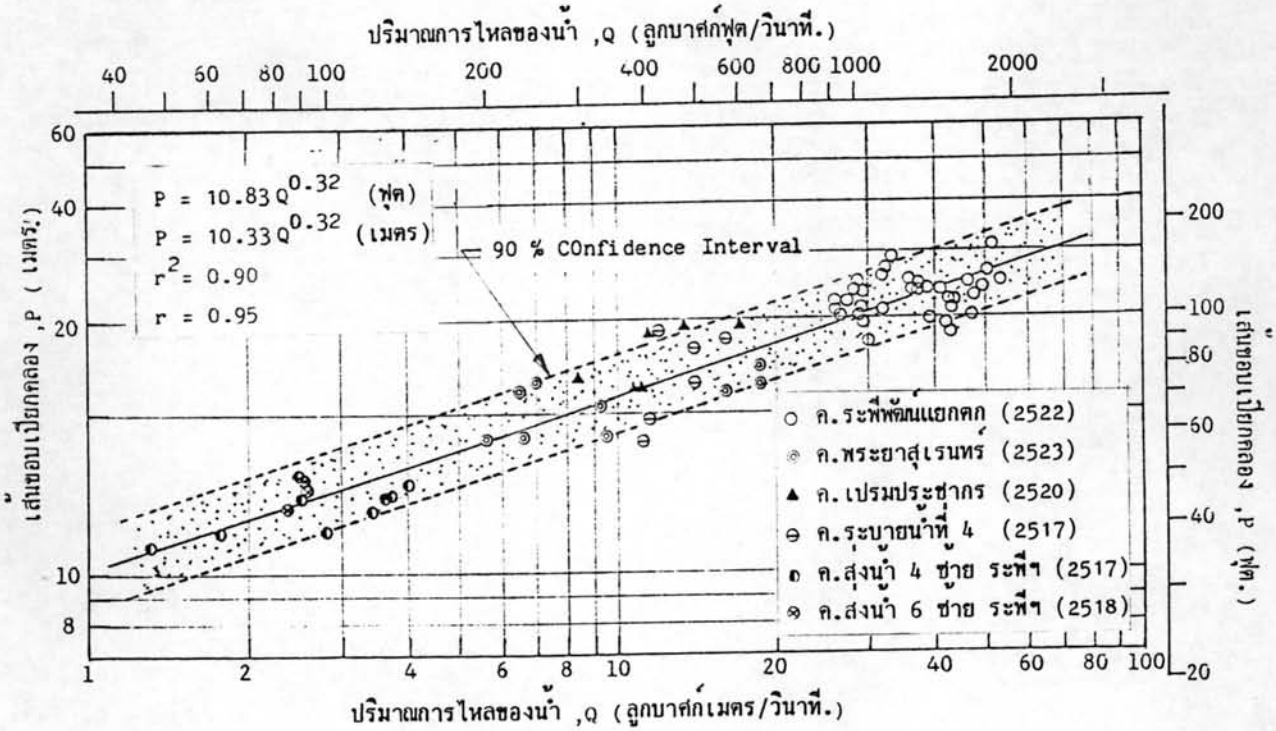
จากการวิเคราะห์ข้อมูลหาความสัมพันธ์ของตัวแปรการไหลต่าง ๆ โดยวิธีของกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ในรูปของความสัมพันธ์สมการยกกำลัง (power equations) ดังเช่น ความสัมพันธ์ของ P - Q, R - Q, V - R^2S และในรูปของความสัมพันธ์สมการเส้นตรง (Linear equations) ดังเช่น ความสัมพันธ์ของ W - P, d - R, T - W ดังแสดงผลในตารางที่ 5-1 และรูปความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ รูปที่ 5-1 ถึง 5-7

(ก) ผลของความสัมพันธ์ P-Q (Q พิจารณาจากการวัด) พบว่าแปรเปลี่ยนตามค่ายกกำลัง 0.18 ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในเกณฑ์ต่ำ (ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของข้อมูล (r^2)=0.40 และเมื่อพิจารณาช่วงความผันแปรของข้อมูลจากการพิจารณาค่า Confidence Interval ที่ระดับ 90 % พบว่าช่วงความผันแปรของข้อมูลค่อนข้างกว้างมาก ดังตัวอย่างคือ ถ้าพิจารณาค่าของ P = 83 ฟุตที่ค่า Q = 300 ลบ.ฟุต/วินาที ในขณะที่ขีดจำกัดบนของช่วง P = 100 ฟุต และที่ขีดจำกัดล่างของช่วง 70 ฟุต ซึ่งช่วงความผันแปรของ P ที่ Q = 300 ลบ.ฟุต/วินาที มีถึง 30 ฟุต ความสัมพันธ์และช่วงความผันแปรของข้อมูลที่มีไม่ดีนัก

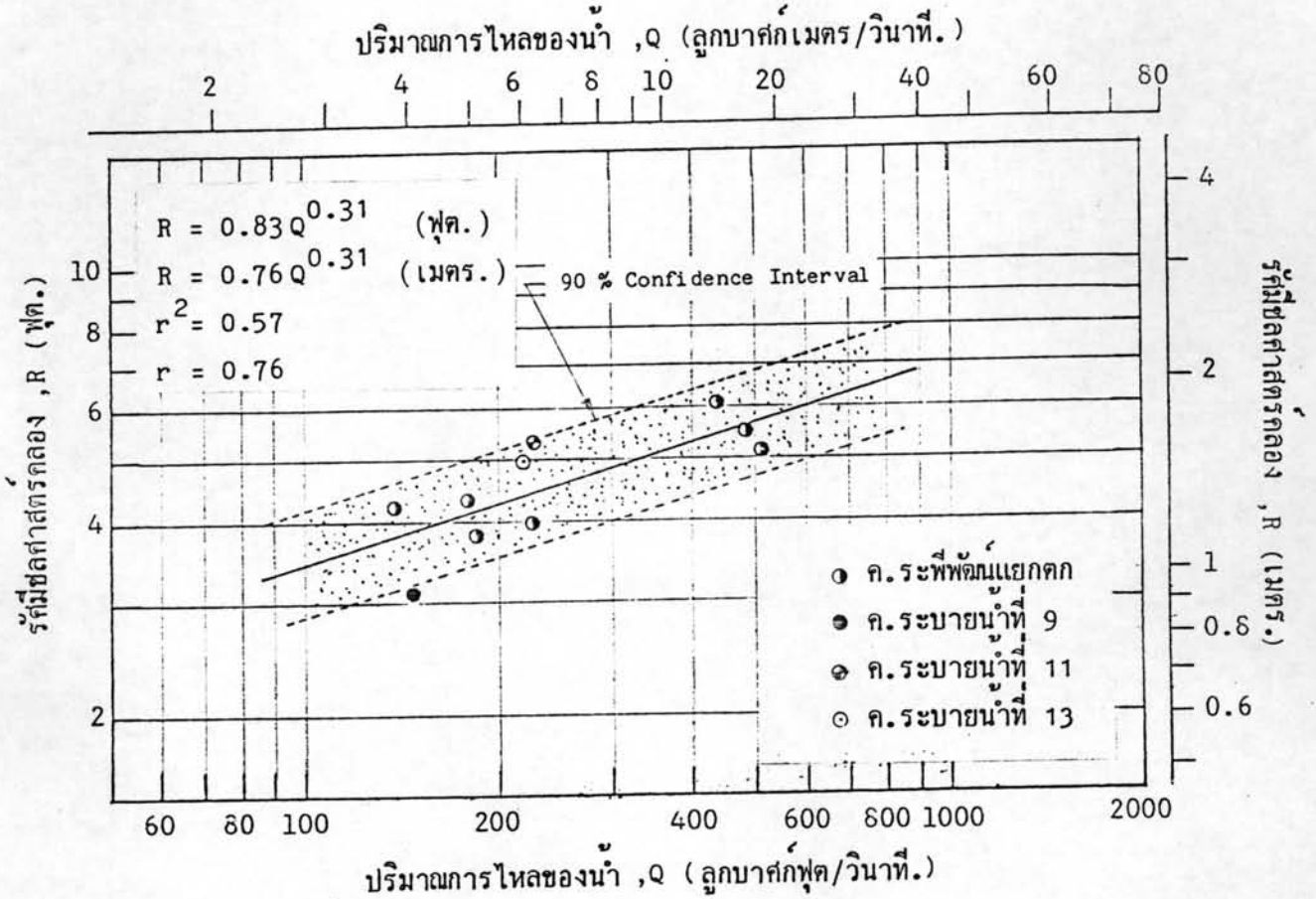
(ข) ผลความสัมพันธ์ P-Q ($\hat{Q}$ พิจารณาจากการคำนวณ) ค่าของ P แปรเปลี่ยนตามค่า Q ยกกำลัง 0.32 มีความแตกต่างจากผลจากข้อ (ก) ส่วนความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในเกณฑ์ดี (ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของข้อมูล (r^2) = 0.90 แต่ช่วงความผันแปรของข้อมูลค่อนข้างกว้าง จากการพิจารณาค่า Confidence Interval ที่ระดับ 90 % ซึ่งช่วงความผันแปรของข้อมูลประมาณเท่ากับข้อ (ก)



