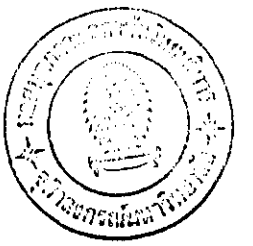


รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชัยพันธุ์ รักวิจัย. ชลศาสตร์ทางน้ำเปิด กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2536.

นัฐวุฒิ สนั่นพานิช. การศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอนโดยใช้ทรายละเอียดเป็นวัสดุท้องน้ำ วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา , บัณฑิตวิทยาลัย , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2535.

พรมงคล ชิดชอบ. การกัดเซาะรอบตอม่อสะพาน วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ , บัณฑิตวิทยาลัย , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2540.

สมรักษ์ ต่อวงศ์ไพชยนต์. การกัดเซาะของน้ำต่อโครงสร้างสะพานและท่อ วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา , บัณฑิตวิทยาลัย , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2527.

สวัสดิ์ ลู่ชัยชนะ. การศึกษาเคลื่อนที่ของตะกอนในรางน้ำเปิดโดยใช้ทรายที่มีขนาดและการเรียงเม็ดที่กำหนดให้เป็นวัสดุท้องน้ำ วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา , บัณฑิตวิทยาลัย , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2530.

ภาษาต่างประเทศ

A-Han,Chen. Local Scour around Circular Piers. M.Eng Thesis , Asian Institute of Technology , Bangkok , Thailand , 1987.

Bureau of Reclamation. , United States Department of Interior. Hydraulics Laboratory Techniques. Denver , Colorado , United States of America. , United States Government Printing Office , 1986.

Ettema,R. , Melville,B.W. ,and Barkdoll,B. "Scale Effect in Pier-scour Experiments." Journal of Hydraulics Engineering. , ASCE , Vol.124 , No.6 , June , 1998.

Federal Highway Administration. "Scour at Bridge." Technical Advisory. United States of America. , Office of Engineering Bridge Division , 1988.

Jones,J.Stering , Killgore Roger T. , and Mistichelli, Mark P. "Effect of Footing Location

on Bridge Piers Scour" Journal of Hydraulics Engineering. , ASCE , Vol.118 , No.2 , February , 1992.

Marti'n-Vide, J.P., Hidalgo , and Bateman A."Local Scour at Piles Bridge Foundations" Journal of Hydraulics Engineering. , ASCE , Vol.124 , No.4 , April , 1998.

Melville,B.W. "Live-bed Scour at Bridge Piers" Journal of Hydraulics Engineering. , ASCE , Vol.110 , No.9 , September , 1984.

Melville,B.W. ,and Dongol, D.M. "Bridge Pier Scour with Debris Accumulation" Journal of Hydraulics Engineering. , ASCE , Vol.108 , No.9 , September , 1992.

Meville,B.W. ,and Rauadkivi,A.J. "Effect of Foundation Geometry on Bridge Piers Scour." Journal of Hydraulics Engineering. , ASCE , Vol.122 , No.4 , April , 1996.

Nandana Vital , Kothyari,U.C., and Morteza Haghighat. "Clear-water Scour around Bridge Pier Group" Journal of Hydraulics Engineering. , ASCE , Vol.120 , No.11 , November , 1991.

Raudkivi,A.J. ,and Ettema,R. "Clear water Scour at Cylindrical Piers" Journal of Hydraulics Engineering. , ASCE , Vol.109 , No.3 , March , 1983.

Simons,Daryl B.,and Sentu°r°k. Sediment Transport Technology. Water Resource Publications , Fort Collins , Colorado , USA. , 1977.

Subhasish,D. , Sujit, K.Bose ,and Ghanddikota, L.N.Satry. "Clear-water Scour at Circular Piers." Journal of Hydraulics Engineering. , ASCE , Vol.121 , No.12 , December , 1995.

Vanoni,V.A. Sedimentation Engineering. United States of America , The American Society of Civil Engineers , 1975.

Yang,C.T. "Theory and Practice" Sediment Transport. Singapore , McGraw –Hill , 1996.

Zee,C.N. The Area of Scour Hole around Bridge Piers. M.Eng Thesis , Asian Institute of Technology , Bangkok , Thailand , 1987.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

แบบจำลองชลศาสตร์การกัดเซาะรอบตอม่อสะพานที่เรียงเป็นตับ

ก.1 การจัดเตรียมแบบจำลองทางชลศาสตร์

การทดลองการกัดเซาะรอบตอม่อสะพานที่เรียงเป็นแถว ซึ่งทำการศึกษาและทดลองในรางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีถังเก็บน้ำขนาดความจุ 30 ลบ.ม. ตั้งอยู่บนดาดฟ้า อาคาร 5 ชั้น และมีระบบสูบน้ำหมุนเวียน โดยรักษาระดับน้ำความดันคงที่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

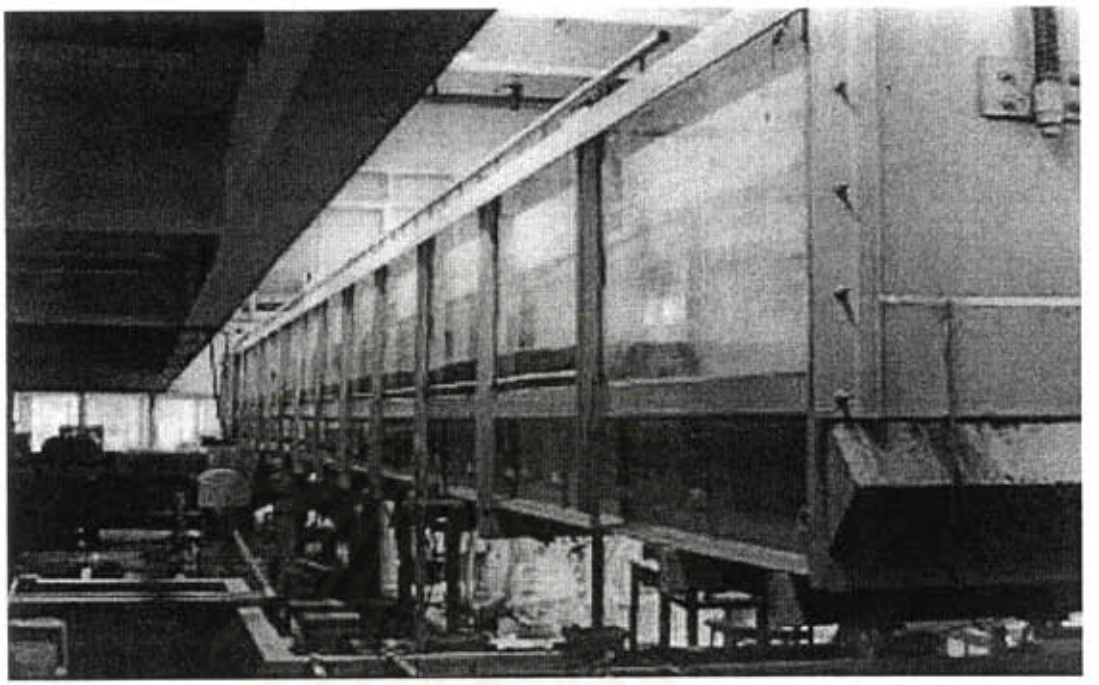
1) รางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความยาว 18 ม. กว้าง 0.60 ม. และลึก 0.75 ม. ผนังด้านข้างของรางน้ำทำด้วยกระจกใสหนา 1.20 ซม.ทั้ง 2 ข้าง พื้นรางทำด้วยแผ่นเหล็กหนา 6 มม. และความลาดเอียงของรางน้ำสามารถปรับได้โดยใช้แม่แรง (hydraulics) การปรับแม่แรงจะควบคุมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ดังรูป ก.1 - ก.4

2) ประตูควบคุมระดับน้ำที่ปลายรางน้ำ มีขนาดกว้าง 0.66 ม. สูง 0.76 ม. บานประตูทำด้วยเหล็กหนา 5 มม. ติดตั้งที่ปลายสุดของรางน้ำ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมความลึกการไหลของน้ำในรางน้ำ

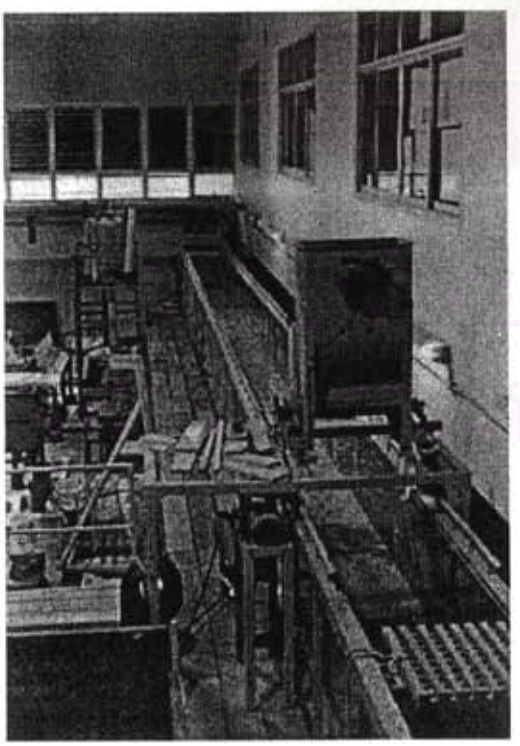
3) ตะแกรง (screens) และตะแกรงลดคลื่น (wave suppressors) ทำจากไม้ระแนงติดตั้งบริเวณปอพักน้ำด้านเหนือน้ำ เพื่อลดขนาดของคลื่นและความรุนแรงของกระแสน้ำ ดังรูป ก.5

4) ถาดติดล้อเลื่อน ทำจากไม้และอลูมิเนียม ซึ่งวิ่งไปตามรางขนานบนผนังของรางน้ำ ใช้สำหรับติดตั้งเครื่องมือวัดที่ใช้เก็บข้อมูลการทดลองต่างๆ เช่น เครื่องมือวัดความเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ เป็นต้น ดังรูป ก.6

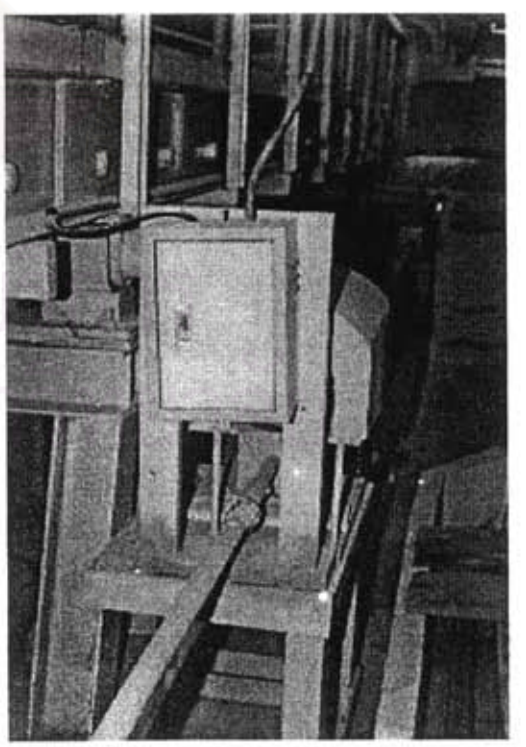
5) ระบบการหมุนเวียนของน้ำ ประกอบด้วย ถังเก็บน้ำ (constant head tank) ความจุ 30 ลบ.ม. เครื่องสูบน้ำขนาด 25 แรงม้า จำนวน 4 เครื่อง แต่ละเครื่องสามารถสูบน้ำได้สูงสุดประมาณ 25 ลิตรต่อวินาที การหมุนเวียนของน้ำจะเริ่มจากการปล่อยน้ำจากถังเก็บน้ำผ่านท่อเหล็กกล้าผ่านวาล์วควบคุมการเปิด-ปิดท่อ จนกระทั่งถึงปอพักด้านเหนือน้ำ น้ำจะไหลผ่านรางน้ำและไหลลงสู่ปอพักน้ำ (sump) บริเวณพื้นด้านล่างห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล และถูกสูบกลับไปสู่ถังเก็บน้ำโดยเครื่องสูบน้ำอีกครั้งหนึ่ง ดังรูป ก.7 – ก.9



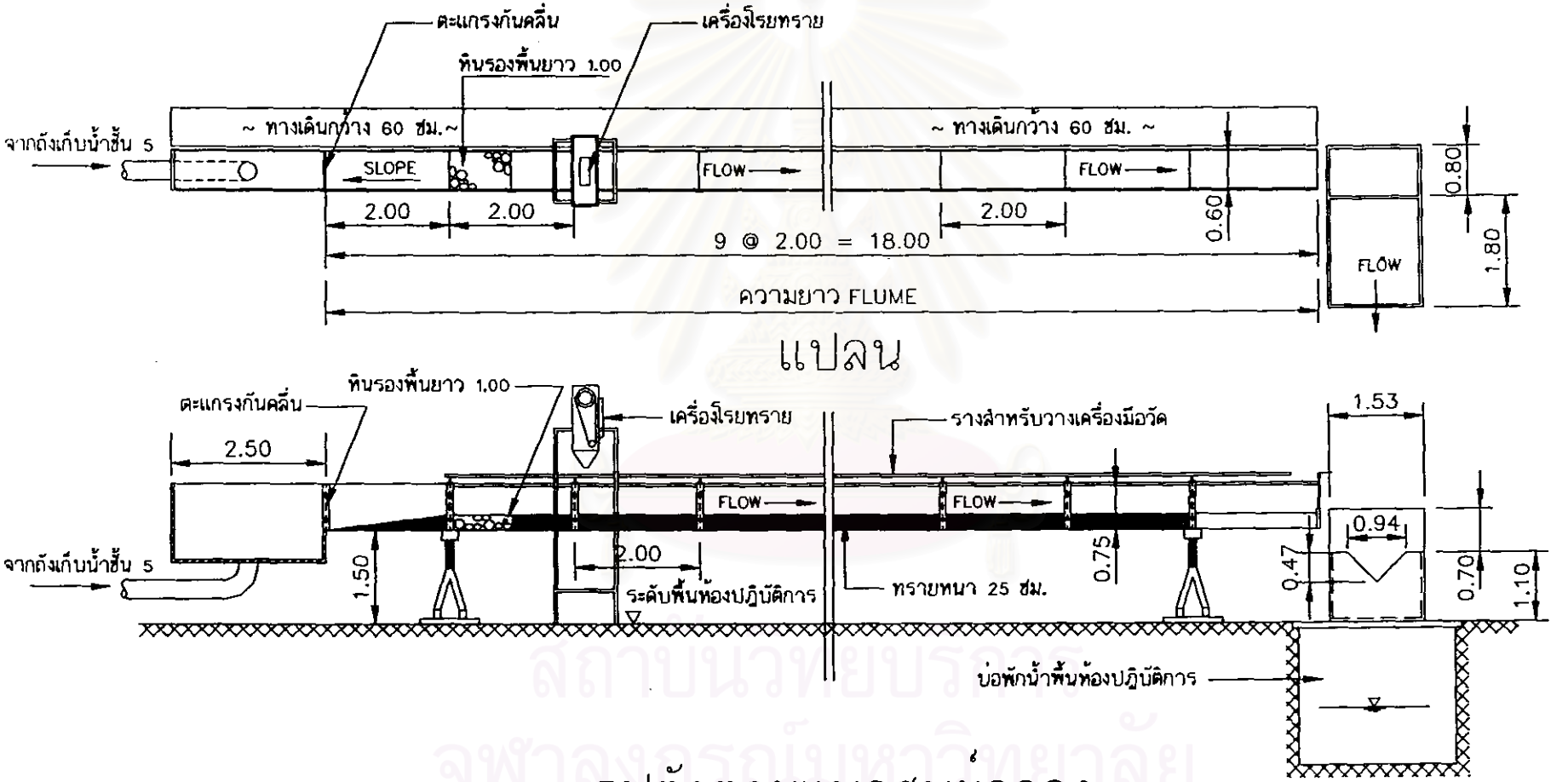
รูป ก.1 รางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular flume)



