บทที่ 3

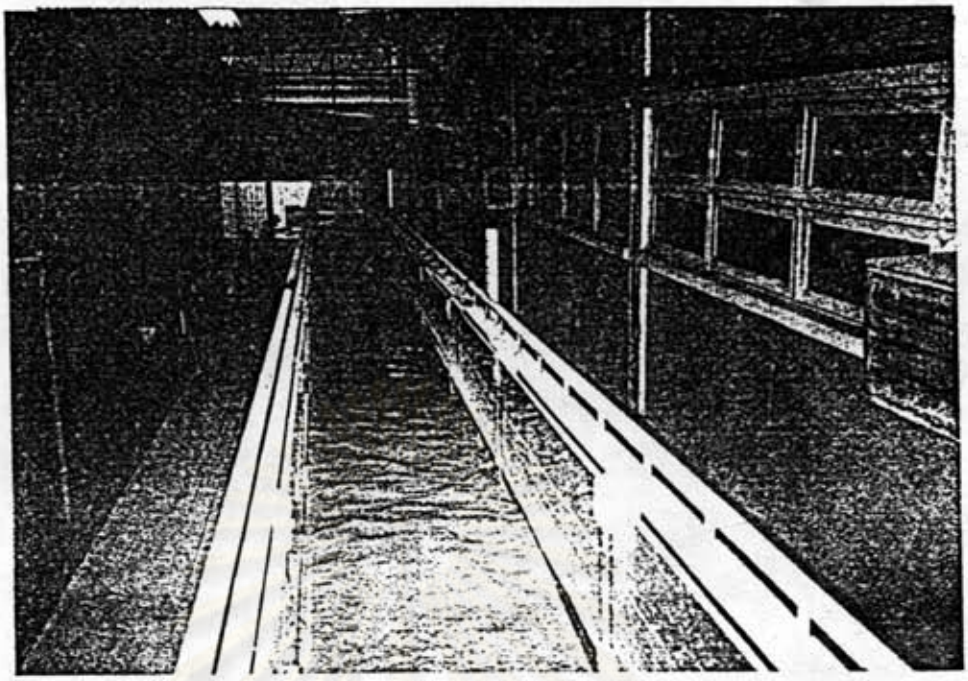
การดำเนินการทดลอง

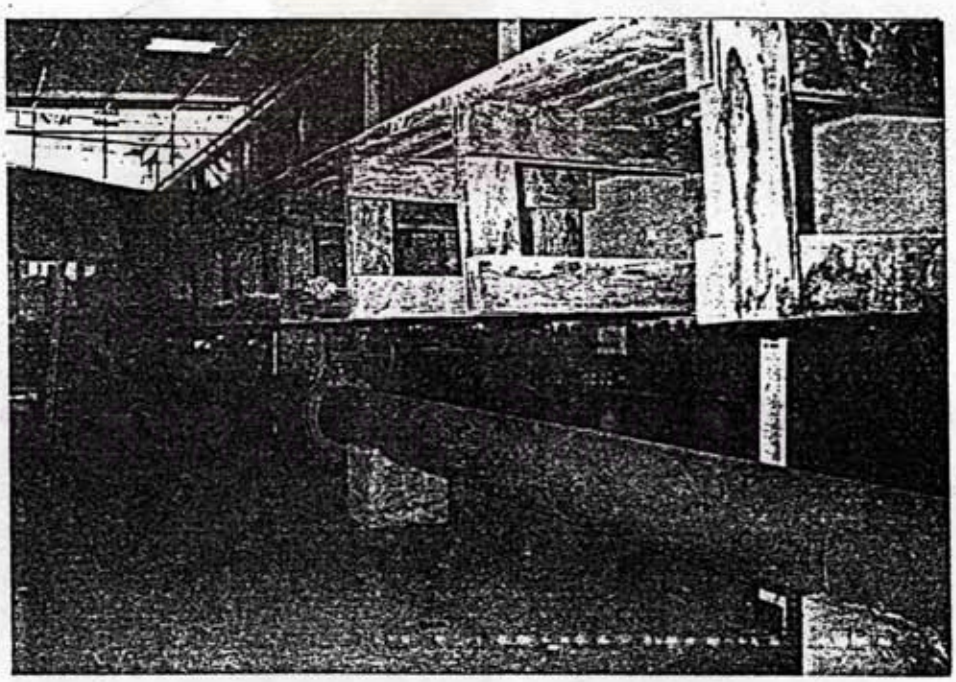
3.1 รางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Flume)

สำหรับการศึกษานี้ ใช้รางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 0.60 เมตร ลึก 0.75 เมตร ยาว 20.40 เมตร ซึ่งมีผนังด้านข้าง (side walls) ทั้งสองข้างทำด้วยกระจกใสหนา 1.20 เซนติเมตร พื้นรางน้ำทำจากแผ่นเหล็กหนา 6 มิลลิเมตร และความลาดเอียงของรางน้ำ สามารถปรับมากน้อยได้โดยใช้แม่แรงยก (Jacks) ซึ่งหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (รูปที่ 3.1)

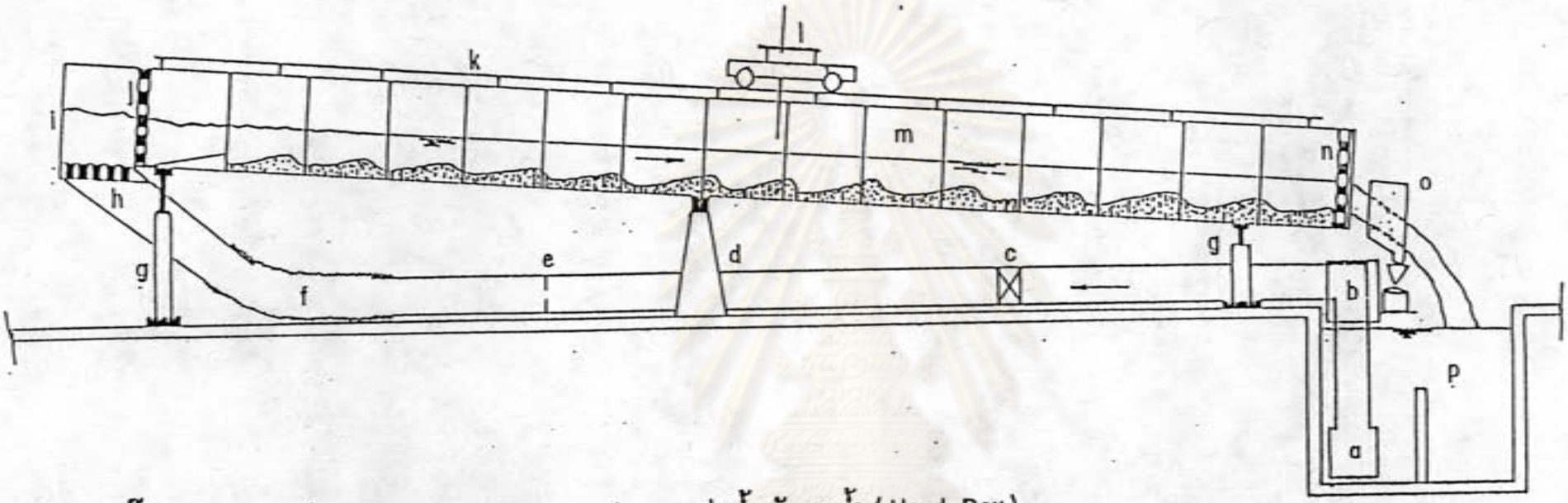
แผนผังส่วนประกอบและระบบการหมุนเวียนของน้ำปนตะกอน (water sediment mixture) (ในรูปที่ 3.2) ประกอบด้วยปั๊มมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 40 แรงม้า ซึ่งให้อัตราการไหล (Discharge) สูงสุดประมาณ 0.30 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือ 10 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที ตะกอนผสมกับน้ำจะถูกสูบขึ้นจากบ่อน้ำทางด้านท้ายน้ำ (Tail box) ผ่านท่อเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว หนา 3/12 นิ้ว ผ่านวาล์วปิดเปิด จนกระทั่งถึงบ่อด้านเหนือน้ำ (Head box) ผ่านตะแกรง (Screens) และตะแกรงลดคลื่น (Wave Suppressors) แสดงในรูปที่ เพื่อลดขนาดของคลื่นและความปั่นป่วนหมุนวนของกระแสน้ำ ภายหลังจากส่วนผสมของตะกอนกับน้ำไหลผ่านพื้นทรายท้องน้ำแล้วบางส่วนจะไหลกลับลงบ่อน้ำทางด้านท้ายน้ำ แล้วถูกดูดขึ้นจากสูบน้ำเข้า Head Box หมุนเวียนต่อเนื่องกัน