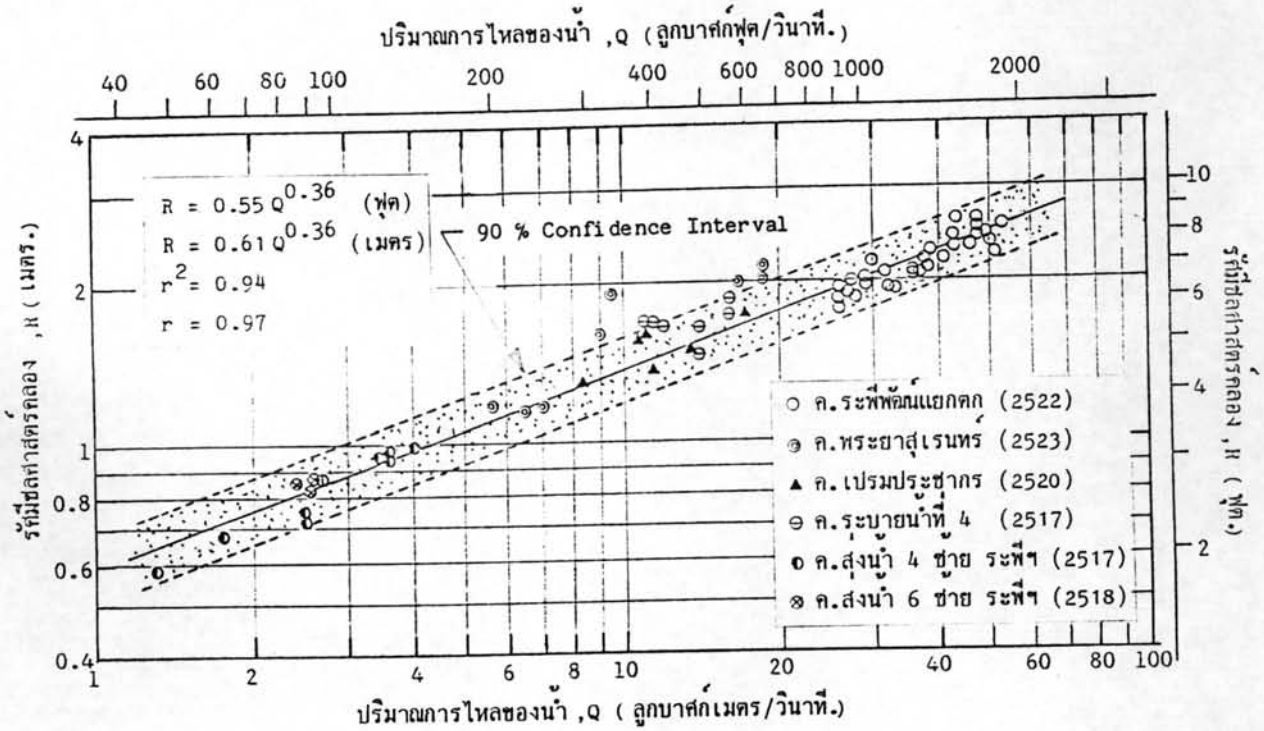
รูปที่ 5-1(ก). แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เส้นขอบเปียกของคลอง กับ ปริมาณการไหลของน้ำ
(หมายเหตุ ปริมาณการไหลของน้ำ ได้จากการวัดโดยใช้ เครื่องมือวัดกระแสน้ำ)



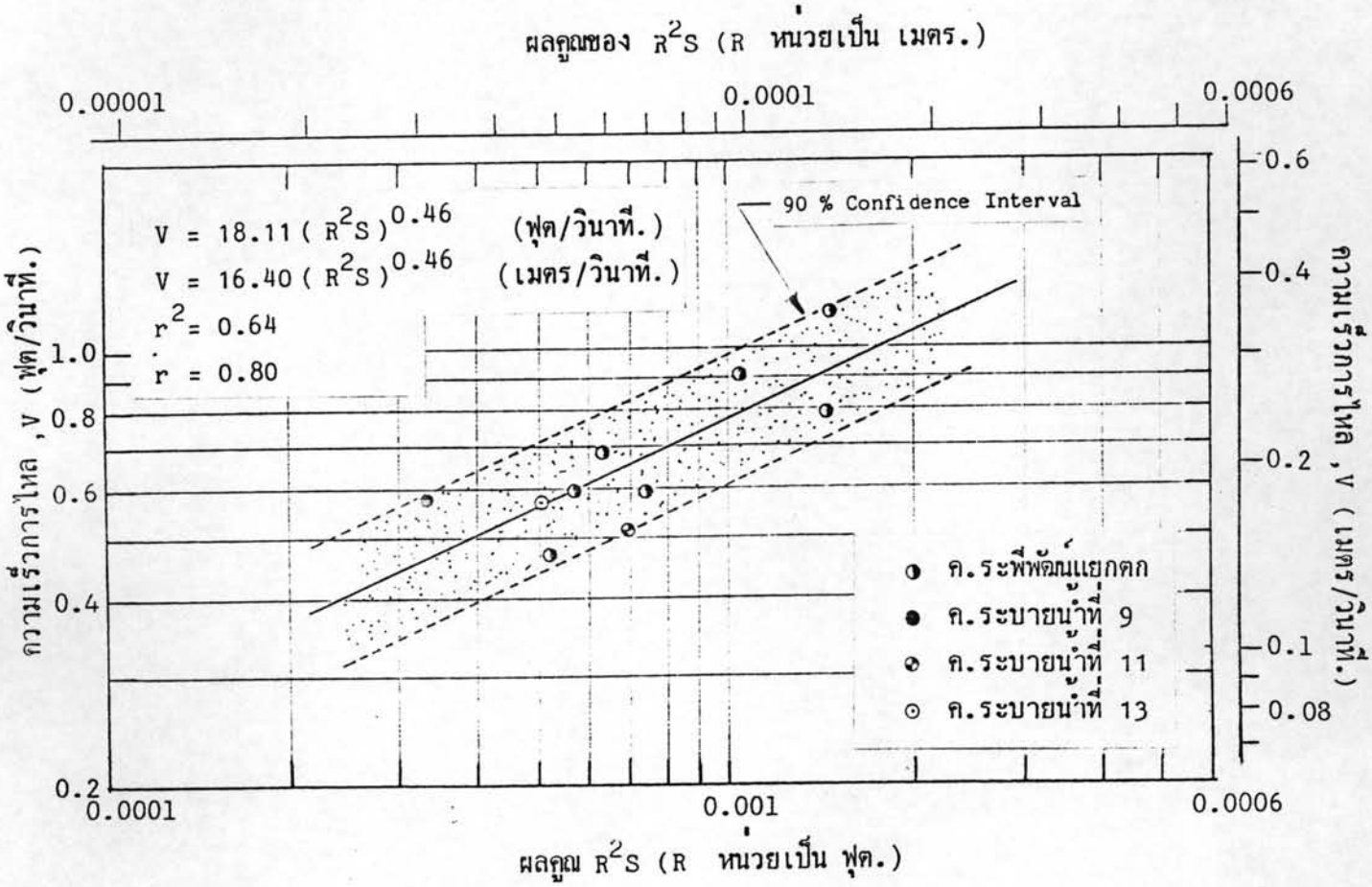
รูปที่ 5-1(ข). แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เส้นขอบเปียกของคลอง กับ ปริมาณการไหลของน้ำ
(หมายเหตุ ปริมาณการไหลของน้ำ ได้จากการคำนวณ ดังกล่าวในหัวข้อ 5.2)



