6

การศึกษาคลอง เสถียรภาพ

นาย เสรี จันทร์โยธา

004121

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. ๒๕๒๔

i 18123491

A STUDY OF STABLE CHANNELS

Mr.Seree Chanyotha

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1981.

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคลอง เสถียรภาพ
โดย	นาย เสรี จันทร์โยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.นิวัตต์ ดารานันทน์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ จักรี จัตุทะศรี)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ธำรง เปรมปรีดิ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.นิวัตต์ ดารานันทน์)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคลองเสถียรภาพ
ชื่อนิสิต นายเสรี จันทร์โยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. นิวัตต์ ดารานันทน์
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2524

บทคัดย่อ

การออกแบบคลองเสถียรภาพ ในวัสดุประเภทที่สามารถเกิดการกัดเซาะได้ มีความสลับซับซ้อนและขึ้นกับตัวแปรการไหลต่าง ๆ อาทิ เช่น ปริมาณการไหลของน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดของวัสดุประกอบคลอง ความลาดเอียงของฝั่งคลอง ความลาดเอียงของท้องคลอง คุณสมบัติของวัสดุประกอบคลองและอื่น ๆ ซึ่งองค์ประกอบต่าง ๆ ดังกล่าวล้วนมีผลต่อการออกแบบคลองเสถียรภาพทั้งสิ้น

ในการศึกษานี้ ได้รวบรวมวิธีการต่าง ๆ ในการออกแบบคลองเสถียรภาพที่มีอยู่ตลอดจนสมการทั้งหลายที่ใช้ในการออกแบบขึ้นอยู่กับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการควบคู่กับการศึกษาและวัดผลจากของจริงในสนามและเสนอสูตรต่าง ๆ รวมถึงตารางตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรค่าได้รับการรวบรวมและเสนอมาในที่นี้

กล่าวโดยสรุป การออกแบบคลองเสถียรภาพสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีการด้วยกัน คือ

- วิธีการของความเร็วการไหลที่ยอมให้
- วิธีการของแรงเฉือนหรือแรงฉุด
- วิธีการของทฤษฎีสภาวะสมดุลย์ (ของการตกตะกอนและกัดเซาะ)

ผู้วิจัยยังได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่างคลอง 4 คลอง ในบริเวณภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งคลองดังกล่าวได้มีการใช้งานมาเป็นเวลานานหลายสิบปี และไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของคลองมากนัก เพราะมีการดูแลรักษาน้อยมาก ตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการ

รวบรวมเพื่อทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย ปริมาณการไหลของน้ำ ความเร็วการไหลของน้ำ เส้นขอบเปียก รัศมีชลศาสตร์ ความลึกการไหล ความกว้างเฉลี่ย ความลาดเอียงท้องคลอง ความลาดเอียงฝั่งคลองและชนิดของวัสดุประกอบคลอง ในการวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้ใช้หลักการของทฤษฎีสภาวะสมดุลย์ หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ดังกล่าวในหลายวิธีและได้แสดงผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของสมการและรูปความสัมพันธ์ นอกจากนี้ ยังได้เปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้กับผลการศึกษาของบุคคลอื่น ๆ

ผู้วิจัยได้ศึกษาและตรวจสอบคลองบางคลองในโครงการสร้างงานในชนบทของรัฐบาล ผลการทดสอบโดยใช้วิธีการของความเร็วการไหลที่ยอมให้ พบว่า คลองส่วนใหญ่ที่พึ่งขุดใหม่ ๆ ขาดเสถียรภาพ ผู้วิจัยได้เสนอแนะแนวทางที่ดีในการออกแบบคลองต่อโครงการดังกล่าวนี้ในอนาคตมาด้วย

Thesis Title A Study of Stable Channels

Name Mr. Seree Chanyotha

Thesis Advisor Professor Niwat Daranandana, Ph.D.

Department Civil Engineering

Acadamic Year 1981

Abstract

The design of stable channels in erodible material was so complex and depended on several variables such as the discharge, roughness coefficient, side slope, bed slope, properties of materials forming channel body etc. All these variables play a major role in the design of the stable channel.

Various procedures for stable channels design have been compiled and presented in this study. Most of the formulae were based upon experimental works coupled with fields investigations. Formulae, tables and some functional relationships were also summarized and presented in this research.

In conclusion, stable channels design are generally categorized into 3 design criterias as follows:-

- the permissible velocity method
- the tractive force method
- the regime theory method

The author had also collected data on 4 existing canals in the central part of Thailand. These canals have been in services for many

decades and required only slight maintenance works. Variables selected for the analysis were discharge, flow velocity, wetted perimeter, hydraulic radius, depth of flow, mean width, bed slope, side slope and Type of material forming canal bodies. Based on the regime theory method, correlation analyses of these selected canal parameters were made in various ways. These relationships were also given in the forms of formulae and diagrams. The results of the study were also correlated and compared with those developed by various other investigators.

