

การศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอนโดยวิธีทรายละเอียด เป็นวัสดุท้องน้ำ



รัฐวิทย์ สันพานิช

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

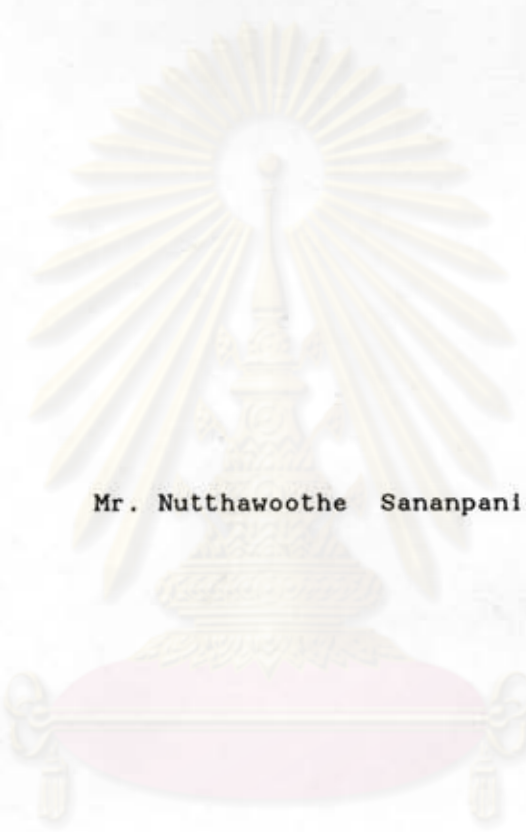
พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-867-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

018512 117179075

STUDY ON SEDIMENT TRANSPORT USING  
FINE SAND AS BED MATERIAL



Mr. Nutthawoethe Sananpanich

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University


1992

ISBN 974-581-867-4

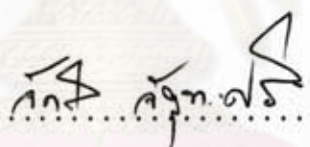
หัวข้อวิทยานิพนธ์                      การศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอนโดยใช้ทรายละเอียดเป็นวัสดุตั้งน้ำ  
โดย    นายรัฐวุฒิ สันันทานิช  
ภาควิชา                                        วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา                        ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ คารานันท์


---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

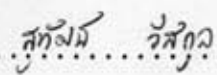
  
.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรากัญ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ อักกริ จัตตะศรี)

  
.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา  
(ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ คารานันท์)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชีวะ)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.สุทัศน์ วิสกุล)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

นี้รัฐฉติ สนิมพานิช : การศึกษาการเคลื่อนที่ของตะกอนโดยใช้ทรายละเอียดเป็นวัสดุท้องน้ำ  
(STUDY ON SEDIMENT TRANSPORT USING FINE SAND AS BED MATERIAL)  
อ.ที่ปรึกษา ศจ.ดร.นิวัตต์ ดารานันท์, 103 หน้า. ISBN 974-581-867-4

การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended sediment load) และปริมาณตะกอนทั้งหมด (Total sediment load) อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของตะกอน (sediment) ในลำน้ำที่ท้องน้ำเป็นทราย ทดลักษณะท้องน้ำได้กระทำในรางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular flume) ที่มีน้ำปนตะกอนไหลเวียน รางน้ำนี้มีขนาดกว้าง 0.60 ม. ยาว 20.40 ม. และลึก 0.75 ม. ขนาดของทรายละเอียดที่ใช้มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 0.35 มม. และค่าการเรียงเม็ดของทรายเท่ากับ 1.66 เป็นวัสดุท้องน้ำ (Bed material) ผู้ศึกษาได้รวบรวมข้อมูลจากผลการทดสอบของ Simons และ Richardson (1961), Daranandana (1962), Khuhapinant (1966), Luchaichana (1985) และร่วมกับข้อมูลที่ทำโดยผู้ศึกษา ในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วย

การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยและปริมาณความเข้มข้นของตะกอนทั้งหมดซึ่งปริมาณความเข้มข้นได้จากการเก็บตัวอย่างโดยตรงจากการทดสอบ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ ซึ่งที่ได้จากการทดสอบและที่คำนวณได้จากวิธีของ Meyer-Peter and Muller (1948), สมการ Engelund and Hansen (1976), สมการ Ackers and White (1973) และสมการ Van rijn (1985)

