บทที่ 5

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

ในการศึกษาสภาพการไหลผ่านประตูน้ำบานยก (sluice gate) สามารถกระทำได้ทั้งโดยการทดลอง ดังแสดงไว้ในบทที่ 3 และ ทางการคำนวณโดยวิธี Finite element แสดงไว้ในบทที่ 4 สำหรับผลการศึกษามี ดังนี้

5.1 ผลการศึกษาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยให้น้ำไหลผ่านประตูบานยกและประตูบานโค้ง ได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่า ความลึกที่ต้นน้ำ (y1) ค่าระยะยกของประตูน้ำ (w) ในแต่ละการเปลี่ยนแปลงวัดอัตราการไหล (q) หลาย ๆค่า ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 5.1 โดย PI1(1) คือ $(w^{3/2}\sqrt{g})/q$ และ PI2(2)คือ w/y1ซึ่งได้จากการวิเคราะห์มิติ แสดงไว้ที่ภาคผนวก ก.

ตารางที่ 5.1 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหล
กับความลึกต้นน้ำและระยะยกของประตูบานยก

EXPERIMENT no.	W (cm.)	Y1 (cm.)	Y2 (cm.)	q (cm^2/sec.)	PI1	PI2
1	1.50	11.08	1.19	151.77	0.38	0.14
2	1.50	6.82	1.28	121.38	0.47	0.22
3	1.50	3.72	1.29	87.79	0.66	0.40
4	2.50	11.63	1.83	242.67	0.51	0.21
5	3.00	9.46	2.08	242.67	0.67	0.32
6	3.50	7.28	2.37	242.67	0.85	0.48
7	3.50	11.87	2.46	326.74	0.63	0.29
8	4.50	8.46	3.11	326.74	0.92	0.53
9	4.50	11.84	2.91	384.95	0.78	0.38
10	5.50	8.69	3.60	384.95	1.05	0.63

ตารางที่ 5.2 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหล
กับความลึกต้นน้ำและระยะยกของประตูบานโค้ง

EXPERIMENT no.	W (cm.)	Y1 (cm.)	Y2 (cm.)	q (cm^2/sec.)	PI1	PI2
1	2.00	11.55	1.67	237.13	0.37	0.17
2	2.00	5.68	1.73	151.72	0.58	0.35
3	2.00	7.97	1.82	188.77	0.47	0.25
4	3.00	6.01	2.64	210.94	0.77	0.50
5	3.00	10.86	2.47	304.33	0.53	0.28
6	3.00	7.15	2.38	229.92	0.71	0.42
7	4.00	11.25	3.29	397.85	0.63	0.36
8	4.00	7.02	3.59	286.70	0.87	0.57
9	4.00	8.19	3.00	316.86	0.79	0.49
10	6.00	8.55	4.89	399.89	1.15	0.70

5.2 ผลการศึกษาจากการใช้วิธี Finite element

ในการศึกษาโดยวิธี Finite element ได้ทำการศึกษาการไหลลอดผ่านประตูน้ำ 2 แบบ คือ ประตูบานยก (Sluice gate) และประตูบานโค้ง (Radial gate) โดยทำการศึกษาลักษณะการไหลลอดผ่านที่ค่าความลึกต้นน้ำ(y1) และระยะยกของประตูน้ำ(w) หลาย ๆ ชุด ผลการศึกษาแสดงได้ดังนี้

5.2.1 ผลการศึกษาการไหลผ่านประตูบานยก (Sluice gate)

ทำการศึกษาทั้งหมด 17 ชุด โดยเปลี่ยนแปลงค่าความลึกต้นน้ำ (y1) และระยะยกของประตูน้ำ (w) ซึ่งมีผลต่ออัตราการไหลผ่านประตูน้ำ (q) จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Finite element ที่พัฒนาขึ้น คือโปรแกรม sluice.exe แสดงไว้ที่ภาคผนวก ข.โดยคำนวณอัตราการไหล (q) ทุก ๆ ชุด ผลการคำนวณสรุปได้ดังตารางที่ 5.3 สำหรับตัวอย่างการใช้โปรแกรมคำนวณแสดงในภาคผนวก ข.