รูป ก.2 รางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

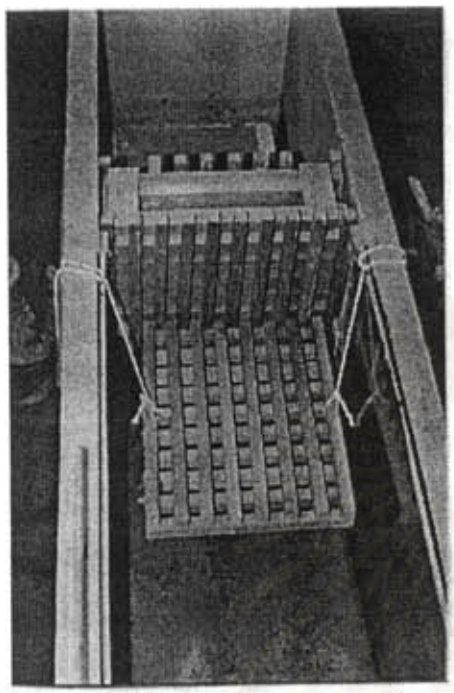


รูป ก.3 มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับปรับแม่แรง

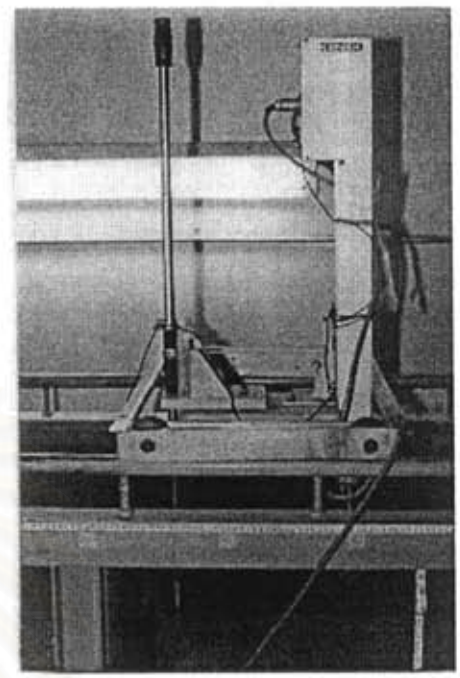


รูป ก.4 รางน้ำที่ใช้ในการทดลอง

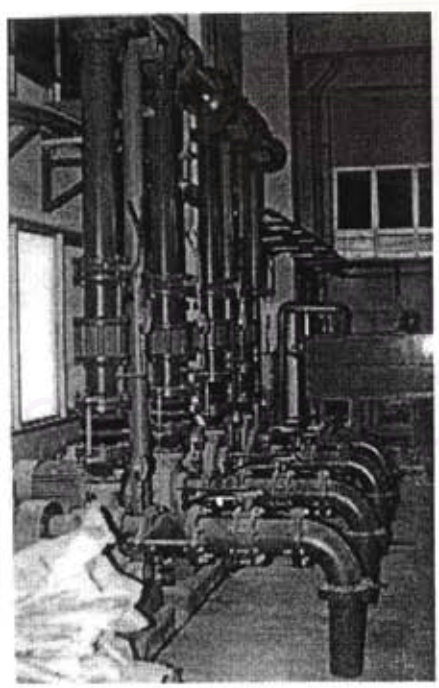
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



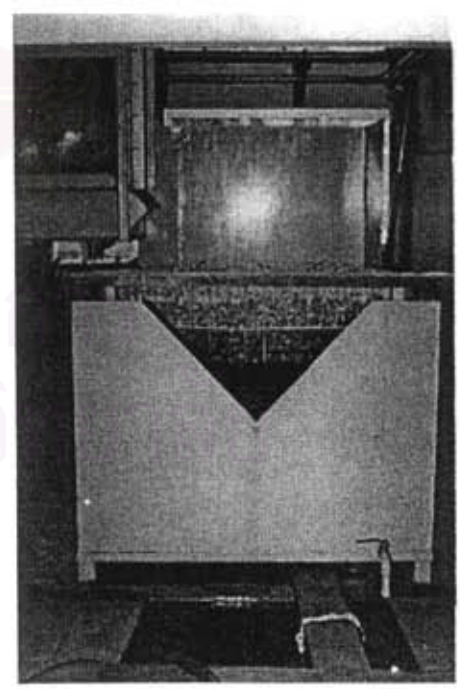
รูป ก.5 ตะแกรง และตะแกรงกันคลื่น
(screen and wave suppressors)



รูป ก.6 ถาดติดล้อเลื่อน

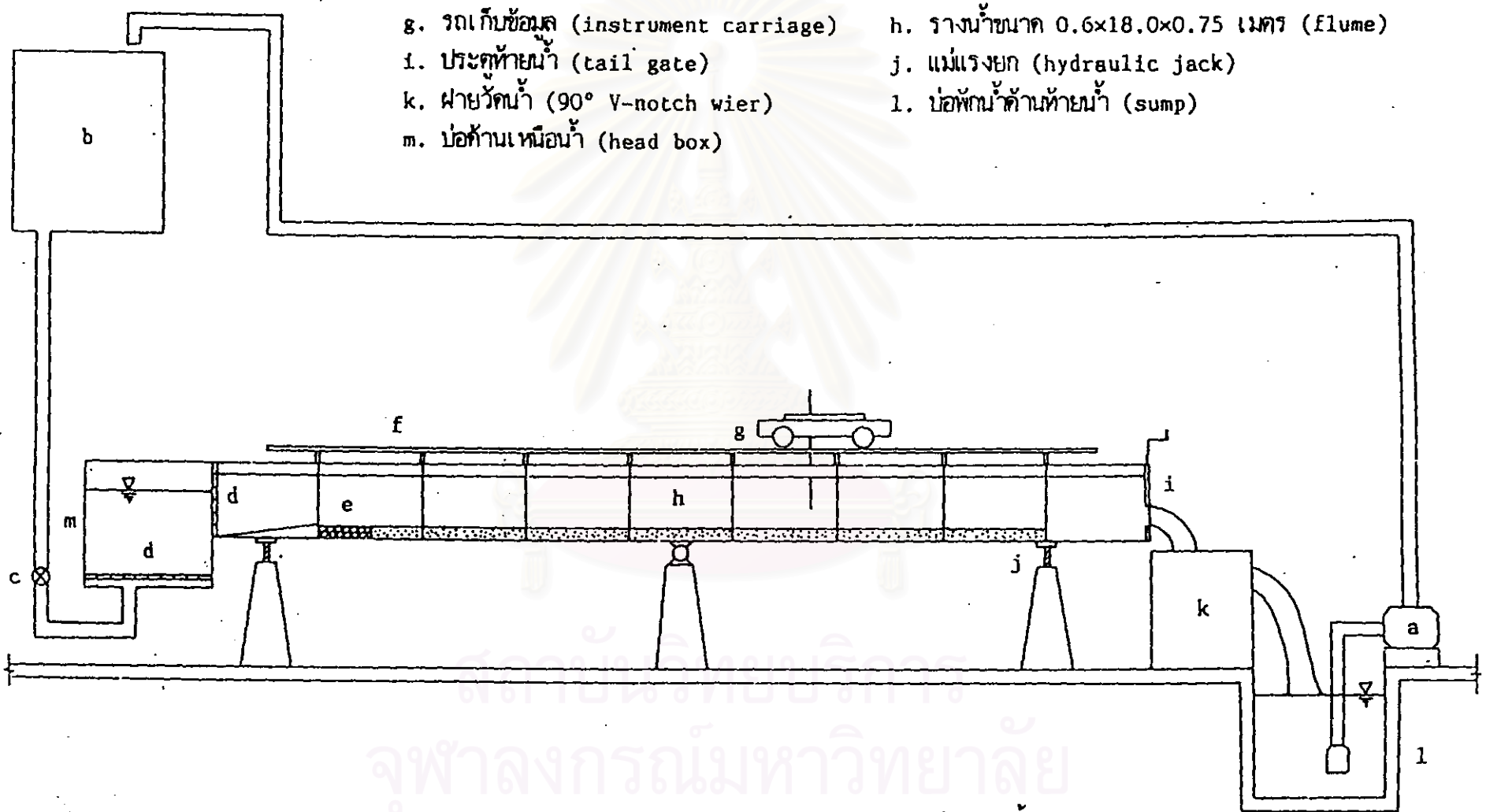


รูป ก.7 เครื่องสูบน้ำ



รูป ก.8 ฝายสามเหลี่ยมวัดน้ำสันคม
(90 ° v-notchweir)

a. เครื่องสูบน้ำ (pumping unit)
b. ถังเก็บน้ำ (head tank)
c. วาล์ว (valve)
d. แผงกรองคลื่น (screen)
e. หินเรียง (riprap)
f. รางล้อเลื่อน (rail)
g. รถเก็บข้อมูล (instrument carriage)
h. รางน้ำขนาด 0.6×18.0×0.75 เมตร (flume)
i. ประตูท้ายน้ำ (tail gate)
j. แม่แรงยก (hydraulic jack)
k. ฝายวัดน้ำ (90° V-notch wier)
l. บ่อพักน้ำด้านท้ายน้ำ (sump)
m. บ่อด้านเหนือน้ำ (head box)



รูป ก.9 แผนผังแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ และระบบการหมุนเวียนของน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดข้อมูลต่างๆ ประกอบด้วย

1) ฝายสามเหลี่ยมวัดน้ำสันคม กว้าง 1.53 ม. ยาว 2.60 ม. ด้านหน้าสูง 1.10 ม. ด้านหลังสูง 1.80 ม. ทำจากแผ่นเหล็กหนา 6 มม. สามารถวัดน้ำได้สูงสุดประมาณ 100 ลิตรต่อวินาที ติดตั้งอยู่ทางด้านท้ายของรางน้ำ ใช้สำหรับวัดอัตราการไหล ภายในตัวฝายติดตั้งตะแกรงลดคลื่น เพื่อลดความรุนแรงของน้ำ ทำให้สามารถอ่านค่าระดับเหนือสันฝายได้ถูกต้อง ดังรูป ก.8

2) เครื่องมือวัดความเปลี่ยนแปลงความลึกท้องน้ำ ใช้วัดระดับผิวน้ำ ระดับท้องน้ำและความลึกของน้ำ สำหรับอุปกรณ์เก็บข้อมูล (data logger) สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดได้ถึง 6 ช่องสัญญาณ แสดงผลการวัดทางจอ LCD ของแต่ละช่องสัญญาณ และสามารถเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะส่งข้อมูลไปเก็บในคอมพิวเตอร์และควบคุมการทำงานโดยคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย ดังรูป ก.10 – ก.11

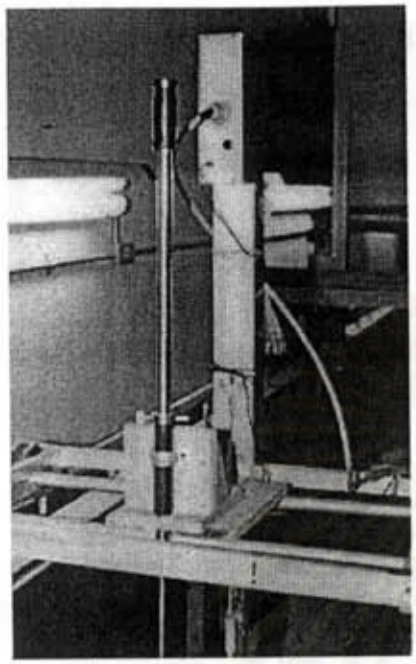
3) เครื่องโรยทรายอัตโนมัติ ประกอบด้วยถังเก็บทราย กว้าง 0.30 ม. ยาว 0.55 ม. และสูง 0.825 ม. บริเวณด้านข้างของถังเก็บทรายติดตั้งมอเตอร์สั่นสะเทือน ขนาด 0.5 แรงม้า 380 โวลท์ เครื่องโรยทราย เป็นแบบลูกกลิ้ง หมุนโดยใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า 220/380 โวลท์ จำนวนรอบสูงสุดหมุนได้ 1,500 รอบต่อนาที การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในการควบคุม ดังรูป ก.12 – ก.13

4) เทอร์โมมิเตอร์ ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำขณะทำการทดลอง

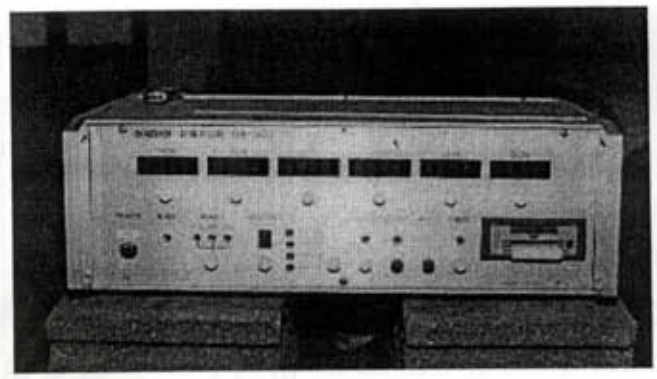
5) นาฬิกาจับเวลา

ก.3 แบบจำลองตอม่อสะพาน

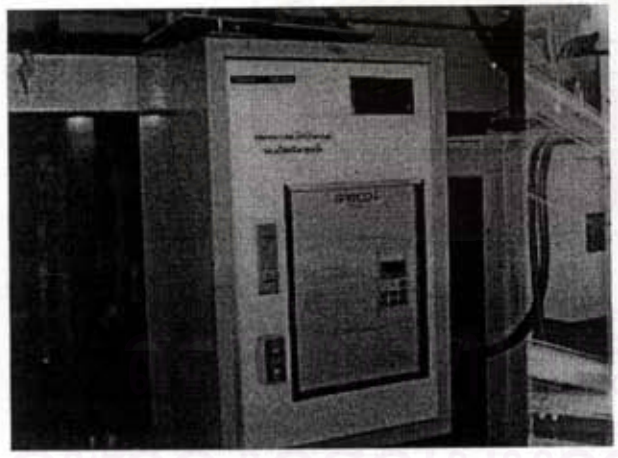
แบบจำลองตอม่อสะพานสร้างขึ้นจากท่อ P.V.C. ขนาด ϕ 4.8 ซม. ด้านข้องตอม่อติดสเกลในแนวดิ่งเพื่อสะดวกในการวัดความลึกหลุมกัดเซาะ โดยมีระยะห่างระหว่างตอม่อเท่ากับ 1D 2D และ 3D ตามลำดับ เมื่อ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของตอม่อ ดังรูป ก.14



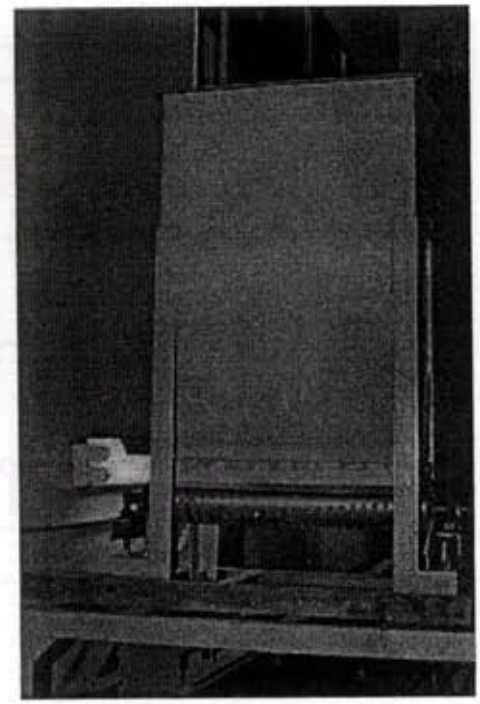
รูป ก.10 เครื่องมือวัดความเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ
(sandy surface meter)



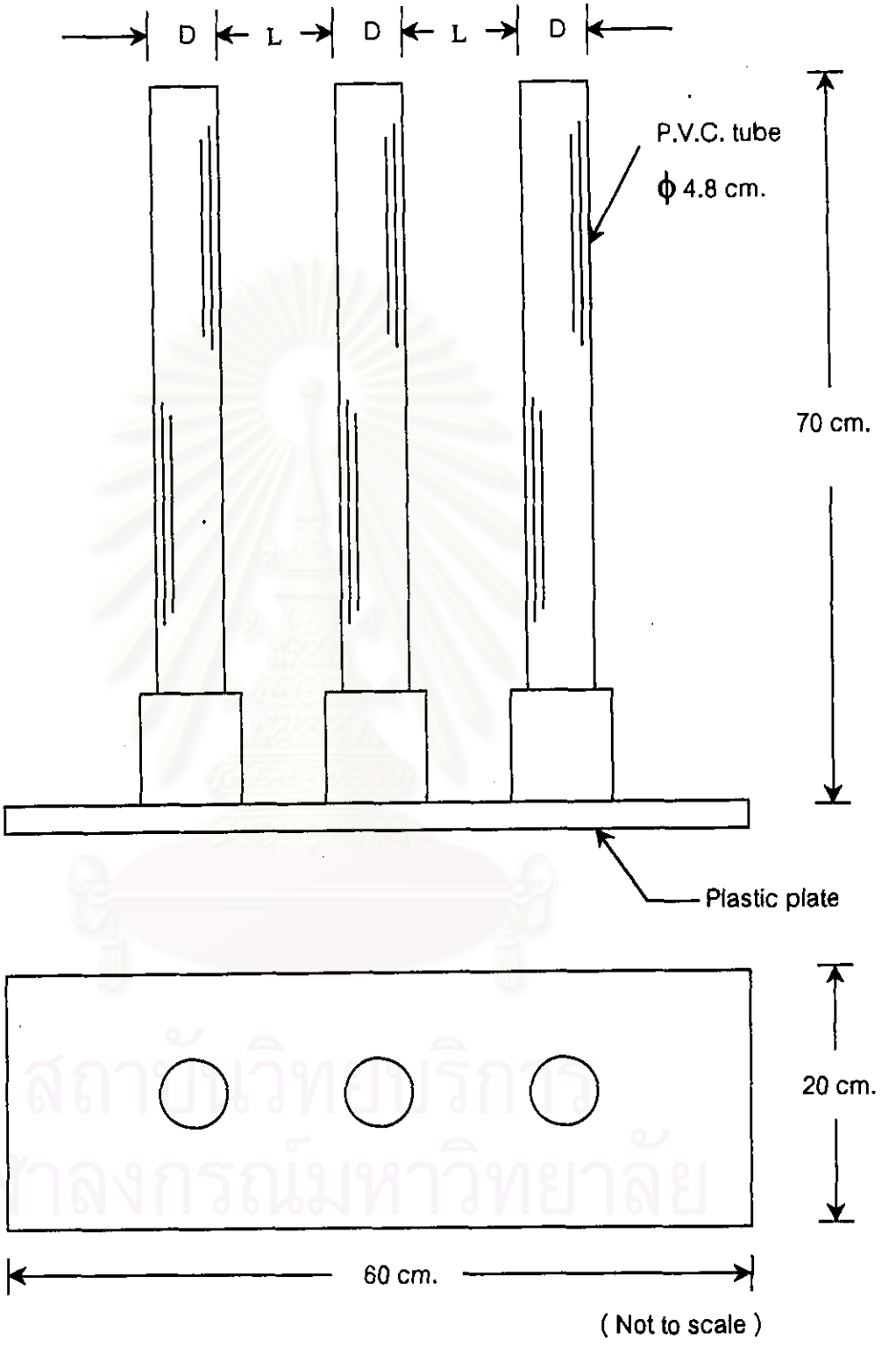
รูป ก.11 อุปกรณ์เก็บข้อมูล (data logger)