ประตูระบายน้ำที่ปลายสุดของรางน้ำ (Tail gate) และความลาดเอียงของท้องน้ำจะเป็นตัวควบคุมความลึกของการไหลในรางน้ำ กรณีซึ่งมี Froude number น้อยกว่า 1 (Lower regime) ($v/gD^{1/2} < 1$ เรียกว่าสภาวะการไหลใต้วิกฤต) แต่กรณีที่ Froude number มากกว่า 1 (Upper regime) ($v/gD^{1/2} > 1$ เรียกว่าสภาวะการไหลเหนือวิกฤต) ความลึกของการไหลด้วยการปรับค่าของความลาดเอียงของท้องน้ำ และจากประตูระบายน้ำปลายสุดของรางน้ำ





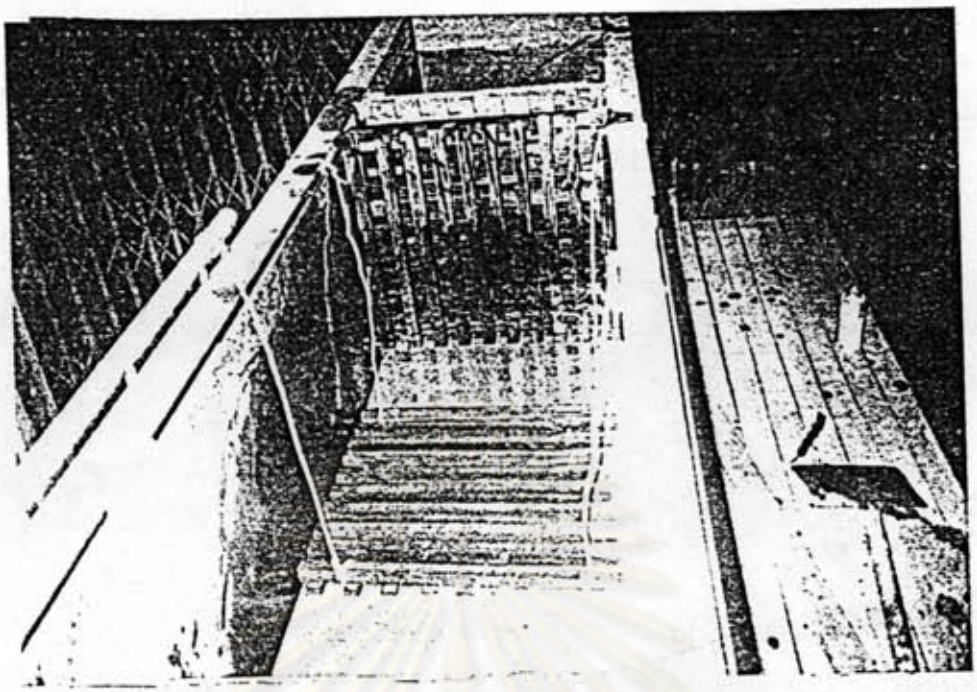
รูปที่ 3.1 รางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Flume)

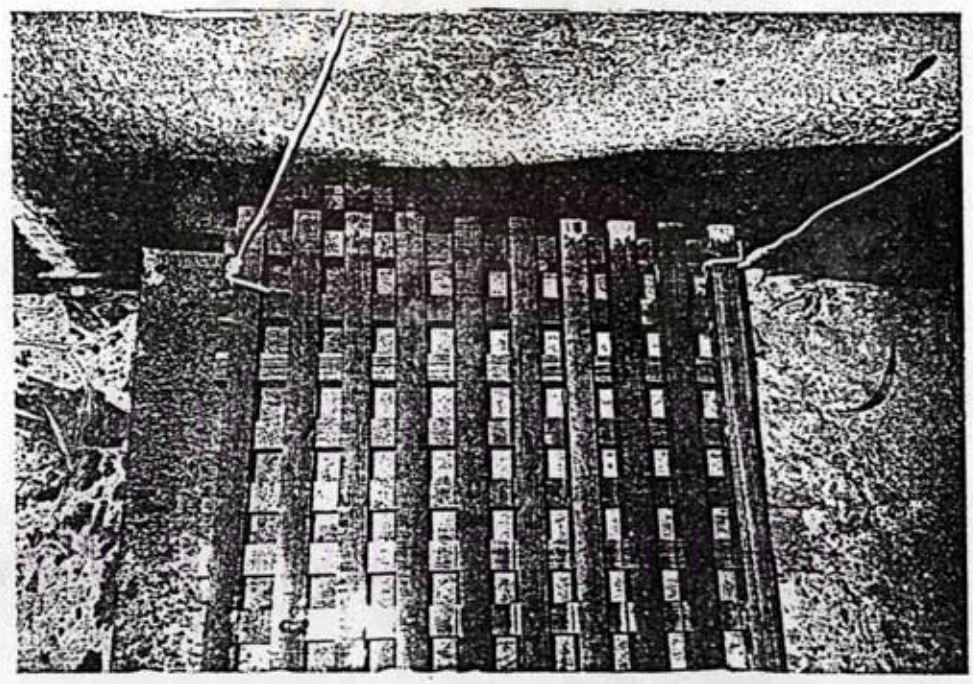


a	ปั๊ม (Pumping Unit)	l	แอ่งน้ำหัวรางน้ำ (Head Box)
b	มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)	j	ตะแกรง (Screens)
c	วาล์ว (Control Valve)	k	รางรถ (Rails)
d	เสาค้ำยันกึ่งกลาง (Center Support)	l	รถเก็บข้อมูล (Instrument Carriage)
e	ช่องรูระบาย (Orifice)	m	รางน้ำขนาด 0.60 x 20.40 x 0.75 เมตร (Flume)
f	ท่อต่อยืดหยุ่น (Flexible Connection)	n	ประตูน้ำท้ายน้ำ (Tailgate)
g	แม่แรงยก (Jacks)	o	เครื่องมือเก็บตัวอย่างตะกอนทั้งหมด (Total Load Sampler)
h	ตัวฉลายพลังงาน (Manifold Diffuser)	p	ปอน้ำท้ายน้ำ (Tailbox)

