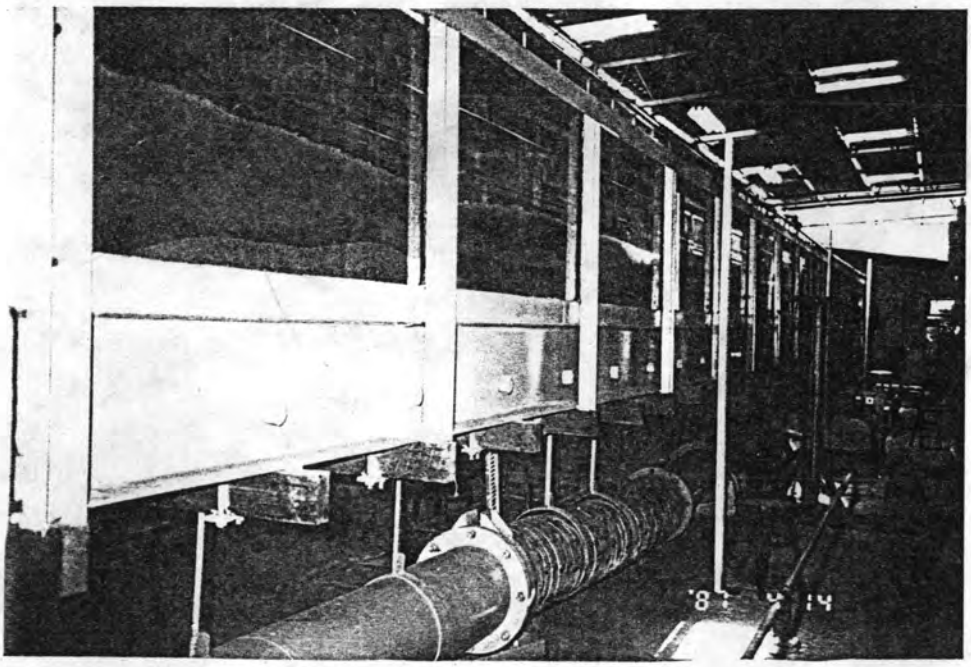
บทที่ 3
การดำเนินการทดลอง

3.1 รางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมพื้นผ้า (Rectangular Flume)

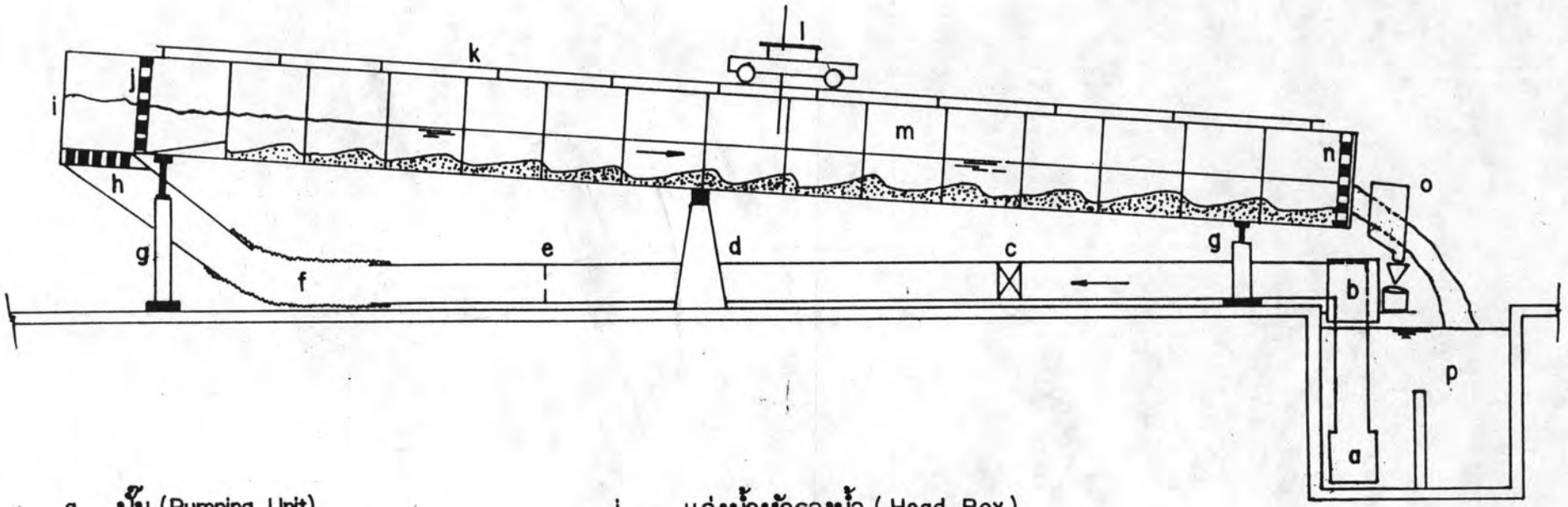
สำหรับการศึกษานี้ ใช้รางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.60 x 0.75 x 20.40 เมตร ซึ่งมีผนังด้านข้าง (Side walls) ทั้งสองข้างทำด้วยกระจกใสหนา 1.20 เซนติเมตร พื้นรางน้ำทำจากแผ่นเหล็กหนา 6 มิลลิเมตร และความลาดเอียงของรางน้ำ สามารถปรับมากน้อยได้โดยใช้แม่แรงยก (Jacks) ซึ่งหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (รูปที่ 3.1)

แผนผังส่วนประกอบและระบบการหมุนเวียนของตะกอนในรางน้ำ (ในรูปที่ 3.2) ประกอบด้วยปั๊มมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 40 แรงม้า ซึ่งให้อัตราการไหล (Discharge) สูงสุดประมาณ 0.283 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีหรือ 10 ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที ส่วนผสมของตะกอนกับน้ำจะถูกสูบจากบ่อน้ำทางด้านท้ายน้ำ (Tail box) ผ่านท่อเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว หนา 3/12 นิ้ว และวาล์วปิดเปิด จนกระทั่งถึงบ่อด้านเหนือน้ำ (Head box) ผ่านตะแกรง (Screens) และบัฟเฟอร์ (Baffles) แสดงในรูปที่ 3.3 เพื่อลดขนาดของคลื่นและความปั่นป่วนหมุนวนของกระแสน้ำ ภายหลังจากส่วนผสมของตะกอนกับน้ำไหลผ่านพื้นทรายท้องน้ำแล้ว ก็จะไหลกลับลงบ่อน้ำทางด้านท้ายน้ำ เพื่อหมุนเวียนมาใช้ต่อไป

ประตูระบายน้ำที่ปลายสุดของรางน้ำ (Tail gate) และความลาดเอียงของท้องน้ำจะเป็นตัวควบคุมความลึกของการไหลในรางน้ำ กรณีซึ่งมี Froude number น้อยกว่า 1 (Lower regime) แต่กรณีที่ Froude number มากกว่า 1 (Upper regime) สามารถควบคุมความลึกของการไหลด้วยการปรับค่าของความลาดเอียงของท้องน้ำ ส่วนฝายต่ำ (Low weir) ที่ปลายสุด