The author has also applied the permissible velocity method to check upon Government's Rural Job Creation Program with regard to the construction of small canals. The results of such check revealed that many newly built canals were found to be unstable. Recommendations were therefore given as a good guide for the design of such canals in the future.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ท่านรองศาสตราจารย์ ธำรง เปรมปรีดิ์ ท่านรองศาสตราจารย์ จักรี จัตุทะศรี และโดยเฉพาะท่านศาสตราจารย์ ดร. นิวัตต์ คารานันทน์ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย ซึ่งเป็นผู้ที่คอยให้ความช่วยเหลือทั้งทางด้านแนวความคิด ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำการวิจัยตั้งแต่ต้นจนแล้วเสร็จสมบูรณ์อย่างใกล้ชิดโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างยิ่งต่อความกรุณาของบรรดาคณาจารย์ที่ได้กล่าวนามมาข้างต้น อนึ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ วิทยา สมาหาร หัวหน้างานทดลองวิจัยชลศาสตร์ กรมชลประทาน ปากเกร็ด ที่ให้ความช่วยเหลือตรวจสอบ ปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือวัดกระแสน้ำจนใช้งานได้ดี ตลอดจนเจ้าหน้าที่โครงการชลประทานรังสิตเหนือ เจ้าหน้าที่โครงการชลประทานรังสิตใต้ เจ้าหน้าที่กองออกแบบ กรมชลประทาน ตลอดจนท่านอื่น ๆ ที่มิได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ ซึ่งได้มีส่วนให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการรวบรวมข้อมูลจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จลงด้วยดี

จากประสบการณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ทำให้ข้าพเจ้าได้เรียนรู้ถึงประโยชน์จากการทำงานที่จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากบุคคลหลายฝ่าย ซึ่งถ้าปราศจากความร่วมมือดังกล่าวแล้ว งานวิจัยครั้งนี้คงไม่สามารถสำเร็จลงด้วยดีได้เลย ประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ หากพึงมี ข้าพเจ้าขอมอบให้ผู้ที่สนใจ ซึ่งนำไปเป็นข้อคิดประกอบการปฏิบัติและแนวทางการศึกษาต่อไป

เสรี จันทร์โยธา

บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ฉ
กิตติกรรมประกาศ		ช
สารบาญ		ฌ
สารบาญตารางประกอบ		ฏ
สารบาญภาพประกอบ		ฑ
ความหมายของสัญญลักษณ์		ฒ
คำจำกัดความของคำ		บ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมา	1
	1.2 ความสำคัญของปัญหา	3
	1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	5
	1.4 ขอบข่ายการศึกษา	6
	1.5 ผลการศึกษาที่เคยมี	6
	1.6 การดำเนินการศึกษา	7
	1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2	การพิจารณาทฤษฎีเบื้องต้น	10
	2.1 มโนทัศน์เกี่ยวกับเสถียรภาพของคลอง	10
	2.2 ทฤษฎีกลศาสตร์ของน้ำ	11
	2.3 สมการความเร็วการไหลวิกฤติ	15
	2.4 สมการแรงเฉือนวิกฤติ	17
บทที่ 3	สมการสำหรับการออกแบบคลองเสถียรภาพ	20
	3.1 การออกแบบคลองโดยกำหนดความเร็วสูงสุดของการไหลที่ยอมให้	22
	3.2 การออกแบบคลองโดยทฤษฎีแรงเฉือนหรือแรงฉุด	43

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	3.3 การออกแบบคลองโดยใช้ทฤษฎีสภาวะสมดุลย์ของการกัดกร่อนและตกตะกอน (Regime theory)	64
	3.4 การกำหนดค่าความลาดเอียงของผิ่งคลอง	92
บทที่ 4	การศึกษาสำรวจและเก็บข้อมูล	95
	4.1 การพิจารณาแนวทางในการวิจัย	95
	4.2 เครื่องมือที่ใช้ประกอบการศึกษา	96
	4.3 การเลือกตัวอย่างคลองเพื่อทำการศึกษา	97
	4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล	97
บทที่ 5	การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการศึกษา	104
	5.1 สมมติฐานความสัมพันธ์ของตัวแปรการไหลของคลองเสถียรภาพ	104
	5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	105
	5.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	107
	5.4 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ข้อมูลกับผลการศึกษาในต่างประเทศ	119
	5.5 หลักการในการคำนวณออกแบบคลองเสถียรภาพ	125
บทที่ 6	คลองในโครงการสร้างงานในชนบท (2623-2524)	130
	6.1 โครงการสร้างงานในชนบท (กสช.)	130
	6.2 ลักษณะคลองทั่ว ๆ ไปในโครงการ กสช.	132
	6.3 การกำหนดขนาดคลองในโครงการ กสช.	132
	6.4 ข้อแนะนำในการพิจารณากำหนดขนาดคลองในโครงการ กสช.	140
บทที่ 7	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	149
	7.1 สรุปผลการศึกษา	149
	7.2 ข้อเสนอแนะ	154
เอกสารอ้างอิง		155
ภาคผนวก		163