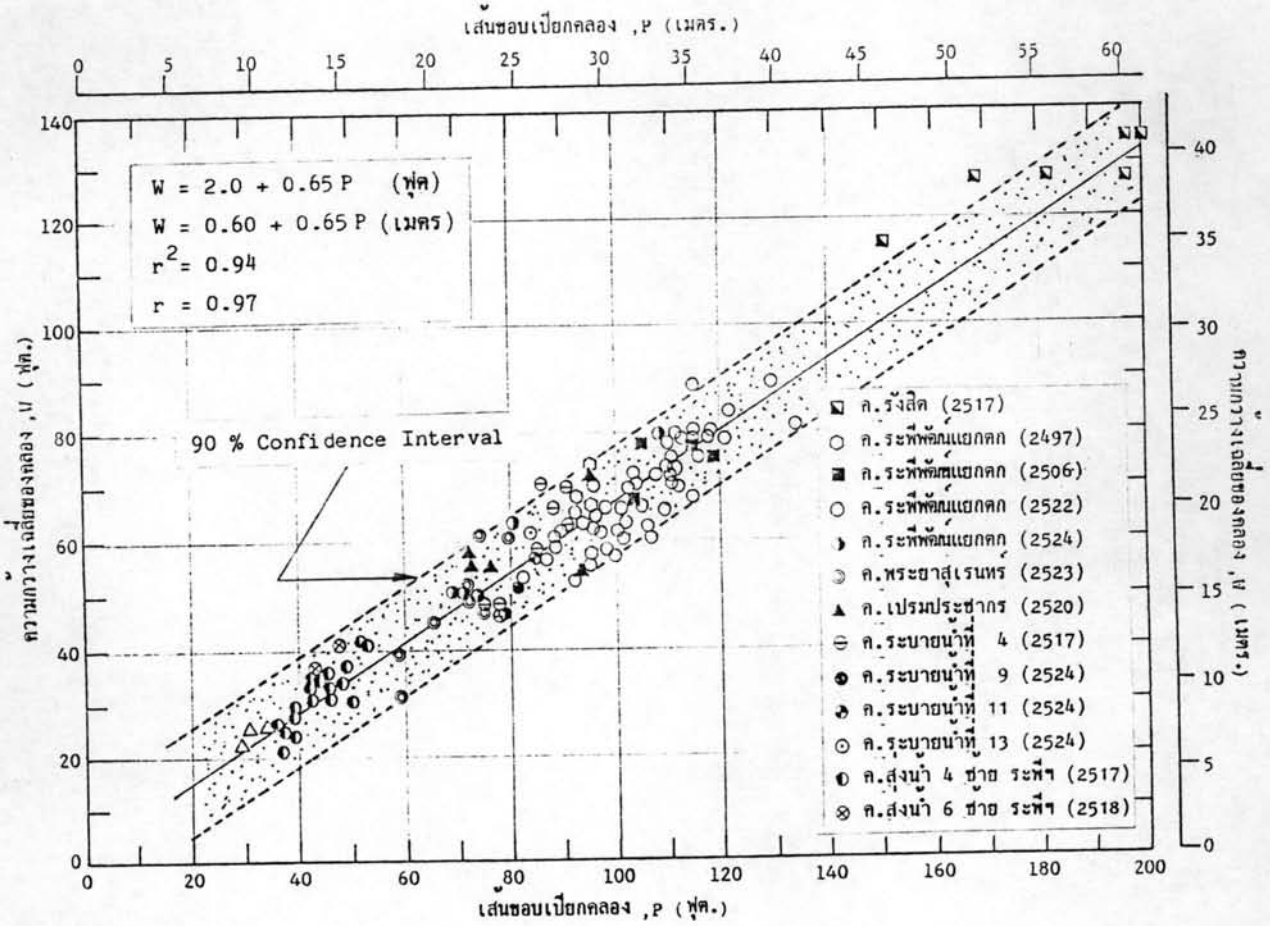
รูปที่ 5-2(ก). แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง รัศมีชลศาสตร์ของคลอง กับ ปริมาณการไหลของน้ำ
(หมายเหตุ ปริมาณการไหลของน้ำ ได้จากการวัดโดยใช้ เครื่องมือวัดกระแสน้ำ)



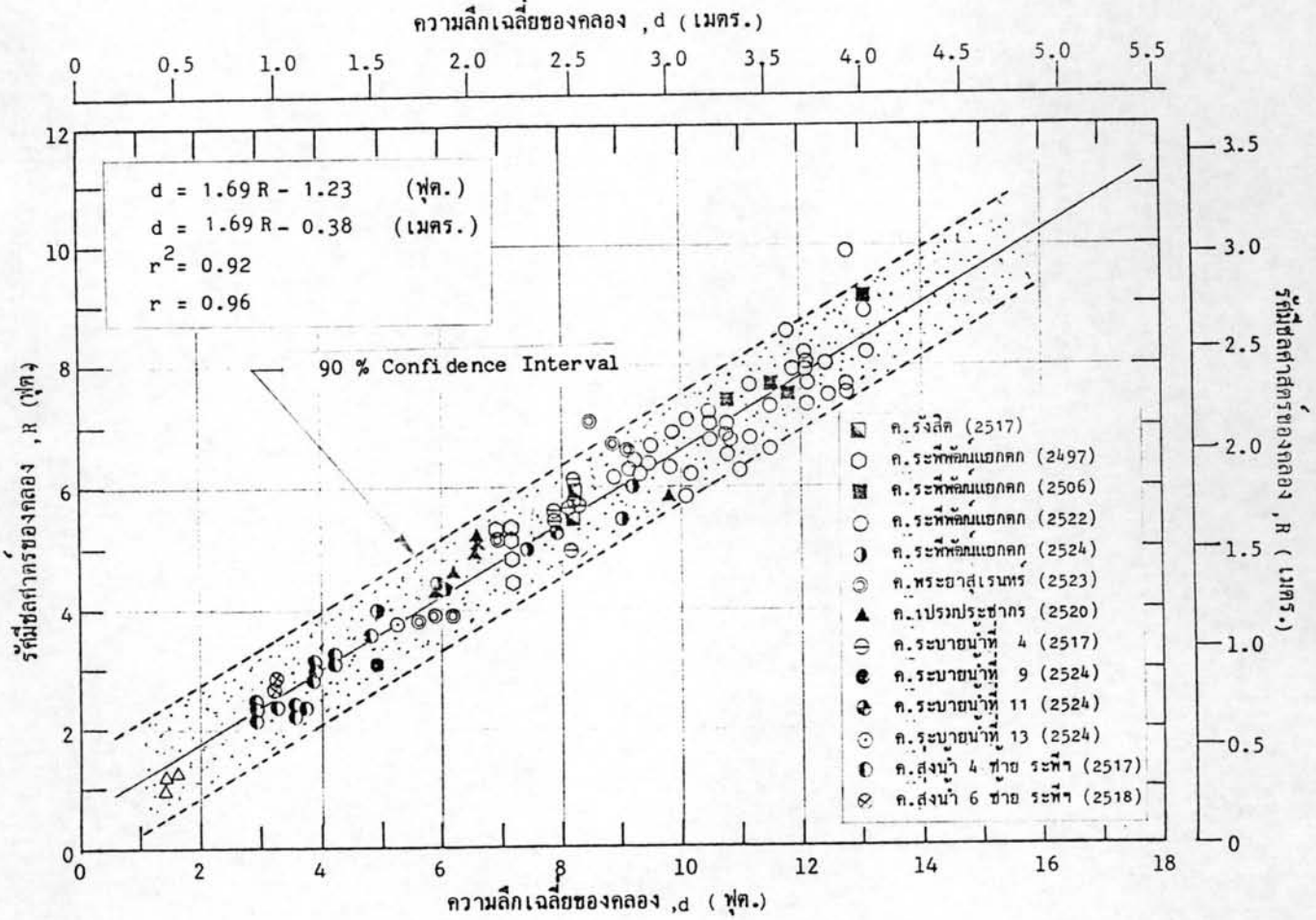
รูปที่ 5-2(ข). แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง รัศมีชลศาสตร์ของคลอง กับ ปริมาณการไหลของน้ำ
(หมายเหตุ ปริมาณการไหลของน้ำ ได้จากการคำนวณ)