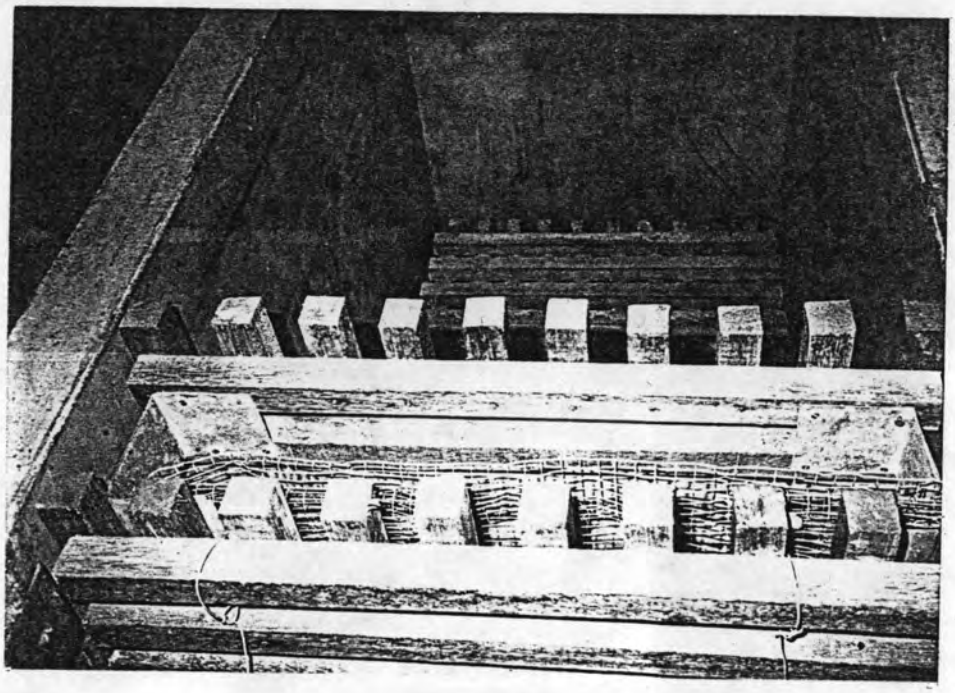


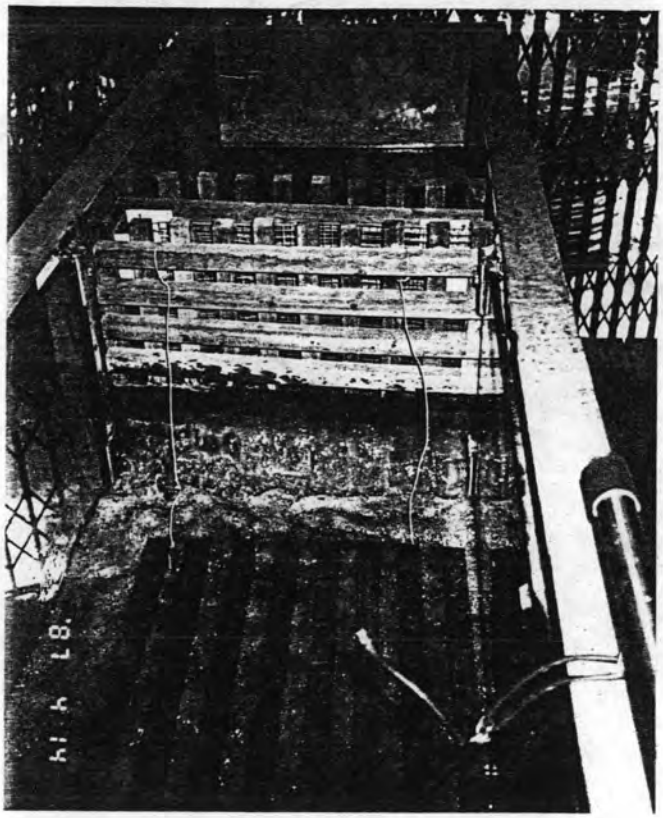
รูปที่ 3.1 รางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Flume)



a	ปั๊ม (Pumping Unit)	i	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	รางน้ำ ขนาด 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	ตัวสลายพลังงาน (Manifold Diffuser)	p	บ่อน้ำท้ายน้ำ (Tailbox)

รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงส่วนประกอบต่างๆและระบบการหมุนเวียนของน้ำผสมตะกอนในรางน้ำ





รูปที่ 3.3 ตะแกรง(Screens) และบัฟเฟอร์(Baffles)

ของรางน้ำ นำใช้ควบคุมระดับพื้นทรายท้องน้ำ (Sand bed)

รถราง (Carriage) ออกแบบมาเพื่อใช้วัดเก็บข้อมูลต่างๆ โดยติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอย (Sand Scraper) แสดงในรูปที่ 3.4 หรือเครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำ (Pitot tube) ดังแสดงในรูปที่ 3.5

เครื่องเก็บตะกอนทั้งหมด (Total load sampler) ซึ่งติดตั้งไว้ที่สุดปลายรางน้ำ (รูปที่ 3.6) เพื่อเก็บรวบรวมตัวอย่างตะกอนทรายทั้งหมดในแต่ละการทดลอง

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

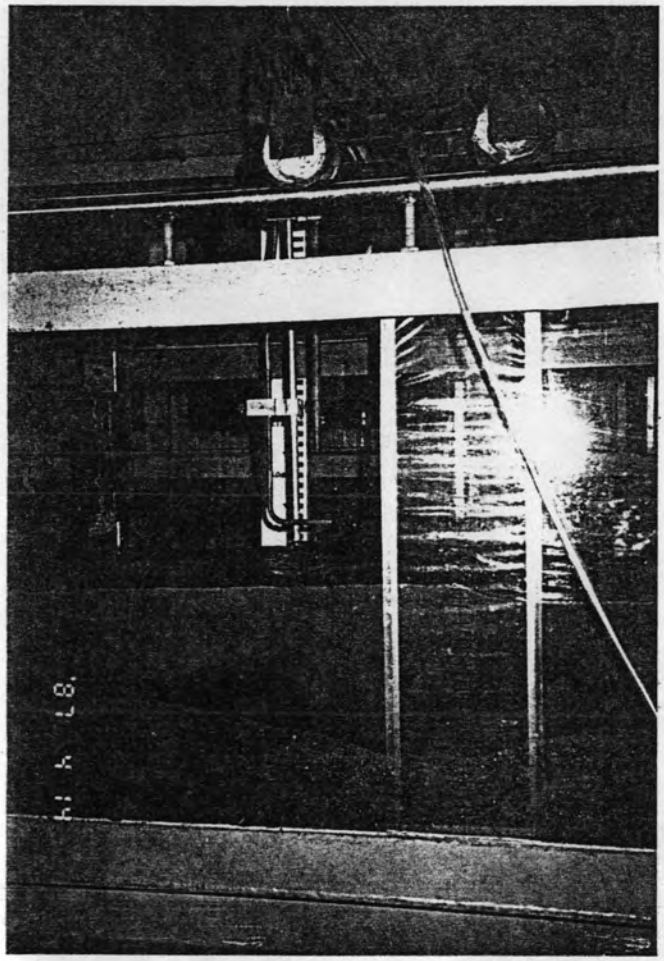
ลำดับขั้นตอนการทดลองทั้งหมด จะครอบคลุมรูปแบบความขรุขระของท้องน้ำ ตั้งแต่ริปเปิ้ล (Ripple) ถึงแอนติดูน (Antidunes) แสดงในรูปที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ การเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆในแต่ละการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลย์ (Equilibrium) แล้ว โดยสังเกตุได้จาก