การวิเคราะห์ผลการศึกษาของทราย 9 ขนาด สามารถบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended sediment load) และปริมาณตะกอนทั้งหมด (Total sediment load) ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสอง สำหรับทดลักษณะท้องน้ำและสำหรับทรายต่างขนาดกันด้วย โดยมีตัวแปรเป็นความลาดเอียงท้องน้ำและปริมาณการไหล

ปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำที่คำนวณโดยวิธีของ Meyer-Peter and Muller ได้ให้ค่าใกล้เคียงสำหรับการใช้หาปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับสมการอื่น โดยที่ค่าเฉลี่ยที่ได้ออกมาต่ำกว่าค่าที่วัดได้ (underestimate) แต่สำหรับสมการ Engelund and Hansen สมการ Ackers and White และสมการ Van Rijn ให้ค่า ออกมาสูงกว่าค่าที่วัดได้ (overestimate)

ภาควิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมแหล่งน้ำ  
ปีการศึกษา ..... 2535

ลายมือชื่อนิติ .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

NUTTHAWOOTHE SANANPANICH : STUDY ON SEDIMENT TRANSPORT USING FINE SAND AS BED MATERIAL. THESIS ADVISOR : PROF.DR.NIWAT DARANANDANA, 103 PP. ISBN 974-581-867-4

A study of the relationship between the suspended sediment load and the total sediment load on the transportation of the sediment in alluvial channels having sand as bed material for all kind of bed forms was carried out in a recirculating rectangular flume. This 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 0.35 mm. and a measure of gradation of sand was 1.66. Data obtained from flume experiments by Simons and Richardson (1961), Daranadana (1962) Luchaichana (1985) Khuhapinant (1966) were also analyzed in addition to the data collected by the research 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 sediment load and total sediment 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 form the computation using Meyer-Peter and Muller's equations (1948), Engelund and Hansen's equitions (1967), Ackers and White's equations (1973) and Van Rijn's equations (1985)

An analysis of the study which have nine sample sands reveals a close relationship between the concentration of suspended sediment load ( $C_s$ ) to the total sediment load ( $C_t$ ), for all bed form sand various sizes. Such relationships are expressed in the forms of empirical equations of  $C_s$  versus  $C_t$  which parameters are slope of bed forms and discharges.

Bed material transport rate, computed from Meyer Peter and Muller 's equation has shown suitable result to that measured from the exeperiments that mean value is underestimate. But for Engelund and Hansen's equations, Ackers and white's equuations and Van Rijn's equation that mean values are overestimate.

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา..... วิศวกรรมแหล่งน้ำ  
ปีการศึกษา..... 2535

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์แห่งน้ำทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ คำแนะนำ ข้อคิดที่ดีแก่ข้าพเจ้าตลอดมาในด้านความรู้ทางวิชาการ และแนวทางปฏิบัติงาน อันเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของ ศาสตราจารย์ จักริ จิตฺตะศรี รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชีวะ อาจารย์ ดร.สุทัศน์ วีสกุล และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ คารานันท์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ถ้อยทอดความรู้และแนวความคิดต่าง ๆ อย่างใกล้ชิดมาโดยตลอด

อนึ่งข้าพเจ้าใคร่ขอขอบคุณ ศูนย์คอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา และชมรมแหล่งน้ำ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องใช้ ตลอดจนคอมพิวเตอร์

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้สนับสนุนทั้งในด้าน การเงิน และกำลังใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
รัฐวิศิ สันนพานิช

สารบัญ

จ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ง
สารบัญ .....	จ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1	บทนำ และความเป็นมา.....	1
1.2	ขอบข่ายและวัตถุประสงค์ที่ศึกษา.....	2
1.3	แนวทางในการศึกษา.....	3
1.4	การศึกษาที่ผ่านมา.....	4
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

2.1	ลักษณะการเคลื่อนตัวของตะกอน.....	9
2.2	การเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอน.....	10
2.3	รูปแบบลักษณะความขรุขระของท้องน้ำ.....	11
2.4	สมการการเคลื่อนที่ของตะกอน.....	12
2.4.1	สมการของ Meyer-Peter and Muller.....	13
2.4.2	สมการของ Engelund and Hansen.....	14
2.4.3	สมการของ Ackers and white.....	15
2.4.4	สมการของ Van Rijn.....	16

บทที่ 3 การดำเนินการทดลอง

3.1	วางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	17
3.2	วิธีดำเนินการทดลอง.....	30
3.3	ข้อมูลและวิธีการวัด.....	30

บทที่ 4	การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	
4.1	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย กับความเข้มข้นของตะกอนทั้งหมด.....	75
4.2	การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบกับสมการต่าง ๆ ซึ่งได้ กล่าวมาแล้วในบทที่ 2.....	76
บทที่ 5	ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1	ข้อสรุป.....	80
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	82
	เอกสารอ้างอิง.....	83
ภาคผนวก ก.	ผลการปรับค่า (Calibrated) แผ่น Orifice meter โดยใช้ Pitot tube.....	86
ภาคผนวก ข.	ผลกระทบเนื่องจากผนังด้านข้าง.....	89
ภาคผนวก ค.	ผลการคำนวณค่า $d_u$ และตัวอย่างไฟล์ข้อมูลของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.35 มม. ( $\sigma = 1.66$ ).....	93
ภาคผนวก ง.	โปรแกรมการคำนวณและตัวอย่างการคำนวณของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.35 มม. ( $\sigma = 1.66$ ).....	95
	ประวัติผู้ศึกษา.....	103



ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการกระจายของขนาดเม็ดทรายท้องน้ำ ของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.35 มม. ( $\phi = 1.66$ ).....	35
4.2 ผลการทดสอบที่วัดได้โดยใช้ทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.35 มม. และมีค่าการเรียงเม็ด $= 1.66$ .....	36
4.3 ผลการกระจายของขนาดเม็ดทรายท้องน้ำ ของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. ( $\phi = 2.13$ ) .....	38
4.4 ผลการทดสอบที่วัดได้โดยใช้ทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. และมีค่าการเรียงเม็ด = 2.13 .....	39
4.5 ผลการกระจายของเม็ดทรายท้องน้ำ ของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 มม. ( $\phi = 1.82$ ) .....	41
4.6 ผลการทดสอบที่วัดได้โดยใช้ทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 มม. และมีค่าการเรียงเม็ด = 1.82 .....	42
4.7 ข้อมูลจากผลการทดลองของ Simons และ Richardson สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.19 มม. ....	44
4.8 ข้อมูลจากผลการทดลองของ Simons และ Richardson สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.27 มม. ....	45
4.9 ข้อมูลจากผลการทดลองของ Simons และ Richardson สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.28 มม. ....	46
4.10 ข้อมูลจากผลการทดลองของ Simons และ Richardson สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.32 มม. ....	47
4.11 ข้อมูลจากผลการทดลองของ Simons และ Richardson สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.47 มม. ....	48

4.12 อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายจากผลการทดลองและผลการคำนวณการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำสำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.35 มม. ( $\sigma = 1.66$ ) .....	60
4.13 อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายจากผลการทดลองและผลการคำนวณการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำสำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. ( $\sigma = 2.13$ ) .....	65
4.14 อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายจากผลการทดลองและผลการคำนวณการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำสำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 มม. ( $\sigma = 2.82$ ) .....	70
ก.1 แสดงค่าผลการปรับค่า (Calibrated) แผ่น Orifice meter โดยใช้ Pitot tube .....	86
ค.1 ผลการคำนวณค่า $d_u$ ของทรายท้องน้ำขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.35 มม. ( $\sigma = 1.66$ ) .....	93
ค.2 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูล (Data file) ของทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.35 มม. ( $\sigma = 1.66$ ) .....	94

รูปที่	หน้า
1.1 รูปแบบความขรุขระของท้องน้ำ .....	7
3.1 รางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Flume) .....	18
3.2 แผนผังแสดงส่วนประกอบต่างๆ และระบบการหมุนเวียนของน้ำผสมตะกอนใน รางน้ำ .....	19
3.3 ตะแกรง (Suppressor) .....	20
3.4 เครื่องมือเก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอย .....	21
3.5 เครื่องมือวัดความเร็วของกระแส น้ำ (Pitot tube) .....	22
3.6 เครื่องมือเก็บตัวอย่างตะกอนทรายทั้งหมด .....	23
3.7 ลักษณะท้องน้ำแบบริบเปิ้ล (ตัวอย่างการทดลองที่ 2) .....	24
3.8 ลักษณะท้องน้ำแบบแอนติคูน (ตัวอย่างการทดลองที่ 15) .....	25
3.9 มาโนมิเตอร์ (Manometer) .....	26
3.10 เสาวัดระดับผิวน้ำ .....	27
3.11 ความลาดเอียงของผิวน้ำ (การทดลองที่ 9) .....	28
3.12 ความลาดเอียงของผิวน้ำ (การทดลองที่ 15) .....	28
3.13 เครื่องมือเก็บตัวอย่างทรายท้องน้ำ .....	29
3.14 เครื่องมือเขย่าตะแกรง และตะแกรงขนาดต่างๆ .....	29
4.1 กราฟการกระจายของทรายท้องน้ำขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.35 มม. ( $\sigma = 1.66$ )	37
4.2 กราฟการกระจายของทรายท้องน้ำขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. ( $\sigma = 2.13$ )	40
4.3 กราฟการกระจายของทรายท้องน้ำขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 มม. ( $\sigma = 1.82$ )	43
4.4 ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับลักษณะท้องน้ำแบบ ริบเปิ้ล .....	50
4.5 ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับลักษณะท้องน้ำแบบคูน	51
4.6 ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับลักษณะท้องน้ำแบบ ทรานซิชั่น .....	52

รูปที่	หน้า
4.7 ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับลักษณะท้องน้ำแบบ เพลนเบด.....	53
4.8 ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับลักษณะท้องน้ำแบบ แอสตริงเวฟ .....	54
4.9 ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับลักษณะท้องน้ำแบบ แอนติคูน .....	55
4.10 ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับทุกลักษณะท้องน้ำของ ทรายขนาดเม็ดเฉลี่ยหลายขนาด .....	56
4.11 ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับทุกลักษณะท้องน้ำของ ทรายขนาดเม็ดเฉลี่ยเฉลี่ย 0.35 มม. ( $\sigma = 1.66$ ) .....	57
4.12 ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับทุกลักษณะท้องน้ำของ ทรายขนาดเม็ดเฉลี่ยเฉลี่ย 0.70 มม. ( $\sigma = 2.13$ ) .....	58
4.13 ความสัมพันธ์ของตะกอนแขวนลอยกับตะกอนทั้งหมด สำหรับทุกลักษณะท้องน้ำของ ทรายขนาดเม็ดเฉลี่ยเฉลี่ย 0.95 มม. ( $\sigma = 1.82$ ) .....	59
4.14 การเปรียบเทียบกราฟอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการ ทดลองกับสมการของ Meyer-Peter และ Muller สำหรับทรายขนาดเม็ด เฉลี่ย 0.35 มม. ( $\sigma = 1.66$ ) .....	61
4.15 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลอง กับสมการของ Engelund และ Hansen สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.35 มม. ( $\sigma = 1.66$ ) .....	62
4.16 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลอง กับสมการของ Ackers และ White สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.35 มม. ( $\sigma = 1.66$ ) .....	63

4.17 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลอง กับสมการของ Van Rijn สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.35 มม. ( $\sigma = 1.66$ ) .....	64
4.18 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลอง กับสมการของ Meyer-Peter และ Muller สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. ( $\sigma = 2.13$ ) .....	66
4.19 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลอง กับสมการของ Engelund และ Hansen สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. ( $\sigma = 2.13$ ) .....	67
4.20 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลอง กับสมการของ Ackers และ white สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. ( $\sigma = 2.13$ ) .....	68
4.21 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลอง กับสมการของ Van Rijn สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.70 มม. ( $\sigma = 1.82$ ) .....	69
4.22 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลอง กับสมการของ Meyer-Peter และ Muller สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 ( $\sigma = 1.82$ ) .....	71
4.23 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลการทดลองกับสมการ ของ Engelund และ Hansen สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 ( $\sigma = 1.82$ ) .....	72
4.24 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลการทดลองกับสมการ ของ Ackers และ White สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 ( $\sigma = 1.82$ ) .....	73
4.25 การเปรียบเทียบอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำระหว่างผลจากการทดลองกับ สมการของ Van Rijn สำหรับทรายขนาดเม็ดเฉลี่ย 0.95 ( $\sigma = 1.82$ ) ...	74
n.2 กราฟแสดงผลการปรับค่า (Calibarted) ผ่าน Orifice โดยใช้ Pilot Tube .....	88