รูป ก.12 เครื่องควบคุมอัตราการโรยทราย
(control sand feeder)



รูป ก.13 ถังเก็บทราย (hopper)



L = 1D, 2D และ 3D

รูป ก.14 แบบจำลองตอม่อ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.4 วัสดุท้องน้ำ (bed material)

วัสดุท้องน้ำใช้ทรายขนาดสม่ำเสมอ 3 ขนาด ได้แก่ ทรายหยาบ d_{50} = 2.20 มม. ทรายปานกลาง d_{50} = 1.20 มม. และทรายละเอียด d_{50} = 0.36 มม. นำมาจำลองเป็นท้องน้ำ หนา 25 ซม.จากพื้นรางน้ำ ซึ่งมีคุณลักษณะดังนี้

ตาราง ก.1 คุณสมบัติของวัสดุท้องน้ำที่ใช้ในการทดลอง

ชนิด	d_{50} (มม.)	d_{84} (มม.)	d_{16} (มม.)	σ_g*	γ_s	U_{*c}** (m/s)	ϕ*** (องศา)	n****
ทรายละเอียด	0.36	0.40	0.25	1.26	2.65	0.017	28	0.012
ทรายปานกลาง	1.20	1.50	1.00	1.22	2.65	0.033	30	0.014
ทรายหยาบ	2.20	2.60	2.00	1.14	2.65	0.047	35	0.016

หมายเหตุ

* $\sigma_g = (d_{84}/d_{16})^{1/2}$

** U_{*c} = ความเร็วเฉือนวิกฤติ (Critical shear velocity , m/s)

*** ϕ = มุมเสถียรภาพของวัสดุท้องน้ำขณะอิ่มตัว

**** n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง (manning 's coefficient)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ข.1 การสอบเทียบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's Coefficient Calibration , n)

เปิดน้ำให้ไหลเข้ารางน้ำที่อัตราการไหลต่างๆ บันทึกค่าระดับน้ำเหนือสันฝาย ทำการวัดระดับผิวน้ำ ระดับท้องน้ำ และความลึกของน้ำทุกระยะ 1.20 ม. เพื่อนำมาหาค่าความชันของผิวน้ำ (water surface slope) คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) จากสูตรแมนนิ่ง (Manning's formula) ดังตาราง ข.1 - ข.3 และรูป ข.1 - ข.2

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \qquad (ข.1)$$

ตาราง ข.1 การคำนวณหาค่า n ของทรายขนาด ϕ 2.20 มม.

H (cm.)	Discharge (cms)	Depth (m.)	A (m^2)	P (m)	R	$R^{2/3}$	Slope (m/m)	n
12.5	0.008	0.038	0.023	0.68	0.034	0.104	0.0022	0.014
15.5	0.014	0.049	0.030	0.70	0.042	0.121	0.0030	0.014
18.4	0.021	0.063	0.038	0.73	0.052	0.139	0.0033	0.015
20.1	0.026	0.073	0.044	0.75	0.059	0.152	0.0043	0.017
22.1	0.032	0.088	0.053	0.78	0.068	0.186	0.0041	0.017
24.6	0.042	0.110	0.065	0.82	0.080	0.185	0.0042	0.018
25.6	0.047	0.120	0.070	0.83	0.084	0.191	0.0033	0.016
							n_{avg}	0.016

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.2 การคำนวณหาค่า n ของทรายขนาด ϕ 1.20 มม.

H (cm.)	Discharge (cms)	Depth (m.)	A (m^2)	P (m)	R	$R^{2/3}$	Slope (m/m)	n
12.5	0.008	0.040	0.024	0.68	0.035	0.106	0.0021	0.014
13.7	0.010	0.045	0.027	0.69	0.039	0.115	0.0026	0.016
15.5	0.014	0.053	0.032	0.71	0.045	0.126	0.0015	0.011
16.8	0.017	0.062	0.037	0.72	0.051	0.138	0.0012	0.010
17.9	0.019	0.070	0.042	0.74	0.057	0.148	0.0020	0.014
18.3	0.020	0.071	0.043	0.74	0.057	0.149	0.0020	0.014
21.9	0.032	0.105	0.063	0.81	0.078	0.182	0.0027	0.019
23.1	0.036	0.112	0.067	0.82	0.082	0.188	0.0019	0.015
							n_{avg}	0.014

ตาราง ข.3 การคำนวณหาค่า n ของทรายขนาด ϕ 0.36 มม.

H (cm.)	Discharge (cms)	Depth (m.)	A (m^2)	P (m)	R	$R^{2/3}$	Slope (m/m)	n
10.3	0.005	0.037	0.022	0.67	0.033	0.102	0.0010	0.014
13.0	0.009	0.044	0.027	0.69	0.038	0.114	0.0015	0.014
15.6	0.014	0.055	0.033	0.71	0.047	0.129	0.0017	0.013
18.5	0.021	0.071	0.042	0.74	0.057	0.148	0.0012	0.010
21.0	0.029	0.087	0.052	0.77	0.068	0.166	0.0014	0.011
							n_{avg}	0.013

ข.2 การหาอัตราการพัดพาตะกอน

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการหาค่า n โดยใช้เวลาในการหาอัตราการพัดพาตะกอนประมาณ 30 นาที และเก็บตัวอย่างปริมาณตะกอนทางด้านท้ายรางน้ำ นำไปตากจนแห้ง และก็นำไปชั่ง ซึ่งผลการทดลองมีดังนี้ ดังตาราง ข.4 ถึง ข.6 และ รูป ข.3

ตาราง ข.4 การหาอัตราการพัดพาตะกอนของทราย ϕ 1.20 มม.

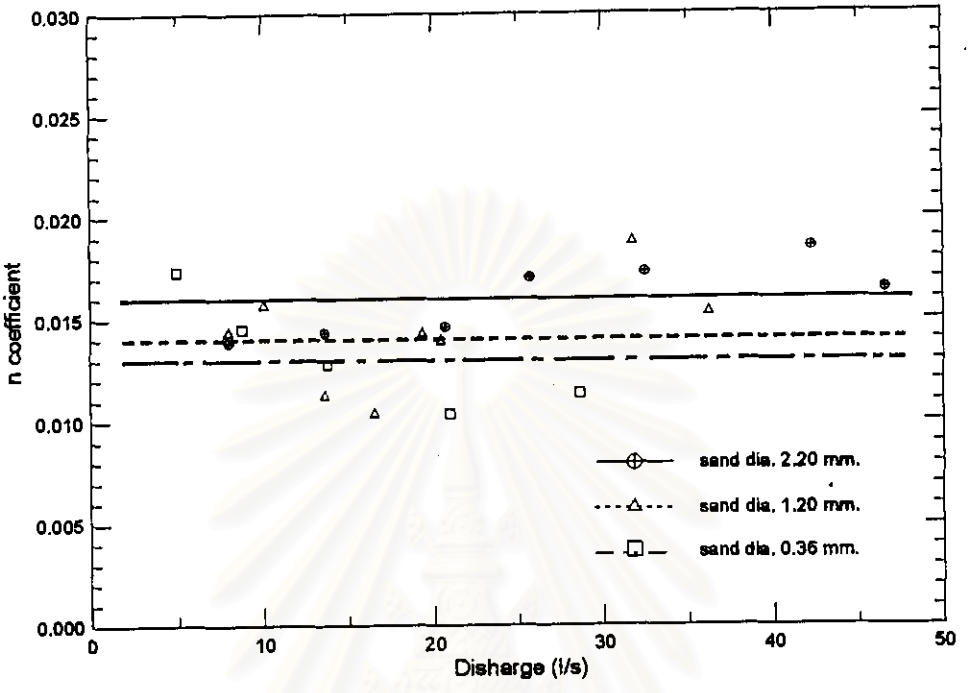
H (cm.)	Q (l/s)	Weight (kg.)	time (minute)	q_s (kg/s)
12.5	7.99	0.76	40.0	0.000
13.7	10.01	7.20	30.0	0.004
15.5	13.56	13.50	37.0	0.006
16.8	16.53	22.00	37.2	0.010
17.9	19.33	24.00	30.0	0.013
18.3	20.41	17.00	24.0	0.012
23.1	36.19	41.10	11.5	0.059
21.9	31.74	57.00	33.0	0.029

ตาราง ข.5 การหาอัตราการพัดพาตะกอนของทราย ϕ 2.20 มม.

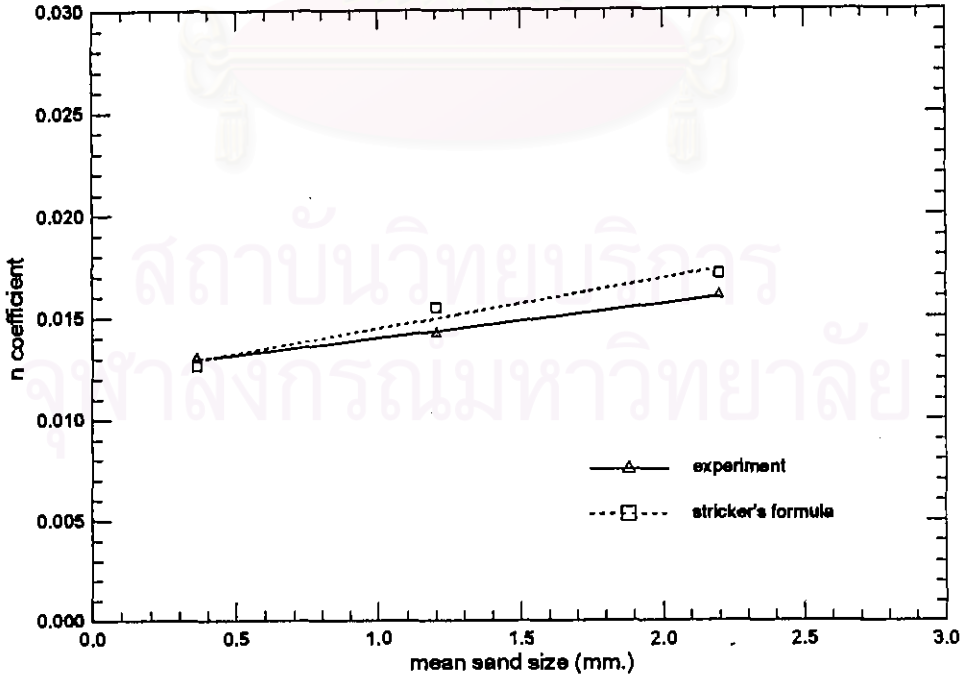
H (cm.)	Q (l/s)	Weight (kg.)	time (minute)	q_s (kg/s)
12.5	7.99	12.5	30	0.007
15.5	13.56	19.0	32	0.010
18.4	20.68	29.5	37	0.013
20.1	25.70	28.0	30	0.016
22.1	32.46	41.5	30	0.023
24.6	42.25	85.0	30	0.047
25.6	46.60	87.5	30	0.049

ตาราง ข.6 การหาอัตราการพัดพาตะกอนของทราย ϕ 0.36 มม.

H (cm.)	Q (l/s)	Weight (kg.)	time (minute)	q_s (kg/s)
10.3	4.96	15.0	30	0.008
13.0	8.80	17.5	30	0.010
15.6	13.78	34.0	30	0.019
18.5	20.96	47.3	30	0.026
21.0	28.63	63.5	30	0.035

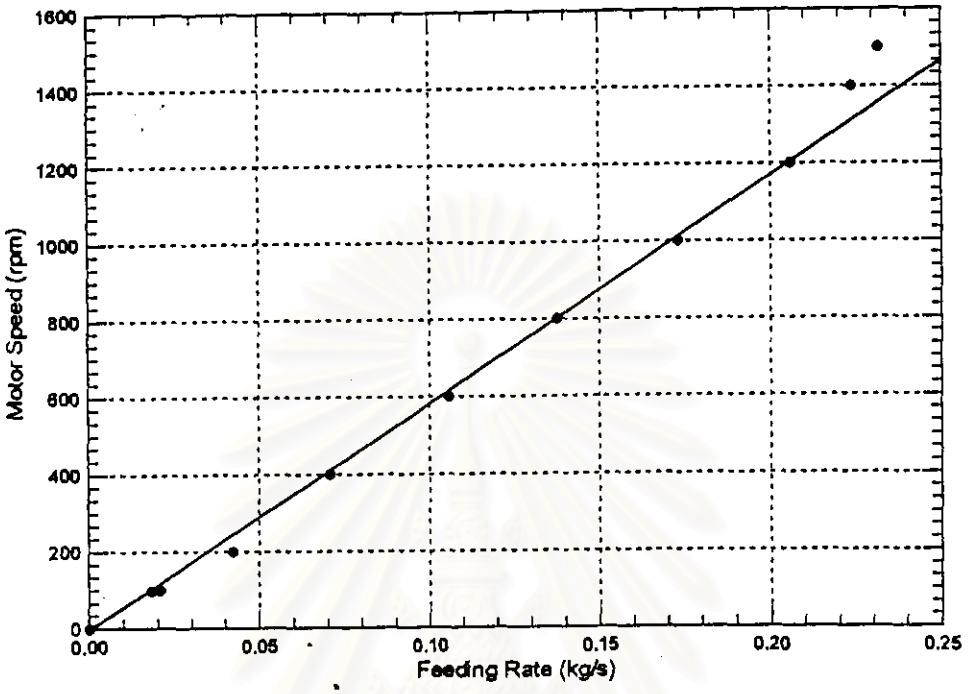


รูป ข.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n กับอัตราการไหล

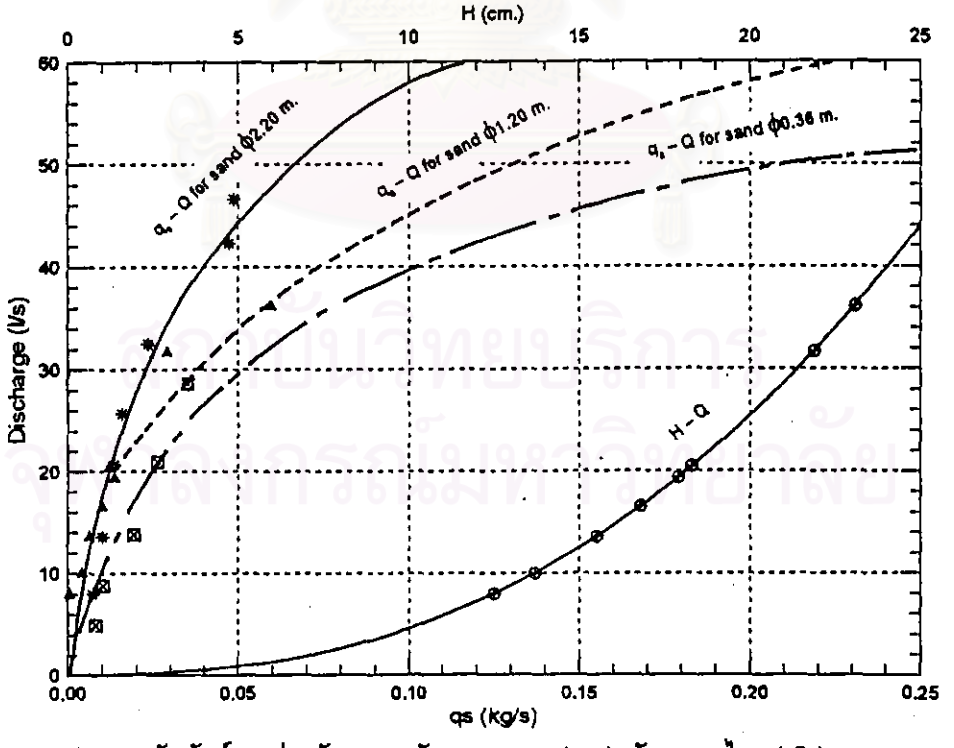


รูป ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n กับขนาดของทราย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) อัตราการโรยทรายของเครื่องโรยทรายอัตโนมัติ

