

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองศึกษาการกัดเซาะรอบตอม่อสะพานที่เรียงเป็นต้นนี้ ได้ทำการทดลองทั้งสิ้น 10 กรณีด้วยกัน และนำผลการทดลองมาคำนวณ วิเคราะห์ผลการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหลุมกัดเซาะกับตัวแปรต่าง ๆ ดังรายละเอียดตาราง 4 - 1 ถึง 4 - 10 จากข้อมูลดังกล่าว นำไปสร้างกราฟหาความสัมพันธ์ ดังรูป 4 - 1 ถึง 4 - 14

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของตอม่อกับความลึกหลุมกัดเซาะ

จากการศึกษาที่ผ่านมา ลักษณะของตอม่อมีอิทธิพลต่อความลึกหลุมกัดเซาะ ไม่ว่าจะเป็นรูปร่างของตอม่อ (shape of pier) ขนาดของตอม่อ (size of pier) และความยาวของตอม่อ (length of pier) ในกรณีที่เป็นตอม่อเดี่ยว (single pier) แต่จากการศึกษาครั้งนี้มุ่งพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างตอม่อที่วางเรียงกันเป็นต้นต่อหลุมกัดเซาะว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยนำตอม่อมาวางเรียงกันจำนวน 3 ตัว ที่ระยะห่างเท่ากับ 1D 2D และ 3D ตามลำดับ เมื่อ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตอม่อ และกำหนดทรายขนาดสม่ำเสมอ 3 ขนาดเป็นวัสดุท้องน้ำ วางท่ามุมในแนวทิศทางการไหล เมื่อพิจารณารูป 4-1 ก. การทดลองโดยใช้ทราย $d_{50} = 0.36$ มม. เป็นวัสดุท้องน้ำ พบว่าในสภาวะเงื่อนไข clear-water การวางตอม่อห่างกันเท่ากับ 1D 2D และ 3D ค่าความลึกหลุมกัดเซาะรอบตอม่อตัวแรกมีขนาดใกล้เคียงกันมาก จากรูปสังเกตได้ว่า ค่าความลึกการไหลมีแนวโน้มไปในทางที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อขนาดตอม่อเท่าเดิม ความลึกหลุมกัดเซาะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แสดงว่า เมื่อความลึกการไหลมาก มีอิทธิพลต่อความลึกหลุมกัดเซาะเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ในขณะเดียวกัน เมื่อความลึกการไหลมีค่าน้อย อัตราการเปลี่ยนแปลงหลุมกัดเซาะได้เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดเจน สังเกตจากรูป เส้นกราฟจะเริ่มชันมากขึ้น ในช่วงค่า y/D น้อยกว่า 2 แสดงว่าที่ค่าความลึกการไหลค่อนข้างต่ำ ส่งผลกระทบต่อความลึกหลุมกัดเซาะมากกว่าค่าความลึกการไหลมาก ส่วนเมื่อวางตอม่อระยะห่างเท่ากับ 3D นั้น ค่าความลึกหลุมกัดเซาะที่ความลึกการไหลมากใกล้เคียงกับการวางตอม่อเท่ากับ 1D และ 2D ยกเว้น ช่วงที่ค่า y/D น้อย ความลึกหลุมกัดเซาะน้อยกว่าการวางตอม่อ 1D และ 2D สาเหตุดังกล่าว อาจเกิดเนื่องมาจากการวางตอม่อชิดกันมาก ๆ ทำให้รูปแบบการไหล (flow pattern) เกิดการเปลี่ยนแปลง กระแสน้ำเกิดการปั่นป่วนมาก จนส่งผลกระทบต่อตอม่อตัวแรก แต่เมื่อวางตอม่อห่างกันมากขึ้น ทำให้ความรุนแรง ปั่นป่วนของกระแสน้ำลดลง ทำให้ส่งผลกระทบต่อตอม่อตัวแรกลดน้อยลงตามไปด้วย

สำหรับสภาวะเงื่อนไข live-bed นั้น เมื่อวางตอม่อห่างกัน 1D 2D และ 3D และเมื่อพิจารณาความลึกการไหล ขนาดตอม่อ ระยะห่างของตอม่อ ค่าความลึกหลุมกัดเซาะมีความไม่แน่นอน ชัดเจน ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่า ในสภาวะเงื่อนไข live-bed วัสดุท้องน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และเกิดการเคลื่อนที่ของวัสดุท้องน้ำอย่างต่อเนื่อง เมื่อวัสดุท้องน้ำเคลื่อนที่ จึงมีผลทำให้ลักษณะท้องน้ำ

ตาราง 4 - 1 ผลการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในกรณี case A

สภาวะ clear-water วัสดุท้องน้ำ $d_{50} = 1.20$ มม. มุมการไหลปะทะตอมือ 0 องศา

Run No.	Q (l/s)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.)			d_s/y	y/D	y/ d_{50}	Fr
				pier no.1	pier no.2	pier no.3				
A1-1	4.0	3.1	21.3	4.0	1.5	1.0	1.29	0.65	26	0.39
A1-2	4.0	2.9	22.6	4.1	1.0	1.5	1.40	0.61	24	0.42
A1-3	4.0	3.4	19.4	2.2	1.2	1.0	0.65	0.71	28	0.34
A2-1	9.5	4.9	32.1	4.7	3.8	4.5	0.96	1.03	41	0.46
A2-2	9.5	4.9	32.2	5.8	4.7	3.5	1.18	1.02	41	0.47
A2-3	9.5	6.0	26.2	4.1	2.4	2.0	0.68	1.25	50	0.34
A3-1	5.8	3.2	30.6	5.0	2.8	2.7	1.57	0.66	27	0.55
A3-2	5.8	3.3	29.7	5.0	3.0	1.8	1.53	0.68	27	0.52
A3-3	5.8	3.8	25.6	4.0	2.2	1.2	1.05	0.79	32	0.42
A4-1	16.5	6.8	40.6	5.8	4.6	4.5	0.86	1.41	57	0.50
A4-2	16.5	7.2	38.1	6.2	5.0	4.3	0.86	1.51	60	0.45
A4-3	16.5	8.5	32.6	3.7	3.7	2.8	0.44	1.76	70	0.36
A5-1	12.1	5.8	34.9	6.2	5.4	5.0	1.07	1.20	48	0.46
A5-2	12.1	5.6	36.0	6.0	5.0	4.4	1.07	1.17	47	0.49
A5-3	12.1	6.8	29.8	4.1	2.0	2.2	0.61	1.41	56	0.37
A6-1	19.9	8.9	37.1	6.3	5.2	4.5	0.71	1.86	74	0.40
A6-2	19.9	9.1	36.3	6.5	5.5	4.3	0.71	1.90	76	0.38
A6-3	19.9	10.4	32.0	4.8	2.7	2.2	0.46	2.16	86	0.32
A7-1	23.3	12.1	32.0	6.5	5.3	4.2	0.54	2.52	101	0.29
A7-2	23.3	12.3	31.4	5.8	4.5	3.3	0.47	2.57	103	0.29
A7-3	23.3	13.4	29.0	4.4	2.5	2.0	0.33	2.79	112	0.25
A8-1	33.2	20.7	26.7	4.0	3.2	1.3	0.19	4.31	173	0.19
A8-2	33.2	19.7	28.1	3.8	2.2	1.2	0.19	4.09	164	0.20
A8-3	33.2	19.1	29.0	2.2	1.3	1.6	0.12	3.97	159	0.21
A9-1	40.6	19.4	34.8	6.3	5.0	3.4	0.32	4.05	162	0.25
A9-2	40.6	18.5	36.6	6.5	5.5	4.2	0.35	3.85	154	0.27
A9-3	40.6	18.3	37.1	5.6	4.0	2.4	0.31	3.80	152	0.28
A10-1	46.2	24.5	31.4	4.3	3.8	2.1	0.18	5.10	204	0.20
A10-2	46.2	23.6	32.6	5.8	4.3	2.2	0.25	4.91	196	0.21
A10-3	46.2	23.0	33.5	5.0	3.0	1.4	0.22	4.78	191	0.22
A11-1	57.1	26.9	35.4	7.8	6.1	4.1	0.29	5.59	224	0.22
A11-2	57.1	25.9	36.8	6.8	5.1	3.3	0.28	5.39	216	0.23
A11-3	57.1	25.2	37.7	6.2	4.7	2.5	0.25	5.26	210	0.24

ตาราง 4-2 ผลการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในกรณี case B

สภาวะ clear-water วัสดุท้องน้ำ $d_{50} = 1.20$ มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 20 องศา

Run No.	Q (l/s)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.)			d_g/y	y/D	y/ d_{50}	Fr
				pier no.1	pier no.2	pier no.3				
B1-1	10.0	4.2	39.4	6.4	6.0	5.5	1.51	0.88	35	0.61
B1-2	10.0	4.6	36.1	6.0	5.0	4.0	1.30	0.96	39	0.54
B1-3	10.0	5.4	30.8	6.0	5.0	4.5	1.11	1.13	45	0.42
B2-1	5.8	2.9	33.5	4.5	4.6	4.5	1.55	0.60	24	0.63
B2-2	5.8	3.0	32.4	4.0	4.2	4.0	1.33	0.63	25	0.60
B2-3	5.8	3.8	25.6	4.5	4.0	3.5	1.18	0.79	32	0.42
B3-1	16.5	6.6	41.9	7.5	5.7	5.0	1.14	1.37	55	0.52
B3-2	16.5	7.2	38.4	7.0	5.5	5.0	0.98	1.49	60	0.46
B3-3	16.5	7.7	35.9	6.5	5.7	5.0	0.85	1.60	64	0.41
B4-1	24.8	14.6	28.4	6.0	4.5	3.5	0.41	3.03	121	0.24
B4-2	24.8	14.0	29.4	5.0	4.0	3.5	0.36	2.92	117	0.25
B4-3	24.8	14.2	29.1	4.7	4.0	4.0	0.33	2.95	118	0.25
B5-1	32.5	15.7	34.4	7.3	6.7	5.0	0.46	3.28	131	0.28
B5-2	32.5	15.8	34.3	6.5	6.2	5.0	0.41	3.28	131	0.28
B5-3	32.5	16.9	32.0	6.8	6.5	6.0	0.40	3.53	141	0.25
B6-1	43.5	20.4	35.6	7.5	7.3	6.0	0.37	4.25	170	0.25
B6-2	43.5	20.1	36.1	6.8	7.0	6.0	0.34	4.18	167	0.26
B6-3	43.5	20.2	35.9	7.0	7.0	6.3	0.35	4.21	168	0.26
B7-1	55.6	23.1	40.1	8.0	7.6	7.0	0.35	4.81	192	0.27
B7-2	55.6	22.9	40.5	7.0	8.0	7.2	0.31	4.76	190	0.27
B7-3	55.6	23.7	39.1	7.5	8.5	8.0	0.32	4.93	197	0.26

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4 - 3 ผลการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในกรณี case C

สภาวะ clear-water วัสดุท้องน้ำ $d_{50} = 1.20$ มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 40 องศา

Run No.	Q (l/s)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.)			d_s/y	y/D	y/ d_{50}	Fr
				pier no.1	pier no.2	pier no.3				
C1-1	9.7	4.5	36.0	5.3	5.5	5.2	1.19	0.93	37	0.54
C1-2	9.7	4.5	35.5	5.0	5.2	5.0	1.10	0.94	38	0.53
C1-3	9.7	5.0	32.4	4.0	5.0	4.3	0.80	1.04	41	0.46
C2-1	6.5	3.1	34.8	4.2	4.2	4.0	1.35	0.65	26	0.63
C2-2	6.5	3.1	34.7	4.2	4.5	4.4	1.34	0.65	26	0.63
C2-3	6.5	3.9	28.2	4.0	4.2	3.5	1.04	0.80	32	0.46
C3-1	16.1	6.8	39.6	6.7	7.2	7.5	0.99	1.41	56	0.49
C3-2	16.1	6.9	38.9	4.6	5.2	5.5	0.67	1.43	57	0.47
C3-3	16.1	6.8	39.6	4.0	5.4	4.5	0.59	1.41	56	0.49
C4-1	23.6	12.9	30.4	7.4	7.4	7.4	0.57	2.69	108	0.27
C4-2	23.6	12.1	32.8	6.5	6.0	5.5	0.54	2.51	100	0.30
C4-3	23.6	12.0	32.7	5.5	4.8	5.5	0.46	2.50	100	0.30
C5-1	32.1	17.2	31.1	6.2	5.6	5.7	0.36	3.58	143	0.24
C5-2	32.1	16.2	33.1	6.2	5.8	5.7	0.38	3.37	135	0.26
C5-3	32.1	16.3	32.8	6.0	5.3	6.0	0.37	3.40	136	0.26
C6-1	44.0	20.9	35.1	8.2	8.2	8.2	0.39	4.35	174	0.25
C6-2	44.0	20.0	36.7	8.5	8.5	8.0	0.43	4.16	167	0.26
C6-3	44.0	20.0	36.6	7.0	6.7	5.7	0.35	4.17	167	0.26
C7-1	55.6	29.2	31.7	7.7	7.2	7.4	0.26	6.09	244	0.19
C7-2	55.6	28.3	32.7	7.0	7.0	6.5	0.25	5.90	236	0.20
C7-3	55.6	28.7	32.3	6.2	5.6	5.3	0.22	5.97	239	0.19

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4 - 4 ผลการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในกรณี case D

สภาวะ clear-water วัสดุท้องน้ำ $d_{50} = 2.20$ มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 0 องศา

Run No.	Q (l/s)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.)			d_s/y	y/D	y/ d_{50}	Fr
				pier no.1	pier no.2	pier no.3				
D1-1	12.3	4.9	41.9	3.8	3.0	2.1	0.78	1.02	22	0.60
D1-2	12.3	4.4	46.9	2.5	1.4	0.5	0.57	0.91	20	0.72
D1-3	12.3	4.6	44.4	4.8	3.0	2.7	1.04	0.96	21	0.66
D2-1	15.8	5.7	46.1	4.8	4.0	3.0	0.84	1.19	26	0.62
D2-2	15.8	5.8	45.7	4.4	2.3	1.8	0.76	1.20	26	0.61
D2-3	15.8	5.8	45.6	4.8	3.0	2.5	0.83	1.20	26	0.61
D3-1	23.9	9.1	43.9	3.5	2.7	1.7	0.39	1.89	41	0.47
D3-2	23.9	9.8	40.8	2.2	1.2	1.5	0.23	2.03	44	0.42
D3-3	23.9	10.8	36.7	1.8	1.5	1.5	0.17	2.26	49	0.36
D4-1	33.9	12.4	45.6	4.0	2.5	1.8	0.32	2.58	56	0.41
D4-2	33.9	12.7	44.6	3.2	1.8	1.5	0.25	2.64	58	0.40
D4-3	33.9	13.7	41.4	3.3	1.5	1.7	0.24	2.84	62	0.36
D5-1	41.8	14.2	49.3	5.8	4.0	3.0	0.41	2.95	64	0.42
D5-2	41.8	14.7	47.6	5.5	3.0	2.2	0.38	3.05	67	0.40
D5-3	41.8	15.7	44.3	4.8	3.0	2.0	0.31	3.28	72	0.36
D6-1	46.2	16.1	47.9	5.8	4.0	2.8	0.36	3.35	73	0.38
D6-2	46.2	16.3	47.3	5.8	3.7	2.5	0.36	3.39	74	0.37
D6-3	46.2	17.3	44.5	5.8	3.7	2.5	0.34	3.60	79	0.34
D7-1	58.1	20.5	47.3	4.5	3.5	2.5	0.22	4.26	93	0.33
D7-2	58.1	21.3	45.5	5.7	3.7	2.3	0.27	4.43	97	0.32
D7-3	58.1	22.1	43.9	4.7	2.5	1.8	0.21	4.60	100	0.30
D8-1	63.3	20.8	50.8	7.0	5.0	4.0	0.34	4.33	94	0.36
D8-2	63.3	22.0	48.0	7.4	5.0	3.8	0.34	4.58	100	0.33
D8-3	63.3	22.9	46.1	6.5	4.1	3.0	0.28	4.77	104	0.31
D9-1	73.4	23.9	51.2	6.8	5.0	4.0	0.28	4.98	109	0.33
D9-2	73.4	25.0	49.0	7.0	5.2	4.0	0.28	5.21	114	0.31
D9-3	73.4	25.7	47.7	6.7	4.7	3.5	0.26	5.35	117	0.30