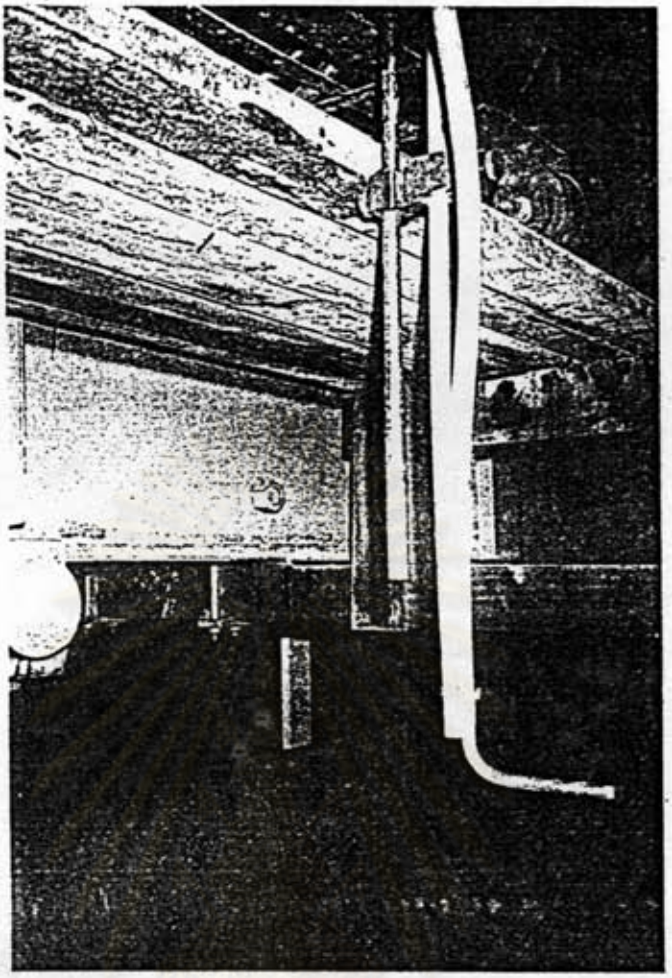
รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงส่วนประกอบต่างๆ และระบบการหมุนเวียนของน้ำผสมตะกอนในรางน้ำ

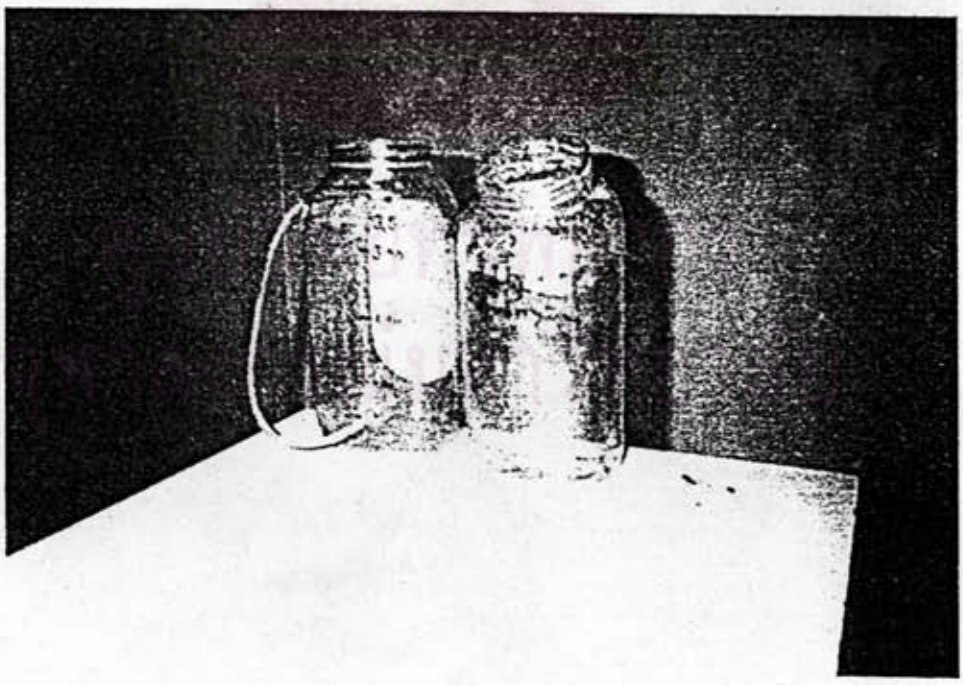
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





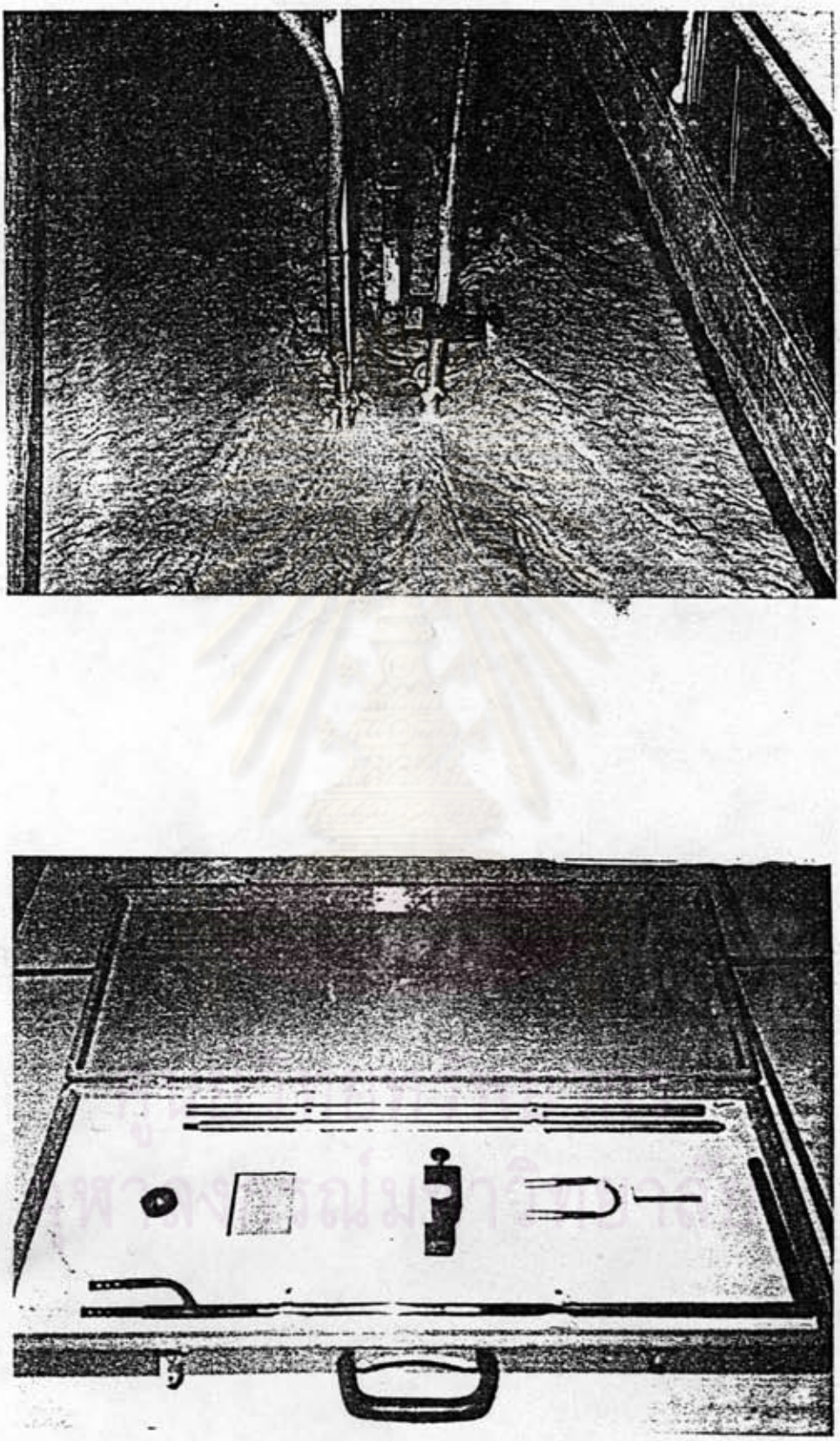
รูปที่ 3.3 คะแกรง (Suppressor)