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
3-1	ความเร็วสูงสุดของการไหลที่ยอมให้ โดย Etcheverry (1916)	30
3-2	ความเร็วสูงสุดของการไหลที่ยอมให้ โดย Fortier & Scobey (1926)	32
3-3	ความเร็วสูงสุดของการไหลที่ยอมให้สำหรับวัสดุประเภทมีแรงยึดติดของอนุภาค (cohesive materials) ข้อมูลจาก U.S.S.R. (1936)	34
3-4	ตัวคูณลดหรือเพิ่ม สำหรับความเร็วการไหลที่ยอมให้ที่ความลึกต่าง ๆ ข้อมูลจาก (U.S.S.R. (1936)	34
3-5	ความเร็วสูงสุดของการไหลที่ยอมให้สำหรับวัสดุประเภทไม่มีแรงยึดติดของอนุภาค (cohesionless materials) ข้อมูลจาก U.S.S.R. (1936)	35
3-6	ความเร็วสูงสุดของการไหลที่ไม่ทำให้เกิดการกัดเซาะ โดย Kraatz (1977)	39
3-7	ความเร็วสูงสุดของการไหลที่ยอมให้ โดย Varsheney (1979)	40
3-8	ความเร็วสูงสุดของการไหลที่ไม่ทำให้เกิดการกัดเซาะ โดย Kraatz (1977)	41
3-9	ค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณ (a_1) สำหรับดินชนิดต่าง ๆ ในสมการของ Kennedy	68
3-10	ค่าอัตราส่วนความเร็ววิกฤติ (m) สำหรับวัสดุชนิดต่าง ๆ ของสมการ Kennedy	68
3-11	รวบรวมสรุปสมการของ Lacey ที่มาและการใช้แสดง	75
3-12	ค่าความลาดเอียงฝั่งคลองสำหรับดินชนิดต่าง ๆ โดย Singhal (1968)	93
3-13	ค่าความลาดเอียงฝั่งคลองสำหรับดินชนิดต่าง ๆ โดย Davis & Sorensen (1969)	93
3-14	ค่าความลาดเอียงฝั่งคลองสำหรับดินชนิดต่าง ๆ โดย Simons & Senturk (1977)	94
5-1	สรุปสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรการไหลต่าง ๆ จากผลการศึกษา	117
5-2	สรุปค่าแนะนำในการพิจารณาความลาดเอียงของฝั่งคลองสำหรับดินชนิดต่าง ๆ	126
5-3	สรุปค่าแนะนำความเร็วการไหลที่ยอมให้สำหรับดินชนิดต่าง ๆ	126

ตารางที่ หน้า

6-1 ตารางแสดงประเภทและจำนวนของโครงการต่าง ๆ ในโครงการสร้างงานในชนบท (2523) 133

6-2 ตัวอย่างขนาดคลองในโครงการสร้างงานในชนบท (2523-2524) 134

6-3 ค่าแนะนำความลาดเอียงฝั่งคลองสำหรับดินชนิดต่าง ๆ ในการกำหนดขนาดคลองของโครงการ กสช. 140

6-4 ค่าแนะนำความเร็วการไหลที่ยอมให้สำหรับดินชนิดต่าง ๆ ในการกำหนดขนาดคลองของโครงการ กสช. 141

6-5 ตัวอย่างตารางการพิจารณาหาขนาดหน้าตัดของคลองสำหรับคลองในโครงการ กสช. 143

ก-1 เกณฑ์ของระยะห่างของแนวหยั่งหาความลึกของน้ำและของแนววัดความเร็วของกระแสน้ำ แนะนำโดย สุเทพ ติงศภัทิย์ (พ.ศ. 2521) 171

ก-2 ตารางปรับแก้ความลึก โดย Schnehong 167

ข-1 ข้อมูลการวัดปริมาณการไหลของน้ำในคลอง โดยใช้เครื่องมือวัดกระแสน้ำ 173

ข-2 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของคลองที่ได้จากการวัดสำรวจ 183

ข-3 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของคลองต่าง ๆ ในโครงการชลประทานรังสิตเหนือและใต้ 184

ค-1 การจำแนกขนาดของดิน 191

ค-2 การจำแนกชนิดของเนื้อดิน 192

ค-3 ตารางการจำแนกขนาดของดิน 193

ง-1 ตารางสรุปรวบรวมสูตรสมการความต้านทานการไหล 195

ง-2 ตารางค่าสัมประสิทธิ์ความผิดของ Manning โดย Kraatz (1977) 202

ง-3 ตารางค่าสัมประสิทธิ์ความผิดของ Manning โดย Chow (1959) 203

จ-1 ตารางแสดงอัตราการรั่วซึมของน้ำสำหรับคลองที่ไม่ดาด โดย Linsley (1955) 206

ตารางที่ หน้า

จ-2 ความสูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของน้ำสำหรับคลองที่ไม่ดาด โดย Kraatz (1977) 207