เมื่อนำเอาข้อมูลการคำนวณทั้งที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลการคำนวณได้จากสมการพลังงานวิธี และที่คำนวณจากวิธี Finite element มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PI1(1) คือ $(w^{3/2}\sqrt{g})/q$ และ PI2(2) คือ $w/y1$ ได้ความสัมพันธ์แสดงในรูปที่ 5.1 และแสดงความสัมพันธ์บน log-log scale แสดงในรูปที่ 5.2

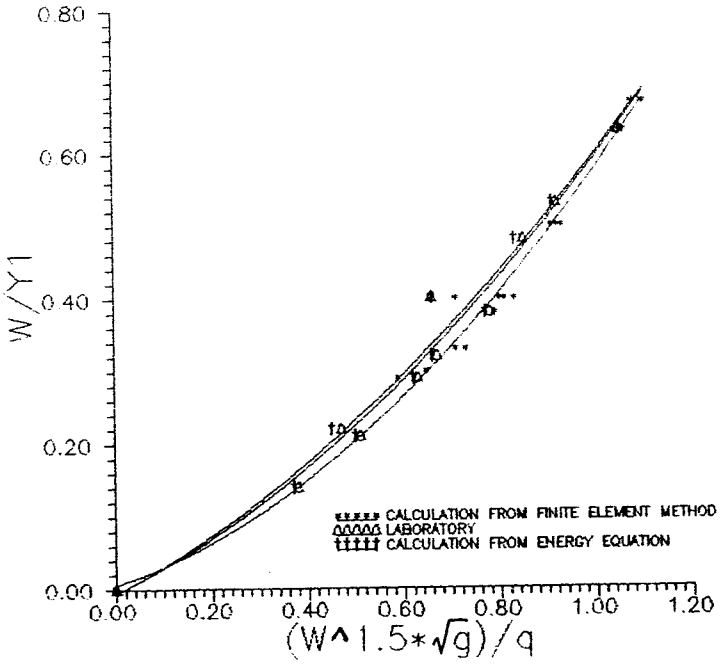
ตารางที่ 5.3 แสดงผลที่ได้จากการใช้วิธี Finite element ของการไหลผ่านประตูบานยก (Sluice gate)

RUN no. n	Y1 (cm.)	W (cm.)	q (cm^2/sec.)	PI 1	PI 2
1	5.00	2.00	124.51	0.71	0.40
2	6.00	4.00	232.54	1.08	0.67
3	6.00	4.00	232.54	1.08	0.67
4	7.00	3.50	224.44	0.91	0.50
5	7.50	5.00	318.93	1.10	0.67
6	8.00	4.00	276.28	0.91	0.50
7	8.00	5.00	329.72	1.06	0.63
8	8.50	2.50	211.06	0.59	0.29
9	10.00	3.00	251.74	0.65	0.30
10	10.00	5.00	377.22	0.93	0.50
11	10.00	4.00	314.90	0.80	0.40
12	11.00	5.50	437.12	0.92	0.50
13	12.00	4.00	352.67	0.71	0.33
14	12.00	4.50	380.72	0.79	0.38
15	12.50	5.00	432.04	0.81	0.40
16	15.00	6.00	557.81	0.83	0.40
17	15.00	5.00	481.99	0.73	0.33