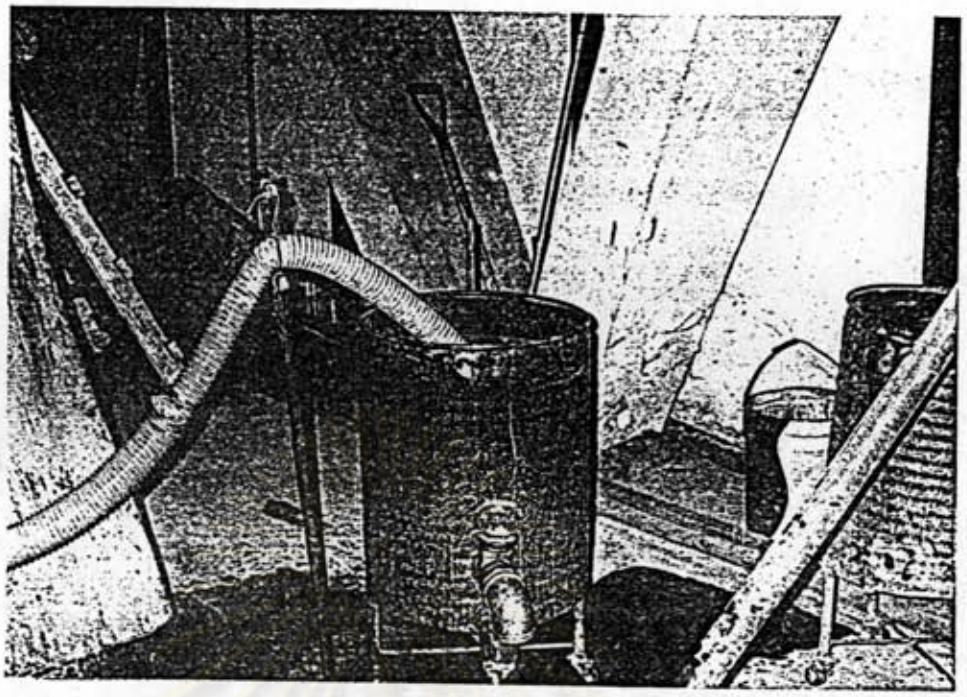


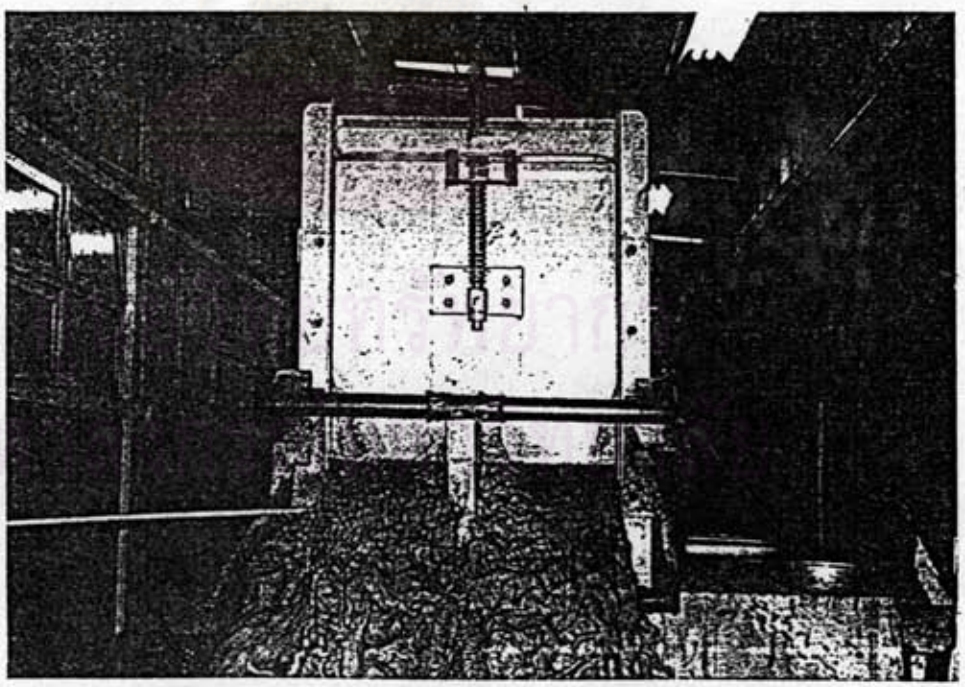
รูปที่ 3.4 เครื่องมือ เก็บตัวอย่างคะกอนแขวนลอย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