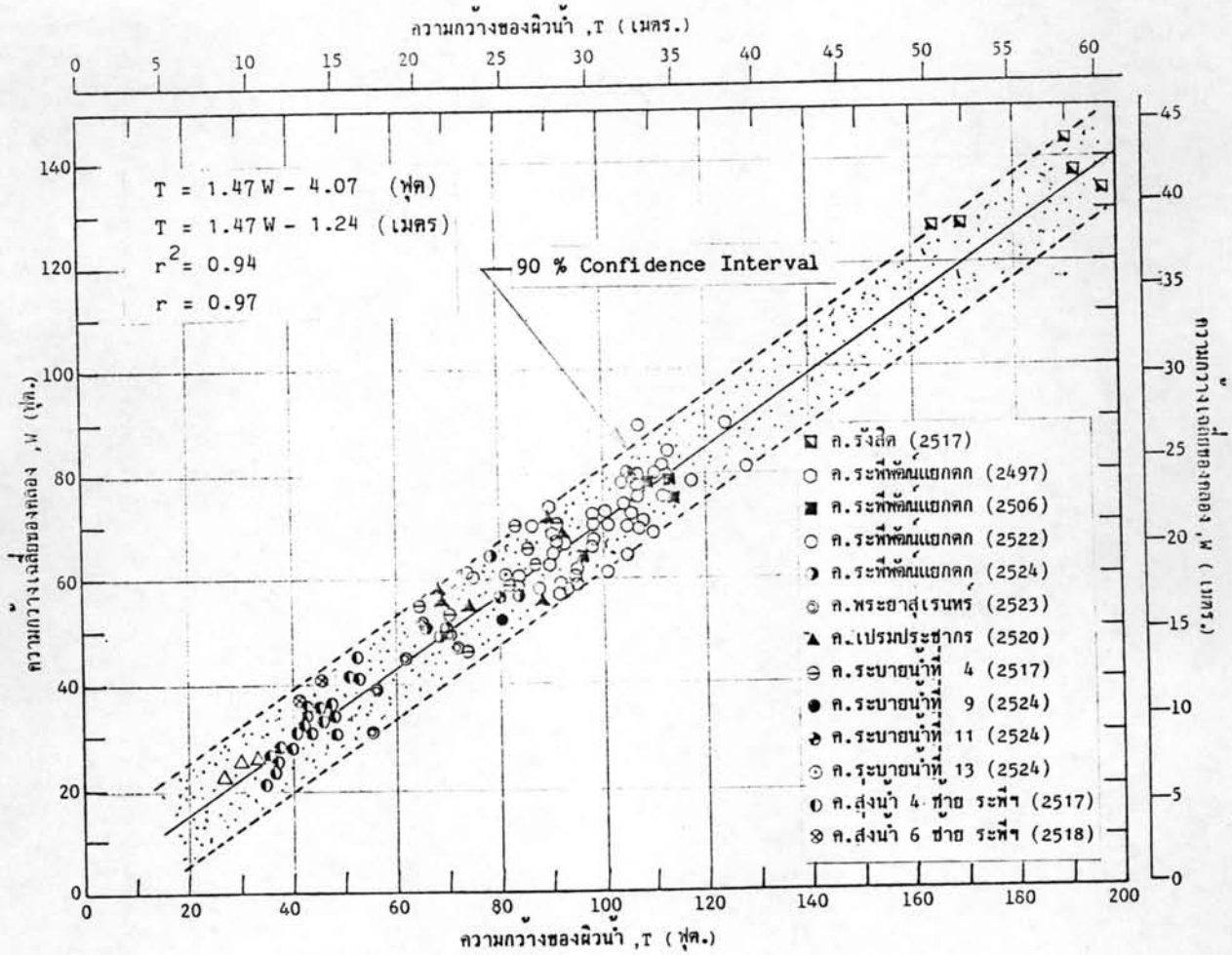
รูปที่ 5-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วการไหลเฉลี่ย กับ ผลคูณของ R^2S



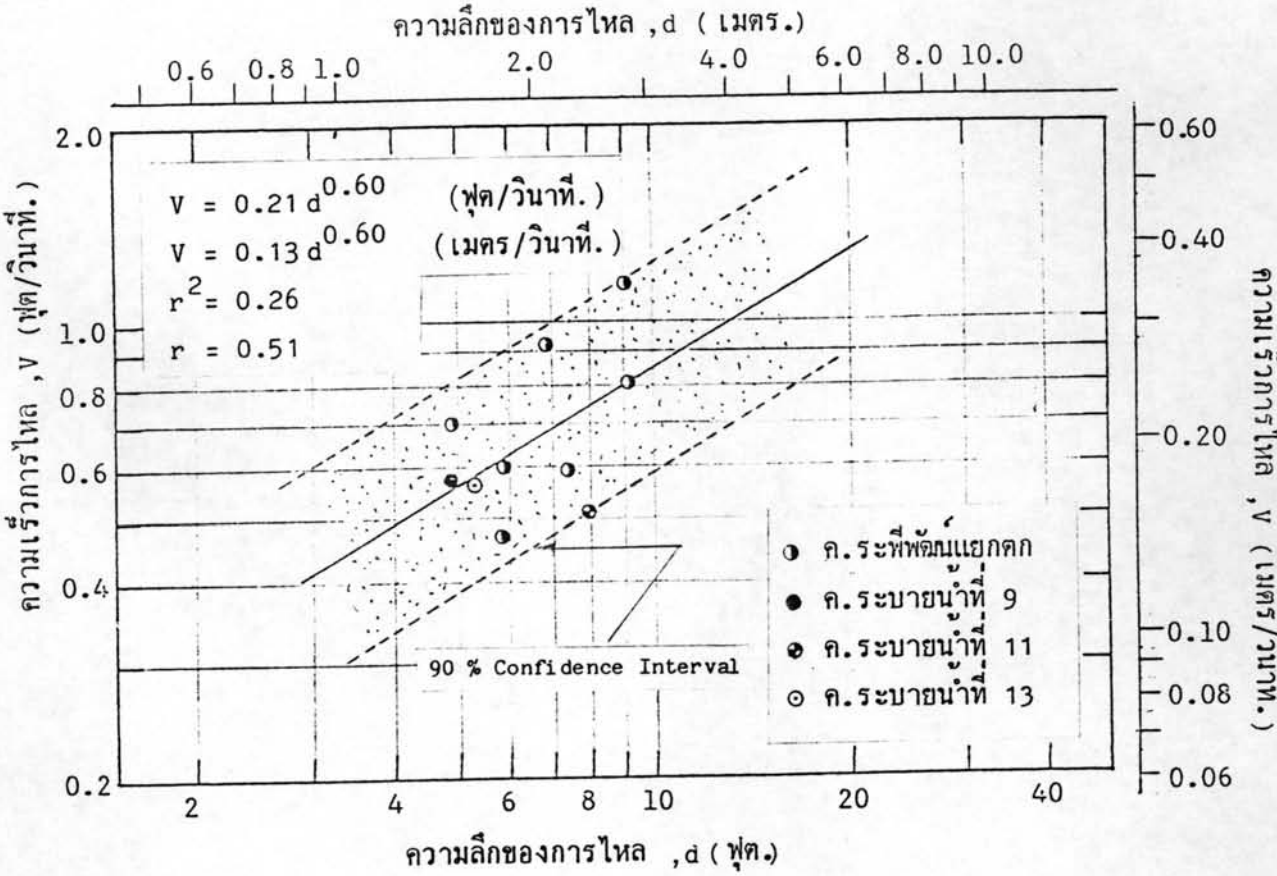
รูปที่ 5-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความกว้างเฉลี่ยของคลอง กับ เส้นชอบเปียกคลอง



รูปที่ 5-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง รัศมีชลศาสตร์ของคลอง กับ ความลึกเฉลี่ยของการไหล



รูปที่ 5-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความกว้างเฉลี่ยของคลอง กับ ความกว้างผิวน้ำของคลอง



รูปที่ 5-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วการไหลเฉลี่ย กับ ความลึกการไหลเฉลี่ย

ตารางที่ 5-1 สรุปสมการความสัมพันธ์ ของตัวแปรการไหลต่างๆ จากผลการศึกษา

สมการที่	สมการ		r^2	r	หมายเหตุ
	ระบบอังกฤษ	ระบบเมตริค			
5-1(ก).	$P = 30.38\,Q^{0.18}$	$P = 17.47\,Q^{0.18}$	0.397	0.63	Q, จากการวัด
5-1(ข).	$P = 10.83\,Q^{0.32}$	$P = 10.33\,Q^{0.32}$	0.90	0.95	Q, จากการคำนวณ
5-2(ก).	$R = 0.83\,Q^{0.31}$	$R = 0.76\,Q^{0.31}$	0.574	0.76	Q, จากการวัด
5-2(ข).	$R = 0.55\,Q^{0.36}$	$R = 0.61\,Q^{0.36}$	0.94	0.97	Q, จากการคำนวณ
5-3	$V = 18.11\,(R^2S)^{0.46}$	$V = 16.40\,(R^2S)^{0.46}$	0.64	0.80	
5-4	$W = 2.0 + 0.65\,P$	$W = 0.60 + 0.65\,P$	0.94	0.97	
5-5	$d = 1.69\,R - 1.23$	$d = 1.69\,R - 0.28$	0.92	0.96	
5-6	$T = 1.47\,W - 4.07$	$T = 1.47\,W - 1.24$	0.94	0.97	
5-7	$V = 0.21\,d^{0.60}$	$V = 0.13\,d^{0.60}$	0.264	0.51	

(2) ความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีชลศาสตร์ (R) กับปริมาณการไหลของน้ำ (Q) ดังสมการ 5-2(ก), 5-2(ข) และรูปที่ 5-2 (ก), 5-2 (ข) แสดงความแปรเปลี่ยนของค่ารัศมีชลศาสตร์ตามค่ายกกำลังของปริมาณการไหลของน้ำ (Q)

(ก) ผลของความสัมพันธ์ R-Q (Q พิจารณาจากการวัด) ค่าของ R แปรเปลี่ยนตามค่าของ Q ยกกำลัง 0.31 ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในเกณฑ์พอใช้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของข้อมูล (r^2) = 0.57 ให้ความสัมพันธ์ดีกว่าความสัมพันธ์ของ P-Q แต่ช่วงความผันแปรของข้อมูล จากการพิจารณา Confidence Interval ที่ระดับ 90 % ยังมีช่วงค่อนข้างกว้างอยู่ ดังตัวอย่าง พิจารณาจากค่า Q = 300 ลบ.ฟุต/วินาที จะให้ค่า R ที่ขีดจำกัดของช่วงบน = 5.8 ฟุต ขีดจำกัดล่าง = 3.8 ฟุต ซึ่งให้ช่วงความผันแปรของ R ถึง 2 ฟุต ที่ค่า Q เดียวกันนี้

(ข) ผลของความสัมพันธ์ R-Q (Q พิจารณาจากการคำนวณ) ค่าของ R แปรเปลี่ยนตามค่า Q ยกกำลัง 0.36 ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับผลในข้อ (ก) และความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในเกณฑ์ดี (ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของข้อมูล (r^2) = 0.94) ช่วงความผันแปรของข้อมูล จากการพิจารณา Confidence Interval ที่ระดับ 90 % ก็มีช่วงแคบกว่าจากผลในข้อ (ก) เมื่อพิจารณา ค่าของ R ที่ค่า Q = 300 ลบ.ฟุต/วินาที จะให้ค่าที่ขีดจำกัดบนของช่วง = 4.8 ฟุต และขีดจำกัดล่างของช่วง = 3.7 ฟุต ให้ช่วงความผันแปรของ R ที่ Q = 300 ลบ.ฟุต/วินาที เพียง 1.1 ฟุต

(3) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลของน้ำ (V) กับผลคูณของ R^2S ดังสมการที่ 5-3 และรูปที่ 5-3 ค่าของความเร็วการไหลจะแปรเปลี่ยนตามค่ายกกำลังของ R^2S คือ $V \alpha (R^2S)^{0.46}$ ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของข้อมูล

(r^2) = 0.64 แต่ช่วงความผันแปรของข้อมูลก็ยังค่อนข้างสูง ดังจากรูปที่ 5-3 ที่ค่า R^2S = 0.001 จะให้ค่าของ V ที่ขีดจำกัดของช่วง = 1 ฟุต/วินาที และขีดจำกัดล่างของช่วง = 0.60 ฟุต/วินาที ให้ช่วงความผันแปรของ V = 0.4 ฟุต/วินาที

(4) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างเฉลี่ย (W) กับเส้นขอบเปียก (P) ดังสมการ 5-4 และรูปที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกการไหล (d) กับรัศมีชลศาสตร์ (R) และความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างเฉลี่ย (W) กับความกว้างของผิวน้ำ (T) ดังสมการ 5-6 และรูปที่ 5-6 เป็นความสัมพันธ์ในลักษณะสมการเส้นตรง ความสัมพันธ์ของข้อมูลดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าสัมประสิทธิ์ของข้อมูล (R^2) มากกว่า 0.90 ขึ้นไปและช่วงความผันแปรของข้อมูล จากการพิจารณา Confidence interval ที่ระดับ 90 % พบว่ามีค่าประมาณ 2.50 เมตร (สำหรับความสัมพันธ์ของ W-P และ W-T) และ เมตร (สำหรับความสัมพันธ์ของ d-R)

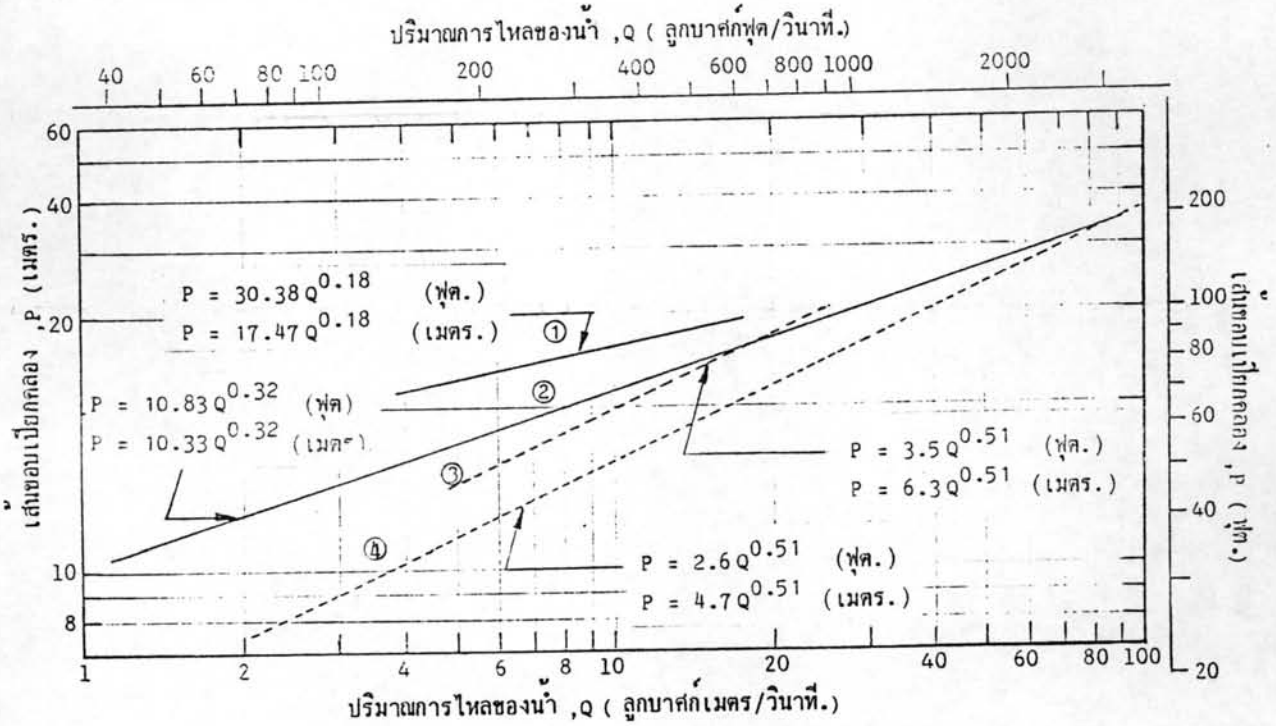
(5) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลของน้ำ (V) กับความลึกของการไหล (d) ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในเกณฑ์ต่ำมาก ค่าสัมประสิทธิ์ของข้อมูล (r^2) = 0.26 และช่วงความผันแปรของข้อมูลก็กว้างมาก ดูจากรูปที่ 5-7

5.4 เปรียบเทียบผลที่ได้จากงานวิจัยนี้กับผลการศึกษาของต่างประเทศ

ตัวแปรการไหลที่เป็นตัวแปรหลัก ในการกำหนดขนาดของคลอง คือ เส้นขอบเปียกของคลอง (Wetted Perimeter, P) รัศมีชลศาสตร์ของคลอง (Hydraulic Radius, R) และความลาดเอียงของท้องคลอง (Bottom Slpe, S) ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5-1 ในการพิจารณาเปรียบเทียบผลการศึกษานี้ ได้ใช้ผลการศึกษาของ Simons & Albertson (1960) ในการเปรียบเทียบ