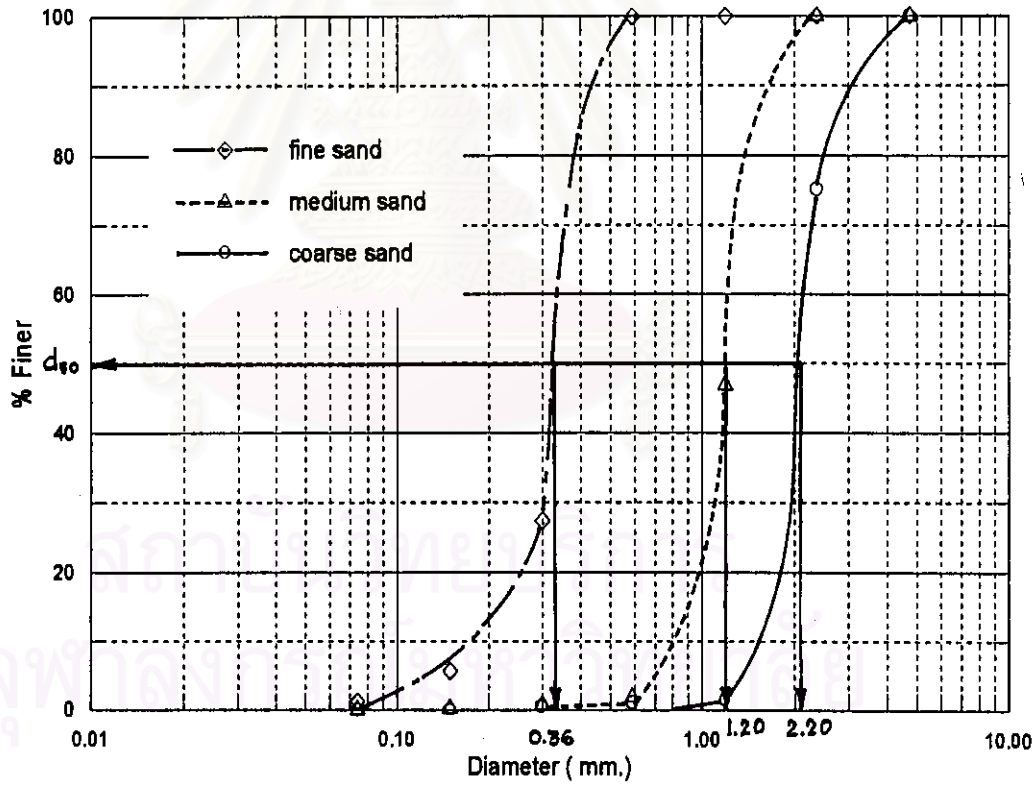


ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการพัดพาตะกอน (q_s) อัตราการไหล (Q) และความสูงของน้ำเหนือสันฝาย (H)

รูป ข.3 อัตราการโรยทรายที่อัตราการไหลขนาดต่าง ๆ

ข.3 การวิเคราะห์วัสดุท้องน้ำ

วัสดุท้องน้ำที่นำมาใช้ในการทดลอง ได้นำทรายมาจากลำน้ำธรรมชาติ ซึ่งใช้ทราย 3 ขนาด คือ ทรายหยาบ ทรายปานกลาง และทรายละเอียด โดยกำหนดช่วงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดทรายตามมาตรฐาน USBR. ได้แก่ ทรายหยาบ 2.0-5.0 มม. ทรายปานกลาง 0.4-2.0 มม. และทรายละเอียด 0.075-0.40 มม. โดยการวิเคราะห์ขนาดของวัสดุท้องน้ำ (sieve analysis) ณ ห้องปฏิบัติการปฐพีวิทยา สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้ ทรายหยาบ d_{50} = 2.20 มม. ทรายปานกลาง d_{50} = 1.20 มม.และทรายละเอียด d_{50} = 0.36 มม. รายละเอียดการวิเคราะห์ดังแสดงในรูป ข.4



รูป ข.4 การกระจายขนาดของทรายหยาบ ทรายปานกลาง และทรายละเอียด

ข.4 การหาค่าความเร็วเฉือนวิกฤติจาก Shield' s diagram

ในการหาค่าความเร็วเฉือนวิกฤติ เพื่อที่จะหาความลาดชันท้องน้ำในเบื้องต้นนั้น สามารถหาได้โดยที่ The American Society of Civil Engineer Task Committee on the Preparation of Sediment Manual (Vanoni,1977) ได้ใช้พารามิเตอร์ 3 ค่าในการหาค่าความเร็วเฉือนวิกฤติ ดังนี้

$$\frac{U_*d}{\upsilon} = \frac{d}{\upsilon}\left[0.1\left(\frac{\gamma_s}{\gamma}-1\right)gd\right]^{1/2} \qquad \text{ข.2}$$

และนำค่าที่ได้ไปอ่านจากรูป ข.5

ตัวอย่างการคำนวณ

ทราย d_{50} = 0.36 มม. = 0.00036 ม.

$T_w = 30^\circ$; υ = 0.80×10^{-6} $ม^2$/วินาที

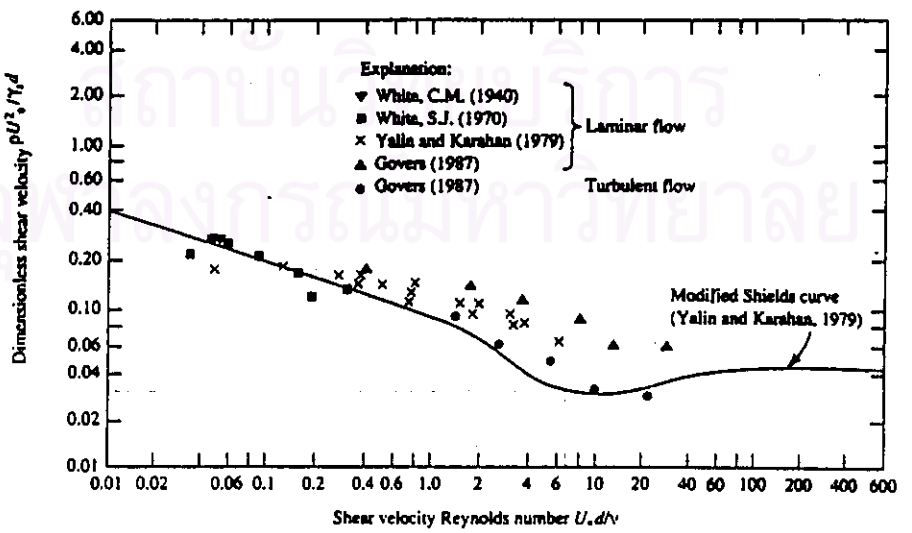
S ของทราย กำหนด = 2.65

$$\frac{d}{\upsilon}\left[0.1(S-1)gd\right]^{1/2} = \frac{0.00036}{0.80\times10^{-6}}\left[0.1(2.65-1)\times9.81\times0.00036\right]^{1/2}$$

$$= \frac{0.00036\times0.015}{0.80\times10^{-6}}$$

$\therefore$ U_*d/υ = 6.75

นำไปอ่านค่าจาก Shield's diagram



รูป ข. 5 Modified Shield's Diagram (GOVER , 1987)

$$\frac{\rho U_{*c}^2}{\gamma_s d} = 0.032$$

$$U_{*c}^2 = \frac{0.032 x 2.65 x 9.81 x 10^3 x 0.00036}{1000}$$

$$= 0.00030$$

U_{*c} = 0.017 เมตร/วินาที

ซึ่ง ทราย d_{50} = 1.20 มม ,มีค่า U_{*c} = 0.033 เมตร/วินาที

ทราย d_{50} = 2.20 มม.,มีค่า U_{*c} = 0.047 เมตร/วินาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

ผลการทดลอง

การทดลองการกัดเซาะรอบตอม่อสะพานที่เรียงเป็นตับ แบ่งกรณีศึกษาเป็น 10 กรณีคือ ใช้ทราย 3 ขนาดเป็นวัสดุท้องน้ำ และศึกษาทั้งสภาวะเงื่อนไขที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของวัสดุท้องน้ำ และสภาวะเงื่อนไขที่มีการเคลื่อนที่ของวัสดุท้องน้ำ โดยที่ตอม่อเป็นรูปทรงกระบอก วางห่างกันเป็นระยะ 1D 2D และ 3D เมื่อ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีดังนี้

1) ความลึกหลุมกัดเซาะ (d_s)
2) ความลึกน้ำ (y)
3) อุณหภูมิของน้ำ (T_w)
4) ความเร็วเฉลี่ยการไหล (v)
5) เวลาที่ใช้ในการทดลอง (t)
6) ปริมาณตะกอนท้องน้ำ

ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตาราง ค.1 ถึง ค.10 และรูป ค.1 ค.2 แสดงตัวอย่างความลึกหลุมกัดเซาะ รูป ค.3 ถึง ค.9 แสดงตัวอย่างรูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะในกรณีต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.1 ผลการทดลอง CASE A สภาวะ clear-water วัสดุท้องน้ำ d_{50} =1.20 มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 0 องศา

Run No.	L/D	α	Q (l/s)	T_w (C°)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s(cm.) 1	2	3	S_w	d_{50} (mm.)	t (min)	F_r	U_* (m/s)	U_{*c} (m/s)	U_*/U_{*c}
A1-1	1	0	4.0	29.5	3.1	21.3	4.0	2.5	0.8	0.0021	1.2	90	0.39	0.024	0.033	0.73
A1-2	2	0	4.0	29.5	2.9	22.6	4.1	1.0	2.5	0.0021	1.2	90	0.42	0.023	0.033	0.71
A1-3	3	0	4.0	29.5	3.4	19.4	2.2	1.2	1.0	0.0021	1.2	90	0.34	0.025	0.033	0.76
A2-1	1	0	9.5	29.5	4.9	32.1	4.7	3.8	4.5	0.0011	1.2	150	0.46	0.021	0.033	0.65
A2-2	2	0	9.5	29.5	4.9	32.2	5.8	4.7	3.5	0.0011	1.2	150	0.47	0.021	0.033	0.65
A2-3	3	0	9.5	29.5	6.0	26.2	4.1	2.4	2.0	0.0011	1.2	150	0.34	0.023	0.033	0.70
A3-1	1	0	5.8	29.0	3.2	30.6	5.0	2.8	2.7	0.0023	1.2	131	0.55	0.025	0.033	0.77
A3-2	2	0	5.8	29.0	3.3	29.7	5.0	3.0	1.8	0.0023	1.2	131	0.52	0.026	0.033	0.78
A3-3	3	0	5.8	29.0	3.8	25.6	4.0	2.2	1.2	0.0023	1.2	131	0.42	0.028	0.033	0.84
A4-1	1	0	16.5	29.5	6.8	40.6	5.8	4.6	4.5	0.0015	1.2	160	0.50	0.029	0.033	0.86
A4-2	2	0	16.5	29.5	7.2	38.1	6.2	5.0	4.3	0.0015	1.2	160	0.45	0.029	0.033	0.89
A4-3	3	0	16.5	29.5	8.5	32.6	4.7	3.7	2.8	0.0015	1.2	160	0.36	0.031	0.033	0.94
A5-1	1	0	12.1	29.8	5.8	34.9	6.2	5.4	5.0	0.0016	1.2	150	0.46	0.028	0.033	0.84
A5-2	2	0	12.1	29.8	5.6	36.0	6.0	5.0	4.4	0.0016	1.2	150	0.49	0.027	0.033	0.82
A5-3	3	0	12.1	29.8	6.8	29.8	4.1	2.0	2.2	0.0016	1.2	150	0.37	0.029	0.033	0.89
A6-1	1	0	19.9	30.0	8.9	37.1	6.3	5.2	4.5	0.0012	1.2	193	0.40	0.028	0.033	0.86
A6-2	2	0	19.9	30.0	9.1	36.3	6.5	5.5	4.3	0.0012	1.2	193	0.38	0.029	0.033	0.87
A6-3	3	0	19.9	30.0	10.4	32.0	4.8	2.7	2.2	0.0012	1.2	193	0.32	0.030	0.033	0.91
A7-1	1	0	23.3	29.5	12.1	32.0	6.5	5.3	4.2	0.0009	1.2	160	0.29	0.028	0.033	0.84
A7-2	2	0	23.3	29.5	12.3	31.4	5.8	4.5	3.3	0.0009	1.2	160	0.29	0.028	0.033	0.84
A7-3	3	0	23.3	29.5	13.4	29.0	4.4	2.5	2.0	0.0009	1.2	160	0.25	0.029	0.033	0.87
A8-1	1	0	33.2	29.3	20.7	26.7	4.0	3.2	1.3	0.0003	1.2	160	0.19	0.019	0.033	0.58
A8-2	2	0	33.2	29.3	19.7	28.1	3.8	2.2	1.2	0.0003	1.2	160	0.20	0.019	0.033	0.57
A8-3	3	0	33.2	29.3	19.1	29.0	2.2	1.3	1.6	0.0003	1.2	160	0.21	0.019	0.033	0.56
A9-1	1	0	40.6	29.8	19.4	34.8	6.3	5.0	3.4	0.0006	1.2	210	0.25	0.026	0.033	0.80
A9-2	2	0	40.6	29.8	18.5	36.6	6.5	5.5	4.2	0.0006	1.2	210	0.27	0.026	0.033	0.79
A9-3	3	0	40.6	29.8	18.3	37.1	5.6	4.0	2.4	0.0006	1.2	210	0.28	0.026	0.033	0.78
A10-1	1	0	46.2	30.0	24.5	31.4	5.3	3.8	2.1	0.0002	1.2	240	0.20	0.016	0.033	0.49
A10-2	2	0	46.2	30.0	23.6	32.6	5.8	4.3	2.2	0.0002	1.2	240	0.21	0.016	0.033	0.49
A10-3	3	0	46.2	30.0	23.0	33.5	5.0	3.0	1.4	0.0002	1.2	240	0.22	0.016	0.033	0.48
A11-1	1	0	57.1	29.8	26.9	35.4	7.7	6.1	4.1	0.0004	1.2	240	0.22	0.024	0.033	0.71
A11-2	2	0	57.1	29.8	25.9	36.8	6.8	5.1	3.1	0.0004	1.2	240	0.23	0.023	0.033	0.71
A11-3	3	0	57.1	29.8	25.2	37.7	6.2	4.7	2.5	0.0004	1.2	240	0.24	0.023	0.033	0.70

หมายเหตุ L/D = อัตราส่วนระยะห่างระหว่างตอม่อ y = flow depth d_{50}= mean diameter of sediment U_{*c} = critical shear velocity

α = angle of attack v = velocity of approach t = time to test

Q = discharge d_s = scour depth F_r = Froude number

T = water temperature S_w = water surface slope U_* = shear velocity

ตาราง ค.2 ผลการทดลอง CASE B สภาวะ clear-water วัสดุท้องน้ำ d_{50} =1.20 มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 20 องศา

Run No.	L/D	α	Q (l/s)	T_w (C°)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.) 1	2	3	S_w	d_{50} (mm.)	t (min)	F_r	U_* (m/s)	U_{*c} (m/s)	U_*/U_{*c}
B1-1	1	20	10.0	28.5	4.2	39.4	6.4	6.0	5.5	0.0023	1.2	120	0.61	0.029	0.033	0.88
B1-2	2	20	10.0	28.5	4.6	36.1	6.0	5.0	4.0	0.0023	1.2	120	0.54	0.030	0.033	0.91
B1-3	3	20	10.0	28.5	5.4	30.8	6.0	5.0	4.5	0.0023	1.2	120	0.42	0.032	0.033	0.98
B2-1	1	20	5.8	28.7	2.9	33.5	4.5	4.6	4.5	0.0031	1.2	120	0.63	0.028	0.033	0.86
B2-2	2	20	5.8	28.7	3.0	32.4	4.0	4.2	4.0	0.0031	1.2	120	0.60	0.029	0.033	0.87
B2-3	3	20	5.8	28.7	3.8	25.6	4.5	4.0	3.5	0.0031	1.2	120	0.42	0.032	0.033	0.97
B3-1	1	20	16.5	29.0	6.6	41.9	7.5	5.7	5.0	0.0026	1.2	120	0.52	0.037	0.033	1.12
B3-2	2	20	16.5	29.0	7.2	38.4	7.0	5.5	5.0	0.0026	1.2	120	0.46	0.038	0.033	1.16
B3-3	3	20	16.5	29.0	7.7	35.9	6.5	5.7	5.0	0.0026	1.2	120	0.41	0.039	0.033	1.20
B4-1	1	20	24.8	29.0	14.6	28.4	6.0	4.5	3.5	0.0008	1.2	120	0.24	0.028	0.033	0.84
B4-2	2	20	24.8	29.0	14.0	29.4	5.0	4.0	3.5	0.0008	1.2	120	0.25	0.027	0.033	0.83
B4-3	3	20	24.8	29.0	14.2	29.1	4.7	4.0	4.0	0.0008	1.2	120	0.25	0.027	0.033	0.83
B5-1	1	20	32.5	29.0	15.7	34.4	7.3	6.7	5.0	0.0028	1.2	166	0.28	0.053	0.033	1.61
B5-2	2	20	32.5	29.0	15.8	34.3	6.5	6.2	5.0	0.0028	1.2	166	0.28	0.053	0.033	1.61
B5-3	3	20	32.5	29.0	16.9	32.0	6.8	6.5	6.0	0.0028	1.2	166	0.25	0.055	0.033	1.65
B6-1	1	20	43.5	28.7	20.4	35.6	7.5	7.3	6.0	0.0006	1.2	150	0.25	0.027	0.033	0.81
B6-2	2	20	43.5	28.7	20.1	36.1	6.8	7.0	6.0	0.0006	1.2	150	0.26	0.027	0.033	0.81
B6-3	3	20	43.5	28.7	20.2	35.9	7.0	7.0	6.3	0.0006	1.2	150	0.26	0.027	0.033	0.81
B7-1	1	20	55.6	29.0	23.1	40.1	8.0	7.6	7.0	0.0018	1.2	120	0.27	0.048	0.033	1.45
B7-2	2	20	55.6	29.0	22.9	40.5	7.0	8.0	7.2	0.0018	1.2	120	0.27	0.048	0.033	1.45
B7-3	3	20	55.6	29.0	23.7	39.1	7.5	8.5	8.0	0.0018	1.2	120	0.26	0.048	0.033	1.46

หมายเหตุ L/D = อัตราส่วนระยะห่างระหว่างตอม่อ y = flow depth d_{50}= mean diameter of sediment U_{*c} = critical shear velocity

α = angle of attack v = velocity of approach t = time to test

Q = discharge d_s = scour depth F_r = Froude number

T_w = water temperature S_w = water surface slope U_* = shear velocity

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.3 ผลการทดลอง CASE C สภาวะ clear-water วัสดุท้องน้ำ d_{50} =1.20 มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 40 องศา