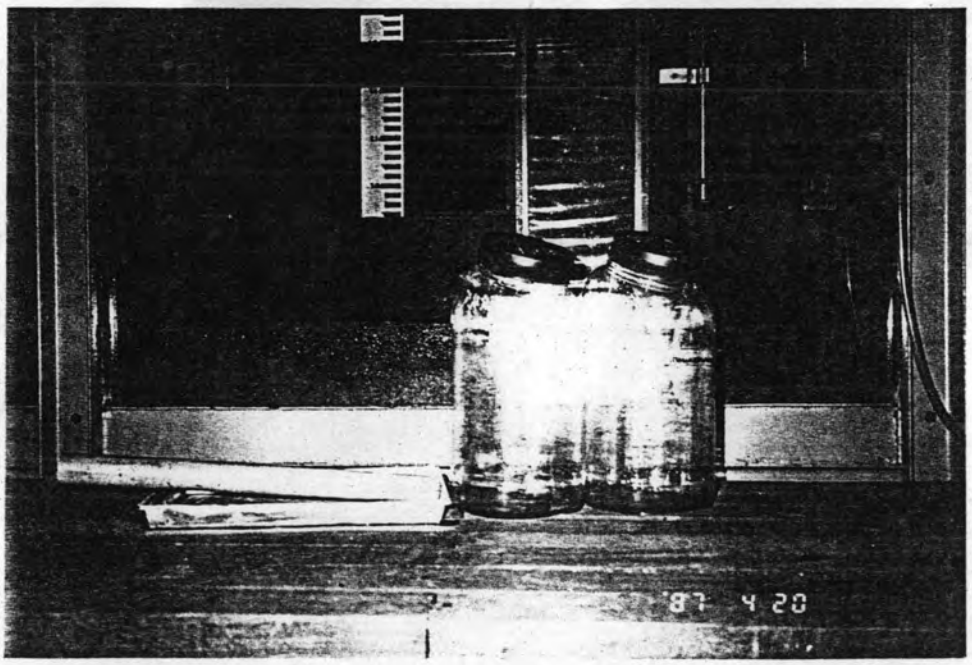
1. รูปแบบความขรุขระของทรายท้องน้ำ มีสภาพเหมือนกันตลอดทั้งรางน้ำ ยกเว้นบริเวณจุดทางเข้าและปลายทางออกของรางน้ำ

2. ความลาดเอียงของผิวน้ำ (Water surface slope) คงที่ไม่แปลงเปลี่ยนกับเวลา ($\frac{\partial s}{\partial t} = 0$)

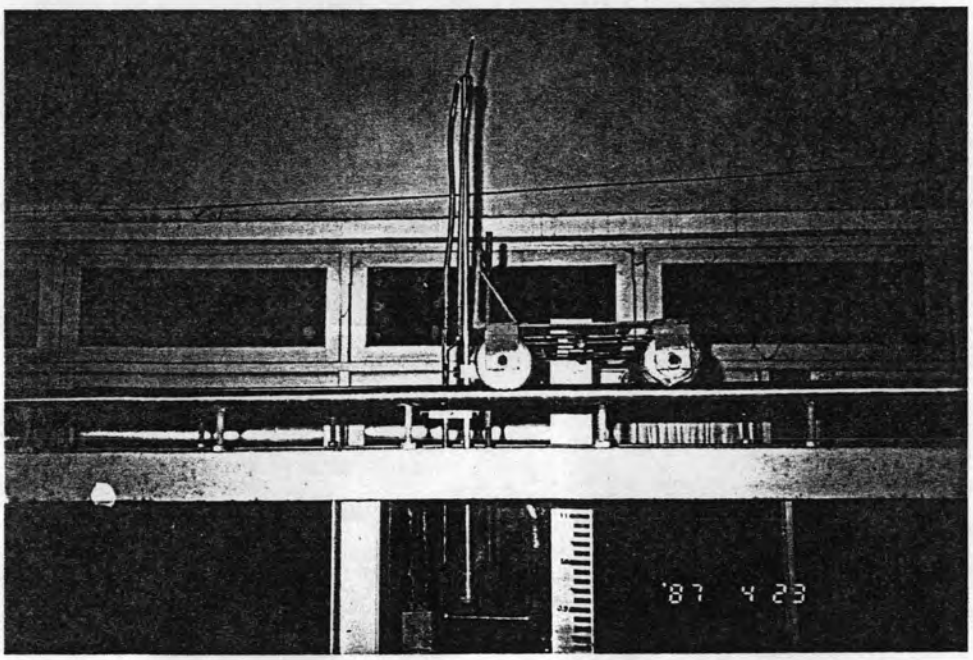
และเพื่อลดค่าตัวแปรลง ความลึกของการไหลสำหรับการทดลองทั้งหมดกำหนดให้เท่ากับ 15 $\pm$ 1.0 เซนติเมตร โดยการปรับค่าความลาดเอียงของรางน้ำ ประตูระบายน้ำและอัตราการไหล เมื่อระบบการเคลื่อนที่ของตะกอนเข้าสู่สมดุลย์ ก็จะเริ่มทำการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆที่ต้องการ

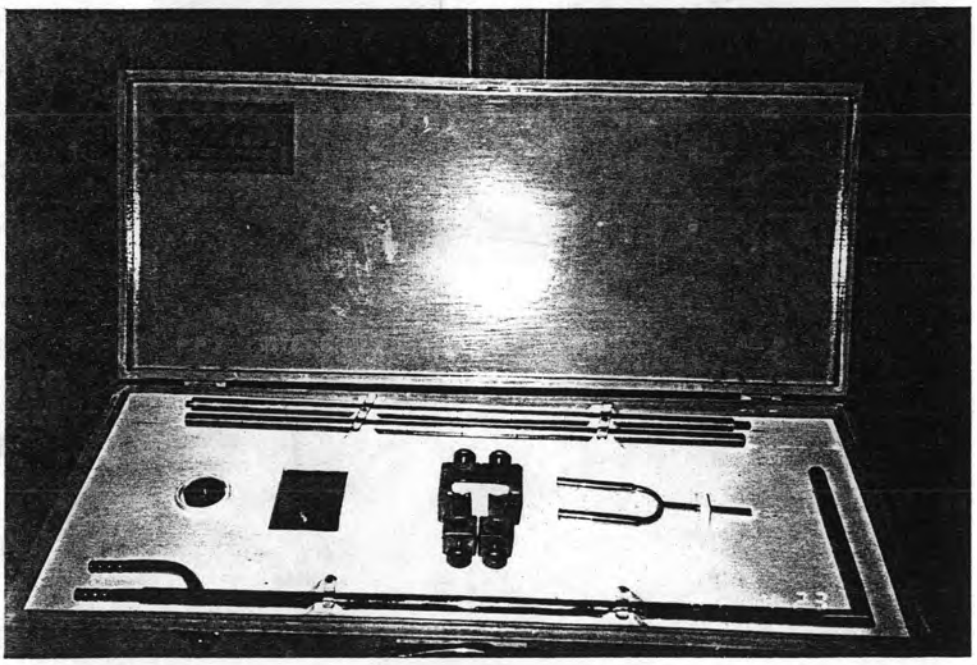
3.3 ข้อมูลและวิธีการวัด (Data and Measurement)