ตาราง 4 - 5 ผลการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ไนกรณี case E

สภาวะ clear-water วัสดุท้องน้ำ $d_{50} = 0.36$ มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 0 องศา

Run No.	Q (l/s)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.)			d_s/y	y/D	y/ d_{50}	Fr
				pier no.1	pier no.2	pier no.3				
E1-1	4.4	3.5	21.2	3.0	2.3	1.0	0.87	0.72	96	0.36
E1-2	4.4	4.0	18.5	3.3	1.8	0.1	0.84	0.82	110	0.30
E1-3	4.4	4.4	16.6	2.7	0.1	0.7	0.61	0.92	122	0.25
E2-1	5.8	5.0	19.6	3.5	3.2	1.5	0.70	1.04	138	0.28
E2-2	5.8	5.0	19.4	3.2	2.2	1.2	0.64	1.05	139	0.28
E2-3	5.8	4.8	20.5	3.0	1.0	0.2	0.63	0.99	132	0.30
E3-1	11.5	7.7	25.0	5.0	4.5	3.2	0.65	1.60	213	0.29
E3-2	11.5	8.1	23.7	5.0	3.4	2.3	0.62	1.68	224	0.27
E3-3	11.5	8.7	22.0	3.0	1.0	1.3	0.34	1.82	242	0.24
E4-1	12.7	7.5	28.2	5.0	4.5	3.2	0.66	1.57	209	0.33
E4-2	12.7	8.7	24.3	5.0	4.0	2.5	0.57	1.82	242	0.26
E4-3	12.7	9.4	22.7	3.0	1.2	1.5	0.32	1.95	260	0.24
E5-1	14.7	11.5	21.3	4.0	3.0	1.5	0.35	2.40	319	0.20
E5-2	14.7	12.0	20.4	2.3	1.5	1.0	0.19	2.50	333	0.19
E5-3	14.7	13.0	18.8	1.4	1.0	1.2	0.11	2.71	362	0.17
E6-1	18.3	14.8	20.6	3.5	2.5	0.6	0.24	3.09	412	0.17
E6-2	18.3	15.4	19.7	2.7	1.3	0.8	0.17	3.21	429	0.16
E6-3	18.3	16.5	18.5	2.0	0.5	1.0	0.12	3.43	458	0.15
E7-1	21.2	17.2	20.6	3.0	1.5	0.1	0.17	3.58	477	0.16
E7-2	21.2	17.9	19.8	3.0	1.3	1.0	0.17	3.72	496	0.15
E7-3	21.2	18.8	18.8	2.0	1.0	1.2	0.11	3.92	523	0.14
E8-1	26.3	17.0	25.8	5.3	3.6	2.0	0.31	3.55	473	0.20
E8-2	26.3	17.7	24.8	5.0	3.4	2.0	0.28	3.68	491	0.19
E8-3	26.3	18.6	23.6	3.5	2.0	1.5	0.19	3.88	517	0.17
E9-1	35.8	25.9	23.1	5.0	3.2	1.0	0.19	5.39	719	0.14
E9-2	35.8	26.6	22.5	4.5	3.2	1.0	0.17	5.54	738	0.14
E9-3	35.8	27.8	21.5	3.2	1.3	1.3	0.12	5.79	772	0.13

ตาราง 4 - 6 ผลการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในกรณี case AS

สภาวะ live-bed วัสดุท้องน้ำ $d_{50} = 1.20$ มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 0 องศา

Run No.	q_{sin} (kg/s)	q_{sout} (kg/s)	Q (l/s)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.)			d_s/y	y/D	y/ d_{50}	Fr
						pier no.1	pier no.2	pier no.3				
AS1-1	0.020	0.015	23.0	7.0	54.7	4.4	2.8	3.3	0.63	1.46	58	0.66
AS1-2	0.020	0.015	23.0	7.5	51.2	4.5	2.5	2.7	0.60	1.56	62	0.60
AS1-3	0.020	0.015	23.0	8.1	47.4	5.0	5.0	4.4	0.62	1.68	67	0.53
AS2-1	0.022	0.016	25.4	8.0	53.2	4.0	3.0	2.3	0.50	1.66	66	0.60
AS2-2	0.022	0.016	25.4	8.3	50.9	2.5	1.3	1.0	0.30	1.73	69	0.56
AS2-3	0.022	0.016	25.4	7.9	53.8	5.5	4.0	2.5	0.70	1.64	66	0.61
AS3-1	0.025	0.027	30.3	10.7	47.2	4.3	2.5	2.5	0.40	2.23	89	0.46
AS3-2	0.025	0.027	30.3	9.6	52.5	4.0	3.7	2.5	0.42	2.01	80	0.54
AS3-3	0.025	0.027	30.3	9.0	56.2	5.4	3.6	3.0	0.60	1.88	75	0.60
AS4-1	0.035	0.028	34.3	11.3	50.7	5.0	4.0	3.0	0.44	2.35	94	0.48
AS4-2	0.035	0.028	34.3	11.1	51.4	7.0	4.0	3.0	0.63	2.32	93	0.49
AS4-3	0.035	0.028	34.3	9.6	59.4	6.0	5.0	3.3	0.62	2.01	80	0.61
AS5-1	0.042	0.033	37.8	11.6	54.3	5.0	4.0	3.0	0.43	2.41	97	0.51
AS5-2	0.042	0.033	37.8	12.7	49.5	7.0	6.0	5.0	0.55	2.65	106	0.44
AS5-3	0.042	0.033	37.8	11.2	56.4	6.2	5.0	4.0	0.56	2.33	93	0.54
AS6-1	0.070	0.057	44.8	12.9	57.8	5.0	4.5	3.0	0.39	2.69	108	0.51
AS6-2	0.070	0.057	44.8	10.8	69.4	7.0	4.0	4.0	0.65	2.24	90	0.67
AS6-3	0.070	0.057	44.8	11.1	67.1	6.0	5.0	5.0	0.54	2.32	93	0.64
AS7-1	0.086	0.069	55.1	13.4	68.5	6.0	4.0	3.0	0.45	2.79	112	0.60
AS7-2	0.086	0.069	55.1	13.2	69.8	7.0	5.0	4.0	0.53	2.74	110	0.61
AS7-3	0.086	0.069	55.1	12.6	73.0	6.0	5.0	4.0	0.48	2.62	105	0.66

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4 - 7 ผลการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในกรณี case BS

สภาวะ live-bed วัสดุท้องน้ำ $d_{50} = 1.20$ มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 20 องศา

Run No.	q_{sin} (kg/s)	q_{sout} (kg/s)	Q (l/s)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.)			d_s/y pier no.1	y/D	y/ d_{50}	Fr
						pier no.1	pier no.2	pier no.3				
BS1-1	0.020	0.024	22.4	6.7	55.8	4.5	4.5	4.5	0.67	1.39	56	0.69
BS1-2	0.020	0.024	22.4	7.8	48.0	6.5	6.5	6.5	0.84	1.62	65	0.55
BS1-3	0.020	0.024	22.4	7.3	51.4	5.5	5.8	5.8	0.76	1.51	60	0.61
BS2-1	0.025	0.025	26.3	7.5	58.3	6.0	6.0	6.0	0.80	1.57	63	0.68
BS2-2	0.025	0.025	26.3	8.0	54.7	6.0	7.0	7.0	0.75	1.67	67	0.62
BS2-3	0.025	0.025	26.3	8.0	55.0	6.0	7.0	8.0	0.75	1.66	67	0.62
BS3-1	0.035	0.040	30.3	7.9	64.2	7.0	7.0	7.0	0.89	1.64	66	0.73
BS3-2	0.035	0.040	30.3	9.0	56.4	9.0	9.0	9.0	1.00	1.87	75	0.60
BS3-3	0.035	0.040	30.3	8.8	57.3	8.0	8.0	8.0	0.91	1.84	74	0.62
BS4-1	0.042	0.048	34.7	8.6	67.0	7.0	7.0	7.0	0.81	1.80	72	0.73
BS4-2	0.042	0.048	34.7	10.0	57.9	9.0	9.0	8.0	0.90	2.08	83	0.59
BS4-3	0.042	0.048	34.7	10.2	56.5	9.0	9.0	9.0	0.88	2.13	85	0.56
BS5-1	0.053	0.049	37.0	8.7	70.6	8.0	8.0	8.0	0.92	1.82	73	0.76
BS5-2	0.053	0.049	37.0	11.4	54.1	9.0	9.0	8.0	0.79	2.37	95	0.51
BS5-3	0.053	0.049	37.0	10.4	59.5	9.0	9.0	9.0	0.87	2.16	86	0.59
BS6-1	0.070	0.061	45.7	10.6	71.7	9.0	9.0	9.0	0.85	2.21	89	0.70
BS6-2	0.070	0.061	45.7	13.8	55.3	9.0	8.0	9.0	0.65	2.87	115	0.48
BS6-3	0.070	0.061	45.7	11.7	65.3	9.0	9.0	9.0	0.77	2.43	97	0.61
BS7-1	0.086	0.085	57.1	12.7	74.8	7.0	7.0	7.0	0.55	2.65	106	0.67
BS7-2	0.086	0.085	57.1	14.4	66.0	8.0	8.0	8.0	0.55	3.00	120	0.55
BS7-3	0.086	0.085	57.1	15.3	62.2	9.0	9.0	9.0	0.59	3.19	128	0.51

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4 - 8 ผลการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในกรณี case CS

สภาวะ live-bed วัสดุท้องน้ำ $d_{50} = 1.20$ มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 40 องศา

Run No.	q_{sin} (kg/s)	q_{sout} (kg/s)	Q (l/s)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.)			d_s/y pier no.1	y/D	y/ d_{50}	Fr
						pier no.1	pier no.2	pier no.3				
CS1-1	0.020	0.019	22.4	7.2	51.8	3.3	5.0	5.2	0.46	1.50	60	0.62
CS1-2	0.020	0.019	22.4	7.9	47.3	4.5	5.6	6.2	0.57	1.64	66	0.54
CS1-3	0.020	0.019	22.4	8.6	43.4	5.5	6.1	6.0	0.64	1.79	72	0.47
CS2-1	0.025	0.022	26.3	8.6	50.9	2.5	3.5	4.5	0.29	1.80	72	0.55
CS2-2	0.025	0.022	26.3	9.3	47.1	6.3	6.8	6.8	0.68	1.94	78	0.49
CS2-3	0.025	0.022	26.3	9.7	45.5	3.0	6.3	6.0	0.31	2.01	80	0.47
CS3-1	0.035	0.034	29.6	7.6	65.3	7.0	7.0	7.0	0.92	1.58	63	0.76
CS3-2	0.035	0.034	29.6	11.1	44.4	6.5	7.5	6.5	0.58	2.32	93	0.42
CS3-3	0.035	0.034	29.6	9.1	54.5	7.0	8.0	8.0	0.77	1.89	76	0.58
CS4-1	0.042	0.039	34.3	9.8	58.4	6.5	6.5	6.5	0.66	2.04	82	0.60
CS4-2	0.042	0.039	34.3	10.6	54.0	6.5	7.5	8.5	0.61	2.20	88	0.53
CS4-3	0.042	0.039	34.3	10.9	52.3	4.8	7.5	9.5	0.44	2.28	91	0.51
CS5-1	0.053	0.047	37.8	9.6	65.4	9.0	9.0	9.0	0.94	2.00	80	0.67
CS5-2	0.053	0.047	37.8	12.3	51.0	8.5	8.5	8.5	0.69	2.57	103	0.46
CS5-3	0.053	0.047	37.8	10.9	57.7	6.5	7.5	8.5	0.60	2.27	91	0.56
CS6-1	0.070	0.068	42.2	11.0	63.9	7.0	8.0	9.0	0.64	2.30	92	0.61
CS6-2	0.070	0.068	42.2	13.3	52.9	5.5	7.5	9.5	0.41	2.77	111	0.46
CS6-3	0.070	0.068	42.2	11.8	59.8	8.5	8.5	8.5	0.72	2.45	98	0.56
CS7-1	0.086	0.066	55.1	12.1	75.7	9.0	9.0	9.0	0.74	2.53	101	0.69
CS7-2	0.086	0.066	55.1	15.1	61.0	8.5	8.5	8.5	0.56	3.14	125	0.50
CS7-3	0.086	0.066	55.1	13.5	68.2	8.5	8.5	8.5	0.63	2.81	112	0.59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4 - 9 ผลการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในกรณี case DS

สภาวะ live-bed วัสดุท้องน้ำ $d_{50} = 2.20$ มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 0 องศา