Run No.	L/D	α	Q (l/s)	T_w (C°)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s(cm.) 1	2	3	S_w	d_{50} (mm.)	t (min)	F_r	U_* (m/s)	U_{*c} (m/s)	U_*/U_{*c}
C1-1	1	40	9.7	29.0	4.47	36.0	5.3	5.5	5.2	0.0024	1.2	120	0.54	0.03	0.033	0.92
C1-2	2	40	9.7	29.0	4.53	35.5	5.0	5.2	5.0	0.0024	1.2	120	0.53	0.03	0.033	0.92
C1-3	3	40	9.7	29.0	4.97	32.4	4.0	5.0	4.3	0.0024	1.2	120	0.46	0.03	0.033	0.96
C2-1	1	40	6.5	29.5	3.12	34.8	4.2	4.2	4.0	0.0025	1.2	180	0.63	0.03	0.033	0.80
C2-2	2	40	6.5	29.5	3.13	34.7	4.2	4.5	4.4	0.0025	1.2	180	0.63	0.03	0.033	0.80
C2-3	3	40	6.5	29.5	3.85	28.2	4.0	4.2	3.5	0.0025	1.2	180	0.46	0.03	0.033	0.88
C3-1	1	40	16.1	29.0	6.75	39.6	6.7	7.2	7.5	0.0017	1.2	180	0.49	0.03	0.033	0.92
C3-2	2	40	16.1	29.0	6.87	38.9	4.6	5.2	5.5	0.0017	1.2	180	0.47	0.03	0.033	0.93
C3-3	3	40	16.1	29.0	6.75	39.6	4.0	5.4	4.5	0.0017	1.2	180	0.49	0.03	0.033	0.92
C4-1	1	40	23.6	29.2	12.93	30.4	7.4	7.4	7.4	0.0003	1.2	180	0.27	0.02	0.033	0.49
C4-2	2	40	23.6	29.2	12.05	32.6	6.5	6.0	5.5	0.0003	1.2	180	0.30	0.02	0.033	0.48
C4-3	3	40	23.6	29.2	12.00	32.7	5.5	4.8	5.5	0.0003	1.2	180	0.30	0.02	0.033	0.48
C5-1	1	40	32.1	29.5	17.20	31.1	6.2	5.6	5.7	0.0002	1.2	180	0.24	0.01	0.033	0.44
C5-2	2	40	32.1	29.5	16.18	33.1	6.2	5.8	5.7	0.0002	1.2	180	0.26	0.01	0.033	0.44
C5-3	3	40	32.1	29.5	16.30	32.8	6.0	5.3	6.0	0.0002	1.2	180	0.26	0.01	0.033	0.44
C6-1	1	40	44.0	29.7	20.87	35.1	8.2	8.2	8.2	0.0003	1.2	180	0.25	0.02	0.033	0.58
C6-2	2	40	44.0	29.7	19.98	36.7	8.5	8.5	8.0	0.0003	1.2	180	0.26	0.02	0.033	0.57
C6-3	3	40	44.0	29.7	20.02	36.6	7.0	6.7	5.7	0.0003	1.2	180	0.26	0.02	0.033	0.57
C7-1	1	40	55.6	29.7	29.23	31.7	7.7	7.2	7.4	0.0002	1.2	180	0.19	0.02	0.033	0.52
C7-2	2	40	55.6	29.7	28.32	32.7	7.0	7.0	6.5	0.0002	1.2	180	0.20	0.02	0.033	0.51
C7-3	3	40	55.6	29.7	28.67	32.3	6.2	5.6	5.3	0.0002	1.2	180	0.19	0.02	0.033	0.51

หมายเหตุ L/D = อัตราส่วนระยะห่างระหว่างตอม่อ
α = angle of attack
Q = discharge
T_w = water temperature
y = flow depth
v = velocity of approach
d_s = scour depth
S_w = water surface slope
d_{50}= mean diameter of sediment
t = time to test
F_r = Froude number
U_* = shear velocity
U_{*c} = critical shear velocity

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.4 ผลการทดลอง CASE D สภาวะ clear-water วัสดุท้องน้ำ d_{50} = 2.20 มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 0 องศา

Run No.	L/D	α	Q (l/s)	T_w (C°)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s(cm.) 1	2	3	S_w	d_{50} (mm.)	t (min)	F_r	U_* (m/s)	U_{*c} (m/s)	U_*/U_{*c}
D1-1	1	0	12.3	26.5	4.9	41.9	3.8	3.0	2.1	0.0036	2.2	90	0.60	0.04	0.047	0.82
D1-2	2	0	12.3	26.5	4.4	46.9	2.5	1.4	0.5	0.0036	2.2	90	0.72	0.04	0.047	0.78
D1-3	3	0	12.3	26.5	4.6	44.4	4.8	3.0	2.7	0.0036	2.2	90	0.66	0.04	0.047	0.80
D2-1	1	0	15.8	26.7	5.7	46.1	4.8	4.0	3.0	0.0030	2.2	160	0.62	0.04	0.047	0.80
D2-2	2	0	15.8	26.7	5.8	45.7	4.4	2.3	1.8	0.0030	2.2	160	0.61	0.04	0.047	0.80
D2-3	3	0	15.8	26.7	5.8	45.6	4.8	3.0	2.5	0.0030	2.2	160	0.61	0.04	0.047	0.80
D3-1	1	0	23.9	27.0	9.1	43.9	3.5	2.7	1.7	0.0007	2.2	132	0.47	0.02	0.047	0.46
D3-2	2	0	23.9	27.0	9.8	40.8	2.2	1.2	1.5	0.0007	2.2	132	0.42	0.02	0.047	0.48
D3-3	3	0	23.9	27.0	10.8	36.7	1.8	1.5	1.5	0.0007	2.2	132	0.36	0.02	0.047	0.50
D4-1	1	0	33.9	27.2	12.4	45.6	4.0	2.5	1.8	0.0008	2.2	161	0.41	0.03	0.047	0.56
D4-2	2	0	33.9	27.2	12.7	44.6	3.2	1.8	1.5	0.0008	2.2	161	0.40	0.03	0.047	0.56
D4-3	3	0	33.9	27.2	13.7	41.4	3.3	1.5	1.7	0.0008	2.2	161	0.36	0.03	0.047	0.58
D5-1	1	0	41.8	27.4	14.2	49.3	5.8	4.0	3.0	0.0008	2.2	170	0.42	0.03	0.047	0.58
D5-2	2	0	41.8	27.4	14.7	47.6	5.5	3.0	2.2	0.0008	2.2	170	0.40	0.03	0.047	0.59
D5-3	3	0	41.8	27.4	15.7	44.3	4.8	3.0	2.0	0.0008	2.2	170	0.36	0.03	0.047	0.61
D6-1	1	0	46.2	27.5	16.1	47.9	5.8	4.0	2.8	0.0008	2.2	240	0.38	0.03	0.047	0.61
D6-2	2	0	46.2	27.5	16.3	47.3	5.8	3.7	2.5	0.0008	2.2	240	0.37	0.03	0.047	0.61
D6-3	3	0	46.2	27.5	17.3	44.5	5.8	3.7	2.5	0.0008	2.2	240	0.34	0.03	0.047	0.62
D7-1	1	0	58.1	27.8	20.5	47.3	4.5	3.5	2.5	0.0011	2.2	240	0.33	0.04	0.047	0.77
D7-2	2	0	58.1	27.8	21.3	45.5	5.7	3.7	2.3	0.0011	2.2	240	0.32	0.04	0.047	0.78
D7-3	3	0	58.1	27.8	22.1	43.9	4.7	2.5	1.8	0.0011	2.2	240	0.30	0.04	0.047	0.79
D8-1	1	0	63.3	28.0	20.8	50.8	7.0	5.0	4.0	0.0008	2.2	240	0.36	0.03	0.047	0.66
D8-2	2	0	63.3	28.0	22.0	48.0	7.4	5.0	3.8	0.0008	2.2	240	0.33	0.03	0.047	0.67
D8-3	3	0	63.3	28.0	22.9	46.1	6.5	4.1	3.0	0.0008	2.2	240	0.31	0.03	0.047	0.68
D9-1	1	0	73.4	28.2	23.9	51.2	6.8	5.0	4.0	0.0007	2.2	240	0.33	0.03	0.047	0.64
D9-2	2	0	73.4	28.2	25.0	49.0	7.0	5.2	4.0	0.0007	2.2	240	0.31	0.03	0.047	0.65
D9-3	3	0	73.4	28.2	25.7	47.7	6.7	4.7	3.5	0.0007	2.2	240	0.30	0.03	0.047	0.66

หมายเหตุ L/D = อัตราส่วนระยะห่างระหว่างตอม่อ y = flow depth d_{50}= mean diameter of sediment U_{*c} = critical shear velocity

α = angle of attack v = velocity of approach t = time to test

Q = discharge d_s = scour depth F_r = Froude number

T_w = water temperature S_w = water surface slope U_* = shear velocity

ตาราง ค.5 ผลการทดลอง CASE E สภาวะ clear-water วัสดุท้องน้ำ d_{50} = 0.36 มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 0 องศา

Run No.	L/D	α	Q (l/s)	T_w (C°)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.) 1	2	3	S_w	d_{50} (mm.)	t (min)	F_r	U_* (m/s)	U_{*c} (m/s)	U_*/U_{*c}
E1-1	1	0	4.4	27.0	3.45	21.2	3.0	2.3	1.0	0.0012	0.36	90	0.36	0.019	0.017	1.12
E1-2	2	0	4.4	27.0	3.95	18.5	3.3	1.8	0.0	0.0012	0.36	90	0.30	0.020	0.017	1.19
E1-3	3	0	4.4	27.0	4.40	16.6	2.7	0.0	0.7	0.0012	0.36	90	0.25	0.021	0.017	1.25
E2-1	1	0	5.8	27.0	4.97	19.6	3.5	3.2	1.5	0.0027	0.36	187	0.28	0.034	0.017	1.98
E2-2	2	0	5.8	27.0	5.02	19.4	3.2	2.2	1.2	0.0027	0.36	187	0.28	0.034	0.017	1.99
E2-3	3	0	5.8	27.0	4.75	20.5	3.0	1.0	0.2	0.0027	0.36	187	0.30	0.033	0.017	1.94
E3-1	1	0	11.5	27.0	7.67	25.0	5.0	4.5	3.2	0.0005	0.36	181	0.29	0.017	0.017	1.02
E3-2	2	0	11.5	27.0	8.08	23.7	5.0	3.4	2.3	0.0005	0.36	181	0.27	0.018	0.017	1.04
E3-3	3	0	11.5	27.0	8.72	22.0	3.0	1.0	1.3	0.0005	0.36	181	0.24	0.018	0.017	1.07
E4-1	1	0	12.7	26.7	7.52	28.2	5.0	4.5	3.2	0.0002	0.36	182	0.33	0.011	0.017	0.64
E4-2	2	0	12.7	26.7	8.72	24.3	5.0	4.0	2.5	0.0002	0.36	182	0.26	0.012	0.017	0.68
E4-3	3	0	12.7	26.7	9.35	22.7	3.0	1.2	1.5	0.0002	0.36	182	0.24	0.012	0.017	0.70
E5-1	1	0	14.7	26.7	11.50	21.3	4.0	3.0	1.5	0.0002	0.36	185	0.20	0.013	0.017	0.75
E5-2	2	0	14.7	26.7	12.00	20.4	2.3	1.5	1.0	0.0002	0.36	185	0.19	0.013	0.017	0.76
E5-3	3	0	14.7	26.7	13.02	18.8	1.4	1.0	1.2	0.0002	0.36	185	0.17	0.013	0.017	0.79
E6-1	1	0	18.3	27.0	14.82	20.6	3.5	2.5	0.6	0.0002	0.36	183	0.17	0.015	0.017	0.90
E6-2	2	0	18.3	27.0	15.43	19.7	2.7	1.3	0.8	0.0002	0.36	183	0.16	0.015	0.017	0.91
E6-3	3	0	18.3	27.0	16.47	18.5	2.0	0.5	1.0	0.0002	0.36	183	0.15	0.016	0.017	0.93
E7-1	1	0	21.2	27.0	17.18	20.6	3.0	1.5	0.0	0.0002	0.36	182	0.16	0.015	0.017	0.86
E7-2	2	0	21.2	27.0	17.87	19.8	3.0	1.3	1.0	0.0002	0.36	182	0.15	0.015	0.017	0.87
E7-3	3	0	21.2	27.0	18.82	18.8	2.0	1.0	1.2	0.0002	0.36	182	0.14	0.015	0.017	0.89
E8-1	1	0	26.3	27.4	17.02	25.8	5.3	3.6	2.0	0.0003	0.36	181	0.20	0.018	0.017	1.05
E8-2	2	0	26.3	27.4	17.67	24.8	5.0	3.4	2.0	0.0003	0.36	181	0.19	0.018	0.017	1.06
E8-3	3	0	26.3	27.4	18.62	23.6	3.5	2.0	1.5	0.0003	0.36	181	0.17	0.018	0.017	1.08
E9-1	1	0	35.8	27.7	25.87	23.1	5.0	3.2	1.0	0.0002	0.36	256	0.14	0.017	0.017	0.97
E9-2	2	0	35.8	27.7	26.58	22.5	4.5	3.2	1.0	0.0002	0.36	256	0.14	0.017	0.017	0.98
E9-3	3	0	35.8	27.7	27.78	21.5	3.2	1.3	1.3	0.0002	0.36	256	0.13	0.017	0.017	0.99

หมายเหตุ L/D = อัตราส่วนระยะห่างระหว่างตอม่อ
α = angle of attack
Q = discharge
T_w = water temperature
y = flow depth
v = velocity of approach
d_s = scour depth
S_w = water surface slope
d_{50} = mean diameter of sediment
t = time to test
F_r = Froude number
U_* = shear velocity
U_{*c} = critical shear velocity

ตาราง ค.6 ผลการทดลอง CASE AS สภาวะ live-bed วัสดุท้องน้ำ d_{50} = 1.20 มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 0 องศา

Run No.	L/D	α	q_{sin} (kg/s)	q_{sout} (kg/s)	Q (l/s)	T_w (C°)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s(cm.) 1	2	3	S_w	d_{50} (mm.)	t (min)	F_r
AS1-1	1	0	0.020	0.015	23.0	29.5	7.00	54.7	4.4	2.8	3.3	0.0036	1.2	90	0.66
AS1-2	2	0	0.020	0.015	23.0	29.5	7.48	51.2	4.5	2.5	2.7	0.0036	1.2	90	0.60
AS1-3	3	0	0.020	0.015	23.0	29.5	8.07	47.4	5.0	5.0	4.4	0.0036	1.2	90	0.53
AS2-1	1	0	0.022	0.016	25.4	29.0	7.96	53.2	4.0	3.0	2.3	0.0027	1.2	90	0.60
AS2-2	2	0	0.022	0.016	25.4	29.0	8.32	50.9	2.5	1.3	1.0	0.0027	1.2	90	0.56
AS2-3	3	0	0.022	0.016	25.4	29.0	7.87	53.8	5.5	4.0	2.5	0.0027	1.2	90	0.61
AS3-1	1	0	0.025	0.027	30.3	29.2	10.72	47.2	4.3	2.5	2.5	0.0022	1.2	113	0.46
AS3-2	2	0	0.025	0.027	30.3	29.2	9.63	52.5	4.0	3.7	2.5	0.0022	1.2	113	0.54
AS3-3	3	0	0.025	0.027	30.3	29.2	9.00	56.2	5.4	3.6	3.0	0.0022	1.2	113	0.60
AS4-1	1	0	0.035	0.028	34.3	29.3	11.27	50.7	5.0	4.0	3.0	0.0028	1.2	80	0.48
AS4-2	2	0	0.035	0.028	34.3	29.3	11.13	51.4	7.0	4.0	3.0	0.0028	1.2	80	0.49
AS4-3	3	0	0.035	0.028	34.3	29.3	9.63	59.4	6.0	5.0	3.3	0.0028	1.2	80	0.61
AS5-1	1	0	0.042	0.033	37.8	29.3	11.58	54.3	5.0	4.0	3.0	0.0026	1.2	65	0.51
AS5-2	2	0	0.042	0.033	37.8	29.3	12.72	49.5	7.0	6.0	5.0	0.0026	1.2	65	0.44
AS5-3	3	0	0.042	0.033	37.8	29.3	11.16	56.4	6.2	5.0	4.0	0.0026	1.2	65	0.54
AS6-1	1	0	0.070	0.057	44.8	28.7	12.93	57.8	5.0	4.5	3.0	0.0051	1.2	45	0.51
AS6-2	2	0	0.070	0.057	44.8	28.7	10.77	69.4	7.0	4.0	4.0	0.0051	1.2	45	0.67
AS6-3	3	0	0.070	0.057	44.8	28.7	11.13	67.1	6.0	5.0	5.0	0.0051	1.2	45	0.64
AS7-1	1	0	0.086	0.069	55.1	28.7	13.40	68.5	6.0	4.0	3.0	0.0025	1.2	37	0.60
AS7-2	2	0	0.086	0.069	55.1	28.7	13.15	69.8	7.0	5.0	4.0	0.0025	1.2	37	0.61
AS7-3	3	0	0.086	0.069	55.1	28.7	12.57	73.0	6.0	4.5	4.0	0.0025	1.2	37	0.66

หมายเหตุ L/D = อัตราส่วนระยะห่างระหว่างตอม่อ Q = discharge d_s = scour depth F_r = Froude number