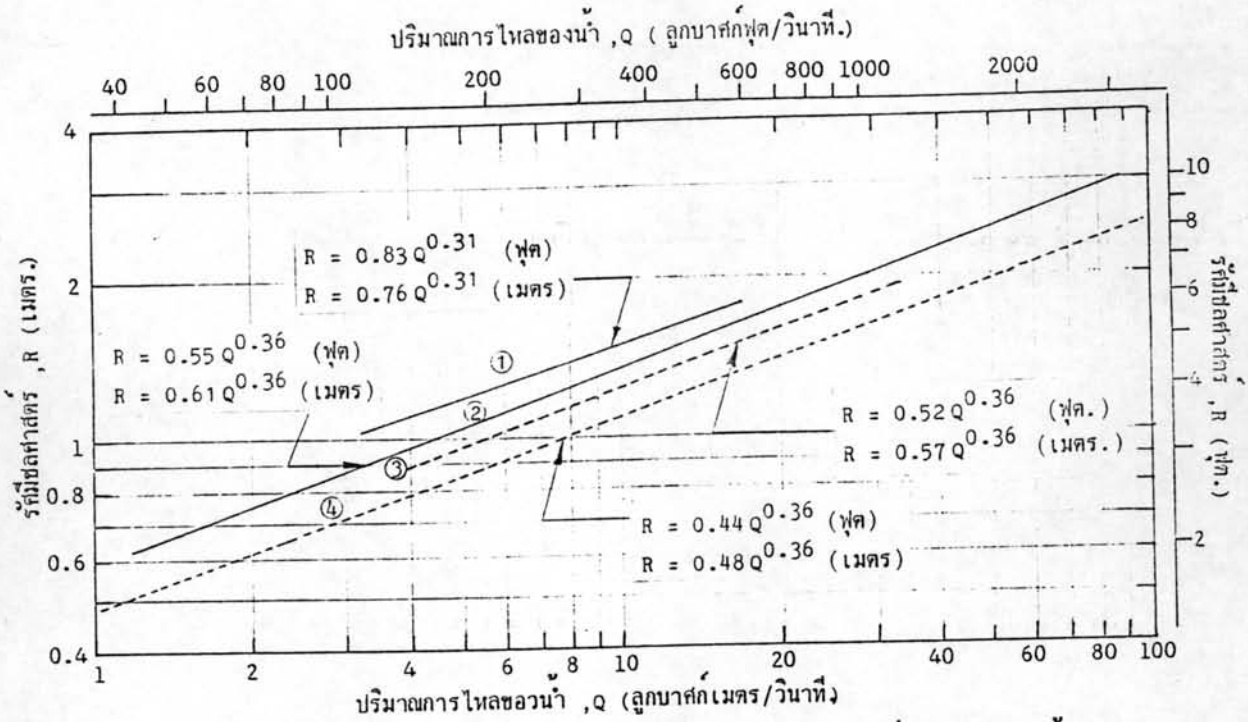
5.4.1 จากผลการศึกษานี้กับผลการศึกษาของ Simons & Albertson พบว่า ที่ปริมาณการไหลของน้ำเท่ากัน ผลการศึกษานี้จะให้ค่าของเส้นขอบเปียก (P) และรัศมีชลศาสตร์ (R) สูงกว่าค่าที่ได้จากผลการศึกษาของต่างประเทศ ดังรูปเปรียบเทียบผลรูปที่ 5-8, 5-9 แต่แนวโน้มของความสัมพันธ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกัน ดังจากรูปที่ 5-9 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของรัศมีชลศาสตร์ของคลองกับปริมาณการไหลของน้ำในคลอง จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากสนาม (เส้นหมายเลข ①)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



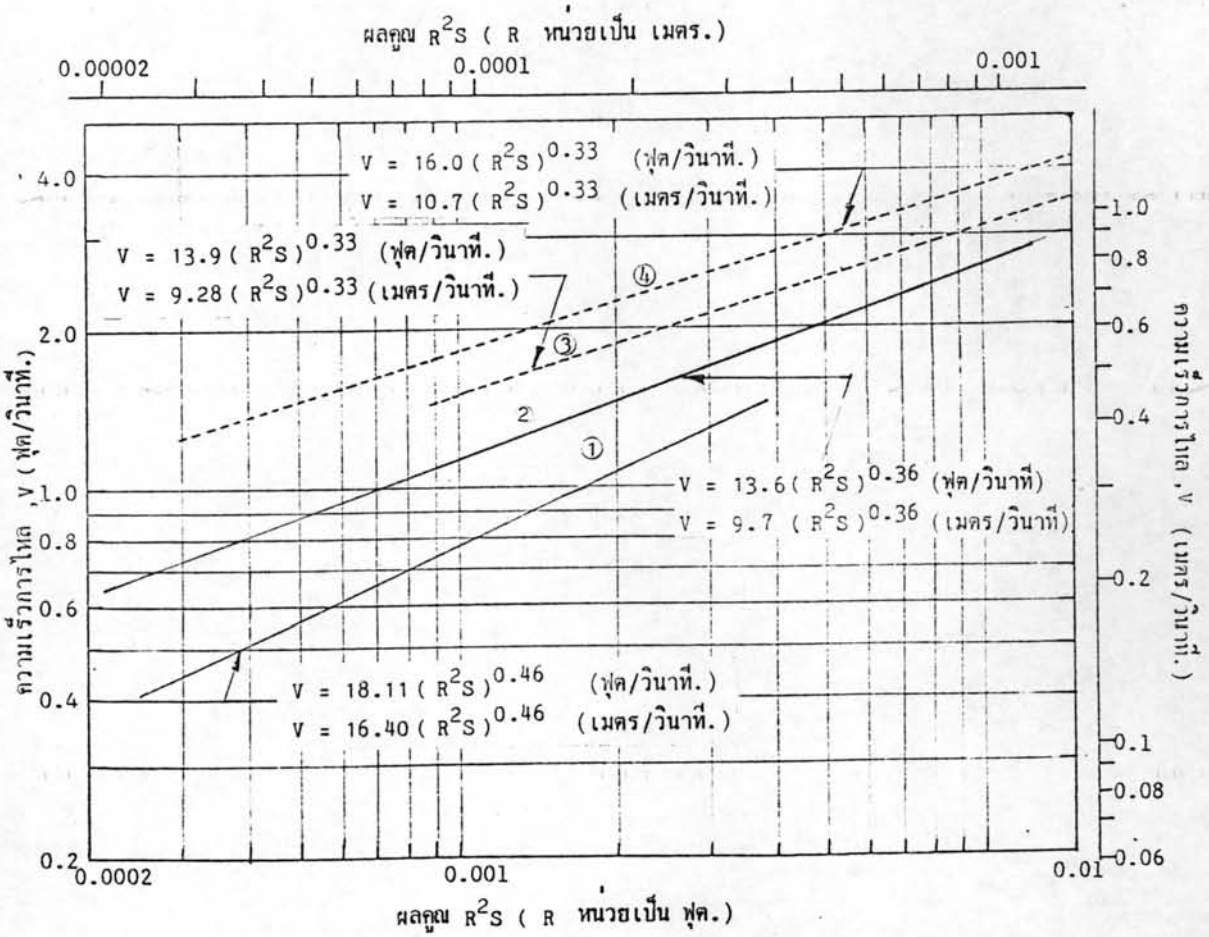
① จากผลการศึกษานี้ (ปริมาณการไหลของน้ำ ได้จากการวัด โดยเครื่องมือวัดกระแสน้ำ)
② จากผลการศึกษานี้ (ปริมาณการไหลของน้ำ ได้จากการคำนวณ โดยใช้สมการ Manning)
③ จากผลการศึกษาของ Simons & Albertson (ฝั่งคลองและท้องคลอง เป็นพวกดินทราย)
④ จากผลการศึกษาของ Simons & Albertson (ฝั่งคลองและท้องคลอง เป็นพวกดินเหนียว)

รูปที่ 5-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เส้นขอบเปียกของคลอง กับ ปริมาณการไหลของน้ำ จากผลการศึกษานี้ กับ ผลการศึกษาของต่างประเทศ



① จากผลการศึกษานี้ (ปริมาณการไหลของน้ำ ได้จากการวัด โดยเครื่องมือวัดกระแสน้ำ)
② จากผลการศึกษานี้ (ปริมาณการไหลของน้ำ ได้จากการคำนวณ โดยใช้สมการ Manning)
③ จากผลการศึกษาของ Simons & Albertson (ฝั่งคลองและท้องคลองเป็นพวกดินเหนียว)
④ จากผลการศึกษาของ Simons & Albertson (ฝั่งคลองเป็นพวกดินเหนียว ท้องคลองเป็นพวกทราย)