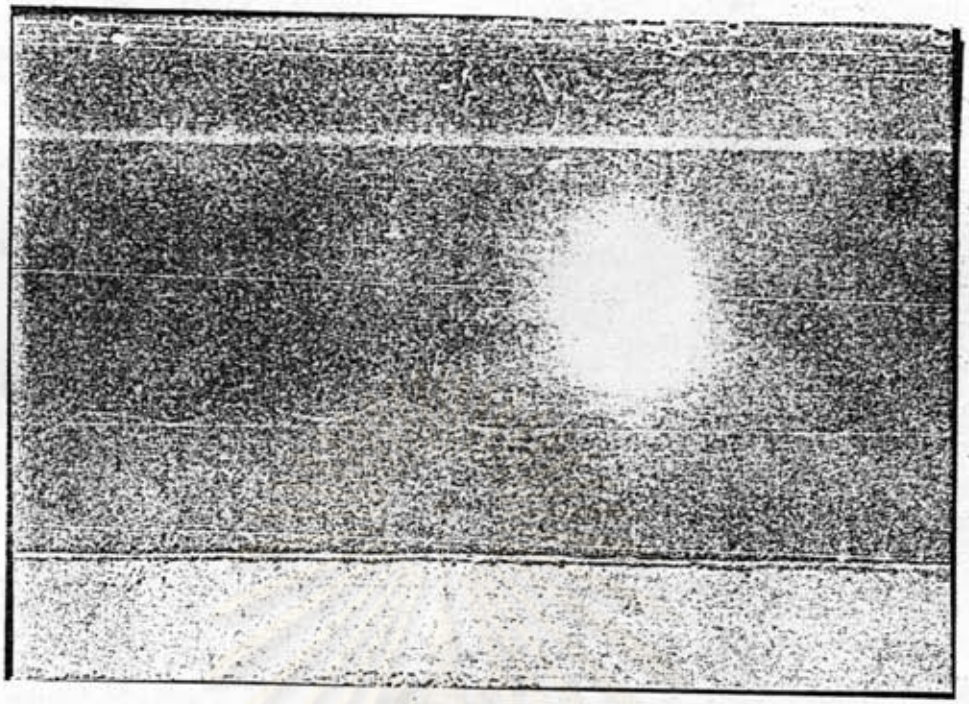


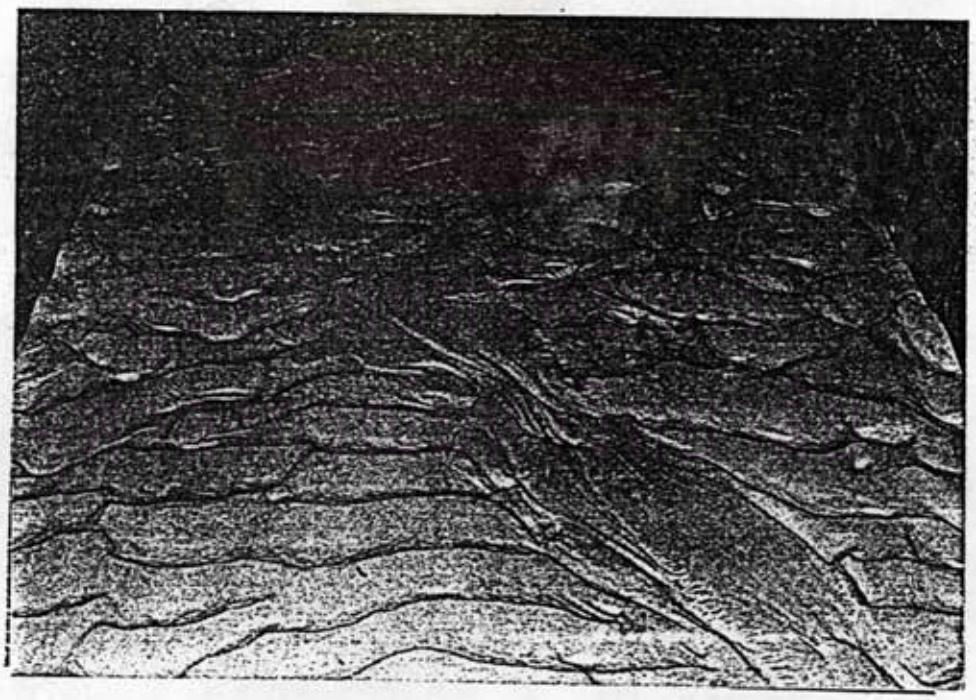
รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดความเร็วของกระแสน้ำ (Pitot tube)



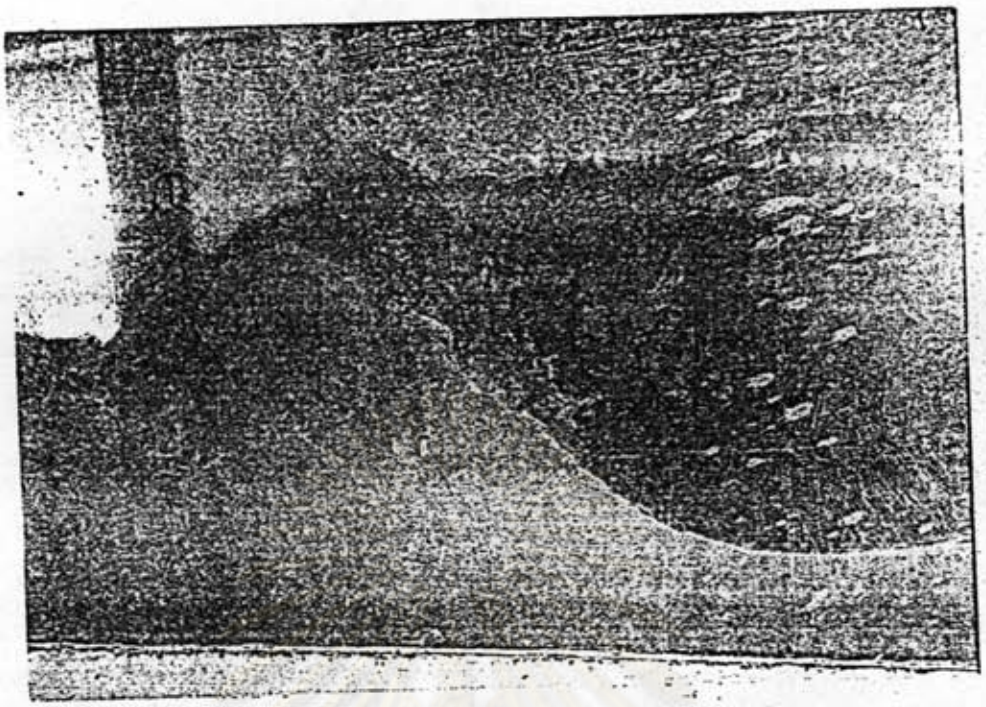


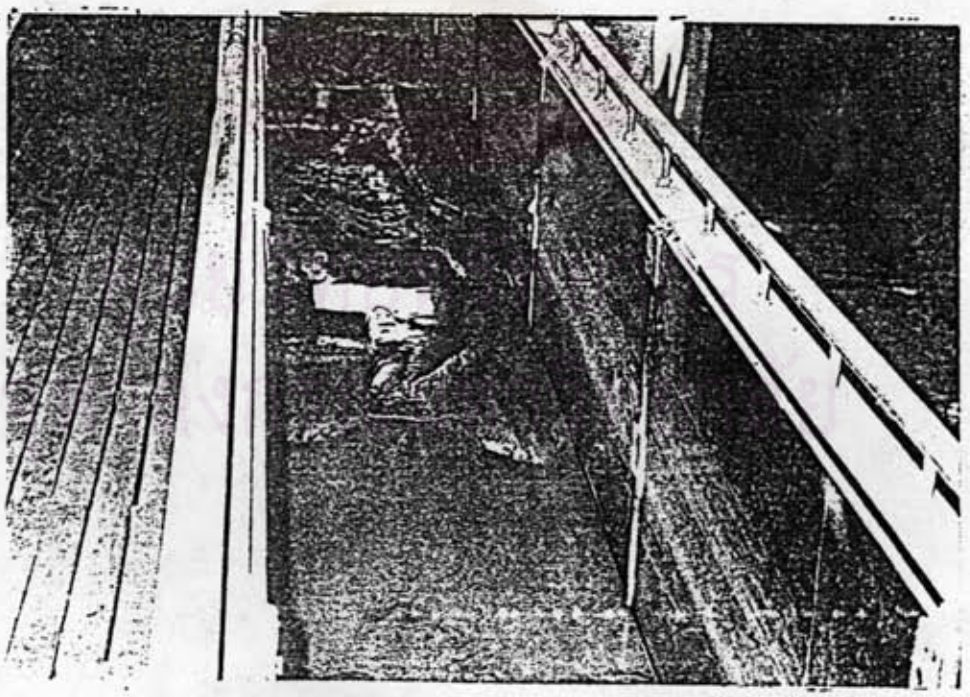
รูปที่ 3.6 เครื่องมือ เก็บตัวอย่างตะกอนทรายทั้งหมด





รูปที่ 3.7 ลักษณะท้องน้ำแบบริป เปิ้ล (ตัวอย่างการทดลองที่ 2)