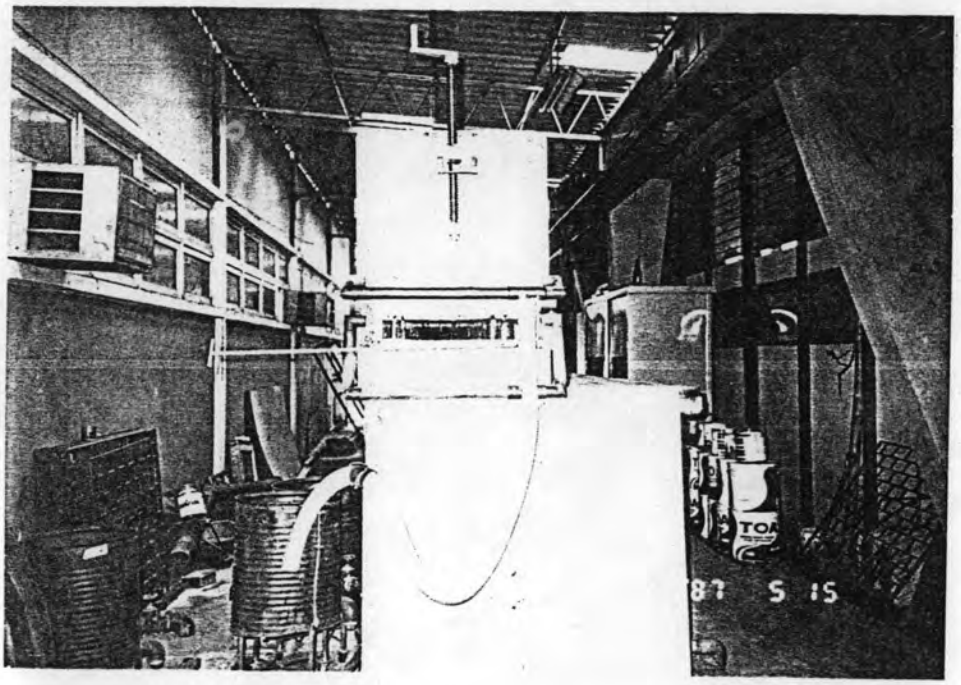


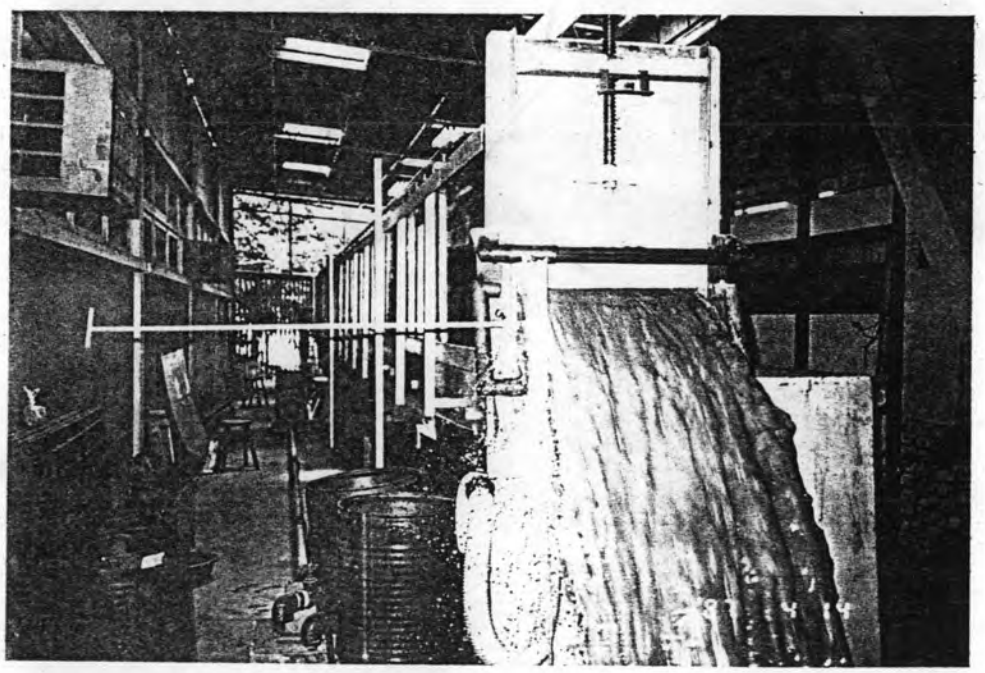
รูปที่ 3.4 เครื่องมือเก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอย



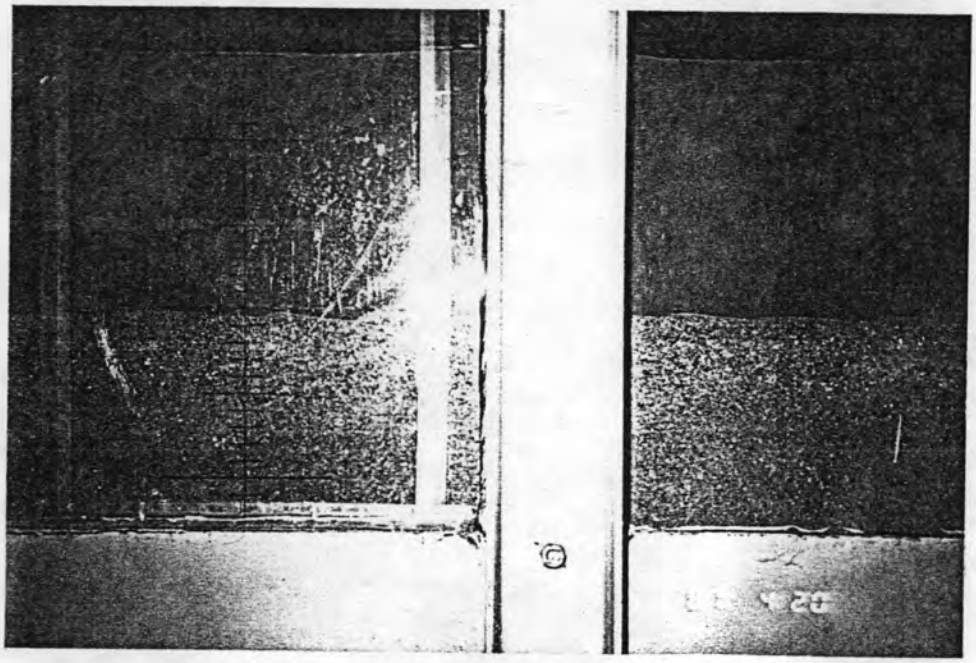


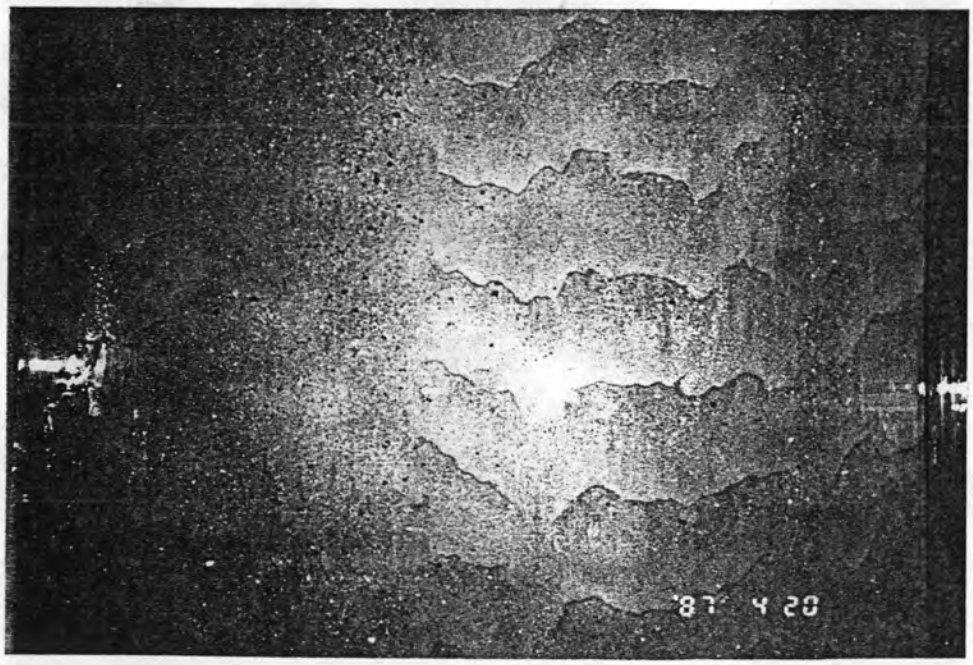
รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำ (Pitot tube)



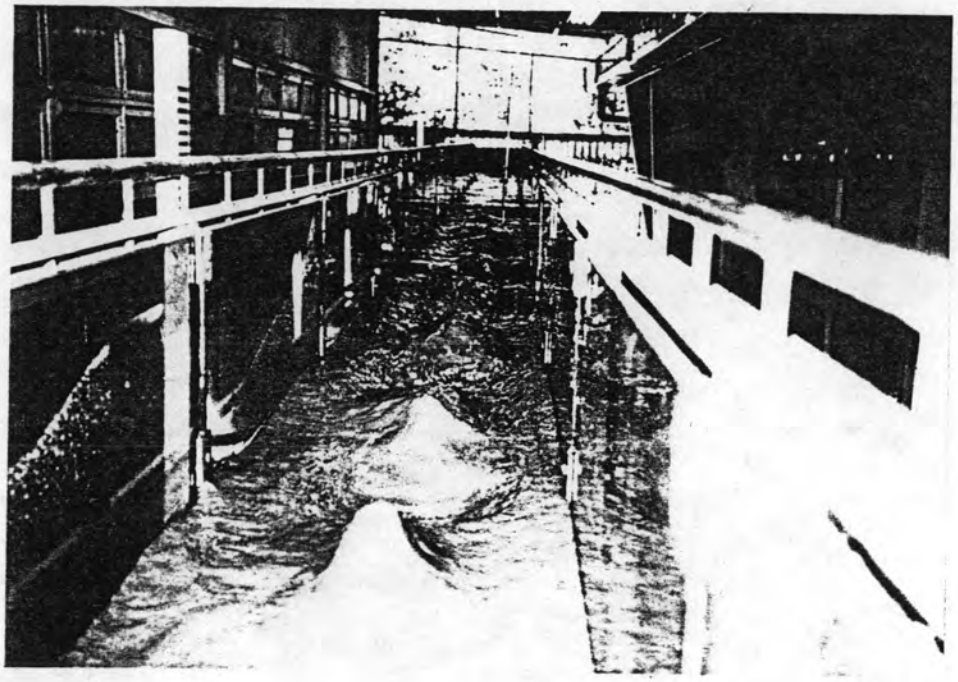


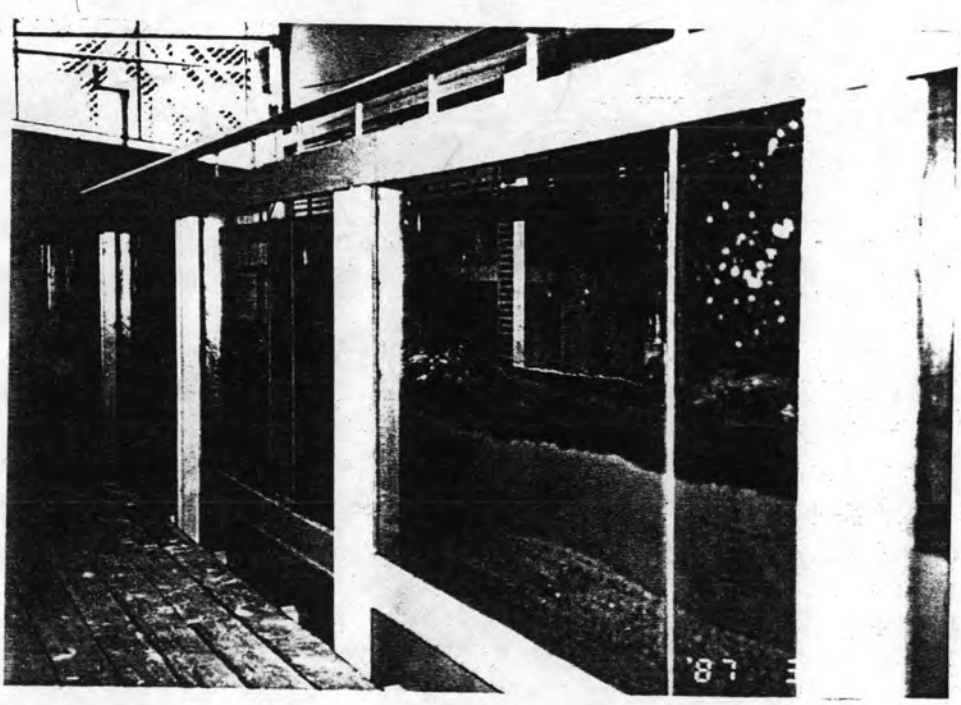
รูปที่ 3.6 เครื่องมือเก็บตัวอย่างตะกอนทั้งหมด





รูปที่ 3.7 ลักษณะท้องน้ำแบบริปเปิ้ล (ตัวอย่างการทดลองที่ 2)





รูปที่ 3.8 ลักษณะท้องน้ำแบบแอนติดูน (ตัวอย่างการทดลองที่ 15)

