การเคลื่อนที่ของตะกอนและปัญหาการเดินเรือในแม่น้ำน่านตอนล่าง

นายไพฑูรย์ กิติสุนทร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2537

ISBN 974 - 584 - 563 - 9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16943466

SEDIMENT TRANSPORT AND NAVIGATION PROBLEM IN LOWER NAN RIVER

Mr. PAITOON KITISUNTORN

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Engineering
Department of Civil Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1994

ISBN 974 - 584 - 563 - 9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเคลื่อนที่ของตะกอนและปัญหาการเดินเรือในแม่น้ำน่านตอนล่าง
โดย	นายไพฑูรย์ กิติสุนทร
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายประเสริฐ มิลินทางกูร
	นายเพื่อง พานิชกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.นิวัตต์ ดารานันท์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ธำรง เปรมปรีดิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรวุฒิ ประดิษฐานนท์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เสรี จันทร์โยธา)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นายประเสริฐ มิลินทางกูร)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นายเพื่อง พานิชกิจ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไพฑูรย์ กิติสุนทร : การเคลื่อนที่ของตะกอนและปัญหาการเดินเรือในแม่น้ำน่านตอนล่าง
(SEDIMENT TRANSPORT AND NAVIGATION PROBLEM IN LOWER NAN RIVER)
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย, 383 หน้า. ISBN 974-584-563-9
อ.ที่ปรึกษาร่วม : นายประเสริฐ มิลินทางกูร, นายเพื่อง พานิชกิจ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายหลัก 2 ประการ คือศึกษาชลศาสตร์การเคลื่อนที่ของตะกอน ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของลำน้ำ ในแม่น้ำน่านตอนล่างระหว่างตะพานหิน (กม.478) ถึงปากน้ำโพ (กม.379) และศึกษาปัญหาทางชลศาสตร์ เกี่ยวกับการเดินเรือในแม่น้ำน่านตอนล่างในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการตื้นเขินของร่องเดินเรือในระหว่าง มิ.ย. ถึง ธ.ค.2535 โดยมีการสำรวจการเคลื่อนที่ของตะกอน และสภาพทางชลศาสตร์ลำน้ำ รวมทั้งการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง HEC-6

ผลการศึกษาและสำรวจด้านชลศาสตร์พบว่า แม่น้ำน่านตอนล่างมีลักษณะเป็นแม่น้ำตะกอนทรายความลาดชันท้องน้ำประมาณ 1:13,000 ความกว้างแม่น้ำประมาณ 120-300 ม. ความยาวช่วงลำน้ำที่ศึกษา 99.8 กม. มีโค้งน้ำมากถึง 195 โค้งน้ำ วัสดุท้องน้ำเป็นทรายขนาดกลางตลอดช่วงลำน้ำ มีขนาด 0.20-0.48 มม. ซึ่งมีศักยภาพการพัดพาตะกอนท้องน้ำต่ำ ภายหลังมีเขื่อนสริกิติ์และเขื่อนนเรศวร มีอัตราการไหลเฉลี่ยรายวัน 50-1,000 $ม^3$/วินาที ที่ อ.ตะพานหิน และ สปส. Manning n ประมาณ 0.018-0.0325 ปริมาณตะกอนแขวนลอยมีความสัมพันธ์ดีกับ ความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหล ส่วนปริมาณตะกอนท้องน้ำขึ้นอยู่กับความลาดพลังงานการไหล สภาพการเปลี่ยนแปลงลำน้ำพบว่า มีการตกตะกอนตื้นเขินท้องน้ำบริเวณท้ายน้ำของโค้งลำน้ำและโครงสร้างรอตลอดช่วงลำน้ำเป็นส่วนใหญ่ และมีการกัดเซาะตลิ่งผ่งนอกโค้งน้ำ และผ่งตรงข้ามโครงสร้างรอ ซึ่งการพังทลายตลิ่งมีสาเหตุหลักจาก กระแสน้ำเซาะฐานตลิ่งและแรงดันน้ำใต้ดิน