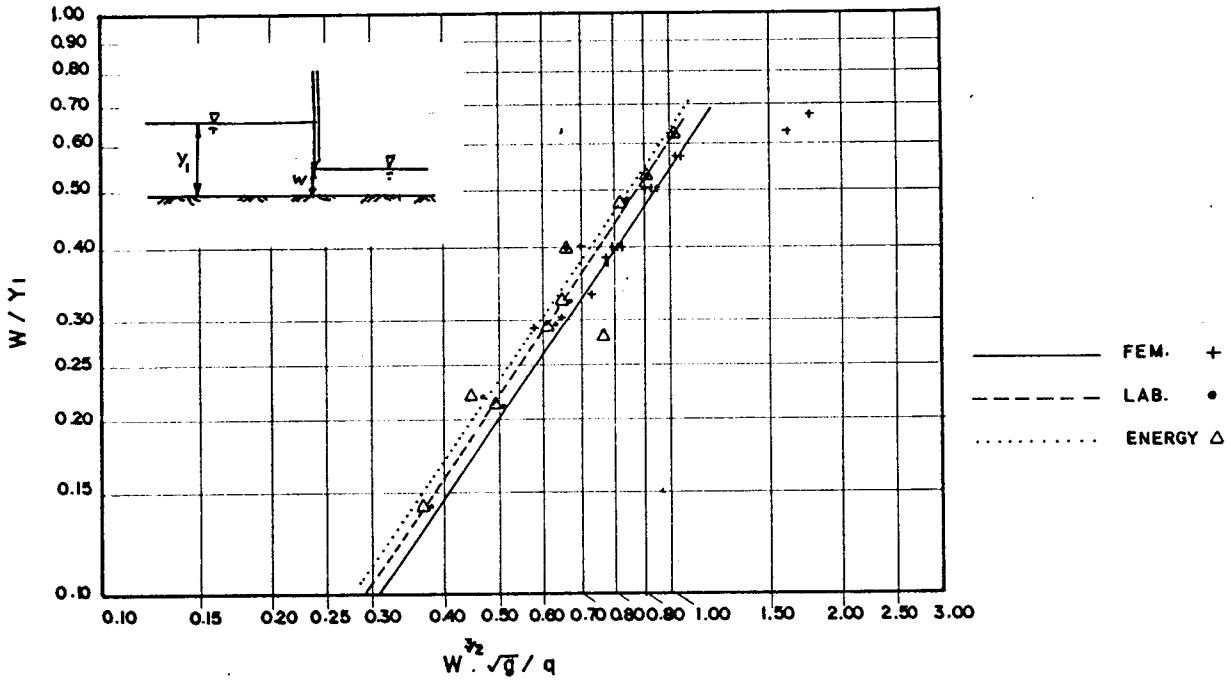
5.2.2 ผลการศึกษาการไหลผ่านประตูบานโค้ง (Radial gate)

กรณีไหลผ่านประตูบานโค้ง ได้ทำการศึกษาทั้งสิ้น 10 ชุด โดยเปลี่ยนแปลงค่าความลึกต้นน้ำ (y1) และระยะยกของประตูน้ำ (w) ซึ่งมีผลต่ออัตราการไหลผ่านประตูน้ำ (q) จากการคำนวณโดยใช้วิธี Finite element โดยคำนวณอัตราการไหล (q)ผลการคำนวณสรุปได้ดังตารางที่ 5.4

เมื่อนำเอาข้อมูลการคำนวณทั้งที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลการคำนวณได้จากสมการพลังงาน และที่คำนวณจากวิธี Finite element มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง PI1(1) คือ $(w^{3/2}\sqrt{g})/q$ และ PI2(2) คือ w/y1 ได้ความสัมพันธ์แสดงในรูปที่ 5.3 และแสดงความสัมพันธ์บน log-log scale แสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง w/y1 และ $(w^{3/2}\sqrt{g})/q$ ของการไหลผ่านประตูบานยก (Sluice gate)



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง w/y1 และ $(w^{3/2}\sqrt{g})/q$ ของการไหลผ่านประตูบานยก (Sluice gate)บน log-log scale

