ผลของการกระจายขนาดของตะกอนต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของตะกอนในรางน้ำสี่เหลี่ยม

นายธีระศักดิ์ เจริญมรรคผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-0946-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21044670

EFFECT OF SEDIMENT SIZE GRADATION ON SEDIMENT-TRANSPORT IN RECTANGULAR FLUME

Mr.Theerasak Charoenmakpol

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Water Resources Engineering
Department of Water Resources Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2002

ISBN 974-17-0946-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการกระจายขนาดของตะกอนต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของตะกอนในรางน้ำสี่เหลี่ยม
โดย	นายธีระศักดิ์ เจริญมรรคผล
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทรโยธา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธีระศักดิ์ เจริญมรรคผล : ผลของการกระจายขนาดของตะกอนต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของตะกอนในรางน้ำสี่เหลี่ยม. (EFFECT OF SEDIMENT SIZE GRADATION ON SEDIMENT-TRANSPORT IN RECTANGULAR FLUME)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล, 212 หน้า. ISBN 974-17-0946-3.

การศึกษาผลของการกระจายขนาดของตะกอนต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของตะกอนในรางน้ำสี่เหลี่ยม โดยใช้แบบจำลองชลศาสตร์ทางกายภาพนี้ เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำที่มีต่อพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของตะกอนอันได้แก่ อัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด ความสัมพันธ์ของปริมาณตะกอนแขวนลอยต่อตะกอนทั้งหมด ลักษณะรูปร่างท้องน้ำ และการเปลี่ยนแปลงขนาด D_{50} ของวัสดุท้องน้ำตามระยะทาง ซึ่งในการศึกษาได้ใช้ทรายขนาดสม่ำเสมอ 3 ขนาด คือ ทรายหยาบ D_{50} = 2.90 มม. ทรายปานกลาง D_{50} = 1.18 มม. และทรายละเอียด D_{50} = 0.26 มม. มาจำลองเป็นวัสดุท้องน้ำในรางสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความยาว 18 ม. กว้าง 0.60 ม. และลึก 0.75 ม. ที่ติดตั้งเครื่องโรยทราย โดยนำมาผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ได้วัสดุท้องน้ำที่มีขนาด D_{50} ใกล้เคียงกัน แต่การกระจายขนาดต่างกัน 3 ขนาด ได้แก่ ทรายชนิดที่1 D_{50} = 1.17-1.22 มม., σ_g = 1.31-1.32 ทรายชนิดที่2 D_{50} = 1.17-1.29 มม., σ_g = 1.98-2.11 และทรายชนิดที่3 D_{50} = 1.19-1.29 มม., σ_g = 3.77-3.89 โดยทรายแต่ละขนาดได้ทำการทดลองภายใต้อัตราการไหล 7 ค่า (25-55 ลิตร/วินาที) และเป็นการทดลองภายใต้สภาวะการไหลที่มีการเคลื่อนที่ของตะกอน สำหรับทุกกรณีการทดลอง การไหลถูกกำหนดให้เป็นแบบคงที่ และสม่ำเสมอ (steady and uniform flow) และเป็นการไหลต่ำกว่าวิกฤต (subcritical flow)

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่า ท้องน้ำที่มีการกระจายขนาดของทรายสูง (σ_g = 3.77-3.89) มีอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด อัตราการนำพาตะกอนแขวนลอย และอัตราส่วนปริมาณตะกอนแขวนลอยต่อปริมาณตะกอนทั้งหมดมากกว่า แต่มีความสูงของรูปร่างคลื่นท้องน้ำที่เล็กกว่า ท้องน้ำที่มีการกระจายขนาดของทรายสม่ำเสมอ (σ_g = 1.31-1.32) ซึ่งการทดลองนี้ มีค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของตะกอน (ϕ) อยู่ระหว่าง 0.05-0.35 และค่าพารามิเตอร์การไหล (ψ) อยู่ระหว่าง 0.05-0.40