รูปที่ 5-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง รัศมีชลศาสตร์ของคลอง กับ ปริมาณการไหลของน้ำ จากผลการศึกษานี้ กับ ผลการศึกษาของต่างประเทศ



① จากผลการศึกษานี้ (ปริมาณการไหลของน้ำ ได้จากการวัด โดยเครื่องมือวัดกระแสน้ำ)
② จากผลการศึกษานี้ (ปริมาณการไหลของน้ำ ได้จากการคำนวณ โดยใช้สมการ Manning)
③ จากผลการศึกษาของ Simons & Albertson (ฝั่งคลองและท้องคลอง เป็นพวกดินทราย)
④ จากผลการศึกษาของ Simons & Albertson (ฝั่งคลองเป็นพวกดินเหนียว ท้องคลองเป็นพวกทราย)

รูปที่ 5-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วการไหลของน้ำ กับ ผลคูณ R^2S จาก ผลการศึกษานี้ กับ ผลการศึกษาของต่างประเทศ

จากผลการคำนวณ (เส้นหมายเลข 2)) และจากผลการศึกษาของต่างประเทศ (เส้นหมายเลข (3), (4)) ให้ความสัมพันธ์ของรัศมีชลศาสตร์กับปริมาณการไหลค่อนข้างแน่นอนและใกล้เคียงกัน คือ $R\alpha Q^{0.31}$ (เส้นหมายเลข (1)), $R\alpha Q^{0.36}$ (เส้นหมายเลข (2)) และ $R\alpha Q^{0.36}$ (เส้นหมายเลข (3), (4)) จะมีความแตกต่างกันบ้างในค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ สำหรับความสัมพันธ์ของเส้นขอบเปียก (P) กับปริมาณการไหลของน้ำ (Q) จากรูป 5-8 จะเห็นว่ามีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก แต่ความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าว ก็ให้แนวโน้มลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ $P\alpha Q^{0.18}$ (เส้นหมายเลข (1)), $P\alpha Q^{0.32}$ (เส้นหมายเลข (2)) และ $P\alpha Q^{0.50}$ (เส้นหมายเลข (3), (4)) ซึ่งความแตกต่างดังกล่าว จากสรุปผลงานวิจัยของบุคคลต่าง ๆ เช่น Ackers & Cherten (1971) ได้ลงความเห็นว่า เส้นขอบเปียกของคลองไม่ได้แปรเปลี่ยนตามค่าปริมาณการไหลของน้ำยกกำลัง 0.5

5.4.2 สำหรับความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยของการไหล (V) กับผลคูณ R^2S ก็ให้แนวโน้มของความสัมพันธ์ใกล้เคียงกัน ดังจากรูปที่ 5-10 ความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดและจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันมาก สำหรับผลการศึกษาจากต่างประเทศจะแตกต่างออกไป แต่ก็ให้แนวโน้มความสัมพันธ์ใกล้เคียง คือ $V\alpha (R^2S)^{0.46}$ สำหรับจากการวัด) $V\alpha (R^2S)^{0.36}$ (จากการคำนวณโดยสมการของ Manning)และ $V\alpha (R^2S)^{0.33}$ (จากผลการศึกษาต่างประเทศ)

5.4.3 สำหรับความสัมพันธ์ของความเร็วการไหล (V) กับความลึกการไหลของน้ำนั้น เปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Kennedy (1895) พบว่า แนวโน้มความสัมพันธ์คล้ายคลึงกัน คือ $V\alpha\ d^{0.6}$ เพียงแต่มีความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์ของเลขตัวคูณซึ่ง Kennedy ได้ให้ไว้ ≈0.25-0.60 จากการศึกษานี้ได้ ≈0.13

5.4.4 จากการพิจารณาความแตกต่างของข้อมูลจากการศึกษานี้กับผลการศึกษาของต่างประเทศ สามารถสรุปได้ว่า

(1) มีความเป็นไปได้ในความแตกต่างของส่วนประกอบของดินที่ประกอบคลอง ถึงแม้ว่าประเภทของดินเป็นชนิดเดียวกัน เช่น ดินประเภทที่แรงยึดติด

ของอนุภาค (cohesive soils) อันได้แก่พวกดินเหนียว แต่ส่วนผสมของแร่ธาตุประกอบดินอาจจะแตกต่างกันออกไป เนื่องจากอยู่ในคนละภูมิภาคของโลก ซึ่งส่วนประกอบของแร่ธาตุดังกล่าวมีผลต่อแรงยึดเหนี่ยวของอนุภาค (cohesion) ซึ่งไปมีผลต่อการกำหนดรูปแบบของคลอง นอกจากนี้ก็ยังมีความแตกต่างในสภาพพื้นที่ ภูมิอากาศ เป็นต้น

(2) ความแตกต่างในสภาพคลอง จากการศึกษาพบว่าคลองที่ใช้เป็นตัวอย่างในการวิจัยนี้มีความลาดเอียงของท้องคลองน้อยมาก คือ ประมาณ 1:20,000 ถึง 1:40,000 แต่คลองที่ Simons & Albertson รวบรวมจากผลการศึกษาของบุคคลต่าง ๆ นั้น มีความลาดเอียงของท้องคลองอยู่ในช่วง 1:200 ถึง 1:15,000 ซึ่งค่าความลาดเอียงนี้มีผลต่อความเร็วการไหลของน้ำ ทำให้ค่าความเร็วการไหลที่ได้จากการวัดและคำนวณมีค่าต่ำ

(3) ความแตกต่างของอายุการใช้งานของคลอง ถึงแม้นว่าหลักทฤษฎี Regime จะใช้การพิจารณาจากอายุการใช้งานของคลองเป็นส่วนสำคัญ โดยใช้หลักการเข้าสู่สภาวะเสถียรภาพด้วยตัวมันเอง เมื่อเวลานานพอสมควร แต่ก็ยังพบว่าในอีกหลายสิบปีต่อมา คลองดังกล่าวก็ยังมีการเปลี่ยนแปลงสภาพไม่มากก็น้อย จากข้อมูลของคลองที่ Simons & Albertson (1960) รวบรวมจากผลการศึกษาของบุคคลต่าง ๆ เช่น Kennedy (1895) ซึ่ง Kennedy ทำการศึกษาจากคลองที่มีอายุการใช้งานมานานแล้ว ประมาณ 10 ปี และต่อมาก็ยังพบว่า สภาพคลองที่ Kennedy ทำการศึกษาครั้งนั้นก็ยังมีการเปลี่ยนแปลงในอีกหลายปีต่อมา สำหรับในงานวิจัยนี้ ตัวอย่างคลองที่ใช้ในการศึกษามีอายุร่วม 70 ปี ซึ่งพอจะเชื่อถือได้ในแง่ของอายุการใช้งาน

(4) ความแปรผันของปริมาณการไหลของน้ำ และปริมาณตะกอนในคลอง ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีผลต่อรูปขนาดของคลอง

(5) เนื่องจากจำนวนตัวอย่างคลองและปริมาณข้อมูลที่นำมาศึกษาในการศึกษายังคงถือว่าน้อย เมื่อพิจารณาถึงความแปรผันของธรรมชาติ และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณข้อมูลและเวลาทำการศึกษาของการศึกษาในต่างประเทศ ซึ่งไม่ทำให้ยึดถือได้ว่า ผลการศึกษานี้มีความถูกต้องสมบูรณ์เพียงพอ สำหรับนำไปใช้เป็นเกณฑ์การคำนวณออกแบบ โดยขาดการใตร่ตรองและพิจารณาอย่างรอบคอบของผู้นำไปใช้ ข้อจำกัดของผลที่ได้รับจากการศึกษาอาจจะมี แต่ก็ยังไม่สามารถระบุลงไปได้ หากได้มีการศึกษาเพิ่มเติมโดยมีตัวอย่างคลองและปริมาณข้อมูลเพิ่มขึ้นในอนาคต อาจจะทำให้ผลการศึกษารวมมีความสมบูรณ์และถูกต้องมากขึ้น และข้อจำกัดได้รับการศึกษาและระบุลงไปอย่างแน่ชัด ซึ่งจะยังผลให้นำผลการศึกษาไปใช้งานได้ดี

5.5 ข้อแนะนำในการพิจารณาออกแบบกำหนดขนาดคลองเสถียรภาพ

ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวโดยย่อถึงแนวความคิดในการออกแบบคลองเสถียรภาพ จากเอกสารและตำราต่างประเทศและจากผลการศึกษาครั้งนี้ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการศึกษาว่าได้ผลการศึกษาที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้อย่างไรบ้าง ดังต่อไปนี้