ห้ามยืมออก

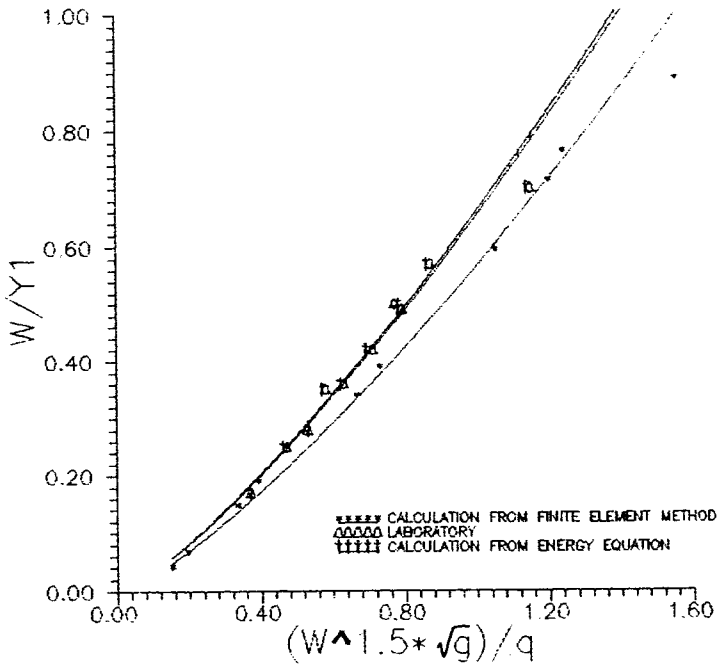
วท
TC
ก2ค1
ร.1

ท.599409 25

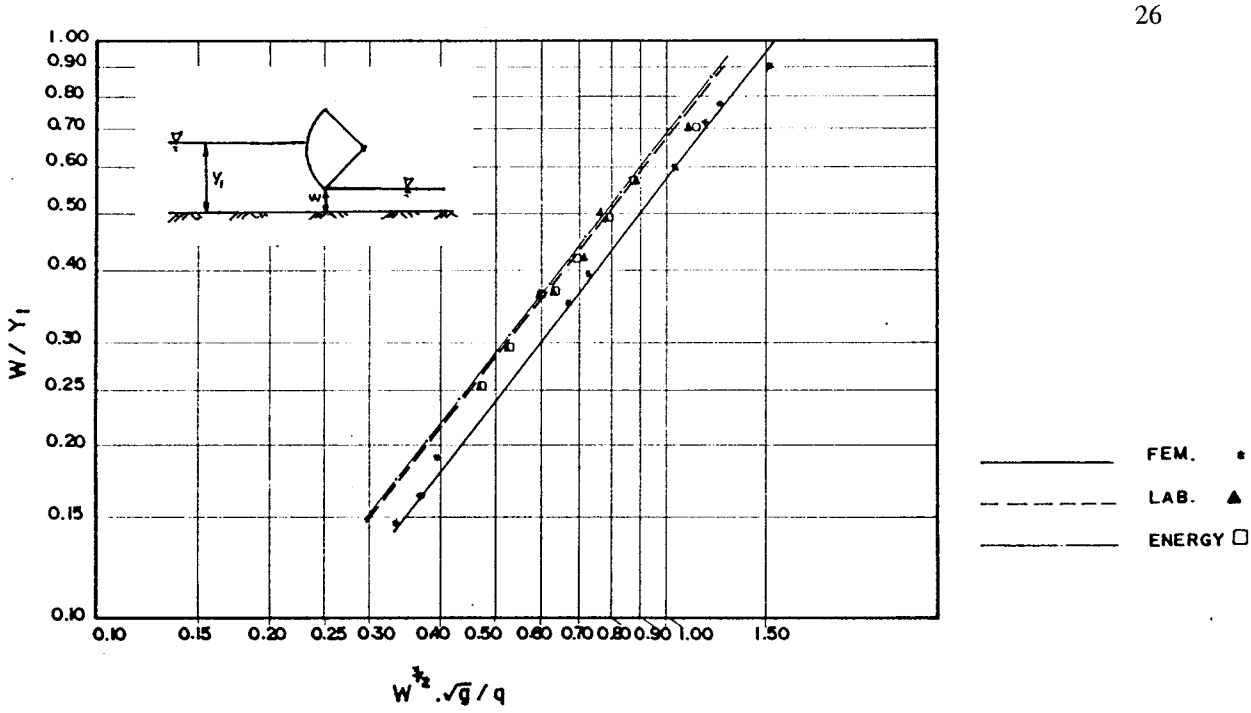
ตารางที่ 5.4 แสดงผลที่ได้จากการใช้วิธี Finite element ของการไหลผ่านประตูบานโค้ง (Radial gate)

หอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยขอนแก่น

RUN no. n	Y1 (cm)	W (cm)	q (cm^2/s)	PI 1	PI 2
1	2.5	0.170	11.29	0.195	0.068
2	3.5	0.670	43.76	0.392	0.191
3	3.5	2.500	103.07	1.201	0.714
4	3.7	1.446	74.68	0.730	0.391
5	3.7	3.290	120.33	1.553	0.889
6	4	0.170	14.55	0.151	0.043
7	4.2	2.500	117.74	1.052	0.595
8	4.3	1.464	82.98	0.669	0.341
9	4.3	3.290	150.80	1.239	0.765
10	4.5	0.670	51.46	0.334	0.149



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง w/y1 และ $(w^{3/2}\sqrt{g})/q$ ของการไหลผ่านประตูบานโค้ง (Radial gate)



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง w/y1 และ $(w^{3/2}\sqrt{g})/q$ ของการไหลผ่านประตูบานโค้ง (Radial gate)บน log-log scale

5.3 วิจารณ์ผลการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคำนวณวิธี Finite element สำหรับการไหลลอดผ่านประตูน้ำ 2 กรณี คือ ประตูบานยก (Sluice gate) และประตูบานโค้ง (Radial gate) จากการที่ใช้โปรแกรมคำนวณที่พัฒนาขึ้น คำนวณหาอัตราการไหลของการไหลลอดผ่านประตูน้ำ โดยทำการคำนวณให้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขขอบเขตการไหลของการไหลผ่านประตูบานยก และประตูบานโค้งและทำการคำนวณหลาย ๆ ชุดข้อมูล สำหรับแต่ละกรณีการเปรียบเทียบอัตราการไหลระหว่าง ข้อมูลจากทดลอง ข้อมูลที่คำนวณได้จากสมการพลังงาน และข้อมูลที่คำนวณจากวิธี Finite element แสดงในตารางที่ 5.5 และจากผลการคำนวณและการวิเคราะห์มิติแสดงผลเปรียบเทียบทั้งสามวิธีในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(w^{3/2}\sqrt{g})/q$ และ w/y1 ได้ความสัมพันธ์เป็นกราฟแสดงในรูปที่ 5.1 ถึง 5.4

จากกราฟรูปที่ 5.1 และ 5.3 แนวโน้มของกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งส่วนกราฟในรูปที่ 5.2 และ 5.4 แสดงความสัมพันธ์บน log-log scale ซึ่งกราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง เส้นกราฟที่ได้จากการทดลอง และกราฟที่จากการคำนวณโดยใช้สมการพลังงาน มีลักษณะใกล้เคียงกัน ส่วนกราฟที่ได้จากวิธี Finite element จะมีความแตกต่างจากทั้ง 2 วิธีเพียงเล็กน้อย ซึ่งจากตารางที่ 5.5 มีค่าความแตกต่างมากที่สุด คือ 11.32 %

การเปรียบเทียบผลการศึกษาครั้งนี้ เลือกใช้อัตราการไหล (q) เป็นค่าเปรียบเทียบ โดยนำผลการคำนวณจากสมการพลังงาน และผลจากการทดลองซึ่งถือเป็นค่าจริงที่ถูกต้องมาเปรียบเทียบกันทั้งสิ้น 10 ชุด แสดงในตารางที่ 5.5 และ 5.6 และแสดงตัวอย่างการคำนวณ ดังนี้

เลือกกรณีที่ 1 จากผลการทดลองในตารางที่ 5.1 ค่า y1= 9.46 cm Y2=1.98 cm และ w= 3 cm คำนวณค่า w/y1=0.32 และอัตราการไหล(q) จากการทดลองมีค่า q= 242.67 $cm^2/sec.$

และคำนวณโดยใช้สมการพลังงาน $q = \sqrt{2g\,(Y1-Y2)/((Y1/Y2)^2-1))} = 245.22$ $cm^2/sec.$

คำนวณโดยใช้วิธี Finite element จากรูปที่ 5.2 ที่ w/y1= 0.32 อ่านค่า $((w^{3/2}).g)/q$ = 0.68 จากการแทนค่า w= 3 cm g= 981 $cm/sec.^2$ จะได้ q = 239.34 $cm^2/sec.$

% ความแตกต่างระหว่างการทดลองกับวิธี Finite element

$$=|(((242.67-239.34)/242.67)\times 100)|$$

$$= 1.37\ \%$$

% ความแตกต่างระหว่างการคำนวณจากสมการพลังงานกับวิธี Finite element

$$=|(((245.22-239.34)/245.22)\times 100)|$$

$$= 2.40\ \%$$

ในตารางที่ 5.5 และ 5.6 แสดง % ความแตกต่างระหว่างผลการทดลอง ผลการคำนวณจากการใช้สมการพลังงาน และผลจากวิธี Finite element