Run No.	q_{sin} (kg/s)	q_{sout} (kg/s)	Q (l/s)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.)			d_s/y	y/D	y/ d_{50}	Fr
						pier no.1	pier no.2	pier no.3				
DS1-1	0.020	0.014	22.7	6.4	59.0	4.0	2.0	2.0	0.63	1.33	29	0.75
DS1-2	0.020	0.014	22.7	7.3	51.6	5.0	3.5	3.2	0.68	1.53	35	0.61
DS1-3	0.020	0.014	22.7	7.1	53.2	5.1	3.5	4.0	0.72	1.48	33	0.64
DS2-1	0.025	0.022	30.0	7.3	68.3	5.5	3.0	2.5	0.75	1.53	35	0.81
DS2-2	0.025	0.022	30.0	7.7	64.7	4.5	3.5	3.0	0.58	1.61	36	0.74
DS2-3	0.025	0.022	30.0	8.7	57.6	4.5	3.5	4.5	0.52	1.81	41	0.62
DS3-1	0.028	0.036	37.0	8.6	71.6	4.5	3.0	2.5	0.52	1.79	41	0.78
DS3-2	0.028	0.036	37.0	9.2	67.0	5.0	4.0	3.6	0.54	1.92	43	0.70
DS3-3	0.028	0.036	37.0	8.8	70.0	6.5	5.5	5.0	0.74	1.83	42	0.75
DS4-1	0.035	0.051	41.0	9.2	74.4	4.0	3.0	2.3	0.44	1.91	43	0.78
DS4-2	0.035	0.051	41.0	11.0	62.2	5.3	4.2	4.5	0.48	2.29	52	0.60
DS4-3	0.035	0.051	41.0	10.9	62.7	6.0	5.0	4.5	0.55	2.27	51	0.61
DS5-1	0.042	0.053	44.8	9.9	75.3	4.0	3.0	2.0	0.40	2.07	47	0.76
DS5-2	0.042	0.053	44.8	11.2	66.9	6.0	5.0	4.0	0.54	2.33	53	0.64
DS5-3	0.042	0.053	44.8	11.1	67.1	7.0	5.0	5.0	0.63	2.32	53	0.64
DS6-1	0.050	0.062	48.4	10.4	77.4	4.0	3.0	3.0	0.38	2.17	49	0.76
DS6-2	0.050	0.062	48.4	12.3	65.6	6.0	5.0	4.0	0.49	2.56	58	0.60
DS6-3	0.050	0.062	48.4	11.9	68.1	6.0	5.0	5.0	0.51	2.47	56	0.63
DS7-1	0.015	0.062	53.1	11.4	77.7	4.0	2.5	1.5	0.35	2.38	54	0.73
DS7-2	0.015	0.062	53.1	13.4	66.3	6.0	4.0	4.0	0.45	2.78	63	0.58
DS7-3	0.015	0.062	53.1	13.4	66.2	6.0	5.0	5.0	0.45	2.79	61	0.58

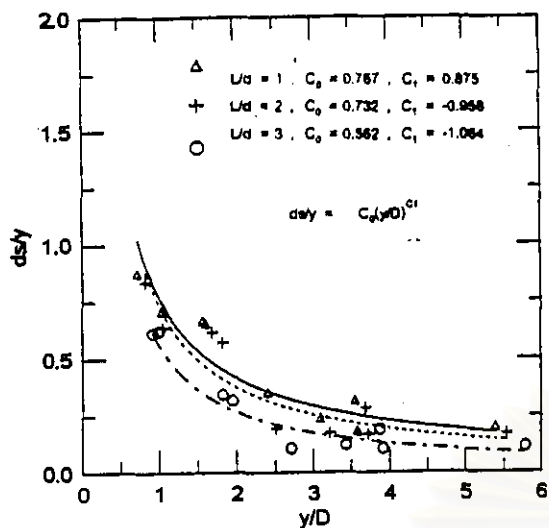
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 4 - 10 ผลการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในกรณี case ES

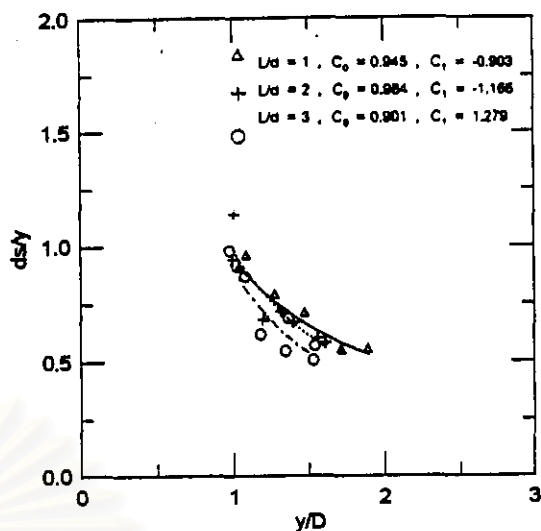
สภาวะ live-bed วัสดุท้องน้ำ $d_{50} = 0.36$ มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 0 องศา

Run No.	q_{sin} (kg/s)	q_{sout} (kg/s)	Q (l/s)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.)			d_s/y	y/D	y/ d_{50}	Fr
						pier no.1	pier no.2	pier no.3				
ES1-1	0.020	0.011	13.8	5.2	43.5	5.0	4.0	3.0	0.98	1.08	144	0.61
ES1-2	0.020	0.011	13.6	4.8	47.4	4.5	3.8	4.0	0.94	0.99	133	0.69
ES1-3	0.020	0.011	13.6	5.2	43.7	4.5	4.2	4.0	0.87	1.08	144	0.61
ES2-1	0.025	0.019	17.0	5.8	48.9	4.0	3.8	3.2	0.69	1.21	161	0.65
ES2-2	0.025	0.019	17.0	6.3	45.2	4.5	4.0	4.0	0.72	1.31	174	0.58
ES2-3	0.025	0.019	17.0	6.4	44.1	3.5	3.5	4.0	0.54	1.34	179	0.56
ES3-1	0.028	0.037	19.6	6.1	53.5	4.8	4.8	4.5	0.79	1.27	169	0.69
ES3-2	0.028	0.037	19.6	5.7	57.3	3.9	4.0	3.7	0.88	1.19	158	0.77
ES3-3	0.028	0.037	19.6	5.7	57.8	3.5	3.7	3.5	0.62	1.18	157	0.78
ES4-1	0.035	0.046	23.9	7.1	56.4	5.0	4.8	4.5	0.71	1.47	196	0.68
ES4-2	0.035	0.046	23.9	6.7	59.5	4.5	5.0	4.8	0.67	1.39	186	0.74
ES4-3	0.035	0.046	23.9	6.5	60.9	4.5	3.7	3.7	0.69	1.36	181	0.76
ES5-1	0.042	0.053	27.0	9.1	49.5	5.0	4.5	4.8	0.55	1.89	252	0.52
ES5-2	0.042	0.053	27.0	7.5	60.2	4.5	4.7	4.5	0.60	1.56	208	0.70
ES5-3	0.042	0.053	27.0	7.4	61.0	4.2	4.8	4.0	0.57	1.54	205	0.72
ES6-1	0.050	0.056	29.6	8.2	60.0	4.5	5.0	4.5	0.55	1.71	229	0.67
ES6-2	0.050	0.056	29.6	7.7	63.9	4.5	4.5	4.5	0.58	1.61	215	0.73
ES6-3	0.050	0.056	29.6	7.3	67.4	3.7	4.2	4.0	0.50	1.53	204	0.79
ES7-1	0.015	0.009	12.5	5.0	42.0	4.5	4.0	2.5	0.91	1.04	138	0.60
ES7-2	0.015	0.009	12.5	4.8	43.3	5.5	4.7	3.7	1.14	1.00	134	0.63
ES7-3	0.015	0.009	12.5	4.7	44.6	4.6	4.5	5.0	0.98	0.98	130	0.66

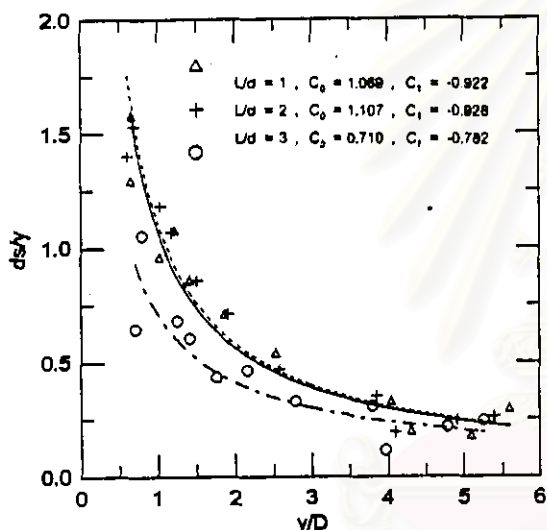
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



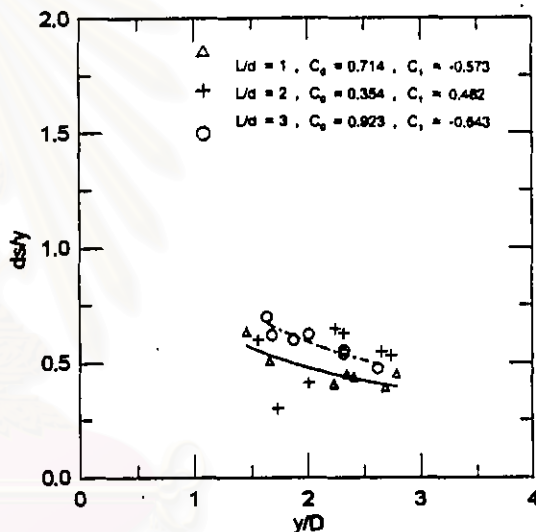
ก) ทราบ ϕ 0.36 มม., $\alpha = 0$ องศา สภาวะ clear-water



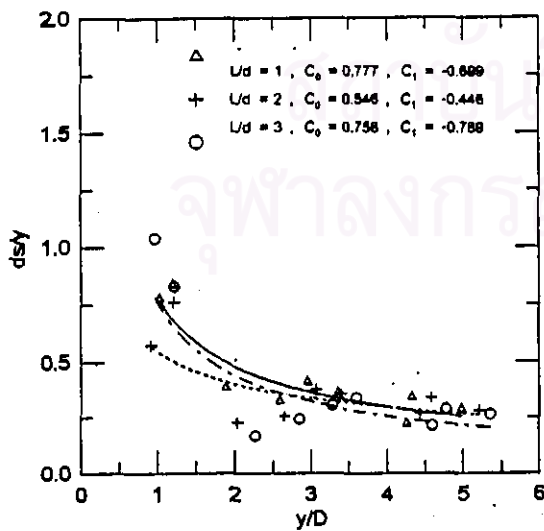
ข) ทราบ ϕ 0.36 มม., $\alpha = 0$ องศา สภาวะ live-bed



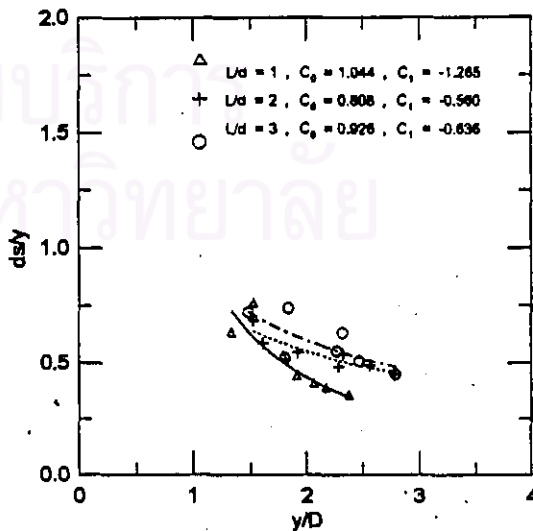
ค) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 0$ องศา สภาวะ clear-water



ด) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 0$ องศา สภาวะ live-bed



จ) ทราบ ϕ 2.20 มม., $\alpha = 0$ องศา สภาวะ clear-water



ฉ) ทราบ ϕ 2.20 มม., $\alpha = 0$ องศา สภาวะ live-bed

รูป 4-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง d_s/y กับ y/D ของทรายขนาดต่าง ๆ, $\alpha = 0$ องศา

เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย อาจจะมีลักษณะเป็น ripples dunes antidunes หรือ plan bed ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีผลต่อความลึกหลุมกัดเซาะทั้งสิ้น ดูรูป 4-1 ง.

เมื่อพิจารณารูป 4-1 ข. และ 4-1 ค. โดยมีทราย $d_{50} = 1.20$ มม. และ $d_{50} = 2.20$ มม. เป็นวัสดุหอน้ำตามลำดับ ลักษณะปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นคล้ายคลึงกับรูป 4-1 ก. ที่มีทราย $d_{50} = 0.36$ มม. เป็นวัสดุหอน้ำ

และเมื่อพิจารณารูป 4-1 จ. และ 4-1 ฉ. โดยมีทรายเป็น $d_{50} = 1.20$ มม. และ $d_{50} = 2.20$ มม. เป็นวัสดุหอน้ำ ตามลำดับ ค่าความลึกหลุมกัดเซาะรอบตอม่อตัวแรก เมื่อวางตอม่อห่างกัน 1D 2D และ 3D มีความสัมพันธ์ไม่แน่นอนชัดเจน เช่นเดียวกับรูป 4-1 ง.

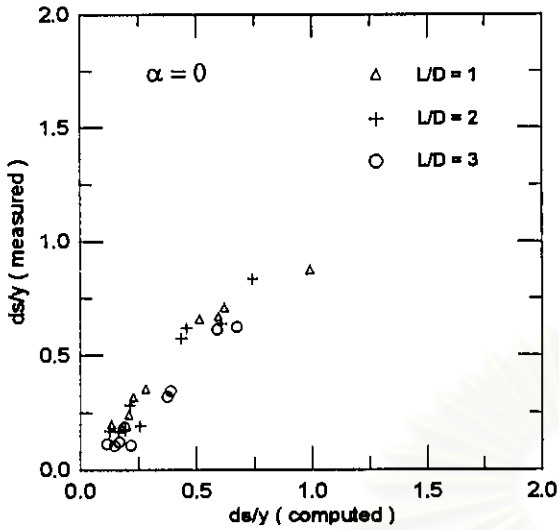
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ความลึกหลุมกัดเซาะ ความลึกการไหล ขนาดตอม่อ และค่าฟรูดนัมเบอร์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความลึกการไหล และความเร็วการไหลเฉลี่ย เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าว โดยการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นโค้งพหุคูณ (multiple non-linear regression) มีรูปแบบความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\frac{d_s}{y} = C_o \left(\frac{y}{D} \right)^{c_1} Fr^{c_2} \quad (4.1)$$

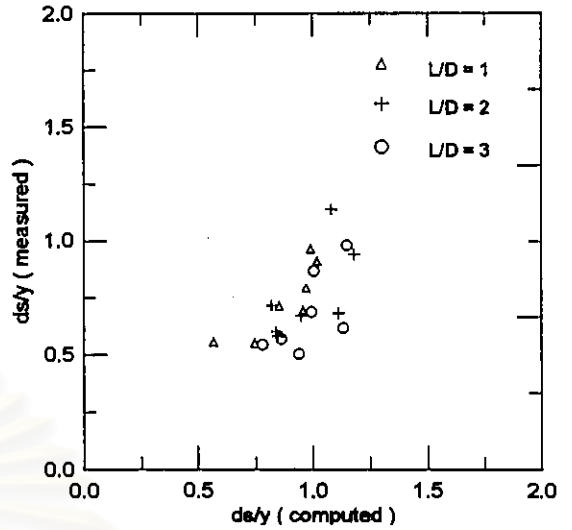
และจากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าว ได้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ดังตาราง 4 -11 และนำค่าที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าวเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง ดังรูป 4-2 เป็นที่น่าสังเกตว่า กรณีของการไหลในสภาวะ live-bed (กรณี CS และ ES , AS , ES) ค่า C2 เป็นเลขยกกำลังของค่าฟรูดนัมเบอร์ Fr ติดลบ ซึ่งไม่น่าจะถูกต้อง ตามทฤษฎี ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะว่า ได้มาจากหาสมการถดถอยเส้นโค้งพหุคูณ (multiple regression) จากข้อมูลทดลองที่มีช่วงแคบมาก ดังนั้นค่า C2 ที่ติดลบดังกล่าวนี้จึงไม่น่าจะถูกต้องที่จะนำไปใช้