α = angle of attack T_w = water temperature S_w = water surface slope

q_{sin} = inflow of sediment transport y = flow depth d_{50} = mean diameter of sediment

q_{out} = outflow of sediment transport v = velocity of approach t = time to test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.7 ผลการทดลอง CASE BS สภาวะ live-bed วัสดุท้องน้ำ d_{50} = 1.20 มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 20 องศา

Run No.	L/D	α	q_{sin} (kg/s)	q_{sout} (kg/s)	Q (l/s)	T_w (C°)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s (cm.) 1	2	3	S_w	d_{50} (mm.)	t (min)	F_r
BS1-1	1	20	0.020	0.024	22.4	29.0	6.7	55.8	4.5	4.5	4.5	0.0022	1.2	60	0.69
BS1-2	2	20	0.020	0.024	22.4	29.0	7.8	48.0	6.5	6.5	6.5	0.0022	1.2	60	0.55
BS1-3	3	20	0.020	0.024	22.4	29.0	7.3	51.4	5.5	5.8	5.8	0.0022	1.2	60	0.61
BS2-1	1	20	0.025	0.025	26.3	28.7	7.5	58.3	6.0	6.0	6.0	0.0028	1.2	60	0.68
BS2-2	2	20	0.025	0.025	26.3	28.7	8.0	54.7	6.0	7.0	7.0	0.0028	1.2	60	0.62
BS2-3	3	20	0.025	0.025	26.3	28.7	8.0	55.0	6.0	7.0	8.0	0.0028	1.2	60	0.62
BS3-1	1	20	0.035	0.040	30.3	27.0	7.9	64.2	7.0	7.0	7.0	0.0031	1.2	60	0.73
BS3-2	2	20	0.035	0.040	30.3	27.0	9.0	56.4	9.0	9.0	9.0	0.0031	1.2	60	0.60
BS3-3	3	20	0.035	0.040	30.3	27.0	8.8	57.3	8.0	8.0	8.0	0.0031	1.2	60	0.62
BS4-1	1	20	0.042	0.048	34.7	27.8	8.6	67.0	7.0	7.0	7.0	0.0036	1.2	57	0.73
BS4-2	2	20	0.042	0.048	34.7	27.8	10.0	57.9	9.0	9.0	8.0	0.0036	1.2	57	0.59
BS4-3	3	20	0.042	0.048	34.7	27.8	10.2	56.5	9.0	9.0	9.0	0.0036	1.2	57	0.56
BS5-1	1	20	0.053	0.049	37.0	27.5	8.7	70.6	8.0	8.0	8.0	0.0022	1.2	58	0.76
BS5-2	2	20	0.053	0.049	37.0	27.5	11.4	54.1	9.0	9.0	8.0	0.0022	1.2	58	0.51
BS5-3	3	20	0.053	0.049	37.0	27.5	10.4	59.5	9.0	9.0	9.0	0.0022	1.2	58	0.59
BS6-1	1	20	0.070	0.061	45.7	27.7	10.6	71.7	9.0	9.0	9.0	0.0019	1.2	46	0.70
BS6-2	2	20	0.070	0.061	45.7	27.7	13.8	55.3	9.0	8.0	9.0	0.0019	1.2	46	0.48
BS6-3	3	20	0.070	0.061	45.7	27.7	11.7	65.3	9.0	9.0	9.0	0.0019	1.2	46	0.61
BS7-1	1	20	0.086	0.085	57.1	28.0	12.7	74.8	7.0	7.0	7.0	0.0058	1.2	36	0.67
BS7-2	2	20	0.086	0.085	57.1	28.0	14.4	66.0	8.0	8.0	8.0	0.0058	1.2	36	0.55
BS7-3	3	20	0.086	0.085	57.1	28.0	15.3	62.2	9.0	9.0	9.0	0.0058	1.2	36	0.51

หมายเหตุ L/D = อัตราส่วนระยะห่างระหว่างตอม่อ Q = discharge d_s = scour depth F_r = Froude number

α = angle of attack T_w = water temperature S_w = water surface slope

q_{sin} = inflow of sediment transport y = flow depth d_{50} = mean diameter of sediment

q_{out} = outflow of sediment transport v = velocity of approach t = time to test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.8 ผลการทดลอง CASE CS สภาวะ live-bed วัสดุท้องน้ำ d_{50} = 1.20 มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 40 องศา

Run No.	L/D	α	q_{sin} (kg/s)	q_{sout} (kg/s)	Q (l/s)	T_w (C°)	y (cm.)	v (cm./s)	d_S (cm.) 1	2	3	S_w	d_{50} (mm.)	t (min)	F_r
CS1-1	1	40	0.020	0.019	22.4	29.5	7.2	51.8	3.3	5.0	5.2	0.0016	1.2	63	0.62
CS1-2	2	40	0.020	0.019	22.4	29.5	7.9	47.3	4.5	5.6	5.0	0.0016	1.2	63	0.54
CS1-3	3	40	0.020	0.019	22.4	29.5	8.6	43.4	5.5	6.1	6.0	0.0016	1.2	63	0.47
CS2-1	1	40	0.025	0.022	26.3	29.3	8.6	50.9	2.5	3.5	4.5	0.0011	1.2	72	0.55
CS2-2	2	40	0.025	0.022	26.3	29.3	9.3	47.1	6.3	6.8	6.8	0.0011	1.2	72	0.49
CS2-3	3	40	0.025	0.022	26.3	29.3	9.7	45.5	3.0	6.3	6.0	0.0011	1.2	72	0.47
CS3-1	1	40	0.035	0.034	29.6	29.0	7.6	65.3	7.0	7.0	7.0	0.0015	1.2	60	0.76
CS3-2	2	40	0.035	0.034	29.6	29.0	11.1	44.4	6.5	7.5	6.5	0.0015	1.2	60	0.42
CS3-3	3	40	0.035	0.034	29.6	29.0	9.1	54.5	7.0	8.0	8.0	0.0015	1.2	60	0.58
CS4-1	1	40	0.042	0.039	34.3	29.0	9.8	58.4	6.5	6.5	6.5	0.0022	1.2	62	0.60
CS4-2	2	40	0.042	0.039	34.3	29.0	10.6	54.0	6.5	8.5	4.5	0.0022	1.2	62	0.53
CS4-3	3	40	0.042	0.039	34.3	29.0	10.9	52.3	4.8	7.5	9.5	0.0022	1.2	62	0.51
CS5-1	1	40	0.053	0.047	37.8	29.0	9.6	65.4	9.0	9.0	9.0	0.0031	1.2	58	0.67
CS5-2	2	40	0.053	0.047	37.8	29.0	12.3	51.0	8.5	8.5	8.5	0.0031	1.2	58	0.46
CS5-3	3	40	0.053	0.047	37.8	29.0	10.9	57.7	6.5	7.5	8.5	0.0031	1.2	58	0.56
CS6-1	1	40	0.070	0.068	42.2	28.7	11.0	63.9	7.0	8.0	9.0	0.0036	1.2	46	0.61
CS6-2	2	40	0.070	0.068	42.2	28.7	13.3	52.9	5.5	7.5	9.5	0.0036	1.2	46	0.46
CS6-3	3	40	0.070	0.068	42.2	28.7	11.8	59.8	8.5	8.5	8.5	0.0036	1.2	46	0.56
CS7-1	1	40	0.086	0.066	55.1	29.3	12.1	75.7	9.0	9.0	9.0	0.0020	1.2	40	0.69
CS7-2	2	40	0.086	0.066	55.1	29.3	15.1	61.0	8.5	8.5	8.5	0.0020	1.2	40	0.50
CS7-3	3	40	0.086	0.066	55.1	29.3	13.5	68.2	8.5	8.5	8.5	0.0020	1.2	40	0.59

หมายเหตุ L/D = อัตราส่วนระยะห่างระหว่างตอม่อ Q = discharge d_S = scour depth F_r = Froude number

α = angle of attack T_w = water temperature S_w = water surface slope

q_{sin} = inflow of sediment transport y = flow depth d_{50} = mean diameter of sediment

q_{out} = outflow of sediment transport v = velocity of approach t = time to test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.9 ผลการทดลอง CASE DS สภาวะ live-bed วัสดุท้องน้ำ d_{50} = 2.20 มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 0 องศา

Run No.	L/D	α	q_{sin} (kg/s)	q_{sout} (kg/s)	Q (l/s)	T_w (C°)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s(cm.) 1	2	3	S_w	d_{50} (mm.)	t (min)	F_r
DS1-1	1	0	0.020	0.014	22.7	28.0	6.40	59.0	3.3	5.0	5.2	0.0027	2.2	60	0.75
DS1-2	2	0	0.020	0.014	22.7	28.0	7.32	51.6	4.5	5.6	6.2	0.0027	2.2	60	0.61
DS1-3	3	0	0.020	0.014	22.7	28.0	7.10	53.2	5.5	6.1	6.0	0.0027	2.2	60	0.64
DS2-1	1	0	0.025	0.022	30.0	27.5	7.32	68.3	2.5	3.5	4.5	0.0023	2.2	60	0.81
DS2-2	2	0	0.025	0.022	30.0	27.5	7.72	64.7	6.3	6.8	6.8	0.0023	2.2	60	0.74
DS2-3	3	0	0.025	0.022	30.0	27.5	8.68	57.6	3.0	6.3	6.0	0.0023	2.2	60	0.62
DS3-1	1	0	0.035	0.036	37.0	27.1	8.60	71.6	7.0	7.0	7.0	0.0024	2.2	60	0.78
DS3-2	2	0	0.035	0.036	37.0	27.1	9.20	67.0	6.5	6.5	7.5	0.0024	2.2	60	0.70
DS3-3	3	0	0.035	0.036	37.0	27.1	8.80	70.0	7.0	8.0	8.0	0.0024	2.2	60	0.75
DS4-1	1	0	0.042	0.051	41.0	26.8	9.18	74.4	6.5	6.5	6.5	0.0027	2.2	46	0.78
DS4-2	2	0	0.042	0.051	41.0	26.8	10.98	62.2	6.5	7.5	8.5	0.0027	2.2	46	0.60
DS4-3	3	0	0.042	0.051	41.0	26.8	10.90	62.7	4.8	7.5	9.5	0.0027	2.2	46	0.61
DS5-1	1	0	0.053	0.053	44.8	26.5	9.92	75.3	9.0	9.0	9.0	0.0041	2.2	46	0.76
DS5-2	2	0	0.053	0.053	44.8	26.5	11.17	66.9	8.5	8.5	8.5	0.0041	2.2	46	0.64
DS5-3	3	0	0.053	0.053	44.8	26.5	11.13	67.1	6.5	7.5	8.5	0.0041	2.2	46	0.64
DS6-1	1	0	0.070	0.062	48.4	26.7	10.43	77.4	7.0	8.0	9.0	0.0010	2.2	35	0.76
DS6-2	2	0	0.070	0.062	48.4	26.7	12.30	65.6	5.5	7.5	9.5	0.0010	2.2	35	0.60
DS6-3	3	0	0.070	0.062	48.4	26.7	11.85	68.1	8.5	8.5	8.5	0.0010	2.2	35	0.63
DS7-1	1	0	0.086	0.062	53.1	27.0	11.40	77.7	9.0	9.0	9.0	0.0013	2.2	32	0.73
DS7-2	2	0	0.086	0.062	53.1	27.0	13.35	66.3	8.5	8.5	8.5	0.0013	2.2	32	0.58
DS7-3	3	0	0.086	0.062	53.1	27.0	13.38	66.2	8.5	8.5	8.5	0.0013	2.2	32	0.58

หมายเหตุ L/D = อัตราส่วนระยะห่างระหว่างตอม่อ Q = discharge d_s = scour depth F_r = Froude number

α = angle of attack T_w = water temperature S_w = water surface slope

q_{sin} = inflow of sediment transport y = flow depth d_{50}= mean diameter of sediment

q_{out} = outflow of sediment transport v = velocity of approach t = time to test

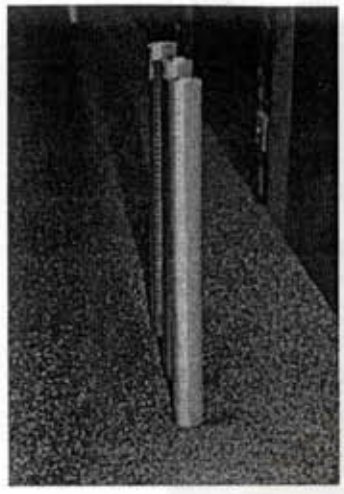
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.10 ผลการทดลอง CASE ES สภาวะ live-bed วัสดุท้องน้ำ d_{50} = 0.36 มม. มุมการไหลปะทะตอม่อ 0 องศา

Run No.	L/D	α	q_{sin} (kg/s)	q_{sout} (kg/s)	Q (l/s)	T_w (C°)	y (cm.)	v (cm./s)	d_s(cm.) 1	2	3	S_w	d_{50} (mm.)	t (min)	F_r
ES1-1	1	0	0.020	0.011	13.6	29.5	5.2	43.5	5.0	4.0	3.0	0.0034	0.36	34	0.61
ES1-2	2	0	0.020	0.011	13.6	29.5	4.8	47.4	4.5	3.8	4.0	0.0034	0.36	34	0.69
ES1-3	3	0	0.020	0.011	13.6	29.5	5.2	43.7	4.5	4.2	4.0	0.0034	0.36	34	0.61
ES2-1	1	0	0.025	0.019	17.0	29.5	5.8	48.9	4.0	3.8	3.2	0.0019	0.36	42	0.65
ES2-2	2	0	0.025	0.019	17.0	29.5	6.3	45.2	4.5	4.0	4.0	0.0019	0.36	42	0.58
ES2-3	3	0	0.025	0.019	17.0	29.5	6.4	44.1	3.5	3.5	4.0	0.0019	0.36	42	0.56
ES3-1	1	0	0.028	0.037	19.6	29.5	6.1	53.5	4.8	4.8	4.5	0.0026	0.36	31	0.69
ES3-2	2	0	0.028	0.037	19.6	29.5	5.7	57.3	3.9	4.0	3.7	0.0026	0.36	31	0.77
ES3-3	3	0	0.028	0.037	19.6	29.5	5.7	57.8	3.5	3.7	3.5	0.0026	0.36	31	0.78
ES4-1	1	0	0.035	0.046	23.9	29.5	7.1	56.4	5.0	4.8	4.5	0.0033	0.36	30	0.68
ES4-2	2	0	0.035	0.046	23.9	29.5	6.7	59.5	4.5	5.0	4.8	0.0033	0.36	30	0.74
ES4-3	3	0	0.035	0.046	23.9	29.5	6.5	60.9	4.5	3.7	3.7	0.0033	0.36	30	0.76
ES5-1	1	0	0.042	0.053	27.0	29.5	9.1	49.5	5.0	4.5	4.8	0.0036	0.36	33	0.52
ES5-2	2	0	0.042	0.053	27.0	29.5	7.5	60.2	4.5	4.7	4.5	0.0036	0.36	33	0.70
ES5-3	3	0	0.042	0.053	27.0	29.5	7.4	61.0	4.2	4.8	4.0	0.0036	0.36	33	0.72
ES6-1	1	0	0.050	0.056	29.6	29.5	8.2	60.0	4.5	5.0	4.5	0.0030	0.36	31	0.67
ES6-2	2	0	0.050	0.056	29.6	29.5	7.7	63.9	4.5	4.5	4.5	0.0030	0.36	31	0.73
ES6-3	3	0	0.050	0.056	29.6	29.5	7.3	67.4	3.7	4.2	4.0	0.0030	0.36	31	0.79
ES7-1	1	0	0.015	0.009	12.5	29.0	5.0	42.0	4.5	4.0	2.5	0.0028	0.36	60	0.60
ES7-2	2	0	0.015	0.009	12.5	29.0	4.8	43.3	5.5	4.7	3.7	0.0028	0.36	60	0.63
ES7-3	3	0	0.015	0.009	12.5	29.0	4.7	44.6	4.6	4.5	5.0	0.0028	0.36	60	0.66

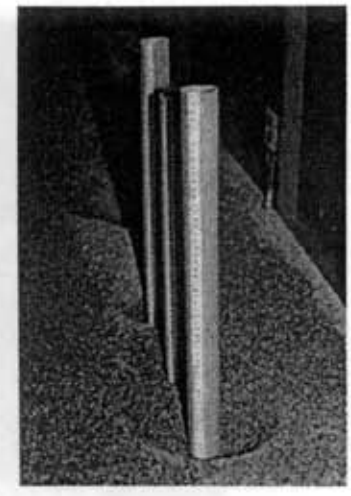
หมายเหตุ L/D = อัตราส่วนระยะห่างระหว่างตอม่อ
Q = discharge
d_s = scour depth
F_r = Froude number
α = angle of attack
T_w = water temperature
S_w = water surface slope
q_{sin} = inflow of sediment transport
y = flow depth
d_{50} = mean diameter of sediment
q_{out} = outflow of sediment transport
v = velocity of approach
t = time to test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก. L/D = 1, α = 0

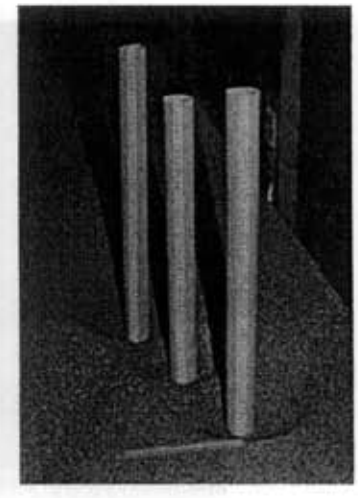
ข. L/D = 2 , α = 0



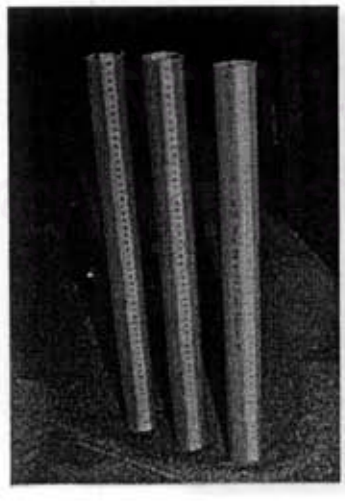
ค. L/D = 3 , α = 0

ง. L/D = 1, α = 20

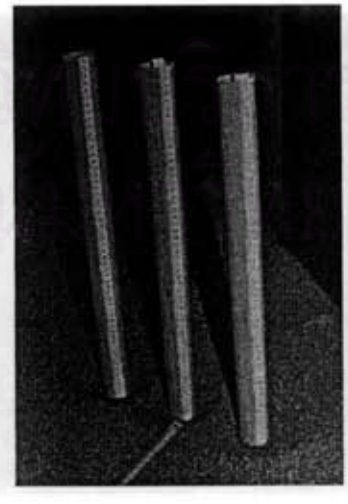
จ. L/D = 2 , α = 20



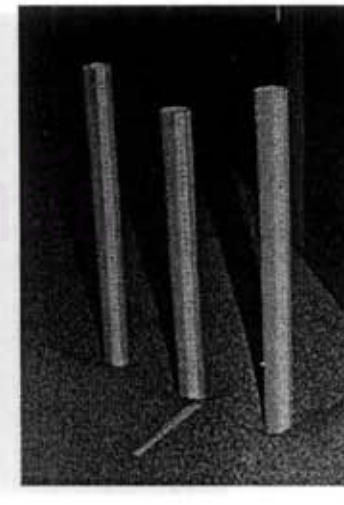
ฉ. L/D = 3 , α = 20



ช. L/D = 1, α = 40

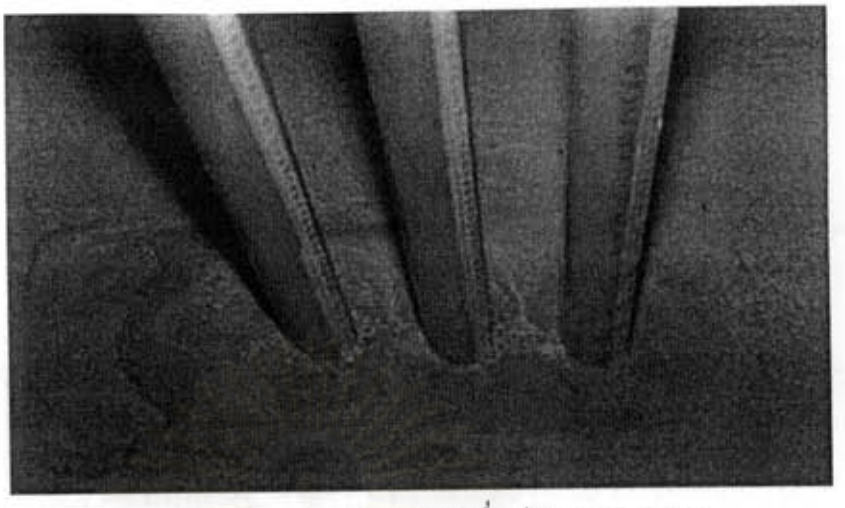


ซ. L/D = 2 , α = 40

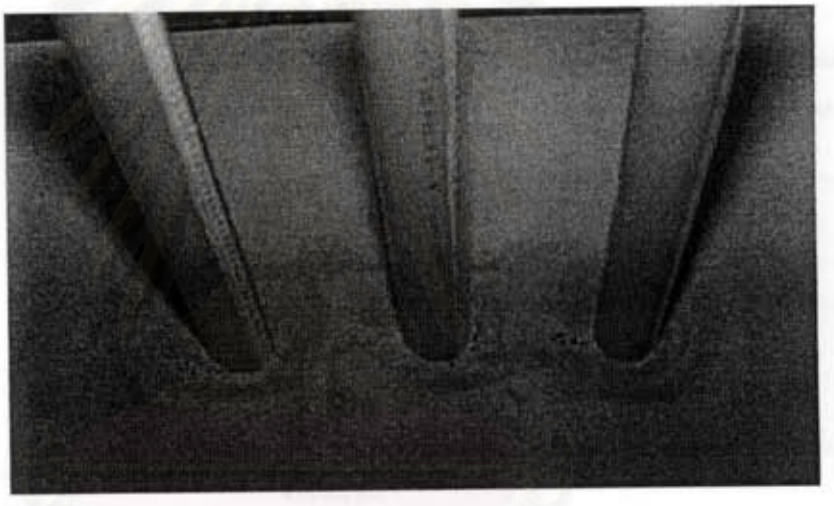


ฌ. L/D = 3 , α = 40

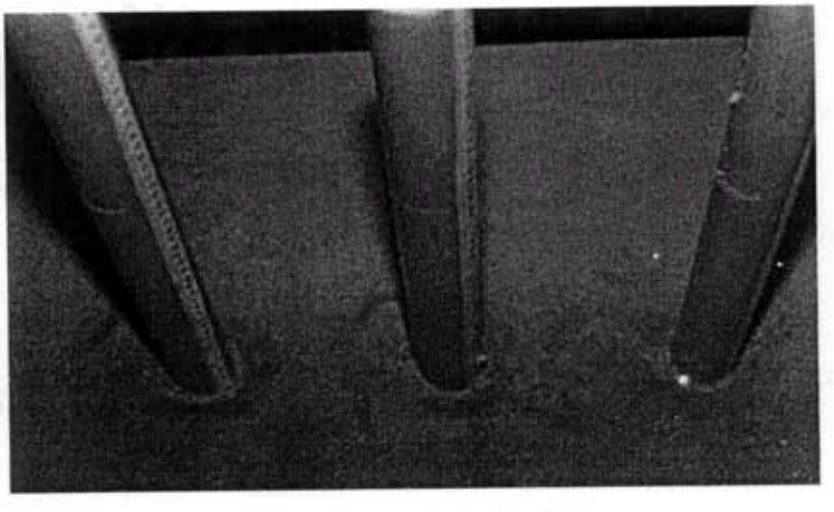
รูป ค.1 ตัวอย่างหลุมกัดเซาะที่ได้จากการทดลอง ทรายขนาด 1.20 มม.สภาวะ clear-water



ก. L/D = 1 , α = 0 , สภาวะเงื่อนไข clear-water

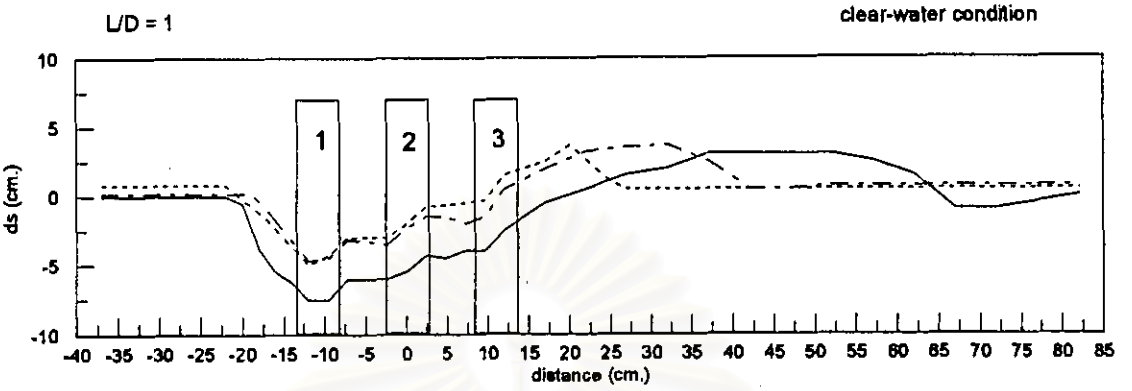


ข. L/D = 2 , α = 0 , สภาวะ เงื่อนไข clear-water



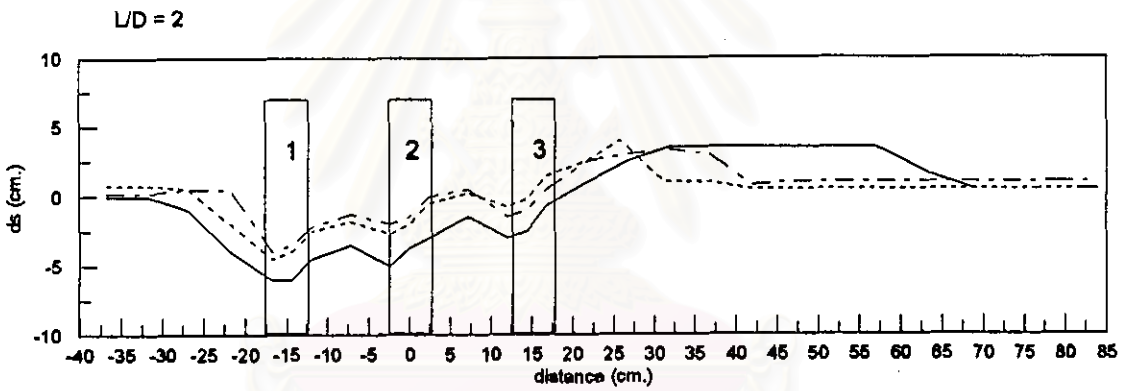
ค. L/D = 3 , α = 0 , สภาวะเงื่อนไข clear-water

รูป ค.2 ตัวอย่างหลุมกัดเซาะที่ได้จากการทดลอง ทรายขนาด 0.36 มม.

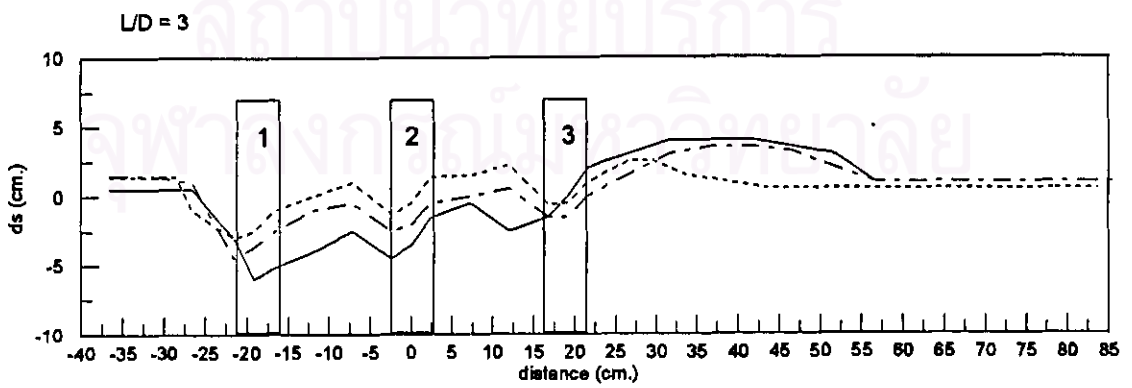


ก) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อตอม่อห่าง 1D

sand dia. 1.20 mm.
sand dia. 0.36 mm.
sand dia. 2.20 mm.

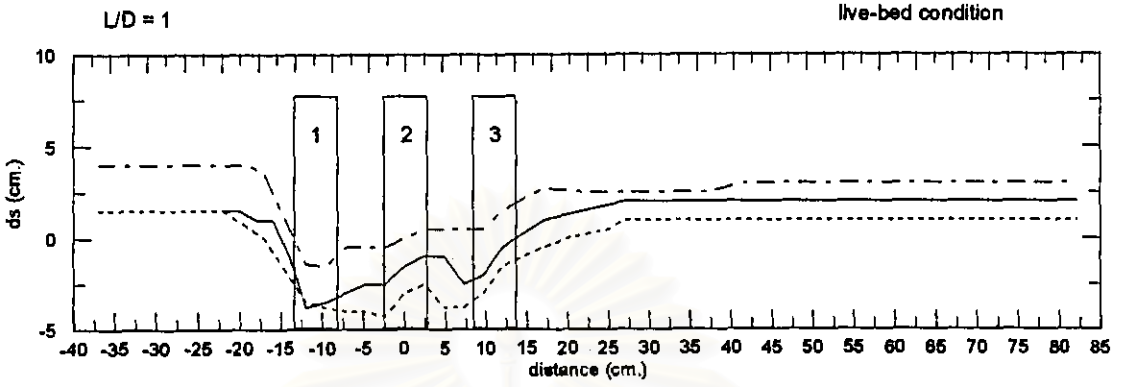


ข) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อตอม่อห่าง 2D



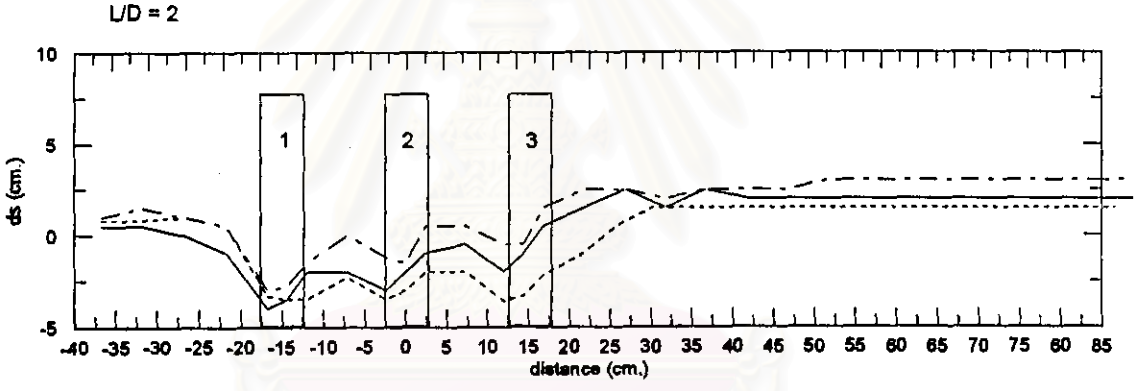
ค) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อตอม่อห่าง 3D

รูป ค.3 รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ มุมปะทะ 0 องศา สภาวะ clear-water

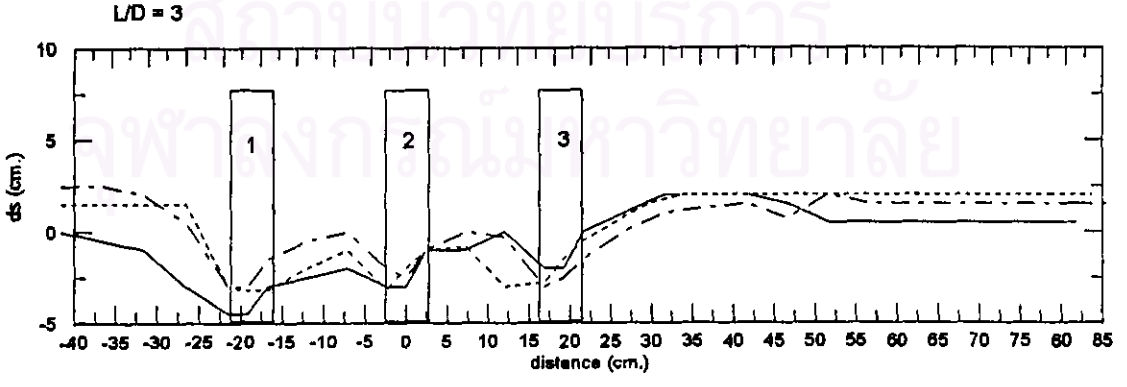


ก) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อตอม่อห่าง 1D

sand dia. 1.20 mm.
sand dia. 0.36 mm.
sand dia. 2.20 mm.