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

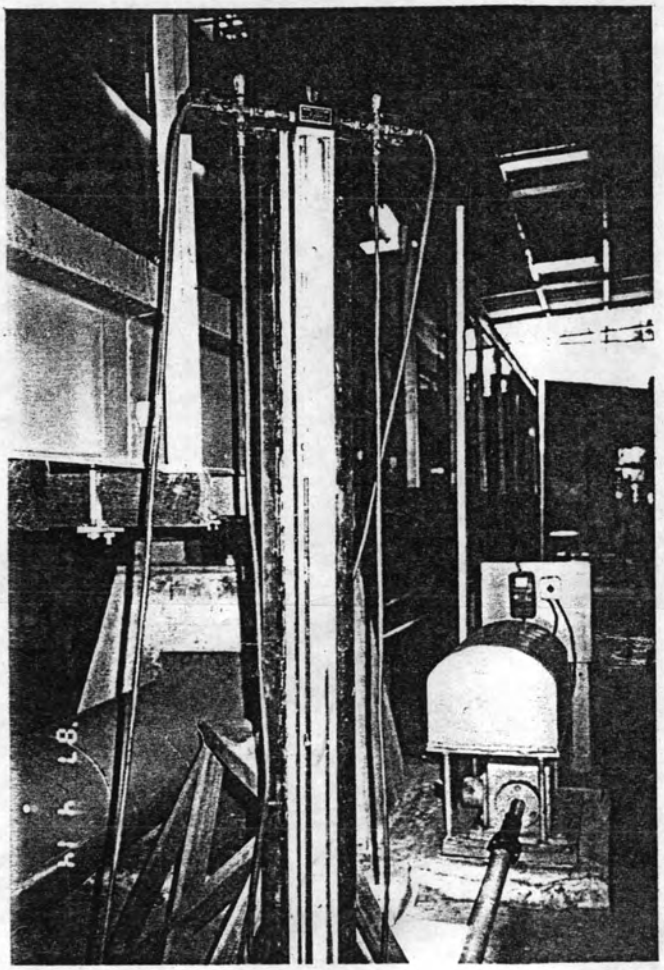
2. ความหนืดจลน์ (Kinematic viscosity) ของแต่ละการทดลอง สามารถหาได้จากค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของการทดลอง และค่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความหนืดจลน์ จากหนังสือกลศาสตร์ของไหล (Fluid mechanics)

3. อัตราการไหล (Discharge) อัตราการไหลของการทดลอง จะคำนวณได้จากค่าความแตกต่างของความดันของน้ำที่ผ่านรูระบายปากคม (Orifice) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่แนวระดับของหน้าตัดท่อ โดยอ่านค่าความแตกต่างของระดับของเหลวในมาโนมิเตอร์ (รูปที่ 3.9) ซึ่งใช้คาร์บอนเททระคลอไรด์ (Carbon tetra chloride, CCl_4) เป็นของเหลวในการวัด มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.585 และการปรับค่า (Calibrate) รูระบายปากคมด้วยเครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก.) อัตราการไหลเฉลี่ยของการทดลองแต่ละครั้ง คำนวณจากการอ่านค่ามาโนมิเตอร์จำนวน 6 ครั้ง ในช่วงระยะเวลาสม่ำเสมอ (ประมาณ 5 นาทีต่อครั้ง)

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

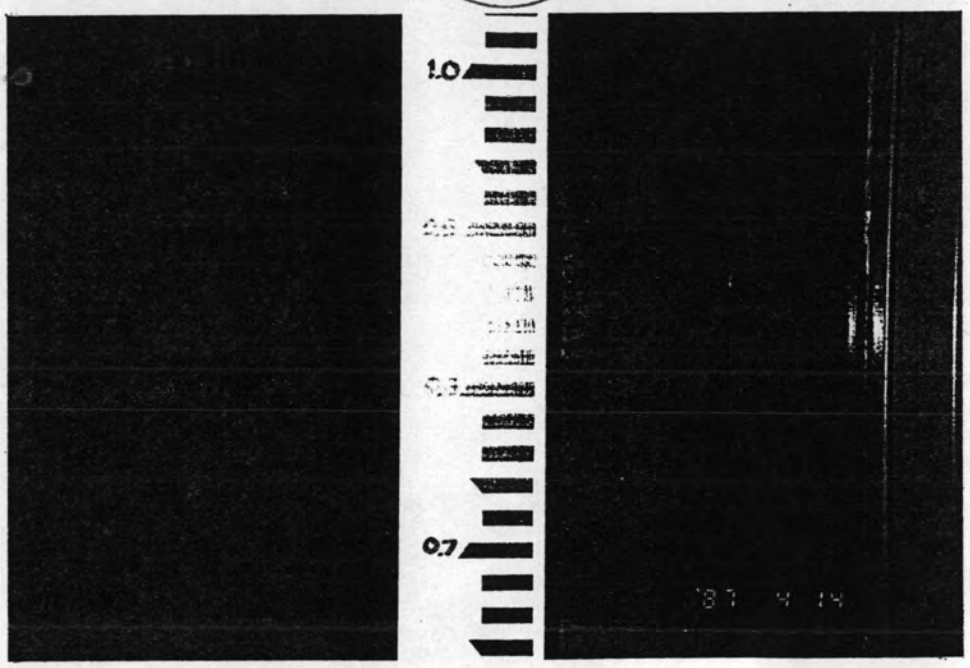
สำหรับการไหลที่ Froude number, Fr น้อยกว่า 1 การอ่านค่าระดับผิวน้ำจะกระทำทุกๆ 10 นาที (โดยประมาณ) และอ่านค่าทั้งหมดจำนวน 6 ครั้งในแต่ละจุด เพื่อนำมาเขียนกราฟหาความลาดเอียงของผิวน้ำ (ดังแสดงในรูปที่ 3.11 การทดลองที่ 8)

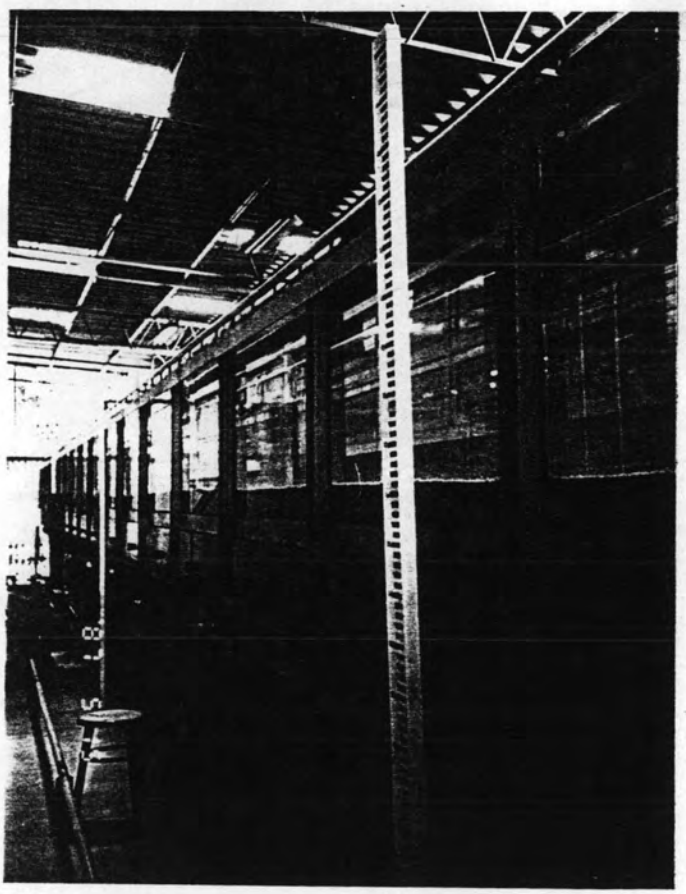
และกรณีการไหลที่ Froude number, Fr มากกว่า 1 ระดับผิวน้ำเปลี่ยนแปลงคล้ายละลอกคลื่น เป็นการยากที่จะอ่านค่าระดับผิวน้ำ ดังนั้นจะ



รูปที่ 3.9 มาโนมิเตอร์ (Manometer)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.10 เลาวัดระดับผิวน้ำ

อ่านค่าระดับผิวน้ำอย่างน้อย 6 ครั้งในแต่ละจุด แต่ทั้งระยะเวลาการอ่านให้นาน (ประมาณ 20-30 นาทีต่อครั้ง) แล้วนำมาเขียนกราฟความลาดเอียงของผิวน้ำ (รูปที่ 3.12 การทดลองที่ 10)

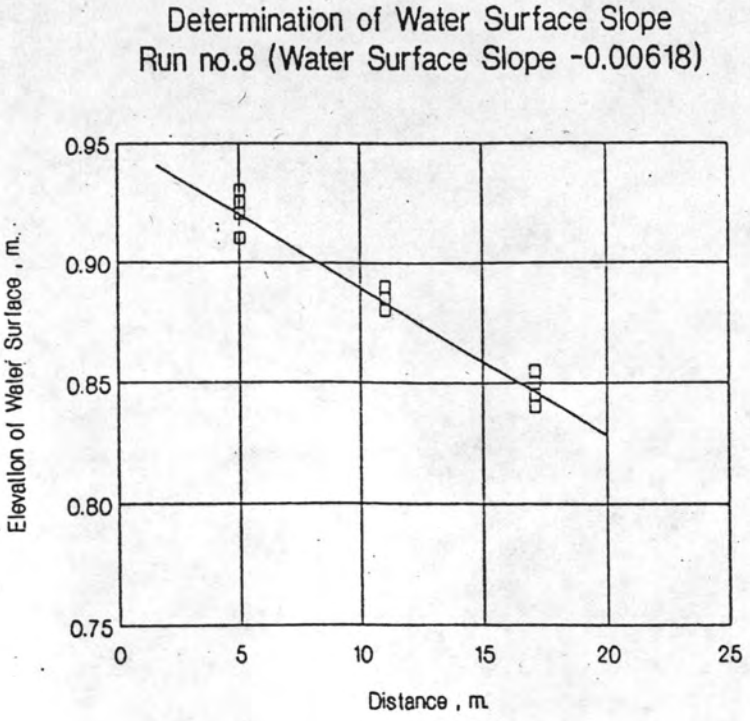
5. ความลึกที่กำหนด และวิธีการวัด (Depth Measurement and Control) การไหลในการทดลองเป็นแบบการไหลสม่ำเสมอ (Uniform flow) และคงที่ (Steady flow) กำหนดความลึกของการไหลประมาณ 15 $\pm$ 1.0 เซนติเมตรสำหรับทุกการทดลอง และการวัดความลึกแต่ละการทดลอง จะทำการวัดค่าความแตกต่างระหว่างพื้นทรายท้องน้ำ (Bed sand) กับผิวน้ำ (Water surface) โดยประมาณค่าเป็นเซนติเมตร ตามแนวผนังด้านหน้าของรางน้ำ ค่าความลึกเฉลี่ยของแต่ละการทดลองกำหนดจากการวัดความลึก อย่างน้อยประมาณ 100 ค่า

6. ความเร็ว (Velocity) ความเร็วเฉลี่ยของอัตราการไหลแต่ละการทดลอง ที่จะนำมาใช้คำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทราย หาได้จากอัตราการไหลหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของการไหลในรางน้ำ

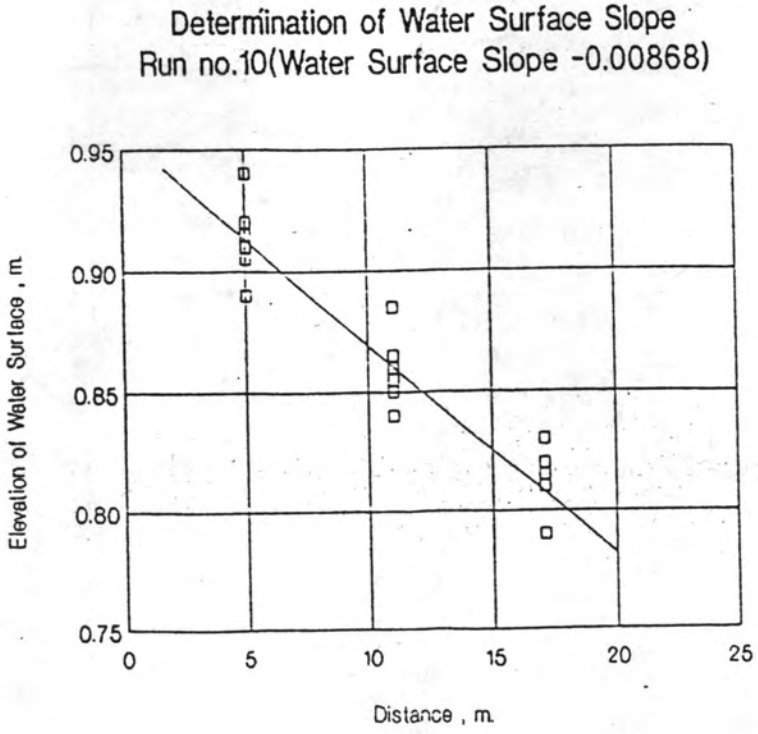
7. การหาปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended Sediment Measurement) เก็บตัวอย่างของตะกอนแขวนลอย จะใช้วิธี Equal Trainsit Rate, ETR ด้วยเครื่องมือเก็บตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยเก็บตัวอย่างตามความลึกของการไหลทั้งหมด 3 แนว คือ ที่แนวกึ่งกลางความกว้างของรางน้ำ และหนึ่งส่วนสี่ของความกว้างของรางน้ำ จากผนังด้านข้างแต่ละด้าน และความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่เก็บตัวอย่างไว้ สำหรับการทดลองแต่ละครั้งสามารถคำนวณได้ดังนี้

ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย มีหน่วยเป็น ppm. เท่ากับ น้ำหนักของตะกอนทรายแห้ง x 10^6 หารด้วย น้ำหนักของส่วนผสมน้ำกับตะกอน

8. การหาปริมาณตะกอนทั้งหมด (Total Sediment Measurement) ตัวอย่างของตะกอนทั้งหมดเก็บได้โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่าง ซึ่งติดตั้งไว้ที่ปลายสุดของรางน้ำ ตัวอย่างที่เก็บจะมีน้ำหนักประมาณ 50 - 70 กิโลกรัม เป็นน้ำหนักของส่วนผสมน้ำกับตะกอนทราย และเก็บอย่างน้อย 3 ตัว-