นอกจากนี้ ในการศึกษายังพบว่า การกระจายขนาดของทรายทุกแบบ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาด D_{50} และ σ_g ของวัสดุท้องน้ำตามระยะทาง ทั้งนี้เนื่องมาจากความยาวของรางน้ำที่ใช้ในการศึกษาอาจสั้นเกินไป และยังพบว่า การกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาด D_{50} ของวัสดุท้องน้ำตามระยะทางอีกด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2545	

4270363621: MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD: FLUME / TOTAL LOAD / SUSPENDED LOAD / BED FORM / GRADED SAND / UNIFORM SAND / BED MATERIAL / SIZE GRADATION / MEDIAN SIZE

THEERASAK CHAROENMAKPOL: EFFECT OF SEDIMENT SIZE GRADATION ON SEDIMENT-TRANSPORT IN RECTANGULAR FLUME. THESIS ADVISOR: ASST.PROF.DR.TUANTAN KITPAISALSAKUL, 212 pp. ISBN 974-17-0946-3.

The study of effect of sediment size gradation on sediment transport in a rectangular flume is carried out using a physical hydraulic model to determine the impacts of bed sediment size gradation on sediment transport behaviors such as total sediment load, ratio between suspended load and total load, bed form and change of median bed material size D_{50} with distance. In this study, three different sizes of uniform sand, such as coarse sand D_{50} = 2.90 mm., medium sand D_{50} = 1.18 mm. and fine sand D_{50} = 0.26 mm., are mixed in different ratios to form three representative bed materials that have similar D_{50} but different size gradation. Three different size gradations of mixed sands are sand No.1 D_{50} = 1.17-1.22 mm., σ_g = 1.31-1.32, sand No.2 D_{50} = 1.17-1.29 mm., σ_g = 1.98-2.11 and sand No.3 D_{50} = 1.19-1.29 mm., σ_g = 3.77-3.89. A rectangular flume of 18 m.long, 0.60 m.wide and 0.75 m.high attached with sand feeder is used as a flow channel and sediment generator. The study is performed using seven different discharges (25-55 l/s) under the flow conditions with continuous sediment transport. Flow condition for every case is maintained at steady-uniform and subcritical flow.

From the study results, it is found that the higher size gradation (σ_g = 3.77-3.89) gives higher total sediment load, suspended sediment load and ratio of suspended load to total load but smaller wave height of bed form than the lower size gradation (σ_g = 1.31-1.32). The ranges of transport parameter (ϕ) and flow parameter (ψ) of this experiment are between 0.05-0.35 and 0.05-0.40, respectively.

Furthermore, it is found that the size D_{50} and σ_g do not change with distance for every size gradation because the flume length may be too short. In addition, the size gradation has negligible effect on the change of size D_{50} with respect to distance.

Department Water Resources Engineering Student's signature Theerasak.

Field of study Water Resources Engineering Advisor's signature

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทรโยธา ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย กรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์ กรรมการ และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล ซึ่งเป็นกรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำข้อคิดเห็นต่าง ๆ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำที่ได้ให้ความรู้และแนวทางการดำเนินชีวิตแก่ข้าพเจ้า นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนทุนในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่ของห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล พร้อมทั้งอุปกรณ์การทดลองตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเลทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดีมา ณ ที่นี้ด้วย

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ภาควิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์ในการวิเคราะห์การกระจายขนาดของทรายที่ใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้แนะนำการใช้เครื่องมือต่าง ๆ รวมทั้งพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ในภาควิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้า จนกระทั่งงานวิจัยชิ้นนี้แล้วเสร็จ

ท้ายที่สุดหากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีคุณความดีอยู่เพียงใด ผู้เขียนใคร่ขอมอบให้แก่บิดา-มารดา ผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จทั้งหมดในชีวิตของผู้เขียน และบูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ผู้เขียน ส่วนข้อบกพร่องทั้งหลายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

ธีระศักดิ์ เจริญมรรคผล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบข่ายการศึกษา 2