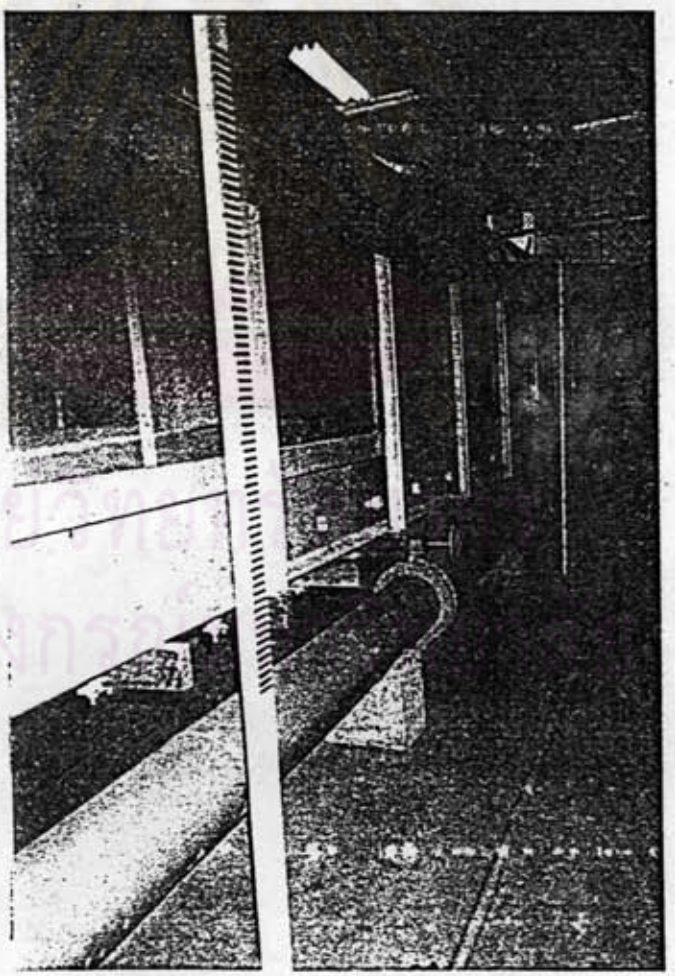




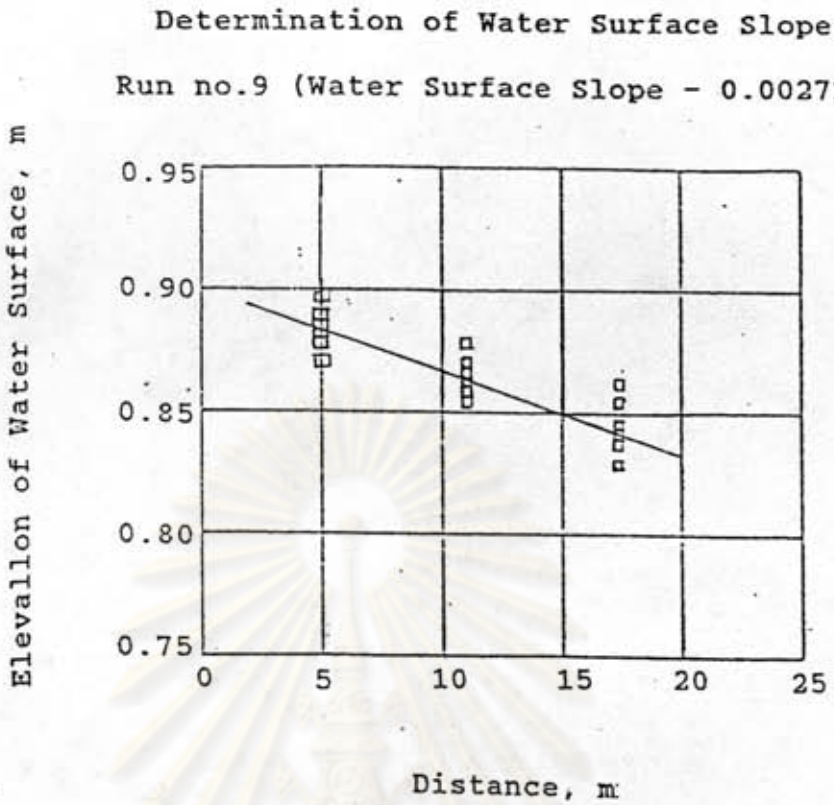
รูปที่ 3.8 ลักษณะท้องน้ำแบบแอนติดูน (ตัวอย่างการทดลองที่ 15)

รูปที่ 3.9 มาโนมิเตอร์ (Manometer)

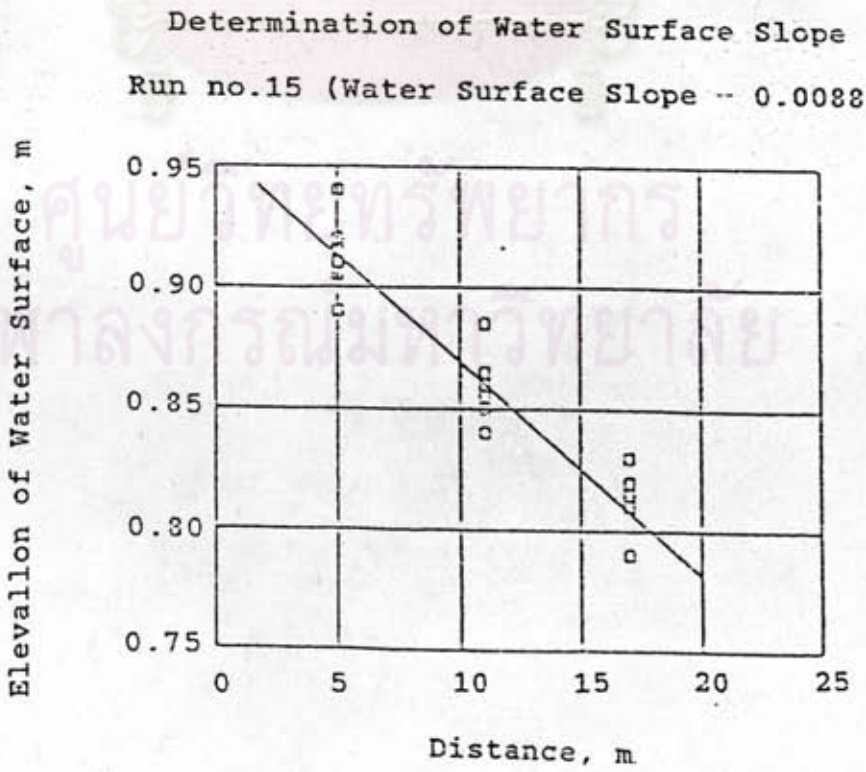
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



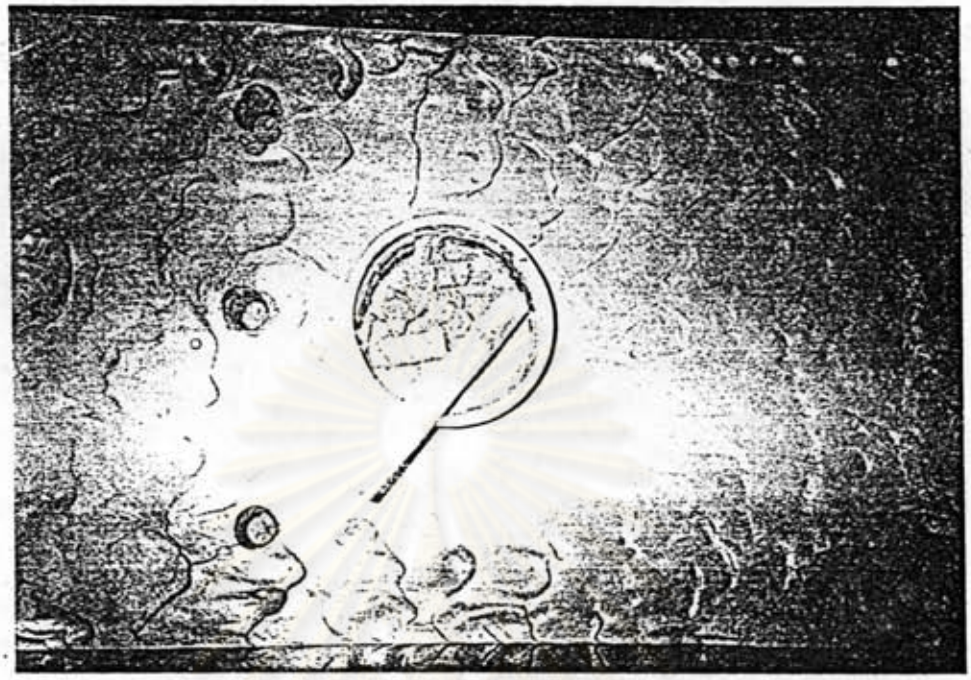
รูปที่ 3.10 เสาวัดระดับผิวน้ำ



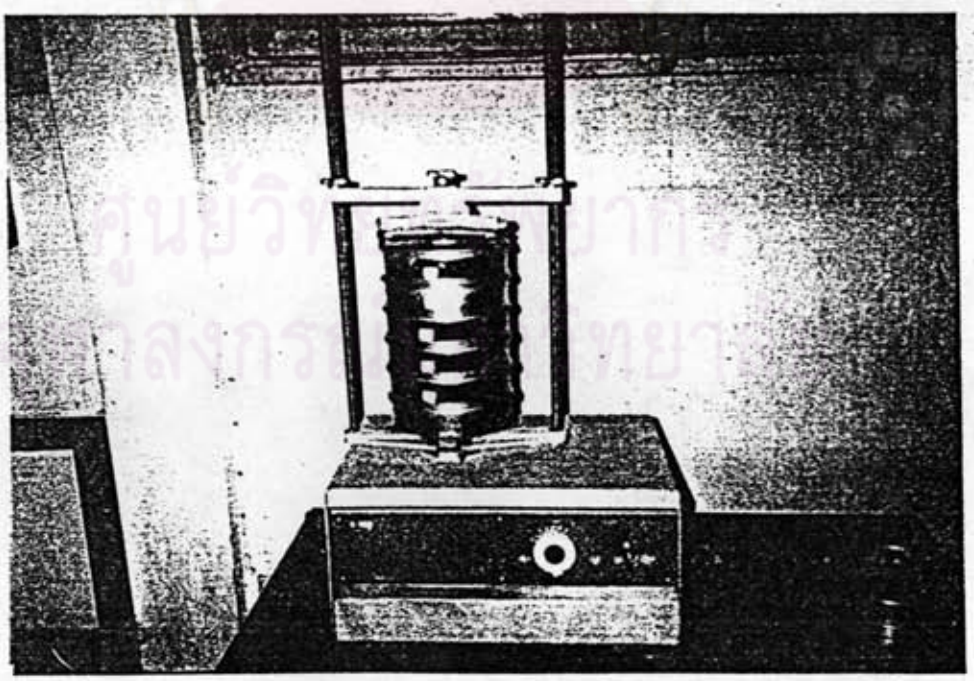
รูปที่ 3.11 ความลาดเอียงของผิวน้ำ (การทดลองที่ 9)



รูปที่ 3.12 ความลาดเอียงของผิวน้ำ (การทดลองที่ 15)



รูปที่ 3.13 เครื่องมือ เก็บตัวอย่างทรายท้องน้ำ



รูปที่ 3.14 เครื่องมือ เขย่าตะแกรง และตะแกรงขนาดต่างๆ

ถาดติดล้อซึ่งวิ่งไปตามรางขนานซึ่ง (Carriage) ออกแบบมาเพื่อใช้วัดเก็บข้อมูลต่างๆ โดยติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอย (Sand Scraper) ดังแสดงในรูปที่ 3.4 หรือ เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ (Pitot tube) ดังแสดงในรูปที่ 3.5

เครื่องเก็บตะกอนทั้งหมด (Total load sampler) ซึ่งติดตั้งไว้ที่สุดปลายรางน้ำ (รูปที่.36) เพื่อเก็บรวบรวมตัวอย่างตะกอนทรายทั้งหมดในแต่ละการทดลอง

3.2 <u>วิธีดำเนินการทดลอง</u>

ลำดับขั้นตอนการทดลองทั้งหมด จะครอบคลุมรูปแบบความขรุขระของท้องน้ำ ตั้งแต่ริปเปิ้ล (Ripple) ถึงแอนติดูน (Antidune) แสดงในรูปที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ การเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ของแต่ละการทดลอง เมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุลย์ (Equilibrium) แล้วโดยสังเกตุได้จาก

1. รูปแบบความขรุขระทรายท้องน้ำ มีสภาพเหมือนกันตลอดทั้งรางน้ำ
2. ความลาดเอียงของผิวน้ำ (Water surface slope)

และเพื่อลดค่าตัวแปรลง ความลึกของการไหลสำหรับการทดลองทั้งหมดกำหนดให้เท่ากับ 15 ± 1.0 เซนติเมตร โดยการปรับค่าความลาดเอียงของรางน้ำ ประตูระบายน้ำและอัตราการไหล เมื่อระบบการเคลื่อนที่ของตะกอนเข้าสู่สมดุลย์ ก็จะเริ่มทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ จะนำไปวิเคราะห์ เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยต่อไป

3.3 <u>ข้อมูลและวิธีการวัด (Data and Measurement)</u>

1. อุณหภูมิน้ำ (Water temperature) วัดอุณหภูมิของน้ำที่จุดกึ่งกลางของพื้นที่หน้าตัดการไหล โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดาทำการวัด 6 ครั้ง ในช่วงระยะเวลาสม่ำเสมอ (ประมาณ 5 นาทีต่อครั้ง) นำมาหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของการทดลองแต่ละครั้ง

2. ความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity) ของแต่ละการทดลอง สามารถหาได้จากค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของการทดลอง ระหว่างอุณหภูมิและความหนืดจลน์ โดยได้จากตารางความสัมพันธ์

3. อัตราการไหล (Discharge) อัตราการไหลของการทดลอง จะหาได้จากเครื่องมือวัดปริมาณการไหล (Orifice meter) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่แนวระดับของหน้าตัดท่อ โดยอ่านค่าความแตกต่างของระดับของเหลวในมาโนมิเตอร์ (รูปที่ 3.9) ซึ่งใช้คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetra chloride) (ccl_4) เป็นของเหลวในการวัดมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.585 และการปรับค่า (Calibrate) รูระบายปากคมด้วยเครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก.) ปริมาณของการไหลของการทดลองจะได้มาจากการอ่านค่ามโนมิเตอร์จำนวน 6 ครั้ง แล้วนำมาเฉลี่ย และจึงจะคำนวณหาค่า Q ออกมาในช่วงระยะเวลาสม่ำเสมอ (ประมาณ 5 นาทีต่อครั้ง)

4. ความลาดเอียงของผิวน้ำ (Water Surface Slope) ความลาดเอียงของผิวน้ำหาโดยการวัดค่าระดับผิวน้ำจากเสาวัดระดับน้ำ ซึ่งติดตั้งบนพื้นคอนกรีตใกล้กับรางน้ำ (รูปที่ 3.10) จำนวน 3 จุด ห่างกันช่วงละ 6 เมตร และห่างจากหัวรางประมาณ 5 เมตรและปลายรางประมาณ 3 เมตร

สำหรับการไหลที่ Froude number, Fr น้อยกว่า 1 การอ่านค่าระดับผิวน้ำจะกระทำทุกๆ 10 นาที (โดยประมาณ) และอ่านค่าทั้งหมดจำนวน 6 ครั้งในแต่ละจุด เพื่อนำมาเขียนกราฟหาความลาดเอียงของผิวน้ำ (ดังแสดงในรูปที่ 3.11 การทดลองที่ 8)

และกรณีการไหลที่ Froude number, Fr มากกว่า 1 ระดับผิวน้ำเปลี่ยนแปลงคล้ายละลอกคลื่น เป็นการยากที่จะอ่านค่าระดับผิวน้ำ ดังนั้นจะอ่านค่าระดับผิวน้ำอย่างน้อย 6 ครั้งในแต่ละจุด แต่ทิ้งระยะเวลาการอ่านให้นาน (ประมาณ 20-30 นาทีต่อครั้ง) แล้วนำมาเขียนกราฟความลาดเอียงของผิวน้ำ (รูปที่ 3.12 การทดลองที่ 10)

5. ความลึกที่กำหนด และวิธีการวัด (Depth Measurement and Control) การไหลในการทดลองเป็นแบบการไหลสม่ำเสมอ (Uniform flow) และคงที่ (Steady flow) กำหนดความลึกในของการไหลประมาณ [15 $\pm$ 1.0] เซนติเมตร สำหรับทุกการทดลอง และการวัดความลึกแต่ละการทดลอง จะทำการวัดค่าความแตกต่างระหว่างพื้นทรายท้องน้ำ (Bed

Sand) กับผิวน้ำ (Water surtface) โดยประมาณค่าเป็นเซนติเมตร ตามแนวผนังด้านหน้าของรางน้ำ ค่าความลึกเฉลี่ยของแต่ละการทดลองกำหนดจากการวัดความลึก อย่างน้อยประมาณ 100 ค่า

6. ความเร็ว (Velocity) ความเร็วเฉลี่ยของอัตราการไหลแต่ละการทดลองที่จะนำมาใช้คำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทราย หาได้จากอัตราการไหล (Q) หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของการไหลในรางน้ำ (A)

7. การหาปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended Sediment Measurement) เก็บตัวอย่างของตะกอนแขวนลอย จะใช้วิธี Equal Trainsit Rate, EIR หรืออาจเรียกโดยวิธี Depth Integrating Sampler เพื่อหาปริมาณตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยตั้งแต่ผิวน้ำจนจดท้องน้ำ ด้วยเครื่องมือเก็บตะกอนดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยเก็บตัวอย่างตามความลึกของการไหลทั้งหมด 3 แนว คือ ที่แนวกึ่งกลางความกว้างของรางน้ำ และหนึ่งส่วนสี่ของความกว้างของรางน้ำ จากผนังด้านข้างแต่ละด้าน และความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่เก็บตัวอย่างไว้ สำหรับการทดลองแต่ละครั้งสามารถคำนวณได้ดังนี้

ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย มีหน่วยเป็น ppm. เท่ากับน้ำหนักของตะกอนทรายแห้ง X 10^6 หารด้วย น้ำหนักของน้ำปนตะกอนที่เก็บมาได้

8. การหาปริมาณตะกอนทั้งหมด (Iotal Sediment discharge) การเก็บตะกอนทั้งหมด โดยใช้เครื่องเก็บตะกอน ซึ่งติดตั้งไว้ที่ปลายสุดของรางน้ำ น้ำหนักตะกอนทรายที่เก็บจะมีน้ำหนักประมาณ 50-70 กิโลกรัม และน้ำหนักตะกอนทรายผสมกับน้ำจะเก็บ 3 ตัวอย่างในแต่ละการทดลอง การเก็บแต่ละครั้งจะใช้เวลาห่างกันประมาณ 20-30 นาที ความเข้มข้นของตะกอนทั้งหมดมีหน่วยเป็น ppm. คำนวณเช่นเดียวกันกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย

9. วัสดุท้องน้ำที่นำมาใช้ในการทดสอบ (Alluvial Bed Material) สำหรับการศึกษานี้ ใช้ทรายจากแม่น้ำธรรมชาติเป็นวัสดุท้องน้ำในการทดลองความลึกประมาณ 20 เซนติเมตร ตลอดทั้งรางน้ำ โดยนำทรายจากแม่น้ำสะแกกรัง บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดอุทัยธานี ใช้ปริมาณทรายประมาณ 8 ลูกบาศก์เมตร นำมาใส่ในรางทดสอบและใน Sump ด้วย

ในการเก็บตัวอย่าง จะกระทำภายหลังจากเก็บข้อมูลอื่นๆ เสร็จสิ้น และทำการปิดปั๊มระบายน้ำออกโดยแรงโน้มถ่วง (Gravity) ภายหลังจากระบายน้ำออกหมดแล้ว จะเก็บวัสดุท้องน้ำด้วยท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างทรายท้องน้ำตลอดจนความลึกของพื้นทราย (แสดงไว้ในรูปที่ 3.13) ทุกๆ ช่วง 1.50 เมตร ตามแนวยาวของรางน้ำ นำตัวอย่างทรายมาอบแห้ง และทำการวิเคราะห์ด้วยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Sieve analysis) เพื่อหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (Median diameter) และการเรียงเม็ดของทรายท้องน้ำ (Gradation)

10. การกระจายของขนาดเม็ดวัสดุ (Particle Size Distribution) นำตัวอย่างของทรายท้องน้ำ ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานของสหรัฐ โดยใช้ตะแกรงขนาดเบอร์ 20, 40, 60, 100 และ 200 ซึ่งมีขนาดของรูตะแกรงเท่ากับ 0.841, 0.42, 0.25, 0.149 และ 0.075 ตามลำดับ เขย่าด้วยเครื่องเขย่าตะแกรง (รูปที่ 3.14) ผลการกระจายของขนาดเม็ดทรายแต่ละการทดลอง จะนำมาเขียนในกระดาษกราฟ Logarithmic probability เพื่อหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดกลางเฉลี่ย (Median diameter) ของเม็ดทราย และค่าการเรียงเม็ดของทราย (Gradation) โดยวิธี U.S.Geological Survey Particle Size Distribution ดังนี้

ก. ขนาดเฉลี่ยหรือเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดกลางของวัสดุทราย ใช้ค่า d_{50} มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

ข. การเรียงเม็ดของตะกอนทราย ใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) คำนวณจากสมการ

$$\sigma = 1/2 \left[\frac{d_{50}}{d_{16}} + \frac{d_{84}}{d_{50}} \right] \qquad (3-1)$$

ซึ่งค่า

d_{16} = ขนาดของตะกอนซึ่ง 16% เล็กกว่า

d_{50} = ขนาดของตะกอนซึ่ง 50% เล็กกว่า

d_{84} = ขนาดของตะกอนซึ่ง 84% เล็กกว่า