รูปที่ 3.11 ความลาดเอียงของผิวน้ำ (การทดลองที่ 8)



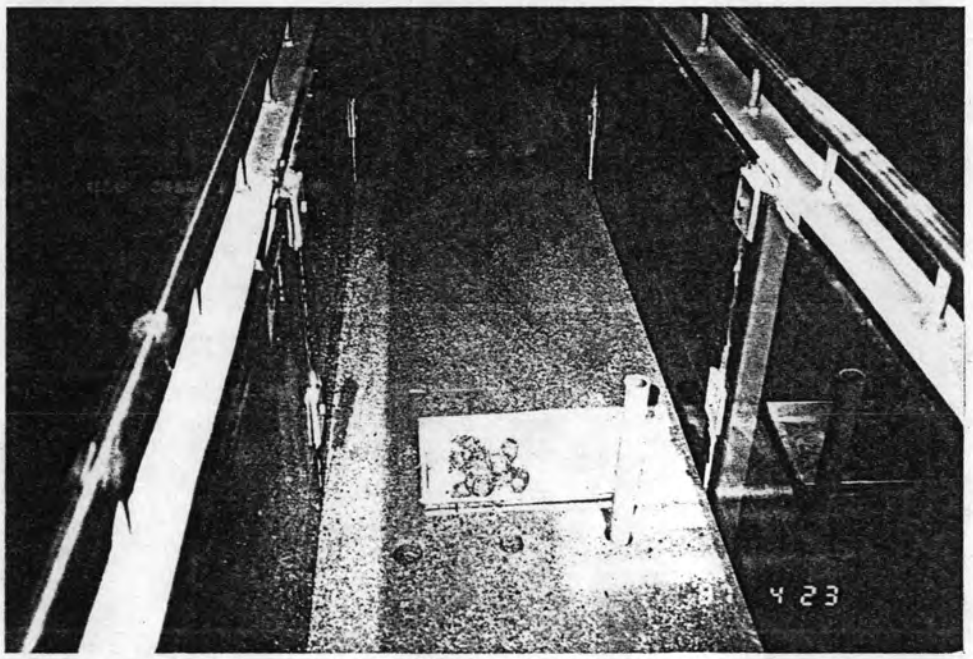
รูปที่ 3.12 ความลาดเอียงของผิวน้ำ (การทดลองที่ 10)

อย่างในแต่ละการทดลอง การเก็บแต่ละครั้งจะใช้เวลาห่างกันประมาณ 20 - 30 นาที ความเข้มของตะกอนทั้งหมด มีหน่วยเป็น ppm. คำนวณเช่นเดียวกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย

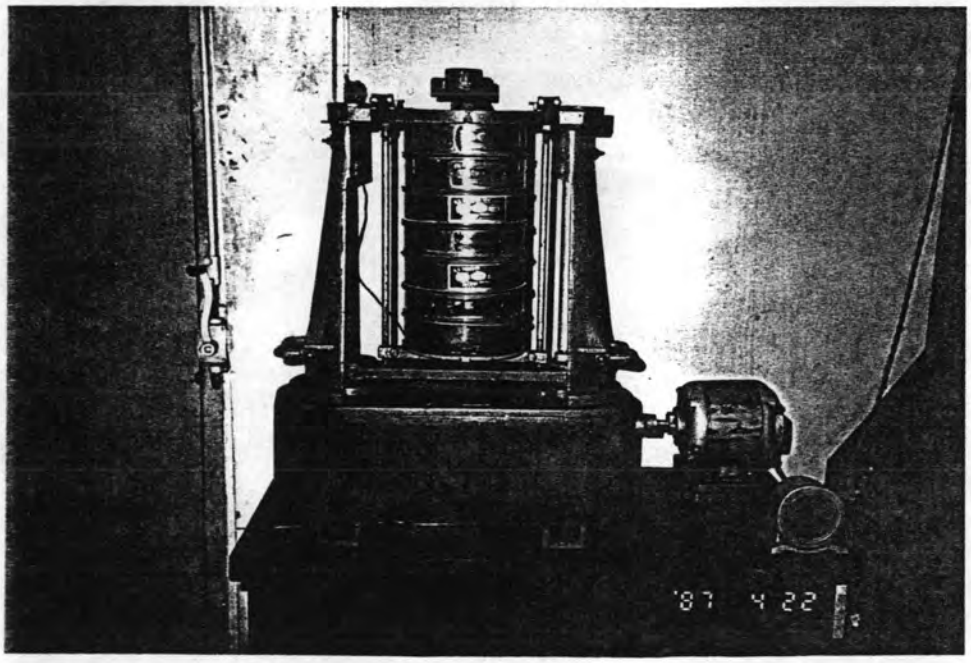
9. วัสดุท้องน้ำและวิธีเก็บตัวอย่าง (Alluvial Bed Material and Method of Sampling) สำหรับการศึกษานี้ ใช้ทรายจากแม่น้ำธรรมชาติเป็นวัสดุท้องน้ำในการทดลอง มีความลึกประมาณ 20 เซนติเมตร ตลอดทั้งรางน้ำ โดยนำทรายจากแม่น้ำแม่กลอง บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี ประมาณ 8 ลูกบาศก์เมตร นำมาร่อนตะแกรงขนาด 4.76 มิลลิเมตร แล้วนำมาล้างเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออก เช่น เศษไม้ เปลือกหอย กรวดที่มีขนาดเล็ก ดินและโคลน เป็นต้น

ในการเก็บตัวอย่าง จะกระทำภายหลังจากเก็บข้อมูลอื่น ๆ เสร็จสิ้น และทำการปิดปั๊มระบายน้ำออกโดยแรงโน้มถ่วง (Gravity) ภายหลังจากระบายน้ำออกหมดแล้ว จะเก็บวัสดุท้องน้ำด้วยท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างทรายท้องน้ำตลอดจนความลึกของพื้นทราย (แสดงไว้ในรูปที่ 13.13) ทุก ๆ ช่วง 1.50 เมตร ตามแนวยาวของรางน้ำ นำตัวอย่างทรายมาอบแห้ง และทำการวิเคราะห์ด้วยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Sieve analysis) เพื่อหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย (Median diameter) และการเรียงเม็ดของทรายท้องน้ำ (Gradation)

10. การกระจายของขนาดเม็ดวัสดุ (Particle Size Distribution) นำตัวอย่างของทรายท้องน้ำ ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานของสหรัฐ โดยใช้ตะแกรงขนาดเบอร์ 10, 20, 40, 60, 100 และ 200 ซึ่งมีขนาดของรูตะแกรงเท่ากับ 2.0, 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 ดังนี้



รูปที่ 3.13 เครื่องมือเก็บตัวอย่างทรายท้องน้ำ



รูปที่ 3.14 เครื่องมือเขย่าตะแกรง และตะแกรงขนาดต่างๆ

ก. ขนาดเฉลี่ยหรือเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดกลางของวัสดุทราย คือ ค่า d_{50} มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

ข. การเรียงเม็ดของตะกอนทราย ใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation), σ คำนวณจากสมการ

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