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมการไหลปะทะตอม่อกับความลึกหลุมกัดเซาะ

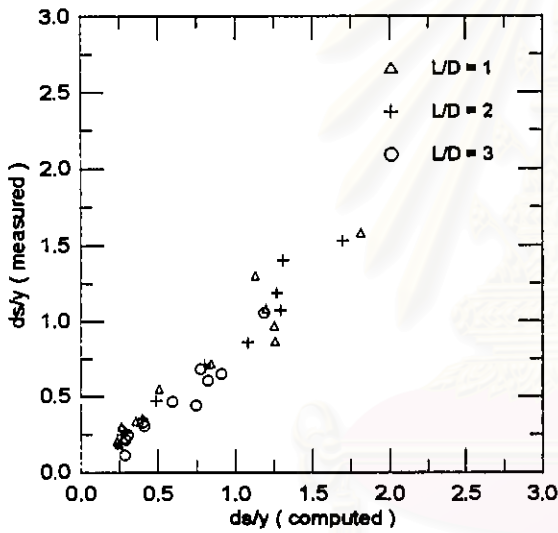
มุมการไหลปะทะตอม่อ (angle of attack) มีผลกระทบอย่างมากต่อความลึกหลุมกัดเซาะ และยิ่งตอม่อมีความยาวมาก และวางเอียงทำมุมกับแนวทิศทางการไหลมาก ค่าความลึกหลุมกัดเซาะก็ยิ่งมากด้วย แต่ลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นกับตอม่อที่เป็นตอม่อเดี่ยว และมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความยาวมาก สำหรับการศึกษานี้ ได้พิจารณาระยะห่างของตอม่อ เมื่อวางทำมุมกับแนวทิศทางการไหล 20 และ 40 องศา ตามลำดับ



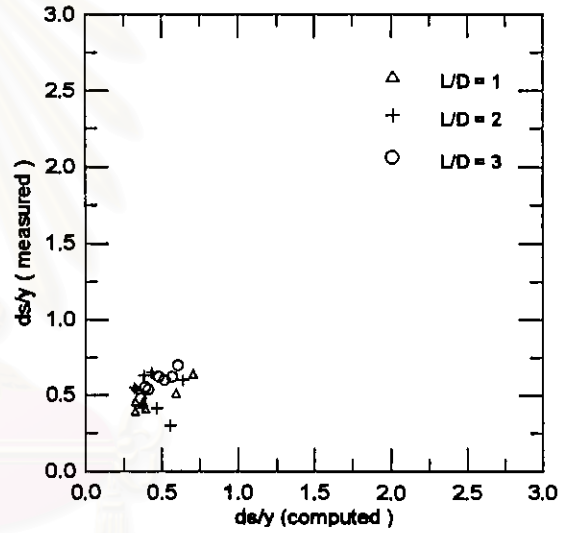
ก) ทราบ ϕ 0.36 มม., $\alpha = 0$ ของค่า สภาวะ clear-water



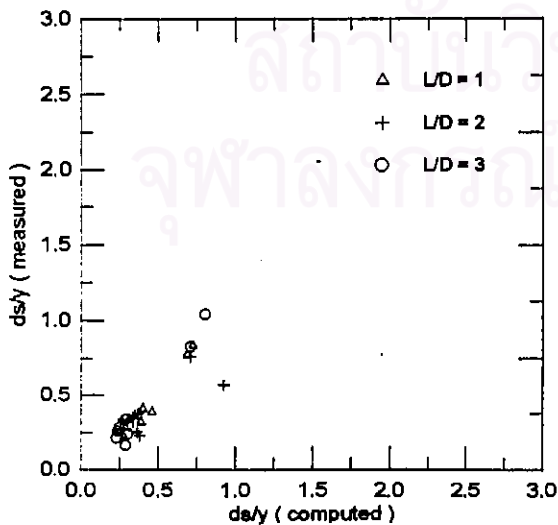
ง) ทราบ ϕ 0.36 มม., $\alpha = 0$ ของค่า สภาวะ live-bed



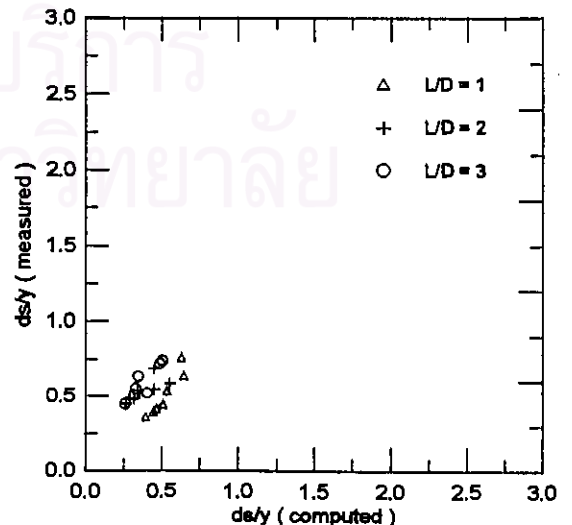
ข) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 0$ ของค่า สภาวะ clear-water



จ) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 0$ ของค่า สภาวะ live-bed



ค) ทราบ ϕ 2.20 มม., $\alpha = 0$ ของค่า สภาวะ clear-water



ฉ) ทราบ ϕ 2.20 มม., $\alpha = 0$ ของค่า สภาวะ live-bed

รูป 4-2 การเปรียบเทียบค่า d_s/y จากการทดลองและค่าจากสมการสหสัมพันธ์ ในกรณี E A D ES AS และ DS

จากรูป 4 - 3 ก. 4 - 3 ข. และ 4 - 3 ค. โดยใช้ทราย $d_{50} = 1.20$ มม. เป็นวัสดุหึ่งน้ำวางทำมุมกับแนวทิศทางการไหล 0 20 และ 40 องศา ตามลำดับ พบว่า ค่าความลึกหลุมกัดเซาะในสภาวะเงื่อนไข clear-water เมื่อวางตอม่อห่างกันเป็นระยะ 1D 2D และ 3D นั้นให้ค่าความลึกหลุมกัดเซาะใกล้เคียงกัน ลักษณะของเส้นกราฟ มีความลาดชันน้อย เมื่อค่า y/D มากขึ้น แสดงว่า เมื่อความลึกการไหลมีค่ามาก อัตราการเปลี่ยนแปลงหลุมกัดเซาะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย และค่า y/D น้อยกว่า 2 เส้นกราฟเริ่มชันมากขึ้น แสดงให้เห็นว่า ค่าความลึกการไหลที่ค่าน้อย อัตราการเปลี่ยนแปลงหลุมกัดเซาะเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดขึ้น ซึ่งลักษณะดังกล่าว คล้ายคลึงกับรูป 4 - 1 ก.

สำหรับในกรณีสภาวะเงื่อนไข live-bed ก็เช่นเดียวกัน จากรูป 4 - 3 ง. 4 - 3 จ. และ 4 - 3 ฉ. ความลึกหลุมกัดเซาะแตกต่างกันไม่มากนัก และความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างตอม่อ ความลึกการไหล และขนาดตอม่อ มีความสัมพันธ์ไม่แน่นอนชัดเจน และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ความลึกหลุมกัดเซาะ ความลึกการไหล ขนาดตอม่อ และค่าฟรูดนัมเบอร์ โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นโค้งพหุคูณ ได้ความสัมพันธ์ดังตาราง 4 -11 และนำค่าที่ได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว ไปคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง ดังรูป 4 - 4

และเมื่อนำทราย 3 ขนาดมาวิเคราะห์ร่วมกัน หาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกหลุมกัดเซาะ ความลึกการไหล ขนาดตอม่อ และค่าฟรูดนัมเบอร์ มีความสัมพันธ์ดังสมการ

สภาวะเงื่อนไข clear-water

$$\frac{d_s}{y} = 1.22 \left(\frac{D}{y} \right)^{0.78} Fr^{0.64} \quad (4.2)$$

สภาวะเงื่อนไข live-bed

$$\frac{d_s}{y} = 0.85 \left(\frac{D}{y} \right)^{2.00} Fr^{-1.70} \quad (4.3)$$

นำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองดังรูป 4-5 และ 4-6 ในสมการ 4.3 พบว่า ค่ากำลังของค่า Froude Number Fr มีค่าติดลบ ซึ่งอาจจะไม่ถูกต้องตามทฤษฎี ทั้งนี้ คาดว่าเป็นผลมาจากการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ จากข้อมูลการทดลองที่มีค่า Fr ในช่วง 0.5 - 0.8 คงจะแคบเกินไปในเชิงสถิติ

ตาราง 4-11 ผลการวิเคราะห์การถดถอย พหุคูณเชิงเส้นโค้ง สัมพันธ์กับความลึกหมกตึ้นเขา

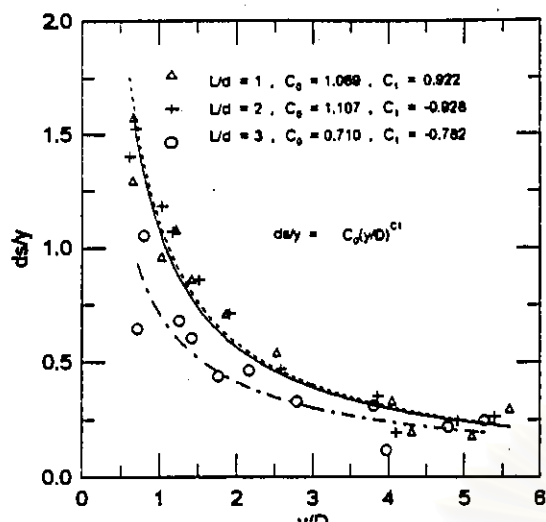
กรณี	ขนาดทราย d_{50}	มุมปะทะ α	เงื่อนไข	C_0	C_1	C_2	R^2	SEE	รูป ^{1/}
E	0.36	0	clear-water	2.49	-0.51	1.08	0.98	0.09	4-2 ก.
A	1.20	0	clear-water	3.66	-0.31	1.38	0.96	0.08	4-2 ข.
D	2.20	0	clear-water	1.72	-0.13	1.83	0.97	0.09	4-2 ค.
ES	0.36	0	live-bed	1.58	-0.79	0.81	0.93	0.05	4-2 ง.
AS	1.20	0	live-bed	1.22	-1.15	0.27	0.82	0.09	4-2 จ.
DS	2.20	0	live-bed	1.16	-0.81	1.22	0.95	0.07	4-2 ฉ.
B	1.20	20	clear-water	2.26	-0.27	1.00	0.98	0.05	4-4 ข.
C	1.20	40	clear-water	1.36	-0.51	0.47	0.97	0.06	4-4 ค.
BS	1.2	20	live-bed	0.99	-0.29	0.06	0.78	0.06	4-4 จ.
CS	1.20	40	live-bed	0.58	-0.12	$(-0.22)^2$	0.82	0.12	4-4 ฉ.
E,A,D	0.36 1.2 2.20	0	clear-water	1.22	-0.76	0.39	0.93	0.13	4-5
ES,AS,ES	0.36 1.20 2.20	0	live-bed	0.85	-2.00	$(-1.7)^2$	0.92	0.08	4-6

หมายเหตุ R^2 = สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์

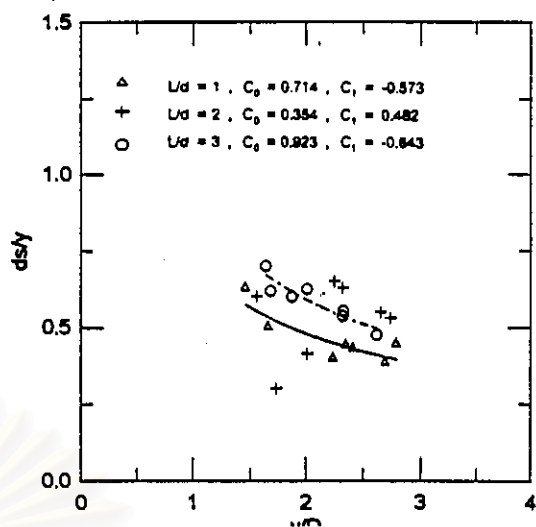
SEE = Standard error of estimate

1/ เป็นการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์
เชิงเส้นโค้งพหุคูณกับผลที่ได้จากการทดลอง

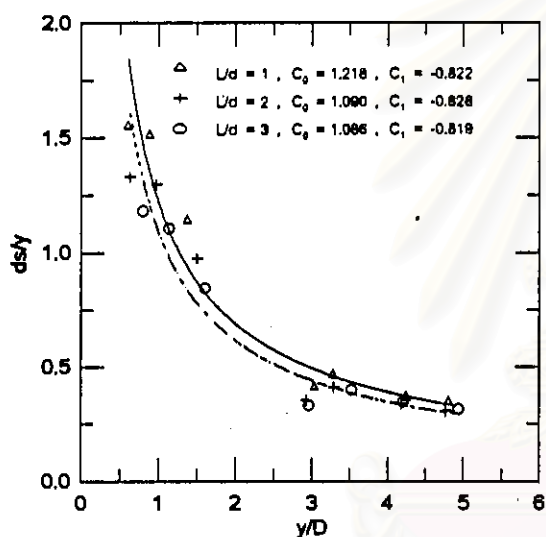
2/ กรณีที่พบว่า C_2 เป็นค่าติดลบ ซึ่งไม่น่าจะถูกต้องตามหลักทฤษฎี แต่เป็นผล
มาจากการคำนวณสมการความสัมพันธ์ที่มีข้อมูลในการทดลองจำกัดในช่วง
แคบมากดังแสดงในรูป 4 - 2



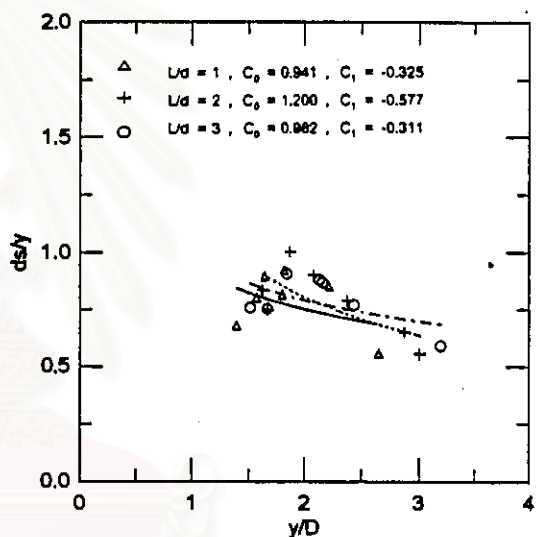
น) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 0$ ของค่า สภาวะ clear-water



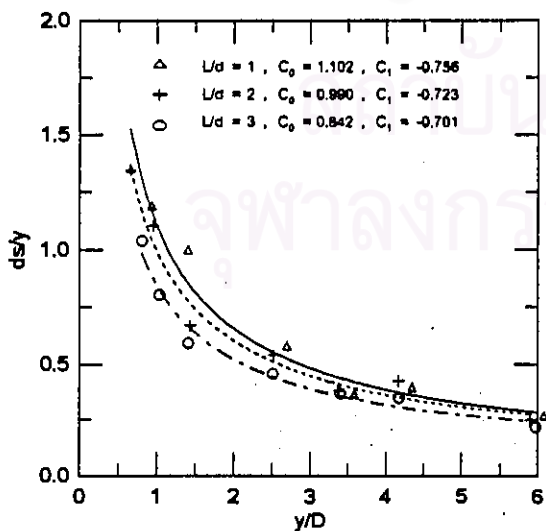
ง) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 0$ ของค่า สภาวะ live-bed



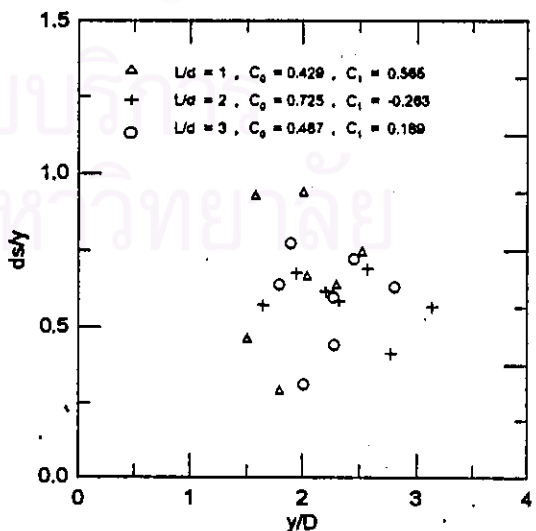
น) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 20$ ของค่า สภาวะ clear-water



ญ) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 20$ ของค่า สภาวะ live-bed

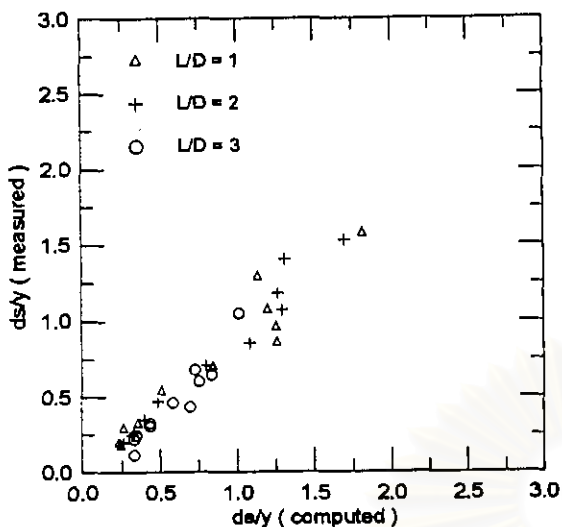


ค) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 40$ ของค่า สภาวะ clear-water

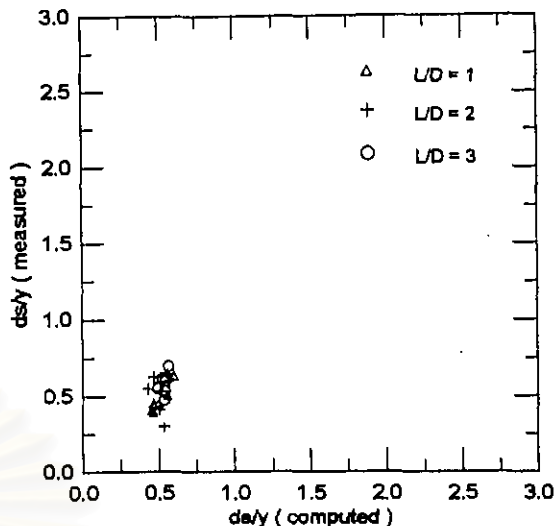


ข) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 40$ ของค่า สภาวะ live-bed

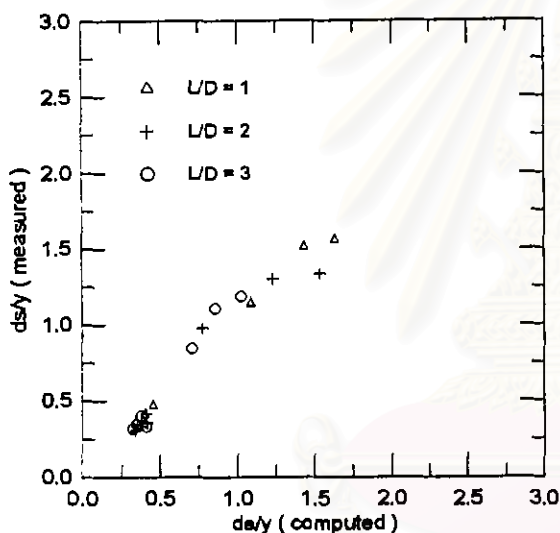
รูป 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ds/y กับ y/D ของทราย ϕ 1.20 มม. มุมปะทะ 0° 20 และ 40 องศา



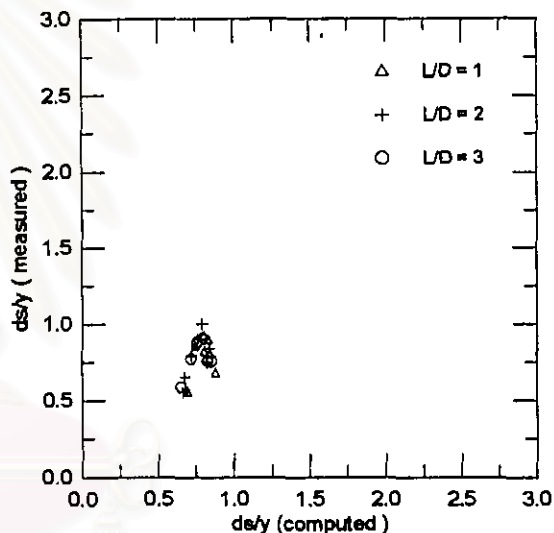
ก) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 0$ องศา สภาวะ clear-water



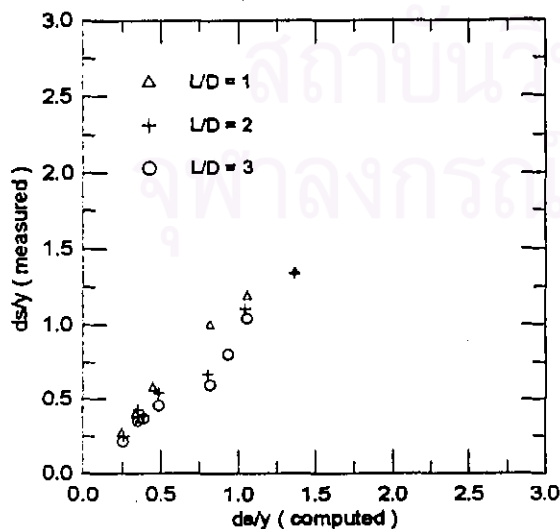
ง) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 0$ องศา สภาวะ live-bed



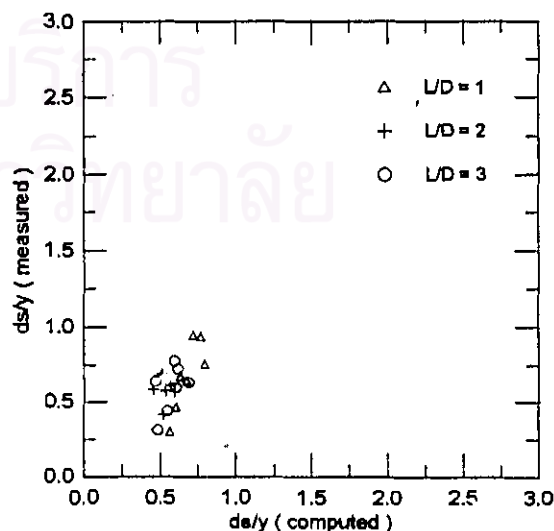
ข) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 20$ องศา สภาวะ clear-water



จ) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 20$ องศา สภาวะ live-bed

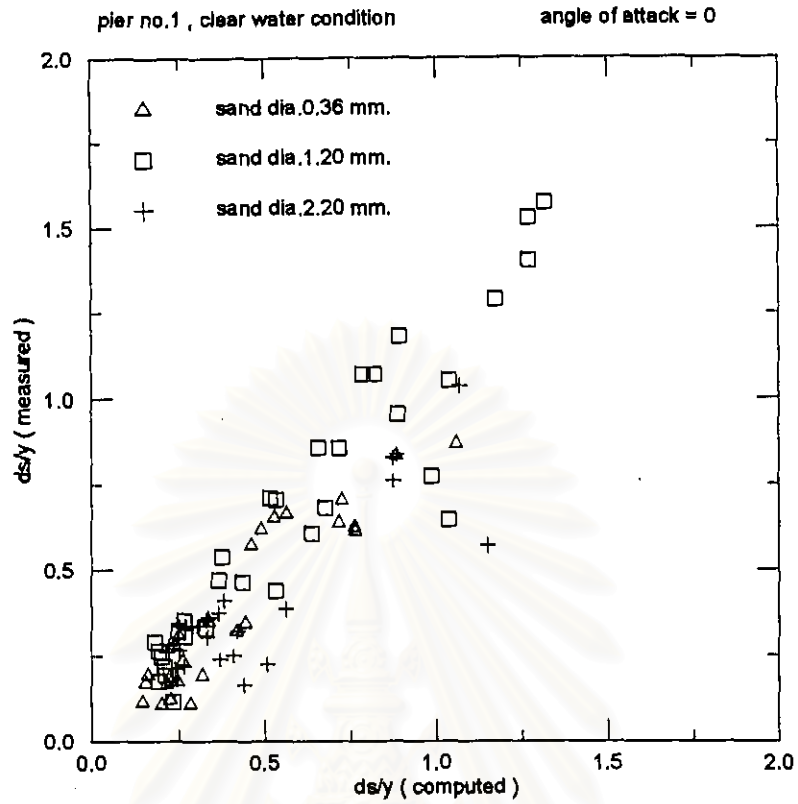


ค) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 40$ องศา สภาวะ clear-water

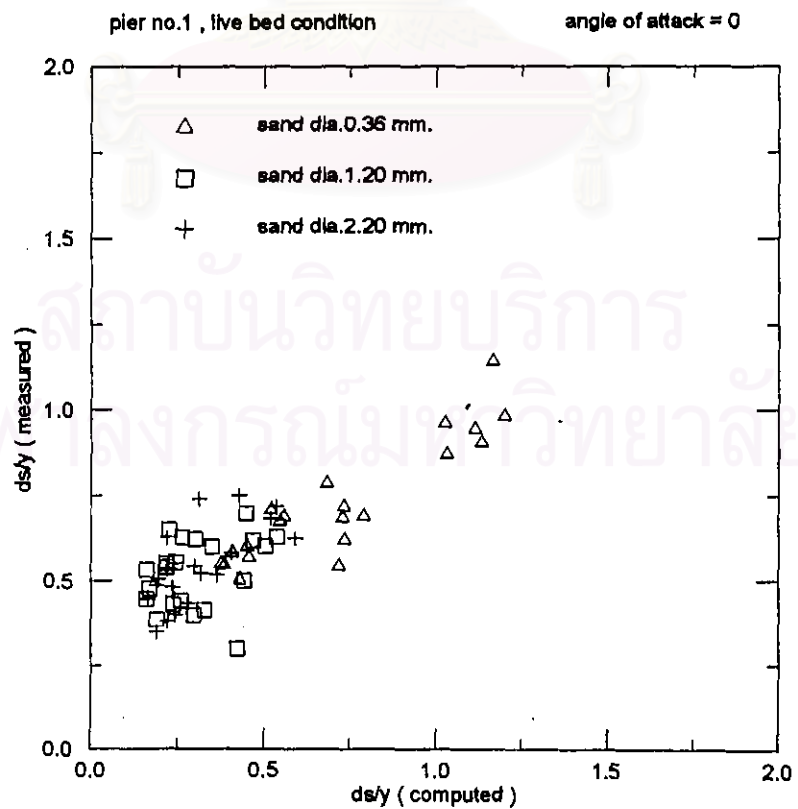


ฉ) ทราบ ϕ 1.20 มม., $\alpha = 40$ องศา สภาวะ live-bed

รูป 4-4 การเปรียบเทียบค่า d_s/y จากการทดลองและค่าจากสมการสหสัมพันธ์ ไนกรณี A B C AS BS และ CS



รูป 4 - 5 การเปรียบเทียบค่า d_s/y จากการทดลองและค่าจากสมการ 4.2



รูป 4 - 6 การเปรียบเทียบค่า d_s/y จากการทดลองและค่าจากสมการ 4.3

4.3 ความลึกหลุมกักเขาระหว่างตอม่อตัวที่ 1 2 และ 3

4.3.1 ความสัมพันธ์ของความลึกหลุมกักเขาระหว่างตอม่อตัวที่ 1 2 และ 3 ที่อัตราส่วนระยะห่างระหว่างตอม่อ 1D 2D และ 3D

จากการศึกษาพบว่าที่สภาวะเงื่อนไข clear-water ความลึกหลุมกักเขาระหว่างตอม่อตัวที่ 2 เมื่อเทียบกับตัวที่ 1 โดยใช้ทรายแต่ละขนาดเป็นวัสดุท้องน้ำ พบว่า ความลึกหลุมกักเขาลดลงร้อยละ 24 - 26 เมื่อตอม่อมีระยะห่าง $L/D = 1$ และมุมการไหลปะทะตอม่อเท่ากับ 0 องศา และความลึกหลุมกักเขาระหว่างตอม่อตัวที่ 3 เมื่อเทียบกับตอม่อตัวแรกที่เงื่อนไขเดียวกัน พบว่า ความลึกหลุมกักเขาลดลงประมาณร้อยละ 40 - 60 ส่วนที่ระยะห่างระหว่างตอม่อ $L/D = 2$ พบว่า ความลึกหลุมกักเขาระหว่างตอม่อตัวที่ 2 เมื่อเทียบกับตัวที่ 1 ลดลงประมาณ ร้อยละ 25 - 40 และตอม่อตัวที่ 3 ลดลงมากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป และที่ระยะห่างระหว่างตอม่อ $L/D = 3$ ตอม่อตัวที่ 2 ความลึกหลุมกักเขาลดลงมากกว่าร้อยละ 30 ขึ้นไป ตอม่อตัวที่ 3 หลุมกักเขาลดลงประมาณร้อยละ 50 ขึ้นไป ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเนื่องจากความเร็วเข้าใกล้ตอม่อลดลง โดยมีตอม่อตัวที่ 1 เป็นตัวกีดขวางลำน้ำ

สำหรับที่สภาวะเงื่อนไข live-bed ความลึกหลุมกักเขาระหว่างตอม่อตัวที่ 2 ที่ $L/D = 1$ 2 และ 3 และทรายทั้ง 3 ขนาด ตามลำดับ ลดลงประมาณร้อยละ 20 - 35 ส่วนทรายขนาด ϕ 0.36 มม. ความลึกลดลงน้อยกว่าทราย ϕ 1.20 และ ϕ 2.20 มม. อาจจะเป็นเพราะเนื่องจากการทดลองของทรายขนาด ϕ 0.36 มม. ทดลองที่อัตราการไหล ความเร็วการไหล และความลึกการไหลต่ำกว่าทราย ϕ 1.20 และ ϕ 2.20 มม. ซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดดังตาราง 4 - 12 และ 4 - 13

4.3.2 ความสัมพันธ์ของความลึกหลุมกักเขาระหว่างตอม่อตัวที่ 1 2 และ 3 ที่อัตราส่วนระยะห่างระหว่างตอม่อ 1D 2D และ 3D โดยมีมุมการไหลปะทะตอม่อ 20 และ 40 องศา

เมื่อพิจารณามุมการไหลปะทะตอม่อ 20 และ 40 องศา ที่สภาวะเงื่อนไข clear-water โดยใช้ทรายขนาด ϕ 1.20 มม. เป็นวัสดุท้องน้ำ พบว่า ที่มุมการไหลปะทะตอม่อ 20 องศา ตอม่อตัวที่ 2 มีความลึกหลุมกักเขาลดลงประมาณร้อยละ 6 - 10 และตัวที่ 3 ลดลงประมาณร้อยละ 14 - 20 โดยมีระยะห่างระหว่างตอม่อ $L/D = 1$ 2 และ 3 และเมื่อวางตอม่อทำมุม 40 องศา กับแนวทิศทางการไหล พบว่า ความลึกหลุมกักเขาระหว่างตอม่อตัวที่ 1 2 และ 3 มีขนาดใกล้เคียงกัน แสดงว่ามุมการไหลปะทะตอม่อมีค่ามาก มีอิทธิพลต่อความลึกหลุมกักเขาลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

สำหรับเงื่อนไข live-bed มุมการไหลปะทะตอม่อ 20 และ 40 องศา พบว่า ความลึกหลุมกักเขาระหว่างตอม่อตัวที่ 1 2 และ 3 มีขนาดใกล้เคียงกัน แสดงว่ามุมการไหลปะทะตอม่อ มีอิทธิพลต่อความลึก

ตาราง 4 - 12 ความลึกหลุมกัดเซาะ สภาวะเงื่อนไข clear-water

ตอม่อ	มุมปะทะ	L/D	เงื่อนไข	ความลึกหลุมกัดเซาะลดลงเฉลี่ย (%)			หมายเหตุ
				$d_{60} = 0.36$ มม.	$d_{60} = 1.20$ มม.	$d_{60} = 2.20$ มม.	
1	0	1	clear-water	0	0	0	ปานกลาง มาก
2				25	24	26	
3				60	40	40	
1	0	2	clear-water	0	0	0	ปานกลาง มาก
2				37	25	39	
3				66	50	55	
1	0	3	clear-water	0	0	0	ปานกลาง มาก
2				60	36	37	
3				55	52	48	
1	20	1	clear-water	N/A	0	N/A	เล็กน้อย ปานกลาง
2				N/A	10	N/A	
3				N/A	22	N/A	
1	20	2	clear-water	N/A	0	N/A	เล็กน้อย ปานกลาง
2				N/A	6	N/A	
3				N/A	17	N/A	
1	20	3	clear-water	N/A	0	N/A	เล็กน้อย ปานกลาง
2				N/A	7	N/A	
3				N/A	14	N/A	
1	40	1	clear-water	N/A	0	N/A	เล็กน้อย เล็กน้อย
2				N/A	0.7	N/A	
3				N/A	1	N/A	
1	40	2	clear-water	N/A	0	N/A	ไม่เปลี่ยนแปลง เล็กน้อย
2				N/A	0	N/A	
3				N/A	2	N/A	
1	40	3	clear-water	N/A	0	N/A	ไม่เปลี่ยนแปลง เล็กน้อย
2				N/A	0	N/A	
3				N/A	3.7	N/A	

หมายเหตุ 0-10 เล็กน้อย
10-40 ปานกลาง
>40 มาก

ตาราง 4 - 13 ความถี่หลุมกัดเซาะ สภาวะเงื่อนไข live-bed

ตอม่อ	มุมปะทะ	L/D	เงื่อนไข	ความถี่หลุมกัดเซาะลดลงเฉลี่ย (%)			หมายเหตุ
				$d_{60} = 0.36$ มม.	$d_{60} = 1.20$ มม.	$d_{60} = 2.20$ มม.	
1	0	1	live -bed	0	0	0	ปานกลาง ยกเว้น 0.36 มม. มาก ยกเว้น 0.36 มม.
2				6	27	35	
3				18	40	57	
1	0	2	live -bed	0	0	0	ปานกลาง ยกเว้น 0.36 มม.
2				3	33	22	
3				8	44	30	
1	0	3	live -bed	0	0	0	ปานกลาง ยกเว้น 0.36 มม. ปานกลาง ยกเว้น 0.36 มม.
2				0	19	21	
3				0.4	35	18	
1	20	1	live -bed	N/A	0	N/A	ไม่เปลี่ยนแปลง ไม่เปลี่ยนแปลง
2				N/A	0	N/A	
3				N/A	0	N/A	
1	20	2	live -bed	N/A	0	N/A	ไม่เปลี่ยนแปลง เล็กน้อย
2				N/A	0	N/A	
3				N/A	0.8	N/A	
1	20	3	live -bed	N/A	0	N/A	ไม่เปลี่ยนแปลง ไม่เปลี่ยนแปลง
2				N/A	0	N/A	
3				N/A	0	N/A	
1	40	1	live -bed	N/A	0	N/A	ไม่เปลี่ยนแปลง ไม่เปลี่ยนแปลง
2				N/A	0	N/A	
3				N/A	0	N/A	
1	40	2	live -bed	N/A	0	N/A	ไม่เปลี่ยนแปลง ไม่เปลี่ยนแปลง
2				N/A	0	N/A	
3				N/A	0	N/A	
1	40	3	live -bed	N/A	0	N/A	ไม่เปลี่ยนแปลง ไม่เปลี่ยนแปลง
2				N/A	0	N/A	
3				N/A	0	N/A	

หมายเหตุ 0-10 เล็กน้อย
10-40 ปานกลาง
>40 มาก

หลุมกัดเซาะเพียงเล็กน้อยทั้งตอม่อตัวที่ 1 2 และ 3 ซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดดังตาราง 4-12 และ 4-13

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการไหล ขนาดวัสดุท้องน้ำกับความลึกหลุมกัดเซาะ

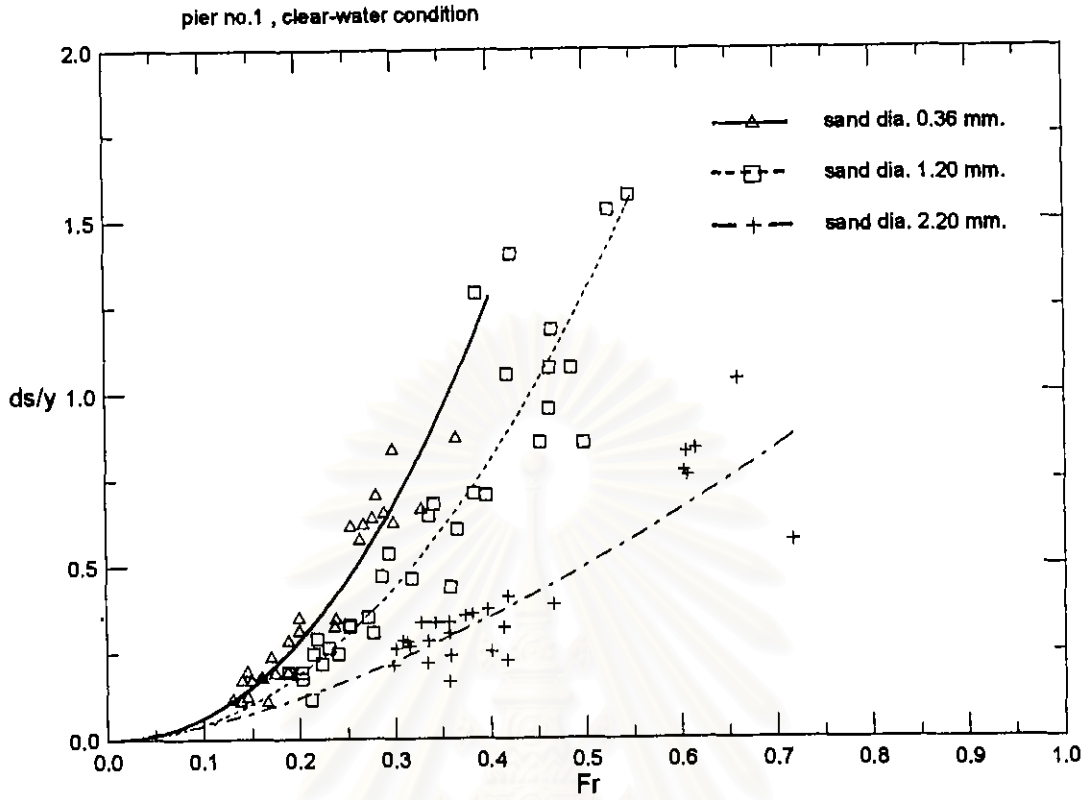
จากรูป 4-7 เมื่อพิจารณาค่า Fr ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความลึกการไหลและความเร็วการไหลเฉลี่ย พบว่า ในสภาวะระเือนไข clear-water ค่า Fr มีอิทธิพลต่อความลึกหลุมกัดเซาะ โดยที่ความลึกหลุมกัดเซาะแปรผันตามค่า Fr ถ้าค่า Fr มีค่ามาก ค่าความลึกหลุมกัดเซาะมาก และค่า Fr น้อย ค่าความลึกหลุมกัดเซาะน้อย ทั้งนี้ จากรูป 4-7 และ รูป 4-8 ค่า Fr จะเห็นว่า ถ้าค่า Fr มีค่ามากกว่า 0.6 เป็นสภาวะระเือนไข live-bed ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของวัสดุท้องน้ำเข้าสู่หลุมกัดเซาะทำให้หลุมกัดเซาะลดลง

และเมื่อสังเกตค่าความลึกหลุมกัดเซาะในสภาวะระเือนไข live-bed จากรูป 4-8 พบว่า ค่า Fr มีค่าระหว่าง 0.5-0.8 แต่ค่าความลึกหลุมกัดเซาะมีค่าน้อยกว่าสภาวะระเือนไข clear-water ทั้งนี้ก็เพราะวัสดุท้องน้ำเคลื่อนที่เข้าสู่หลุมกัดเซาะ และนอกจากนี้ยังเกิดผลกระทบเนื่องจากลักษณะท้องน้ำ เช่น Ripple Dune Antidune อีกด้วย

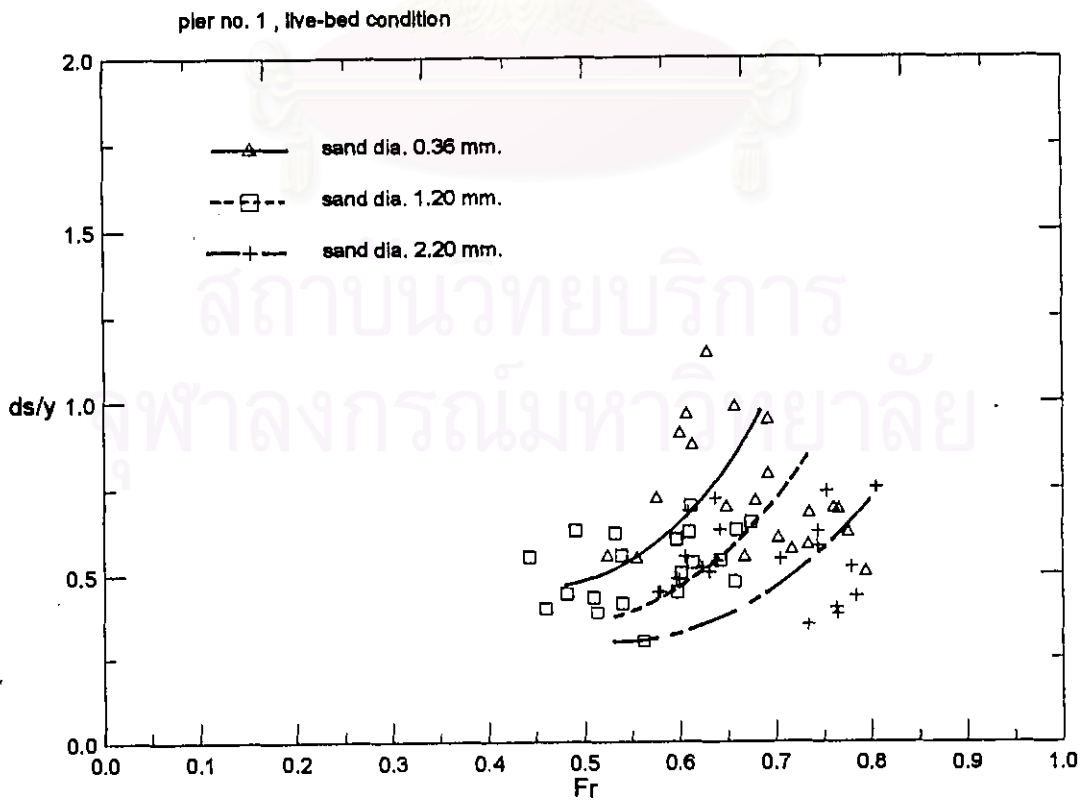
นอกจากนี้ ลักษณะของวัสดุท้องน้ำ เป็นอีกเงื่อนไขหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อหลุมกัดเซาะ ได้แก่ ขนาดเฉลี่ยของวัสดุท้องน้ำ การกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ รูปร่างของวัสดุท้องน้ำ และลักษณะท้องน้ำ จากการศึกษาศึกษาครั้งนี้ พบว่า ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ SHEN, SCHNEIDER และ KARAKI ซึ่งได้พิจารณาแรงเค้นเฉือนวิกฤติ (critical shear stress) ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของตะกอนเพิ่มขึ้น แรงเฉือนที่ต้องทำให้วัสดุท้องน้ำเคลื่อนที่สูงขึ้นตามไปด้วย ส่วนวัสดุท้องน้ำที่มีขนาดเล็ก สำหรับเงื่อนไขชลศาสตร์เดียวกัน และขนาดตอม่อคงที่ พบว่า ขนาดของหลุมกัดเซาะได้เพิ่มมากขึ้น จากรูป 4-9 ถึง 4-12 สังเกตเห็นได้ชัดเจนว่า ที่ความลึกเดียวกัน แต่ขนาดของวัสดุท้องน้ำต่างกัน ทำให้หลุมกัดเซาะต่างกัน และจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นโค้งพหุคูณ สัมพันธ์กับความลึกของหลุมกัดเซาะ ขนาดวัสดุท้องน้ำ ความลึกการไหล ขนาดตอม่อและ Fr มีดังนี้

กรณีสภาวะระเือนไข clear-water

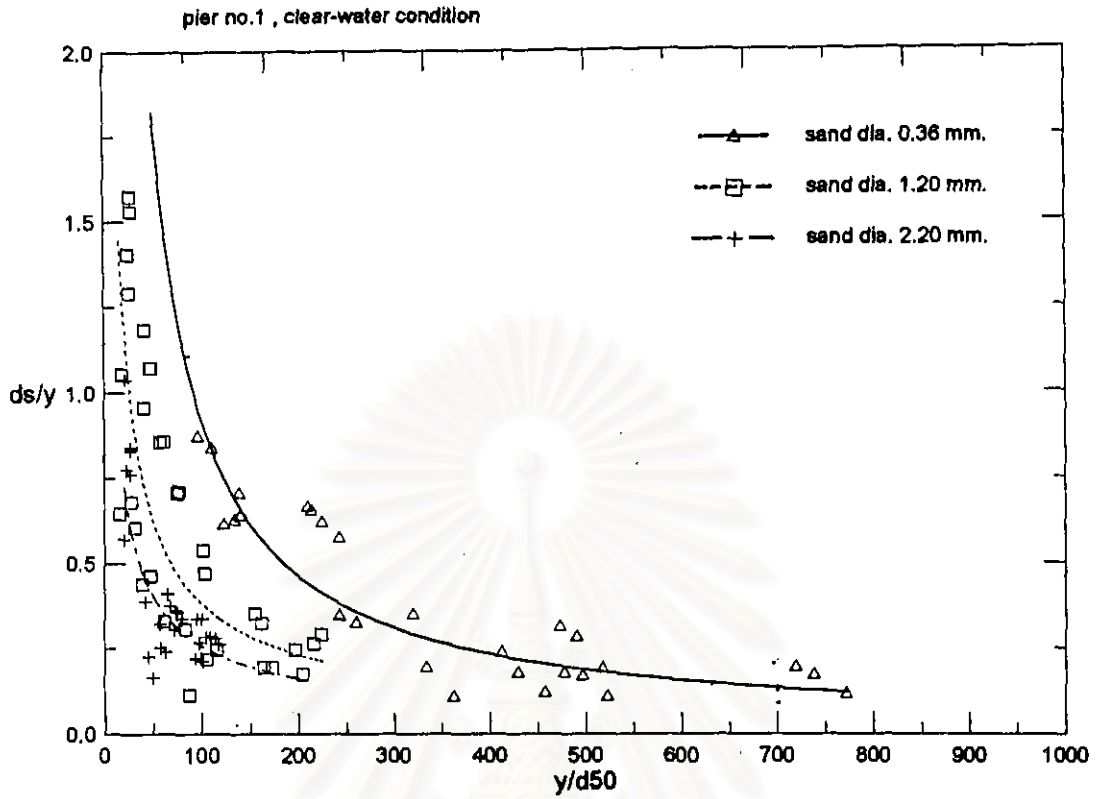
$$\frac{d_s}{y} = 0.99 \left(\frac{y}{d_{50}} \right)^{0.092} \left(\frac{D}{y} \right)^{0.80} Fr^{0.56} \quad (4.4)$$



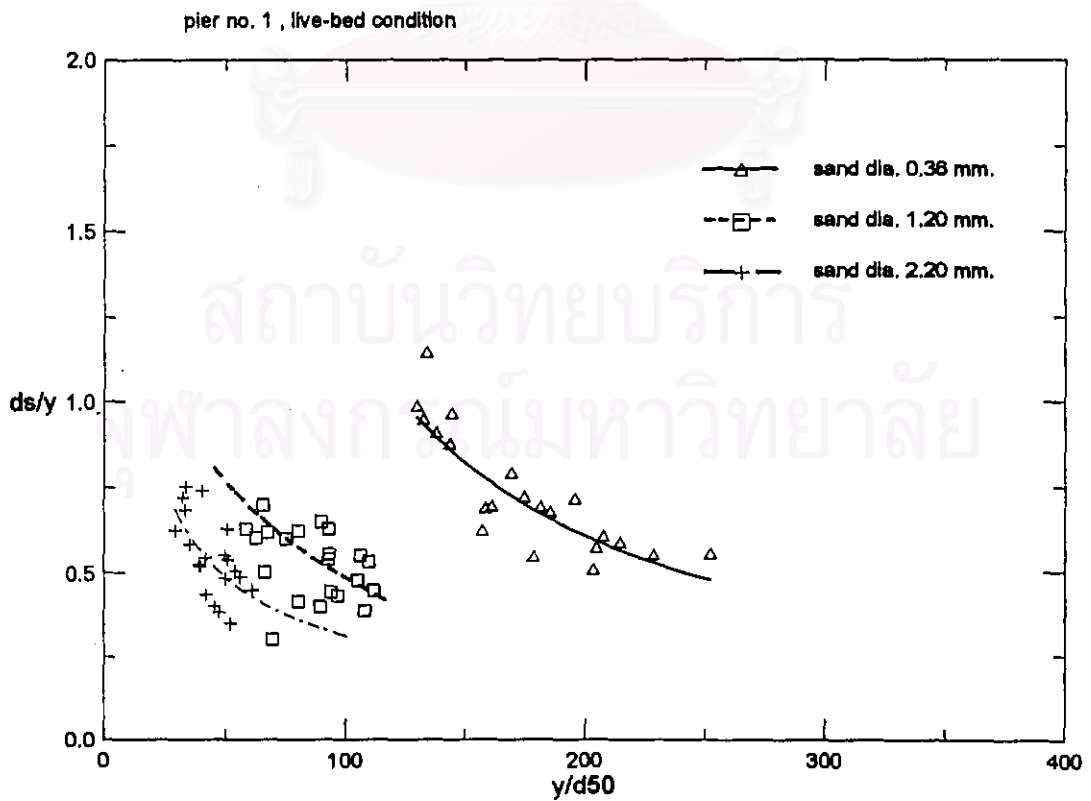
รูป 4 - 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง d_s/y กับ Fr ของทราย 3 ขนาด สภาวะ clear-water $\alpha = 0^\circ$



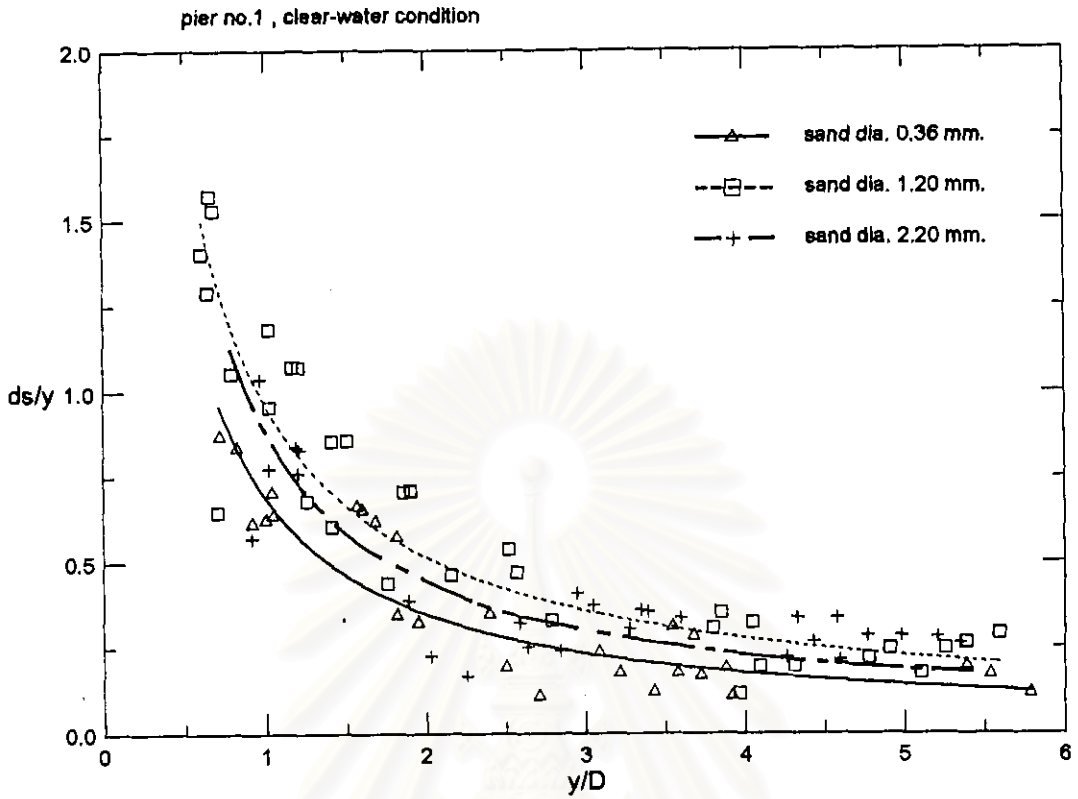
รูป 4 - 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง d_s/y กับ Fr ของทราย 3 ขนาด สภาวะ live-bed $\alpha = 0^\circ$



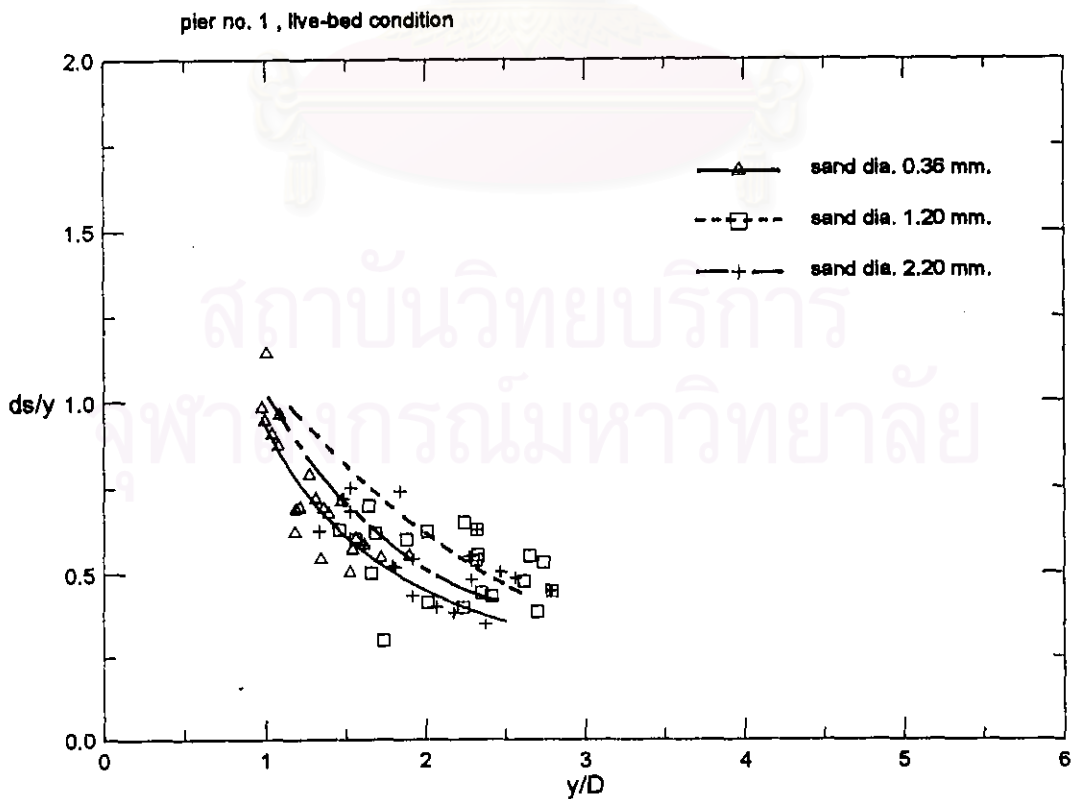
รูป 4 - 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง d_s/y กับ y/d_{50} ของทราย 3 ขนาด สภาวะ clear-water $\alpha = 0^\circ$



รูป 4 - 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง d_s/y กับ y/d_{50} ของทราย 3 ขนาด สภาวะ live-bed $\alpha = 0^\circ$



รูป 4 - 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง d_s/y กับ y/D ของทราย 3 ขนาด สภาวะ clear-water $\alpha = 0^\circ$



รูป 4 - 12 ความสัมพันธ์ระหว่าง d_s/y กับ y/D ของทราย 3 ขนาด สภาวะ live-bed $\alpha = 0^\circ$

กรณีเงื่อนไข live-bed

$$\frac{d_s}{y} = 0.85 \left(\frac{y}{d_{50}} \right)^{2.00} \left(\frac{D}{y} \right)^{1.62} Fr^{-0.29} \quad (4.5)$$

นำค่าที่ได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าว ไปคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองแสดงได้ดังรูป 4 - 13 และ 4 - 14

ในกรณีของสภาพการไหล live-bed แสดงโดยสมการ 4.5 พบว่า ค่ากำลังของ Froude Number Fr มีค่าติดลบ เช่นเดียวกับที่พบในสมการ 4.1 และ 4.3 ที่กล่าวมาในหัวข้อ 4.1 และ 4.2 ซึ่งไม่ถูกต้องตามทฤษฎี ทั้งนี้เป็นผลมาจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากข้อมูลทดลองที่มีช่วงแคบเกินไปในทางสถิติ ค่ายกกำลังนี้มีค่าติดลบจึงไม่นับสำคัญ

4.5 รูปแบบของหลุมกัดเซาะ (The pattern of scour hole)

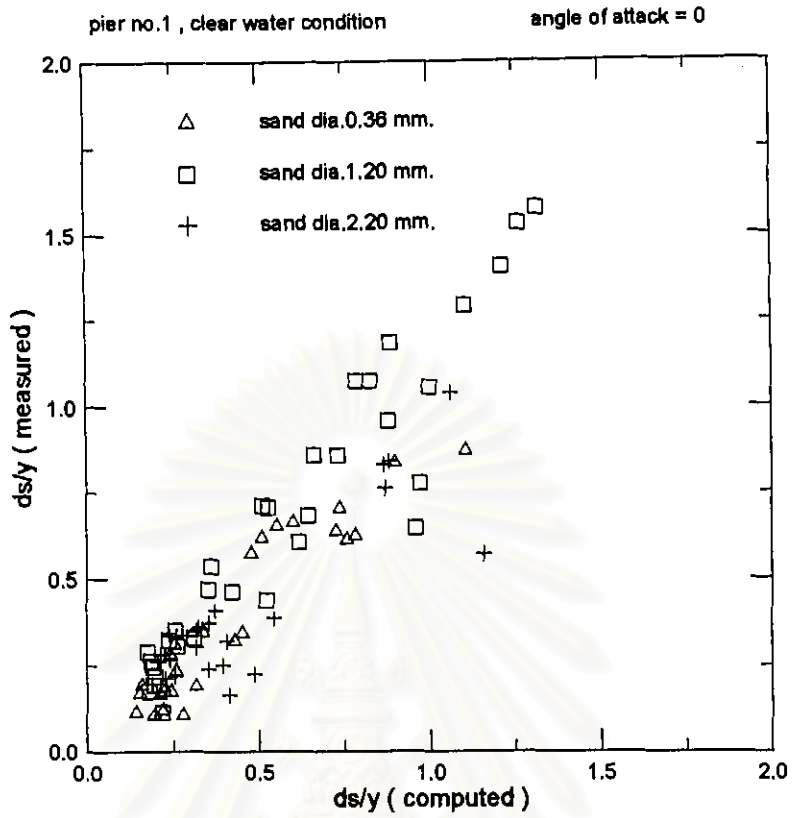
จากการทดลอง และสังเกตหลุมกัดเซาะรอบๆ ตอม่อ พบว่า เมื่อมุมการไหลปะทะตอม่อเท่ากับ 0 องศา หลุมกัดเซาะมีลักษณะสมมาตร (symmetry) ความลาดเอียงของหลุมกัดเซาะด้านหน้าตอม่อใกล้เคียงกับมุมเสถียรภาพของวัสดุท้องน้ำขณะอิมมัว (Angle of Repose) โดยตอม่อตัวแรกมักมีหลุมกัดเซาะมากที่สุด และวัสดุท้องน้ำเกิดการเคลื่อนที่ออกจากหลุมกัดเซาะไปรวมอยู่ที่ด้านท้ายของตอม่อตัวสุดท้าย เมื่อสังเกตลักษณะของหลุมกัดเซาะ เพื่อวางตอม่อห่างกันเท่ากับ 1D พบว่า ลักษณะของหลุมกัดเซาะคล้ายคลึงกับลักษณะของหลุมกัดเซาะรอบตอม่อที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าปลายมน (blunt-nosed) ดูรูป 4 - 15 ก. และหลุมกัดเซาะรอบตอม่อ เมื่อวางห่างกันเป็นระยะ 2D หลุมกัดเซาะเกิดมากที่สุดที่ตอม่อตัวแรก เช่นกัน ดูรูป 4 - 15 ข. ส่วนเมื่อวางตอม่อห่างกันเป็นระยะ 3D หลุมกัดเซาะมากที่สุดที่ตอม่อตัวแรก เช่นเดียวกับ 2 ลักษณะดังกล่าว แต่ลักษณะของหลุมกัดเซาะ ค่อนข้างแยกให้เห็นได้ชัดเจน ดูรูป 4 - 15 ค. ทั้งกรณีสภาวะเงื่อนไข clear-water และ live-bed เกิดขึ้นคล้ายคลึงกัน เพียงแต่ว่าวัสดุท้องน้ำที่ด้านท้ายตอม่อตัวที่ 3 ต่างกันเท่านั้น คือ วัสดุท้องน้ำเคลื่อนที่มากองรวมกันสูงและสันสำหรับสภาวะเงื่อนไข clear-water ส่วนสภาวะเงื่อนไข live-bed ระดับท้องน้ำต่ำกว่ากรณีสภาวะ clear-water แต่มีความยาวมากกว่า ดูรูป 4 - 15 ทั้งนี้เป็นเพราะว่า สภาวะเงื่อนไข live-bed นั้นความเร็วของกระแสน้ำทางด้านท้ายตอม่อมีความเร็วกว่า สภาวะเงื่อนไข clear-water ซึ่งทำให้ค่าแรงเฉือนมากกว่า แรงต้านทานของวัสดุท้องน้ำ ดังนั้นจึงสามารถที่จะพัดพาวัสดุท้องน้ำไปได้ไกลกว่า

สำหรับลักษณะของหลุมกัดเซาะรอบตอม่อที่วางทำมุม 20 และ 40 องศา ตามลำดับ ลักษณะของหลุมกัดเซาะคล้ายคลึงกับหลุมกัดเซาะที่เกิดรอบ ๆ ตอม่อที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าปลายมนวางทำ

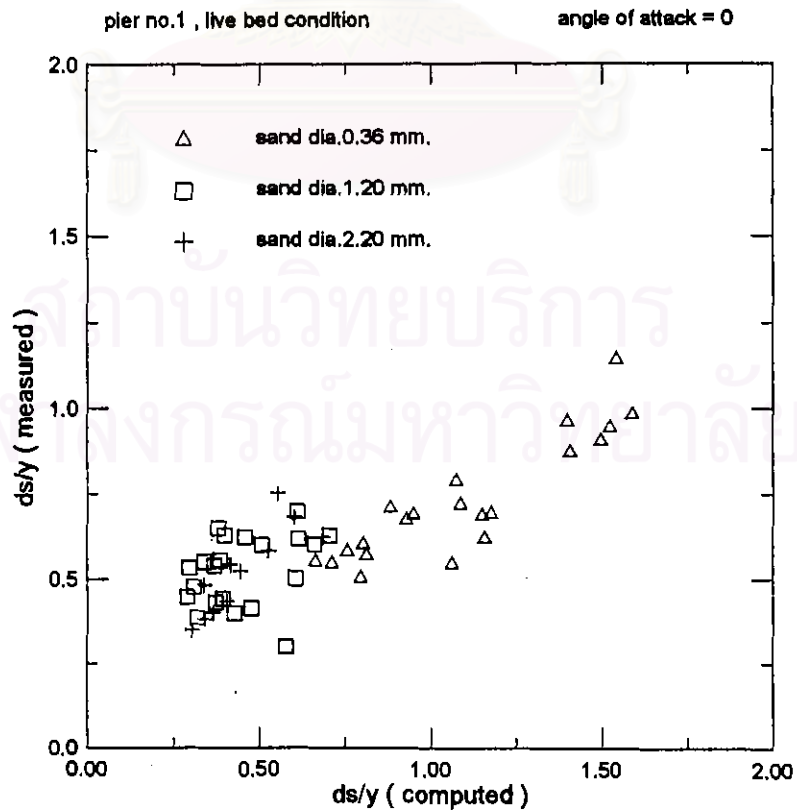
มุ่มกับแนวคิดทางการไหล โดยมีลักษณะของหลุมก้นเขาะ ดังรูป 4 - 16 และเมื่อต่อม่อวางท่ามุ่มกับทิศทางการไหล 40 องศา พบว่า ความลึกหลุมก้นเขาะมากที่สุดมีโอกาสเกิดขึ้นได้เท่า ๆ กันทุกต่อม่อ



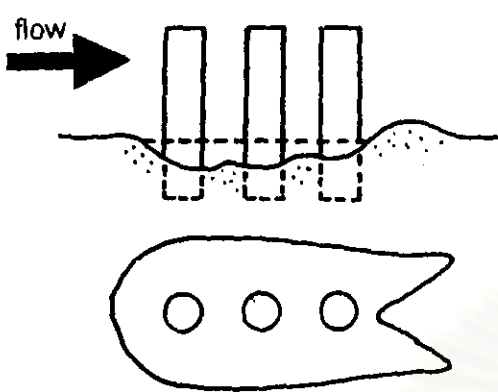
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



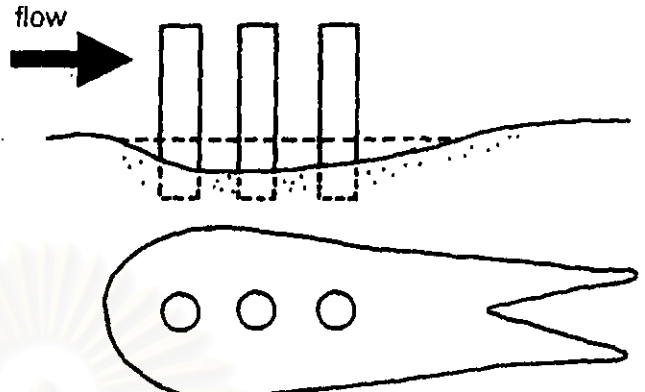
รูป 4 - 13 การเปรียบเทียบค่า d_s/y จากการทดลองและค่าจากสมการ 4.4



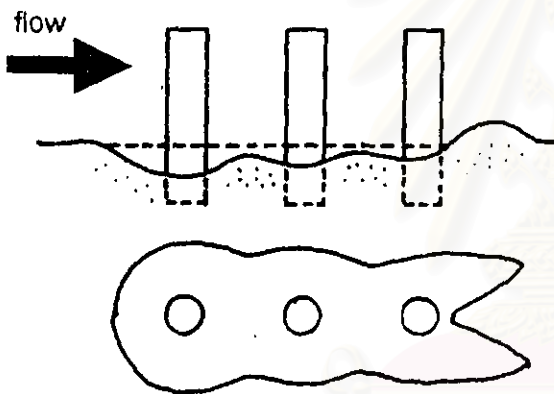
รูป 4 - 14 การเปรียบเทียบค่า d_s/y จากการทดลองและค่าจากสมการ 4.5



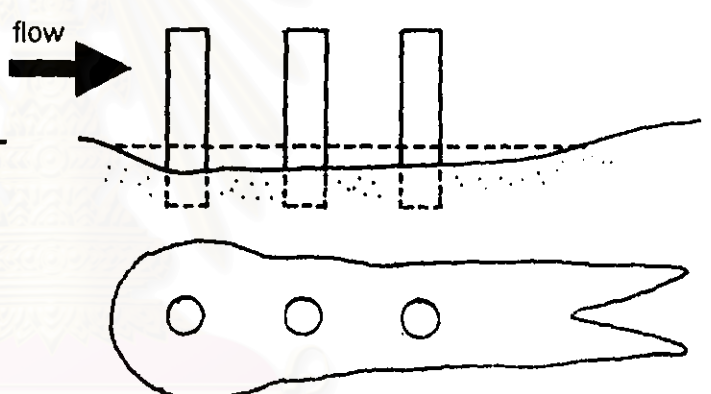
ก) $L/D = 1, \alpha = 0$, สภาวะ clear-water



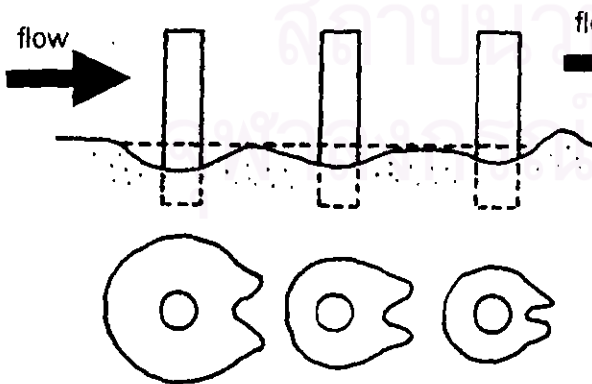
ง) $L/D = 1, \alpha = 0$, สภาวะ live-bed



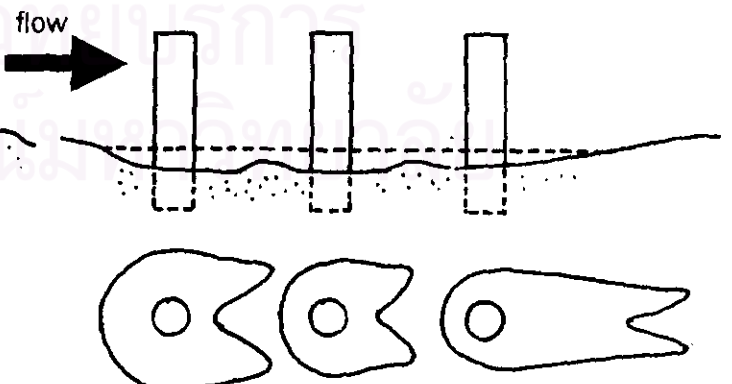
ข) $L/D = 2, \alpha = 0$, สภาวะ clear-water



จ) $L/D = 2, \alpha = 0$, สภาวะ live-bed

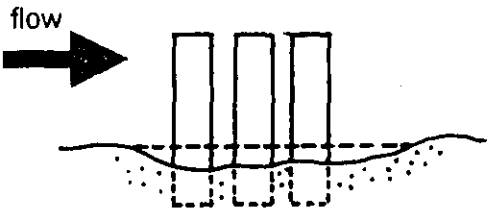


ค) $L/D = 3, \alpha = 0$, สภาวะ clear-water

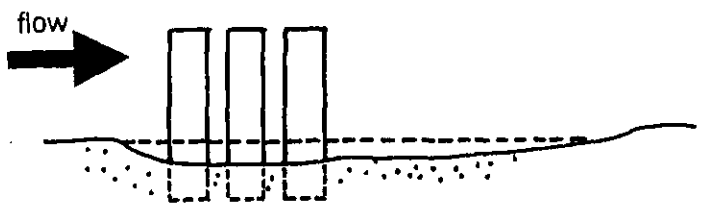


ฉ) $L/D = 3, \alpha = 0$, สภาวะ live-bed

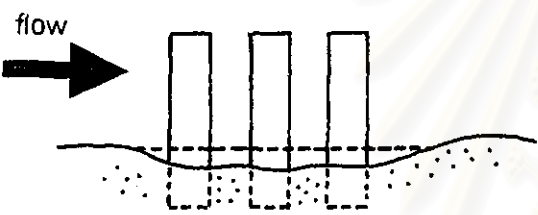
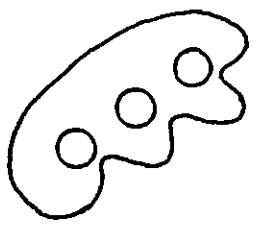
รูป 4 -15 ลักษณะของหลุมกัดเซาะโดยตอม่อวางในแนวทิศทางการไหล



ก) $L/D = 1, \alpha \neq 0$, สภาวะ clear-water



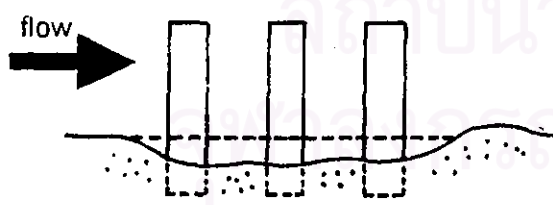
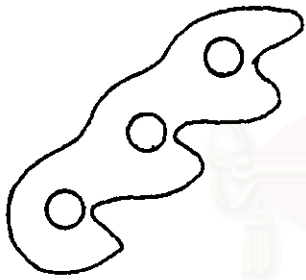
ง) $L/D = 1, \alpha \neq 0$, สภาวะ livebed



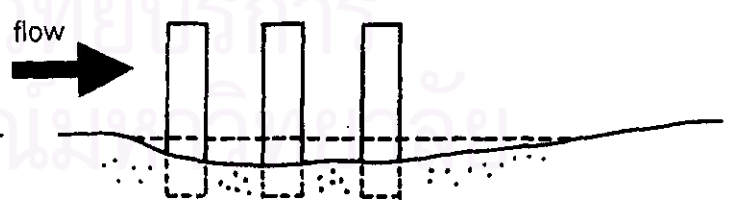
ข) $L/D = 2, \alpha \neq 0$, สภาวะ clear-water



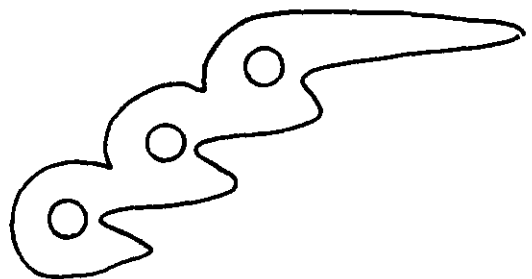
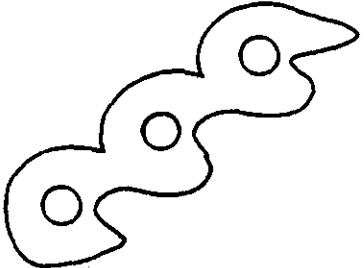
จ) $L/D = 2, \alpha \neq 0$, สภาวะ live-bed



ค) $L/D = 3, \alpha \neq 0$, สภาวะ clear-water



ฉ) $L/D = 3, \alpha \neq 0$, สภาวะ live-bed



รูป 4 -16 ลักษณะของหลุมกัดเซาะโดยมีตอม่อวางทำมุมในแนวทิศทางการไหล α องศา