การศึกษาโดยแบบจำลอง HEC-6 ได้เลือกสูตร Meyer-Peter and Muller ในการคำนวณปริมาณตะกอนท้องน้ำ และใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันเฉลี่ยระหว่างปี 2529-35 จำลองสภาพการเปลี่ยนแปลงลำน้ำในระยะยาว 30 ปี สำหรับสภาพลำน้ำ 3 กรณี คือ สภาพลำน้ำตามสภาพธรรมชาติสภาพลำน้ำภายหลังโครงการปรับปรุงร่องน้ำในปี 2529-31 และสภาพลำน้ำสมมุติว่ามีโครงสร้างควบคุมระดับน้ำที่ปากน้ำโพ สรุปได้ว่าสภาพลำน้ำหลังมีโครงการปรับปรุงร่องน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูงกว่าสภาพธรรมชาติ และหามีโครงสร้างควบคุมระดับน้ำที่ปากน้ำโพ จะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพลำน้ำน้อยลง ตลอดจนสามารถเดินเรือได้ตลอดทั้งปี

การศึกษาปัญหาการเดินเรือในแม่น้ำน่านตอนล่างพบว่า ปัญหาหลักคือการตื้นเขินเฉพาะจุดบริเวณท้ายน้ำของโค้งน้ำ และ โครงสร้างรอ รวมทั้งที่ระดับน้ำลงต่ำสุดที่คาดหวังของกรมเจ้าท่า ต้องมีอัตราการไหล 90 $ม^3$/วินาที ซึ่งจะมีจำนวนวันที่มีอัตราการไหลต่ำกว่าประมาณ 48 วัน/ปี โดยเฉลี่ย

ภาควิชา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C115571 :MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEYWORD: SEDIMENT TRANSPORT / NAVIGATION / LOWER NAN RIVER / HEC-6
PAITOON KITISUNTORN : SEDIMENT TRANSPORT AND NAVIGATION PROBLEM IN LOWER NAN RIVER. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.CHIPANT RUKVICHAI, Ph.D., MR.PRASERT MILINTRANGKOON AND MR.FUENG PANICHKIT

There are two main objectives in this research. It aims at the study on hydraulics of sediment transport **which** causes changes in the lower reaches of Nan River between Taphan-Hin (Km.478) and Pak Nam Po (Km.379). Secondly, it aims at the study on the problem concerning with navigation in the river, especially deposition in navigation channel. The study covers the field surveys on sediment transport and river hydraulics during June-December 1992 and the study using the HEC-6 simulation model.

The study results conclude that the Lower Nan River is an alluvial river with its bed slope 1:13,000 and 120-300 m width. Wihtin the 99.8 km study reaches, there are about 195 bends. The bed material is mainly medium sand with 0.20-0.48 mm. size which has a low potential for being transported. After the completion of Sirikit and Naresuan Dams, the average daily flow is about 50-1,000 m^3/s at Taphan-Hin and the Manning n is 0.018-0.0325. The transport of suspended sediment is highly correlated with mean velocity and discharge. The bed sediment transport depends on the energy slope. There is deposition of sediment found in most reaches just downstream of the river bends and the groin structures. Many river banks at the outer bends and at the banks opposite the groins are scoured by the **river** current and groundwater seepage.

The HEC-6 computor model is employed to simulate the long-run changes in 30 year for 3 cases of the river conditions, i.e. under natural condition, with the improvement project in 1986-88, and with a proposed structure controlling the water level at Pak Nam Po. The Meyer-Peter and Muller Formula is selected for the calculation of bed sediment and the average daily flow during 1986-1992 is used. It is concluded that more river changes are expected with the improvement project than under the natural condition. With the control structure at Pak Nam Po, The river changes are less and navigation is possible all year round.

About the navigation in the Lower Nan River, the main problem is found to be the deposition at the ends of the river bends and the groin structures. **Furthurmore** , the minimum flow of 90 m^3/s is required to maintain the lowest water level expected by Harbour Department. On average, there are about 48 days per year with the river flow below the required flow.