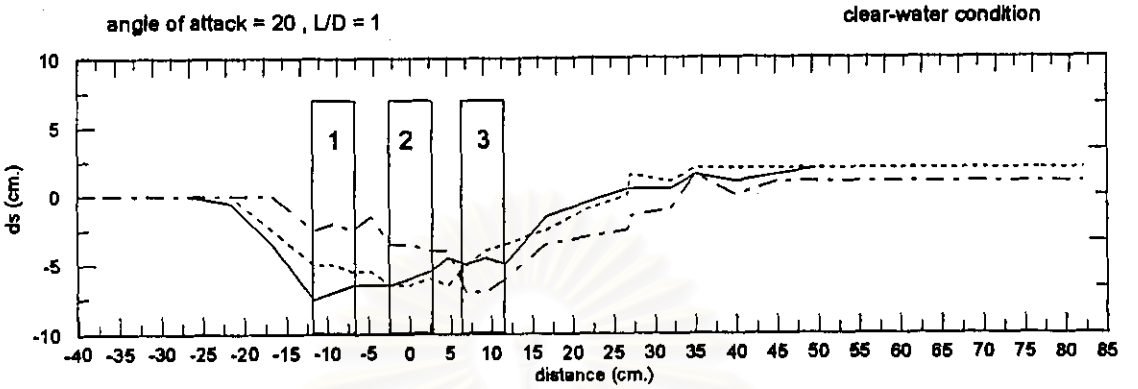


ข) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อตอม่อห่าง 2D



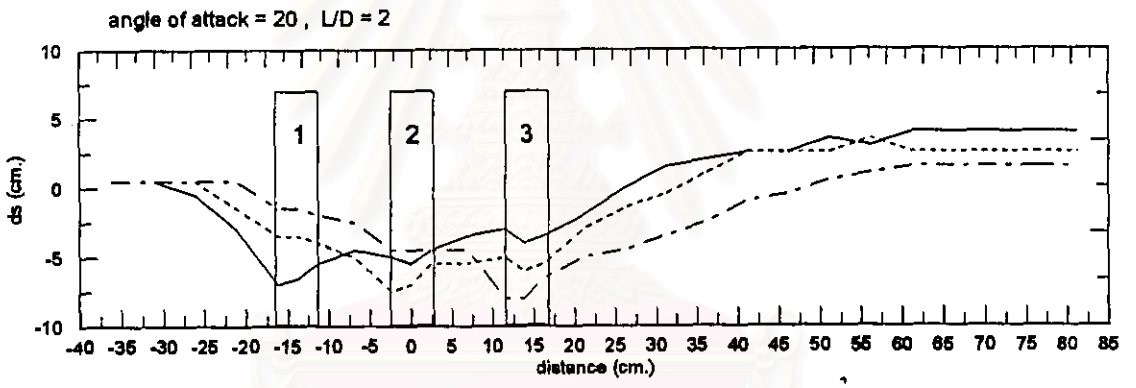
ค) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อตอม่อห่าง 3D

รูป ค.4 รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ มุมปะทะ 0 องศา สภาวะ live-bed

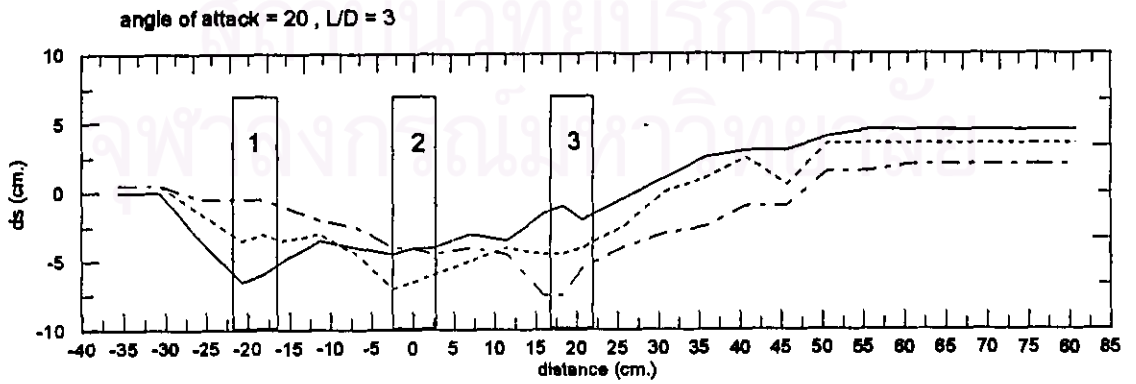


ก) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อตอม่อห่าง 1D

center line pier no.1
center line pier no.2
center linr pier no. 3

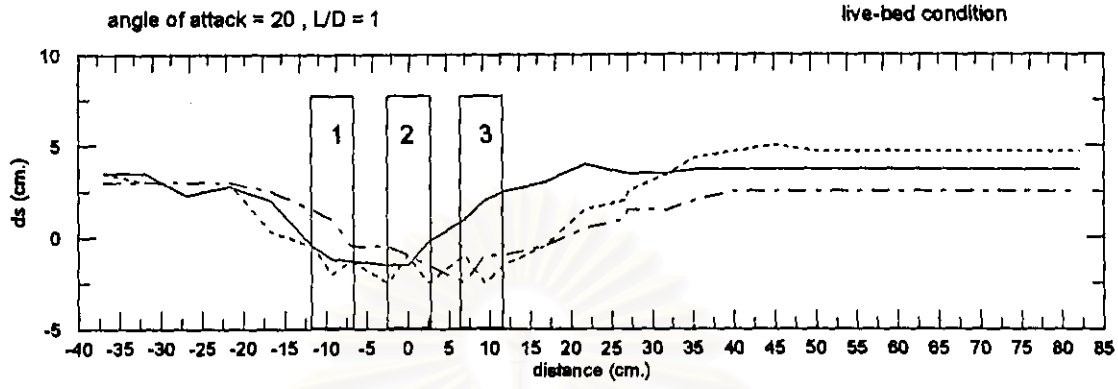


ข) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อตอม่อห่าง 2D



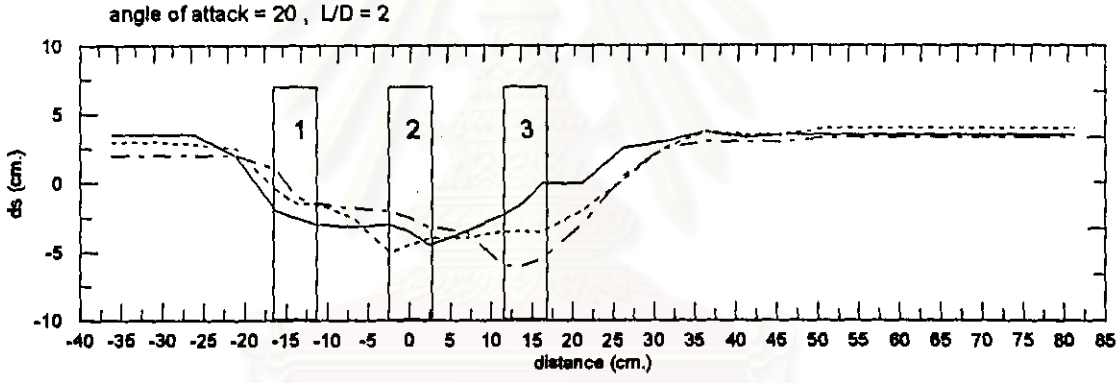
ค) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อตอม่อห่าง 3D

รูป ค.5 รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ มุมปะทะ 20 องศา ทรายขนาด 1.20 มม. สภาวะ clear-water

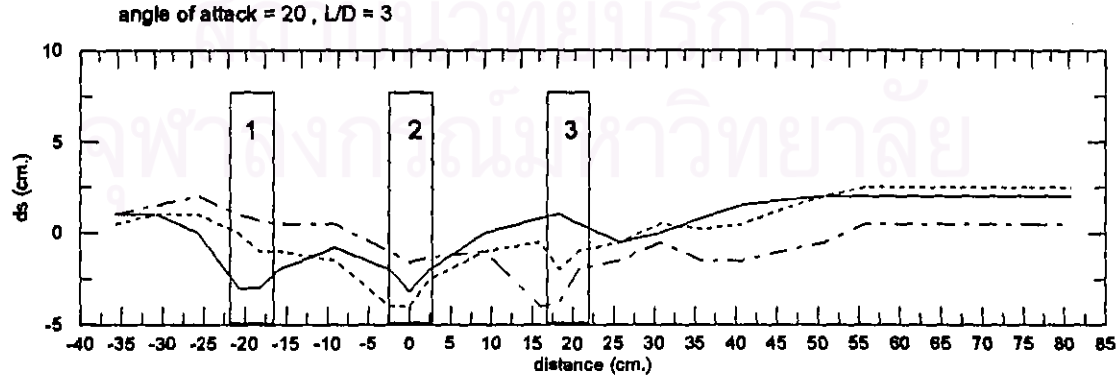


ก) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อดอมอห่าง 1D

center line pier no.1
center line pier no.2
center linr pier no. 3

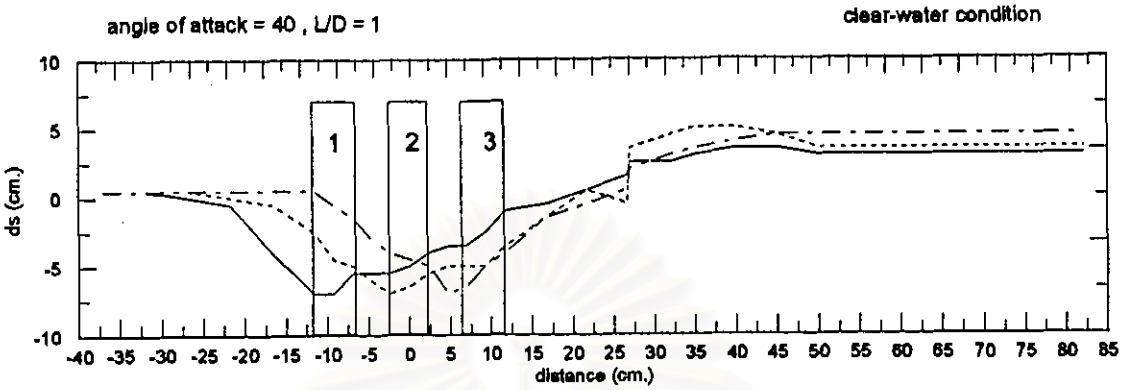


ข) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อดอมอห่าง 2D

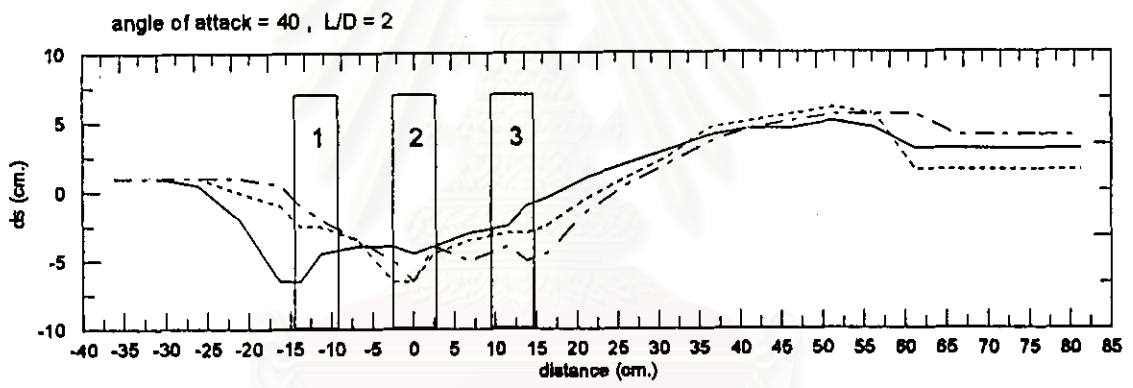


ค) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อดอมอห่าง 3D

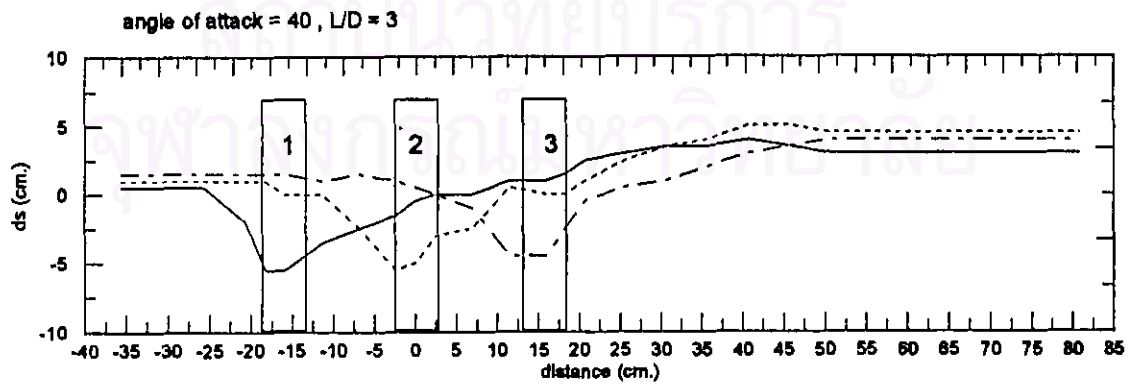
รูปค.6 รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะมุมปะทะ 20 องศา ทรายขนาด 1.20 มม. สภาวะ live-bed



ก) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อคอม่อห่าง 1D

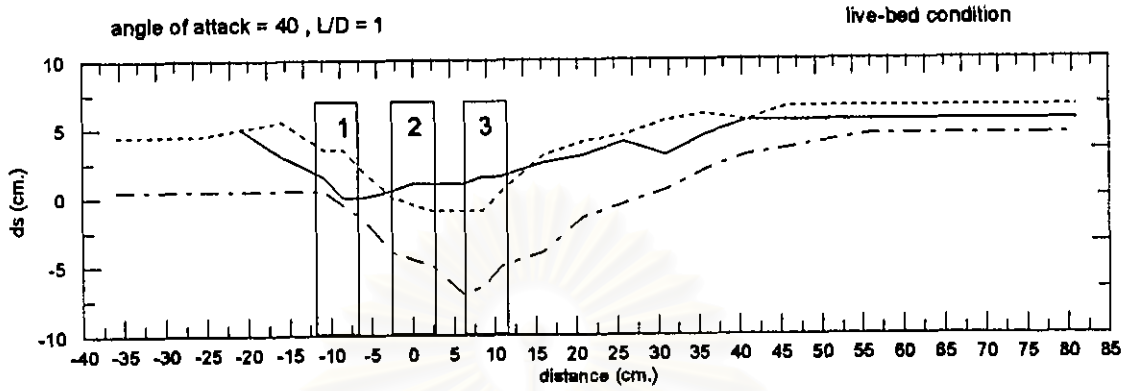


ข) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อคอม่อห่าง 2D



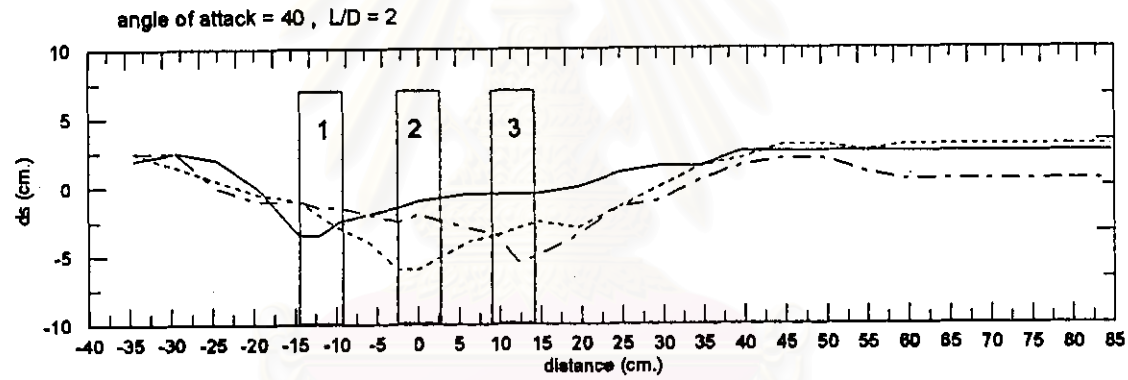
ค) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อคอม่อห่าง 3D

รูป ค.7 รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ มุมปะทะ 40 องศา ทรายขนาด 1.20 มม. สภาวะ clear-water

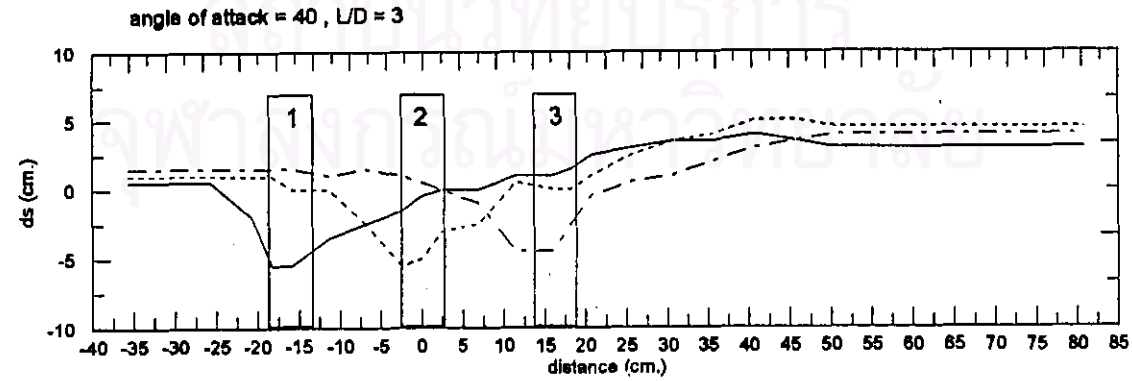


ก) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อตอม่อห่าง 1D

center line pier no.1
center line pier no.2
center linr pier no. 3

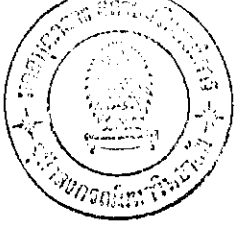


ข) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อตอม่อห่าง 2D



ค) รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ เมื่อตอม่อห่าง 3D

รูป ค.8 รูปตัดตามยาวของหลุมกัดเซาะ มุมปะทะ 40 องศา ทรายขนาด 1.20 มม. สภาวะ live-bed



ประวัติผู้ศึกษา

นายธรรมวัฒน์ การุณธนกุล เกิดเมื่อวันที่ 21 พฤษภาคม 2509 ที่ จ.ชลบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์ ในปีการศึกษา 2534 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539 ประสบการณ์การทำงานที่ผ่านมาระหว่าง ปี พ.ศ.2532 - 2535 รับราชการในตำแหน่งนายช่างชลประทาน 3 ฝ่ายพัฒนาการใช้น้ำในแปลงนา กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี พ.ศ.2535 - 2537 ทำงานในตำแหน่งวิศวกรชลประทาน บริษัท ไทยคอนซัลแตนท์เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ปี พ.ศ.2537 - 2539 ทำงานในตำแหน่งวิศวกรโยธา/แหล่งน้ำ บริษัท ทีมคอนซัลติ้งเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด และระหว่างการศึกษาได้ทำงานเป็นผู้ช่วยอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย