การศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอนในรางน้ำเปิด โดยใช้ทรายที่มีขนาดและการเรียงเม็ดที่กำหนดให้เป็นวัสดุท้องน้ำ

นายสวัสดิ์ ลู่ชัยชนะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พศ. 2530

ISBN 974-568-403-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

013049

i 10296372

FLUME STUDY OF SEDIMENT TRANSPORTATION USING SAND OF A GIVEN SIZE AND GRADATION AS BED MATERIAL

Mr. Sawat Luchaichana

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1987

ISBN 974-568-403-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอนในรางน้ำเปิด โดยใช้ทรายที่มีขนาดและการเรียงเม็ดที่กำหนดให้เป็นวัสดุท้องน้ำ
โดย	นายสวัสดิ์ ลู่ชัยชนะ
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.นิวัตต์ ดารานันทน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชีวะ)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ วรุณ คุณวาสี)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ จักรี จัตุทะศรี)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.นิวัตต์ ดารานันทน์)

สวัสดิ์ ลู่ชัยชนะ : การศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอนในรางน้ำเปิด โดยใช้ทรายที่มีขนาดและการเรียงเม็ดที่กำหนดให้เป็นวัสดุท้องน้ำ (FLUME STUDY OF SEDIMENT TRANSPORTATION USING SAND OF A GIVEN SIZE AND GRADATION AS BED MATERIAL) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.นิวัตต์ ดารานันทน์, 100 หน้า

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended load) และปริมาณตะกอนทั้งหมด (Total load) กรณีการเคลื่อนที่ของตะกอนในลำน้ำที่ท้องน้ำเป็นทราย ได้ทำการทดสอบในรางน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular flume) ซึ่งมีขนาด กว้าง 0.60 ม. ยาว 20.40 ม.และลึก 0.75 ม. ใช้ทรายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.70 มม. และค่าการเรียงเม็ดของทรายเท่ากับ 2.134 เป็นวัสดุท้องน้ำ (Bed material) และผู้ศึกษาได้รวบรวมข้อมูลจากผลการทดลองในรางน้ำของ Simons และ Richardson (1961), Daranandana (1962) และ Khuhapinant (1966) ร่วมกับข้อมูลที่ทำโดยผู้ศึกษาในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยและปริมาณความเข้มข้นของตะกอนทั้งหมด ซึ่งวัดค่าโดยตรงจากการทดลอง ส่วนที่สองเป็นการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ ซึ่งที่ได้จากการทดลองและที่คำนวณได้จากวิธีของ Meyer-Peter และ Muller (1948) และวิธีของ Einstein (1950)

การวิเคราะห์จากการศึกษาสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอย(Cs) และปริมาณตะกอนทั้งหมด(Ct) ในรูปของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง Cs กับ Ct สำหรับทุกลักษณะท้องน้ำ และสำหรับทรายหลายขนาด

อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ คำนวณโดยวิธีของ Meyer-Peter และ Muller จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลอง ขณะที่วิธีของ Einstein ให้ผลที่แตกต่างมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับทรายที่มีขนาดเม็ดเฉลี่ยใหญ่กว่า อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทั้งหมด ซึ่งคำนวณโดยวิธีของ Einstein แสดงค่าผิดพลาด 10 ถึง 20 % เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

SAWAT LUCHAICHANA : FLUME STUDY OF SEDIMENT TRANSPORTATION USING SAND OF A GIVEN SIZE AND GRADATION AS BED MATERIAL. THESIS ADVISOR : PROF.NIWAT DARANANDANA,Ph.D. 100 pp.

A study of the relationship between the suspended load and the total load on the transportation of the sediment in alluvial channels was carried out in a recirculating rectangular flume. The flume was 0.60 m. wide, 20.40 m. long ,and 0.75 m. deep. The bed material was sand with a median diameter of 0.70 mm and a measure of gradation of sand was 2.134. Data obtained from flume experiments by Simons and Richardson (1961), Daranandana (1962) and Khuhapinant (1966) were used in addition to the data collected by the writer from flume experiments in the hydraulic laboratory of the Civil Engineering Department.

The study was divided into two parts. The first part was directed towards finding the relationship between the concentration of suspended load and total load which were measured directly from the tests. The second part of the study was the comparison between the rate of bed material transport which was taken from the experiments and the bed material transport which was obtained from the computation using Meyer-Peter and Muller's method (1948) and Einstein's method (1950).

An analysis of the study reveals a close relationship between the concentration of suspended sediment load (Cs) to the total load (Ct), for all bed forms and various sizes. Such relationships are expressed in the forms of empirical equations of Cs versus Ct

Bed material transport rate, computed from Meyer-Peter and Muller's equations has shown close results to that measured from the experiments, while Einstein's method has shown a larger deviation, especially for sand of bigger mean diameter. The total bed material discharge which was computed by Einstein's method indicated an error of 10 to 20 % as compared with the experimental results.

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา Civil Engineering ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา Civil Engineering.....

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับคำปรึกษาและการชี้แนะจากท่านรองศาสตราจารย์เสถียร ชลาชีวะ ศาสตราจารย์จักรี จัตุฑะศรี ศาสตราจารย์วรุณ คุณวาสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งศาสตราจารย์ ดร. นิวัตต์ ดารา-นันทน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด ดังนั้นข้าพเจ้าจึงถือโอกาสขอบพระคุณมา ณ.ที่นี้ นอกจากนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณบรรดาคณาจารย์วิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ ทำให้ข้าพเจ้าได้ตระหนักถึงความสำคัญของศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำในการนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย และจากภาควิชาวิศวกรรมโยธา จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมโยธามา ณ.ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และพี่สาวทั้ง 2 ท่านของข้าพเจ้า ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สวัสดิ์ ลู่ชัยชนะ

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ฌ
สารบัญรูป		ฏ
บทที่ 1	บทนำ	
	1.1 บทนำและความเป็นมา	1
	1.2 ขอบข่ายและวัตถุประสงค์ที่ศึกษา	2
	1.3 วิธีดำเนินการศึกษา	3
	1.4 การศึกษาที่ผ่านมา	3
	1.5 ผลการศึกษาที่คาดหวัง	6
บทที่ 2	ทฤษฎี	
	2.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของตะกอนในลำน้ำ	9
	2.2 รูปแบบลักษณะความขรุขระของท้องน้ำ	9
	2.3 สมการการเคลื่อนที่ของตะกอน	10
	2.3.1 สมการของ Meyer-Peter และ Muller	11
	2.3.2 สมการของ Einstein	12
บทที่ 3	การดำเนินการทดลอง	
	3.1 รางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Flume)	16
	3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	20
	3.3 ข้อมูลและวิธีการวัด (Data and Measurement)	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 ผลการทดลอง 34

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง 40

4.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย กับความเข้มข้นของตะกอนทั้งหมด 40

4.2.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองกับสมการของ Einstein และ Meyer-Peter และ Muller 53

บทที่ 5 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อสรุป 72

5.2 ข้อเสนอแนะ 74

เอกสารอ้างอิง 75

ภาคผนวก ก. ผลการปรับค่า (Calibrated) แผ่น Orifice meter โดยใช้ Pitot tube 78

ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ 82

ประวัติผู้ศึกษา 100

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ผลการกระจายของเม็ดทรายท้องน้ำ ของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. (σ = 2.13) 35

4.2 ผลการทดลองของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. (σ = 2.13) .. 35

4.3 ผลการกระจายของเม็ดทรายท้องน้ำ ของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.33 มม. (σ = 2.07) 37

4.4 ผลการทดลองของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.33 มม. (σ = 2.07) .. 37

4.5 ผลการกระจายของเม็ดทรายท้องน้ำ ของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 มม. (σ = 1.82) 39

4.6 ผลการทดลองของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 มม. (σ = 1.82) .. 39

4.7 ข้อมูลจากผลการทดลองของ Simons และ Richardson สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.19 มม. 42

4.8 ข้อมูลจากผลการทดลองของ Simons และ Richardson สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.23 มม. 42

4.9 ข้อมูลจากผลการทดลองของ Simons และ Richardson สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.28 มม. 43

4.10 ข้อมูลจากผลการทดลองของ Simons และ Richardson สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.32 มม. 43

4.11 ข้อมูลจากผลการทดลองของ Simons และ Richardson สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.47 มม. 44

4.12 อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายจากผลการทดลองและผลการคำนวณโดยวิธีของ Einstein และ Meyer-Peter และ Muller สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. (σ = 2.13) 59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.13 อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายจากผลการทดลองและผลการคำนวณโดยวิธีของ Einstein และ Meyer-Peter และ Muller สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.33 มม. (σ = 2.07) 62

4.14 อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายจากผลการทดลองและผลการคำนวณโดยวิธีของ Einstein และ Meyer-Peter และ Muller สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 มม. (σ = 1.82) 65

ก.1 แสดงค่าผลการปรับค่า (Calibrated) แผ่น Orifice meter โดยใช้ Pitot tube 80

ข.1 ผลการคำนวณค่า d_m ของทรายท้องน้ำขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. (σ = 2.13) 84

ข.2 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูล(Data file) ของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. (σ = 2.13) 84

ข.3 ผลการคำนวณจากโปรแกรม โดยวิธีของ Meyer-Peter และ Muller ของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. (σ =2.13) 84

ข.4 ตัวอย่างการคำนวณของการทดลองที่ 8 โดยวิธีของ Einstein สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. (σ =2.13) 91