ภาควิชา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2537 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย ซึ่งได้กรุณาแนะนำแนวทางและให้คำปรึกษาแนะนำในการวิจัยครั้งนี้ จนสามารถสำเร็จลุล่วง และศาสตราจารย์ ดร.นิวัตต์ ดารานันท์ ศาสตราจารย์ธำรง เปรมปรีดิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรวุฒิ ประดิษฐานนท์ อาจารย์ ดร.เสรี จันทร์โยธา คุณประเสริฐ มิสินทางกูร ผู้อำนวยการกองอุทกวิทยา กรมชลประทาน และคุณเพื่อง พานิชกิจ ผู้อำนวยการกองขุดและรักษาแม่น้ำ กรมเจ้าท่า ที่ได้กรุณาร่วมให้คำแนะนำแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

อนึ่งผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณ คุณเพื่อง พานิชกิจ และเจ้าหน้าที่กองขุดและรักษาแม่น้ำ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิศวกรรม กองวิชาการ กรมเจ้าท่า ในการอนุเคราะห์สำรวจระดับท้องน้ำเป็นอย่างดี คุณเอกพงษ์ กีรติวศิน ในการสำรวจทำแผนที่ร่องน้ำของสถานีตรวจวัดข้อมูล นอกจากนี้ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ คุณประกอบ ยิ่งชล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัชวาลย์ ทักษะอุดม คุณวีระชัย ชูพิศาลยโรจน์ คุณนัฐวุฒิ วรรธนานุสาร คุณพงษ์เทพ กิติสุนทร และคุณสุริยา กิติสุนทร ที่กรุณาช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี นางสาวชรินทร ไชยมาเสรีกุล และ คุณชาลี กิติสุนทร ผู้พิมพ์วิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณแด่ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย อาจารย์ ดร.เสรี จันทร์โยธา และสมาชิกชมรมศิษย์เก่าวิศวกรรมแหล่งน้ำจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นเงินทุนในการทำวิทยานิพนธ์เป็นเงิน 107,000 บาท (หนึ่งแสนเจ็ดพันบาทถ้วน)

นายไพฑูรย์ กิติสุนทร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 4

1.3 ขอบข่ายของการศึกษา 4

1.4 ขั้นตอนการศึกษา 9

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 11

1.6 การศึกษาที่ผ่านมา 12

1.6.1 การศึกษาภายในประเทศ 12

1.6.2 การศึกษาในต่างประเทศ 15

2. ลักษณะโดยทั่วไปของแม่น้ำน่าน 23

2.1 ที่ตั้งและระบบลุ่มน้ำ 23

2.2 ลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศ 26

2.3 สภาพน้ำท่า 27

2.4 การพัฒนาลุ่มน้ำน่าน 33

2.4.1 โครงการเขื่อนสิริกิติ์ 33

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่		หน้า
	2.3 สภาพน้ำท่า	27
	2.4 การพัฒนาลุ่มน้ำน่าน	33
	2.4.2 โครงการเขื่อนนเรศวร	34
	2.5 การใช้ประโยชน์และสภาพปัญหาโดยทั่วไป	34
	2.6 การแก้ปัญหาการตื้นเขินในแม่น้ำน่านที่ผ่านมา	36
3.	หลักการและทฤษฎีการเคลื่อนที่ของตะกอน	38
	3.1 ชลศาสตร์การไหลในลำน้ำ	38
	3.1.1 การคำนวนความเร็วเฉลี่ยการไหล	38
	3.1.2 การคำนวนปริมาณการเคลื่อนที่ตะกอนแขวนลอย	41
	3.1.3 การคำนวนปริมาณการเคลื่อนที่ตะกอนท้องน้ำ	42
	3.1.4 การคำนวนคุณสมบัติหน้าตัดของการไหล	42
	3.2 แบบจำลอง HEC-6	44
	3.3 การคำนวนผิวน้ำรูปตัดการไหลในแม่น้ำ	47
	3.4 การเคลื่อนที่ของตะกอน	49
	3.4.1 สูตรตะกอนท้องน้ำ	51
	3.4.2 สูตรตะกอนแขวนลอย	52
	3.4.3 สูตรตะกอนวัสดุท้องน้ำ	53
	3.5 การประเมินผลวิธีการคำนวนปริมาณการเคลื่อนที่ตะกอน	61
4.	การเปลี่ยนแปลงลำน้ำ	68
	4.1 การสำรวจของสภาพลำน้ำ	68
	4.2 การกัดเซาะตลิ่ง	69
	4.3 การเกิดแหลมทราย	72
	4.4 การเกิดสันดอนทราย	73
	4.5 ข้อจำกัดการเดินเรือ	76
	4.5.1 โค้งอันตราย	77

สารบัญ

บทที่

4.5.2 ความแคบของร่องน้ำ 78
4.5.3 ช่องว่างเหนือผิวน้ำ 82
4.5.4 กระแสน้ำวน 82
5. คุณสมบัติชลศาสตร์ลำน้ำ 85
5.1 การสำรวจชลศาสตร์ 85
5.2 ลักษณะลำน้ำ 88
5.3 วัสดุท้องน้ำและสัมประสิทธิ์ Manning's n 91
5.4 ความเร็วการไหล 95
5.5 รูปตัดการไหล 98
5.6 การเคลื่อนที่ของตะกอน 103
5.7 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดลำน้ำ 109
5.8 การเปลี่ยนแปลงระดับท้องน้ำของร่องเดินเรือ 114
5.9 การกระจายคุณสมบัติชลศาสตร์หน้าตัด 118
6. การเปลี่ยนแปลงระดับท้องน้ำ 120
6.1 ข้อมูลหน้าตัดลำน้ำ 120
6.2 ข้อมูลตะกอน 121
6.3 ข้อมูลอุทกวิทยา 123
6.3.1 อัตราการไหลในลำน้ำ 123
6.3.2 การวิเคราะห์ช่วงเวลาการคำนวน 124
6.3.3 การวิเคราะห์ค่าระดับผิวน้ำ 127
6.4 การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ HEC-6 124
6.5 การวิ่ง Program แบบจำลอง HEC-6 131
6.6 การเปลี่ยนแปลงระดับท้องน้ำของลำน้ำก่อนการปรับปรุง 132
6.7 การเปลี่ยนแปลงระดับท้องน้ำหลังการปรับปรุง 132
6.8 การเปลี่ยนแปลงระดับท้องน้ำโดยควบคุมระดับน้ำท้ายน้ำ 133

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่

7. สรุปและเสนอแนะ 139
7.1 ลักษณะชลศาสตร์ลำน้ำ 139
7.2 การเคลื่อนที่ของตะกอนและการเปลี่ยนแปลงลำน้ำ 140
7.3 ความเหมาะสมของ HEC-6 141
7.4 สภาพปัญหาการเดินเรือ 142
7.5 สภาพลำน้ำควบคุมระดับน้ำท้ายน้ำ 143
7.6 ข้อเสนอแนะ 144
7.6.1 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเดินเรือ 144
7.6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยในขั้นต่อไป 145
7.6.3 ข้อเสนอแนะทั่วไป 146

เอกสารอ้างอิง 147

ภาคผนวก

หน้า

ก ลักษณะลำน้ำน่านตอนล่าง 152
ก.1 ลักษณะทางเรขาคณิตของลำน้ำ 153
ก.2 วัสดุท้องน้ำ 163
ก.3 สัมประสิทธิ์ Manning's n 173
ข การปรับปรุงร่องน้ำน่านโดยกรมเจ้าท่า 181
ค การสำรวจสภาพลำน้ำน่าน 187
ค.1 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างลำน้ำ 188
ค.2 โค้งอันตรายลำน้ำสำหรับการเดินเรือ 230
ค.3 ช่องว่างเหนือผิวน้ำ 233
ง การสำรวจตะกอน 236
ง.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การตรวจวัด 237

สารบัญ

ภาคผนวก หน้า

ง.2 การสำรวจความเร็วเฉพาะจุด 242

ง.3 การสำรวจตะกอนแขวนลอย 260

ง.4 การสำรวจตะกอนท้องน้ำ และคุณสมบัติชลศาสตร์หน้าตัด ... 267

จ การกระจายคุณสมบัติชลศาสตร์หน้าตัด 276

ฉ การสำรวจการเปลี่ยนแปลงรูปร่างร่องน้ำ กม.443-438.3 300

ช การจำลองสภาพลำน้ำโดย HEC-6 320

ช.1 การจำลองสภาพลำน้ำก่อนการปรับปรุงร่องน้ำ 321

ช.2 การจำลองสภาพลำน้ำหลังการปรับปรุงร่องน้ำ 337

ช.3 การจำลองสภาพลำน้ำโดยควบคุมระดับน้ำท้ายน้ำ 353

ช.4 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง HEC-6 359

ประวัติผู้เขียน 383

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1-1	ค่าขนส่งเศรษฐกิจของสินค้าระหว่างท่าเรือหลักและกรุงเทพฯ	3
2-1	สถิติภูมิอากาศเฉลี่ยของจังหวัดในลุ่มน้ำน่านในคาบ 30 ปี (พ.ศ.2504-2533)	28
3-1	ตัวอย่างวิธีการคำนวนปริมาณการเคลื่อนที่ตะกอน	63
3-2	คุณสมบัติของ แม่น้ำ Colorado และ Niobrara	64
3-3	การทดสอบความเหมาะสมวิธีการคำนวณการเคลื่อนที่ของตะกอน ...	67
4-1	บริเวณสิ่งที่ถูกกัดเซาะในแม่น้ำน่านตอนล่าง (สำรวจปี 2535) ...	71
4-2	บริเวณเกิดแหลมทรายฝังในโค้งน้ำในแม่น้ำน่านตอนล่าง (สำรวจปี 2535)	74
4-3	ลักษณะโค้งน้ำที่มีข้อจำกัดการเดินเรือ	79
4-4	ลักษณะลำน้ำที่มีกระแสน้ำวนรุนแรงในแม่น้ำน่านตอนล่าง (สำรวจปี 2535)	83
5-1	ประเภทลำน้ำตะกอนทราย	86
5-2	สรุปการปฏิบัติงานระหว่างการสำรวจ	87
5-3	ลักษณะทางเรขาคณิตลำน้ำน่านตอนล่าง กม.443-438.3	90
5-4	ค่าสัมประสิทธิ์ n ของลำน้ำน่านตอนล่าง กม.443-438.3	93
5-5	คุณสมบัติชลศาสตร์ในลำน้ำน่านตอนล่าง กม.443-438.3	104
5-6	ความแตกต่างกำลังสองระหว่างค่าจากการคำนวณและการสำรวจการเคลื่อนที่ตะกอน	110
5-7	ระดับท้องน้ำและความลึกจากระดับน้ำลงต่ำสุด	116
6	ช่วงเวลาและอัตราการไหลสำหรับการคำนวณของ HEC-6	129

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1-1	แผนที่แสดงที่ตั้งของแม่น้ำน่าน	2
1-2	แผนที่บริเวณที่ศึกษาแม่น้ำน่านตอนล่าง	6
1-2	แผนที่บริเวณที่ศึกษาแม่น้ำน่านตอนล่าง (ต่อ)	7
1-2	แผนที่บริเวณที่ศึกษาแม่น้ำน่านตอนล่าง (ต่อ)	8
1-3	ตัวแทนแบบแผนการคำนวณการเปลี่ยนระดับท้องน้ำ	22
2-1	แผนที่ลุ่มน้ำน่าน	24
2-1	แผนที่ลุ่มน้ำน่าน (ต่อ)	25
2-2	ชลภาพน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำ N10A	29
2-2	ชลภาพน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำ N10A (ต่อ)	30
2-2	ชลภาพน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำ N10A (ต่อ)	31
2-2	ชลภาพน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำ N10A (ต่อ)	32
2-3	พื้นที่ชลประทานพิษณุโลก (เขื่อนนเรศวร)	35
2-4	ผลการสำรวจท้องน้ำ ก่อนและหลังการขุดลอกแม่น้ำน่านตอนล่าง เพื่อป้องกันน้ำท่วม โดยกรมชลประทาน	37
3-1	ความแปรปรวนระหว่างความเร็วและเวลา	39
3-2	การวัดความเร็วแบบ 1 จุด	39
3-3	การวัดความเร็วแบบ 2 จุด	39
3-4	แผนภาพหน้าตัดทดแทนลำน้ำธรรมชาติ	43
3-5	รูปตัดตามยาวการไหลคงที่ไม่สม่ำเสมอ	43
3-6	การแบ่งลำน้ำออกเป็นช่วงต่าง ๆ ในการจำลองสภาพการเคลื่อนที่ตะกอน	46
3-7	รูปแบบการคำนวนสมการ Exner โดยวิธี Finite Difference ...	46
3-8	ความลึกการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำของ HEC-6	46
3-9	แผนภาพการเคลื่อนที่ตะกอนของ Toffaletti	56
3-10	องค์ประกอบความสัมพันธ์ของ Toffaletti	54
3-11	ความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ตะกอนของ Laursen	56

สารบัญรูป

รูป		หน้า
3-12	ความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ตะกอนของ Laursen ปรับปรุงโดย Madden	58
3-13	ความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ตะกอนของ Colby	60
3-14	ค่าปรับแก้ของความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ตะกอนของ Colby	60
3-15	ผลการทดสอบความเหมาะสมวิธีการคำนวณการเคลื่อนที่ตะกอนในแม่น้ำ Colorado	66
3-16	ผลการทดสอบความเหมาะสมวิธีการคำนวณการเคลื่อนที่ตะกอนในแม่น้ำ Niobrara	66
3-17	การทดสอบความเหมาะสมวิธีการคำนวณการเคลื่อนที่ของตะกอน	67
4-1	การทลายของตลิ่งเนื่องจากกระแสน้ำรุนแรง	70
4-2	การเลื่อนไหลของตลิ่งเนื่องจากกระแสน้ำรุนแรงและแรงดันน้ำใต้ดิน	70
4-3	แหลมทรายฝั่งในโค้งน้ำ	75
4-4	แหลมทรายปากคลองสาขา	75
4-5	รูปตัดร่องเดินเรือในแม่น้ำน่านตอนล่าง	80
4-6	ลักษณะช่องเปิดสะพานตะพานหิน	81
4-7	ลักษณะช่องเปิดสะพานบางมูลนาก	81
5-1	ลักษณะลำน้ำน่านตอนล่าง	89
5-2	เปอร์เซ็นต์ของทรายท้องน้ำน่านตอนล่าง	92
5-3	เปอร์เซ็นต์ของทรายและกรวดท้องน้ำน่านตอนล่าง	92
5-4	ขนาดมัธยฐานของวัสดุท้องน้ำน่านตอนล่าง	92
5-5	รูปตัดการไหลในแม่น้ำน่านตอนล่างจากการสำรวจและคำนวณโดย HEC-6	96
5-6	การกระจายความเร็วเฉพาะจุดที่ตรวจวัดในเดือน สค.2535	97
5-7	ความสัมพันธ์ของระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาสถานี C2 และแม่น้ำน่านที่ปากน้ำโพ	100

สารบัญรูป

รูป		หน้า
5-8	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลของแม่น้ำน่านที่ปากน้ำโพ	100
5-9	ระดับน้ำที่อัตราการไหล 70 ม^3/วินาที ในลำน้ำน่านตอนล่าง	101
5-10	ระดับน้ำที่อัตราการไหล 80 ม^3/วินาที ในลำน้ำน่านตอนล่าง	101
5-11	ระดับน้ำที่อัตราการไหล 90 ม^3/วินาที ในลำน้ำน่านตอนล่าง	102
5-12	ความสัมพันธ์ปริมาณการเคลื่อนที่ตะกอนแขวนลอยต่อหน่วยความกว้างและความเร็วเฉลี่ย	106
5-13	ความสัมพันธ์ปริมาณการเคลื่อนที่ตะกอนแขวนลอยต่อหน่วยความกว้างและอัตราการไหลต่อหน่วยความกว้าง	106
5-14	ความสัมพันธ์ปริมาณการเคลื่อนที่ตะกอนแขวนลอย และอัตราการไหล	108
5-15	การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดลำน้ำ กม.443	111
5-16	การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดลำน้ำ กม.442	111
5-17	การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดลำน้ำ กม.441	112
5-18	การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดลำน้ำ กม.440	112
5-19	การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดลำน้ำ กม.439.1	113
5-20	การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดลำน้ำ กม.438.3	113
5-21	การเปลี่ยนแปลงระดับท้องน้ำร่องเดินเรือระหว่าง กม.443-438.3	117
6-1	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเคลื่อนที่ตะกอนรวมและอัตราการไหล	122
6-2	ความสัมพันธ์ช่วงเวลา-การไหลของสถานี N10A	125
6-3	ชลภาพน้ำท่าเฉลี่ยของแม่น้ำน่านตอนล่าง	126
6-4	ช่วงเวลาและอัตราการไหลที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณโดย HEC-6	128
6-5	ระดับท้องน้ำจากการสำรวจและคำนวณโดย HEC-6	130
6-6	การเปลี่ยนแปลงระดับท้องน้ำหน้าตัดบริเวณตกตะกอนร่องน้ำ	134
6-7	การเปลี่ยนแปลงระดับท้องน้ำหน้าตัดบริเวณกัดเซาะท้องน้ำ	134
6-8	หน้าตัดลำน้ำที่ตกตะกอนทับถม 30 ปี	135
6-9	หน้าตัดลำน้ำที่กัดเซาะท้องน้ำ 30 ปี	136