ช-1 ตารางเปรียบเทียบหน่วย 226

รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
1-1	รูปหน้าตัดตามขวางของคลองแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ	4
1-2	รูปหน้าตัดตามยาวของคลองแสดงความลาดเอียงท้องคลอง	4
2-1	แสดงแรงกระทำต่อวัสดุ เมื่อมีการไหลเป็นแบบ ลามินาร์	9
2-2	แสดงแรงกระทำต่อวัสดุ เมื่อมีการไหลเป็นแบบ เทอร์บูเล้นท์	13
3-1	สรุปสูตรสมการต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำหนดออกแบบคลองเสถียรภาพ	13
3-2	รูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลที่ทำให้เกิดการกัดเซาะและตกตะกอนกับขนาดของวัสดุ โดย Hjulstrom (1935)	21
3-3	รูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลที่ไม่เกิดการกัดเซาะและตกตะกอนกับขนาดของวัสดุ โดย Sundborg (1956)	25
3-4	รูปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโพรงกับความเร็วการไหลที่ยอมให้สำหรับวัสดุประเภทมีแรงยึดติดของอนุภาค (cohesive materials) ข้อมูลจาก U.S.S.R. (1936)	36
3-5	รูปความสัมพันธ์แสดงตัวคูณลดหรือเพิ่มแก้ความเร็วการไหลที่ยอมให้ในรูปที่ 3-4 ข้อมูลจาก U.S.S.R. (1936)	36
3-6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสูงสุดของการไหลที่ยอมให้กับขนาดของวัสดุสำหรับวัสดุประเภทไม่มีแรงยึดติดของอนุภาค โดย U.S. data และ U.S.S.R. data	37
3-7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลกับปริมาตรโพรง โดย Garbrecht (1961)	37
3-8	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลกับความลึกการไหลที่ระดับความเป็นไปได้ของการกัดเซาะระดับต่าง ๆ โดย Hughes (1980)	42
3-9	รูปแสดงแรงกระทำต่อวัสดุบนลาดเอียงฝั่งคลอง	44
3-10(ก)	รูปแสดงการกระจายของหน่วยแรงเฉือนบนลาดฝั่งคลองและท้องคลอง โดย Desaulniers & Frenette [Shen (1972)]	45

รูปที่		หน้า
3-10	รูปแสดงการกระจายของหน่วยแรงเฉือนบนลาดฝั่งคลองและท้องคลอง โดย Lane (1955)	45
3-11	รูปความสัมพันธ์ของค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่ลาดฝั่งคลองและท้องคลอง โดย Lane (1955)	45
3-12	รูปความสัมพันธ์ระหว่างค่า K กับมุมความลาดเอียงของคลองและค่ามุมผลักของวัสดุ โดย Lane (1955)	47
3-13	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนวิกฤติกับคุณลักษณะของทราย โดย Tiftany et. al (1935)	49
3-14	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนวิกฤติกับขนาดของวัสดุ โดย Schoklitsh (1950)	49
3-15	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนวิกฤติกับขนาดของวัสดุ โดย Leliavsky (1955)	52
3-16	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนวิกฤติกับขนาดของวัสดุ โดย Chien (1954)	52
3-17	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนวิกฤติกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวัสดุสำหรับวัสดุที่มีขนาดสม่ำเสมอ โดย Shields (1936)	54
3-18	ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรมิติศูนย์ของหน่วยแรงเฉือนกับค่า shear Reynolds number ของรูปความสัมพันธ์ของ Shields [Vanoni (1964)]	54
3-19	รูปความสัมพันธ์สำหรับคำนวณหาค่าหน่วยแรงเฉือนวิกฤติ โดย Task Committee on Preparation of Sedimentation Manual (1966)	56
3-20	ความสัมพันธ์ค่าหน่วยแรงเฉือนวิกฤติ ความเร็วเฉือนกับขนาดของวัสดุจากรูปความสัมพันธ์ของ Shields [Overbeek (1980)]	58

รูปที่		หน้า
3-21	รูปความสัมพันธ์สำหรับคำนวณหาค่าแรงเฉือนวิกฤติ โดย Senturk (1969)	58
3-22	แสดงรูปแก้ไขรูปความสัมพันธ์ของ Shields โดย Gessler (1971)	59
3-23	แสดงรูปปรับปรุงรูปความสัมพันธ์ของ Shields โดย Gessler (1971)	59
3-24	รูปความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้กับขนาดของวัสดุประเภทไม่มีแรงยึดติดของอนุภาค โดย Lane (1955)	61
3-25	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงเฉือนวิกฤติกับอัตราส่วนโพรงของวัสดุสำหรับดินประเภทมีแรงยึดติดของอนุภาค ข้อมูลจาก U.S.S.R. (1936)	62
3-26(ก)	รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของมุมผลักกับขนาดของวัสดุสำหรับวัสดุประเภทไม่มีแรงยึดติดของอนุภาค โดย Lane (1955)	63
3-26(ข)	รูปความสัมพันธ์ของค่ามุมผลัก (angle of repose) ของวัสดุกับขนาดของวัสดุสำหรับวัสดุประเภทมีแรงยึดติดของอนุภาค โดย Simons (1957)	63
3-27	รูปความสัมพันธ์ระหว่างเส้นขอบเปียกกับปริมาณการไหล โดย Simons & Albertson (1960)	88
3-28	รูปความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีชลศาสตร์กับปริมาณการไหล โดย Simons & Albertson (1960)	88
3-29	รูปความสัมพันธ์ระหว่างเส้นขอบเปียกกับความกว้างเฉลี่ย โดย Simons & Albertson (1960)	89
3-30	รูปความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีชลศาสตร์กับความลึกของการไหล โดย Simons & Albertson (1960)	89
3-31	รูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลเฉลี่ยกับ R^2S โดย Simons & Albertson (1964)	90
3-32	รูปความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างเฉลี่ยกับความกว้างผิวน้ำ โดย Simons & Albertson (1960)	91
3-33	รูปความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{V^2}{gDS}$ กับ $\frac{VW}{\nu}$ โดย Simons & Albertson (1960)	90

รูปที่		หน้า
3-34	รูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าของมุมผลักกับขนาดของวัสดุ โดย Simons & Albertson (1960)	91
4-1	แสดงคลองในเขตโครงการชลประทานรังสิตเหนือ	98
4-2	รูปแสดงการใช้กล้องระดับหาความลาดเอียงท้องคลอง	100
4-3	รูปแสดงการใช้กล้องระดับหาความลาดเอียงท้องคลอง	100
4-4	รูปแสดงการหยั่งวัดความลึกของน้ำจากเรือ	101
4-5	รูปแสดงการหยั่งวัดความลึกของน้ำโดยการลงไปหยั่งวัดในคลอง	101
4-6	รูปการเตรียมเครื่องมือวัดกระแสน้ำ	102
4-7	รูปแสดงการเตรียมหย่อนเครื่องมือวัดกระแสน้ำจากสะพาน	102
4-8	รูปแสดงการเตรียมหย่อนเครื่องมือวัดกระแสน้ำจากเรือ	103
4-9	รูปแสดงการวัดกระแสน้ำ	103
5-1 (ก)	รูปความสัมพันธ์ระหว่างเส้นขอบเปียกกับปริมาณการไหล (จากการวัด)	108
5-1 (ข)	รูปความสัมพันธ์ระหว่างเส้นขอบเปียกกับปริมาณการไหล (จากการคำนวณ)	109
5-2 (ก)	รูปความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีชลศาสตร์กับปริมาณการไหล (จากการวัด)	110
5-2 (ข)	รูปความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีชลศาสตร์กับปริมาณการไหล (จากการคำนวณ)	111
5-3	รูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลกับผลคูณ R^2S	112
5-4	รูปความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างเฉลี่ยกับเส้นขอบเปียก	113
5-5	รูปความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีชลศาสตร์ขบความลึกการไหล	114
5-6	รูปความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างเฉลี่ยกับความกว้างผิวน้ำ	115
5-7	รูปความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วการไหลกับความลึกการไหล	116
5-8	รูปเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของเส้นขอบเปียกกับปริมาณการไหลจากผลงานวิจัยกับจากผลการศึกษาต่างประเทศ	120
5-9	รูปเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของรัศมีชลศาสตร์กับปริมาณการไหลจากผลงานวิจัยกับผลการศึกษาต่างประเทศ	120

รูปที่		หน้า
5-10	รูปเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเร็วการไหลกับค่า R^2S จากผลงานวิจัยกับผลการศึกษาต่างประเทศ	122
6-1	แสดงตัวอย่างคลองโครงการสร้างงานในชนบท (2524) จ. นครปฐม	136
6-2	แสดงตัวอย่างคลองโครงการสร้างงานในชนบท (2524) จ. ปทุมธานี	136
6-3	แสดงตัวอย่างคลองโครงการสร้างงานในชนบท (2524) จ. มหาสารคาม	137
6-4	แสดงตัวอย่างคลองโครงการสร้างงานในชนบท (2524) จ. มหาสารคาม	137
6-5	แสดงตัวอย่างคลองโครงการสร้างงานในชนบท (2524) จ. ฉะเชิงเทรา	138
6-6	แสดงตัวอย่างคลองโครงการสร้างงานในชนบท (2524) จ. ฉะเชิงเทรา	138
6-7	แสดงตัวอย่างคลองโครงการสร้างงานในชนบท (2524) จ. มหาสารคาม	139
6-8	แสดงตัวอย่างคลองโครงการสร้างงานในชนบท (2524) จ. นครปฐม	139
6-9	แสดงรูปความสัมพันธ์ของตัวแปรการไหลต่าง ๆ สำหรับการการกำหนดขนาดคลองในโครงการ กสช.	145
ก-1	รูปแสดงเครื่องมือวัดกระแสน้ำ Current Meter แบบ Price พร้อมทุ่นน้ำหนักถ่วง	166
ก-2	แสดงจุดทำการหย่อนเครื่องมือวัดกระแสน้ำ	166
ก-3	รูปปรับแก้ความสัมพันธ์ของความเร็วการไหลกระแสน้ำกับความเร็วการหมุนของถ้วยในเครื่องมือวัดกระแสน้ำ	169
ก-4	รูปแสดงจุดทำการวัดและการคำนวณค่าความเร็วเฉลี่ยของการไหล	171
ก-5	รูปแสดงแนววัดความลึกและความเร็วของกระแสน้ำ	171
ก-6	รูปแสดงแนวเบี่ยงเบนของเครื่องวัดกระแสน้ำจากแนวดิ่งเดิม	167
ข-1	รูปแสดงคลองต่าง ๆ ในเขตโครงการชลประทานรังสิตเหนือ	188
ข-2	รูปแสดงคลองต่าง ๆ ในเขตโครงการชลประทานรังสิตใต้	189
ค-1	รูปการจำแนกดินโดยใช้สามเหลี่ยมความสัมพันธ์ของ U.S. Bureau of Soils	192

สัญญลักษณ์และความหมาย

สัญญลักษณ์	ความหมาย
A	พื้นที่หน้าตัดของคลอง (cross-sectional area) [เมตร^2, ฟุต^2]
a_1, a_2	ระยะทางระหว่างจุดยึดหมุนถึงจุดศูนย์กลางความถ่วงของวัสดุ และระยะทางระหว่างจุดยึดหมุนของวัสดุถึงจุดไกลสุด (ในรูปที่ 2-1, 2-2) [เมตร, ฟุต]
B, B_m	ความกว้างของคลองที่จุดกึ่งกลางของความลึก [เมตร, ฟุต]
b	ความกว้างของท้องคลอง [เมตร, ฟุต]
C	จุดศูนย์กลางความถ่วงของวัสดุ
C	ความเข้มข้นของตะกอนท้องน้ำ (bed load concentration) ส่วนในล้าน
C_l	สัมประสิทธิ์แรงยก (lift coefficient) (ไม่มีหน่วย)
C_d	สัมประสิทธิ์แรงลากดึง (drag coefficient) (ไม่มีหน่วย)
C_v	อัตราส่วนของปริมาณการไหลของตะกอนต่อปริมาณการไหลของน้ำ (ไม่มีหน่วย)
C_1	สัมประสิทธิ์รูปร่างของวัสดุ (form coefficient) (สำหรับวัสดุรูปทรงกลมจะมีค่า = $\frac{\pi}{6}$) (ไม่มีหน่วย)
C_2	สัมประสิทธิ์รูปร่างของวัสดุ (form coefficient) โดยพิจารณาถึงพื้นที่ผิวประสิทธิ์ผล (effective surface area) สำหรับวัสดุทรงกลมจะมีค่า = $\frac{\pi}{4}$)
C_3	สัมประสิทธิ์รูปร่างของวัสดุที่สัมพันธ์กับพื้นที่ผิวประสิทธิผลของวัสดุในทิศทางของแรงยก
c	องค์ประกอบแรงยึดติดของวัสดุ
d	ความลึกเฉลี่ยของการไหล [เมตร, ฟุต]
$D, \bar{D}$	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดวัสดุโดยเฉลี่ย (average diameter) [เมตร, ฟุต, มิลลิเมตร, นิ้ว]
D_{50}	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยปานกลางของวัสดุ (mean diameter) ที่ผ่านตะแกรง 50 เปอร์เซ็นต์ [เมตร, ฟุต, มิลลิเมตร, นิ้ว]