<u>แนวความคิดที่ 1</u> การออกแบบกำหนดขนาดคลองโดยอาศัยผลการศึกษาและข้อเสนอแนะนำ ตลอดจนแนวทางการออกแบบคลองเสถียรภาพที่เคยมีมา

(1) การออกแบบคลองโดยใช้เกณฑ์กำหนดของความเร็วสูงสุดของการไหลที่ยอมให้ (Maximum Permissible Velocities) ซึ่งได้สรุปจากผลการศึกษาของบุคคลต่าง ๆ เช่น Etcheverry (1916), Fortier & Scobey (1926), U.S.S.R. (1936), Garbretch (1961), Kraatz (1977), Varsheney (1979), Hughes (1980) และกรมชลประทาน เป็นต้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 ความเร็วสูงสุดของการไหลที่ยอมให้

ชนิดของดิน	ความเร็วการไหลที่ยอมให้	
	ฟุต/วินาที	เมตร/วินาที
1. ดินเหนียวแข็งหรือดินเหนียวอัดแน่น	3.50-4.00	1.07-1.22
2. ดินเหนียว, ดินปนดินเหนียวมาก, ดินเหนียวปนดินตะกอน	3.00-3.50	0.91-1.07
3. ดินร่วนแน่น, ดินร่วนปนดินเหนียว	2.50-3.00	0.76-0.91
4. ดินปนทราย, ดินร่วนปนทราย	1.75-2.50	0.53-0.76
5. ดินปนทรายมาก	1.00-1.75	0.30-0.53
6. ดินทรายหยาบ	0.75-1.00	0.23-0.30
7. ดินทรายละเอียด	0.50-0.75	0.15-0.23

แนวความคิดที่ 2 การออกแบบกำหนดขนาดคลองโดยอาศัยผลจากงานวิจัยนี้ จากสมการความสัมพันธ์ สมการ 5-1 ถึง 5-7 หรือรูปความสัมพันธ์ 5-1 ถึง 5-7 ที่ได้จากการวัดตัวแปรต่าง ๆ ของคลองที่มีอายุการใช้งานมาเป็นเวลานานและพออนุมานว่าคลองเหล่านั้นอยู่ในสภาวะเสถียรภาพด้วยตัวมันเอง คือมีความเปลี่ยนแปลงของสภาพคลองน้อยมากหรือไม่มีเลย ขั้นตอนการออกแบบคลองโดยใช้แนวความคิดที่ 2 เมื่อทราบปริมาณการไหลของน้ำ คือ

(1) ประมาณค่าเส้นขอบเปียกคลอง (P) และรัศมีชลศาสตร์ของคลอง (R) จากรูปความสัมพันธ์รูปที่ 5-1 (ก) และ 5-1 (ข) (หรือสมการที่ 5-1 (ก) และ 5-1 (ข) ตามลำดับ

(2) ประมาณค่าความกว้างเฉลี่ย (W) และความลึกเฉลี่ยของการไหล (d) จากรูปความสัมพันธ์รูปที่ 5-4 และ 5-5 หรือสมการที่ 5-4 และ 5-5 ตามลำดับ

(3) คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของการไหล จากสมการ $A = PR$ แล้วคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของการไหล (V) จากสมการ $V = Q/A$

(4) จากความเร็วการไหลที่ได้ นำไปพิจารณาหาค่า R^2S จากรูปความสัมพันธ์รูปที่ 5-3 หรือสมการ 5-3 แล้วหาความลาดเอียงท้องคลอง (S) ได้ เมื่อทราบค่ารัศมีชลศาสตร์ (R)

(5) ประมาณค่าความกว้างผิวน้ำ (T) จากรูปความสัมพันธ์รูปที่ 5-6 (หรือสมการ 5-6) เมื่อทราบความกว้างเฉลี่ย (W)

(6) ประมาณค่าความลาดเอียงฝั่งคลอง จากค่าความลึกของการไหล (d), ความกว้างผิวน้ำ (T) และความกว้างเฉลี่ย (W)

(7) ประมาณค่าความลาดเอียงฝั่งคลอง จากตารางที่ 5-3 เปรียบเทียบจากผลจากข้อ 6 และพิจารณาเลือกค่าที่เหมาะสม

แนวความคิดที่ 3 เนื่องจากการออกแบบกำหนดขนาดคลองดินทั่ว ๆ ไป ยังใช้สมการความต้านทานการไหลของ Manning ในการพิจารณา โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ 'n' อยู่ในช่วง 0.020-0.030 แนวความคิดหนึ่งในการพิจารณากำหนดขนาดคลอง จึงใช้การพิจารณาปริมาณการไหลของน้ำจากสมการของ Manning โดยใช้หน้าตัดตามขวางและตามยาวของคลองที่มีอยู่จริง และมีอายุการใช้งานมาเป็นเวลานาน ซึ่งพออนุมานว่าหน้าตัดของคลองนั้นอยู่ในลักษณะเสถียรภาพแล้ว โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ 'n' ที่เหมาะสม แล้วให้ความสัมพันธ์ของเส้นขอบเปียก (P) รัศมีชลศาสตร์ (R) กับปริมาณการไหลของน้ำ (Q) ดังในรูปความสัมพันธ์รูปที่ 5-1 (ข) และ 5-2 (ข) ตามลำดับ ขั้นตอนการออกแบบคลองโดยใช้แนวความคิดที่ 3 คือ

(1) ประมาณเส้นขอบเปียก (P) และรัศมีชลศาสตร์ (R) จากรูปความสัมพันธ์รูปที่ 5-1 (ข) และ 5-2 (ข) (หรือสมการที่ 5-1 (ข) และ 5-2 (ข) ตามลำดับ เมื่อทราบปริมาณการไหลของน้ำ

(2) ประมาณค่าความกว้างเฉลี่ย (W) และความลึกเฉลี่ยของการไหล (d) จากรูปความสัมพันธ์รูปที่ 5-4 และ 5-5 (หรือสมการที่ 5-4 และ 5-5) ตามลำดับ เมื่อทราบค่าเส้นขอบเปียก (P) และรัศมีชลศาสตร์ (R)

(3) คำนวณพื้นที่หน้าตัดของการไหล (A) จากสมการ A = PR และคำนวณหาความเร็วการไหลเฉลี่ย (V) จากสมการ V = Q/A

(4) คำนวณหาความลาดเอียงของท้องคลอง (S) จากสมการของ Manning โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ 'n' ที่เหมาะสม

(5) ประมาณความกว้างผิว (T) จากรูปความสัมพันธ์รูปที่ 5-6 หรือสมการที่ 5-6 เมื่อทราบความกว้างเฉลี่ย (W)

(6) ประมาณค่าความลาดเอียงฝั่งคลองจากค่าความลึกของการไหล (d), ความกว้างผิวน้ำ (T) และความกว้างเฉลี่ย (W)

(7) ประมาณความลาดเอียงฝั่งคลองจากตาราง 5-3 เปรียบเทียบกับผลข้อ 6 และพิจารณาเลือกค่าที่เหมาะสม

ค่าแนะนำของอัตราส่วนความกว้างท้องคลองต่อความลึกของการไหล (b/d)

เนื่องจากการกำหนดออกแบบคลองโดยพิจารณาจากกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ที่ผ่านมา พบว่าในบางครั้ง ขนาดของคลองที่ได้ขัดกับความเป็นจริงในทางปฏิบัติ คือมีความกว้างของคลองนับพันเมตร แต่มีความลึกไม่ถึง 1 เมตร ดังตัวอย่างในภาคผนวก ฉ

ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงมีหลายคนศึกษาและให้ค่าแนะนำของอัตราส่วน b/d ดังกล่าวในหลายลักษณะแตกต่างกันในแต่ละบุคคล ในการศึกษานี้ได้สรุปและให้ค่าแนะนำของอัตราส่วน b/d จากการศึกษาของบุคคลต่าง ๆ เช่น ค่าแนะนำโดย USBR [Simons & Senturk (1977)], Irrigation Service Procedure, India [Simons & Senturk (1977)], Davis and Serensen (1969), กรมชลประทาน เป็นต้น และจากผลการศึกษาประกอบ

สำหรับคลองขนาดเล็ก ค่าอัตราส่วน $b/d \simeq 2 - 3$

(ปริมาณการไหลประมาณ 0.5 ลบ.ม/วินาที)

สำหรับคลองขนาดใหญ่ ค่าอัตราส่วน $b/d \simeq 5 - 8$