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	รูปแบบความขรุขระของท้องน้ำ	7
3.1	รางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Flume)	17
3.2	แผนผังแสดงส่วนประกอบต่างๆ และระบบการหมุนเวียนของน้ำผสมตะกอนในรางน้ำ	18
3.3	ตะแกรง (Screens) และบัฟเฟอร์ (Baffles)	19
3.4	เครื่องมือเก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอย	21
3.5	เครื่องมือวัดความเร็วของกระแสน้ำ (Pitot tube)	22
3.6	เครื่องมือเก็บตัวอย่างตะกอนทรายทั้งหมด	23
3.7	ลักษณะท้องน้ำแบบริปเปิ้ล (ตัวอย่างการทดลองที่ 2)	24
3.8	ลักษณะบท้องน้ำแบบแอนติดูน (ตัวอย่างการทดลองที่ 15)	25
3.9	มาโนมิเตอร์ (Manometer)	27
3.10	เสาวัดระดับผิวน้ำ	28
3.11	ความลาดเอียงของผิวน้ำ (การทดลองที่ 8)	30
3.12	ความลาดเอียงของผิวน้ำ (การทดลองที่ 10)	30
3.13	เครื่องมือเก็บตัวอย่างทรายท้องน้ำ	32
3.14	เครื่องมือเขย่าตะแกรง และตะแกรงขนาดต่างๆ	32
4.1	กราฟการกระจายของทรายท้องน้ำขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม.(σ=2.13)	36
4.2	กราฟการกระจายของทรายท้องน้ำขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.33 มม.(σ=2.07)	38
4.3	กราฟการกระจายของทรายท้องน้ำขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 มม.(σ=1.82)	41
4.4	ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับลักษณะท้องน้ำแบบริปเปิ้ล	45
4.5	ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับลักษณะท้องน้ำแบบดูน	47

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับลักษณะท้องน้ำแบบทรานซิชั่น	48
4.7	ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับลักษณะท้องน้ำแบบเพลนเบด	49
4.8	ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับลักษณะท้องน้ำแบบแสตนดิ่งเวฟ	50
4.9	ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับลักษณะท้องน้ำแบบแอนติดูน	51
4.10	ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับทุกลักษณะท้องน้ำของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ยหลายขนาด	52
4.11	ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับทุกลักษณะท้องน้ำของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. (σ = 2.13)	54
4.12	ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับทุกลักษณะท้องน้ำของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.33 มม. (σ = 2.07)	55
4.13	ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับทุกลักษณะท้องน้ำของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 มม. (σ =1.82)	56
4.14	การเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมดของทราย 0.70,0.33 และ 0.95 มม.	57
4.15	การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลองกับสมการของ Einstein สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. (σ = 2.13)	60
4.16	การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลองกับสมการของ Meyer-Peter และ Muller สำหรับทราย	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.17 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลองกับสมการของ Einstein สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.33 มม. (σ = 2.07) 63

4.18 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลองกับสมการของ Meyer-Peter และ Muller สำหรับทราย 0.33 มม. (σ = 2.07) 64

4.19 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลองกับสมการของ Einstein สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 มม. (σ = 1.82) 66

4.20 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลองกับสมการของ Meyer-Peter และ Muller สำหรับทราย 0.95 มม. (σ = 1.82) 67

4.21 การเปรียบเทียบระหว่างอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทั้งหมดระหว่างผลจากการทดลองกับสมการของ Einstein สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. (σ = 2.13) 69

4.22 การเปรียบเทียบระหว่างอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทั้งหมดระหว่างผลจากการทดลองกับสมการของ Einstein สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.33 มม. (σ = 2.07) 70

4.23 การเปรียบเทียบระหว่างอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทั้งหมดระหว่างผลจากการทดลองกับสมการของ Einstein สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 มม. (σ = 1.82) 71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.1	แสดงตำแหน่งของ Pitot tube ซึ่งใช้วัดความเร็วในรางน้ำ Pitot tube	79
ก.2	กราฟแสดงผลการปรับค่า (Calibrated) แผ่น Orifice โดยใช้ Pitot tube	81
ข.1	แผนภูมิลำดับการทำงานของโปรแกรมคำนวณโดยวิธีของ Meyer-Peter and Muller	83
ข.2	กราฟสำหรับหาค่า R' ตามสมการของ Einstein และ Barbarassa	87
ข.3	แฟคเตอร์ของค่าแก้ x สัมพันธ์กับ k_s/δ'.....	89
ข.4	แฟคเตอร์ ξ สัมพันธ์กับ d/X	92
ข.5	แฟคเตอร์ของค่าแก้ Y สัมพันธ์กับ k_s/δ'.....	93
ข.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Φ_* กับ Ψ_*	95
ข.7	ความเร็วของการตกตะกอนสำหรับทรายขนาดเม็ดต่างๆ	97
ข.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_1 กับ A และ Z	98
ข.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง I_2 กับ A และ Z	99