1.4 แนวทางในการศึกษา 4

1.5 การศึกษาที่ผ่านมา 5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 11

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ 13

2.1 ลักษณะการเคลื่อนตัวของตะกอน 13

2.2 ประเภทของการนำพาตะกอน 13

2.3 การเริ่มต้นเคลื่อนตัว 15

2.4 รูปร่างของท้องน้ำ 18

2.5 วิธีการพยากรณ์รูปร่างของท้องน้ำ 18

2.6 สมการการเคลื่อนที่ของตะกอนทั้งหมด 21

บทที่ 3 การดำเนินการทดลอง 27

3.1 การดำเนินการศึกษา 27

3.2 วัสดุท้องน้ำ (bed material) 27

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 29

3.4 ขั้นตอนการทดลอง 30

3.5 สรุปรายละเอียดกรณีการศึกษา 33

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 36
4.1 ผลของการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำต่ออัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด 41
4.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดที่ได้จากการทดลองกับสมการต่างๆ 51
4.3 ความสัมพันธ์ของปริมาณตะกอนแขวนลอยต่อปริมาณตะกอนทั้งหมด 62
4.4 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบรูปร่างท้องน้ำที่ได้จากการทดลองกับวิธีต่างๆ 67
4.5 การเปลี่ยนแปลงขนาด D_{50} และ σ_g ของวัสดุท้องน้ำตามระยะทาง 72

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 83
5.1 สรุปการดำเนินการศึกษาและทดลอง 83
5.2 สรุปผลการศึกษา 84
5.3 ข้อเสนอแนะ 89

รายการอ้างอิง 90
ภาคผนวก 93
ภาคผนวก ก 94
ภาคผนวก ข 105
ภาคผนวก ค 116
ภาคผนวก ง 191
ภาคผนวก จ 198
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 212

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1-1 อัตราส่วนผสมของทรายที่ใช้ในการทดสอบ 3

1-2 สมการที่ใช้ในการศึกษาของ Nakoto (1990) 7

1-3 ข้อมูลและผลการศึกษาของ Morris และ Williams (1997) 9

3-1 คุณสมบัติและอัตราส่วนผสมของวัสดุท้องน้ำที่ใช้ในการทดลอง 27

3-2 กรณีศึกษาทั้ง 21 การทดลอง 35

4-1 สรุปค่าตัวแปรที่ได้จากการทดลองของทรายทั้ง 3 กรณี 37

4-2 ค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของตะกอน(ϕ) และค่าพารามิเตอร์การไหล(ψ) 42

4-3 อัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง และที่ได้จากสมการต่างๆ 46

4-4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดที่ได้จากการทดลอง กับที่คำนวณได้จากสมการต่างๆ 50

4-5 สมการและขอบเขตของขนาดวัสดุท้องน้ำของสมการที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ 50

4-6 ค่าพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของตะกอนที่ได้จากการทดลอง(ϕ) และที่ได้จากสมการต่างๆ(ϕ_c) 56

4-7 อัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดและอัตราการนำพาตะกอนแขวนลอย 65

4-8 ลักษณะรูปร่างท้องน้ำที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณ 69

4-9 สรุปขนาด D_{50} ของวัสดุท้องน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ ของ 21 การทดลอง 74

4-10 สรุปค่า σ_g ของวัสดุท้องน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ ของ 21 การทดลอง 75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูป หน้า

2-1 การแบ่งประเภทของการนำพาตะกอน เสนอโดย ทวนทัน กิจไพศาลสกุล (2000) 14

2-2 การเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ เสนอโดย ทวนทัน กิจไพศาลสกุล (2000) 14

2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนวิกฤตกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวัสดุท้องน้ำที่มีขนาดสม่ำเสมอ เสนอโดย Shields (1936) 17

2-4 รูปร่างและคำอธิบายของท้องน้ำแบบต่างๆ ในทางน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ เสนอโดย Overbeek (1977) 19