สัญญลักษณ์	ความหมาย
E	อัตราส่วนของเส้นขอบเปียกต่อความกว้างของคลอง $E = \frac{P}{W}$ [ไม่มีหน่วย]
F_s	ค่าองค์ประกอบข้างคลองของ Blench (Blench's side factor)
F_b	ค่าองค์ประกอบท้องคลองของ Blench (Blench's bed factor)
F_ℓ	แรงยก (lift force) [กิโลกรัม (แรง), กิโลกรัม (มวล)/ลบ.ม.]
F_d	แรงลากดึง (drag force) [กิโลกรัม (แรง), กิโลกรัม (มวล)/ลบ.ม.]
F_c	แรงยึดติดของวัสดุ (สำหรับวัสดุประเภทมีแรงยึดติดระหว่างอนุภาค)
F_2, F_3	ส่วนประกอบของแรงในแนวดิ่งและแนวนอนของแรงเนื่องจากน้ำหนัก
F_1	แรงลัพธ์
F_*	มิติศูนย์ของหน่วยแรงเฉือน (dimensionless shear stress) [ไม่มีหน่วย]
F	Froude number [ไม่มีหน่วย]
f	ค่าองค์ประกอบตะกอนของ Lacey (Lacey's silt factor)
f	ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดของ Darcey-Weisbach
f_b	ระยะจากผิวน้ำถึงขอบบนของคลอง (free board) [เมตร, ฟุต]
g	อัตราเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก เมตร/วินาที^{2}, ฟุต/วินาที^{2}
K	ค่าสัมประสิทธิ์ (coefficient)
k	ค่าคงที่ ($k = C_1/C_2$)
m	อัตราส่วนความเร็ววิกฤติของ Kennedy (Kennedy's critical velocity ratio)
n	ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของการไหลของ Manning
P	เส้นขอบเปียกของคลอง (wetted perimeter) [เมตร, ฟุต]
Q	ปริมาณการไหลของน้ำ (discharge [ลบ.เมตร/วินาที, ลบ.ฟุต/วินาที]
R	รัศมีชลศาสตร์ของคลอง (hydraulic radius [เมตร, ฟุต]
R_e	Reynold number (ไม่มีหน่วย)
S	ความลาดเอียง (เส้นพลังงาน)
S_o	ความลาดเอียงของท้องคลอง

สัญญลักษณ์	ความหมาย
S_e	ความลาดเอียงเส้นระดับพลังงาน
S'	ความสูญเสียเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอและโค้งงอของคลอง (shock loss) ในเทอมของความลาดเอียง
T	ความกว้างของผิวน้ำ (water surface width) [เมตร, ฟุต]
T_w	ความกว้างจากฝั่งถึงฝั่งของคลอง (top width) [เมตร, ฟุต]
$U, V, \bar{u}$	ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (average velocity [เมตร/วินาที, ฟุต/วินาที]
U_b, V_b, u_b	ความเร็วสูงสุดของการไหลที่ท้องคลองที่ยอมให้ (maximum permissible velocity at the bottom) [เมตร/วินาที, ฟุต/วินาที]
$(u_b)_{cr}$	ความเร็วการไหลวิกฤติที่ท้องคลอง [เมตร/วินาที, ฟุต/วินาที]
U_*, V_*	ความเร็วเฉือน (shear velocity) [เมตร/วินาที, ฟุต/วินาที]
W_s	น้ำหนักของวัสดุ [กิโลกรัม/เมตร^3, ตัน/เมตร^3, ปอนด์/ฟุต^3]
W_g	น้ำหนักของวัสดุในน้ำ (submerged weight)
W	ความกว้างเฉลี่ยของคลอง (average width) [เมตร, ฟุต]
y_o	ความลึกของการไหล [เมตร, ฟุต]
y	ความสูงจากท้องคลอง [เมตร, ฟุต]
α	มุมความลาดเอียงของท้องคลอง
ν	ความหนืดจลศาสตร์ของของเหลว (kinematic viscosity) [เมตร^2/วินาที, ฟุต^2/วินาที]
ρ	ความหนาแน่นของน้ำ [กก.วินาที^{2}/เมตร^4, ตัน วินาที^{2}/เมตร^4 ปอนด์ วินาที^{2}/ฟุต^4, สลักซ์/ลบ.ฟุต]
ρ_s	ความหนาแน่นของวัสดุ [สลักซ์/ลบ.ฟุต]
γ	น้ำหนักจำเพาะของน้ำ [กก./ลบ.ม., ตัน/ลบ.ม., ปอนด์/ลบ.ฟุต]
γ_s'	น้ำหนักจำเพาะของวัสดุในน้ำ $\gamma_s' = \gamma_s - \gamma$

สัญญลักษณ์	ความหมาย
ϕ	ค่าของมุมผลัก (angle of repose)
τ_o, τ_b	หน่วยแรงเฉือนที่ท้องคลอง [กก./เมตร^2, ตัน/เมตร^2, ปอนด์/ฟุต^2]
τ_s, τ_{ss}	หน่วยแรงเฉือนบนลาดฝั่งคลอง [กก./เมตร^2, ตัน/เมตร^2, ปอนด์/ฟุต^2]
τ_c, τ_{cr}	หน่วยแรงเฉือนวิกฤติ [กก./เมตร^2, ตัน/เมตร^2, ปอนด์/ฟุต^2]
θ	ค่าของมุมความลาดเอียงฝั่งคลอง

คำจำกัดความของคำหรือข้อความ

คลองเสถียรภาพ (stable channels or canals) :

หมายถึงคลองขุดที่ไม่มีการดาด (unlined earthen canals) และมีคุณสมบัติต่าง ๆ คือ

- ฝั่งคลอง (channel banks) และท้องคลอง (channel bed) ไม่เกิดการกัดกร่อนหรือกัดเซาะ (scouring or erosion) เมื่อมีการไหลของน้ำในคลอง
- ไม่มีการตกตะกอนทับถม (deposits of sediment) อันจะทำให้คลองตื้นเขิน (silting)
- ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแนวทางของคลอง (change in alignment) หรือถ้าหากเกิดการกัดเซาะและการตกตะกอนทับถมแล้ว สภาพคลองยังอยู่ในลักษณะสมดุลย์ คือมีความสมดุลย์ของการกัดเซาะและตกตะกอนในช่วงหนึ่งของเวลา (balancing intervals of silting and scouring) [Lane (1955), Davis & Sorensen (1969)]

คลองไม่ดาด (unlined canals) :

หมายถึงคลองที่ขุดโดยมีวัสดุประกอบคลองเดิม วัสดุประกอบคลองดังกล่าวอาจจะเป็นดินเหนียว, ดินร่วน, ดินทราย, กรวด, หิน หรือเป็นวัสดุผสม ตามวัสดุเดิมในพื้นที่ คลองไม่ดาดส่วนมากจะถือว่าเป็นคลองที่อาจเกิดการกัดเซาะ เนื่องจากการไหลของน้ำที่กระทำต่อคลองได้ นอกจากในกรณีที่ขุดในบริเวณที่มีวัสดุเป็นพวกหินแข็ง

คลองดาด (lined canals) :

หมายถึงคลองที่ขุดและใช้วัสดุอื่นเป็นวัสดุประกอบคลอง เช่น คอนกรีต, แอสฟาลสต์ แผ่นพลาสติค, แผ่นยางสังเคราะห์ (synthetic rubber) เป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของคลอง ลดการกัดกร่อน, ลดการซึมของน้ำ เป็นต้น

ความเร็วสูงสุดของการไหลที่ยอมให้ (maximum permissible velocity) :

เป็นขีดกำหนดความเร็วการไหลของน้ำในคลองที่จะไม่ทำให้เกิดการกัดเซาะและตื้นเขินขึ้นกับคลอง ความเร็วการไหลดังกล่าวบางคนก็ให้ในรูปความเร็วการไหลเฉลี่ย (mean velocity) บางคนก็ให้ในรูปของอัตราเร็วของการไหลที่ระดับท้องคลอง (bottom velocity) แต่ส่วนมากจะกำหนดในลักษณะของความเร็วการไหลเฉลี่ย

แรงฉุดหรือแรงเฉือน (tractive force) :

เป็นแรงที่เกิดจากส่วนหนึ่งของน้ำหนักน้ำที่ไหลในคลอง โดยกระทำในแนวสัมผัสกับท้องและลาดฝั่งคลอง ค่าของแรงฉุดลากจะเป็นสัดส่วนกับความลาดเอียงและความลึกของการไหล

คลองในสภาวะสมดุลย์ (Channels in regime) :

เป็นคลองที่มีความสมดุลย์ของการกัดเซาะและตกตะกอนเท่าเทียมกัน จะทำให้เกิดสภาวะสมดุลย์ของคลองในช่วงเวลาหนึ่ง

วัสดุประเภทมีแรงยึดติดของอนุภาค (cohesive materials) :

หมายถึงวัสดุที่ต้องคำนึงถึงแรงยึดติดทางเคมีกายภาค (cohesive or physiochemical force) ระหว่างเม็ดอนุภาค แรงยึดติดดังกล่าวขึ้นกับคุณสมบัติทางเคมีของแร่ประกอบเป็นหลัก วัสดุประเภทนี้ ได้แก่ พวกดินเหนียว, ดินที่มีส่วนผสมของดินเหนียว เช่น ดินเหนียวปนดินตะกอน (silty clay) เป็นต้น

วัสดุประเภทไม่มีแรงยึดติดของอนุภาค (non-cohesive or cohesionless materials) :

หมายถึงวัสดุที่แรงยึดติดระหว่างอนุภาคมีความสำคัญน้อยมาก และไม่คำนึงถึงวัสดุจำพวกนี้ได้แก่ พวกกรวด, ทราย, ดินปนทราย เป็นต้น

คอลลอยด์ (colloid) :

หมายถึงวัสดุที่มีขนาดเล็กมาก คือมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคดินเหนียว (<0.006 มม.) ซึ่งปนอยู่กับวัสดุประเภทต่าง ๆ หรืออยู่ในสภาพแขวนลอยในน้ำ