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างผลจากการทดลอง การคำนวณจากสมการพลังงาน และวิธี Finite element ของการไหลผ่านประตูบานยก (Sluice gate)

NUMBER no.	W (cm.)	Y1 (cm.)	Y2 (cm.)	q ($cm^2/sec.$)			% Diviation	
				Eperiment	Energy eq.	Finite Elem.	FEM& Eperiment	FEM& Energy eq.
1	1.50	11.08	1.19	151.77	157.37	151.42	0.23	3.78
2	1.50	6.82	1.28	121.38	127.02	115.08	5.19	9.40
3	1.50	3.72	1.29	87.79	87.18	78.82	10.22	9.59
4	2.50	11.63	1.83	242.67	247.77	247.61	2.04	0.06
5	3.00	9.46	2.08	242.67	245.22	239.34	1.37	2.40
6	3.50	7.28	2.37	242.67	245.91	233.05	3.96	5.23
7	3.50	11.87	2.46	326.74	330.21	325.53	0.37	1.42
8	4.50	8.46	3.11	326.74	330.16	321.49	1.61	2.63
9	4.50	11.84	2.91	384.95	387.50	388.30	0.87	0.21
10	5.50	8.69	3.60	384.95	383.98	384.76	0.05	0.20

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างผลจากการทดลอง การคำนวณจากสมการพลังงาน และวิธี Finite elementของการไหลผ่านประตูบานโค้ง (Radial gate)

NUMBER no.	W (cm.)	Y1 (cm.)	Y2 (cm.)	q (cm^2/sec.)			% Diviation	
				Eperiment	Energy eq.	Finite Elem.	FEM& Eperiment	FEM& Energy eq.
1	2.00	11.55	1.67	237.13	240.25	253.11	6.74	5.36
2	2.00	5.68	1.73	151.72	156.62	147.65	2.68	5.73
3	2.00	7.97	1.82	188.77	194.03	184.56	2.23	4.88
4	3.00	6.01	2.64	210.94	207.61	187.07	11.32	9.89
5	3.00	10.86	2.47	304.33	307.40	295.91	2.77	3.74
6	3.00	7.15	2.38	229.92	234.24	229.22	0.30	2.14
7	4.00	11.25	3.29	397.85	403.09	397.73	0.03	1.33
8	4.00	7.02	3.59	286.70	291.35	269.43	6.02	7.52
9	4.00	8.19	3.00	316.86	320.64	305.57	3.56	4.70
10	6.00	8.55	4.89	399.89	402.19	400.28	0.10	0.48

จากตารางที่5.5 สำหรับการไหลผ่านประตูบานยก จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการไหล (q) ที่ได้ทำการทดลอง 10 ครั้งในห้องปฏิบัติการ การคำนวณโดยใช้สมการพลังงานและค่าที่ได้จากการใช้กราฟในรูปที่ 5.2 ซึ่งได้จากโปรแกรมคำนวณโดยวิธี Finite element มีค่าใกล้เคียงกัน คือ เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ได้จากวิธี Finite element กับค่าที่วัดได้จากการทดลอง มีความแตกต่างที่มากที่สุด 10.22 % และความแตกต่างที่น้อยที่สุด 0.05 % และเมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลระหว่างวิธี Finite element กับค่าที่คำนวณได้สมการพลังงาน ปรากฏว่ามีค่าความแตกต่างมากที่สุด 9.59 % และมีค่าความแตกต่างน้อยที่สุด 0.20 %

เช่นดียวกันกับการไหลผ่านประตูบานโค้ง จากตารางที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการไหล (q) ที่ได้จากการทดลองซึ่งได้ทำการทดลอง 10 ครั้ง ในห้องปฏิบัติการ การคำนวณโดยใช้สมการพลังงานและค่าที่ได้จากการใช้กราฟในรูปที่ 5.4 ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณโดยวิธี Finite element มีค่าใกล้เคียงกัน คือ เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ได้จากวิธีFinite element กับค่าที่วัดได้จากการทดลอง มีความแตกต่างที่มากที่สุด 11.32 % และความแตกต่างที่น้อยที่สุด 0.10 % และเมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลระหว่างวิธี Finite element กับค่าที่คำนวณได้สมการพลังงาน ปรากฏว่ามีค่าความแตกต่างมากที่สุด 9.89 %และมีค่าความแตกต่างน้อยที่สุด 0.48 %

เนื่องจากสมมติฐานทางทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาของไหลสมมติ (Idial fluid flow)โดยการศึกษาในลักษณะ 2-D potential flow โดยไม่คิดความฝืดในการไหล และทำการพัฒนาโปรแกรมคำนวณวิธี Finite element เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาสภาพการไหลผ่านประตูน้ำ ดังนั้นผลการศึกษาจึงมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ในการเปรียบเทียบกับสิ่งที่เป็นจริง การคำนวณได้

นวณได้สมมติ free stream surface ขึ้นแล้วใช้วิธี Finite element คำนวณหาลักษณะการไหล จากเปลี่ยนแปลงค่า free stream surface จนกระทั่งเป็นจริงตามเงื่อนไขขอบเขตการไหล ซึ่งจะทำให้ได้ค่าอัตราการไหลที่ถูกต้อง การแบ่งขอบเขตของปัญหาโดยให้มี element ที่ละเอียดเพิ่มขึ้นและการปรับเทียบ free stream surface ให้ใกล้เคียงกับเงื่อนไขขอบเขตการไหลให้มากที่สุด จึงจะได้ค่าอัตราการไหลที่ถูกต้องที่สุด

การทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ สิ่งที่ทำให้ผลการศึกษาเกิดความผิดพลาดซึ่งได้แก่

1) ความผิดพลาดเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ความฝืดที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของวัสดุที่นำมาสร้างเป็นรางน้ำกับน้ำ ความละเอียดของสเกลที่ใช้วัดค่าต่าง ๆ ในการทดลอง เช่น เครื่องมือวัดระดับน้ำ (point gauge) เครื่องมือวัดระยะยกของประตูน้ำ นาฬิกาจับเวลา และความผิดพลาดที่เกิดจากระบบคานและน้ำหนักถ่วงที่ใช้วัดอัตราการไหล อีกทั้งความสม่ำเสมอของเครื่องสูบน้ำที่จะทำให้เกิดสภาพการไหลให้ใกล้เคียงกับทางทฤษฎี

2) ความผิดพลาดที่เกิดจากผู้ทำการทดลอง คือ ความละเอียดและแม่นยำในการอ่านค่าเวลา ค่าระดับหรือระยะต่าง ๆ ความละเอียดในการควบคุมสภาพการไหลให้เป็นไปตามสมมติฐานของการไหล

จากสาเหตุดังกล่าว ในการทำการทดลองศึกษาครั้งนี้จึงได้พยายามควบคุมการทดลอง เพื่อให้การทดลองเกิดความผิดพลาดให้น้อยที่สุด เพื่อนำผลที่ได้มาใช้เป็นค่าที่ถือว่าถูกต้องตามความเป็นจริง ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Finite element จากการแสดงตัวอย่างการคำนวณข้างต้น ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราไหล มีเพียงความลึกที่ต้นน้ำ (y1) และระยะยกของประตูน้ำ (w) ก็สามารถใช้กราฟในรูปที่ 5.1-5.4 โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปราศจากมิติ 2 พจน์ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราการไหลได้อย่างสะดวกและถูกต้อง ดังที่ได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 5.5 และ 5.6 ดังนั้นในการใช้งานของประตูน้ำบานยกในสนามเมื่อรู้ค่าของความลึกที่ต้นน้ำ (y1) และระยะยกของประตูน้ำ (w) ก็สามารถใช้กราฟในรูปที่ 5.10-5.4 คำนวณหาค่าอัตราการไหล (q) ได้เช่นกัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการทำงานที่เกี่ยวการกำหนดจำนวนและระยะของการเปิดประตูน้ำของเขื่อนหรือฝาย เพื่อกำหนดการปล่อยน้ำให้ได้ตามความต้องการ