2-5 เกณฑ์สำหรับหารูปร่างของท้องน้ำ เสนอโดย Simons และคณะ (1961) 20

2-6 เกณฑ์สำหรับหารูปร่างของท้องน้ำ เสนอโดย Simons และคณะ (1966) 20

2-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง θ และ $f'\phi$ เมื่อใช้และไม่ใช้ค่าปรับแก้ K_g เสนอโดย Molinas และ Wu (1998) 26

3-1 แผนผังแสดงระบบหมุนเวียนของน้ำในรางน้ำ 28

3-2 การกำหนดตำแหน่งที่ใช้วัดค่าบนรางน้ำ 32

4-1 ขนาด D_{50} ของวัสดุท้องน้ำ และการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ (σ_g) เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลของ 21 การทดลอง 40

4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของตะกอน (ϕ), พารามิเตอร์การไหล (ψ) และการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ (σ_g) ของทราย 3 ชนิด 43

4-3 การเปรียบเทียบอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดที่ได้จากการทดลองกับอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดที่ได้จากสมการต่างๆ ของทรายชนิดที่ 1 D_{50}=1.17-1.22 มม., σ_g=1.31-1.32 47

4-4 การเปรียบเทียบอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดที่ได้จากการทดลองกับอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดที่ได้จากสมการต่างๆ ของทรายชนิดที่ 2 D_{50}=1.17-1.29 มม., σ_g=1.98-2.11 48

4-5 การเปรียบเทียบอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดที่ได้จากการทดลองกับอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดที่ได้จากสมการต่างๆ ของทรายชนิดที่ 3 D_{50}=1.19-1.29 มม., σ_g=3.77-3.89 49

4-6 เปรียบเทียบพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของตะกอนที่ได้จากการทดลองกับสมการต่างๆ ของทรายชนิดที่ 1 57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป หน้า

4-7 เปรียบเทียบพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของตะกอนที่ได้จากการทดลองกับสมการต่างๆ ของทรายชนิดที่ 2 58

4-8 เปรียบเทียบพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของตะกอนที่ได้จากการทดลองกับสมการต่างๆ ของทรายชนิดที่ 3 59

4-9 เปรียบเทียบพารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของตะกอนที่ได้จากการทดลองกับสมการต่างๆ ของทรายทั้ง 3 ชนิด 60

4-10 ความสัมพันธ์ระหว่าง θ และ $f'\phi$ ของข้อมูลผลการทดลอง และข้อมูลของ Molinas และ Wu 61

4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยกับปริมาณตะกอนทั้งหมดของทราย 3 ชนิด 66

4-12 รูปตัดตามยาวที่กึ่งกลางของรางน้ำของการทดลอง A7, B7 และ C7 70

4-13 ขนาดและขอบเขตของวัสดุท้องน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปร่างท้องน้ำ สำหรับวิธีของ Liu และวิธีของ Simon 71

4-14 ขนาด D_{50} และ σ_g ของวัสดุท้องน้ำตามระยะทางของการทดลอง A1, B1 และ C1 76

4-15 ขนาด D_{50} และ σ_g ของวัสดุท้องน้ำตามระยะทางของการทดลอง A2, B2 และ C2 77

4-16 ขนาด D_{50} และ σ_g ของวัสดุท้องน้ำตามระยะทางของการทดลอง A3, B3 และ C3 78

4-17 ขนาด D_{50} และ σ_g ของวัสดุท้องน้ำตามระยะทางของการทดลอง A4, B4 และ C4 79

4-18 ขนาด D_{50} และ σ_g ของวัสดุท้องน้ำตามระยะทางของการทดลอง A5, B5 และ C5 80

4-19 ขนาด D_{50} และ σ_g ของวัสดุท้องน้ำตามระยะทางของการทดลอง A6, B6 และ C6 81

4-20 ขนาด D_{50} และ σ_g ของวัสดุท้องน้ำตามระยะทางของการทดลอง A7, B7 และ C7 82

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย