วิทยานิพนธ์

การประเมินความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำภายใน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LANNA TAK CAMPUS INTERNAL DRAINAGE SYSTEM CAPACITY ASSESSMENT

นางวันดี พูนพจน์มาศ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ	วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การประเมินความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำภายใน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก

Rajamangala University of Technology Lanna Tak Campus Internal Drainage System Capacity Assessment

นามผู้วิจัย นางวันดี พูนพจน์มาศ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์ชัยวัฒน์ ขยันการนาวี, M.Eng.)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ, Ph.D.)

กรรมการ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัจฉรา ดวงเดือน, M.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรชัย ลิปิวัฒนาการ, M.Asc.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำภายใน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก

Rajamangala University of Technology Lanna Tak Campus Internal Drainage System Capacity Assessment

โดย

นางวันดี พูนพจน์มาศ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)
พ.ศ. 2551

วันดี พูนพจน์มาศ 2551: การประเมินความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ประธานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ชัยวัฒน์ ขยันการนาวี, M.Eng. 148 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตากสภาพปัจจุบัน เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงระบบระบายน้ำเดิมให้ได้มาตรฐาน การป้องกันน้ำหลากจากภายนอกเข้าท่วมพื้นที่ศึกษา และการระบายน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ออกสู่หนองหลวงอย่างมีประสิทธิภาพ ในการรองรับน้ำท่วมอันเกิดจากฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีคลองไหลผ่านและรับน้ำมาจากคลองเขาแก้ว เพื่อระบายน้ำไปยังหนองหลวงซึ่งในฤดูน้ำหลากระดับน้ำในหนองหลวงจะสูงกว่าระดับน้ำของคลองในพื้นที่ศึกษา ทำให้ไม่สามารถระบายน้ำลงสู่หนองหลวงได้ จึงเกิดปัญหาน้ำท่วมภายในพื้นที่การประเมินความสามารถในการระบายน้ำโดยประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ SWMM ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง เพื่อประเมินหาค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง และจำลองสภาพการไหลด้วยกรณีศึกษา 12 กรณี เพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าว ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน manning ของการไหลในคลองระบายน้ำมีค่าเท่ากับ 0.018 และ 0.05 และจากกรณีศึกษาทั้ง 12 กรณี พบว่าระบบระบายน้ำในสภาพปัจจุบันไม่สามารถรองรับฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปีได้ ข้อเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงระบบระบายน้ำเดิมโดยการขุดลอกตะกอนดิน สร้างแนวคันดิน ปรับลดระดับฝายบริเวณอาคาร 7 ลง 0.60 เมตร สำหรับการป้องกันน้ำหลากจากภายนอกเข้าท่วมพื้นที่ ติดตั้งประตูระบายน้ำควบคุมที่บริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อหน่วงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าพื้นที่ และการระบายน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ออกสู่หนองหลวง โดยพร่องระดับน้ำในหนองหลวงเป็นแก้มลิงให้อยู่ที่ระดับ 109.852 ม.รทก. จะสามารถระบายน้ำออกนอกพื้นที่ได้และในกรณีที่ไม่สามารถพร่องระดับน้ำในหนองหลวงได้ก็จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องสูบน้ำที่บริเวณจุดระบายน้ำออกเพื่อสูบน้ำในอัตรา 6.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เมื่อดำเนินการสูบน้ำพบว่าสามารถแก้ปัญหาน้ำท่วมสำหรับระบบระบายน้ำภายในพื้นที่ศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Wandee Poonpotmas 2008: Rajamangala University of Technology Lanna Tak Campus Internal Drainage System Capacity Assessment. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Chaiwat Kayankarnnavy, M.Eng. 148 pages.

The objectives of this study are to assess the existing internal drainage system capacity of Rajamangala University of Technology Lanna Tak Campus, and recommend measures of existing drainage system improvement in order to achieve standard. The preventive of flooded water into studied area and rain water draining from this area to Nongloung reservoir. In flooding period, Nongloung reservoir's water level is higher than the level of the canal in studied area which cannot discharge the water out this area and will be flooded in this area. The drainage capacity is assessed by applying mathematics model SWMM. The SWMM model is calibrated and verified in order to evaluate the controlled parameters and simulate flowing characteristics by twelve case studies so as to solve this task. The manning's friction coefficient study of the canal flows are 0.018 and 0.05. From twelve case studies found that the recent drainage system cannot support five years return period rainfall. The proposed recommendation are to excavate the canal and build earthen dyke, at The seventh building decrease wair 0.60 meters in depth, install gate at retention point in order to retard the water quantity for flooding prevention and lastly, it is necessary that to install 6.6 cubic meter per second water pumping station in case of cannot mitigate water level in canal. Once pumping measure is applied, found that it can be solved efficiently the flooding problem for the drainage system of the studied area.

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ชัยวัฒน์ ขยันการนาวี ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อัจฉรา ดวงเดือน กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และ รองศาสตร์ตราจารย์วัชรินทร์ วิทยกุล อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ขอขอบคุณหัวหน้าสถานีอุตุนิยมวิทยาตาก ที่กรุณาเอื้อเฟื้อข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตากทุกท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์

ความสำเร็จในการศึกษาครั้งนี้ ข้าพเจ้าต้องกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ชี้แนะและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

วันดี พูนพจน์มาศ

มีนาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)

สารบัญตาราง (2)

สารบัญภาพ (3)

คำนำ 1

วัตถุประสงค์ 5

การตรวจเอกสาร 6

อุปกรณ์และวิธีการ 48

อุปกรณ์ 48

วิธีการ 48

ผลและวิจารณ์ 61

สรุปและข้อเสนอแนะ 75

สรุป 75

ข้อเสนอแนะ 80

เอกสารและสิ่งอ้างอิง 81

ภาคผนวก 83

ภาคผนวก ก ผลการเก็บข้อมูลทางกายภาพของคลองระบายน้ำ 84

ภาคผนวก ข ผลการเก็บข้อมูลทางกายภาพของรางระบายน้ำ 106

ภาคผนวก ค ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและระดับน้ำ 109

ภาคผนวก ง รูปภาพสภาพทั่วไปของระบบระบายน้ำและสภาพน้ำท่วม 115

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้และการทดลองเครื่องมือวัดการไหล 121

ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ระบบระบายน้ำจากแบบจำลอง กรณีศึกษาที่ 7 ที่เสนอแนะ 131

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เนื้อที่พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมซ้ำซาก อ.เมือง จ.ตาก	13
2	ขนาดรอบปีการเกิดซ้ำ ขึ้นอยู่กับความสำคัญและสภาพพื้นที่	20
3	สัมประสิทธิ์การไหลนองตามลักษณะการใช้พื้นที่โดย ASCE (พ.ศ.2512)	21
4	สัมประสิทธิ์การไหลนองตามลักษณะพื้นผิวต่างๆ โดย ASCE (พ.ศ.2512)	22
5	ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของพื้นที่รับน้ำ (Viessman and Lewis, 1996)	23
6	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ(Manning's coefficient, n) สำหรับทางน้ำเปิด	26
7	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ(Manning's coefficient, n) สำหรับท่อระบายน้ำ	27
8	รายละเอียดของช่วงท่อ	44
9	ตารางแสดงกรณีศึกษา	60
10	อัตราการไหลสูงสุดที่ไหลเข้าคลองวิทยาเขตจากพื้นที่ลุ่มน้ำคลองเขาแก้ว	65
11	ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดต่าง ๆ	66

ตารางผนวกที่

ค1	ปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงของเดือนกันยายน ปี 2006	110
ค2	ปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงของเดือนตุลาคม ปี 2006	111
ค3	ผลการเก็บข้อมูลระดับน้ำรายวัน ตำแหน่งคลองข้างคณะวิชาโยธา(Node27)	112
ค4	ผลการเก็บข้อมูลระดับน้ำรายวันตำแหน่งคลองข้างอาคาร 8 (Node137)	113
ค5	ผลการเก็บข้อมูลระดับน้ำรายวันตำแหน่งคลองด้านหลังวิทยาเขตใกล้จุดออกหนองหลวง (Node103)	114

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	น้ำจากคลองภายในวิทยาเขตล้นข้ามถนน	2
2	สภาพน้ำท่วมบริเวณบ้านพักอาจารย์	3
3	สภาพน้ำท่วมบริเวณหน้าอาคารเรียน	3
4	ที่ตั้งของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก	7
5	พื้นที่ศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก	8
6	ทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่นและตำแหน่งของร่องความกดอากาศที่พัดผ่านจังหวัดตาก	10
7	กราฟสำหรับอ่านค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C ที่ใช้ในสูตร rational formula	17
8	กราฟสำหรับอ่านค่าเวลาน้ำท่าเข้มข้น T_C	18
9	การหาเส้นความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำ	20
10	กราฟ Intensity - Duration - Frequency Curve ของสถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองตาก	24
11	แสดงกราฟการคำนวณความยาวในแต่ละก้าวเวลา	38
12	เงื่อนไขการต่อท่อที่บัพ	46
13	หน้าตัดรางระบายน้ำ	50
14	หน้าตัดคลองระบายน้ำ	51
15	แสดงระบบระบายน้ำภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาวิทยาเขตตาก	52
16	ตัวอย่างการแบ่งพื้นที่รับน้ำย่อยในแบบจำลอง SWMM	53
17	แสดงตำแหน่งติดตั้งแผ่นวัดระดับน้ำ (Staff Gauge) ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก	55
18	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลของจุดรับน้ำเข้า	56
19	พื้นที่รับน้ำจากคลองเขาแก้ว	57
20	การเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับที่วัดจริงในสนาม (Node 27) ของการปรับเทียบคลองชนิดผนังคอนกรีตส่วนท้องคลองเป็นดินธรรมชาติ	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	เปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับที่วัดจริงในสนาม (Node 137) ของการปรับเทียบคลองชนิดผนังคอนกรีตส่วนท้องคลองเป็นดินธรรมชาติ	62
22	เปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับที่วัดจริงในสนาม (Node 103) ของการปรับเทียบคลองชนิดคลองดินธรรมชาติ	62
23	เปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับที่วัดจริงในสนาม (Node 27) ของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง	63
24	เปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับที่วัดจริงในสนาม (Node 137) ของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง	64
25	เปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับที่วัดจริงในสนาม (Node 103) ของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง	64
26	ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 1	67
27	ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 2	67
28	ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 3	68
29	ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 4	69
30	ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 5	69
31	ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 6	70
32	ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 7	71
33	ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 8	71
34	ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 9	72
35	ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 10	73
36	ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 11	73
37	ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 12	74
38	แสดงบริเวณที่เกิดน้ำท่วมภายในพื้นที่ศึกษา	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

ก1	แผนผังข้อมูลคลองและรางระบายน้ำ	85
ก2	การสำรวจคลองระบายน้ำบริเวณหลังอาคารคหกรรม	86
ก3	การสำรวจคลองระบายน้ำ	86
ก4	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+000	87
ก5	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+025	87
ก6	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+032	87
ก7	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+070 ด้านหน้า	88
ก8	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+070 ด้านหลัง	88
ก9	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+087	88
ก10	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+097	89
ก11	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+103	89
ก12	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+142	89
ก13	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+154	90
ก14	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+189	90
ก15	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+239 ด้านหน้า	90
ก16	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+239 ด้านหลัง	91
ก17	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+246	91
ก18	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+256	91
ก19	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+260 ด้านหน้า	92
ก20	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+260 ด้านหลัง	92
ก21	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+271	92
ก22	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+278	93
ก23	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+299	93
ก24	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+327	93

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ก25	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+338	94
ก26	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+387	94
ก27	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+421	94
ก28	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+459	95
ก29	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+502	95
ก30	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+509	95
ก31	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+539	96
ก32	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+579	96
ก33	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+619	96
ก34	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+669	97
ก35	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+684	97
ก36	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+701	97
ก37	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+741	98
ก38	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+769	98
ก39	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+809	98
ก40	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+861	99
ก41	รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+870	99
ก42	รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+327	99
ก43	รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+367	100
ก44	รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+384	100
ก45	รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+402	100
ก46	รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+449	101
ก47	รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+471	101
ก48	รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+494	101
ก49	รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+514	102

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ก50	รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+701 ด้านหลัง	102
ก51	รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+701 ด้านหน้า	102
ก52	รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+741	103
ก53	รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+765	103
ก54	รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+801	103
ก55	รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+807	104
ก56	รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+832	104
ก57	รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+857	104
ก58	รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+894	105
ข1	รูปตัดตามขวางของรางระบายน้ำเส้นที่ 1 - 7	107
ข2	รูปตัดตามขวางของรางระบายน้ำเส้นที่ 8	107
ข3	รูปตัดตามขวางของรางระบายน้ำเส้นที่ 9	107
ข4	รูปตัดตามขวางของรางระบายน้ำเส้นที่ 10	108
ง1	จุดรับน้ำเข้าคลองระบายน้ำในพื้นที่ศึกษา	116
ง2	ภาพคลองระบายน้ำข้างคณะวิชาโยธา ปี 2539	116
ง3	บริเวณฝายอาคาร 7 ปี 2539	117
ง4	บริเวณฝายอาคาร 7 ปี 2549	117
ง5	น้ำท่วมบริเวณบ้านพักอาจารย์ ปี 2539	118
ง6	ภาพคลองระบายน้ำข้างคณะวิชาโยธา ปี 2549	118
ง7	น้ำท่วมบริเวณบ้านพักอาจารย์ริมคลองระบายน้ำ ปี 2549	119
ง8	น้ำท่วมขังบริเวณอาคารเรียน ปี 2549	119
ง9	น้ำท่วมขังบริเวณถนนหน้าอาคาร 8 ปี 2549	120
จ1	เครื่องมือวัดการไหล (Current Meter)	130

การประเมินความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำภายใน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก

Rajamangala University of Technology Lanna Tak Campus

Internal Drainage System Capacity Assessment

คำนำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก ตั้งอยู่ในอำเภอเมือง จังหวัดตาก ติดกับถนนพหลโยธิน มีระยะทางตามถนนพหลโยธิน ห่างจากจังหวัดกรุงเทพมหานครประมาณ 426 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 215 ไร่ ซึ่งอยู่ทางชีกตะวันออกของจังหวัด วิทยาเขตตาก ตั้งอยู่บนที่ราบลุ่ม ลักษณะเป็นเนินเขาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือลาดลงสู่ทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีคลองไหลผ่านพื้นที่ ซึ่งคลองนี้เป็นจุดรับน้ำเข้าวิทยาเขต และน้ำที่เข้ามาสู่คลองนั้นไหลมาจากเนินเขาทางทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ลงมาตามคลองเขาแก้ว และรวมกับน้ำจากพื้นที่ชุมชนด้านหน้าวิทยาเขตตาก ไหลลงมารวมกันในทางระบายน้ำของถนนพหลโยธิน และไหลผ่านท่อลอดถนนพหลโยธินด้านหน้าเข้าสู่คลองภายในวิทยาเขต ซึ่งคลองนี้ไหลผ่านพื้นที่วิทยาเขตระยะทางยาวประมาณ 1 กิโลเมตร จากนั้นจะไหลลงสู่หนองหลวง ซึ่งหนองหลวงเป็นจุดรับน้ำจากพื้นที่ของหน่วยงานราชการและบริเวณชุมชนที่ตั้งอยู่โดยรอบ และไหลผ่านทางระบายน้ำของจังหวัด ลงสู่แม่น้ำปิงต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตากนั้น เป็นมหาวิทยาลัยที่เปิดสอนนักศึกษาจำนวน 4 คณะ คือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร และคณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรม มีอาจารย์จำนวน 217 คน เจ้าหน้าที่และนักการภารโรงจำนวน 139 คน มีนักศึกษาในระดับปริญญาตรีจำนวน 779 คน นักศึกษาในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจำนวน 864 คน รวมมีนักศึกษาทุกคณะวิชาจำนวน 1643 คน ภายในวิทยาเขตตากมีอาคารเรียน อาคารปฏิบัติการและอาคารสำนักงานจำนวน 45 อาคาร บ้านพักอาจารย์จำนวน 70 หลัง และบ้านแถวจำนวน 2 อาคาร มีอาคารพักอาศัยอาจารย์และเจ้าหน้าที่จำนวน 3 อาคาร มีหอพักนักศึกษาที่สามารถรองรับนักศึกษาได้จำนวน 1024 คน จำนวน 1 อาคาร เนื่องจากภายในวิทยาเขต ได้มีการพัฒนาและมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างต่อเนื่อง มีการสร้างอาคารและปรับปรุงพื้นที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังไม่เคยมีการ

ประเมินความสามารถของระบบระบายน้ำ ภายในวิทยาเขตตาก อย่างเป็นระบบมาก่อน ปัจจุบันในบางพื้นที่มีปัญหาน้ำท่วมขังผิวจราจรในขณะฝนตก และระดับน้ำในคลองระบายน้ำที่ไหลผ่านวิทยาเขตจะล้นคันคลองในช่วงฤดูน้ำหลากที่มีฝนตกหนักอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งจะเกิดปัญหาในกรณีที่ระดับน้ำในหนองหลวง สูงกว่าระดับน้ำในคลองภายในวิทยาเขต ซึ่งจะทำให้เกิดกรณีน้ำไหลย้อนกลับ จึงทำให้การระบายน้ำออกจากวิทยาเขตตากลงสู่หนองหลวงไม่ได้ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ทำให้เกิดน้ำเอ่อท่วมภายในวิทยาเขตหลายครั้ง ส่งผลทำให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินของทางราชการ อาคารเรียน และ บ้านพักอาจารย์ ที่ตั้งอยู่ริมคลองระบายน้ำเป็นอย่างมาก ดังแสดงในภาพที่ 1 ถึงภาพที่ 3

ภาพที่ 1 น้ำจากคลองภายในวิทยาเขต ล้นข้ามถนนหน้าอาคาร 8

ภาพที่ 2 สภาพน้ำท่วมบริเวณบ้านพักอาจารย์

ภาพที่ 3 สภาพน้ำท่วมขังบริเวณหน้าอาคารเรียน

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหา และความจำเป็นในการศึกษา เพื่อประเมินความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำภายใน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก ให้มีการระบายน้ำอย่างเป็นระบบ หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาการระบายน้ำดังกล่าว โดยการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ เพื่อการศึกษาระบบระบายน้ำในสภาพปัจจุบัน โดยได้ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง จากนั้นจึงนำแบบจำลองที่ได้รับการสอบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลองมาใช้จำลองสภาพของระบบระบายน้ำ เพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาและเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงระบบระบายน้ำเดิมให้ได้มาตรฐาน และทำให้ระบบระบายน้ำภายในวิทยาเขตตากมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

การศึกษาวิจัยเพื่อประเมินความสามารถในการระบายน้ำ ของระบบระบายน้ำภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก มีวัตถุประสงค์ในการศึกษา ดังนี้

1. เพื่อประเมินความสามารถในการระบายน้ำ ของระบบระบายน้ำภายใน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก ในสภาพปัจจุบัน

2. เพื่อเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงระบบระบายน้ำที่มีอยู่เดิมให้ได้มาตรฐาน ตามที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

3. เพื่อเสนอแนะแนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอกวิทยาเขต เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขต และแนวทางการระบายน้ำฝนที่ตกภายในพื้นที่ ออกสู่หนองหลวงอย่างมีประสิทธิภาพ

ขอบเขตการศึกษา

1. สำรวจเก็บข้อมูลระบบระบายน้ำในปัจจุบัน

2. สำรวจเก็บข้อมูลสภาพการใช้ที่ดิน ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก

3. รวบรวมข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

4. ศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำขณะฝนตก โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5. ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์เฉพาะถิ่นของแบบจำลอง

6. เสนอแนะแนวทางที่จะนำมาปรับปรุงระบบระบายน้ำภายในพื้นที่ อย่างมีประสิทธิภาพ

การตรวจเอกสาร

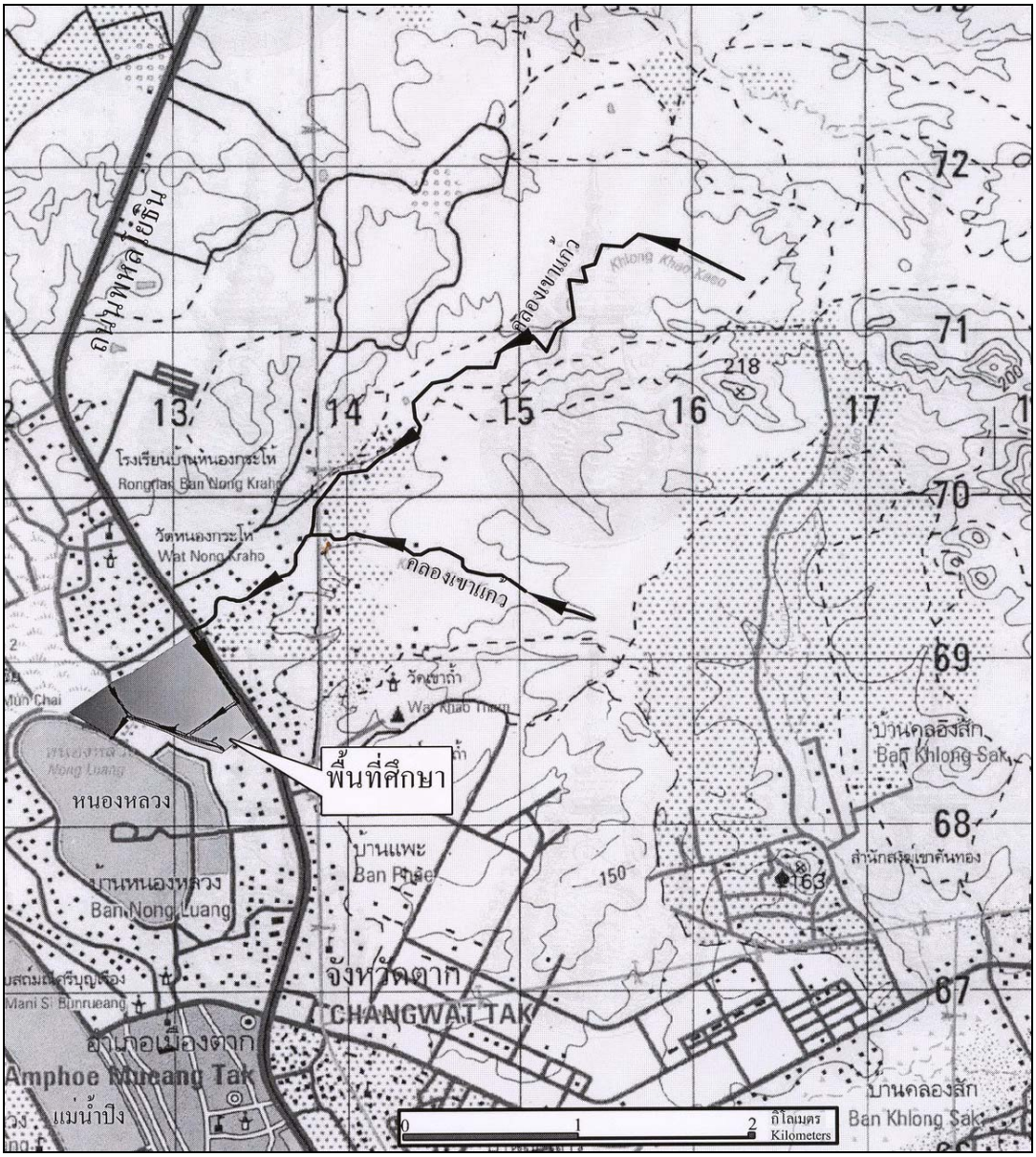
1. พื้นที่ศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก ตั้งอยู่ในอำเภอเมือง จังหวัดตาก ซึ่งอยู่ในภาคเหนือค่อนไปทางตะวันตกของประเทศไทย อยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่15 องศา 50 ลิปดา 36 ฟิลิปดาเหนือ และเส้นลองติจูดที่ 99 องศา 7 ลิปดา 22 ฟิลิปดาตะวันออก มีระยะทางห่างจากจังหวัดกรุงเทพมหานคร ตามระยะทางทางหลวงหมายเลข 1 ถนนพหลโยธิน ประมาณ 426 กิโลเมตร วิทยาเขตตาก นั้นตั้งอยู่ทางซีกตะวันออกของจังหวัด โดยมีทิวเขาถนนธงชัยเป็นตัวแบ่งพื้นที่

2. ลักษณะทั่วไป

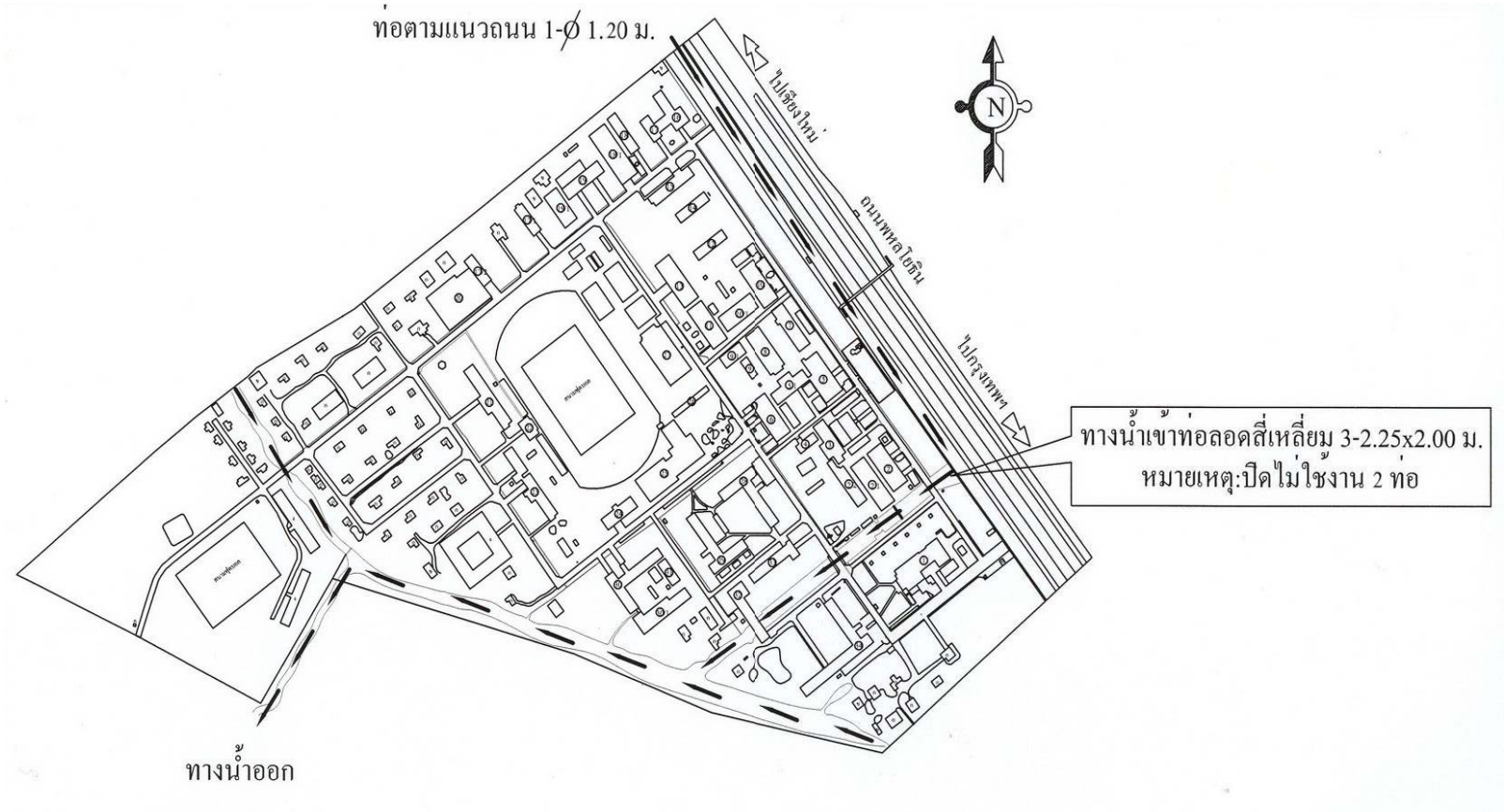
2.1 สภาพภูมิประเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านา วิทยาเขตตาก มีพื้นที่ประมาณ 344,000 ตารางเมตร (215 ไร่) วิทยาเขตตากตั้งอยู่บนที่ราบลุ่ม สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 112.5 เมตร ลักษณะพื้นที่เป็นเนินลาดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือลงสู่ทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีคลองไหลผ่านภายในพื้นที่วิทยาเขตตาก ซึ่งคลองนี้เป็นจุดรับน้ำจากภายนอกเข้าสู่ภายในวิทยาเขต และน้ำที่เข้ามาสู่คลองนั้นไหลมาจากเนินเขาทางทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ลงมาตามคลองเขาแก้ว และรวมกับน้ำจากพื้นที่ชุมชนด้านหน้าวิทยาเขตตาก ไหลลงมารวมกันในทางระบายน้ำของถนนพหลโยธิน และไหลผ่านท่อลอดถนนพหลโยธินด้านหน้าเข้าสู่คลองภายในวิทยาเขต ซึ่งคลองนี้ไหลผ่านพื้นที่วิทยาเขตระยะทางยาวประมาณ 1 กิโลเมตร จากนั้นจะไหลลงสู่หนองหลวง ซึ่งหนองหลวงเป็นจุดรับน้ำ จากพื้นที่ของหน่วยงานราชการและบริเวณชุมชนที่ตั้งอยู่โดยรอบและไหลผ่านทางระบายน้ำของจังหวัด ลงสู่แม่น้ำปิงต่อไป



ภาพที่ 4 ที่ตั้งของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก

ที่มา: แผนที่ระวาง 4842 IV ลำดับชุด L7018 มาตราส่วน 1: 50,000 กรมแผนที่ทหาร (2540)



ภาพที่ 5 พื้นที่ศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก

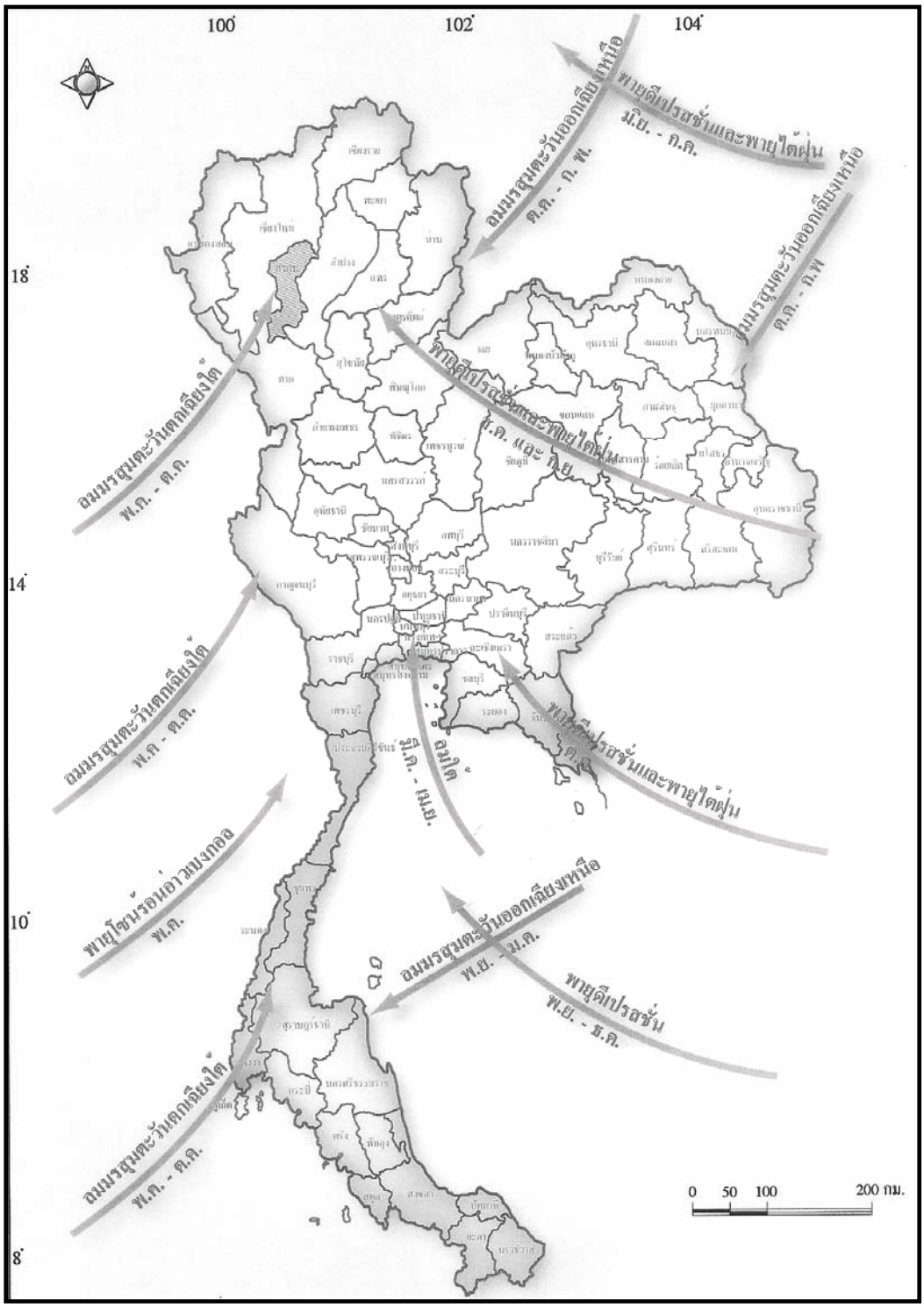
2.2 สภาพภูมิอากาศ

เนื่องจากจังหวัดตากมีสภาพภูมิประเทศแบ่งออกเป็นสองฝั่ง คือ ฝั่งตะวันออกและฝั่งตะวันตก โดยมีเทือกเขาถนนธงชัยแบ่งกลาง ทำให้ลักษณะภูมิอากาศของจังหวัดแตกต่างกันไปด้วย เนื่องจากเทือกเขาถนนธงชัยเป็นตัวปะทะมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ที่พัดมาจากมหาสมุทรอินเดียและทะเลอันดามันทำให้ซีกตะวันออกจะได้รับความชื้นจากลมมรสุมไม่เต็มที่ ในขณะที่ฝั่งตะวันตกจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมมากกว่า จึงทำให้ปริมาณฝนตกในซีกตะวันตกโดยเฉพาะในที่ที่อยู่ในเขตภูเขา เช่น อำเภอท่าสองยาง อำเภอพบพระ และอำเภออุ้มผาง อากาศจะหนาวเย็นมากกว่าซีกตะวันออก

2.2.1 สภาพอากาศโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์เป็นต้นไป จนถึงกลางเดือนพฤษภาคม ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป จนถึงเดือนตุลาคมโดยฝนจะตกทางด้านตะวันตกมากกว่าด้านตะวันออก เนื่องจากอยู่ในเขตอิทธิพลของมรสุมและดีเปรสชั่น นอกจากนี้ด้านตะวันตกมีพื้นที่ป่าไม้สูงกว่าด้วย จึงทำให้เก็บความชุ่มชื้นได้เป็นอย่างดี ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคมเป็นต้นไป จนถึง เดือนกุมภาพันธ์ อากาศจะหนาวจัดในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม

2.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงระหว่างปี 2535 ถึง 2545 จังหวัดตากมีความชื้นเฉลี่ยตลอดปี มีค่าอยู่ในช่วง 69 เปอร์เซ็นต์ถึง 71.8 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเฉลี่ยต่ำสุดปานกลางอยู่ในช่วง 28 เปอร์เซ็นต์ถึง 36 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพัทธ์ค่าเฉลี่ยสูงสุดปานกลาง 92 เปอร์เซ็นต์ถึง 96 เปอร์เซ็นต์

2.2.3 ปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยของจังหวัดตากระหว่างปี 2535 ถึง 2545 จะอยู่ในช่วง 651.10 มม. ถึง 1,556.30 มม. ฝนตกมากที่สุดในปี 2542 วัดได้ถึง 1,556.30 มม. จำนวนวันฝนตก 154 วัน ส่วนฝนตกน้อยที่สุดในปี 2536 วัดได้ 651.10 มม. จำนวนวันฝนตก 93 วัน



ภาพที่ 6 ทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่นและตำแหน่งของร่องความกดอากาศที่พัดผ่านจังหวัดตาก
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2546)

3. ลักษณะ สาเหตุ และปัจจัยที่ทำให้เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก

3.1 สาเหตุที่เกิดน้ำท่วมซ้ำซาก อุดม และ สุธารา (2541)

3.1.1 ฝนตกหนักจากพายุฝนหรือพายุฝนฟ้าคะนอง

พายุฝนหรือพายุฝนฟ้าคะนองที่เกิดติดต่อกันเป็นเวลาหลายชั่วโมง ทำให้ฝนตกหนักต่อเนื่องกัน มีปริมาณน้ำฝนมาก ไม่อาจไหลลงสู่ต้นน้ำลำธารได้ทัน จึงท่วมในพื้นที่ที่ต่ำ แม้ว่าพายุฝนฟ้าคะนองจะแพร่กระจายครอบคลุมพื้นที่ไม่มากนัก และช่วงเวลาฝนตกไม่นานเป็นวัน ๆ แต่จะมีความเข้มข้นค่อนข้างสูง ดังนั้น ลักษณะน้ำท่วมจึงเป็นบริเวณพื้นที่ลาดชันตอนบนและในพื้นที่ชุมชนที่มีการระบายน้ำจากพื้นที่ไม่เพียงพอ เช่น ในที่ราบเชิงเขาใกล้ต้นน้ำในช่วงปลายฤดูร้อนและฤดูฝน เมื่อเกิดพายุฝนฟ้าคะนองและฝนตกหนักในป่าบนภูเขา ฝนที่ตกมีปริมาณมาก จะไหลบ่าลงมาอย่างรุนแรงและรวดเร็วลงสู่ที่ราบเชิงเขา ทำให้เกิดน้ำท่วมขึ้นในระยะสั้น ๆ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า น้ำท่วมโดยฉับพลัน

3.1.2 ฝนตกหนักจากลมจรหรือพายุหมุน

ลมจรหรือพายุหมุน (Cyclonic Storm) ที่มีอิทธิพลต่อประเทศไทยมีแหล่งกำเนิดทั้งทางด้านตะวันออก และด้านตะวันตกของประเทศ โดยมีลักษณะดังนี้

ก. พายุหมุนที่เกิดทางด้านตะวันออกของประเทศไทย เป็นพายุหมุนที่มีอิทธิพลต่อลมฟ้าอากาศ มีแหล่งกำเนิด 2 แหล่ง คือ มหาสมุทรแปซิฟิก และทะเลจีน พายุหมุนที่เกิดบริเวณนี้จะมีชื่อเรียกตามขนาดความเร็วลมใกล้ศูนย์กลาง เป็นพายุ 3 ระดับ คือ พายุดีเปรสชั่น(Depression) พายุโซนร้อน (Tropical Storm) พายุไต้ฝุ่น (Typhoon)

ข. พายุหมุนที่เกิดทางด้านตะวันตกของประเทศไทย มีแหล่งกำเนิด ในอ่าวเบงกอล พายุที่เกิดขึ้นบริเวณนี้จะมีชื่อเรียกตามขนาดความเร็วลมใกล้ศูนย์กลางพายุ 2 ระดับ คือ พายุดีเปรสชั่น (Depression) และพายุไซโคลน (Cyclone)

3.1.3 น้ำทะเลหนุน (Hight Tide)

ในระยะที่น้ำทะเลสูง โดยเฉพาะเมื่อดวงอาทิตย์ และดวงจันทร์อยู่ในแนวเดียวกัน ทำให้ระดับน้ำทะเลขึ้นสูงสุด ทำให้ระดับน้ำในแม่น้ำสูงขึ้นประกอบกับเวลาที่น้ำป่าจากภูเขาไหลลงสู่แม่น้ำ ทำให้น้ำในแม่น้ำไม่อาจไหลลงสู่ทะเลได้จึงเกิดน้ำท่วมขึ้น และถ้ามีฝนตกหนัก หรือพายุหมุนเกิดขึ้นในช่วงนี้ ความเสียหายจากอุทกภัยจะมีมากขึ้นตามลำดับ

3.1.4 ลมมรสุมแรง (Strong Monsoons)

ลมมรสุม คือ ลมที่พัดในทิศทางประจำเป็นระยะเวลานานจนเป็นฤดูกาล ในประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม 2 ชนิด

ก. ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Southwest Monsoon) จะพัดจากมหาสมุทรอินเดีย ปะทะด้านตะวันตกของประเทศ และพัดผ่านประเทศไทยในแนวจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มรสุมนี้จะเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม และจะสิ้นสุดในเดือนตุลาคม เมื่อลมมรสุมนี้มีกำลังแรงจัด ความเร็วลมจะสูงถึง 30 น็อตหรือมากกว่า และมีระยะเวลาการเกิดติดต่อกันหลายวัน จะมีฝนตกหนักทำให้เกิดน้ำท่วมหนักได้ และเมื่อมีพายุหมุนเกิดขึ้นจะเสริมให้ลมมรสุมนี้รุนแรงขึ้น

ข. ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Northeast Monsoon) พัดจากประเทศจีนและไซบีเรียเข้าสู่ประเทศไทย ปะทะขอบด้านตะวันออกของประเทศ และพัดผ่านประเทศไทยในแนวตะวันออกเฉียงเหนือไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลมมรสุมนี้มีกำลังแรงจัดเป็นคราว ๆ เมื่อบริเวณความกดอากาศสูงในประเทศจีนมีกำลังแรงขึ้น จะทำให้คลื่นค่อนข้างใหญ่ในอ่าวไทยมีระดับสูงกว่าปกติ บางครั้งทำให้มีฝนตกหนักในภาคใต้ฝั่งตะวันออกตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไป ทำให้เกิดน้ำท่วมได้อย่างกว้างขวางในบริเวณภาคใต้

ตารางที่ 1 เนื้อที่พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมซ้ำซาก อ.เมือง จ.ตาก

อำเภอ	ตำบล	พื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมซ้ำซาก (ไร่)		
		เสี่ยงต่ำ	เสี่ยงปานกลาง	เสี่ยงสูง
อ.เมือง	ต.เชียงเงิน (เขตเทศบาล)	1,462	-	-
	ต.ตลุกกลางทุ่ง	51,091	32,987	-
	ต.น้ำรึม	27,935	10,575	-
	ต.ป่ามะม่วง	47,256	2,041	-
	ต.โป่งแดง	121,860	96,685	-
	ต.แม่ท้อ	31,860	4,700	-
	ต.ไม้งาม	22,929	24,450	-
	ต.ระแหง(เขตเทศบาล)	1,421	-	-
	ต.วังประจบ	82,558	55,323	-
	ต.วังหิน	50,071	16,364	-
	ต.หนองบัวใต้	40,113	6,204	-
	ต.หนองบัวเหนือ	22,733	14,013	-
	ต.หนองหลวง (เขตเทศบาล)	556	-	-
	ต.หัวเดียด (เขตเทศบาล)	1,043	-	-

ที่มา: อุดม และ สุธารา (2541)

3.2 ลักษณะน้ำท่วม

สภาพน้ำท่วมรุนแรง หรืออุทกภัยที่เกิดขึ้นในประเทศไทย แบ่งตามสภาพการเกิดมี 2 ลักษณะคือ

3.2.1 สภาพน้ำท่วมอันเกิดจากเหตุการณ์ธรรมชาติ

ก. สภาพน้ำท่วมที่เกิดจากน้ำป่าไหลหลากจากภูเขาลงมาท่วมฉับพลัน สภาพน้ำท่วมเช่นนี้เกิดจากฝนตกหนักบริเวณต้นน้ำลำธาร น้ำจึงไหลหลากจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ เพื่อไหลลงสู่ลำน้ำ ลำธาร และแม่น้ำต่อไป ลักษณะของน้ำท่วมประเภทนี้ กระแสน้ำจะไหลแรงบางครั้งอาจ

พัดพาตะกอนดินทราย และต้นไม้ไหลมาล้มทับและมาตกค้างบริเวณที่ราบเชิงเขา เมื่อกระแสน้ำไหลอ่อนลงทำให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่เกษตรกรรม และบ้านเรือนในเขตชุมชนตลอดจนมีการเสีย ชีวิตของมนุษย์และสัตว์เลี้ยงเป็นประจำ

ข. สภาพน้ำท่วมที่เกิดจากน้ำท่วมตลิ่งทั้ง 2 ฝั่งลำน้ำ เนื่องจากปริมาณน้ำป่าที่ไหลลงสู่แม่น้ำ มีปริมาณเกินความจุของแม่น้ำที่จะรับได้ จึงไหลล้นตลิ่ง สภาพน้ำท่วมประเภทนี้ส่วนใหญ่จะเกิดความเสียหายเกี่ยวกับน้ำท่วมบ้านเรือนราษฎร เขตชุมชน คลองสองฝั่งลำน้ำพื้นที่เกษตรกรรมเสียหาย สัตว์เลี้ยงล้มตาย แต่การสูญเสียชีวิตมนุษย์จะมีน้อยลงเพราะส่วนใหญ่จะเกิดน้ำท่วมในที่ราบ

ค. สภาพน้ำท่วมปกติของแม่น้ำต่าง ๆ บริเวณปากแม่น้ำ สภาพน้ำท่วมลักษณะนี้เกิดจากในระยะน้ำนองของแม่น้ำ ขณะเมื่อน้ำนองจะไหลหลากลงสู่ทะเลบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งในช่วงน้ำทะเลหนุนสูงแต่ละวันนั้น ปริมาณน้ำนองของแม่น้ำที่ไหลหลากลงมาค่อนข้างมากจะถูกน้ำทะเลหนุนทำให้เกิดน้ำท่วมตลิ่งในบริเวณที่ต่ำของแม่น้ำและลำคลองที่ต่อเชื่อมกับแม่น้ำ

3.2.2 สภาพน้ำท่วมอันเกิดจากสิ่งที่มนุษย์ทำขึ้น

ก. สภาพน้ำท่วมเนื่องจากเขื่อนพัง สภาพน้ำท่วมลักษณะนี้จะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงและรวดเร็ว โดยกระแสน้ำที่ทะลักออกจากเขื่อนที่พังจะไหลหลากลงสู่ทางท้ายน้ำอย่างรุนแรง พัดบ้านเรือน สิ่งก่อสร้าง ที่ตั้งอยู่บริเวณสองฝั่งลำน้ำท้ายเขื่อนพังทลายลง น้ำท่วมพื้นที่เกษตรกรรมเสียหาย อาจมีประชาชนเสียชีวิต ตลอดจนสัตว์เลี้ยงล้มตาย

ข. สภาพน้ำท่วมที่เกิดจากการก่อสร้างถนนกีดขวางทางน้ำ ในบริเวณพื้นที่ที่มีฝนตกหนักจะมีน้ำไหลหลากลงสู่ที่ต่ำหรือน้ำไหลบ่าทุ่ง เพื่อลงสู่ลำห้วย ลำธาร และแม่น้ำต่าง ๆ แต่เมื่อน้ำป่าและน้ำบ่าทุ่งดังกล่าว ไหลมาติดถนนที่ก่อสร้างขวางลำน้ำตลอดแนวน้ำ ทางด้านต้นน้ำของถนนก็จะยกระดับสูงขึ้น เพื่อให้น้ำไหลทะลักออกทางสะพาน และท่อลอดของลำห้วยต่าง ๆ ในแนวถนนนั้นไปได้มากขึ้น ถ้าน้ำมีปริมาณมากอาจทำให้สะพานพัง ท่อลอดขาด ถนนขาดหรือน้ำล้นข้ามถนนเป็นช่วง ๆ

ค. สภาพน้ำท่วมที่เกิดจากน้ำฝนขังท่วมในเขตชุมชน และในเขตเมืองต่าง ๆ เมื่อเกิดฝนตกหนักในเขตชุมชนหรือเขตเมือง โดยมีฝนตกติดต่อซ้ำ ๆ กัน พื้นที่รับน้ำตามธรรมชาติ

มีสภาพน้ำเต็มพื้นที่แล้ว เมื่อเกิดฝนตกหนักซ้ำเติมลงมาในบริเวณนั้นอีกจะเกิดน้ำฝนขังท่วมขึ้นทันที เพราะทางระบายน้ำไม่เพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตชุมชนเมืองส่วนใหญ่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สิน อาคาร บ้านเรือน โกดังคลังสินค้า แหล่งอุตสาหกรรม ตลอดจนความเป็นอยู่ของราษฎรในบริเวณนั้น

4. หลักการระบายน้ำ

ระบบระบายน้ำ จำแนกตามคุณสมบัติได้ 3 ระบบย่อย

4.1 ระบบน้ำท่าผิวดิน

ระบบน้ำท่าผิวดินประกอบด้วยพื้นที่รับน้ำแปลงย่อย ของทางเข้าสู่ท่อระบายน้ำ การแบ่งพื้นที่รับน้ำย่อย ทำได้โดยใช้แนวถนน แนวสันเนิน ความลาดชันของพื้นที่ ความขรุขระทางชลศาสตร์ แหล่งกำเนิดน้ำเสีย และลักษณะการใช้พื้นที่

ข้อมูลอุทกวิทยาที่ใช้กับระบบน้ำท่าผิวดิน คือ ไฮเอ็ทโดกราฟของฝน อัตราการสูญเสียน้ำลงไปในดิน และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสิ่งสกปรกกับเวลา ที่เกิดขึ้นในพื้นที่รับน้ำ ซึ่งปริมาณสิ่งสกปรกจะขึ้นอยู่กับพายุฝนและสิ่งปกคลุมผิวดิน

กระบวนการไหลบ่าไปตามผิวดิน จะเปลี่ยนไฮเอ็ทโดกราฟของฝนส่วนเกินไปเป็นกราฟน้ำท่า ดังนั้นที่จุดทางเข้าสู่ระบบขนส่งน้ำก็จะวัดอัตราการไหลของน้ำได้ เมื่อนำมาลงแผนกับเวลาก็จะได้กราฟน้ำท่าที่จุดทางเข้า (inlet hydrograph) ขณะเดียวกันกับที่วัดอัตราการไหลของน้ำถ้าวัดปริมาณสิ่งสกปรกที่จุดทางเข้าด้วย เช่นกันกราฟทั้งสองที่จุดทางเข้า คือ ข้อมูลออก (output data) ของระบบน้ำท่าผิวดิน และก็คือข้อมูลเข้า (input data) ของระบบขนส่งน้ำด้วยเช่นกัน

4.2 ระบบขนส่งน้ำ

ระบบขนส่งน้ำ คือระบบที่นำน้ำ และสิ่งสกปรกที่รับจากระบบน้ำท่าผิวดินไปส่งให้กับระบบแหล่งรับน้ำ ระบบขนส่งน้ำประกอบด้วย ท่อหรือทางน้ำเปิด ทั้งที่อยู่บนดินและใต้ดิน ต่อเชื่อมกันเป็นระบบข่ายงาน ปริมาณการไหลและปริมาณสิ่งสกปรกจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนจุดทางเข้าที่เพิ่มขึ้นของระบบขนส่งน้ำ น้ำที่ไหลไปตามระบบขนส่งอาจจะลดลง ในกรณีที่มีการผันน้ำบางส่วนจากระบบขนส่งน้ำลงสู่อ่างพักน้ำ หรือมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติชลศาสตร์บางประการของระบบ ข้อมูลที่ออกจากระบบขนส่งน้ำ ประกอบด้วย กราฟน้ำท่า และ กราฟปริมาณสิ่งสกปรก ซึ่งก็คือข้อมูลเข้าของระบบแหล่งรับน้ำ

4.3 ระบบแหล่งรับน้ำ

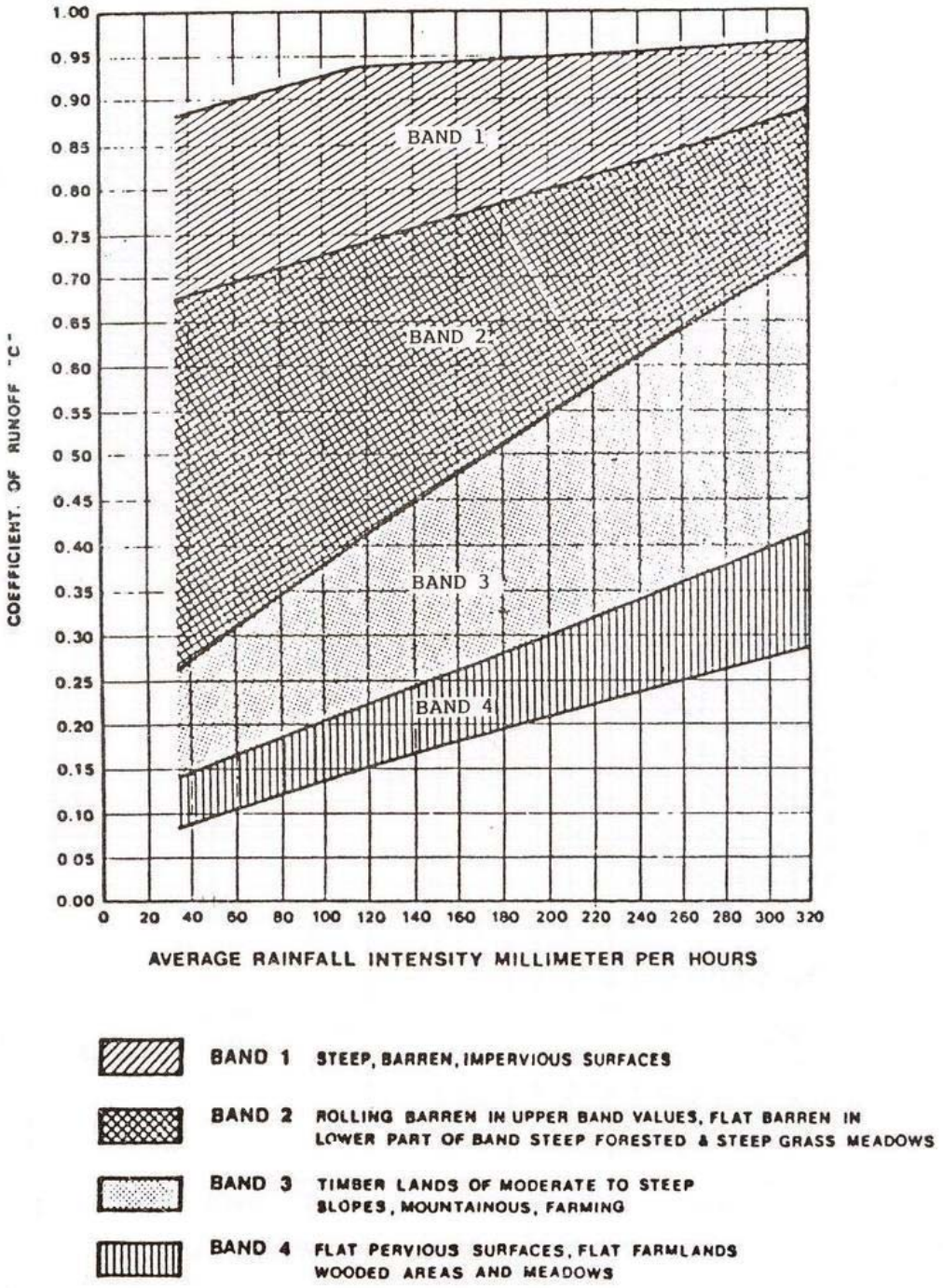
ระบบแหล่งรับน้ำมีหลายรูปแบบ เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ ปากอ่าว หรือทะเล ผลกระทบของอัตราการไหลที่มีต่อปากอ่าว จะแสดงในรูปของความเข้มข้นของ คุณภาพสิ่งสกปรกตัวแทน การแพร่กระจาย การคงอยู่ของสิ่งสกปรกเมื่อเวลาผ่านไป และความถี่ของสิ่งสกปรกที่มีค่าเกินค่ากำหนดไว้

5. วิธี Rational Formula

วิธีนี้พัฒนาโดย Mulvany (1850) วิศวกรชาวไอริช เหมาะสำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็ก กรณีลุ่มน้ำมีพื้นที่น้อยกว่า 25 ตารางกิโลเมตร ในการคำนวณหาปริมาณการไหลสูงสุด (flood peak) โดยตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าฝนตกกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ มีรูปแบบดังนี้

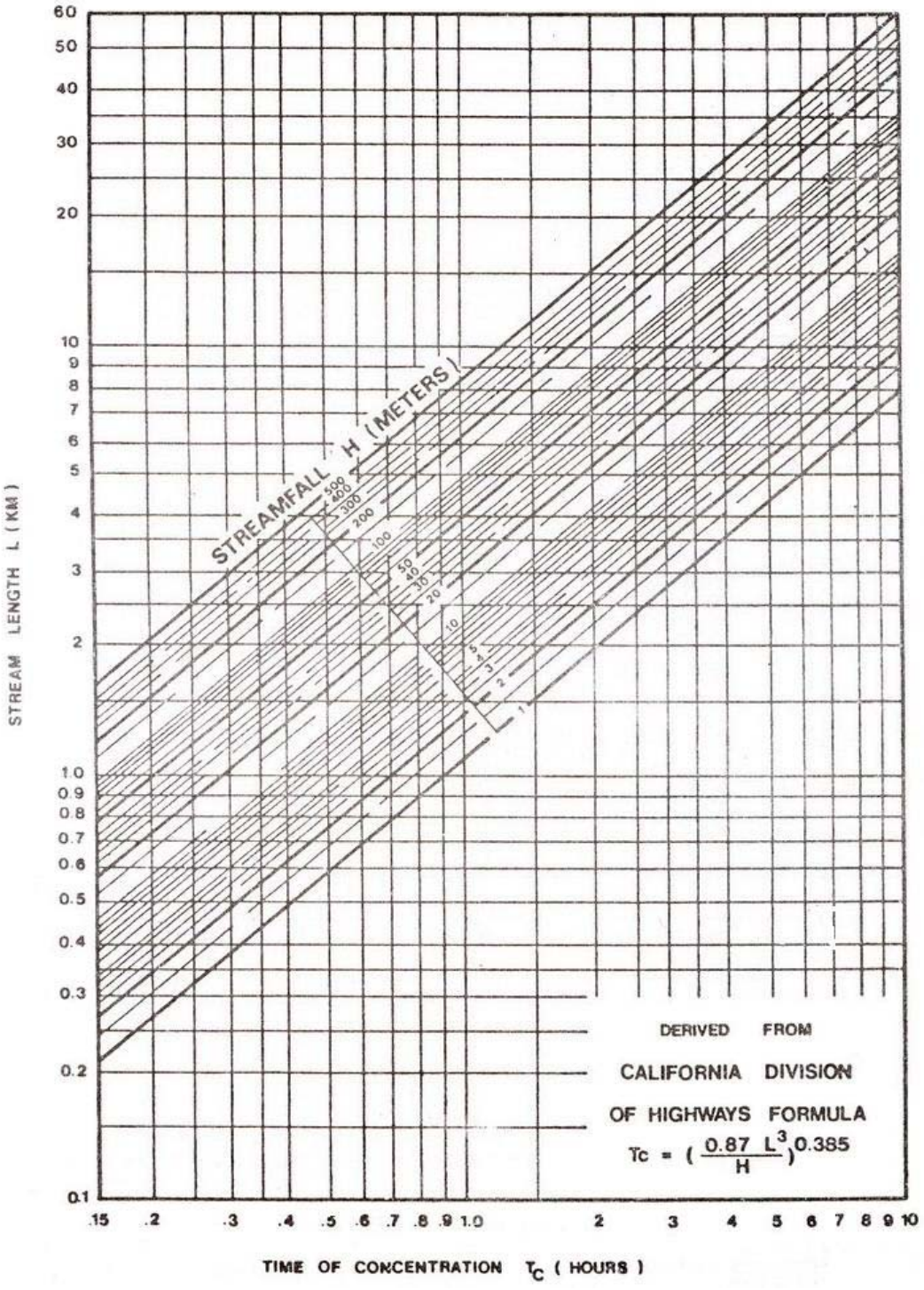
$$Q = 0.278\, C\, i\, A \qquad (1)$$

โดยที่ Q = ปริมาณการไหลสูงสุด (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
C = ค่าสัมประสิทธิ์แสดงอัตราส่วนระหว่างน้ำท่าและน้ำฝน
I = ความเข้มฝน (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)
A = พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตารางกิโลเมตร)



ภาพที่ 7 กราฟสำหรับอ่านค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C ที่ใช้ในสูตร rational formula

ที่มา: วีระพล (2531)



ภาพที่ 8 กราฟสำหรับอ่านค่าเวลาน้ำท่าเข้มข้น T_C

ที่มา: วีระพล (2531)

ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C อ่านได้จากกราฟในภาพที่ 7 สำหรับความเข้มฝน i ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา (Duration) และรอบปีการเกิดซ้ำ (return period) ของฝน ช่วงเวลาของฝนที่ใช้ในการหาค่า i นิยมสมมุติให้ใกล้เคียงกับเวลาน้ำท่าเข้มข้น T_C ดังแสดงในสมการที่ (2) หรืออ่านได้จากกราฟภาพที่ 8 ส่วนขนาดรอบปีการเกิดซ้ำขึ้นอยู่กับความสำคัญและสภาพพื้นที่ดังแสดงในตารางที่ 2

เมื่อกำหนดค่าช่วงเวลาและรอบปีการเกิดซ้ำของฝนได้แล้ว และประมาณค่าความเข้มฝน i ซึ่งอ่านได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มน้ำฝน - ช่วงเวลา - ความถี่การเกิดซ้ำได้ (Intensity -Duration - Frequency Curve) ของแต่ละสถานีดังแสดงในภาพที่ 10

5.1 เวลาการรวมตัว (time of concentration)

เวลาการรวมตัวของน้ำท่า มีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่เช่น ความชัน ของพื้นที่ลำน้ำ และลักษณะรูปร่างของพื้นที่รับน้ำ เป็นต้น โดยถือว่าเท่ากับเวลาที่น้ำท่าไหลออกจากจุดไกลที่สุดของพื้นที่รับน้ำ มายังจุดที่กำลังพิจารณา สมการในการหาค่าเวลาการรวมตัว (time of concentration) ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

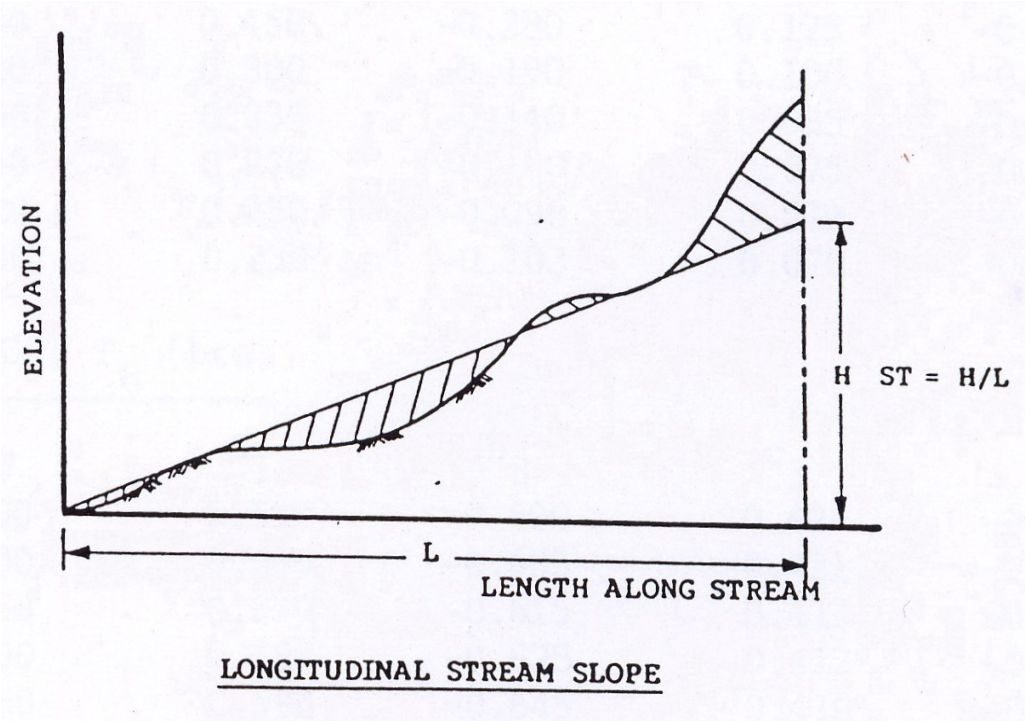
$$T_c = \left(0.87 L^{3} / H\right)^{0.385} \qquad (2)$$

โดยที่ T_C = เวลาน้ำท่าเข้มข้น (ชั่วโมง)

L = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (กิโลเมตร)

H = ความแตกต่างระหว่างระดับพื้นดินที่จุดออกและจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (เมตร)

การใช้ค่า H ตามคำจำกัดความดังกล่าวอาจเป็นผลทำให้ได้ค่า T_C ค่อนข้างสั้น จึงขอแนะนำให้ใช้ค่า H เฉลี่ยซึ่งคำนวณได้จาก การคูณความยาว L ด้วยความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่และเปลี่ยนหน่วยให้เป็นเมตร วีระพล (2531) ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การหาเส้นความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำ

ที่มา: วีระพล (2531)

ตารางที่ 2 ขนาดรอบปีการเกิดซ้ำ ขึ้นอยู่กับความสำคัญและสภาพพื้นที่

สภาพพื้นที่	รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี)
ระบบระบายน้ำในเมือง	
เมืองเล็ก	2 - 25
เมืองใหญ่	25 - 50

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์การไหลนองตามลักษณะการใช้พื้นที่โดย ASCE (พ.ศ.2512)

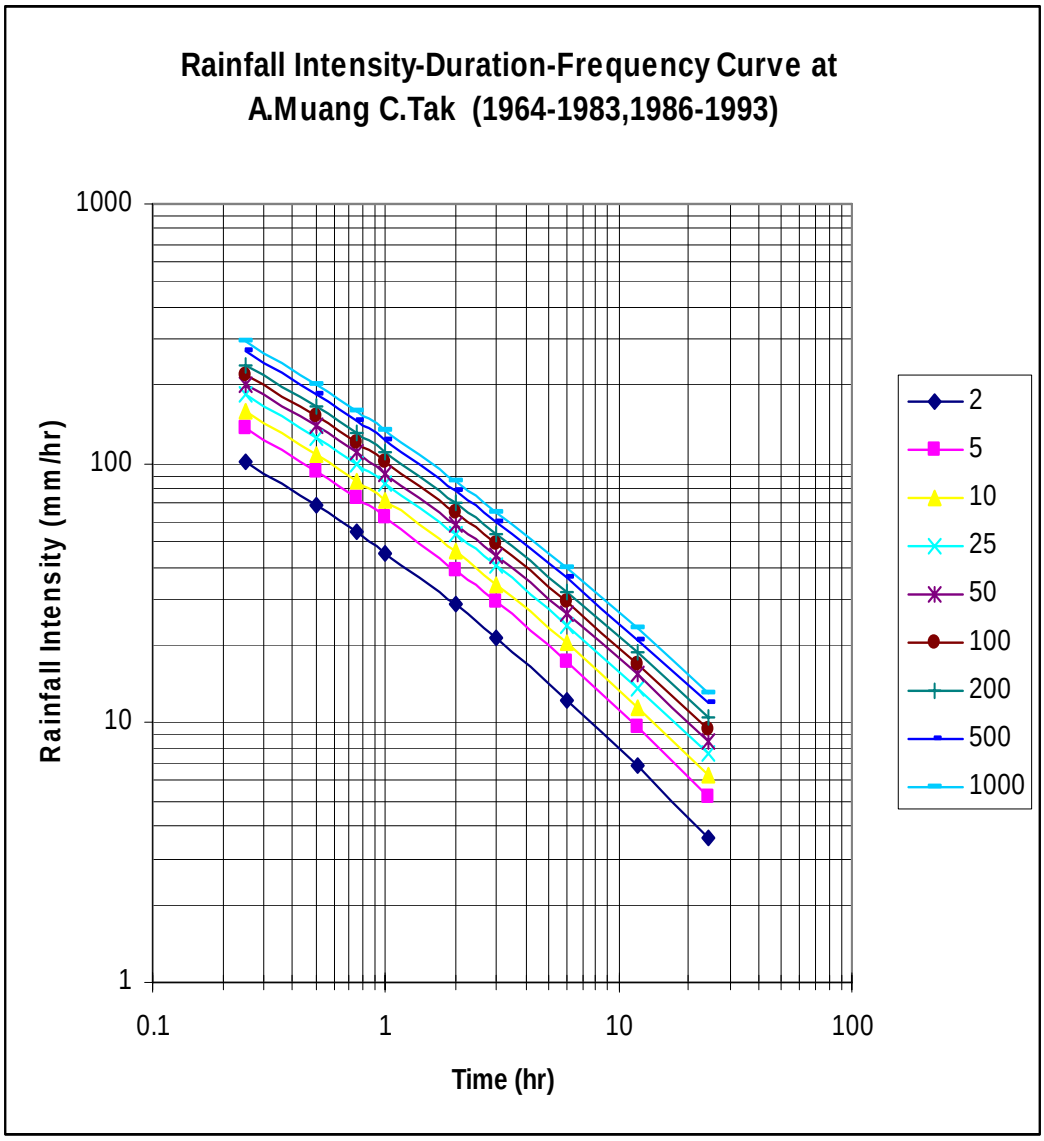
ลักษณะการใช้พื้นที่	C
ย่านธุรกิจการค้า	
ย่านธุรกิจหนาแน่น	0.70 - 0.95
ย่านธุรกิจร้านค้าย่อยในย่านที่พักอาศัย	0.50 - 0.70
ย่านที่พักอาศัย	
บ้านเดี่ยว	0.30 - 0.50
บ้านคู่หรือบ้านแฝด	0.40 - 0.60
ทาวน์เฮ้าส์	0.60 - 0.75
บ้านพักอาศัยอยู่นอกเมือง	0.25 - 0.40
อพาร์ทเมนท์, อาคารชุด	0.50 - 0.70
ย่านอุตสาหกรรม	
อุตสาหกรรมเบา	0.50 - 0.80
อุตสาหกรรมหนัก	0.60 - 0.90
สวนสาธารณะ	0.10 - 0.25
สนามเด็กเล็ก และสนามกีฬา	0.20 - 0.35
บริเวณสถานีรถไฟหรือสถานีขนส่ง	0.20 - 0.35
ที่ว่างเปล่าไม่ได้ใช้งาน	0.10 - 0.30

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์การไหลนองตามลักษณะพื้นผิวต่างๆ โดย ASCE (พ.ศ.2512)

ลักษณะการใช้พื้นที่	C
1. ถนน	
ถนนลาดยาง และถนนคอนกรีต	0.70 - 0.95
ถนนอิฐ คอนกรีตแผ่น	0.70 - 0.85
2. หลังคา	0.75 - 0.95
3. สนามหญ้า ลักษณะดินเป็นทราย	
พื้นที่ค่อนข้างเรียบ มีความลาด 2 %	0.05 - 0.10
พื้นที่ชันปานกลาง มีความลาด 2 % ถึง 7 %	0.10 - 0.15
พื้นที่ชัน มีความลาด 7%	0.15 - 0.20
4. สนามหญ้า ลักษณะดินแข็ง	
พื้นที่ค่อนข้างเรียบ มีความลาด 2 %	0.13 - 0.17
พื้นที่ชันปานกลาง มีความลาด 2 % ถึง 7 %	0.18 - 0.22
พื้นที่ชัน มีความลาด 7%	0.25 - 0.35

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของพื้นที่รับน้ำ (Viessman and Lewis, 1996)

Character of surface	Return Period (years)						
	2	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**500**
Developed							
Asphaltic	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concrete/roof	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Grass							
Poor condition (grass cover less than 50% of the area)							
Flat,0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Average,2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Steep,over7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Fair condition (grass cover on 50% to 75% of the area)							
Flat,0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Average,2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Steep,over7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.51	0.60
Good condition (grass cover larger than 75% of the area)							
Flat,0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Average,2-7%	0.29	0.32	0..35	0.39	0.42	0.46	0.56
Steep,over7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Undeveloped							
Cultivated Land							
Flat,0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Average,2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Steep,over7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pasture/Range							
Flat,0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Average,2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.60
Steep,over7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Forest/Woodlands							
Flat,0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Average,2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Steep,over7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58



ภาพที่ 10 กราฟ Intensity – Duration - Frequency Curve ของสถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองตาก
ที่มา: พิสิษฐ์ และ จิรา (2544)

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน - ช่วงเวลา - ความถี่ของฝน (Intensity Duration Frequency Curve)

Intensity Duration Frequency Curve คือ โค้งที่แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มเฉลี่ยสูงสุดของฝน กับช่วงเวลาการตกของฝน ที่คาบการกลับที่กำหนด สามารถหาได้เมื่อมีข้อมูลฝนจากเครื่องบันทึกอัตโนมัติที่จัดเก็บไว้มากเพียงพอ โดยมีขั้นตอน คือ

5.2.1 กำหนดช่วงเวลา (duration) ที่เหมาะสม เช่น 15 นาที ถึง 1 ชั่วโมง

5.2.2 เลือกปริมาณฝนสูงสุด จากข้อมูลที่มีการจัดเก็บไว้ในแต่ละช่วงเวลา ของแต่ละปี

5.2.3 คำนวณค่าความเข้มเฉลี่ย (intensity) ในหน่วย มิลลิเมตร/ชั่วโมง

5.2.4 เลือกรูปแบบการกระจาย (Cumulative Distribution Function: CDF) ที่เหมาะสมกับข้อมูล เพื่อคำนวณค่าความเข้มเฉลี่ยที่คาบการกลับ (returnperiod) ต่าง ๆ ของแต่ละช่วงเวลา

5.2.5 ทำการพล็อตค่าความเข้มเฉลี่ย ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ของแต่ละคาบการกลับ

พิสิษฐ์ และ จิรา (2544) ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มฝน - ช่วงเวลา - ความถี่ฝนของพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองตาก ดังแสดงไว้ในภาพที่ 10

6. สัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n

ในการเลือกสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะต้องอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจ (judgement) จากองค์ประกอบต่าง ๆ (factors) ที่สำคัญ ดังนี้

6.1 ความขรุขระของผิวทางน้ำเปิด (surface roughness) หมายถึง ขนาดและรูปร่างของวัสดุที่เป็นผิวของทางน้ำเปิด ถ้าเป็นวัสดุเม็ดละเอียด (fine grain) มีค่า n ต่ำ ในขณะที่วัสดุเม็ดหยาบ (coarse grain) จะมีค่า n สูง

6.2 พืชปกคลุม (Vegetation) หมายถึง การที่มีพืชเจริญเติบโตในทางน้ำเปิด ลักษณะนี้จะทำให้ค่า n มากขึ้นทำให้ลดพื้นที่หน้าตัดการไหล ซึ่งผลของการมีพืชปกคลุมต่อสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความสูง ความหนาแน่น การกระจาย และชนิดของพืชปกคลุม

6.3 ความผันแปรและความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด (channel irregularities and channel alignment) คือ ความผันแปรของทางน้ำเปิด อันเนื่องมาจากความแปรเปลี่ยนของรูปร่าง หน้าตัดและขนาดตามความยาว ของทางน้ำเปิด ตลอดจนความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด ถ้ามีความเปลี่ยนแปลงมาก จะทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระมากตามไปด้วย

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ(Manning's coefficient, n) สำหรับทางน้ำเปิด

Channel Type	Manning n
Lined Channels	
- Asphalt	0.013 - 0.017
- Brick	0.012 - 0.018
- Concrete	0.011 - 0.020
- Rubble or riprap	0.020 - 0.035
- Vegetal	0.030 - 0.40
Excavated or dredged	
- Earth, straight and uniform	0.020 - 0.030
- Earth, winding, fairly uniform	0.025 - 0.040
- Rock	0.030 - 0.045
- Unmaintained	0.050 - 0.140
Natural channels (minor streams, top width at flood stage < 100 ft)	
- Fairly regular section	0.030 - 0.070
- Irregular section with pools	0.040 - 0.100

ที่มา: ASCE (1982)

6.4 การกัดเซาะและการตกตะกอน (scouring and silting) เมื่อทางน้ำเปิดถูกกัดเซาะโดยกระแสน้ำมาก ก็เท่ากับเป็นการเพิ่มความขรุขระของผนังคลอง ทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นผิวมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม หากมีการตกตะกอนของวัสดุที่มีความละเอียดกว่าผิวทางน้ำเปิดจะช่วยลดความขรุขระของพื้นผิว ทำให้สภาพการไหลสะดวกยิ่งขึ้น ดังนั้น สัมประสิทธิ์ความขรุขระจะมีแนวโน้มน้อยลง

6.5 สิ่งกีดขวางทางน้ำ (Obstruction) เช่น ตอม่อสะพาน การรุกล้ำของสิ่งก่อสร้างต่างๆ เข้าไปในคลองหรือแม่น้ำต่าง ๆ จะทำให้น้ำไหลได้ยากยิ่งขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ชนิด ขนาด รูปร่าง จำนวน และการเรียงตัวของสิ่งกีดขวางต่าง ๆ

6.6 ความลึกและอัตราการไหล (stage and discharge) โดยปกติค่า n ในทางน้ำเปิดทั่วไป จะมี n ลดลงเมื่อมีความลึกมากขึ้น หรือมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น เพราะในขณะที่มีน้ำน้อยในทางน้ำเปิด ในส่วนของปริมาตรน้ำ จะมีการสัมผัสกับผนังทางน้ำเปิด คิดเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำทั้งหน้าตัดแล้ว เมื่อน้ำน้อยจะมีสัดส่วนการสัมผัสกับผนังทางน้ำเปิดมากกว่า จึงมีผลทำให้ค่า n ในน้ำน้อยมีแนวโน้มที่สูงกว่าในน้ำมาก แต่ก็ไม่เสมอไปทุกกรณี

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ(Manning's coefficient, n) สำหรับท่อระบายน้ำ

Conduit Material	**Manning n**
Asbestos-cement pipe	0.011 - 0.015
Brick	0.013 - 0.017
Cast iron pipe	
- Cement-lined & seal coated	0.011 - 0.015
Concrete (monolithic)	
- Smooth forms	0.012 - 0.014
- Rough forms	0.015 - 0.017
Concrete pipe	0.011 - 0.015
Corrugated-metal pipe	
(1/2-in. x 2-2/3-in. corrugations)	
- Plain	0.022 - 0.026
- Paved invert	0.018 - 0.022
- Spun asphalt lined	0.011 - 0.015
Plastic pipe (smooth)	0.011 - 0.015
Vitrified clay	
- Pipes	0.011 - 0.015
- Liner plates	0.013 - 0.017

ที่มา: ASCE (1982)

7. หลักการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

ในสภาพความเป็นจริงไม่มีแบบจำลองใด สามารถเลียนแบบการตอบสนองของพื้นที่ลุ่มน้ำ ที่มีต่อพายุฝนได้ถูกต้องสมบูรณ์แบบซึ่งโดยทั่วไปแบบจำลองมีความสามารถเพียงเลียนแบบขบวนการเกิด ที่มีความสำคัญในการตอบสนองของพื้นที่ลุ่มน้ำ ที่มีต่อพายุฝนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เท่านั้น ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณา ไม่เฉพาะแบบจำลองเพียงอย่าง เดียว แต่จะต้องพิจารณาถึงความสมเหตุสมผลในการประยุกต์ใช้แบบจำลองและผลที่ต้องการได้รับ ดังนั้นควรคำนึงถึงขั้นตอนในการใช้งานแบบจำลอง โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ นุชนารถ (2545)

7.1 การกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง (Definition of Goals and Objectives) ในขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดเป้าหมายพื้นฐานของงานที่ต้องทำ และข้อมูลที่ต้องการจากการวิเคราะห์หรือการออกแบบงานให้บรรลุวัตถุประสงค์ โดยรวมถึงการกำหนดข้อจำกัดต่าง ๆ ของงานที่ต้องทำ

7.2 การรวบรวมและตรวจสอบข้อมูล (Collation of Data) สำหรับในขั้นตอนนี้เป็นการรวบรวม ตรวจสอบ และวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่เพื่อให้เกิดความมั่นใจในความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองที่ถูกเลือก ในกรณีที่ข้อมูลที่ต้องการไม่เพียงพอที่จะทำให้บรรลุเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของงานที่ต้องการแล้ว มีความจำเป็นต้องย้อนกลับไปในขั้นตอนก่อนหน้านี้ และปรับเปลี่ยนข้อจำกัดในการศึกษา

7.3 การเลือกแบบจำลองและซอฟต์แวร์ (Selection of Models and Softwares) เมื่อได้มีการกำหนดเป้าหมายของงานที่ทำแล้ว ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตัดสินใจเลือกแบบจำลองทางอุทกวิทยาและชลศาสตร์ (Hydrologic and Hydraulic Model) ที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ รวมถึงซอฟต์แวร์หรือวิธีการในการคำนวณอื่นๆ ซึ่งจะถูกนำมาประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองนั้นจำเป็นต้องทำความเข้าใจอย่างชัดเชนต่อวัตถุประสงค์ของงาน เพื่อให้เข้าได้กับแบบจำลองที่เลือกไว้ ในกรณีที่ซอฟต์แวร์ที่ต้องการสำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองไม่มี ก็เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องปรับเปลี่ยนวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง หรือไม่เช่นนั้นก็จะต้องพัฒนาซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมขึ้นมาใช้งานเอง

7.4 การสอบเทียบ การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง และการใช้งานแบบจำลอง (Model Calibration, Model Validation, and Model Use) สำหรับในขั้นตอนนี้ผู้ใช้งานแบบจำลองอาจจะประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ หรือการคำนวณด้วยมือ โดยสรุปแล้วขั้นตอนต่อไปนี้จะถูกนำมาใช้ในการประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลองดังนี้

ก. การเตรียมความพร้อมของแบบจำลอง เช่น การใส่ข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง
ข. การสอบเทียบแบบจำลอง
ค. การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง
ง. ผลลัพธ์ของข้อมูลที่ได้รับจากแบบจำลอง

7.5 การแปลความหมายของผลลัพธ์จากแบบจำลองซอฟแวร์ (Interpretation of Model and Software Results) ขั้นตอนสุดท้ายในการใช้งาน แบบจำลองคือการวิเคราะห์และการแปลความหมายของข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้น เพื่อให้แน่ใจว่าได้บรรลุวัตถุประสงค์ของงาน ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนแรก ซึ่งในขั้นตอนสุดท้ายขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ใช้งานแบบจำลอง ที่จะสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้มาประยุกต์ใช้กับปัญหาของงานที่เกิดขึ้น ตลอดจนทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ตามที่ได้ออกแบบไว้ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัลลภ (2529) ได้ทำการตรวจสอบระบบระบายน้ำสภาพปัจจุบัน และเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปรับปรุงระบบระบายน้ำ ของพื้นที่ฝั่งตะวันออกของถนนพญาไทในเขตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยเน้นการศึกษาเฉพาะทางด้านชลศาสตร์ และใช้ทฤษฎีเรชันแนลในการคำนวณปริมาณน้ำผิวดิน ผลการศึกษาพบว่าระบบระบายน้ำภายในพื้นที่ศึกษา มีความสามารถในการระบาย น้ำไม่เพียงพอ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดภาวะน้ำท่วม และยังเป็นผลมาจากข้อจำกัดทางด้านระดับน้ำของแหล่งรับน้ำภายนอกพื้นที่ศึกษา ทำให้ไม่สามารถที่จะระบายน้ำออกไปด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกได้โดยตรง และแหล่งเก็บกักน้ำภายในพื้นที่ยังไม่ได้ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

พรพุฒ (2533) ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ SPIDA มาประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำปฐมภูมิของพื้นที่กรุงเทพเขตชั้นใน โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ เมื่อระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีระดับต่ำกว่าตลิ่ง การระบายน้ำท่าที่เกิดขึ้นในพื้นที่เกาะรัตนโกสินทร์จะไหลออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยาทางปลายของคลองหลอด ส่วนน้ำท่าที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปิดล้อมหมายเลข 2 ส่วนที่

เหลือจะไหลออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยาที่ปลายทั้งสองด้านของคลอง โอ่งอ่าง- บางลำภู แต่เมื่อน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีระดับสูงกว่าตลิ่ง น้ำท่าที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปิดล้อมหมายเลข 2 ทั้งหมด จะระบายออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยาโดยเครื่องสูบน้ำที่ ปตร. เทเวศน์ และสถานีสูบน้ำกรุงเกษม ผลที่ได้พบว่าแม่น้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาจะมีระดับสูงกว่าตลิ่ง พื้นที่ปิดล้อมทั้งเกาะรัตนโกสินทร์และพื้นที่ปิดล้อมหมายเลข 2 ส่วนที่เหลือ สามารถรับน้ำฝนที่คาบย้อนพินิจ 2 , 5 และ10 ปี ได้อย่างปลอดภัย แต่ในคาบย้อนพินิจ 25 ปี ช่วงเวลาฝนตก 3 ชั่วโมง ระบบระบายน้ำในพื้นที่ทั้งสอง จะมีปัญหาน้ำท่วมขัง

พิสิฐ (2533) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWMM มาประเมินและออกแบบปรับปรุงระบบระบายน้ำภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยฝั่งตะวันออก ได้ปรับเทียบแบบจำลองและวิเคราะห์ความไวของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งพบว่า ค่าความลึกเก็บกักจะมีผลต่อการปรับเทียบปริมาณน้ำท่ารวมมากที่สุด และพบว่าทั้งค่าความกว้างการไหลบ่าตามผิวและค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อระบายน้ำมีอิทธิพลมากต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำและอัตราการไหลออกสูงสุด และมีอิทธิพลมากกว่าค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ และได้ผลการปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ดังนี้ ค่าความลึกเก็บกักตามผิวของพื้นที่ทึบน้ำเท่ากับ 34 ม.ม. ของพื้นที่ซึมน้ำเท่ากับ 37 ม.ม. ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งพื้นที่ทึบน้ำเท่ากับ 0.05 ของพื้นที่ซึมน้ำเท่ากับ 0.3 และได้ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อและรางระบายน้ำเท่ากับ 0.038 และได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงระบบระบายน้ำไว้ 3 แนวทางคือ (1) การใช้สระกักเก็บน้ำภายในพื้นที่อย่างเดียว (2) การใช้สระกักเก็บน้ำและเชื่อมท่อ และ (3) การใช้สระกักเก็บน้ำ เชื่อมท่อให้มากขึ้น และเพิ่มขนาดท่อ/รางระบายน้ำ และพบว่าทางเลือกที่ 3 เป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด และสามารถแก้ปัญหาน้ำท่วมได้ทั้งหมด

ชัยยุทธ (2536) ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MOUSE มาประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำทุติยภูมิบริเวณอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ โดยศึกษาข้อมูลระบบระบายน้ำในปัจจุบัน ข้อมูลสภาพพื้นที่การใช้ที่ดิน ข้อมูลฝนตก วิธีการระบายน้ำขณะฝนตกเพื่อนำมาใช้ในการจำลองสภาพของระบบระบายน้ำ จากนั้นทำการเทียบมาตรฐานหาค่าพารามิเตอร์เฉพาะถิ่นของแบบจำลองและประเมินทางเลือกที่จะนำมาปรับปรุงระบบระบายน้ำในพื้นที่ ผลที่ได้พบว่าระบบระบายน้ำพื้นที่บริเวณฝั่งตะวันออกของถนนพญาไท สามารถระบายน้ำฝนที่มีขนาดความลึกฝนรวม 40 มิลลิเมตร ในช่วงเวลาฝนตก 2 ชั่วโมง ได้อย่างปลอดภัย และพื้นที่บริเวณฝั่งตะวันตกของถนนพญาไท สามารถระบายน้ำฝนที่มีขนาดความลึกฝนรวม 30 มิลลิเมตร ในช่วงเวลาฝนตก 2 ชั่วโมงได้อย่างปลอดภัย แต่หากฝนที่ตกมีขนาดความเข้มของฝนสูงกว่าค่านี้จะทำให้เกิดน้ำท่วมในพื้นที่ได้ หากจะให้ระบบระบายน้ำทุติยภูมิของพื้นที่ดังกล่าวระบายน้ำฝนขนาดคาบย้อนพินิจ 2 ปี (ความลึกฝนรวม 60.41 มิลลิเมตร) ที่มีช่วงเวลาฝนตก 1 ชั่วโมง จะต้องปรับปรุงระบบระบายน้ำที่มีอยู่เดิม

ทัศนี (2536) ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ SPIDA มาประเมินและปรับปรุงระบบระบายน้ำในพื้นที่ปิดล้อมหมายเลข 3 ของพื้นที่เขตชั้นในของกรุงเทพมหานคร ผลที่ได้พบว่าหากระดับน้ำเริ่มแรกที่สถานีสูบน้ำสามเสน ไว้ที่+ 34.70 ม. (กทม.) แล้วที่คาบย้อนพินิจ 2 ปี ช่วงเวลาฝนตก 1 ชม. (ความลึกฝน 62 มม.)ระบบระบายน้ำในพื้นที่ปิดล้อมนี้ สามารถระบายน้ำท่าที่เกิดขึ้นได้โดยไม่เกิดน้ำท่วม ส่วนที่คาบย้อนพินิจ 5 ,10 ,25 ปี ช่วงเวลาฝนตก 1 ชม. (ความลึกฝน 79 , 91 , 106 มม.) และที่คาบย้อนพินิจ 2 , 5 ,10 , 25 ปี ช่วงเวลาฝนตก 3 ชม. (ความลึกฝน 89 , 103 , 120 , 141 มม.) จะเกิดภาวะน้ำท่วม และจากการวิเคราะห์พบว่าบริเวณถนนเรวดี ต้องขยายท่อระบายน้ำเป็น 2.0 x 2.7 ม. ตั้งแต่คลองบางซื่อถึงคลองสามเสน ถนนประดิพัทธ์ต้องเพิ่มความสามารถในการสูบน้ำขึ้นอีกเป็น 5 $ม^3$./ว. ที่สถานีสูบน้ำในซอยอุทัยรัตน์ ถนนพหลโยธินต้องขยาย ท่อระบายน้ำเป็น 2.0 x 2.0 ม. ทั้งสองฝั่งถนนตั้งแต่คลองบางซื่อถึงคลองสามเสน ถนนสุทธิสารต้องเพิ่มความสามารถในการสูบน้ำขึ้นอีกเป็น 4.7 $ม^3$./ว. ที่สถานีสูบน้ำในซอยอินทรามะระ 3 ถนนวิภาวดี-รังสิตต้องเพิ่มความสามารถในการสูบน้ำขึ้นอีก เป็น 6 $ม^3$. /ว. ที่สถานีสูบน้ำสุทธิสาร ส่วนคลองสามเสนนั้นต้องเพิ่มความสามารถในการสูบขึ้นอีกเป็น 54 $ม^3$./ว. ที่สถานีสูบน้ำสามเสน และขยายคลองให้กว้างขึ้นอีกฝั่งละ 2 ม. ตั้งแต่ รพ.พระมงกุฎถึงอนุสาวรีย์ชัยฯ กรณีที่ไม่สามารถขยายคลองได้ ภายหลังจากฝนหยุดตก 4 ชม. แล้วจึงจะลดภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในพื้นที่ได้

มนตรี (2542) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง RUBICON มาประเมินประสิทธิผลระบบระบายน้ำปฐมภูมิในพื้นที่ชุมชนชานเมืองด้านตะวันออกของกรุงเทพมหานคร ในสภาพปัจจุบันกับกรณีเงื่อนไขการใช้ที่ดินสภาพปัจจุบันและอนาคต (ปี พ.ศ. 2559) และแนวทางการปรับปรุงระบบระบายน้ำได้พบว่า ระบบระบายน้ำปฐมภูมิปัจจุบันยังสามารถรองรับปริมาณฝนออกแบบที่คาบอุบัติ 2 ปี ได้โดยไม่เกิดน้ำท่วม ส่วนกรณีที่ใช้ฝนออกแบบที่คาบอุบัติ 5 ปี พบว่าระดับน้ำสูงสุดในคลองระบายน้ำปฐมภูมิจะมีระดับสูงขึ้น และเป็นผลทำให้เกิดน้ำท่วมขังในบางพื้นที่ และเมื่อใช้สมมุติฐานการใช้ที่ดินปี พ.ศ. 2559 พบว่าระบบระบายน้ำสภาพปัจจุบันไม่สามารถรองรับปริมาณฝนออกแบบได้ โดยยกระดับน้ำสูงสุดในคลองระบายน้ำปฐมภูมิ จะอยู่ในเกณฑ์ระหว่าง 0.20 เมตร ถึง 2.20 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง จึงเป็นผลทำให้เกิดน้ำท่วมเกือบทั่วพื้นที่ หากจะให้พื้นที่สามารถระบายน้ำฝนขนาดคาบอุบัติ 5 ปี ด้วยสมมุติฐานการใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2559 แล้ว จะต้องปรับปรุงระบบระบายน้ำที่มีอยู่เดิม

ชาญยุทธ (2547) จำลองเหตุการณ์น้ำท่วมของเทศบาลอุดรธานี ของวันที่ 9 กันยายน 2544 ลักษณะของน้ำท่วมเกิดจากฝนตกหนัก ระบายน้ำไม่ทันกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและปริมาณฝนในเขตเทศบาลทำให้เกิดน้ำเอ่อท่วมเขตเทศบาล ซึ่งการจำลองน้ำท่วมประกอบด้วย การจำลองฝนส่วน

เกิน โดยฝนส่วนเกินจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำท่าด้วยวิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าในพื้นที่รับน้ำหลักสำหรับพื้นที่รับน้ำย่อยฝนส่วนเกินจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำท่าด้วยวิธีหลักเหตุผล ส่วนการจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำ ใช้วิธีการหลายแบบ Muskingum – Cunge ซึ่งมีข้อดีที่สามารถผนวกเอาการไหลด้านข้างที่ได้จากวิธีหลักเหตุผลเข้ากับวิธีหลากได้โดยสะดวก ผลการศึกษาพบว่า จากฝนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งวัดปริมาณน้ำฝนได้ 52.8 มิลลิเมตร ในช่วงการตก 3 ชั่วโมง ทำให้เทศบาลนครอุดรธานีเกิดสภาพน้ำท่วม โดยมีระดับความสูงน้ำท่วม 0.59 เมตร ด้วยอัตราการไหลสูงสุด 58.05 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หลังจากฝนตกนาน 23 ชั่วโมง

สุพจน์ (2547) ศึกษาหาระบบป้องกันน้ำท่วมที่เหมาะสมของเทศบาลเมืองชัยภูมิ การศึกษาประกอบด้วย (1) การวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่ากรณีมีสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่า วิธีที่ดีที่สุดคือ วิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่า ที่เกิดขึ้นอย่างมีความสัมพันธ์ต่อกัน ตามกระบวนการทางอุทกวิทยา (2) การวิเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าไม่มีหน่วย ของลุ่มน้ำในท้องถิ่นเดียวกัน วิธีที่เหมาะสมคือ การนำกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าไม่มีหน่วยของทุกสถานีมาเฉลี่ยกัน (3) คำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดในเขตเทศบาล ที่คาบการกลับ 25 , 50 ,100 และ 200 ปี โดยใช้วิธีเทคนิคกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าและวิธี Rational แล้วคำนวณการหลากผ่านอ่างเก็บน้ำและผ่านลำน้ำ โดยนำค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดที่คาบกลับ 100 ปี ไปใช้วิเคราะห์รูปแบบการป้องกันน้ำท่วมที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่าสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดน้ำท่วมเทศบาลเมืองชัยภูมิ คือ เกิดจากฝนตกหนักต่อเนื่องเป็นเวลานานและระบบระบายน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอ โดยรูปแบบการป้องกันน้ำท่วมที่เหมาะสมประกอบด้วย การก่อสร้างคลองระบายน้ำดาดคอนกรีต และขุดลอกลำห้วยดินแดงให้เป็นช่องทางผันน้ำท่วม โดยไม่ให้ไหลผ่านเขตเทศบาล

ภัทรกร (2548) ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ Hydrowork เพื่อจำลองสถานการณ์น้ำท่วมและทดสอบหาแนวทางการแก้ไขปัญหาในพื้นที่ปิดล้อมบึงกุ่ม โดยแบ่งพื้นที่เป็น 5 พื้นที่ปิดล้อมย่อย คือ บางกะปิ บึงกุ่มตะวันตก บึงกุ่มตะวันออก คันนายาวตะวันตก และคันนายาวตะวันออก และได้จำลองสถานการณ์สำหรับ 5 กรณีสำหรับ สภาพการใช้ที่ดินปัจจุบันและอนาคต โดยพิจารณาคาบอุบัติฝน 2 ปี และ 5 ปี และจำลองหาแนวทางการแก้ไขสภาพการใช้ที่ดินปัจจุบันสำหรับคาบอุบัติฝน 5 ปี ได้พบว่า ระบบคลองภายในพื้นที่ส่วนใหญ่ไม่มีปัญหาเรื่องน้ำล้นตลิ่ง ระบบท่อระบายน้ำในพื้นที่บึงกุ่มส่วนใหญ่มีขนาดเล็กไม่เพียงพอต่อการรองรับน้ำฝนที่คาบอุบัติ 5 ปี ในขณะที่ 10 หมู่บ้านไม่สามารถรองรับฝนที่คาบอุบัติ 2 ปีได้ บริเวณที่น้ำท่วมมากที่สุดคือ หมู่บ้านปัฐวิกรณ์ และได้เสนอแนะแนวทางการแก้ไข เพื่อบรรเทาน้ำท่วมในบริเวณดังกล่าว โดยลดช่วงเวลาน้ำท่วมขังจาก 5 ชม. เหลือเพียง 1 ชม. ทั้งลดความลึกน้ำท่วมเฉลี่ย 20 ซม. เหลือเพียง 15

ซม. โดยขนาดท่อระบายน้ำและสถานีสูบน้ำที่วิเคราะห์จากแบบจำลองแบบไม่ทรงตัวมั่นจะมีขนาดเล็กกว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบทรงตัวมั่นประมาณ 1 ขนาด ระบบท่อระบายน้ำเดิมมีขนาดเล็กสุด 0.3 ม. ในอนาคตควรใช้ท่อเล็กที่สุดคือขนาด 0.6 ม. เพื่อบรรเทาปัญหาน้ำท่วม

สุธัญญ์ (2550) ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-RAS จำลองสภาพการไหลของคลองเบตงช่วงผ่านเมือง ในการทดสอบเพื่อแก้ปัญหาน้ำท่วมได้แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 4 กรณี คือ 1. รื้อย้ายสิ่งกีดขวางทางน้ำ 2. ปรับปรุงเสริมระดับกำแพงช่วงบริเวณที่เกิดน้ำท่วม 3. ขุดลอกตะกอนในช่วงคลองบริเวณที่เกิดน้ำท่วม 4. รวมกรณีศึกษาที่ 1 – 3 เข้าด้วยกัน ผลการศึกษาพบว่าช่วงเวลาน้ำท่าเข้มข้นสูงสุด (t_c) ของลำน้ำมีค่า 2 ช.ม. อัตราการไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมปี 2539 และ 2547 มีค่าเท่ากับ 127.28 และ 146.31 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ตามลำดับ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำและในพื้นที่น้ำท่วมสองฝั่งลำน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.049 และ 0.1 ตามลำดับส่วนผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อทดสอบการบรรเทาน้ำท่วม โดยกรณีศึกษาต่าง ๆ กรณีที่ 1 ลดน้ำท่วมได้ 8.59 % กรณีที่ 2 ลดน้ำท่วมได้ 25.18 % กรณีที่ 3 ลดน้ำท่วมได้ 15.77 % กรณีที่ 4 สามารถลดน้ำท่วมได้ 100% (ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปี) สรุปผลการศึกษาสรุปได้ว่ากรณีที่ 4 เป็นวิธีบรรเทาน้ำท่วมได้ดีที่สุด ทั้งยังให้ผลตอบแทนต่อการลงทุน (B/C Ratio) สูงที่สุด คือมีค่าเท่ากับ 2.18

9. แบบจำลองคณิตศาสตร์ระบบระบายน้ำ

แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับจำลองระบบระบายน้ำที่นำมาใช้ในประเทศไทยมีดังนี้

9.1 แบบจำลองระบบระบายน้ำ MOUSE

เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาโดย Danish Hydraulic Institute เพื่อใช้กับ Micro Computer โดยเฉพาะ แต่สามารถใช้กับเครื่อง Mini Computer และ Main Frame Computer ได้ด้วย MOUSE เป็นแบบจำลองระบบระบายน้ำที่รวมเอาแบบจำลองอุทกศาสตร์ ชลศาสตร์ และคุณภาพน้ำเข้าด้วยกัน โดยสามารถป้อนข้อมูลระบบระบายน้ำและข้อมูลฝน แบบจำลอง MOUSE จะคำนวณการไหลบนผิวดิน และคำนวณการไหลในระบบระบายน้ำ แล้วแสดงผลลัพธ์เป็นระดับน้ำและอัตราการไหลที่เวลาต่าง ๆ

9.2 แบบจำลองระบบระบายน้ำ WALLRUS

เป็นแบบจำลองที่พัฒนาโดยบริษัท Hydraulic Research Limited แห่งประเทศอังกฤษ แบบจำลอง WALLRUS ถูกสร้างเพื่อใช้ออกแบบและวิเคราะห์ระบบระบายน้ำแบบแขนง (Dendritic System) คือ มีการไหลเพียงทิศทางเดียว การคำนวณน้ำท่าเลือกได้ 2 วิธี คือ วิธีหลักเหตุผล (Rational Method) และวิธีกราฟน้ำท่า (Hydrograph Method)

สมการพลวัตรของ WALLRUS ใช้สมการ Saint – Venant แต่ตัดพจน์ของความเฉื่อยออก จากสมการ โดยถือว่า Froude number มีค่าน้อยจะสามารถตัดพจน์ความเฉื่อยออกจากสมการได้ และเรียกสมการพลวัตรของแบบจำลอง WALLUS ว่า Non – Inertied Wave Equation โดยมีสมการ

$$(\partial Q/\partial t) - C(Q,h)(\partial Q/\partial X) - d(Q,h)(\partial a^2 Q/\partial X^2) = 0 \qquad (3)$$

เมื่อ C (Q,h) คือ Convection Speed

D (Q,h) คือ Diffusion Speed

9.3 แบบจำลองระบบระบายน้ำ SPIDA

พัฒนาโดยบริษัท Hydraulic Research Limited สามารถจำลองระบบระบายน้ำที่ไหลเป็นรูปบ่วงได้ (Loop) แบบจำลอง SPIDA ประกอบด้วย แบบจำลองอุทกศาสตร์ และชลศาสตร์ คือ สามารถเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า และวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของระบบระบายน้ำรูปบ่วงได้ในคราวเดียวกัน สมการวิเคราะห์การไหลใช้สมการ Saint - Venant แบบเต็มรูปแบบ สามารถวิเคราะห์การไหลภายใต้ความดันในท่อได้ แบบจำลองปริมาณน้ำท่าแบ่งออกได้ 3 วิธี คือ

9.3.1 แบบจำลองปริมาณน้ำท่าใช้กับประเทศสหราชอาณาจักร (Modification to the UK Runoff Volumn Model)

9.3.2 แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าคงที่ (Fixed Runoff Coefficient)

9.3.3 แบบจำลอง SCS (Soil Conservation Survice Model)

10. แบบจำลอง SWMM ที่ใช้ในการศึกษา

10.1 ลักษณะของแบบจำลอง SWMM

เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นโดย U.S. Environmental Protection Agency (EPA) เมื่อปี ค.ศ. 1971 แบบจำลอง Storm Water Management Model หรือ SWMM นี้ เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับการวางแผน วิเคราะห์ และการออกแบบซึ่งมีความสัมพันธ์กันระหว่าง กระบวนการของน้ำฝน- น้ำท่า รวมถึงน้ำเสีย และน้ำโสโครก และระบบระบายน้ำอื่น ๆ ในพื้นที่ชุมชน ซึ่งสามารถจำลองสภาพการไหลแบบเหตุการณ์เดียว (Single Event Simulation) และแบบต่อเนื่อง (Continuous Simulation) และปัจจุบัน SWMM Version 5 เป็นการทำงานบน Windows ซึ่งมีการจัดเตรียมสิ่งแวดล้อม สำหรับการแก้ไขการใส่ข้อมูลพื้นที่ศึกษา การปฏิบัติการด้านอุทกวิทยา ชลศาสตร์ และการจำลองด้านคุณภาพน้ำ และมีการแสดงผลได้หลากหลายรูปแบบ การแสดงสีประกอบพื้นที่ระบายและแผนที่ระบบส่งน้ำ กราฟและตารางแสดงช่วงเวลา กราฟแสดงรูปตัดทางยาว และสถิติการวิเคราะห์ความถี่

ในการศึกษาระบบระบายน้ำใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SWMMในส่วนของ Extended Transport (EXTRAN) Block วิเคราะห์หาขนาดท่อ ความลาดชันของท่อ ความลาดชันของเส้นพลังงาน ปริมาณน้ำหลากสูงสุดในท่อ ความเร็วของการไหล และระดับน้ำในท่อ เป็นต้น

แบบจำลอง EXTRAN สามารถใช้จำลองการไหลในระบบระบายน้ำ และระบบรวบรวมน้ำเสีย แบบจำลองนี้สามารถคำนวณการไหลเมื่อมีปริมาณน้ำท่าไหลเข้าในระบบระบายน้ำทั้งที่เป็นคลอง และเป็นท่อที่ต่อเนื่องกันเป็นรูปบ่วง สามารถคำนวณการไหลภายใต้ความดัน (Surcharge) และคำนวณการไหลออกจากพื้นที่ปิดล้อม เมื่อระดับน้ำภายนอกเปลี่ยนแปลงได้ นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณการไหลเมื่อมีอาคารควบคุมต่าง ๆ เช่น ฝาย ออริฟิช เครื่องสูบน้ำ แอ่งสะสมน้ำ และประตูควบคุมน้ำ (Tide Gate)

วิธีการคำนวณในแบบจำลอง EXTRAN กระทำโดยการแบ่งท่อ หรือคลองระบายน้ำออกเป็นช่วงท่อและจุดเชื่อม (Node) ท่อ หรือ คลองระหว่างจุดเชื่อม เรียกว่าช่วงท่อ (Link) และจุดเชื่อมเรียกว่าบัพ (Node) ช่วงท่อทำหน้าที่ขนส่งน้ำจากบัพหนึ่งไปอีกบัพหนึ่ง ในการคำนวณถือว่าอัตราการไหล ตลอดช่วงท่อมีค่าคงที่ในช่วงก้าวเวลา(Δt)สั้น ๆ บัพในระบบระบายน้ำ ก็คือ จุดเชื่อมต่อของท่อหรือคลอง บัพจะแทนหน่วยเก็บสะสมของระบบ (Storage Elements) มีความสูง

พลังงาน (H) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเมื่อมีน้ำท่าผิวดิน หรือน้ำจากบัพอื่นไหลเข้า หรือไหลออกจากบัพ ปริมาตรของน้ำในแต่ละบัพที่เวลาใดๆ มีค่าเท่ากับปริมาณน้ำที่อยู่ในช่วงท่อที่มีความยาวครึ่งหนึ่งของทุกช่วงท่อที่ต่อกับบัพนั้น สมการคณิตศาสตร์แทนการไหล ประกอบด้วยสมการ 2 สมการดังนี้

สมการพลวัตของการไหล คือ

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial t}\right) + gAS_f - 2V\left(\frac{\partial A}{\partial t}\right) + V^2\left(\frac{\partial A}{\partial X}\right) + gA\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right) = 0 \qquad (4)$$

สมการความต่อเนื่อง คือ

$$\frac{\partial H}{\partial t_t} = \sum Q_t \,/\, A_{s_t} \qquad (5)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลในท่อหรือคลอง (ลบ.ม./วินาที)
V = ความเร็วของการไหลในท่อหรือคลอง (ม./วินาที)
A = พื้นที่หน้าตัดของการไหล (ตร.ม)
h = ความลึกของการไหล (ม.)
S_f = ความลาดชันของเส้นพลังงาน
Q_t = อัตราการไหลรวมของแต่ละบัพแต่ละก้าวเวลา (ลบ.ม./วินาที)
A = พื้นที่ผิวของหน่วยสะสมที่แต่ละก้าวเวลา (ตร.ม.)

ในการคำนวณอัตราการไหลในแต่ละช่วงท่อ และความลึกของการไหลในแต่ละก้าวเวลาด้วยวิธีดัดแปรออยเลอร์ (Modified Euler Method) ถ้าเลือกใช้ก้าวเวลา (Δt) ยาวเกินไป จะเกิดความไม่มีเสถียรภาพ คือ อัตราการไหล และความลึกการไหลเปลี่ยนแปลงจากมากไปน้อยสลับไปมาอย่างรวดเร็ว โดยปกติก้าวเวลา(Δt) แต่ละก้าวเวลา จะถูกควบคุมด้วยความเร็วการเคลื่อนที่ของคลื่นในช่วงท่อนั้น ซึ่งความเร็วของการเคลื่อนที่นี้จะขึ้นอยู่กับความลึกของการไหลและความยาวของช่วงท่อนั้นๆ ความยาวแต่ละก้าวเวลากำหนดจาก

$$\Delta t \leq L_{\min} \,/\, \sqrt{gh} \qquad (6)$$

เมื่อ Δt = ความยาวแต่ละก้าวเวลา

$L_{\min}$ = ความยาวช่วงท่อที่สั้นที่สุดหรือความยาวช่วงคลองที่มีขนาดสั้นที่สุด

h = ความลึกของการไหลมากที่สุดของช่วงท่อที่พิจารณา

การคำนวณในแต่ละก้าวเวลาทำตามลำดับ ดังนี้

ก. คำนวน $\left(\frac{\partial Q}{\partial t}\right)_t$ จากคุณสมบัติของระบบที่เวลา t

ข. คำนวณอัตราการไหลทีครึ่งก้าวเวลา $Q_{t+\frac{\Delta t}{2}}$ เมื่อ

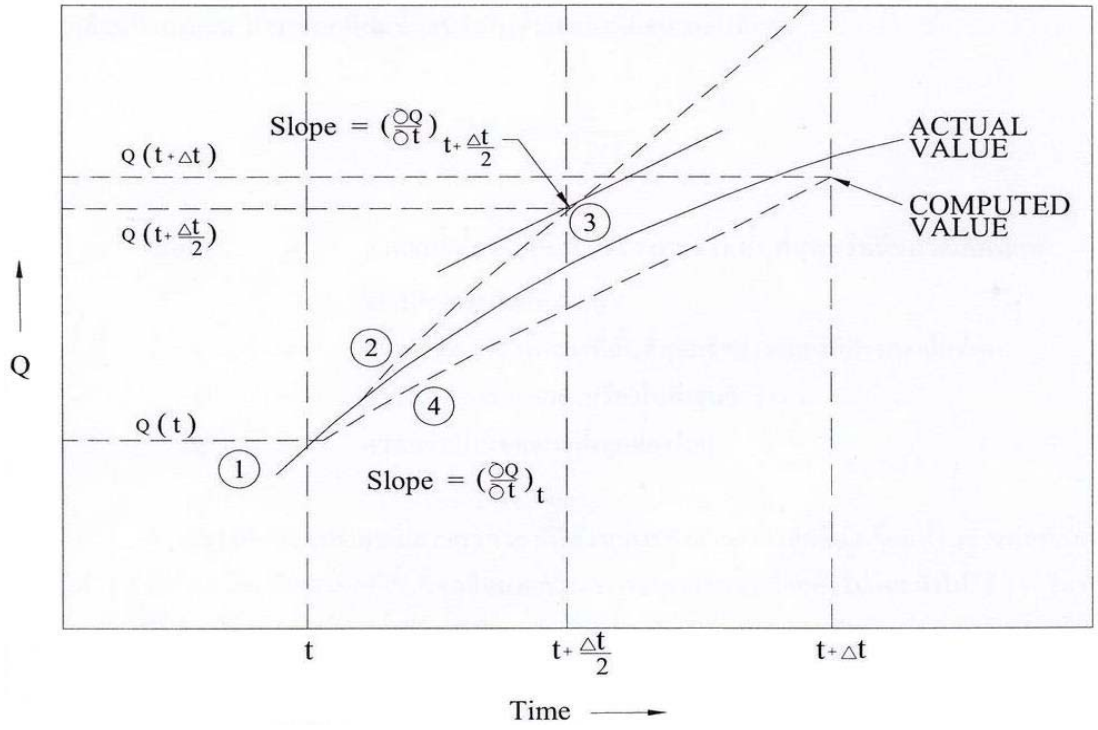
$$Q_{t+\frac{\Delta t}{2}} = Q_t + \left(\frac{\partial Q}{\partial t}\right)_t \cdot \frac{\Delta t}{2} \qquad (7)$$

ค. 1) คำนวณคุณสมบัติของระบบที่เวลา $t + \frac{\Delta t}{2}$

2) คำนวณ $\left(\frac{\partial Q}{\partial t}\right)_{t+\frac{\Delta t}{2}}$ จากคุณสมบัติของระบบที่เวลา $t + \frac{\Delta t}{2}$

ง. คำนวณอัตราการไหลหนึ่งก้าวเวลา $Q_{t+\Delta t}$ เมื่อ

$$Q_{t+\Delta t} = Q_t + \left(\frac{\partial Q}{\partial t}\right)_{t+\frac{\Delta t}{2}} .\Delta t \qquad (8)$$



ภาพที่ 11 แสดงกราฟการคำนวณความยาวในแต่ละก้าวเวลา

10.2 ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม EXTRAN

ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม EXTRAN จะกำหนดอยู่ในแฟ้มข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้

10.2.1 ข้อมูลสำหรับควบคุม (Control Data)

เป็นข้อมูลที่กำหนดรูปแบบของการใช้แบบจำลอง EXTRAN เช่น การใช้แบบจำลอง EXTRAN อิสระ หรือใช้เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม SWMM รูปแบบการอ่านข้อมูลปริมาณน้ำท่า จำนวนบัพที่กำหนดเป็นจุดน้ำท่าไหลเข้า จำนวนบัพและช่วงท่อแสดงผลลัพธ์จำนวนรอบทั้งหมดในการคำนวณและความยาวก้าวเวลา

ก. การใช้แบบจำลอง EXTRAN อิสระหรือเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม SWMM ถ้าใช้แบบจำลองเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม SWMM จะสามารถใช้ข้อมูลน้ำท่าจากแบบจำลองอื่นในโปรแกรม SWMM ได้ โดยกำหนดหมายเลขของแฟ้มข้อมูลที่จะใช้ ถ้าใช้แบบจำลอง EXTRAN

อิสระโดยกำหนดข้อมูลน้ำท่าอยู่ภายในแฟ้มข้อมูล สำหรับโปรแกรม EXTRAN หมายเลขแฟ้มข้อมูลน้ำท่าคือ ศูนย์

ข. คำนำสำหรับระบบระบายน้ำและข้อมูลฝน มีได้ 2 บรรทัดโดยไม่ใช้ในการคำนวณ

ค. ข้อมูลควบคุม (Run Control) ประกอบด้วยจำนวนรอบในการคำนวณ ความยาวของแต่ละก้าวเวลา จำนวนบัพ และช่วงที่แสดงผลการคำนวณ จำนวนบัพที่เป็นจุดน้ำท่าไหลเข้า และจำนวนรอบ ที่ใช้คำนวณเมื่อเกิดสภาพการไหลภายใต้ความดัน

1) ความยาวก้าวเวลา (DELT) มีอิทธิพลอย่างสูงต่อความมีเสถียรภาพ (Stability) ของผลการคำนวณ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ความยาวก้าวเวลามากที่สุดไม่ควรมากกว่าเวลาที่ได้จากการคำนวณการเคลื่อนที่ของคลื่น ในช่วงท่อที่สั้นที่สุดหรือในช่วงคลองที่มีขนาดสั้นที่สุด

$$\Delta t_c = \frac{L}{\sqrt{gD}} \qquad (9)$$

เมื่อ t_c = เวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ในช่วงคลองที่สั้นที่สุดหรือมีขนาดเล็กที่สุดจากบัพเหนือถึงบัพท้ายน้ำ

L = ความยาวของช่วงคลองที่สั้นที่สุดหรือช่วงคลองที่มีขนาดเล็กที่สุด

D = ความลึกของช่วงคลองหรือเส้นผ่านศูนย์กลาง

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

ความยาวก้าวเวลาสามารถมากกว่าเวลาที่ได้จากการคำนวณ เวลาที่คลื่น เคลื่อนที่ในช่วงท่อที่สั้นที่สุดได้ 1.5 ถึง 2.0 เท่า ถ้าช่วงท่อที่สั้นที่สุดมีขนาดกว้าง ความยาวก้าวเวลาโดยทั่วไปแนะนำให้ใช้ 15 วินาที ถึง 30 วินาที สำหรับระบบระบายน้ำที่มีช่วงท่อขนาดเล็กมากและสั้น ความยาวก้าวเวลาอาจจะต้องสั้นเพียง 5 วินาที ถึง 10 วินาทีและสำหรับระบบระบาย น้ำ ที่เป็นทางน้ำเปิดขนาดใหญ่ทั้งหมดความยาวก้าวเวลาสามารถใช้ 60 วินาที ถึง 90 วินาทีได้

ในกรณีที่จำเป็นต้องกำหนดความยาวช่วงท่อสั้นเพื่อหลีกเลี่ยงความไม่เสถียรภาพในการคำนวณช่วงท่อนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นช่วงท่อสมมูล (Equivalent Pipe) มีความยาวเพิ่มขึ้น และเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพื่อเพิ่มความเร็วของการไหลดังนี้

$$\left(\frac{m}{n_p}\right)A_p R_p^{\frac{2}{3}} S_p^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{m}{n_e}\right)A_e R_e^{\frac{2}{3}} S_e^{\frac{1}{2}} \qquad (10)$$

เมื่อ m = 1.49 สำหรับระบบอังกฤษ และ 1.0 สำหรับระบบเมตริก

P = คุณสมบัติช่วงท่อจริง

e = คุณสมบัติช่วงสมมูล

n = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน Manning

A = พื้นที่รูปตัดขวางช่วงท่อ

B = รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic radius)

S = ความลาดชันของผิวน้ำ

กำหนดให้ รูปตัดขวาง รัศมีชลศาสตร์และการสูญเสียพลังงาน ของช่วงท่อจริงและช่วงท่อสมมูลมีค่าเท่ากัน

$$\frac{S_p^{\frac{1}{2}}}{n_p} = \frac{S_e^{\frac{1}{2}}}{n_e} \qquad (11)$$

แทนค่า $S = \frac{h_L}{L}$ ในสมการดังกล่าวข้างต้น

เมื่อ h_L = การสูญเสียพลังงานของช่วงท่อ

L = ความยาวช่วงท่อ

$$n_e = n_p \frac{L_p^{\frac{1}{2}}}{L_e^{\frac{1}{2}}} \qquad (12)$$

การกำหนดความยาวช่วงท่อสมมูล แนะนำให้ใช้ความยาวไม่น้อยกว่า 4 หรือ 5 เท่าของความยาวช่วงท่อที่ยาวที่สุด

2) จำนวนรอบที่คำนวณ (NTCYC) เวลาที่คำนวณทั้งหมด คือ ความยาวก้าวเวลาคูณด้วยจำนวนรอบที่คำนวณ และเวลาที่คำนวณทั้งหมดจะต้องไม่เกินเวลาที่กำหนดให้มีน้ำท่าไหลลงระบบระบายน้ำในข้อมูลน้ำท่า

3) จำนวนช่วงท่อและบัพที่แสดงผลการคำนวณกำหนดได้ชนิดละ 20 แห่ง ผลการคำนวณแสดงได้ทั้งในรูปตารางและรูปกราฟ โดยที่ช่วงท่อแสดงปริมาณน้ำ และความ เร็วการไหลที่บัพแสดงระดับน้ำและความลึก

4) ช่วงห่างจำนวนรอบที่แสดงผลการคำนวณ (INTER) ในแต่ละช่วงท่อและบัพผลการคำนวณที่บันทึกลงแฟ้มข้อมูลแสดงผลการคำนวณสามารถทำได้แห่งละ 100 ค่า เช่น ถ้ากำหนดรอบของการคำนวณ (NTCYC) เท่ากับ 1,600 รอบ และรอบการคำนวณแรกที่เริ่มบันทึกผล (NSTART) เท่ากับ 1 ช่วงห่างจำนวนรอบที่แสดงผลจะต้องมีค่าไม่เกิน 16 รอบ

5) ความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลเข้า และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากบัพและจำนวนรอบ การคำนวณเมื่อเกิดสภาวะการไหลภายใต้ความดันในสภาวะน้ำท่วมขณะที่ระดับน้ำที่บัพสูงกว่าระดับพื้นดิน การคำนวณความลึกไม่สามารถทำได้โดยตรง เนื่องจากที่บัพพื้นที่ผิวมีค่าเป็นศูนย์หรือไม่มีปริมาณน้ำที่เก็บกักได้ที่บัพเลย ดังนั้นสมการความต่อเนื่องคือ

$$\sum Q_t = 0 \qquad (13)$$

เมื่อ $\sum Q_t$ = ผลรวมของปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออกจากบัพ

ดังนั้นในการคำนวณความลึกที่บัพจะใช้สมการแบบ Implicit ในการคำนวณเนื่องจากไม่สามารถใช้สมการปกติที่ให้ผลการคำนวณได้ถูกต้อง โดยการคำนวณค่า $\frac{\partial Q_t}{\partial H_j}$ สำหรับทุก ๆ ช่วงคลองที่ต่อกับบัพนั้น และเปลี่ยนค่าความเร็วของการไหลไปเรื่อยๆ จนค่าสมการความต่อเนื่องจะถูกต้องคือค่าปริมาณการไหลเข้าแตกต่างกับการไหลออกน้อยกว่าที่กำหนด หรือครบจำนวนรอบการคำนวณที่กำหนดไว้

การคำนวณค่า $\frac{\partial Q_t}{\partial H_j}$ สำหรับช่วงท่อต่าง ๆ ใช้สมการดังนี้

$$\frac{\partial Q_t}{\partial H_j} = \left(\frac{g}{1 - K_t}\right)\left(\frac{A_t}{L}\right).\Delta t \qquad (14)$$

เมื่อ

$$Kt = -\Delta t\left(\frac{gn^2}{m^2 R^{\frac{4}{3}}}\right).|V_t| \qquad (15)$$

Δt = ความยาวแต่ละก้าวเวลา

A_t = หน้าตัดการไหลในช่วงท่อ

L = ความยาวช่วงท่อ

n = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานแมนนิ่ง

m = 1.49 สำหรับระบบอังกฤษ และ 1.0 สำหรับระบบเมตริก

R = รัศมีชลศาสตร์เมื่อเกิดการไหลเต็มหน้าตัดท่อ

V_t = ความเร็วของการไหล

ง. หมายเลขของบัพ และช่วงท่อที่บันทึกผลการคำนวณ ข้อมูลที่บันทึกไว้สำหรับบัพ คือ ความลึกที่บัพ (Depth) และระดับน้ำ (Elevation) สำหรับช่วงท่อ คือปริมาณการไหล (Discharge) และความเร็วในการไหล (Velocity)

จ. หมายเลขของบัพ และช่วงท่อที่ให้พิมพ์กราฟสามารถพิมพ์ได้ทุกแห่ง

10.2.2 ข้อมูลระบบระบายน้ำ (Drainage System Data)

การจำลองระบบระบายน้ำลงในแบบจำลอง EXTRAN ระบบระบายน้ำจะประกอบ ด้วยอนุกรมของช่วงท่อ (Link) ที่เชื่อมต่อกันที่บัพ (Node) ต่อเนื่องกันเป็นรูปบ่วง (Loop System) ซึ่งจะเป็นตัวแทนของท่อหรือคลองในระบบระบายน้ำ คุณสมบัติของช่วงท่อและบัพ เช่น สัมประสิทธิ์ความขรุขระของท่อ รูปตัดตามขวาง ความกว้าง ความลึกและความยาวของช่วงท่อ จะต้องกำหนดสำหรับทุกช่วงท่อ ความลาดชันของช่วงท่อกำหนดโดยความลึกของบัพ สำหรับข้อมูล

บัพ เช่น ระดับต่ำสุดของบัพอาคารชลศาสตร์ต่าง ๆ สำหรับควบคุมการไหลในระบบ หรือควบคุมการไหลสู่ภายนอก เช่น ฝาย Orifice บัพบ่อพักน้ำ และสถานีสูบน้ำ จะถูกกำหนดให้ตั้งอยู่ที่บัพ คุณสมบัติของอาคารชลศาสตร์ จะกำหนดในส่วนข้อมูลของอาคารชลศาสตร์ชนิดต่าง ๆ อีกครั้งหนึ่ง

ก. ข้อมูลช่วงท่อประกอบด้วย หมายเลขช่วงท่อหมายเลขบัพที่อยู่ด้านเหนือและด้านท้ายของช่วงท่อ รูปตัดขวางความยาวช่วงท่อ สัมประสิทธิ์ความขรุขระ และเงื่อนไขการเชื่อมต่อระหว่างช่วงท่อกับบัพ

1) รูปตัดขวาง รูปตัดขวางของช่วงท่อสามารถกำหนดได้ 7 รูปแบบ โดยรหัสรูปร่างและมิติ ดังแสดงในตารางที่ 8

2) เงื่อนไขการเชื่อมต่อระหว่างช่วงท่อและบัพ ในแต่ละช่วงท่อที่ต่อกับบัพระดับต่ำที่สุดของช่วงท่อจะต้องไม่อยู่ต่ำกว่าระดับพื้นของบัพ (Invert Junction) และจะต้องมีอย่างน้อย 1 ช่วงท่อ ที่ระดับต่ำที่สุดของช่วงท่ออยู่ที่ระดับพื้นของบัพ มิฉะนั้นจะทำให้เกิดการไหลเข้าแต่ไม่มีการไหลออกจากบัพ

3) สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Hydraulic Roughness) กำหนดให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน Manning สำหรับช่วงท่อ และให้รวมความสูญเสียพลังงานที่ปลายแต่ละข้างของช่องคลอง เข้าไปในสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน Manning ด้วย

ตารางที่ 8 รายละเอียดของช่วงท่อ

รูปตัดขวาง	**รหัสรูปร่าง**	**มิติที่ 1**	**มิติที่ 2**	**มิติที่ 3**	**มิติที่ 4**	**มิติที่ 5**
วงกลม	1	ความลึกในแนวดิ่ง	-	ความกว้างมากที่สุด	-	-
สี่เหลี่ยม	2	"	-	"	-	-
รูปเกือกม้า	3	"	พื้นที่รูปตัดขวาง	"	-	-
รูปไข่	4	"	"	"	-	-
รูปหูตะกร้า	5	"	"	"	-	-
สี่เหลี่ยมคางหมู	6	"	"	ความกว้างท้องคลอง	ความลาดเทด้านข้าง	ความลาดเทด้านข้าง
ทางน้ำธรรมชาติ	7	แกน X ระยะทาง	แกน Y ระดับ	-	-	-

ข. ข้อมูลบัพบัพทุกชนิดในระบบระบายน้ำ จะต้องมีข้อมูลของบัพ คือหมายเลขบัพ ระดับพื้นดินที่บัพ และระดับพื้นของบัพอยู่ในข้อมูลบัพ ไม่ว่าจะเป็นที่ตั้งของอาคารชลศาสตร์ต่างๆ สถานีสูบน้ำ หรือบัพบ่อพัก แล้วกำหนดชนิด และคุณสมบัติของอาคารเหล่านี้ ในข้อมูลของอาคารแต่ละชนิด

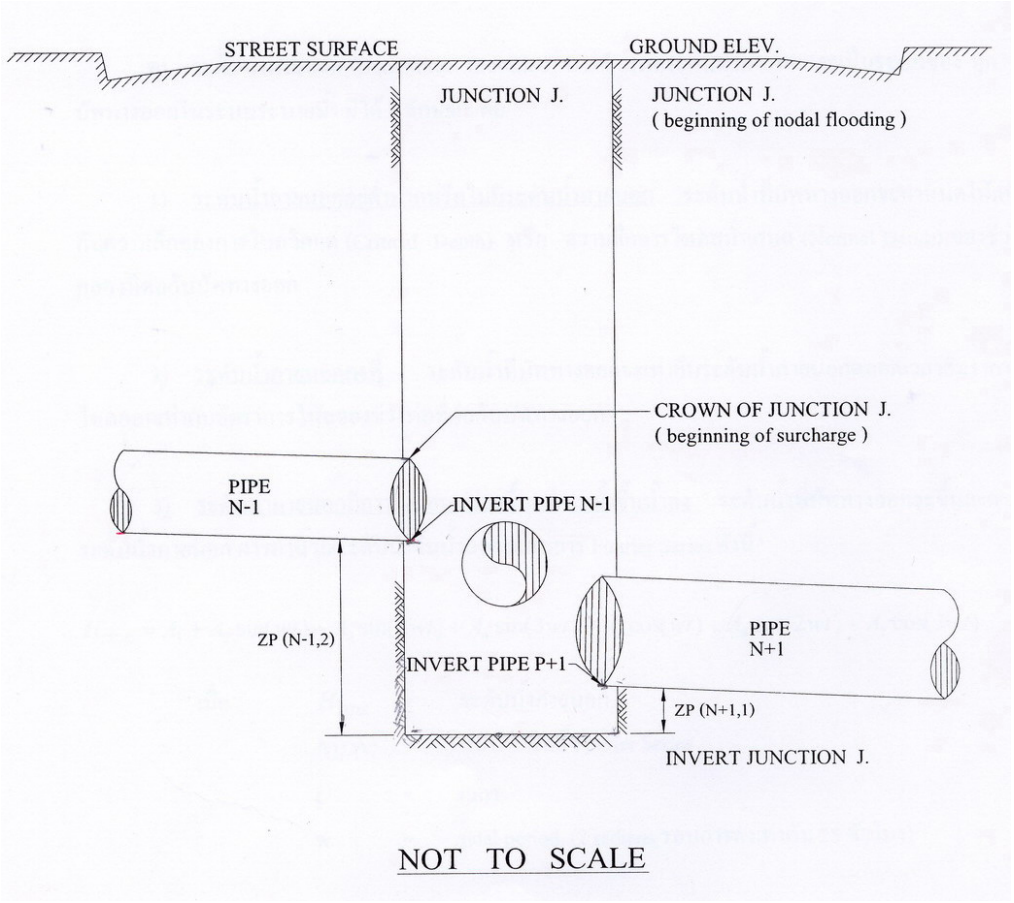
1) เงื่อนไขในการเชื่อมต่อกับช่วงท่อมากกว่า 1 แห่ง ระดับต่ำสุดของช่วงท่อ (Invert pipe) ที่อยู่สูงกว่าจะต้องไม่สูงกว่าระดับสูงสุดของช่วงท่อ (Crown pipe) ที่อยู่ต่ำกว่า ดังแสดงในภาพที่ 8 ตัวอย่างเช่น ระดับต่ำสุดของช่วงท่อ N-1 ต้องไม่สูงกว่าระดับสูงสุดของช่วงท่อ N ในกรณีที่ระดับต่ำสุดของช่วงท่อที่อยู่สูงกว่า สูงกว่าระดับสูงสุดของช่วงท่อที่อยู่ต่ำกว่า ตัวอย่างเช่น ช่วงท่อ N-1 และ ช่วงท่อ N+1 จะทำให้เกิดการไหลภายใต้แรงดันขึ้นเมื่อระดับน้ำอยู่สูงกว่าระดับสูงสุดของช่วงท่อ N+1 และกลับไปเป็นการไหลในทางน้ำเปิดอีกครั้ง เมื่อระดับน้ำสูงกว่าระดับต่ำสุดของช่วงท่อ N+1 ซึ่งการทำงานของโปรแกรมจะหยุดลงเพื่อให้ตรวจสอบข้อมูลตรงจุดนี้ ในการแก้ไขข้อมูลจำเป็นต้องลดระดับต่ำสุดของช่วงท่อ N+1 ลงมาโดยใช้ขนาดของช่วงท่อเท่า

เดิม และเพิ่มสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน Manning เพื่อชดเชยการสูญเสีย ซึ่งเกิดจากการไหลจากช่วงท่อที่อยู่ต่ำกว่าผ่านบ่อพักน้ำ (manhole) ไปยังช่วงท่ออยู่สูงกว่า

2) เงื่อนไขการเริ่มเกิดการไหลภายใต้ความดัน (Surcharge) และเมื่อเกิดสภาวะน้ำท่วม (Flood) การไหลภายใต้ความดันจะเกิดขึ้นเมื่อระดับน้ำขึ้นสูงกว่าระดับสูงสุดของช่วงท่อ (Crown of Junction) ที่ต่อกับบัพนั้น แต่ต่ำกว่าระดับถนน หรือระดับพื้นดิน (Ground Elevation) และถ้าระดับน้ำเกินระดับถนนก็จะเกิดน้ำท่วม แต่ในการคำนวณของโปรแกรมไม่สามารถคำนวณความสูงของ การเกิดน้ำท่วมได้ ปริมาณน้ำที่เกินจากที่ไหลได้ในช่วงท่อจะเป็นปริมาณน้ำที่ไหลท่วมบัพนั้น และโปรแกรมไม่สามารถนำปริมาณน้ำที่ท่วมนี้กลับมาคิดเป็นปริมาณน้ำไหลลงสู่บัพได้อีก ดังนั้นเมื่อเกิดการท่วมปริมาณน้ำส่วนที่เกินขึ้น ปริมาณน้ำส่วนเกินจะหายไปจากการคำนวณในก้าวเวลาต่อ ๆ ไป

3) บัพบ่อพักน้ำ (Storage node) เป็นบัพที่มีปริมาณเก็บน้ำได้นอกเหนือจากปริมาณเก็บน้ำที่มีในช่วงท่อที่ต่อกับบัพนั้น โดยกำหนดให้บ่อพักน้ำมีพื้นที่ผิวน้ำคงที่ทุกความสูงและสามารถตั้งอยู่ในบัพของระบบระบายน้ำหรือนอกก็ได้ ระดับสูงสุดของบัพบ่อพักน้ำจะต้องอย่างน้อยสูงเท่ากับระดับสูงสุดของช่วงท่อที่ต่อกับบัพบ่อพักน้ำ เพื่อไม่ให้เกิดการคำนวณการไหลเป็นแบบการไหลภายใต้แรงดันก่อนที่ช่วงท่อที่อยู่สูงสุดจะเต็ม

4) บัพทางออก สามารถกำหนดเป็นฝายหรือไหลออกอย่างอิสระทั้ง 2 ชนิด สามารถมีประตู (Tide gate) ป้องกันการไหลกลับ เนื่องจากอิทธิพลของระดับน้ำภายนอก อัตราการไหลผ่านฝายกำหนด โดยคุณสมบัติของฝายในส่วนข้อมูลฝาย ระดับน้ำท้ายฝายจะเท่ากับระดับน้ำภายนอก ถ้าเป็นการไหลออกอย่างอิสระระดับน้ำที่บัพทางออกจะขึ้นกับชนิดของระดับน้ำภายนอก



ภาพที่ 12 เงื่อนไขการต่อท่อที่บัพ

เมื่อมีประตูควบคุมการไหลออก ถ้าระดับด้านเหนือน้ำของช่วงท่อที่ต่อกับบัพทางออกสูงกว่าที่ท้ายน้ำก็จะเกิดการไหลออก แต่ถ้าท้ายน้ำสูงกว่าประตูควบคุมการไหลออกจะปิด คือ ไม่มีการไหลออกที่บัพทางออกและไม่มีการไหลย้อนกลับเข้าสู่ระบบ

10.2.3 ระดับน้ำภายนอก (Backwater Elevation) การกำหนดระดับน้ำภายนอกจะเป็นระดับของทุก ๆ บัพทางออกในระบบระบายน้ำ มีได้ 3 ลักษณะ คือ

ก. ระดับน้ำภายนอกอยู่ต่ำมากหรือไม่มีระดับน้ำภายนอก ระดับน้ำที่บัพทางออกจะกำหนดให้เท่ากับความลึกของการไหลวิกฤต (Critical Depth) หรือ ความลึกการไหลสม่ำเสมอ (Normal Depth) ของช่วงคลองที่ต่อกับบัพทางออก

ข. ระดับน้ำภายนอกคงที่ ระดับน้ำที่บัพทางออกจะเท่ากับระดับน้ำภายนอกตลอดเวลาอัตราการไหลออกเท่ากับอัตราการไหลของช่วงท่อที่ต่อกับบัพทางออก

ค. ระดับน้ำภายนอกมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามน้ำขึ้นน้ำลง ระดับน้ำที่บัพทางออกจะขึ้นลงตามระดับน้ำภายนอก การคำนวณระดับน้ำขึ้นน้ำลงตามสมการ Fourier Series ดังนี้

$$H_{TIDE} = A_1 + A_2 \sin(wt) + A_3 \sin(2wt) + A_4 \sin(3wt) + A_5 \cos(wt) + A_6 \cos(2wt) + A_7 \cos(3wt) \quad (16)$$

เมื่อ H_{TIDE} = ระดับน้ำภายนอก

A_1- A_7 = สัมประสิทธิ์ Fourier Series

t = เวลา

w = tidal period (2 radians/รอบการลงเท่ากับ 25 ชั่วโมง)

10.2.4 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าผิวดิน

ถ้าใช้แบบจำลอง EXTRAN เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม SWMM ก็สามารถใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากโปรแกรม SWMM ได้ แต่เมื่อใช้แบบจำลอง EXTRAN แยกจากโปรแกรม SWMMจะต้องมีข้อมูลน้ำท่าผิวดินสำหรับแต่ละบัพ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าผิวดินจะเป็นอัตราการไหลที่จุดเวลาหนึ่ง สำหรับปริมาณน้ำในระหว่างจุดเวลาที่กำหนดจะแบ่งเป็นสัดส่วนกับเวลาใน ช่วงนั้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ พร้อม scanner และเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. กล้องสำรวจระดับ (Geodatic level) พร้อมไม้ระดับ (Staff)
3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ SWMM5 พร้อมคู่มือ
4. แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร
5. ข้อมูลทางกายภาพของระบบระบายน้ำ
6. ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา และอุทกวิทยาในบริเวณพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย ข้อมูลน้ำฝนรายวัน ปริมาณน้ำท่ารายวัน เป็นต้น
7. ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม - ช่วงเวลา - ความถี่ฝน ของสถานีอุตุนิยมวิทยาตาก และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของบริเวณพื้นที่ศึกษา

วิธีการ

1. การเก็บและรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการสำรวจ และรวบรวมข้อมูลทางกายภาพของระบบระบายน้ำภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก โดยทำการสำรวจหน้าตัดทางขวางหน้าตัดทางยาวของคลองระบายน้ำ และรางระบายน้ำ ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของระบบระบายน้ำขณะฝนตก รวบรวมข้อมูลน้ำฝน ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากการเก็บรวบรวมของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลในสนาม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1 ข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา

1.1.1 ข้อมูลระบบระบายน้ำ

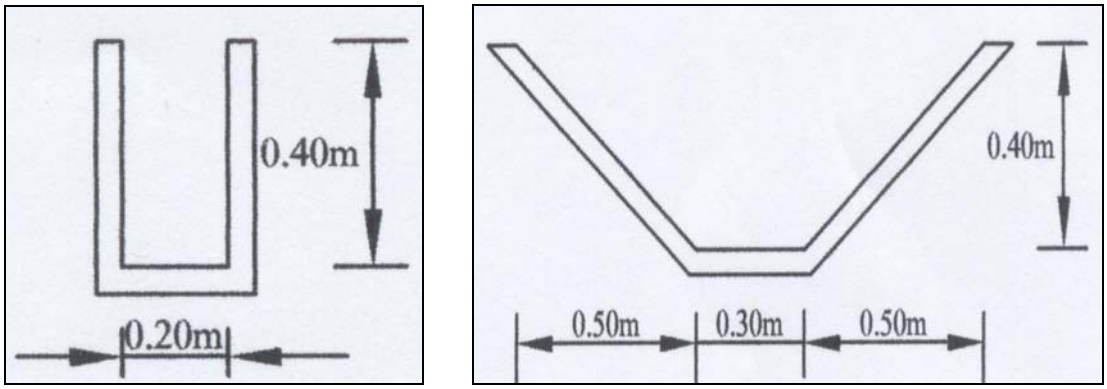
สำรวจและเก็บรายละเอียดของระบบระบายน้ำภายในพื้นที่วิทยาเขตตาก เช่น โครงข่ายการระบายน้ำ หน้าตัดทางยาว หน้าตัดทางขวาง ระดับก้นท่อ และทิศทางการไหล ซึ่งระบบระบายน้ำในปัจจุบันของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด เป็นการระบายน้ำด้วยแรงโน้มถ่วง ซึ่งระบบระบายน้ำเหล่านี้ มีจุดเชื่อมต่อเนื่องกันเป็นรูปบ่วง โดยมีจุดไหลออกไปยังจุดรับน้ำภายนอกพื้นที่โดยตรง (หนองหลวง) และจากหนองหลวงจะระบายน้ำผ่านทางระบายน้ำของเทศบาลออกสู่แม่น้ำปิงต่อไป ระบบระบายน้ำภายในพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 15 ซึ่งประกอบด้วย

ก) รางระบายน้ำ มี 3 ลักษณะคือ เป็นรางระบายน้ำคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงในภาพที่ 13(ก) ซึ่งในบางช่วงจะสลับกับท่อกลมคอนกรีต ตามตำแหน่งที่มีทางข้ามรางระบายน้ำ และอีกลักษณะจะเป็นรางระบายน้ำคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังแสดงในภาพที่ 13(ข) ซึ่งรางระบายน้ำเหล่านี้ จะรับน้ำจากพื้นที่รับน้ำย่อยภายในพื้นที่ และเชื่อมต่อกันไปยังตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อจะระบายน้ำลงสู่คลองภายในวิทยาเขตต่อไป สำหรับรายละเอียดรูปตัดทางขวางของรางระบายน้ำ ดังแสดงในภาพภาคผนวก ข

ข) คลองระบายน้ำ ซึ่งเป็นทางน้ำเปิด มี 2 ลักษณะ ช่วงด้านหน้าหรือจุดที่คลองรับน้ำเข้าวิทยาเขต จะรับน้ำมาจากท่อลอดสี่เหลี่ยมของถนนพหลโยธิน ช่วงจากจุดรับน้ำถึง อาคาร 7 จะเป็นส่วนที่เคยมีการปรับปรุงคลองโดยการดาดคอนกรีตผนังคลอง ดังแสดงในภาพที่ 14(ก) และมีฝายข้างคณะวิชาโยธาเพื่อกั้นน้ำ และยกระดับน้ำไว้ ไม่ให้น้ำแห้งในฤดูแล้ง และหน้าตัดคลองในบางตำแหน่ง จะเป็นท่อกลมคอนกรีตเพื่อลอดใต้ถนนที่ข้ามคลอง ส่วนอาคาร 7 จะเป็นอาคารที่สร้างคล่อมคลอง และมีการทำฝายน้ำล้นเพื่อยกระดับน้ำไว้เช่นกัน จากอาคาร 7 ไปจนถึงจุดไหลออกจากวิทยาเขต (ไหลลงสู่หนองหลวง) จะเป็นสภาพคลองธรรมชาติ ดังแสดงในภาพที่ 14 (ข) ซึ่งจะมีระดับน้ำต่ำมากในฤดูแล้ง และจะมีระดับน้ำสูงมากในฤดูน้ำหลาก คลองระบายน้ำมีขนาดความกว้างตั้งแต่ 8 - 22 เมตร และมีระยะทางตั้งแต่จุดรับน้ำเข้า และจุดระบายน้ำออกประมาณ 1 กิโลเมตร สำหรับรายละเอียดรูปตัดทางขวาง ของคลองระบายน้ำ ดังแสดงในภาพภาคผนวก ก

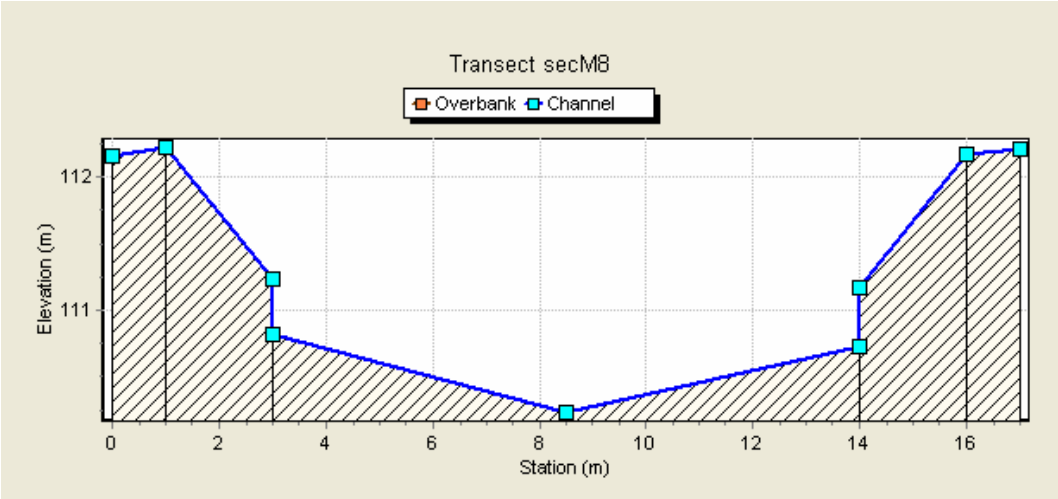
1.1.2 ข้อมูลพื้นที่รับน้ำ

สำหรับพื้นที่รับน้ำภายในพื้นที่ศึกษานั้น ในการนำข้อมูลของพื้นที่รับน้ำไปใช้กับแบบจำลองนั้น จำเป็นที่จะต้องแบ่งพื้นที่ทั้งหมดเป็นพื้นที่รับน้ำย่อย (Subcatchment Area) โดยการแบ่งพื้นที่นี้จะอาศัย ระดับพื้นที่ แนวถนน และการสังเกตลักษณะการไหลของน้ำบนพื้นที่ ขณะฝนตก ซึ่งจะทำให้สามารถจำลองลักษณะการไหลของพื้นที่รับน้ำย่อยได้ใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด และสามารถทำการแบ่งพื้นที่ในแบบจำลอง SWMM ได้โดยนำแผนที่ของพื้นที่ศึกษามาเป็นพื้นหลัง และในแบบจำลองสามารถวัดขนาดพื้นที่รับน้ำย่อยได้ดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 16

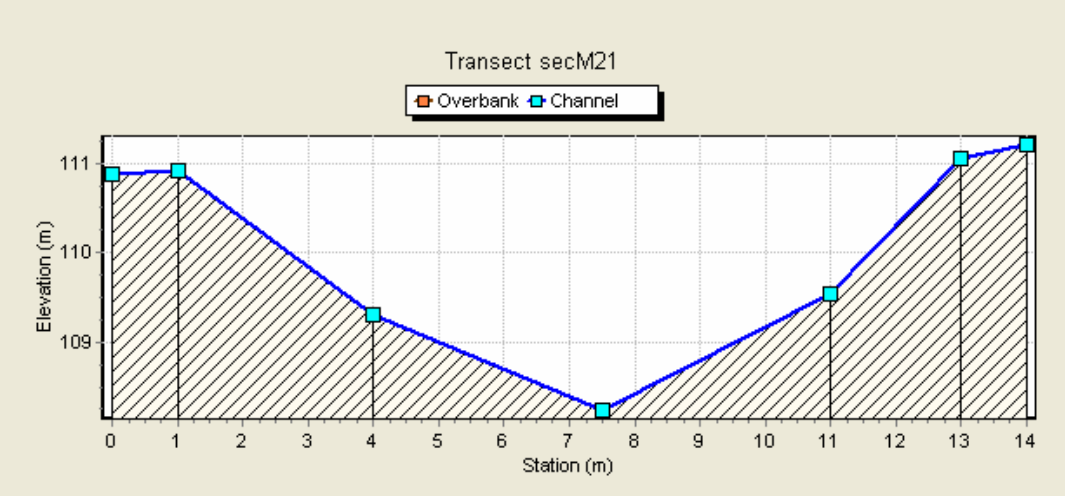


(ก) (ข)

ภาพที่ 13 หน้าตัดรางระบายน้ำ

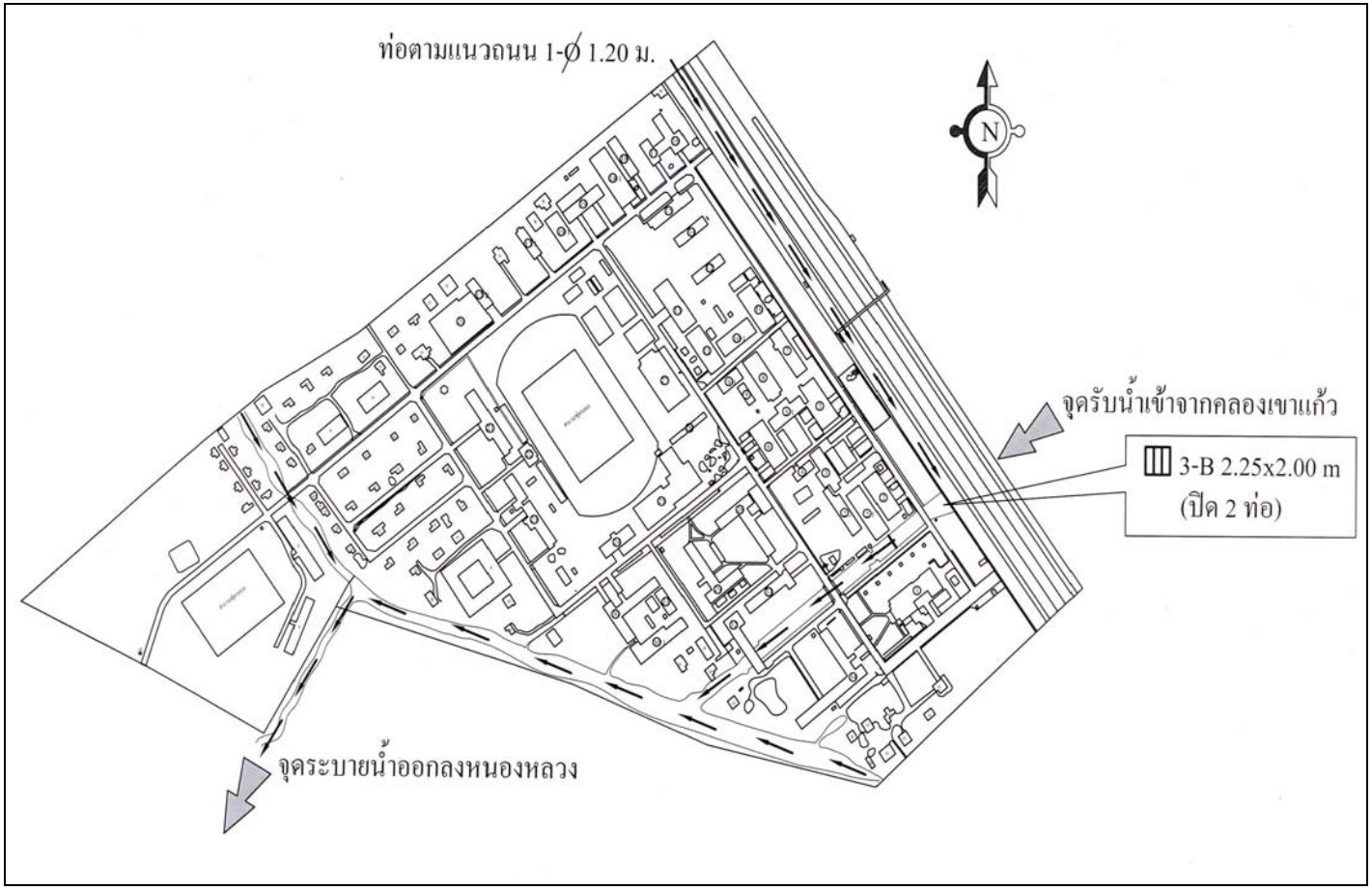


(ก)

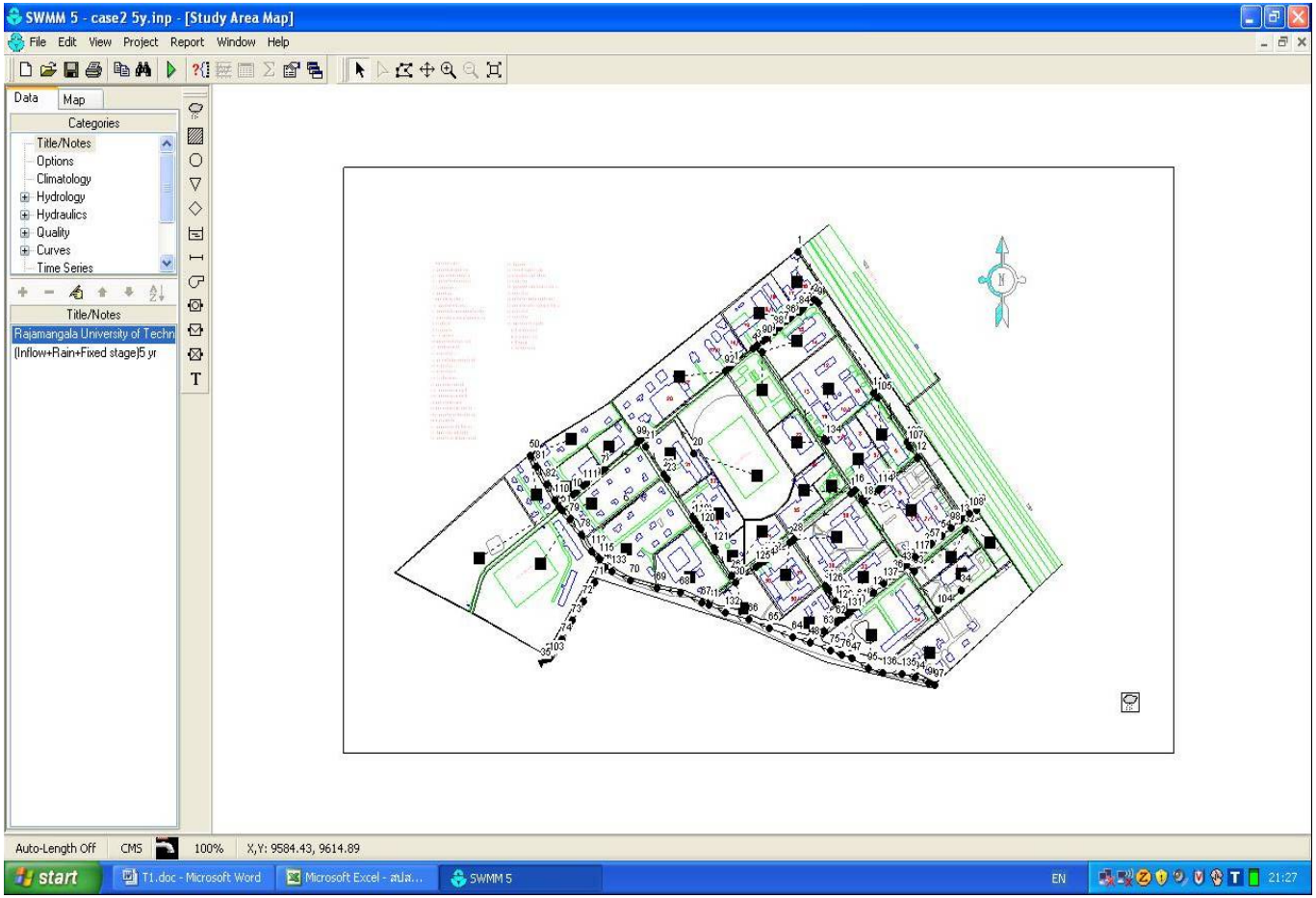


(ข)

ภาพที่ 14 หน้าตัดคลองระบายน้ำ



ภาพที่ 15 แสดงระบบระบายน้ำภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก



ภาพที่ 16 ตัวอย่างการแบ่งพื้นที่รับน้ำย่อยในแบบจำลอง SWMM

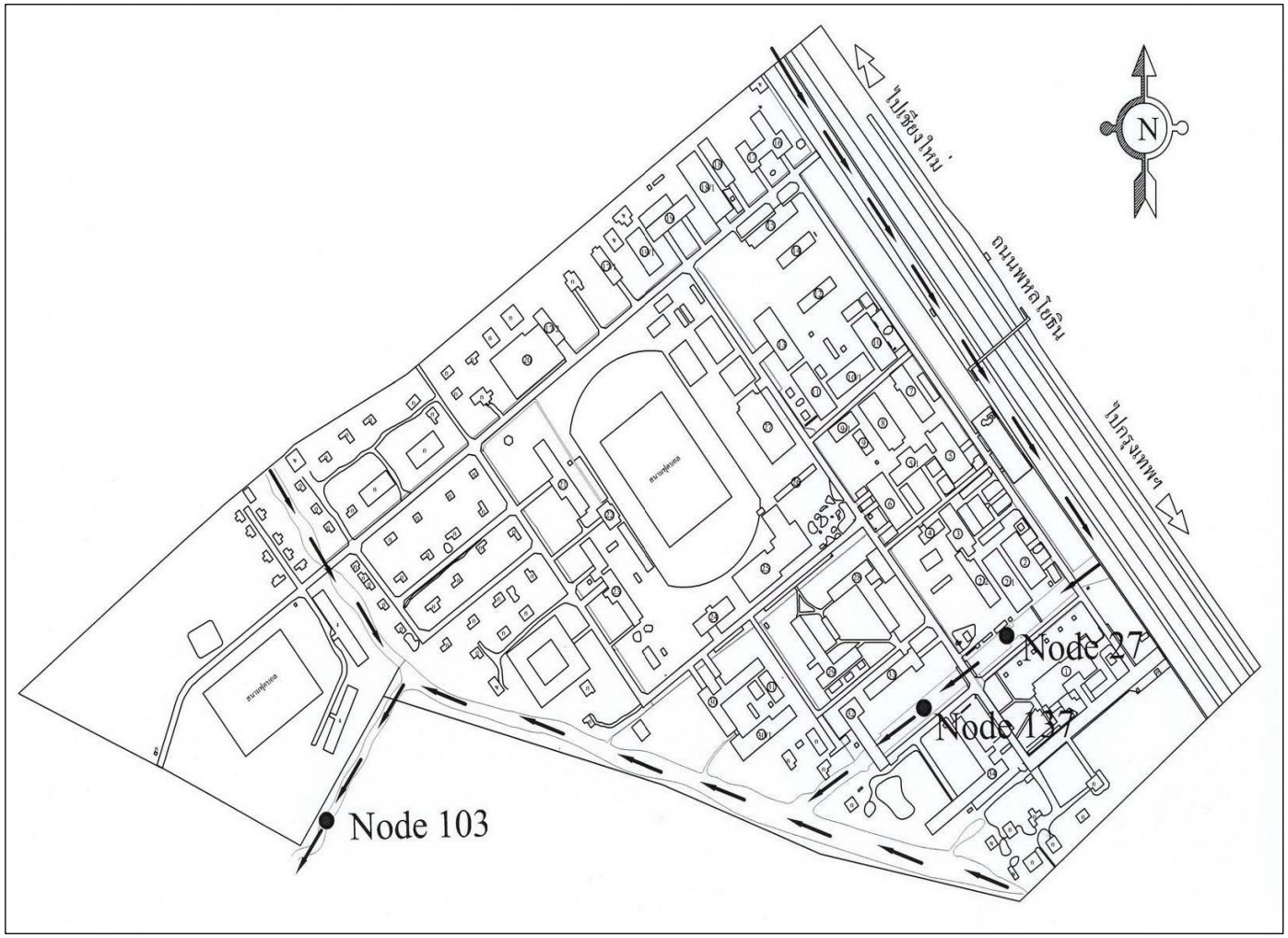
1.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

1.2.1 ข้อมูลปริมาณฝน

รวบรวมข้อมูลน้ำฝนจากสถานีอุตุนิยมวิทยา อ.เมือง จ.ตาก (รหัสสถานี 63013) ตั้งอยู่ละติจูด 16° 52′ 42″ เหนือและลองติจูด 99° 8′ 36″ ตะวันออก ซึ่งเป็นสถานีที่ตั้งอยู่ใกล้พื้นที่ศึกษามากที่สุด ซึ่งข้อมูลน้ำฝนจะเป็นข้อมูลน้ำฝนราย 3 ชั่วโมง และปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ใช้ข้อมูลน้ำฝนจาก กราฟ Intensity – Duration - Frequency Curve ของสถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองตาก ดังแสดงในภาพที่10

1.2.2 ข้อมูลระดับน้ำ

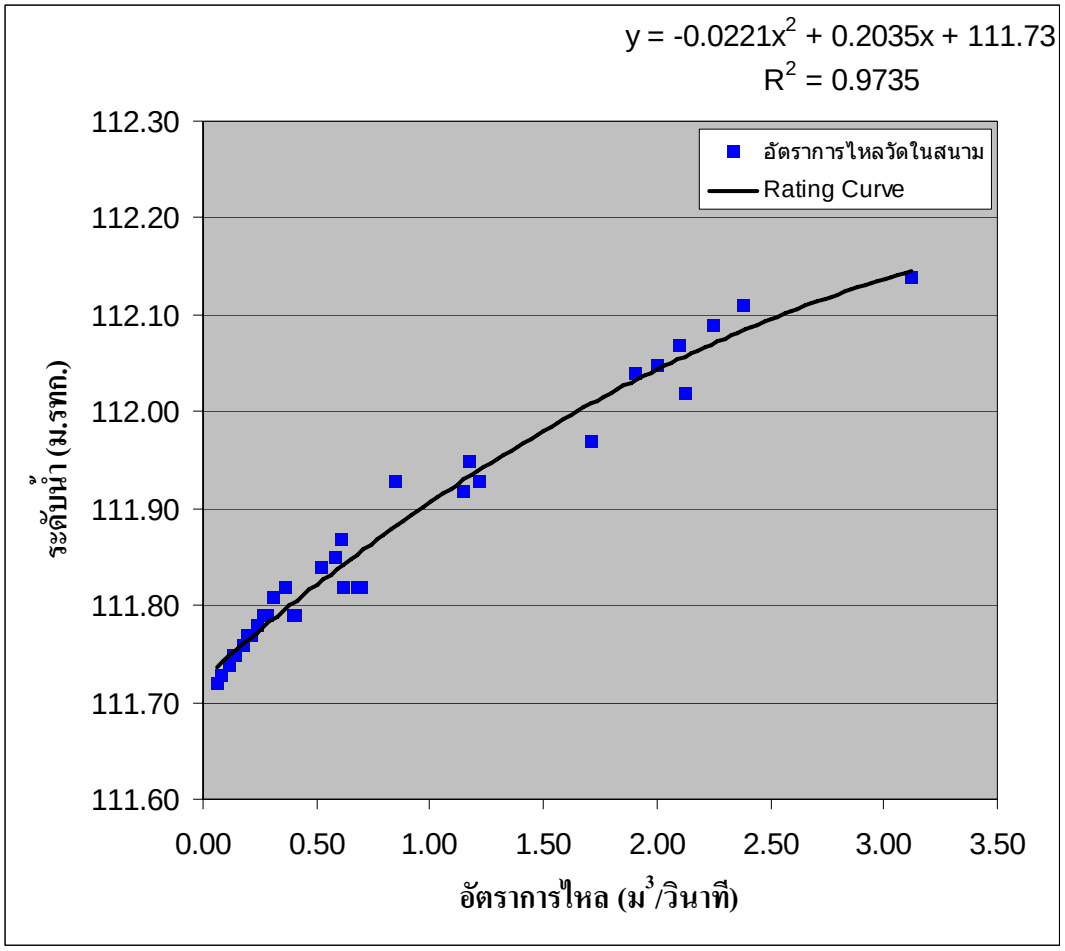
เนื่องจากไม่เคยมีการเก็บข้อมูลระดับน้ำของคลองภายในพื้นที่ศึกษามาก่อนจึงต้องทำการติดตั้งแผ่นวัดระดับน้ำ (Staff Gauge) ตามตำแหน่งพิจารณาต่าง ๆ จำนวน 3 ตำแหน่ง คือ คลองข้างคณะวิชาโยธา คลองข้างอาคาร 8 และคลองด้านหลังวิทยาเขต ใกล้จุดที่น้ำไหลออกจากคลองภายในวิทยาเขตลงสู่หนองหลวง โดยทำการเก็บข้อมูลค่าระดับน้ำรายวัน ตลอดช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม 2549 เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งแผ่นวัดระดับน้ำบริเวณภายในพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 17 และผลการเก็บข้อมูลระดับน้ำรายวันตามตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ค3 ถึง ค5



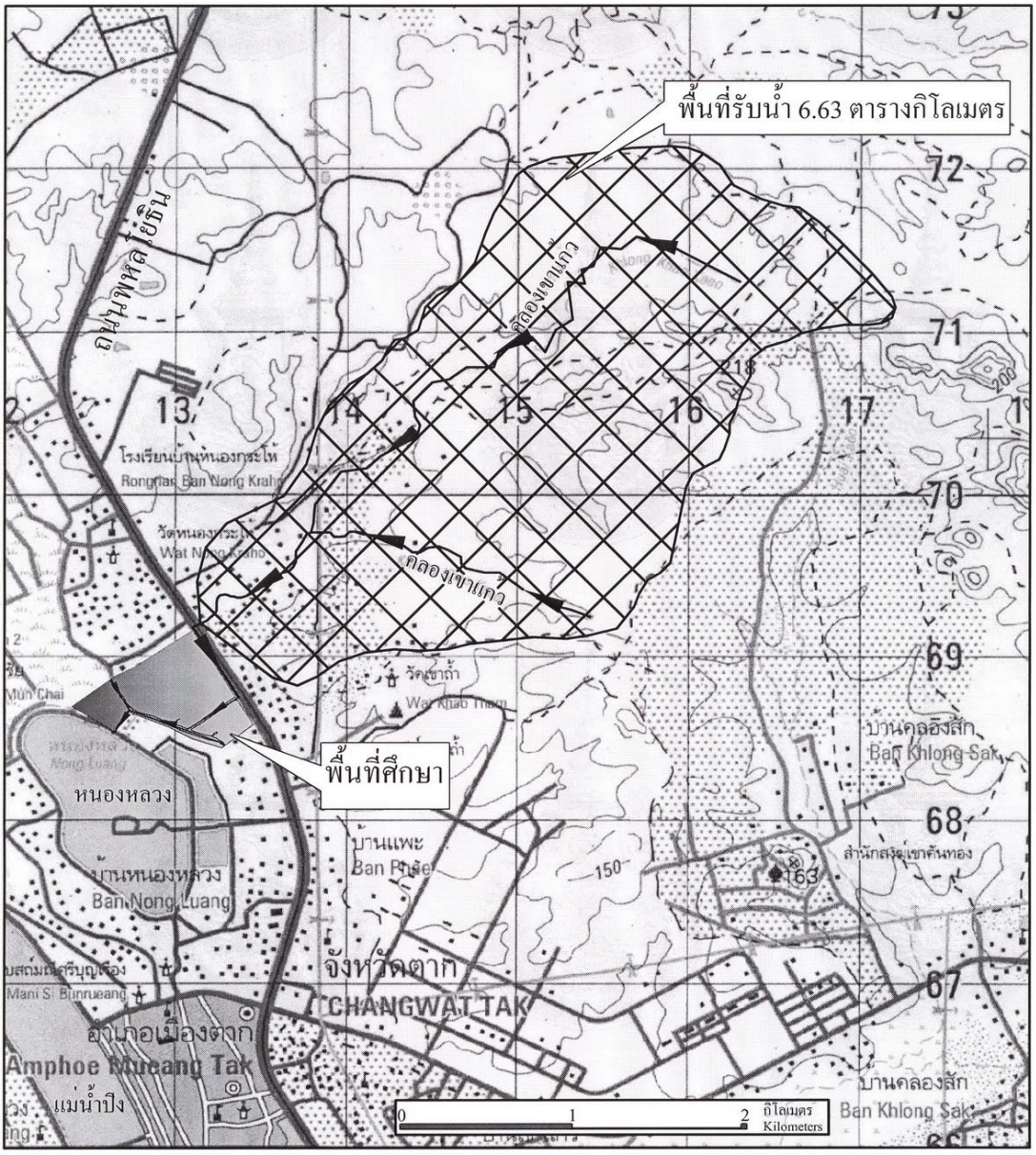
ภาพที่ 17 แสดงตำแหน่งติดตั้งแผ่นวัดระดับน้ำ (Staff Gauge) ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก

1.2.3 ข้อมูลอัตราการไหลของจุดรับน้ำที่ไหลเข้าคลองภายในวิทยาเขต

สำรวจหน้าตัดคลอง ระดับน้ำ และใช้ Current Meter วัดความเร็วการไหลของน้ำที่ไหลเข้าคลอง โดยช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลคือวันที่ 27 กันยายน 2549 - 31 ตุลาคม 2549 เพราะเป็นช่วงต้นฤดูฝน เริ่มมีปริมาณน้ำฝนมาก น้ำในคลองเริ่มมีการไหลสามารถวัดความเร็วการไหลได้ และนำข้อมูลที่เก็บได้จากในสนามมาคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดทางน้ำ และอัตราการไหล จากนั้นทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหล (Rating Curve) ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและอัตราการไหลของจุดรับน้ำเข้า



ภาพที่ 19 พื้นที่รับน้ำจากคลองเขาแก้ว

1.2.4 การคำนวณอัตราการไหลสูงสุด

คำนวณอัตราการไหลสูงสุด โดยการลากเส้นขอบเขตของพื้นที่ลุ่มน้ำของคลองเขาแก้ว และทำการวัดขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำของคลองเขาแก้วมีขนาด 6.63 ตารางกิโลเมตร ซึ่งสามารถใช้วิธี Rational Formula ดังสมการที่ (1) มาคำนวณหาอัตราการไหลสูงสุดได้เพราะมีพื้นที่ลุ่มน้ำน้อยกว่า 25 ตารางกิโลเมตร โดยใช้ค่าความเข้มฝน (Intensity) จากกราฟ Intensity - Duration - Frequency Curve ของสถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองตาก ดังแสดงในกราฟ

ภาพที่ 10 ซึ่งสถานีดังกล่าว เป็นสถานีที่ใกล้พื้นที่ศึกษามากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง (C) สามารถหาได้จากกราฟภาพที่ 7 ซึ่งเป็นกราฟสำหรับอ่านค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C ที่ใช้ในสูตร rational formula

2. การจำลองระบบระบายน้ำในแบบจำลองให้สอดคล้องกับระบบระบายน้ำในสภาพจริง

ในการจำลองระบบระบายน้ำของพื้นที่ศึกษาในแบบจำลองนั้น จะมีส่วนหลักที่สำคัญ คือ พื้นที่รับน้ำย่อย และโครงข่ายระบบระบายน้ำ

2.1 พื้นที่รับน้ำย่อย (Subcatchment)

การกำหนดพื้นที่รับน้ำย่อย ทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นพื้นที่รับน้ำย่อย ๆ ลงในแบบจำลอง โดยอาศัยระดับพื้นที่ แนวถนน ลักษณะการใช้ที่ดินประเภทเดียวกันเพื่อสะดวกในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การไหลนองของพื้นที่รับน้ำย่อย และการสังเกตลักษณะการไหลของน้ำบนพื้นที่ ขณะฝนตกเพื่อกำหนดจุดรับน้ำของพื้นที่รับน้ำ ซึ่งจะทำให้สามารถจำลองลักษณะการไหลของพื้นที่รับน้ำย่อยได้ใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด เมื่อทำการแบ่งพื้นที่รับน้ำย่อยแล้ว จะต้องใส่ข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำย่อย เช่น ขนาดและความกว้างของพื้นที่ เปอร์เซ็นต์ความลาดชัน เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง ตามลักษณะของพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านได้ และซึมผ่านไม่ได้ ประเภทของการใช้ที่ดิน ข้อมูลฝน ชื่อสถานีวัดน้ำฝนที่ใช้กับพื้นที่ และสำหรับพื้นที่ศึกษานี้ได้กำหนดพื้นที่รับน้ำย่อยได้ 37 พื้นที่

2.2 โครงข่ายระบบระบายน้ำ

การสร้างโครงข่ายระบบระบายน้ำ จะต้องกำหนดตำแหน่งจุดรับน้ำ (Junction Node) ต่าง ๆ ให้ละเอียดที่สุด โดยการกำหนดทุกจุดที่มีการเชื่อมต่อหรือเปลี่ยนชนิด ขนาดของท่อ รางระบายน้ำ และคลอง จุดที่มีบ่อพัก จุดที่มีการติดตั้งไม้วัดระดับน้ำ และจุดระบายน้ำออก จากนั้นทำการสร้างเส้นของท่อ รางหรือ คลองระบายน้ำ (Conduit) เชื่อมต่อระหว่างจุดรับน้ำเป็นโครงข่ายรูปบ่วง (Loop) และใส่คุณสมบัติต่างของท่อ เช่น ชื่อของท่อและรางระบายน้ำ (Conduit) ความยาว ลักษณะและรูปหน้าตัดทางขวาง ความลึกสูงสุด สัมประสิทธิ์ความขรุขระ และจุดเชื่อมต่อ เช่น ค่าพิกัดและระดับก้นรางของจุดเชื่อมต่อ (Junction) สำหรับพื้นที่ศึกษานี้ได้กำหนดจำนวนจุดรับน้ำ (Junction Node) เท่ากับ 137 จุดและจำนวนท่อ (Conduit) เท่ากับ 141

3. การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

3.1 การสอบเทียบแบบจำลอง

การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ SWMM 5 มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษาจะต้องทำการสอบเทียบแบบจำลองกับพื้นที่ศึกษา โดยใช้ข้อมูลที่วัดจริงในสนาม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งทำให้ค่าความแตกต่างของผลที่ได้จากแบบจำลอง และข้อมูลที่วัดจริงในสนามมีค่าน้อยที่สุด ดังนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's coefficient , n) ตามชนิดของคลองระบายน้ำ ซึ่งในพื้นที่ศึกษานี้มีลักษณะคลองระบายน้ำ 2 ชนิดคือ ชนิดผนังคอนกรีตส่วนท้องคลองเป็นดินธรรมชาติ และ ชนิดคลองดินธรรมชาติ

ในการสอบเทียบแบบจำลองนี้ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมตามชนิดของคลองระบายน้ำ โดยการใช้ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าคลองระบายน้ำผ่านวิทยาเขต ที่ได้จากในสนาม และเลือกข้อมูลของวันที่ไม่มีฝนตก เพราะจะไม่มีผลกระทบจากปริมาณฝนที่ตกภายในพื้นที่ ซึ่งในการสอบเทียบแบบจำลองนี้ ได้ใช้ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำเข้าคลองในช่วงวันที่ 14 - 18 ตุลาคม 2549 จากนั้นทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (Manning's coefficient , n) ตามชนิดของคลองระบายน้ำ ในแบบจำลอง SWMM 5 จนกว่าผลของระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลอง และข้อมูลระดับน้ำที่วัดจริงในสนามจะมีค่าความแตกต่างน้อยที่สุด

3.2 การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง เป็นการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลองนี้ ใช้ข้อมูลของอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าคลองของพื้นที่ศึกษา โดยเลือกข้อมูลในช่วงวันที่ 27 - 29 ตุลาคม 2549 จากการตรวจสอบข้อมูลฝน ซึ่งเป็นวันที่ไม่มีฝนตก เพราะจะไม่มีผลต่อระดับน้ำภายในคลองจากปริมาณน้ำฝนที่ตกภายในพื้นที่ และเป็นวันที่มีการเก็บข้อมูลระดับน้ำในสนามไว้ด้วยเช่นกัน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองกับข้อมูลระดับน้ำที่เก็บได้จากสนาม

4. การศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำในระบบระบายน้ำ

การประเมินความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำในปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา จะทำการศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมของน้ำในระบบระบายน้ำที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปีและ10 ปี ด้วย กรณีศึกษา 12 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 9 ตารางแสดงกรณีศึกษา

กรณีศึกษา	Tr	ความเข้มฝน	Discharge	Max.Flood เข้าวิทยาเขต	มาตรการแก้ไข		
					Operation Gate	ระดับน้ำหนองหลวง	Pump
	(y)	(mm/hr)	(cms)	(cms)	Q(cms)	m (MSL)	(cms)
1	5	29.15	19.508	7		110.852	
2	10	34.16	23.757	9		110.852	
3	10	34.16	23.757	9	6	110.852	
4	10	34.16	23.757	9	6	110.852	6.6
5	5	29.15	19.508	7	6	109.852	
6	10	34.16	23.757	9		109.852	
7	10	34.16	23.757	9	6	109.852	
8	5	29.15	19.508	7	6	108.852	
9	10	34.16	23.757	9		108.852	
10	10	34.16	23.757	9	6	108.852	
11	10	34.16	23.757	9	5	109.852	
12	10	34.16	23.757	9	5	108.852	

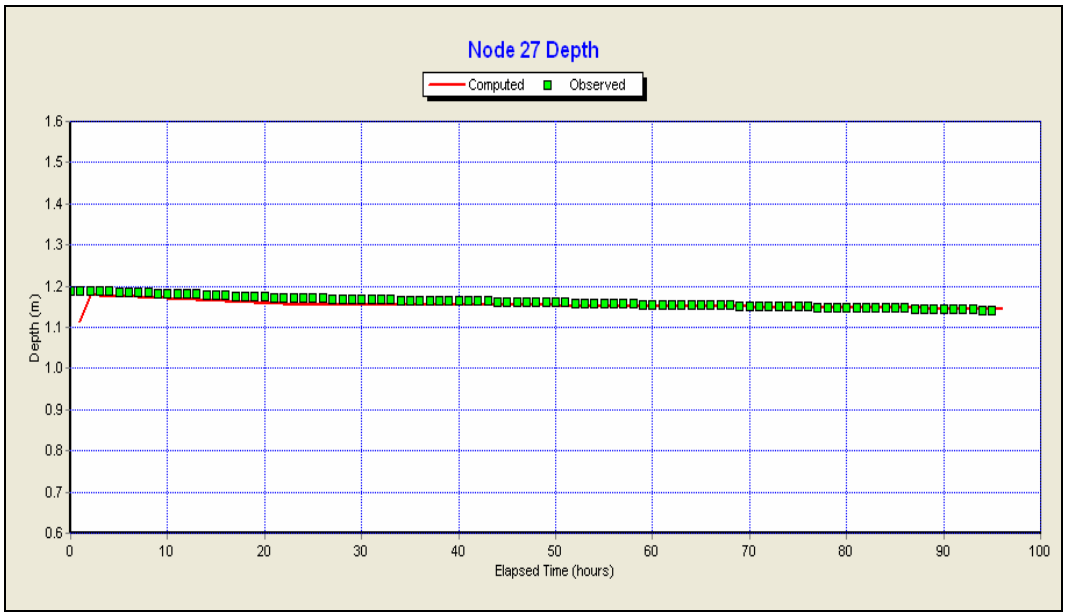
หมายเหตุ กรณีศึกษาที่ 2 - 12 ใช้มาตรการขุดลอกตะกอนดินและลดระดับสันฝาย 0.60 ม.

ผลการศึกษาและวิจารณ์

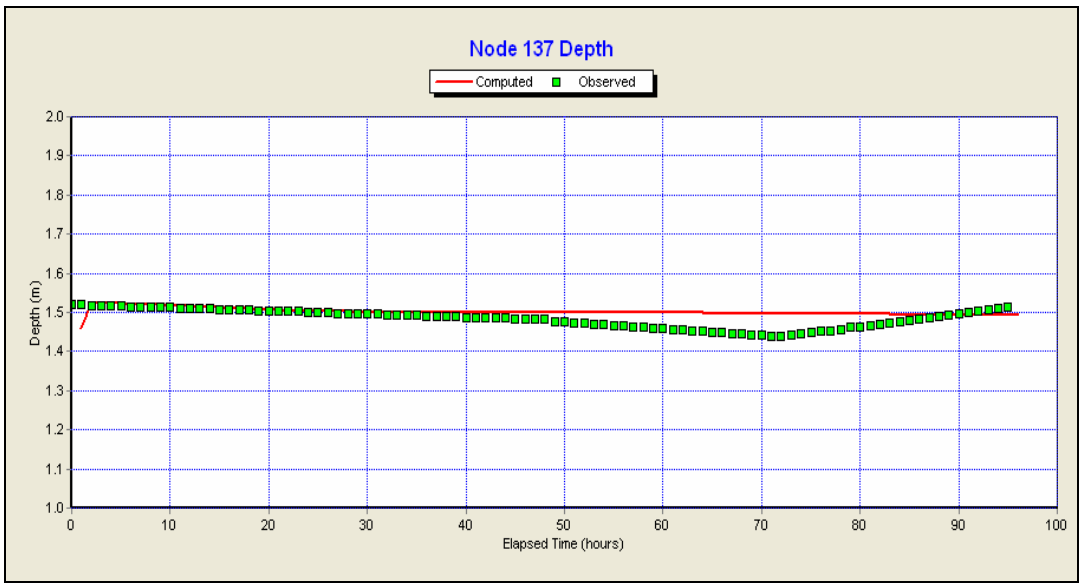
1. ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

1.1 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง

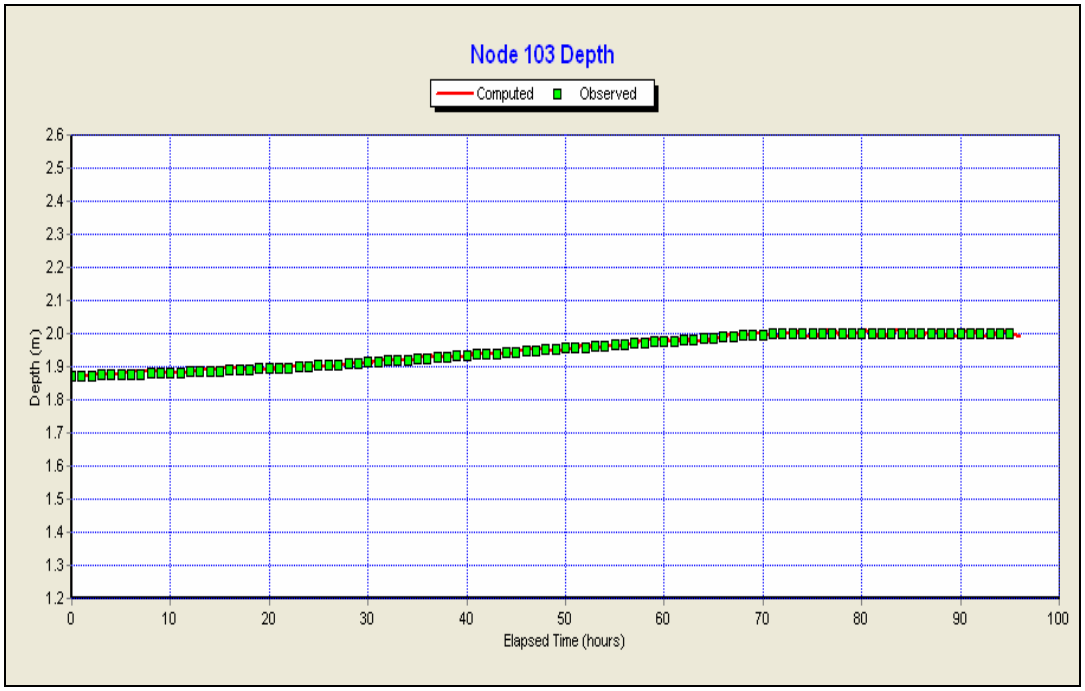
การสอบเทียบแบบจำลอง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมตามชนิดของคลองระบายน้ำ ที่ไหลผ่านพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองของพื้นที่ศึกษานี้ ก็คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (Manning's coefficient , n) โดยทดลองใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง ตามชนิดของคลองระบายน้ำ และตรวจสอบโดยเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจนกว่าค่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองและจากข้อมูลในสนาม ตามตำแหน่งต่าง ๆ จะมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 20 การเปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับที่วัดจริงในสนาม (Node 27) ของการสอบเทียบคลองชนิดผนังคอนกรีตส่วนท้องคลองเป็นดินธรรมชาติ



ภาพที่ 21 เปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับที่วัดจริงในสนาม (Node 137) ของการสอบเทียบคลองชนิดผนังคอนกรีตส่วนท้องคลองเป็นดินธรรมชาติ



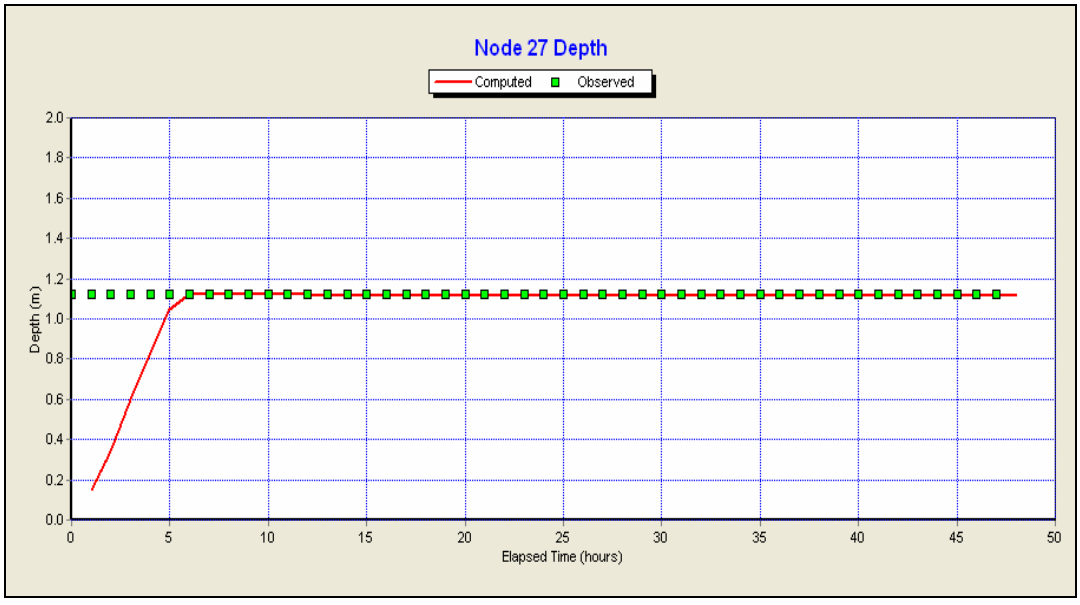
ภาพที่ 22 เปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับที่วัดจริงในสนาม (Node 103) ของการสอบเทียบคลองชนิดคลองดินธรรมชาติ

ผลการสอบเทียบแบบจำลองได้ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่ง (Manning's coefficient , n) ของคลองระบายน้ำชนิดผนังคอนกรีตส่วนท้องคลองเป็นดินธรรมชาติ เท่ากับ 0.018 และ คลองระบาย น้ำชนิดคลองดินธรรมชาติ เท่ากับ 0.05

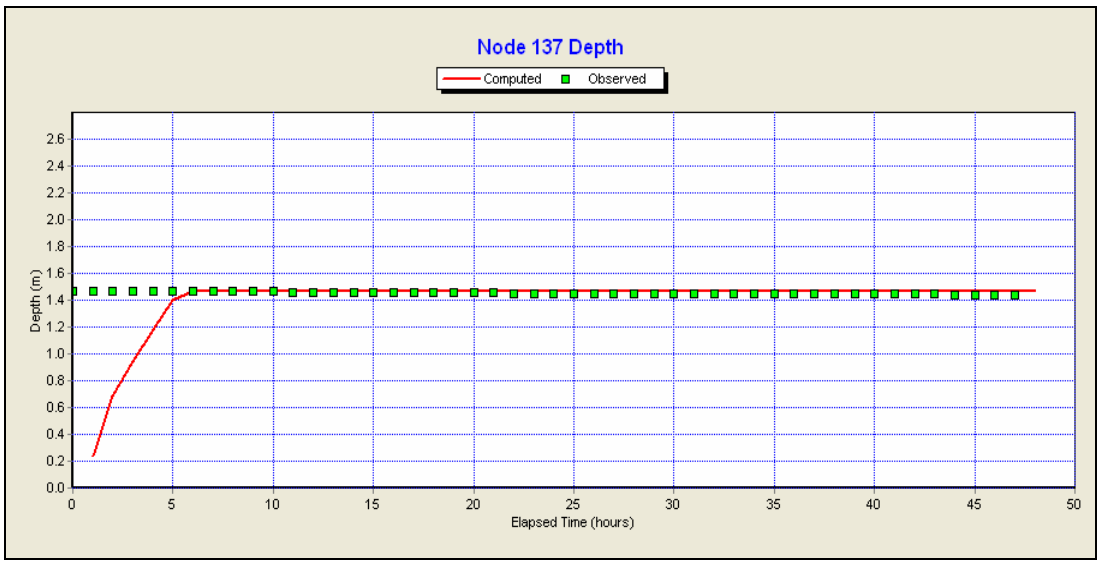
1.2 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ในการเลือกใช้ข้อมูลควรเลือกใช้ในวันที่ไม่มีฝนตกเนื่องจากจะไม่มีผลกระทบจากปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่กับระดับน้ำภายในคลอง ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลองในพื้นที่ศึกษานี้จึงได้เลือกข้อมูลในช่วงวันที่ 27 - 29 ตุลาคม 2549 และเป็นวันที่มีการเก็บข้อมูลระดับน้ำในสนามไว้ด้วยเช่นกัน

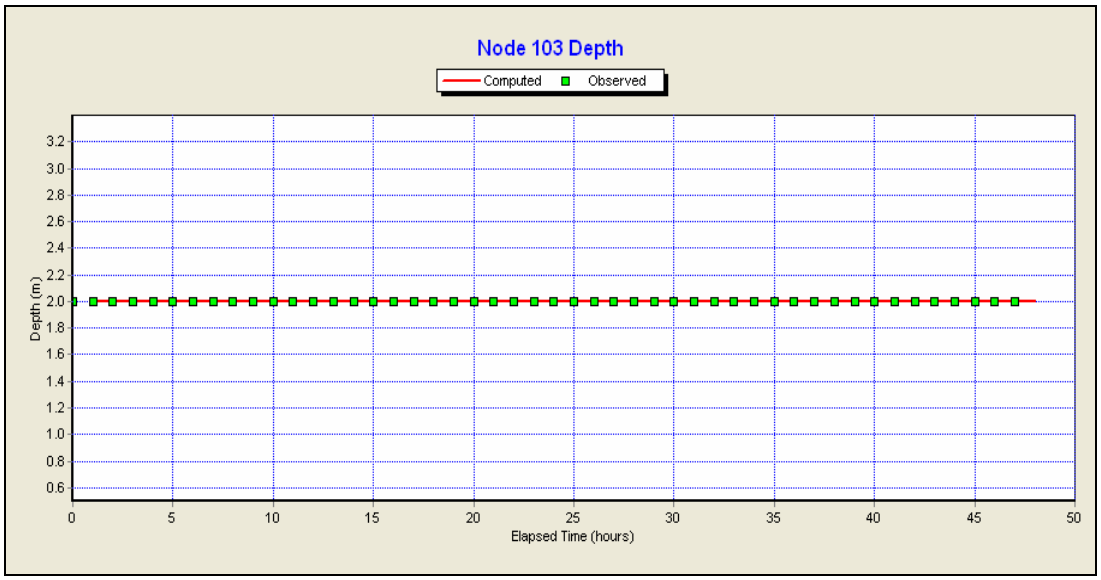
ผลการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองและ จากข้อมูลระดับน้ำที่วัดได้จากในสนามตามตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้



ภาพที่ 23 เปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับที่วัดจริงในสนาม (Node 27) ของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



ภาพที่ 24 เปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับที่วัดจริงในสนาม (Node 137) ของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง



ภาพที่ 25 เปรียบเทียบระดับน้ำจากแบบจำลองกับที่วัดจริงในสนาม (Node 103) ของการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

จากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 27 - 29 ตุลาคม 2549 จากการเปรียบระดับน้ำ ที่ได้จากแบบจำลองและจากระดับน้ำที่ได้จากการเก็บในสนาม ตามตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่ง (Manning's coefficient , n) ของคลองระบายน้ำตามชนิดของคลอง ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง ผลของระดับน้ำนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน

2. ผลการศึกษาวิเคราะห์ทางด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

2.1 การคำนวณหาปริมาณการไหลสูงสุด (flood peak) ของปริมาณน้ำที่รับมาจากคลองเขาแก้วไหลเข้าคลองของพื้นที่ศึกษา ใช้สมการ rational formula ซึ่งพื้นที่รับน้ำจากคลองเขาแก้วมีขนาด 6.6 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่รับน้ำขนาดเล็ก มีขนาดพื้นที่ไม่เกิน 25 ตารางกิโลเมตร โดยใช้ค่าความเข้มฝน (Intensity) จากกราฟ Intensity - Duration - Frequency Curve ของสถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองตาก ดังแสดงในกราฟภาพที่ 10 เพื่อที่จะนำค่าอัตราการไหลสูงสุดมาใช้ในการประเมินความสามารถของระบบระบายน้ำภายในพื้นที่ศึกษา ตามรอบปีการเกิดซ้ำของฝนต่าง ๆ ผลการคำนวณหาอัตราการไหลสูงสุดของพื้นที่ลุ่มน้ำดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 อัตราการไหลสูงสุดที่ไหลเข้าคลองวิทยาเขตจากพื้นที่ลุ่มน้ำคลองเขาแก้ว

รอบปีการเกิด (ปี)	สัมประสิทธิ์การไหลนอง (C)	ความเข้มฝน (มม./ชม.)	เวลาน้ำท่าเข้มข้น (ชม.)	อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)
5	0.22	48.240	1.464	19.508
10	0.23	56.194	1.464	23.757

ที่มา: สัมประสิทธิ์การไหลนอง(C) จากกราฟดังแสดงในภาพที่ 7

จากอัตราการไหลสูงสุดที่คำนวณได้ เนื่องจากมีข้อจำกัดของขนาดท่อ ที่รับน้ำมาจากคลองเขาแก้วและไหลต่อมาคลองระบายน้ำภายในพื้นที่วิทยาเขต ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือท่อกลมขนาด 1-$\varnothing$ 1.20 m และท่อลอดสี่เหลี่ยมขนาด 3 - B2.00x2.50 แต่สามารถใช้ได้เพียง 1 ท่อ ดังนั้นปริมาณน้ำจากคลองเขาแก้วจึงไม่สามารถไหลเข้าคลองภายในวิทยาเขตได้ทั้งหมด

2.2 การคำนวณหาปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ ตามรอบปีการเกิดต่าง ๆ จากกราฟ Intensity - Duration - Frequency Curve ของสถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองตาก ดังแสดงในกราฟภาพที่ 7 เพื่อที่จะนำปริมาณฝนไปใช้ในการประเมินความสามารถในการระบายน้ำ โดยในพื้นที่ศึกษานี้ใช้ช่วงเวลาฝน 3 ชั่วโมง ให้สอดคล้องกับระยะเวลาที่ปริมาณน้ำจากภายนอกไหลเข้าคลองภายในพื้นที่ เพื่อต้องการจะควบคุมปริมาณน้ำ ในขณะที่มีปริมาณน้ำเข้าสูงสุดและมีปริมาณฝนสูงสุดเช่นกัน ผลการคำนวณหาปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 11

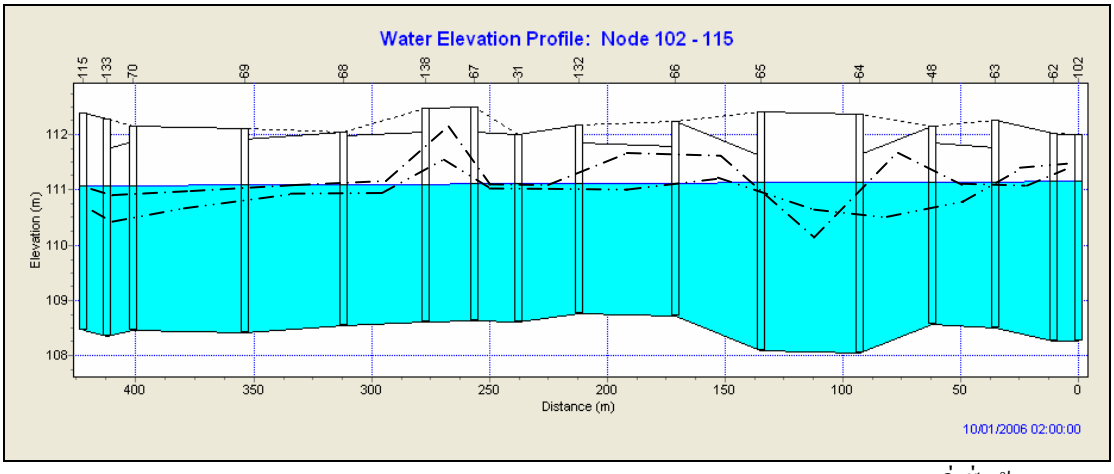
ตารางที่ 11 ปริมาณฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ

รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี)	ช่วงเวลาฝน (ชม.)	ความเข้มฝน (มม./ชม.)
5	3	29.15
10	3	34.16

3. ผลการประเมินความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำภายในพื้นที่ศึกษา

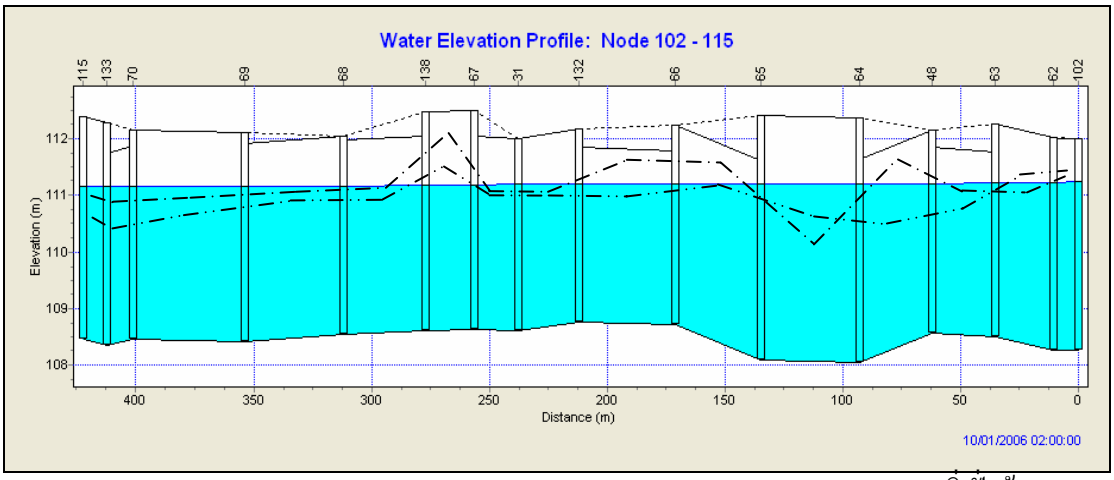
จากการศึกษาระบบระบายน้ำ โดยการจำลองสภาพในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำภายในพื้นที่ ด้วยกรณีศึกษา 12 กรณี ผลการศึกษาดังนี้

3.1 ผลการศึกษากรณีที่ 1 เป็นผลจากการประเมินความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำในสภาพปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี ระดับน้ำล้นตลิ่งภายในวิทยาเขตเท่ากับ 0.84 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 26



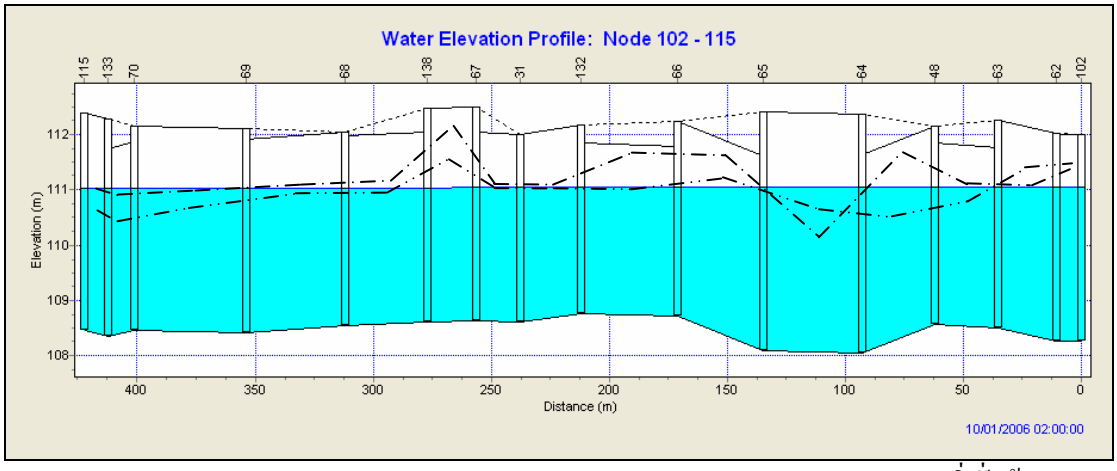
ภาพที่ 26 ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 1

3.2 ผลการศึกษากรณีที่ 2 เป็นผลจากการหาแนวทางในการปรับปรุงระบบระบายน้ำที่มีอยู่เดิมให้ได้มาตรฐานโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี ระดับน้ำล้นตลิ่งภายในวิทยาเขตเท่ากับ 0.91 เมตร ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 27



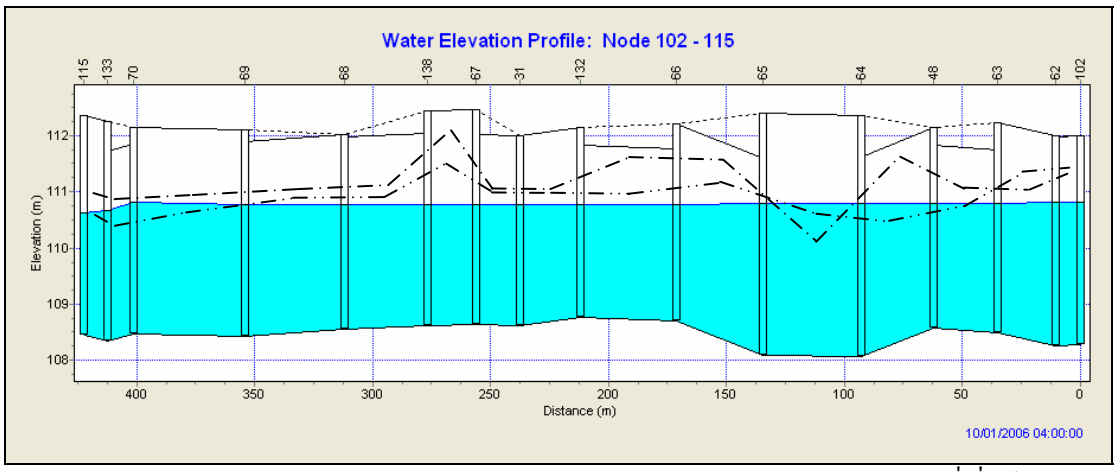
ภาพที่ 27 ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 2

3.3 ผลการศึกษากรณีที่ 3 เป็นผลจากการหาแนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอกเข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขต โดยพิจารณาโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี และติดตั้งประตูระบายน้ำในบริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต ระดับน้ำล้นตลิ่งภายในวิทยาเขตเท่ากับ 0.76 เมตร ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 28



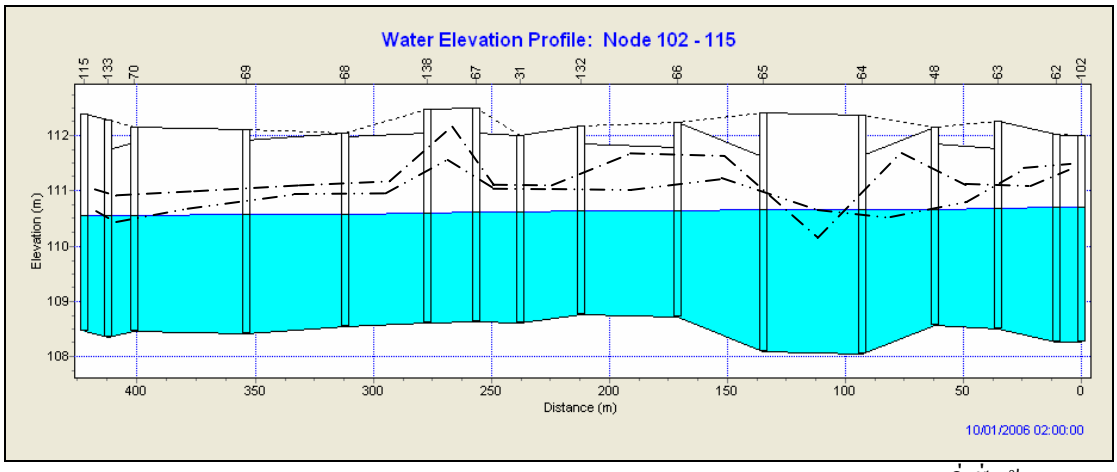
ภาพที่ 28 ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 3

3.4 ผลการศึกษากรณีที่ 4 เป็นผลจากการหาแนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอกเข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขต โดยพิจารณา โดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี ติดตั้งประตูระบายน้ำในบริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต และสูบน้ำออกจากพื้นที่เนื่องจากมีระดับจากภายนอกสูงกว่าระดับน้ำภายในคลอง ระดับน้ำล้นตลิ่งภายในวิทยาเขตเท่ากับ 0.49 เมตรผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 29



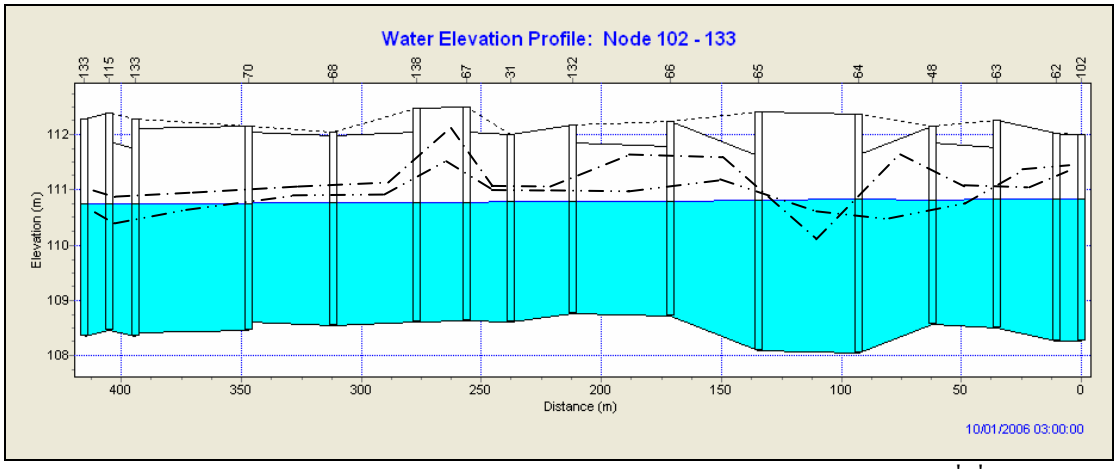
ภาพที่ 29 ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 4

3.5 ผลการศึกษากรณีที่ 5 เป็นผลจากการหาแนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอกเข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขต โดยพิจารณาโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี และติดตั้งประตูระบายน้ำในบริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต และพร่องระดับในหนองหลวงให้อยู่ที่ระดับ 109.852 ม.รทก. ระดับน้ำล้นตลิ่งภายในวิทยาเขตเท่ากับ 0.39 เมตร ผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 30



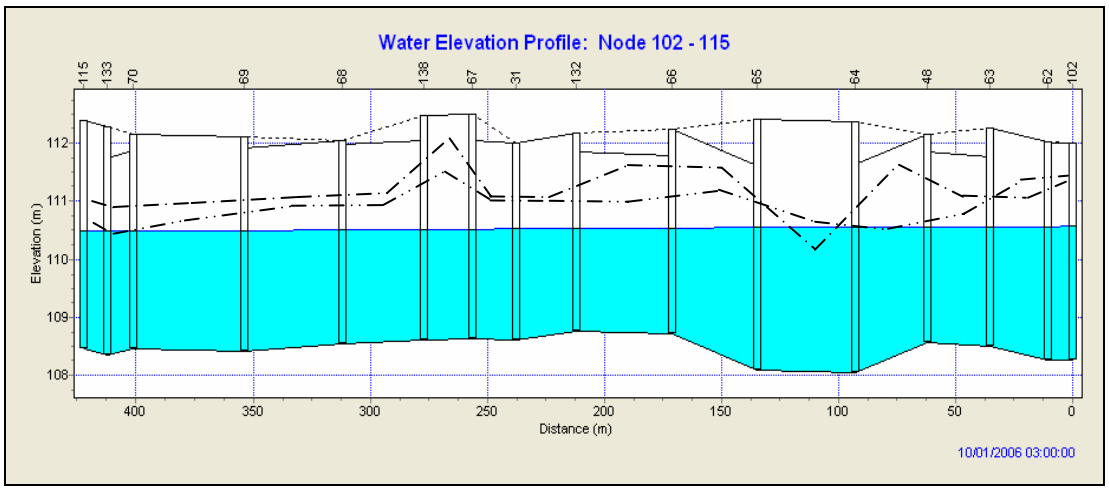
ภาพที่ 30 ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 5

3.6 ผลการศึกษากรณีที่ 6 เป็นผลจากการหาแนวทางในการปรับปรุงระบบระบายน้ำที่มีอยู่เดิมให้ได้มาตรฐานโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี และพร่องระดับในหนองหลวงให้อยู่ที่ระดับ 109.852 ม.รทก. ระดับน้ำล้นตลิ่งภายในวิทยาเขตเท่ากับ 0.55 เมตรผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 31



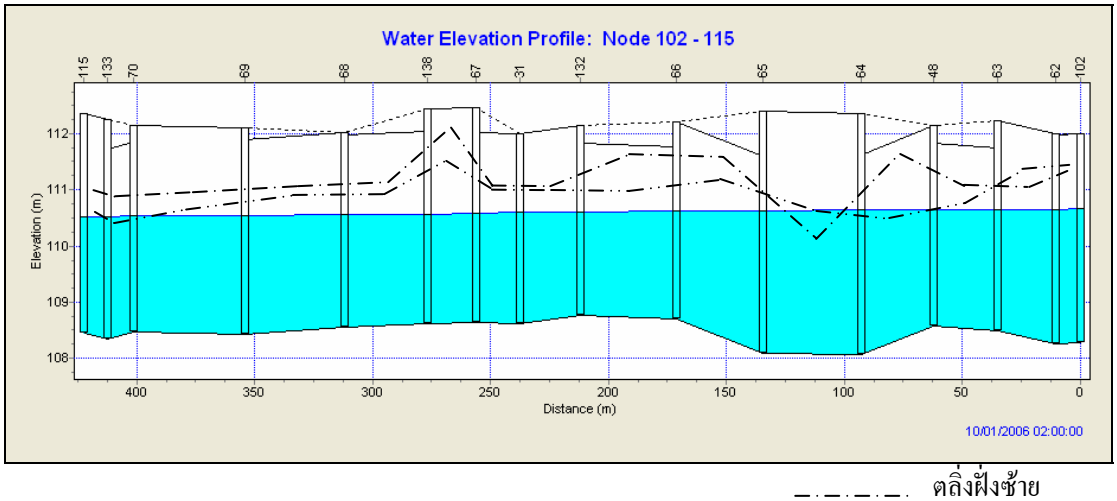
ภาพที่ 31 ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 6

3.7 ผลการศึกษากรณีที่ 7 เป็นผลจากการหาแนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอกเข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขต โดยพิจารณาโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี และติดตั้งประตูระบายน้ำในบริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต และการพร่องระดับในหนองหลวงให้อยู่ที่ระดับ 109.852 ม.รทก. ระดับน้ำล้นตลิ่งภายในวิทยาเขตเท่ากับ 0.30 เมตร ผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 32



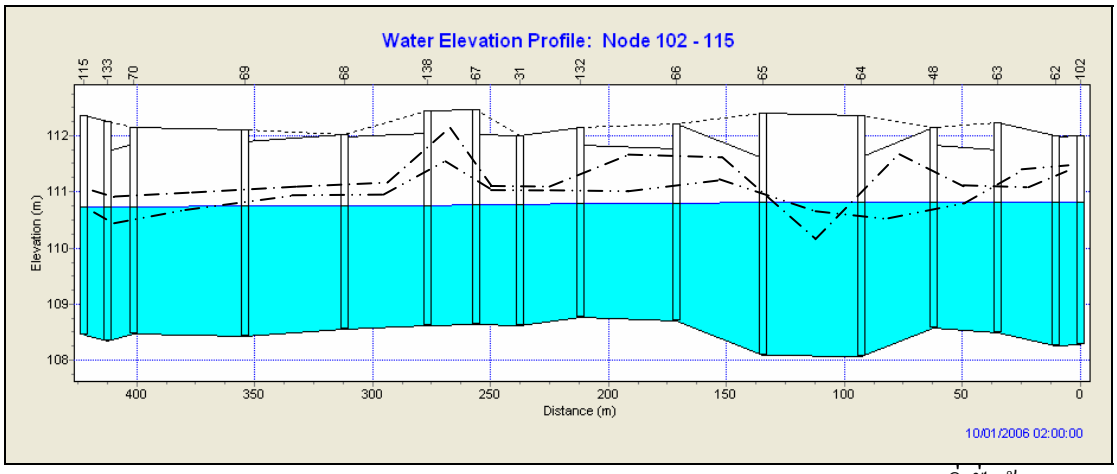
ภาพที่ 32 ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 7

3.8 ผลการศึกษากรณีที่ 8 เป็นผลจากการหาแนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอกเข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขต โดยพิจารณาโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี และติดตั้งประตูระบายน้ำในบริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต และพร่องระดับในหนองหลวงให้อยู่ที่ระดับ 108.852 ม.รทก. ระดับน้ำล้นตลิ่งภายในวิทยาเขตเท่ากับ 0.38 เมตร ผลการศึกษา ผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 33



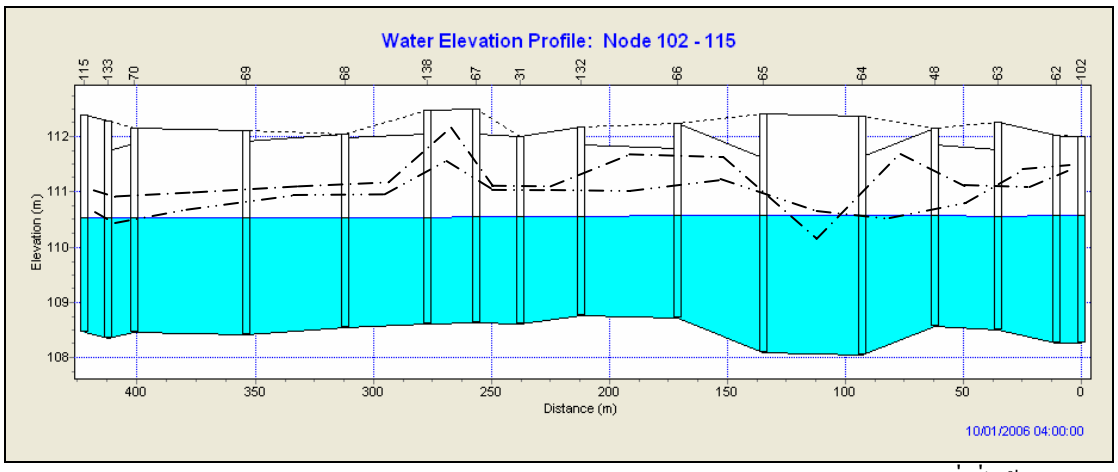
ภาพที่ 33 ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 8

3.9 ผลการศึกษากรณีที่ 9 เป็นผลจากการหาแนวทางในการปรับปรุงระบบระบายน้ำที่มีอยู่เดิมให้ได้มาตรฐานโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี และพร่องระดับในหนองหลวงให้อยู่ที่ระดับ 108.852 ม.รทก. ระดับน้ำล้นตลิ่งภายในวิทยาเขตเท่ากับ 0.55 เมตร ผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 34



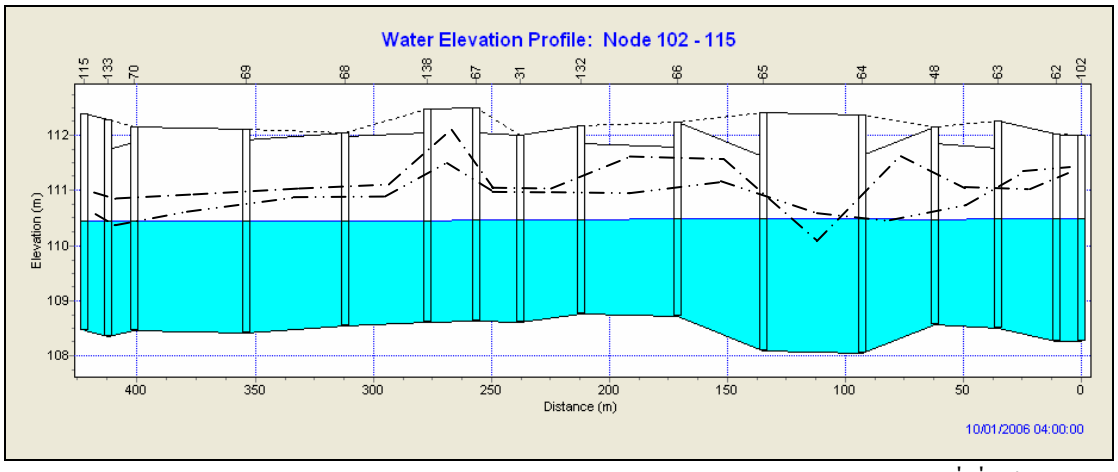
ภาพที่ 34 ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 9

3.10 ผลการศึกษากรณีที่ 10 เป็นผลจากการหาแนวทางในการป้องกันน้ำหลาก จากภายนอก เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขต โดยพิจารณาโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี และติดตั้งประตูระบายน้ำในบริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต และการพร่องระดับในหนองหลวงให้อยู่ที่ระดับ 108.852 ม.รทก. ระดับน้ำล้นตลิ่งภายในวิทยาเขตเท่ากับ 0.28 เมตร ผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 35



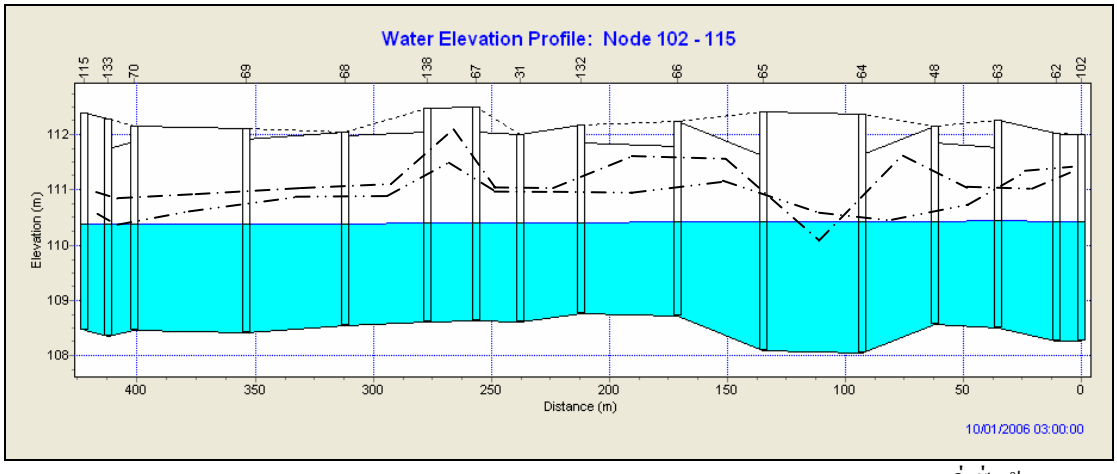
ภาพที่ 35 ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 10

3.11 ผลการศึกษากรณีที่ 11 เป็นผลจากการหาแนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอก เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขต โดยพิจารณาโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี และติดตั้งประตูระบายน้ำในบริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขตให้น้อยกว่ากรณีศึกษาที่ 7 และการพร่องระดับในหนองหลวงให้อยู่ที่ระดับ 109.852 ม.รทก. ระดับน้ำล้นตลิ่งภายในวิทยาเขตเท่ากับ 0.19 เมตรผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 11

3.1.2 ผลการศึกษากรณีที่12 เป็นผลจากการหาแนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอกเข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขต โดยพิจารณาโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี และติดตั้งประตูระบายน้ำในบริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขตให้น้อยกว่ากรณีศึกษาที่ 10 และการพร่องระดับในหนองหลวงให้อยู่ที่ระดับ 108.852 ม.รทก. ระดับน้ำล้นตลิ่งภายในวิทยาเขตเท่ากับ 0.19 เมตร ผลการศึกษา ดังแสดงในภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ผลระดับน้ำสูงสุดของกรณีศึกษาที่ 12

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาระบบระบายน้ำ ของพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 200 ไร่ ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของน้ำผิวดิน ซึ่งได้ทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นพื้นที่ย่อยรวม 37 พื้นที่ มีขนาดตั้งแต่ 1,600 ตารางเมตรถึง 25,200 ตารางเมตร กำหนดบัพ (Node)ได้ 137 บัพ และช่วงท่อ (Link) ได้ 141 ช่วงท่อและคลองระบายน้ำภายในพื้นที่ศึกษารับน้ำมาจากคลองแก้ว โดยพื้นที่ลุ่มน้ำของคลองเขาแก้วมีขนาด 6.62 ตารางกิโลเมตร และระยะเวลาที่น้ำไหลจากจุดไกลสุดมายังจุดออก (time of concentration) เท่ากับ 1.46 ชั่วโมง และคำนวณหาปริมาณการไหลสูงสุดที่ไหลเข้าคลองภายในพื้นที่ที่เกิดจากพายุฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี เท่ากับ 19.508 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี เท่ากับ 23.757 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของท่อระบายน้ำที่รับน้ำจากคลองเขาแก้วเข้าคลองภายในวิทยาเขตจึงทำให้ปริมาณน้ำไม่สามารถไหลเข้าได้ทั้งหมด ส่วนปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี และช่วงเวลาฝนตก 3 ชั่วโมง มีค่าความเข้มฝนเท่ากับ 29.15 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี และช่วงเวลาฝนตก 3 ชั่วโมง มีค่าความเข้มฝนเท่ากับ 34.16 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ manning ของการไหลในคลองระบายน้ำชนิดผนังคอนกรีตพื้นเป็นดินธรรมชาติเท่ากับ 0.018 และ คลองระบายน้ำชนิดคลองดินธรรมชาติเท่ากับ 0.05

สรุปผลการประเมินความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำในสภาพปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา โดยให้ระบบระบายน้ำภายในรับปริมาณน้ำจากภายนอกพื้นที่ รวมถึงปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ และพิจารณาเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาน้ำท่วม

สรุปผลการศึกษากรณีที่ 1 จากการประเมินความสามารถในการระบายน้ำของระบบระบายน้ำในสภาพปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา พบว่าคลองระบายน้ำไม่สามารถรองรับปริมาณฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปีได้ คลองระบายน้ำส่วนใหญ่มีน้ำล้นคันคลอง เช่น ในบริเวณหน้าฝ่ายอาคาร 7 บริเวณหลังอาคารคหกรรม บริเวณหลังอาคารบริหารธุรกิจ และบริเวณบ้านพักอาจารย์ที่อยู่ริมคลองระบายน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 38

สรุปผลการศึกษากรณีที่ 2 แนวทางในการปรับปรุงระบบระบายน้ำที่มีอยู่เดิมให้ได้มาตรฐาน โดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี ปรับปรุงโดยการขุดลอกตะกอนดิน และลดระดับสันฝายบริเวณอาคาร 7 ซึ่งผล คือคลองระบายน้ำส่วนใหญ่มีน้ำล้นคันคลอง เช่น บริเวณหน้าฝายอาคาร 7 บริเวณหลังอาคารคหกรรม บริเวณหลังอาคารบริหารธุรกิจ และบริเวณบ้านพักอาจารย์ที่อยู่ริมคลองระบายน้ำ

สรุปผลการศึกษากรณีที่ 3 แนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอก เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขต โดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี ปรับปรุงระบบระบายน้ำตามกรณีศึกษาที่ 2 และติดตั้งประตูระบายน้ำควบคุมที่บริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อหน่วงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต ซึ่งผลคือ คลองระบายน้ำส่วนใหญ่ช่วงท้ายคลองยังคงมีน้ำล้นคันคลอง เนื่องจากระดับน้ำที่จุดรับน้ำภายนอกสูงกว่าภายในคลองจึงไม่สามารถระบายน้ำทางท้ายคลองได้ จึงทำให้เกิดน้ำท่วมบริเวณคลองตั้งแต่หลังอาคาร 7 ไปจนถึงท้ายคลอง เช่น บริเวณหลังอาคารคหกรรม บริเวณหลังอาคารบริหารธุรกิจ และบริเวณบ้านพักอาจารย์ที่อยู่ริมคลองระบายน้ำ

สรุปผลการศึกษากรณีที่ 4 แนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอก เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขต โดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี ปรับปรุงระบบระบายน้ำ ดังกรณีศึกษาที่ 2 และติดตั้งประตูระบายน้ำควบคุมที่บริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อหน่วงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต และสูบน้ำออกจากพื้นที่ เนื่องจากมีระดับจากภายนอกสูงกว่าระดับน้ำภายในคลองซึ่งผลคือสามารถระบายน้ำออกจากคลองได้โดยยังคงมีระดับน้ำล้นตลิ่งเล็กน้อยในช่วงเวลาแรก บริเวณหลังอาคารคหกรรมที่มีระดับตลิ่งต่ำ แต่ระดับน้ำจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการสูบน้ำออกนอกพื้นที่

สรุปผลการศึกษากรณีที่ 5 แนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอก เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขตโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี ปรับปรุงระบบระบายน้ำดังกรณีศึกษาที่ 2 และติดตั้งประตูระบายน้ำควบคุมที่บริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อหน่วงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต และพร่องระดับในหนองหลวงเป็นแก้มลิงให้อยู่ที่ระดับ 109.852 ม.รทก. ซึ่งผลคือ ยังคงมีน้ำล้นตลิ่งเล็กน้อยบริเวณหลังอาคารคหกรรมในช่วงเวลาแรก เนื่องจากยังคงมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามากแต่สามารถระบายน้ำออกจากคลองได้โดยเร็ว

สรุปผลการศึกษากรณีที่ 6 แนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอก เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขต โดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ10 ปี ปรับปรุงระบบระบายน้ำดังกรณีศึกษาที่ 2 และพร่องระดับในหนองหลวงเป็นแก้มลิงให้อยู่ที่ระดับ 109.852 ม.รทก. ซึ่งผลคือ ยังคงมีน้ำล้นตลิ่งในบริเวณหลังอาคารคหกรรมในช่วงเวลาแรก เนื่องจากยังคงมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามากแต่ก็สามารถระบายน้ำออกจากคลองได้โดยเร็ว

สรุปผลการศึกษากรณีที่ 7 แนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอก เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขตโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี ปรับปรุงระบบระบายน้ำดังกรณีศึกษาที่ 2 และติดตั้งประตูระบายน้ำควบคุมที่บริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อหน่วงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต และพร่องระดับในหนองหลวงเป็นแก้มลิง ให้อยู่ที่ระดับ 109.852 ม.รทก. ซึ่งผลคือ มีระดับน้ำล้นตลิ่งลดลงในบริเวณหลังอาคารคหกรรมในช่วงเวลาแรก เนื่องจากยังคงมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามากอยู่แต่สามารถระบายน้ำออกจากคลองได้โดยเร็ว

สรุปผลการศึกษากรณีที่ 8 แนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอก เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขตโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี ปรับปรุงระบบระบายน้ำดังกรณีศึกษาที่ 2 และติดตั้งประตูระบายน้ำควบคุมที่บริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อหน่วงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต และพร่องระดับในหนองหลวงเป็นแก้มลิงให้อยู่ที่ระดับ 108.852 ม.รทก. ซึ่งผลคือ ยังคงมีน้ำล้นตลิ่งในบริเวณหลังอาคารคหกรรมในช่วงเวลาแรก เนื่องจากยังคงมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามากแต่สามารถระบายน้ำออกจากคลองได้โดยเร็ว

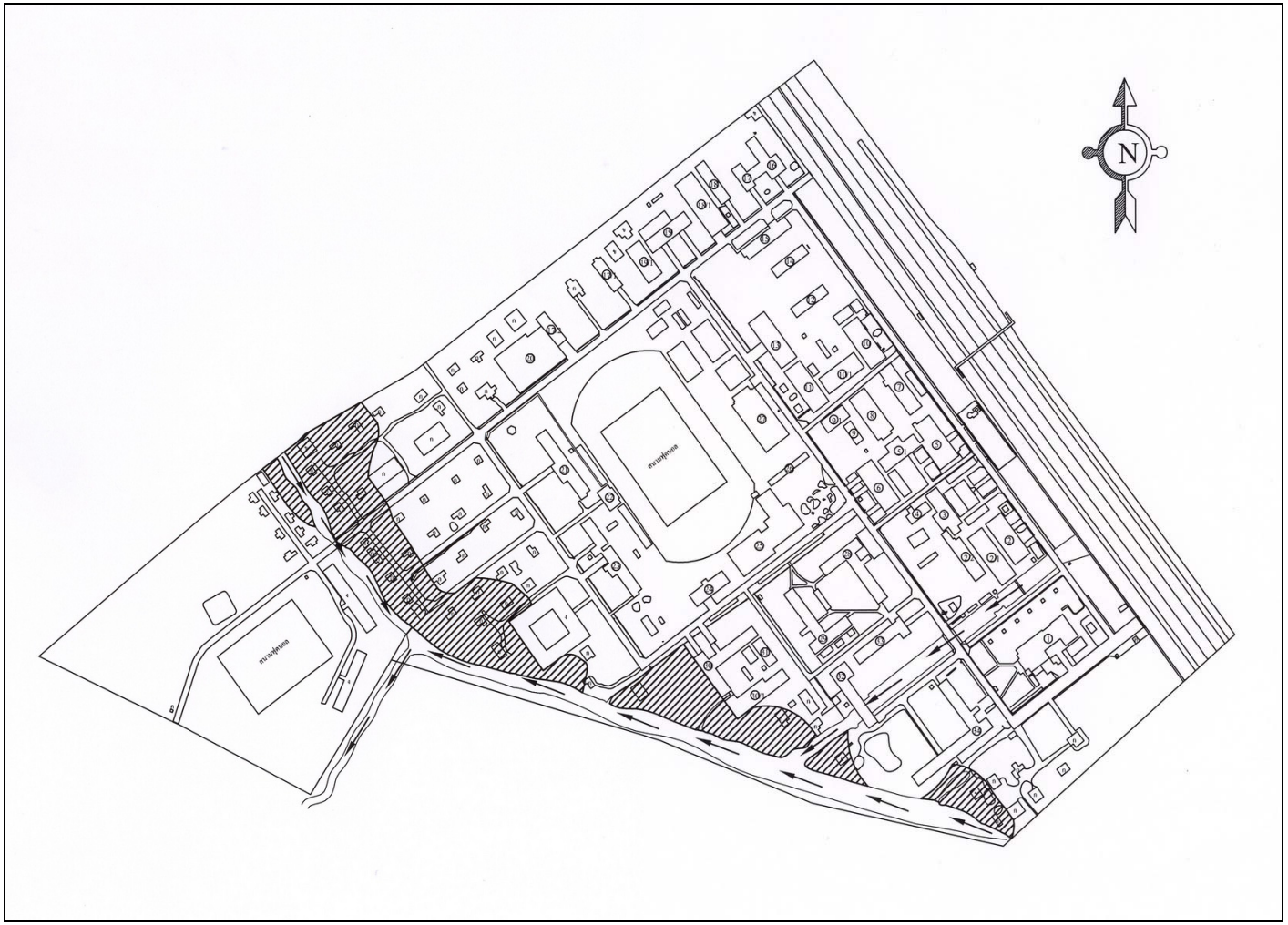
สรุปผลการศึกษากรณีที่ 9 แนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอก เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขตโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี ปรับปรุงระบบระบายน้ำดังกรณีศึกษาที่ 2 และพร่องระดับในหนองหลวงเป็นแก้มลิงให้อยู่ที่ระดับ 108.852 ม.รทก. ซึ่งผลคือ ยังคงมีน้ำล้นคลองในบริเวณหลังอาคารคหกรรมในช่วงเวลาแรก เนื่องจากยังคงมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามากแต่สามารถระบายน้ำออกจากคลองได้โดยเร็ว

สรุปผลการศึกษากรณีที่ 10 แนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอก เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขตโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี ปรับปรุงระบบระบายน้ำ ดังกรณีศึกษาที่ 2 และติดตั้งประตูระบายน้ำควบคุมที่บริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อหน่วงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต และพร่องระดับในหนองหลวงเป็นแก้มลิงให้อยู่ที่ระดับ 108.852 ม.รทก. ซึ่งผลคือ ยังมีน้ำล้นตลิ่ง

ในบริเวณหลังอาคารคหกรรมในช่วงเวลาแรก เนื่องจากยังคงมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามากแต่สามารถระบายน้ำออกจากคลองได้โดยเร็ว

สรุปผลการศึกษากรณีที่ 11 แนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอก เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขตโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี ปรับปรุงระบบระบายน้ำดังกรณีศึกษาที่ 2 และติดตั้งประตูระบายน้ำควบคุมที่บริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อหน่วงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต และพร่องระดับในหนองหลวงเป็นแก้มลิงให้อยู่ที่ระดับ 109.852 ม.รทก. ซึ่งผลคือ ยังคงมีน้ำล้นตลิ่งในบริเวณหลังอาคารคหกรรมช่วงเวลาแรกเล็กน้อย เนื่องจากยังคงมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามากแต่สามารถระบายน้ำออกจากคลองได้โดยเร็ว

สรุปผลการศึกษากรณีที่ 12 แนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอก เข้าท่วมพื้นที่ภายในวิทยาเขตโดยพิจารณาฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี ปรับปรุงระบบระบายน้ำดังกรณีศึกษาที่ 2 และติดตั้งประตูระบายน้ำในบริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อหน่วงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าวิทยาเขต และพร่องระดับในหนองหลวงเป็นแก้มลิงให้อยู่ที่ระดับ 108.852 ม.รทก. ซึ่งผลคือ มีน้ำล้นตลิ่งน้อยลงแต่สามารถระบายน้ำออกจากคลองได้โดยเร็ว



ภาพที่ 38 แสดงบริเวณที่เกิดน้ำท่วมภายในพื้นที่ศึกษา

ข้อเสนอแนะ

1. แนวทางในการปรับปรุงระบบระบายน้ำในปัจจุบัน โดยใช้มาตรการตามกรณีศึกษาที่ 1 คือการขุดลอกตะกอนดินในคลอง สร้างแนวคันดินตลอดบริเวณที่มีตลิ่งต่ำมากริมคลองระบายน้ำหลังอาคารคหกรรม บ้านพักอาจารย์ และลดระดับสันฝายอาคาร 7 ลงจากระดับเดิม 0.60 เมตร เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณน้ำที่เกิดจากฝนรอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปีได้

2. แนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอกพื้นที่เข้าท่วมภายในวิทยาเขต ในกรณีที่ไม่สามารถพร่องระดับน้ำในหนองหลวงเป็นแก้มลิงได้ โดยใช้มาตรการตามกรณีศึกษาที่ 4 คือ ติดตั้งประตูระบายน้ำควบคุมที่บริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อหน่วงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าพื้นที่วิทยาเขต ให้มีอัตราการไหล 6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีเท่านั้น และสูบน้ำออกนอกพื้นที่ด้วยอัตราการสูบ 6.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พร้อมกับการปิดกั้นน้ำไม่ให้ไหลย้อนกลับเข้าพื้นที่ได้ จึงจะสามารถระบายน้ำออกภายนอกพื้นที่ได้ทัน โดยระดับน้ำภายในไม่เอ่อล้นคันคลองระบายน้ำ

3. แนวทางในการป้องกันน้ำหลากจากภายนอกพื้นที่เข้าท่วมภายในวิทยาเขต ในกรณีที่สามารถพร่องระดับน้ำในหนองหลวงเป็นแก้มลิงได้ โดยใช้มาตรการตามกรณีศึกษาที่ 7 คือ ติดตั้งประตูระบายน้ำควบคุมที่บริเวณจุดรับน้ำเข้า เพื่อหน่วงปริมาณน้ำที่ไหลเข้าพื้นที่วิทยาเขต ให้มีอัตราการไหล 6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีเท่านั้น และพร่องระดับน้ำในหนองหลวงให้อยู่ที่ระดับ 109.852 ม.รทก. ก็จะทำให้สามารถระบายน้ำออกนอกพื้นที่ได้ และระดับน้ำไม่เอ่อล้นคันคลองระบายน้ำภายในวิทยาเขต

4. การศึกษานี้มุ่งเน้นเฉพาะการระบายน้ำออกนอกพื้นที่ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาน้ำท่วมพื้นที่ในฤดูน้ำหลากเท่านั้น ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องการระบายน้ำจากหนองหลวงออกสู่แม่น้ำปิงอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่หนองหลวงและใช้การแก้ปัญหาแบบบูรณาการ โดยไม่ทำให้เกิดระดับน้ำสูงจนไหลย้อนเข้าไปในบริเวณพื้นที่ต่าง ๆ โดยรอบ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ชัยยุทธ เจียรพินิจนันท์. 2536. **การประเมินประสิทธิภาพระบบระบายน้ำทุติยภูมิของพื้นที่กรุงเทพมหานครด้วยแบบจำลอง MOUSE.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชาญยุทธ เชี่ยวชาญวัฒนา. 2547. **การจำลองน้ำท่วมในเขตเทศบาลนครอุดรธานี.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชูเกียรติ ทรัพย์ไพศาล , ไตรรัตน์ ศรีวัฒนา. 2529. **การป้องกันน้ำท่วมและการระบายน้ำของมหานคร.** คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทัศนี สุชินพงศ์. 2536. **การใช้แบบจำลอง SPIDA ในการประเมินและปรับปรุงระบบระบายน้ำในพื้นที่ปิดล้อมหมายเลข 3 ของพื้นที่เขตชั้นในของกรุงเทพมหานคร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. 2545. **การจำลองสภาวะการเกิดน้ำท่วม.** เอกสารประกอบการสอน, ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรพุฒ นัทธี. 2533. **การประเมินประสิทธิภาพระบบระบายน้ำปฐมภูมิของพื้นที่เขตกรุงเทพชั้นในด้วยแบบจำลอง SPIDA.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิสิฐ ศรีวรานันท์. 2533. **การประยุกต์ใช้แบบจำลองางคณิตศาสตร์ในการปรับปรุงระบบระบายน้ำในเมือง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิสิษฐ์ บำเพ็ญกิจ และ จิรา สุขกล่ำ. 2544. **ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน - ช่วงเวลา - ความถี่ฝนและเปอร์เซ็นต์การแผ่กระจายของปริมาณฝนสูงสุดในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ภาคเหนือตอนล่าง.** กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ภัทรกร รังษีภโนดร. 2548. **การวิเคราะห์ระบบระบายน้ำในพื้นที่ปิดล้อมด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ : กรณีศึกษาพื้นที่บึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนตรี วิวัฒน์วงศ์เจริญ. 2542. **การประเมินประสิทธิผลของระบบระบายน้ำปฐมภูมิในพื้นที่ชุมชานเมืองด้านตะวันออกของกรุงเทพมหานครด้วยแบบจำลอง RUBICON.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัลลภ เมฆพฤกษาวงศ์. 2529. **การตรวจสอบและเสนอแนะในการปรับปรุงระบบระบายน้ำพื้นที่ฝั่งตะวันออกของถนนพญาไทในเขตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วีระพล แต้สมบัติ. 2531. **อุทกวิทยาประยุกต์.** สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2533. **หลักอุทกวิทยา**. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

สุธัญญ์ ฤทธิ์ขาบ. 2550. **การศึกษาแนวทางบรรเทาน้ำท่วมเมืองเบตงด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC–RAS.** รายงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12 , 9WRE.

สุพจน์ ถาไชยลา. 2547. **ระบบการป้องกันน้ำท่วมเขตชุมชนเมือง: กรณีศึกษาเทศบาลเมืองชัยภูมิ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อุดม พนมเริงศักดิ์ และ สุธารา จันทรานิมิตร. 2541. **รายงานการศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมซ้ำซากของประเทศ.** เอกสารวิชาการเลขที่ 08/23/47, กรมพัฒนาที่ดิน

WANIELISTA MARTIN, ROBERT KERSTEN and RON EAGLIN. 1997. **HYDROLOGY : WATER QUANITY AND QUALITY CONTROL.** 2 ed. John Wiley and Sons, Inc.

WAYNE C. HUBER and PHILIP B. BEDIENT. 1992. **Hydrology and Floodplain Analysis.** 3 ed. Prentice-Hall, Inc. United States of America.

ภาคผนวก

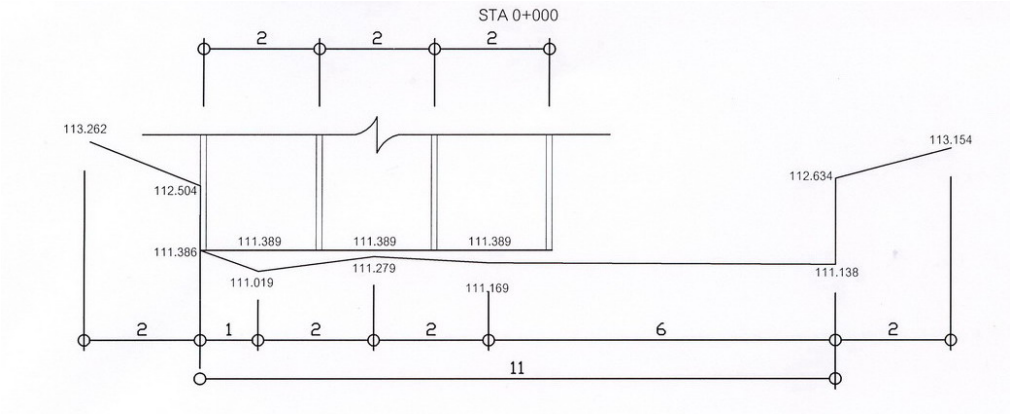
ภาคผนวก ก

ผลการเก็บข้อมูลทางกายภาพของคลองระบายน้ำ

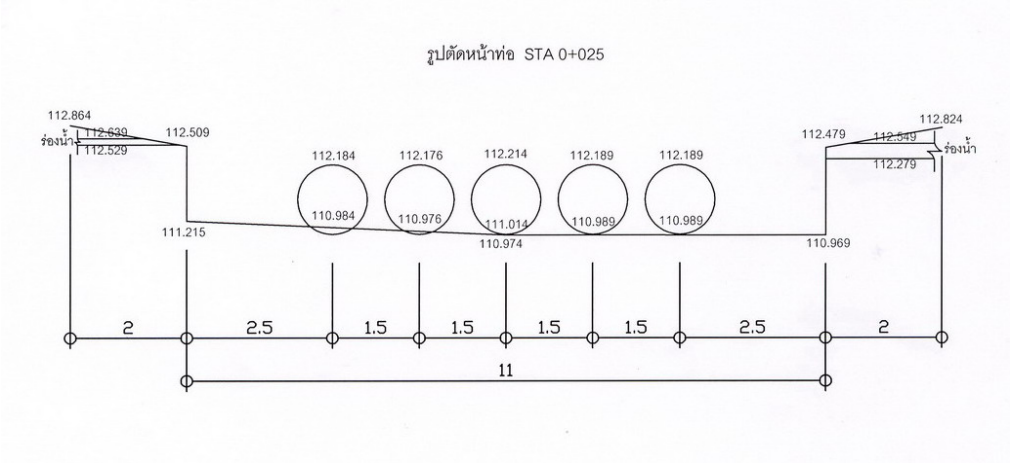
ภาพผนวกที่ ก1 แผนผังข้อมูลคลองและรางระบายน้ำ

ภาพผนวกที่ ก2 การทำสำรวจคลองระบายน้ำบริเวณหลังอาคารคหกรรม

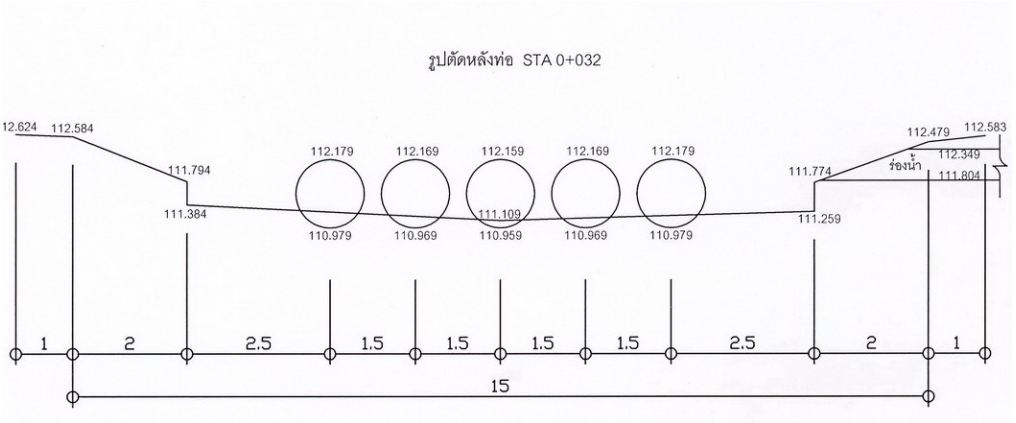
ภาพผนวกที่ ก3 การทำสำรวจคลองระบายน้ำ



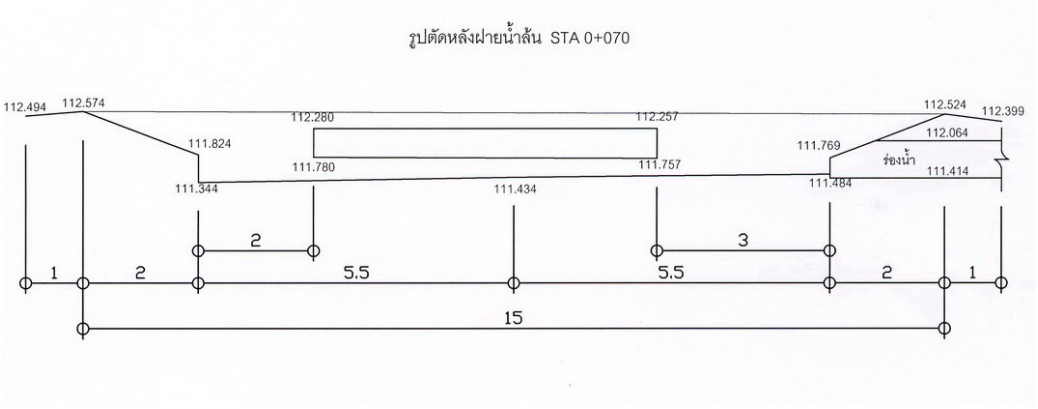
ภาพผนวกที่ ก4 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+000



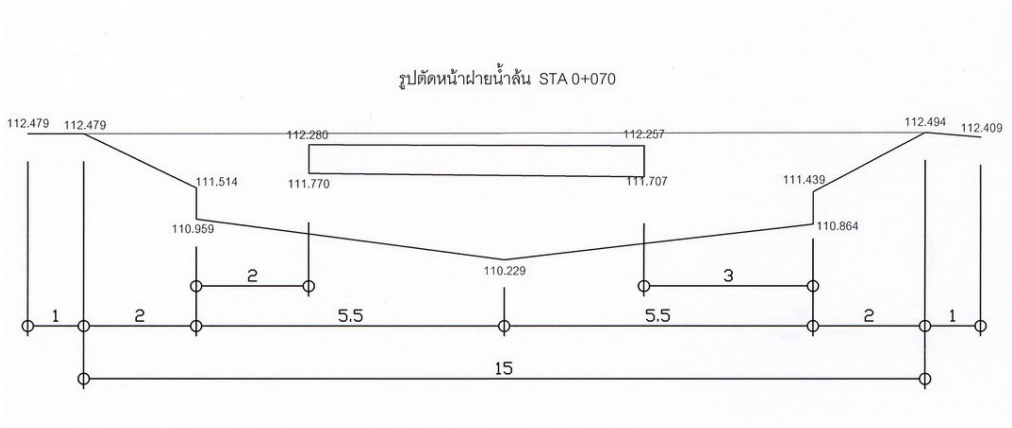
ภาพผนวกที่ ก5 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+025



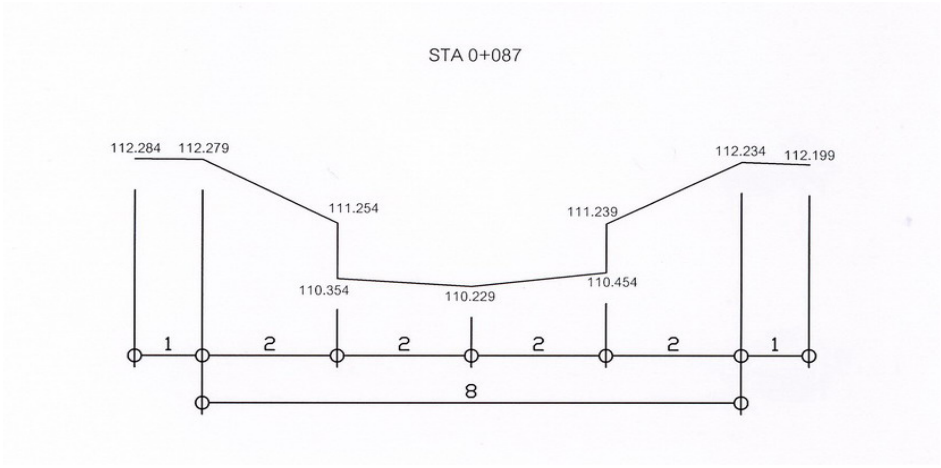
ภาพผนวกที่ ก6 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+032



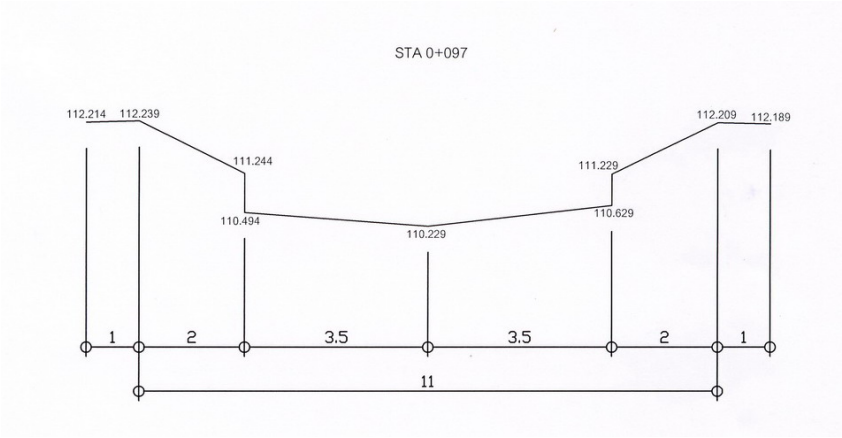
ภาพผนวกที่ ก7 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+070 ด้านหน้า



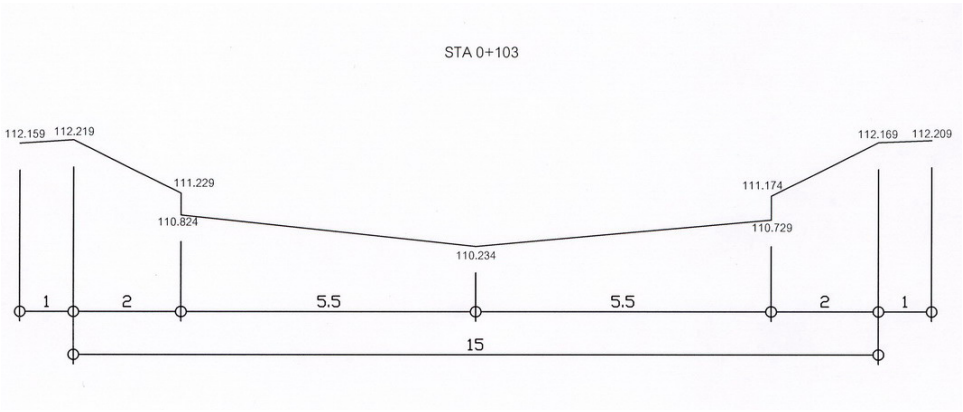
ภาพผนวกที่ ก8 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+070 ด้านหลัง



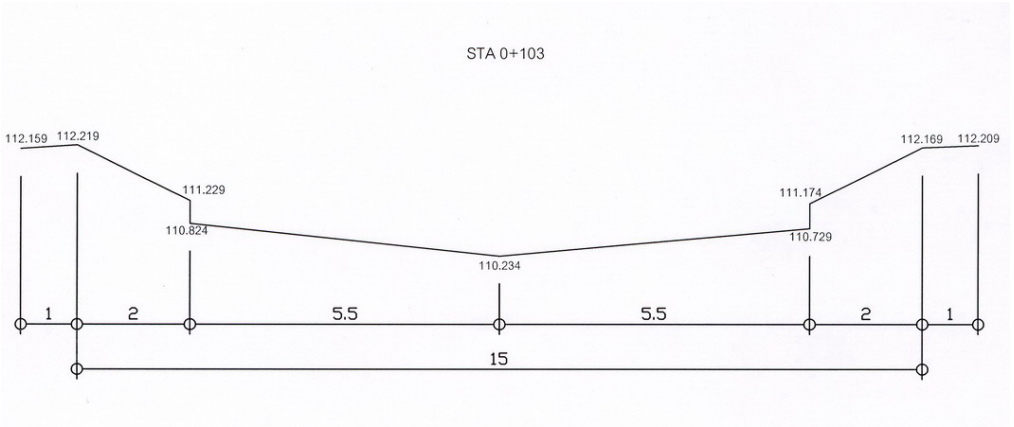
ภาพผนวกที่ ก9 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+087



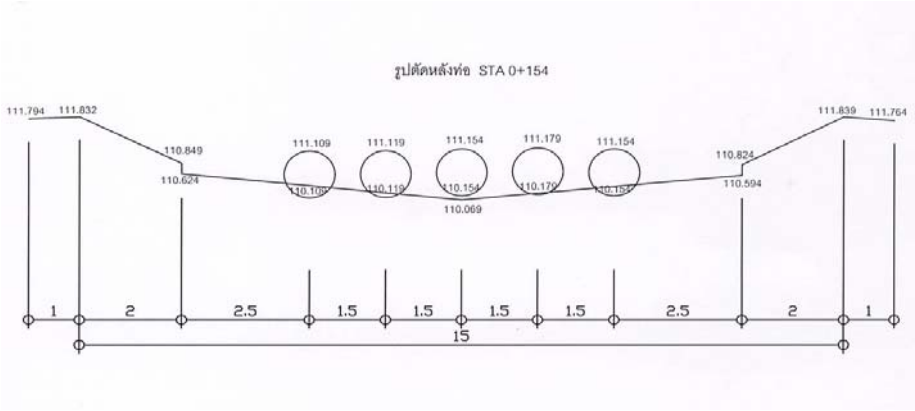
ภาพผนวกที่ ก10 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+097



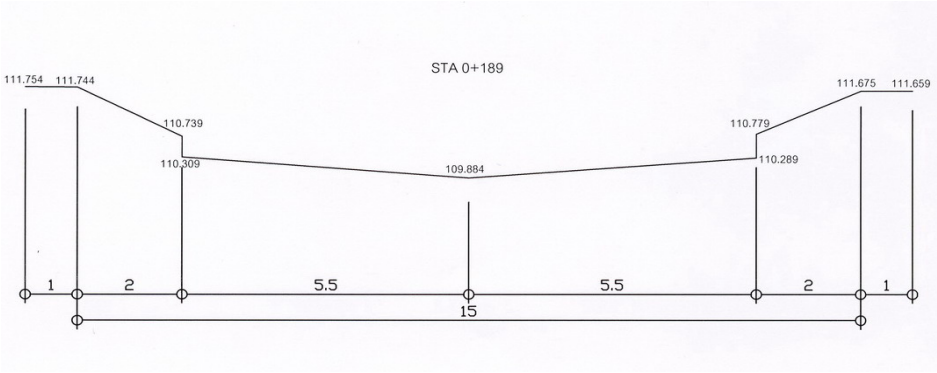
ภาพผนวกที่ ก11 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+103



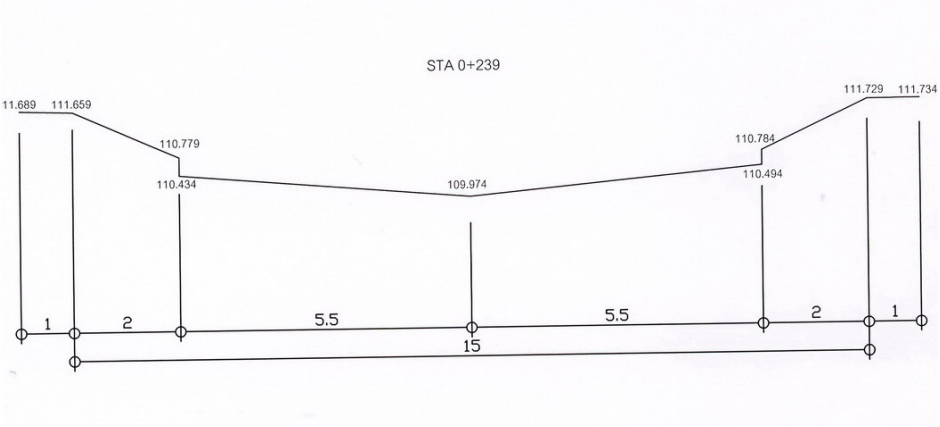
ภาพผนวกที่ ก12 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+142



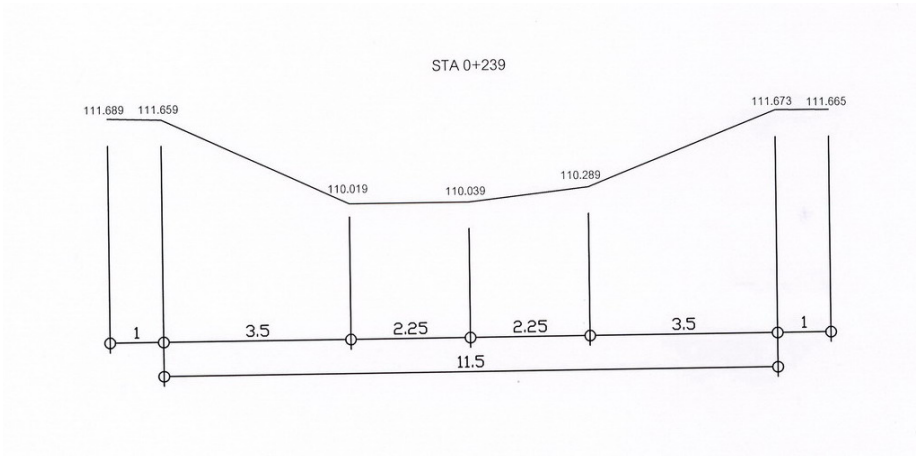
ภาพผนวกที่ ก13 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+154



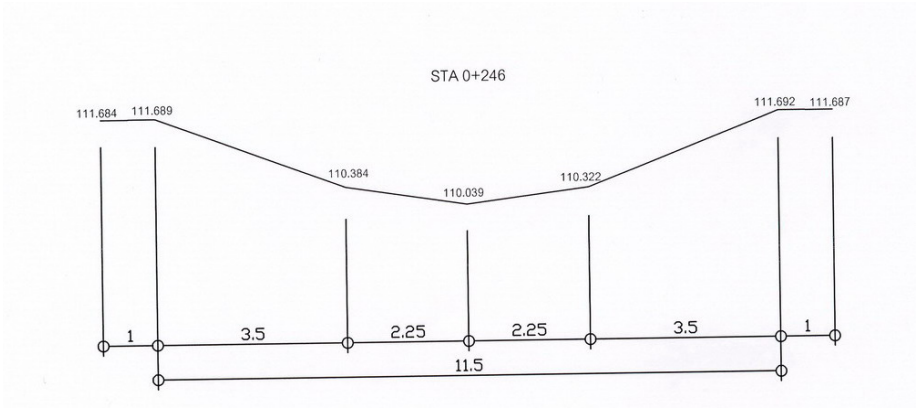
ภาพผนวกที่ ก14 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+189



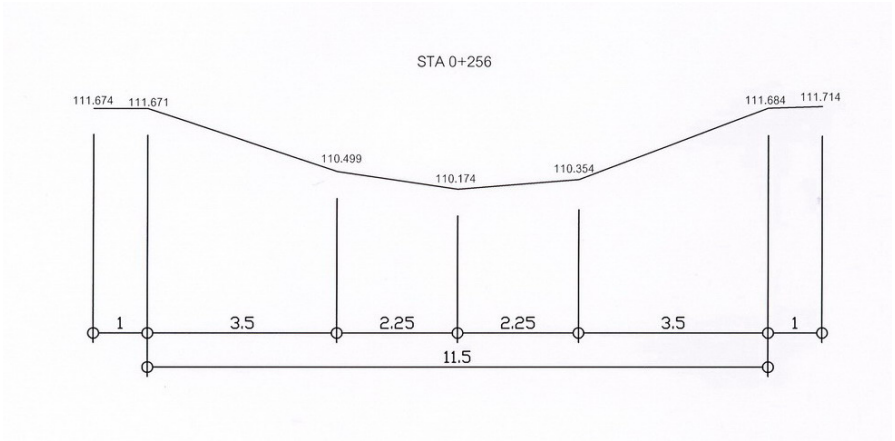
ภาพผนวกที่ ก15 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+239 ด้านหน้า



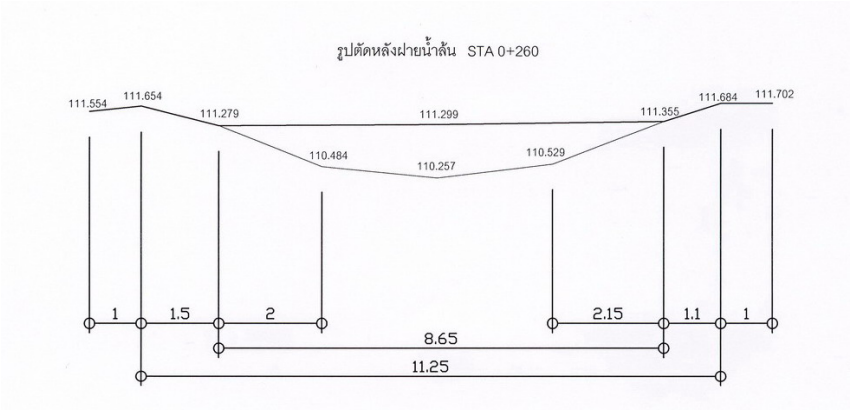
ภาพผนวกที่ ก16 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+239 ด้านหลัง



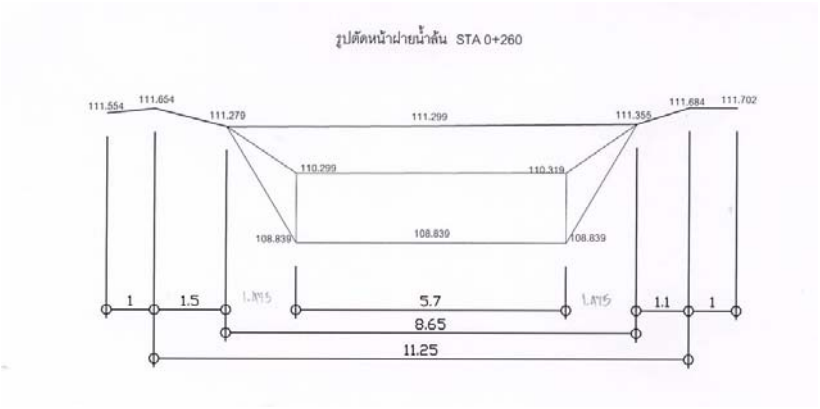
ภาพผนวกที่ ก17 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+246



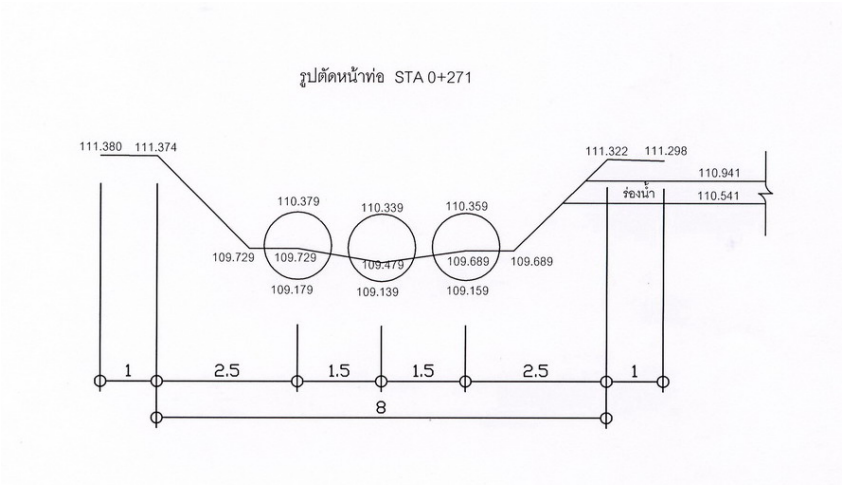
ภาพผนวกที่ ก18 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+256



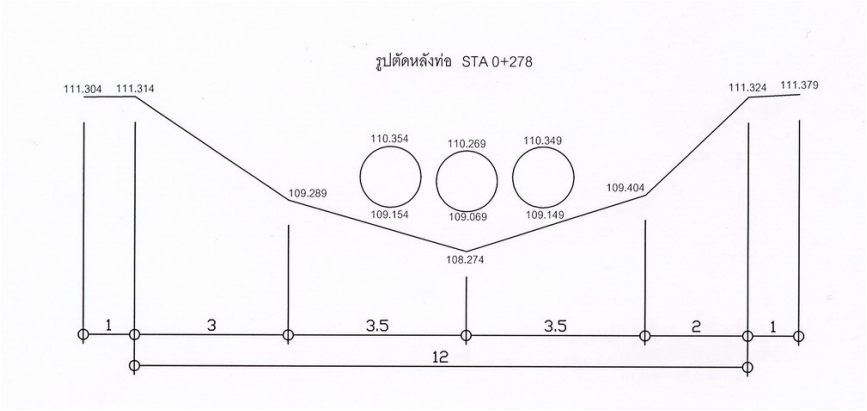
ภาพผนวกที่ ก19 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+260 ด้านหน้า



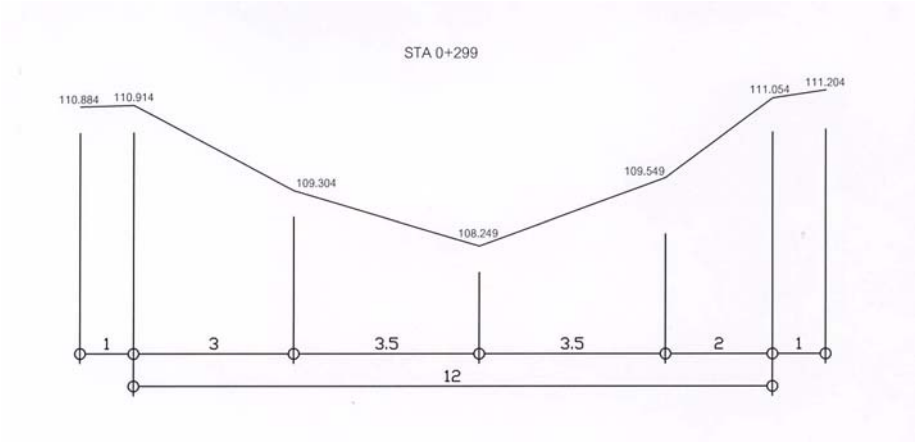
ภาพผนวกที่ ก20 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+260 ด้านหลัง



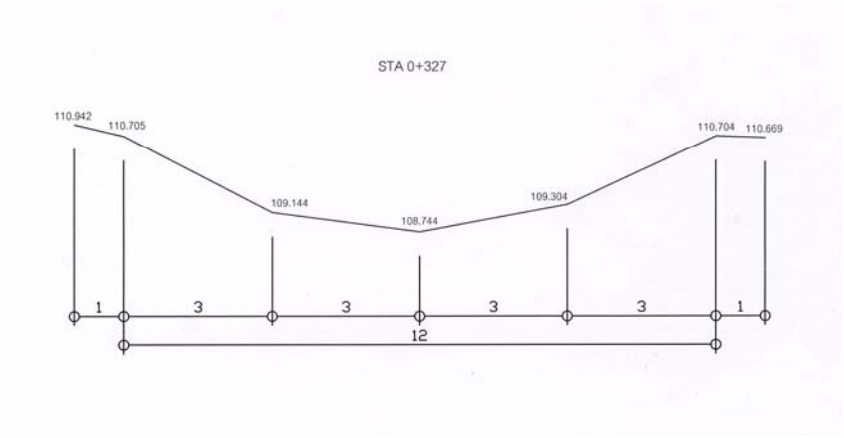
ภาพผนวกที่ ก21 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+271



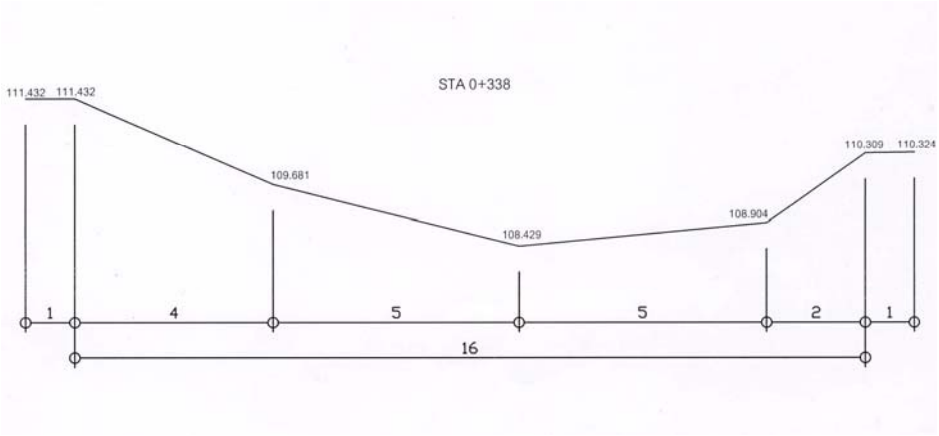
ภาพผนวกที่ ก22 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+278



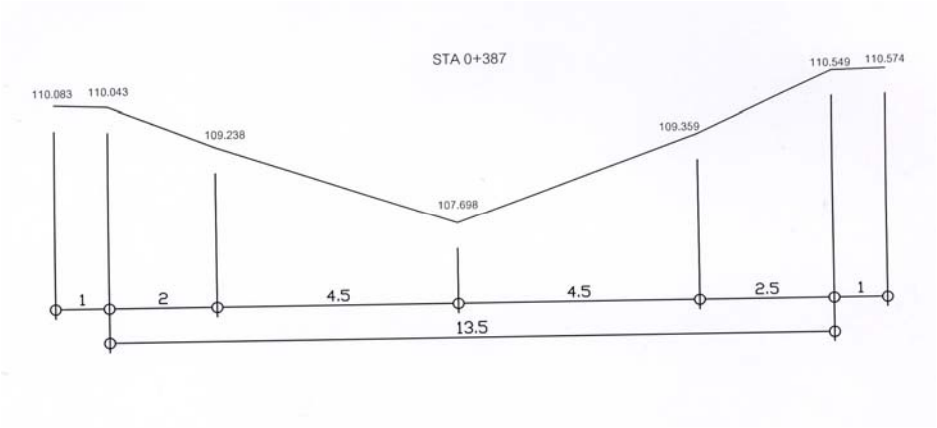
ภาพผนวกที่ ก23 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+327



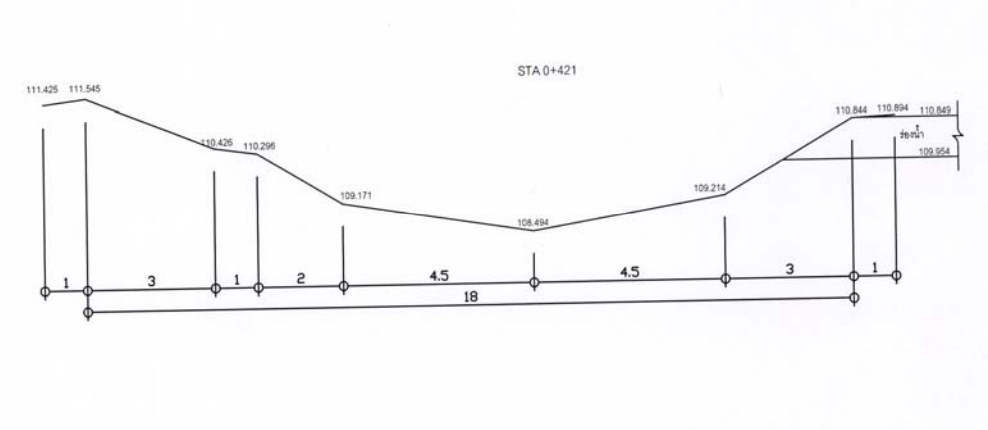
ภาพผนวกที่ ก24 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+327



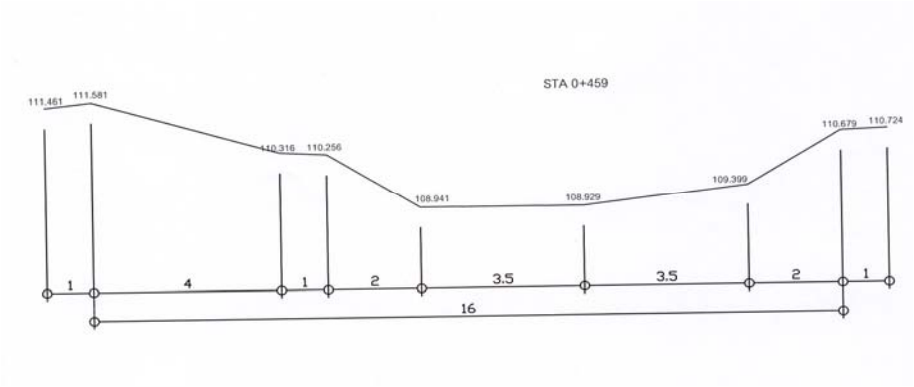
ภาพผนวกที่ ก25 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+338



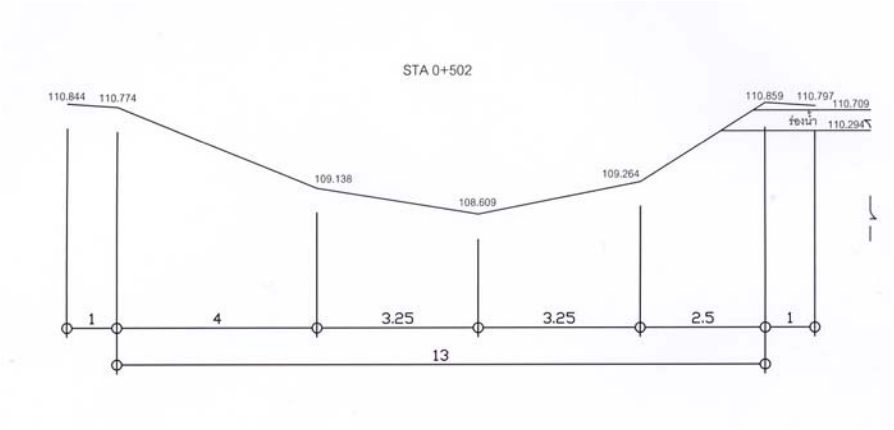
ภาพผนวกที่ ก26 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+387



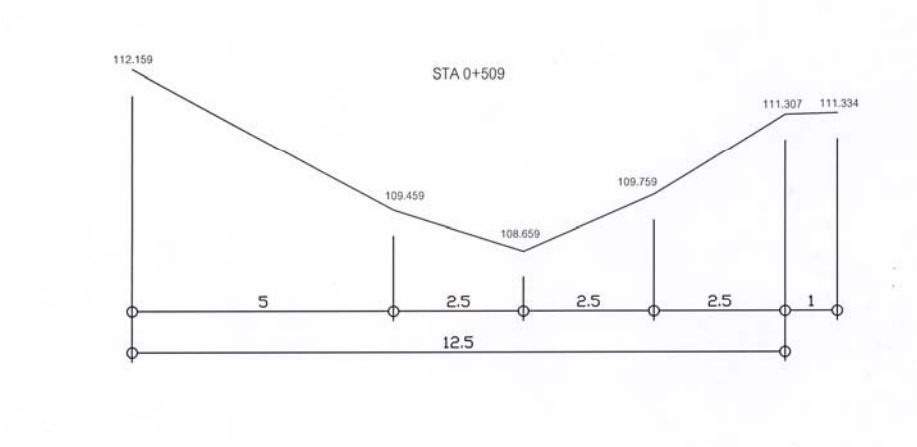
ภาพผนวกที่ ก27 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+421



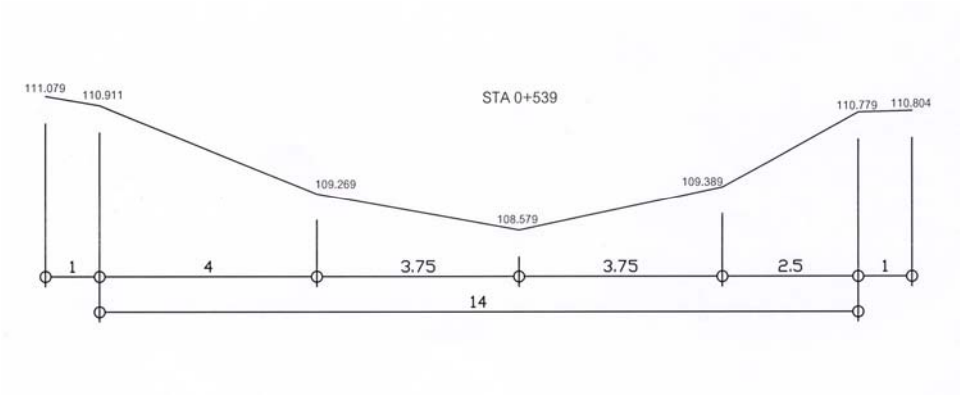
ภาพผนวกที่ ก28 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+459



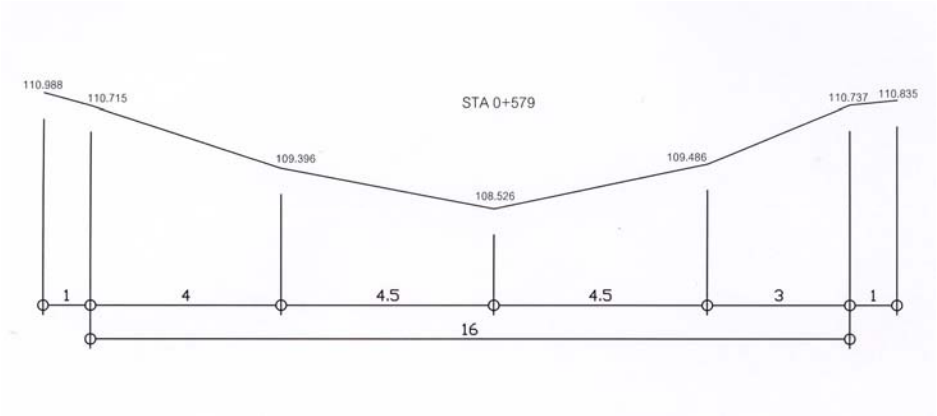
ภาพผนวกที่ ก29 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+502



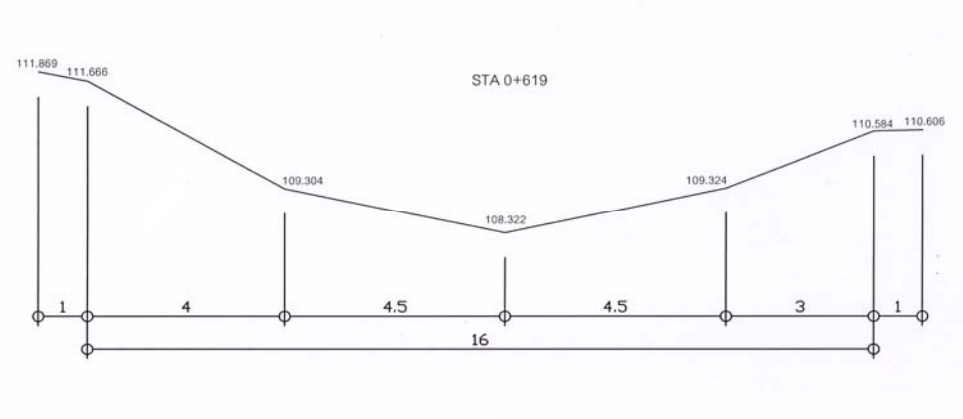
ภาพผนวกที่ ก30 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+509



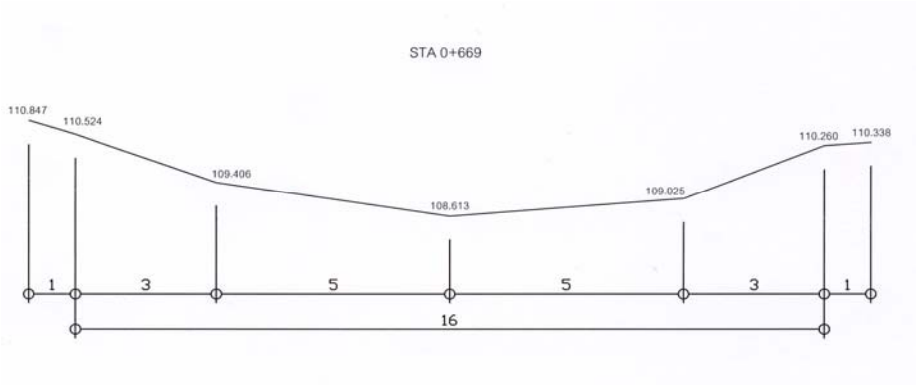
ภาพผนวกที่ ก31 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+539



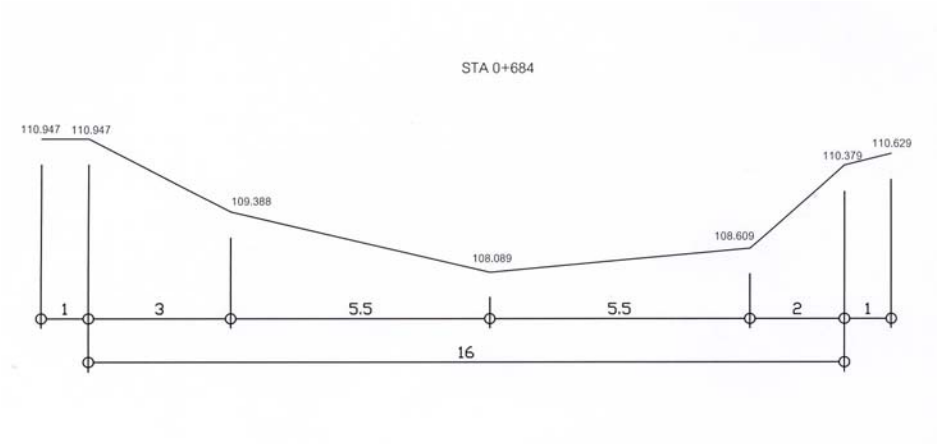
ภาพผนวกที่ ก32 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+579



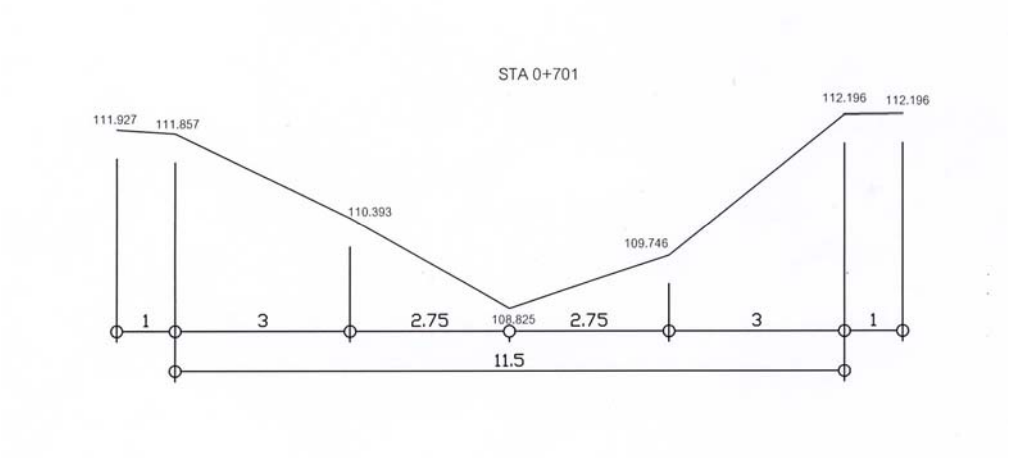
ภาพผนวกที่ ก33 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+619



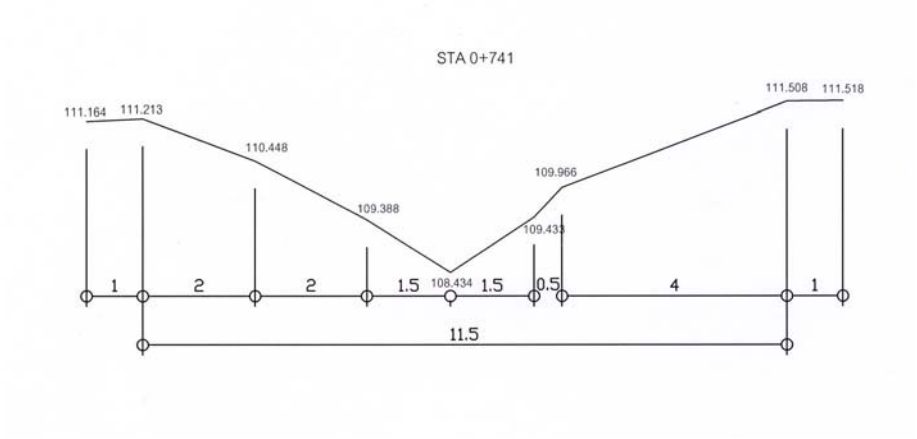
ภาพผนวกที่ ก34 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+669



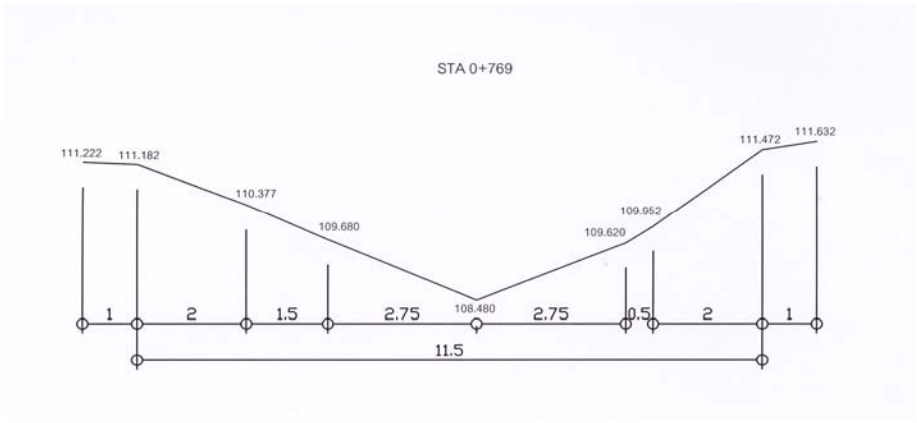
ภาพผนวกที่ ก35 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+684



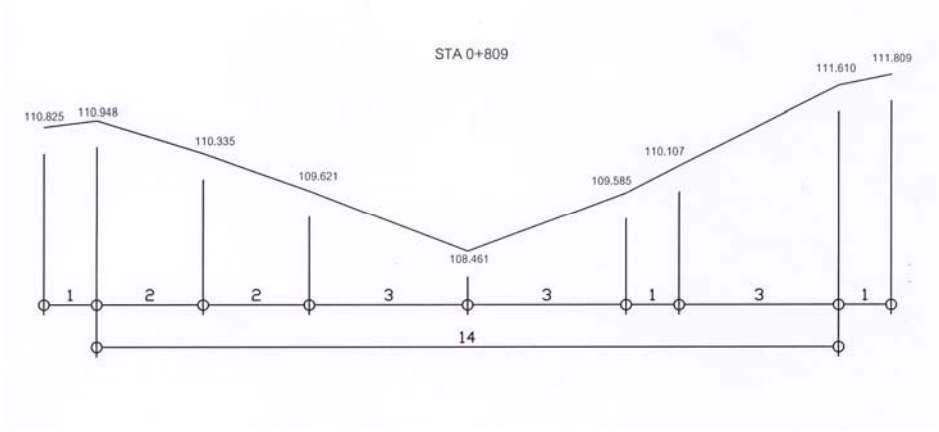
ภาพผนวกที่ ก36 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+701



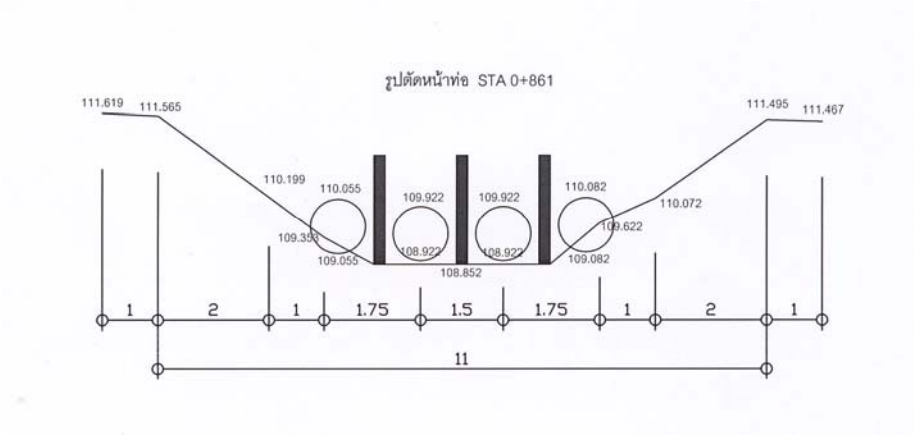
ภาพผนวกที่ ก37 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+741



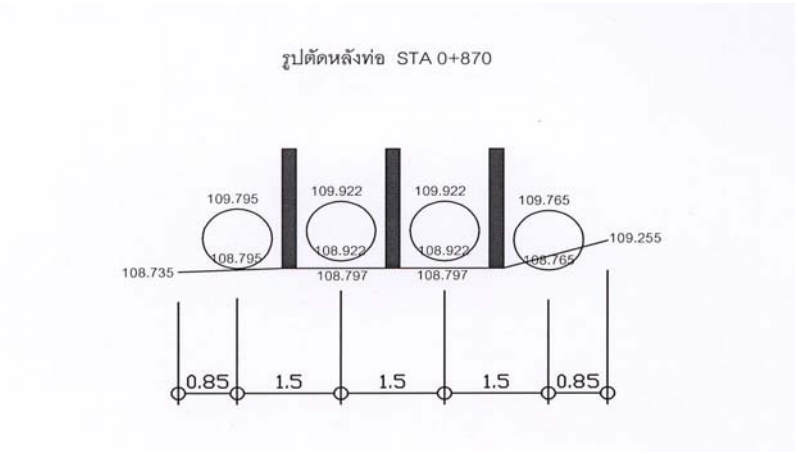
ภาพผนวกที่ ก38 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+769



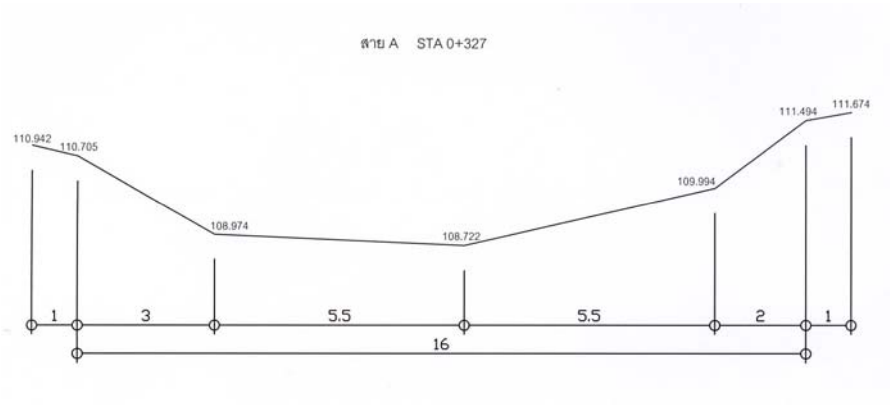
ภาพผนวกที่ ก39 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+809



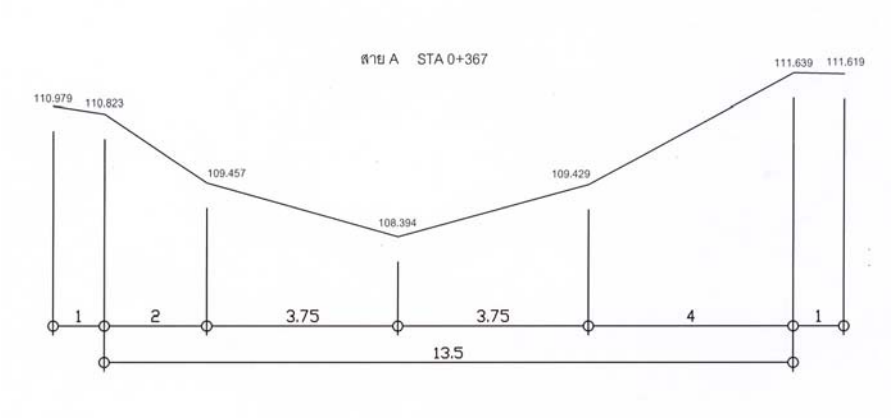
ภาพผนวกที่ ก40 รูปตัดตามขวางคลองสายหลักที่ sta 0+861



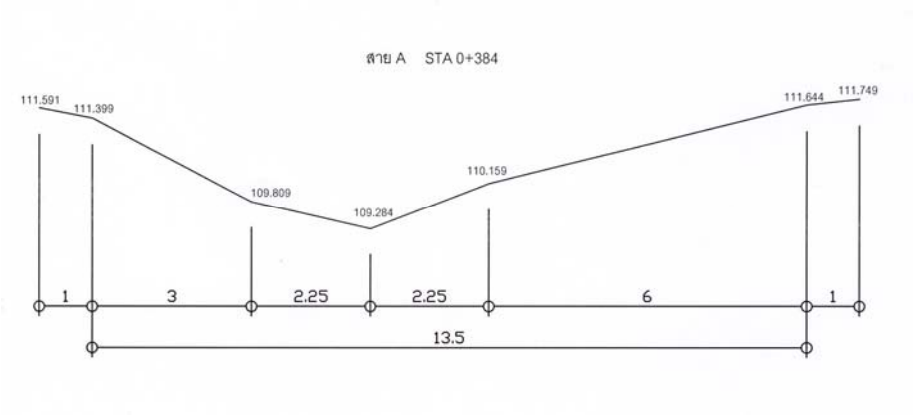
ภาพผนวกที่ ก41 รูปตัดตามขวางคลองสายหลัก ที่ sta 0+870



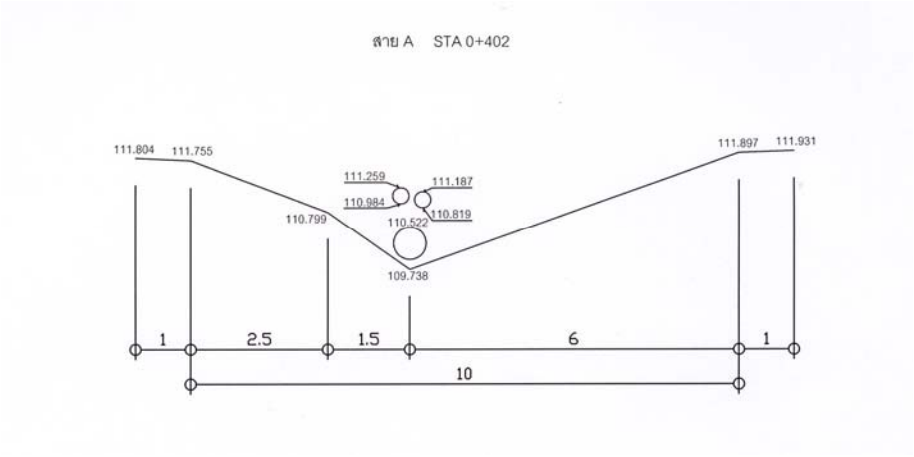
ภาพผนวกที่ ก42 รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+327



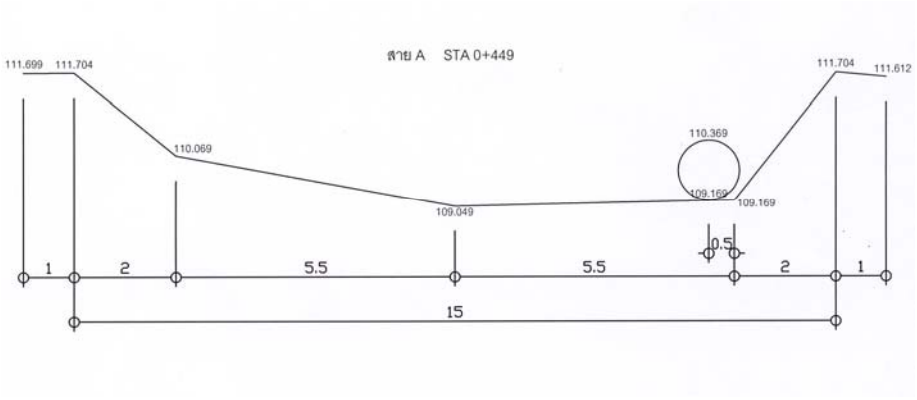
ภาพผนวกที่ ก43 รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+367



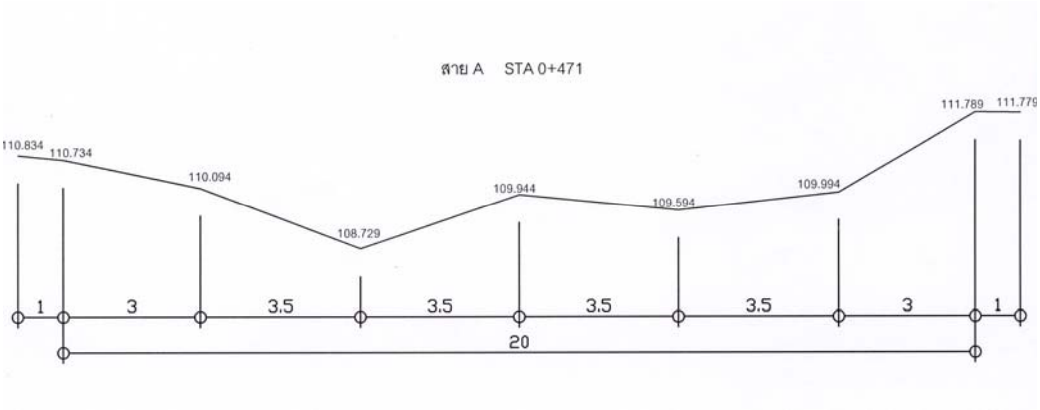
ภาพผนวกที่ ก44 รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+384



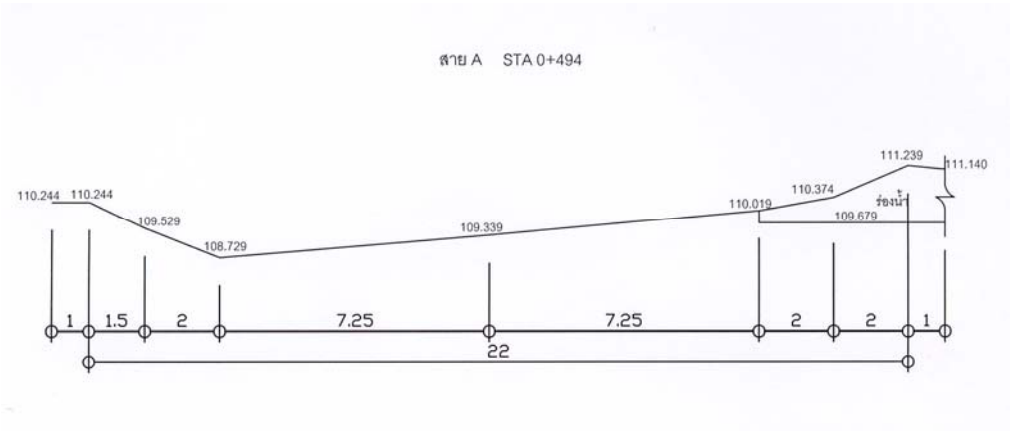
ภาพผนวกที่ ก45 รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+402



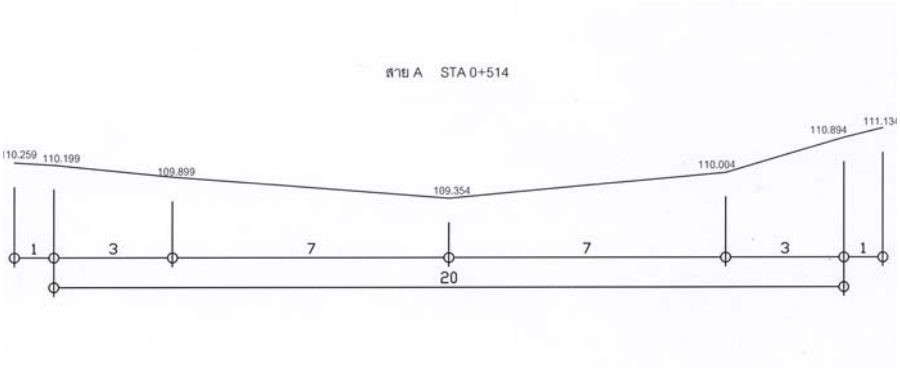
ภาพผนวกที่ ก46 รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+449



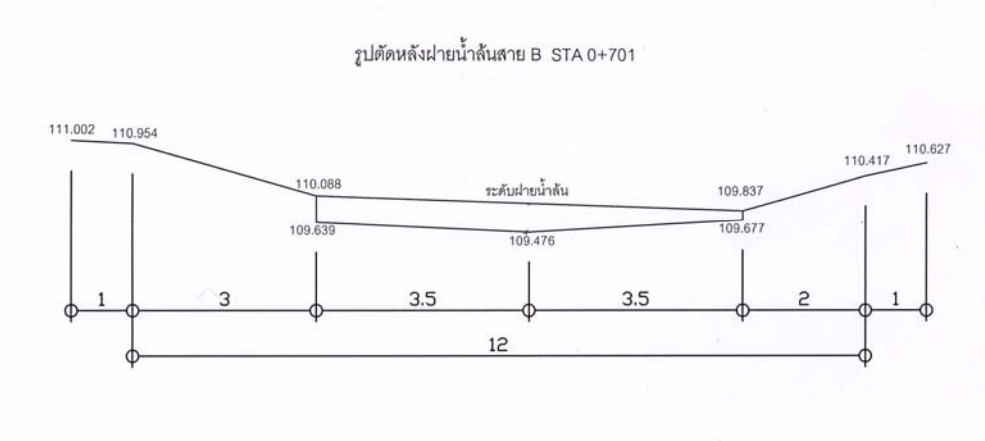
ภาพผนวกที่ ก47 รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+471



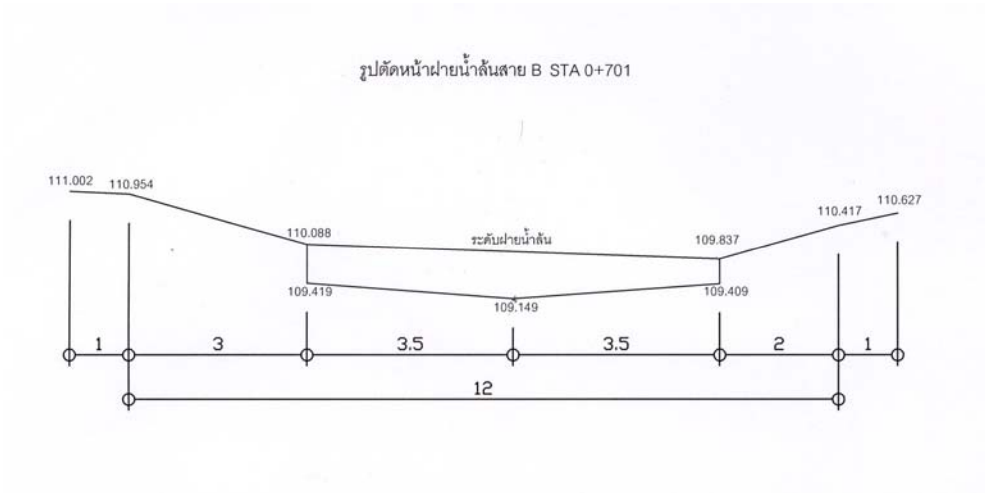
ภาพผนวกที่ ก48 รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+494



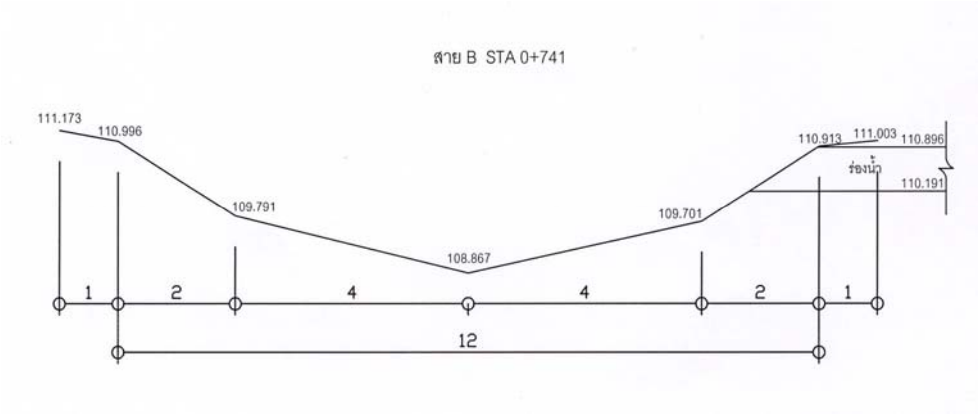
ภาพผนวกที่ ก49 รูปตัดตามขวางคลองสาย A ที่ sta 0+514



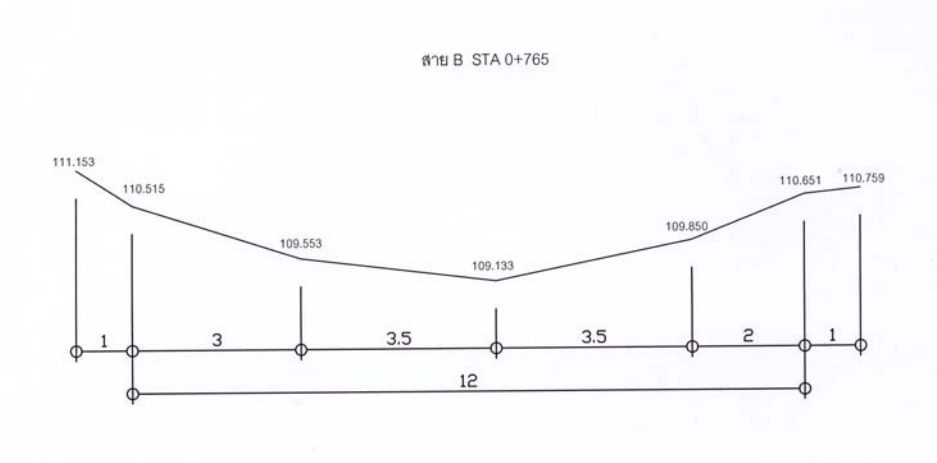
ภาพผนวกที่ ก50 รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+701 ด้านหลัง



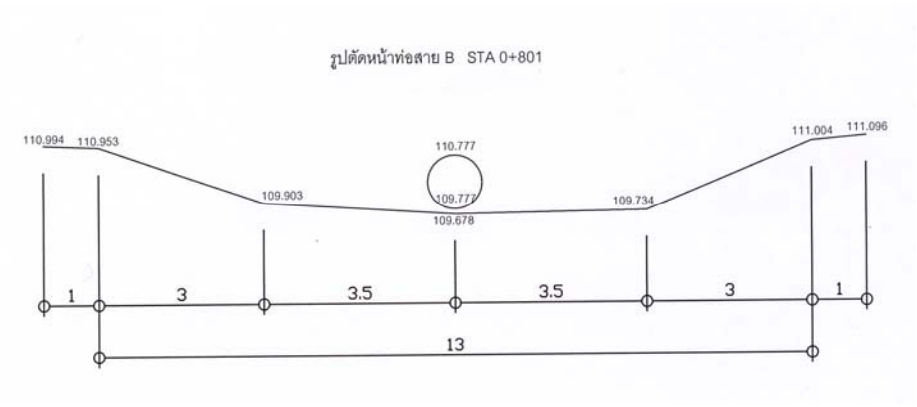
ภาพผนวกที่ ก51 รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+701 ด้านหน้า



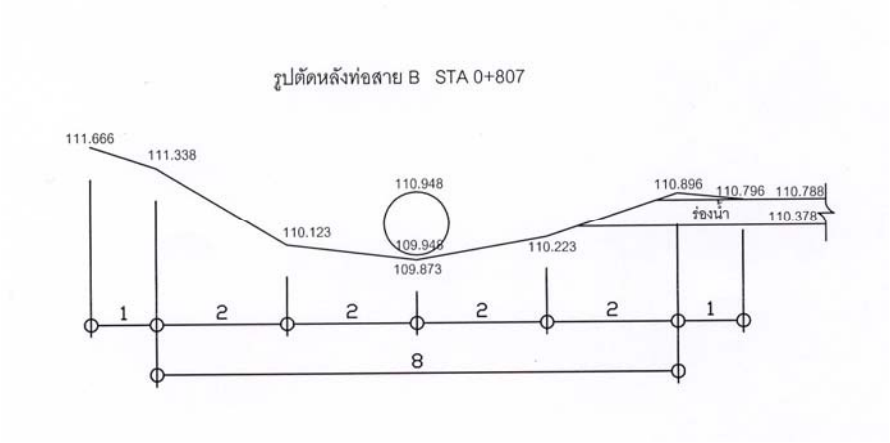
ภาพผนวกที่ ก52 รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+741



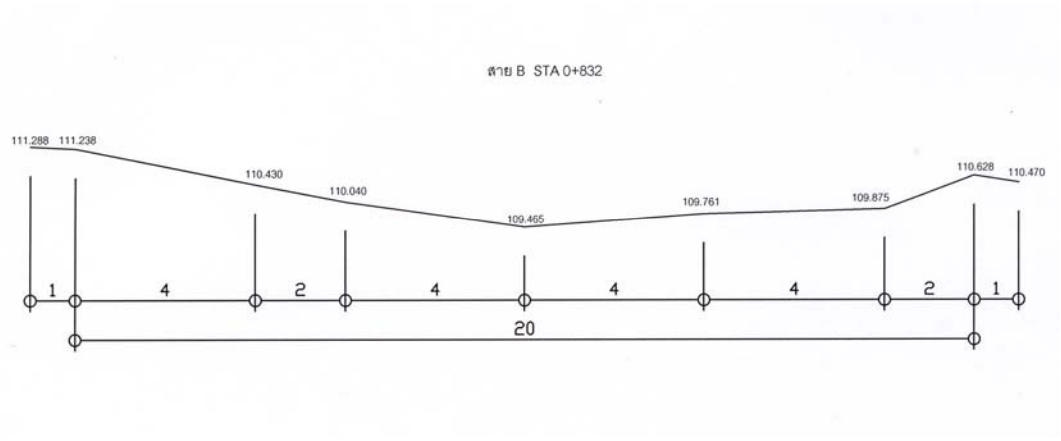
ภาพผนวกที่ ก53 รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+765



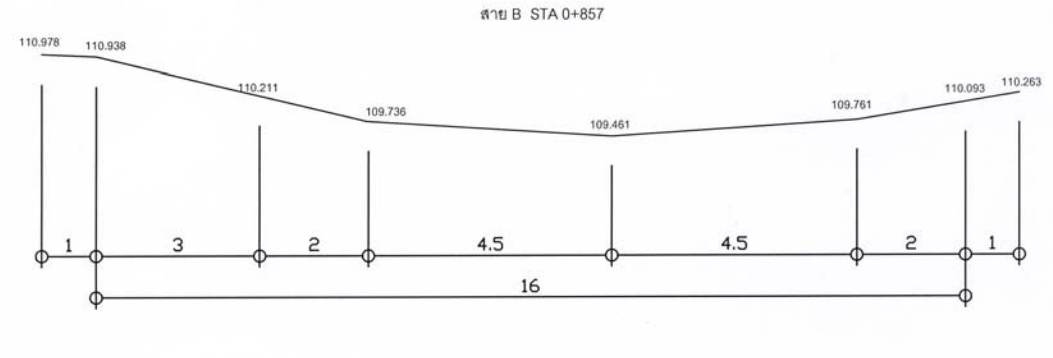
ภาพผนวกที่ ก54 รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+801



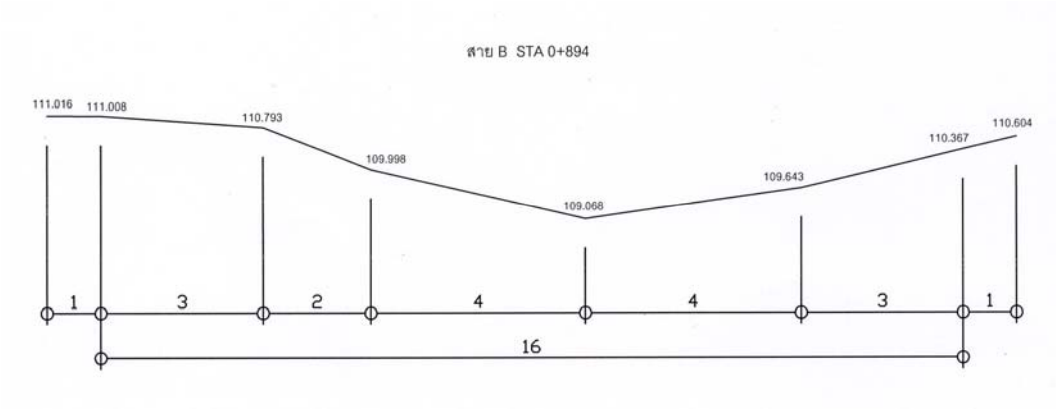
ภาพผนวกที่ ก55 รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+807



ภาพผนวกที่ ก56 รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+832



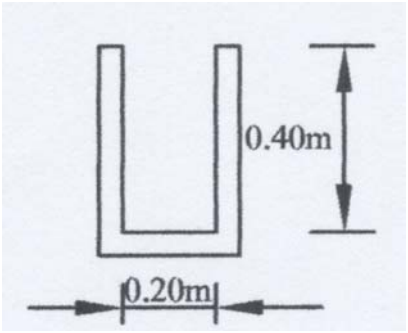
ภาพผนวกที่ ก57 รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+857



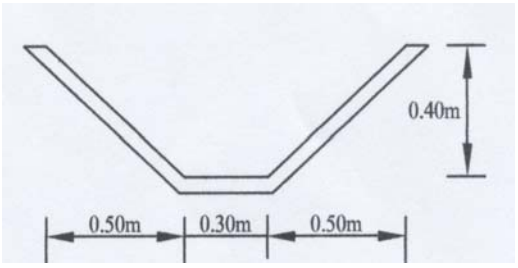
ภาพผนวกที่ ก58 รูปตัดตามขวางคลองสาย B ที่ sta 0+894

ภาคผนวก ข

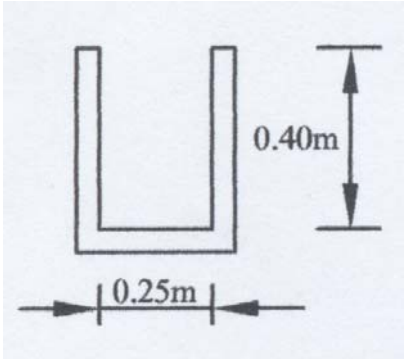
ผลการเก็บข้อมูลทางกายภาพของรางระบายน้ำ



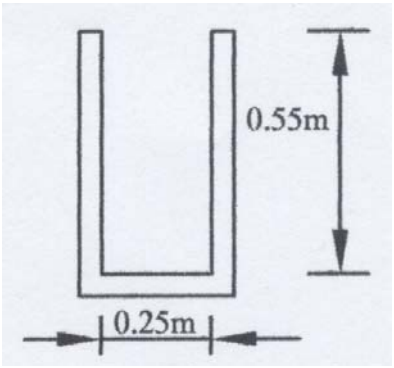
ภาพผนวกที่ ข1 รูปตัดตามขวางของรางระบายน้ำเส้นที่ 1 - 7



ภาพผนวกที่ ข2 รูปตัดตามขวางของรางระบายน้ำเส้นที่ 8



ภาพผนวกที่ ข3 รูปตัดตามขวางของรางระบายน้ำเส้นที่ 9



ภาพผนวกที่ ข4 รูปตัดตามขวางของรางระบายน้ำเส้นที่ 10

ภาคผนวก ค

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและระดับน้ำ

ตารางผนวกที่ ค1 ปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงของเดือนกันยายน ปี 2006

ปริมาณฝน

เดือน :	กันยายน		ปี :	2006		หน่วย:	มิลลิเมตร		
วันที่	เวลาตรวจวัด								
	1:00	4:00	7:00	10:00	13:00	16:00	19:00	22:00	รวม
1	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	2.5	0.7	6.3	10.3
2	1.3	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5
10	0.0	31.2	8.0	0.2	1.5	0.0	1.7	0.4	43.0
11	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
12	4.0	0.0	1.0	3.0	1.0	0.0	0.0	1.1	10.1
13	0.5	0.0	31.4	3.1	T	T	0.0	0.0	35.0
14	0.0	0.0	T	0.0	T	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	4.1
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.0
17	0.2	0.0	0.0	0.0	T	0.2	3.8	0.8	5.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	1.1
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	4.1	0.5	9.8
20	0.1	0.5	2.0	0.2	0.0	0.0	1.0	0.0	3.8
21	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
22	1.5	2.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.7
23	2.1	42.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.7
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	T	0.2	10.5	0.8	8.2	0.5	0.0	4.2	24.4
27	5.0	13.8	6.6	8.0	12.1	0.8	31.4	23.3	101.0
28	13.7	14.7	T	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	29.6
29	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
รวม	34.2	108.0	62.0	15.3	22.8	13.3	43.8	43.7	343.1
จำนวนครั้ง	12	8	10	6	4	6	7	12	65

ปริมาณฝนต่ำสุด : 42.1 มิลลิเมตร เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2006

ปริมาณฝนสูงสุด : 0.1 มิลลิเมตร เมื่อวันที่ 20 กันยายน 2006

หมายเหตุ : '-' คือไม่มีข้อมูลหรือไม่ได้ตรวจวัด; วันที่ฝนตกคือวันที่ฝนตกรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 มม.; "T" คือวันที่ฝนตกรวมน้อยกว่า 0.1 มม.

ตารางผนวกที่ ค2 ปริมาณฝนราย 3 ชั่วโมงของเดือนตุลาคม ปี 2006

ปริมาณฝน

เดือน : ตุลาคม	ปี : 2006				หน่วย: มิลลิเมตร				
วันที่	เวลาตรวจวัด								
	1:00	4:00	7:00	10:00	13:00	16:00	19:00	22:00	รวม
1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.6	18.6
3	4.0	2.1	14.7	5.2	0.3	0.0	0.0	0.0	26.3
4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	T	0.0	5.8	6.3
5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	2.0
6	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.2	15.6	44.0
7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.8	1.5	3.8	29.1
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.8	0.1	18.9
9	1.5	T	0.0	0.0	0.0	5.1	8.9	2.5	18.0
10	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
11	0.0	0.0	1.8	T	2.4	0.1	0.0	0.0	4.3
12	0.0	3.2	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	3.6
13	0.0	4.2	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
รวม	9.0	9.5	19.9	5.3	2.7	28.9	56.5	48.2	180.0
จำนวนครั้ง	8	3	3	2	2	5	5	7	35

ปริมาณฝนต่ำสุด : 42.1 มิลลิเมตร เมื่อวันที่ 23 กันยายน 2006

ปริมาณฝนสูงสุด : 0.1 มิลลิเมตร เมื่อวันที่ 20 กันยายน 2006

หมายเหตุ : '-' คือไม่มีข้อมูลหรือไม่ได้ตรวจวัด; วันที่ฝนตกคือวันที่ฝนตกรวม

หรือเท่ากับ 0.1 มม.; "T" คือวันที่ฝนตกรวมน้อยกว่า 0.1 มม.

ตารางผนวกที่ ค3 ผลการเก็บข้อมูลระดับน้ำรายวัน ตำแหน่งคลองข้างคณะวิชาโยธา(Node27)

วันที่	เวลา	ระดับน้ำ (เมตร)	วันที่	เวลา	ระดับน้ำ (เมตร)
12/10/49	14.05	1.24	1/11/49	16.00	1.12
13/10/49	12.00	1.23	2/11/49	16.00	1.12
14/10/49	12.30	1.19	3/11/49	17.00	1.12
15/10/49	16.00	1.17	4/11/49	18.00	1.12
16/10/49	18.00	1.16	5/11/49	11.00	1.12
17/10/49	17.00	1.15	6/11/49	14.30	1.12
18/10/49	14.30	1.14	7/11/49	14.00	1.11
19/10/49	12.00	1.14	8/11/49	13.30	1.11
20/10/49	13.00	1.14	9/11/49	10.30	1.11
21/10/49	13.00	1.14	10/11/49	11.00	1.11
22/10/49	15.00	1.14	11/11/49	12.40	1.11
23/10/49	16.00	1.14	12/11/49	15.00	1.11
24/10/49	18.00	1.13	13/11/49	14.28	1.11
25/10/49	11.00	1.13	14/11/49	14.50	1.10
26/10/49	14.00	1.13	15/11/49	11.30	1.10
27/10/49	10.00	1.13	16/11/49	16.00	1.10
28/10/49	11.30	1.12	17/11/49	13.00	1.10
29/10/49	12.00	1.12	18/11/49	14.00	1.10
30/10/49	13.00	1.12	19/11/49	11.23	1.10
31/10/49	14.00	1.12	20/11/49	15.00	1.10
			21/11/49	14.00	1.10

ตารางผนวกที่ ค4 ผลการเก็บข้อมูลระดับน้ำรายวันตำแหน่งคลองข้างอาคาร 8 (Node137)

วันที่	เวลา	ระดับน้ำ (เมตร)
4/9/49	14.30	1.42
5/9/49	13.30	1.42
6/9/49	14.40	1.35
7/9/49	18.00	1.39
8/9/49	14.00	1.35
9/9/49	19.15	1.49
10/9/49	9.30	1.42
11/9/49	14.45	1.37
12/9/49	8.15	1.54
13/9/49	8.30	1.48
14/9/49	8.30	1.51
15/9/49	14.30	1.49
16/9/49	14.50	1.46
17/9/49	14.20	1.42
18/9/49	13.00	1.44
19/9/49	15.00	1.48
20/9/49	14.30	1.55
21/9/49	8.30	1.42
22/9/49	15.15	1.45
23/9/49	10.20	1.52
24/9/49	13.30	1.50
25/9/49	19.00	1.53
26/9/49	19.00	1.74
27/9/49	9.30	1.67
28/9/49	14.30	1.62
29/9/49	13.00	1.63
30/9/49	18.00	1.60

วันที่	เวลา	ระดับน้ำ (เมตร)
1/10/49	13.00	1.57
2/10/49	14.00	1.52
3/10/49	13.00	1.59
4/10/49	13.00	1.55
5/10/49	14.10	1.61
6/10/49	14.00	1.63
7/10/49	13.00	1.70
8/10/49	14.00	1.96
9/10/49	14.00	1.60
10/10/49	13.00	1.57
11/10/49	13.55	1.65
12/10/49	14.05	1.53
13/10/49	12.00	1.57
14/10/49	12.30	1.52
15/10/49	16.00	1.50
16/10/49	18.00	1.48
17/10/49	17.00	1.44
18/10/49	14.30	1.52
19/10/49	12.00	1.57
20/10/49	13.00	1.60
21/10/49	13.00	1.64
22/10/49	15.00	1.59
23/10/49	16.00	1.53
24/10/49	18.00	1.52
25/10/49	11.00	1.51
26/10/49	14.00	1.49
27/10/49	10.00	1.47
28/10/49	11.30	1.45
29/10/49	12.00	1.44
30/10/49	13.00	1.44
31/10/49	14.00	1.43

ตารางผนวกที่ ค5 ผลการเก็บข้อมูลระดับน้ำรายวันตำแหน่งคลองด้านหลังวิทยาเขตใกล้จุดออกหนองหลวง (Node103)

วันที่	เวลา	ระดับน้ำ (เมตร)	วันที่	เวลา	ระดับน้ำ (เมตร)
28/9/49	18.00	1.10	26/10/49	14.00	2.00
29/9/49	18.00	1.16	27/10/49	16.00	2.00
30/9/49	15.00	1.21	28/10/49	16.30	2.00
1/10/49	13.00	1.25	29/10/49	14.30	2.00
2/10/49	14.00	1.29	30/10/49	13.00	1.95
3/10/49	13.00	1.32	31/10/49	14.00	1.90
4/10/49	13.00	1.39	1/11/49	16.00	1.88
5/10/49	14.00	1.43	2/11/49	16.00	1.85
6/10/49	13.00	1.48	3/11/49	11.00	1.82
7/10/49	14.10	1.52	4/11/49	18.00	1.78
8/10/49	14.00	1.58	5/11/49	11.00	1.74
9/10/49	14.00	1.63	6/11/49	14.30	1.70
10/10/49	13.00	1.69	7/11/49	14.00	1.68
11/10/49	13.55	1.73	8/11/49	13.30	1.64
12/10/49	14.05	1.77	9/11/49	10.30	1.62
13/10/49	12.00	1.82	10/11/49	11.00	1.60
14/10/49	12.30	1.87	11/11/49	12.40	1.58
15/10/49	16.00	1.90	12/11/49	15.00	1.56
16/10/49	18.00	1.95	13/11/49	16.00	1.55
17/10/49	11.00	2.00	14/11/49	18.00	1.53
18/10/49	12.00	2.00	15/11/49	14.00	1.51
19/10/49	11.00	2.00	16/11/49	15.00	1.49
20/10/49	14.30	2.00	17/11/49	13.00	1.47
21/10/49	11.30	2.00	18/11/49	16.00	1.46
22/10/49	14.00	2.00	19/11/49	17.00	1.45
23/10/49	14.00	2.00	20/11/49	18.00	1.43
24/10/49	13.00	2.00	21/11/49	10.55	1.42
25/10/49	16.00	2.00			

ภาคผนวก ง

สภาพน้ำท่วมภายในพื้นที่ศึกษา

ภาพผนวกที่ ง1 ภาพจุดรับน้ำเข้าคลองระบายน้ำภายในพื้นที่ศึกษา

ภาพผนวกที่ ง2 ภาพคลองระบายน้ำข้างคณะวิชาโยธา ปี 2539

ภาพผนวกที่ ง3 บริเวณฝ่ายอาคาร 7 ปี 2539

ภาพผนวกที่ ง4 บริเวณฝ่ายอาคาร 7 ปี 2549

ภาพผนวกที่ ง5 น้ำท่วมบริเวณบ้านพักอาจารย์ริมคลองระบายน้ำ ปี 2539

ภาพผนวกที่ ง6 ภาพคลองระบายน้ำข้างคณะวิชาโยธา ปี 2549

ภาพผนวกที่ ง7 น้ำท่วมบริเวณบ้านพักอาจารย์ริมคลองระบายน้ำ ปี 2549

ภาพผนวกที่ ง8 น้ำท่วมขังบริเวณอาคารเรียน ปี 2549

ภาพผนวกที่ ง9 น้ำท่วมขังบริเวณถนนหน้าอาคาร 8 ปี 2549

ภาคผนวก จ

คู่มือการใช้และการทดลองเครื่องมือวัดการไหล (Current Meter)

FP101- FP201 Global Flow Probe

เครื่องมือวัดการไหล
(Current Meter)

1. ขั้นตอนทดสอบ

ทดสอบโดยการเป่าใบพัดของเครื่องมือวัดการไหล เพื่อให้แน่ใจว่าใบพัดหมุนได้อย่างอิสระจุ่มใบพัดโดยตรงลงในแหล่งน้ำที่ต้องวัด โดยหันด้านที่มีลูกศร(อยู่ภายในท่อวัด) ให้ชี้ไปตามกระแสน้ำที่ด้ามจับของเครื่องมือวัดรุ่น FP101 จะประกอบด้วยแท่งโลหะสองแท่งที่สามารถยืดความยาวได้ 3 นิ้ว ถึง 6 นิ้ว ส่วนรุ่น FP201 จะประกอบด้วยแท่งโลหะสามส่วนที่สามารถยืดความยาวได้ 5 นิ้วถึง 15 นิ้ว การยืดความยาวของแท่งโลหะเพื่อที่จะใช้ความลึกได้ถูกต้องนั้นทำได้โดยคลายเกลียวที่ล็อคอยู่ที่ด้ามจับให้หลวมแล้วจึงดึงแท่งข้างบนสุดตามความยาวที่ต้องการแล้วจึงขันเกลียวให้แน่นอีกที

ใช้ปุ่มล่างเพื่อเลื่อนขึ้นลงเลือกฟังก์ชันจนกระทั่งแสดง “AVGSPEED” เลขที่แสดงอยู่ด้านบนเป็นค่าความเร็วที่ใกล้เคียงกับ 0.5 ฟุต/วินาที เลขด้านล่างลงมาเป็นค่าความเร็วเฉลี่ย กดปุ่มด้านบน 3 วินาทีเป็นการาเคลียร์ค่าเฉลี่ยและเริ่มอ่านค่าใหม่ ขณะที่กำลังอ่านค่าเฉลี่ยนั้นค่าความเร็วสูงสุดก็จะถูกบันทึกไว้ด้วยกดปุ่มด้านจนกระทั่งแสดงคำว่า “MAXSPEED” เพราะว่าเลขที่อยู่ทางด้านล่างแสดงค่าความเร็วสูงสุดขณะที่อยู่ที่จอแสดงผลตอนนี้ให้กดปุ่มบนค้างไว้ 3 วินาที จะเป็นการเคลียร์ค่า ๆ นี้ ขณะที่อยู่ที่หน้าจอแสดงค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดให้กดปุ่มบนค้างไว้ 5 วินาที จะเป็นการเคลียร์ค่าทั้งสองค่านี้

วิธีการวัดทำได้โดยจุ่มใบพัด ลงในจุดที่ต้องการวัดและกดปุ่มด้านบนสุดค้างไว้ 3 วินาที เพื่อเป็นการเคลียร์ค่าที่วัดครั้งก่อน หรือค้างไว้ 5 วินาที เพื่อเคลียร์ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุด ถือเครื่องมือค้างไว้นิ่งๆ จนกระทั่งค่าที่อ่านได้คงที่แล้วจึงนำเครื่องมือออกจากน้ำ ความเร็วเฉลี่ยและความเร็วสูงสุดยังแสดงอยู่ที่จอแสดงผล ค่าเหล่านั้นจะถูกอัพเดทขณะที่ใบพัดกำลังหมุน ข้อมูลอื่นๆสามารถดูได้จากหัวข้อความเร็วเฉลี่ย

สามารถวัดและคำนวณพื้นที่ภาคตัดขวางของลำธารที่ไหลในหน่วยตารางฟุตได้ ถ้าวัดอัตราการไหลในท่อกลม วัดความลึกของแหล่งน้ำ และใช้ตารางในคู่มือนี้ในการคำนวณพื้นที่ภาคตัดขวาง ถ้าต้องการวัดอัตราการไหลในร่องน้ำแบบอื่น สามารถวัดความลึกของน้ำแต่ละจุดตลอดแนวการไหลได้แบบ Manual การวัดแบบนี้ทำได้ง่าย มากในการบันทึกค่าโดยการวาด

ไดอะแกรมในกระดาษกราฟด้วยสเกลขนาด 1 ตารางฟุตต่อ 1 ช่องของกระดาษกราฟ พื้นที่ภาคตัดขวาง (ในหน่วยตารางฟุต) สามารถหาได้จากการนับช่องกราฟ

ความเร็วเฉลี่ย(คำนวณเครื่องมือวัดการไหลในหน่วยฟุต/วินาที) คูณด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง (ตารางฟุต) เท่ากับอัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำในหน่วย ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที (cfs) หรือ $Q = VA$ ถ้าใบพัดมีสิ่งสกปรกมาติดขณะกำลังวัดอยู่ ให้ทำความสะอาดจนกว่าใบพัดหมุนได้ อิสระและเริ่มวัดอีกครั้ง

2. ความเร็วเฉลี่ย

เครื่องมือวัดการไหลใช้วัดความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยได้ โดยความเร็วกระแสน้ำจะเปลี่ยนแปลงเมื่อ :ความเร็วแปรผันได้โดยตลอดภาคตัดขวาง โดยทั่วไปแล้วน้ำจะมีความเร็วมากบริเวณตรงกลางของทางน้ำเปิดและจะมีความเร็วน้อยที่ใกล้กับ ท้องน้ำ และริมทางน้ำเปิดโดยทั่วไปแล้วความเร็วของกระแสน้ำจะเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆไปตามช่วงเวลา ในกระแสน้ำที่ไหลแบบราบเรียบ ความเร็วน้ำเฉพาะจุดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย 1-2 ฟุตต่อวินาทีตลอดช่วงเวลา 1 นาที ความไม่แน่นอนของการไหลต้องถูกนำมาเฉลี่ยเพื่อที่จะได้การอ่านค่าการไหลเฉลี่ยที่แม่นยำ (ปล่อยเครื่องมือวัดไว้ในกระแสน้ำตลอดแกว่งตัวของความเร็วกระแสน้ำ)

3. วิธีหาค่าความเร็วเฉลี่ย

เครื่องมือวัดอัตราการไหลนี้สามารถหาค่าความเร็วเฉลี่ยในลำธารได้ 3 วิธีดังนี้

3.1 สำหรับลำธารและท่อที่มีขนาดเล็ก เครื่องมือวัดสามารถเคลื่อนได้อย่างช้าๆเรื่อยๆ ตลอดทางของกระแสน้ำระหว่างที่กำลังวัดความเร็วเฉลี่ย ย้ายตำแหน่งเครื่องมือวัดเรื่อยๆ ทั้งเดินหน้าและถอยหลังจากบนสุดสู่ด้านล่างสุดของกระแสน้ำ เครื่องมือวัดจะอยู่ที่แต่ละจุดในแต่ละจุดในกระแสน้ำโดยประมาณเวลาเท่าๆกัน ย้ายเครื่องมือวัดไปเรื่อย ๆประมาณ 20-40 วินาทีเพื่อจะได้หาค่าเฉลี่ยได้แม่นยำซึ่งนำไปใช้คำนวณสำหรับการแกว่งตัวของความเร็วกระแสน้ำ (เคลื่อนเครื่องมือวัดเช่นเดียวกับเมื่อพ่นสีสเปรย์ และต้องการที่จะได้สีที่สม่ำเสมอเคลือบบนชิ้นงาน) เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำนี้ใช้ความเร็วกระแสน้ำจริงในการหาค่าเฉลี่ย เมื่อความเร็วเฉลี่ยและความเร็วสูงสุดถูกปรับศูนย์โดยการกดปุ่มด้านบน ค่าเฉลี่ยจะแสดงผลออกมาทางจอตลอดเท่าที่จุ่มปลายเครื่องมือวัดไว้ในกระแสน้ำค่าที่อ่านได้หนึ่งค่า จะเป็นค่าต่อวินาทีและค่าเฉลี่ยต่อ

เนื่องจะแสดงผลออกมา ตัวอย่างเช่น หลังจาก 10 วินาทีผ่านไปอ่านค่ามาได้แล้ว 10 ค่าแล้วนำมาหารด้วย 10 จะเป็นค่าเฉลี่ยซึ่งแสดงออกมา เมื่อค่าเฉลี่ยที่ได้คงที่แล้วนั้นก็จะได้ค่าความเร็วเฉลี่ยจริงของกระแสน้ำ เมื่อเอาเครื่องมือวัดออกจากกระแสน้ำ ค่าเฉลี่ยค่านี้ก็จะยังค้างอยู่ที่จอแสดงผลจนกระทั่งถูกรีเซต

3.2 สำหรับลำธารและแม่น้ำซึ่งเราไม่สามารถเคลื่อนเครื่องมือวัดได้ตลอดกระแสน้ำ ให้แบ่งลำธารนั้นออกเป็นส่วนย่อย ๆ โดยกว้างส่วนละ 2-3 ฟุต (แนะนำว่าควรแบ่งส่วนย่อย ๆ ในกระดาษกราฟสัดส่วนตามที่เราแบ่งกระแสน้ำด้วย) ขึงสายวัดขวางลำธารเพื่อเป็นแนวอ้างอิง หารูปแบบการไหลของกระแสน้ำจากการวัดในแนวดิ่งที่ศูนย์กลางของแต่ละส่วนย่อย ๆได้โดย ปรับศูนย์ฟังก์ชั่นค่าเฉลี่ยและเคลื่อนเครื่องมือวัดตามแนวตั้งจากผิวน้ำไปจนถึงพื้นน้ำ ขึ้นและลงอย่างช้า ๆเรื่อยๆ ประมาณ 20-40 วินาทีเพื่อจะได้ค่าเฉลี่ยที่ถูกต้องแม่นยำ ความเร็วเฉลี่ย (ได้มาจากการอ่านที่เครื่องมือวัด) คูณด้วยพื้นที่ของส่วนย่อยนั้น อัตราการไหล (Q)= ความเร็วในการไหล (V) x พื้นที่หน้าตัด (A) เมื่อได้อัตราการไหลของแต่ละส่วนย่อยแล้ว ให้บวกค่าทั้งหมดเข้าด้วยกันก็จะได้อัตราการไหลของกระแสน้ำโดยรวม

3.3 สำหรับ USGS โดย “วิธีหกในสิบ” จะใช้เครื่องมือวัดวัดที่บริเวณตรงกลางของส่วนย่อย ๆที่ความลึกจากพื้นผิวน้ำประมาณ 0.6 ของความลึกของน้ำใช้เครื่องมือวัดวัดความเร็วกระแสน้ำเฉลี่ยที่ทุก ๆ ช่วงเวลา 40 วินาที ให้สมมุติว่าที่ความลึก 0.6 เป็นจุดวัดความเร็วเฉลี่ยสำหรับข้อมูลกระแสน้ำในแนวตั้ง ดังนั้นค่าเฉลี่ยนี้จะคล้าย ๆกันกับ ค่าเฉลี่ยที่หามาได้จากเทคนิค 3.2 ข้างต้น อย่างไรก็ค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากเทคนิคข้อ 3.2 มีความแม่นยำสูงกว่า

4. การทำงานของระบบคอมพิวเตอร์

ถ้ามีการเปลี่ยนแบตเตอรี่เราอาจจะต้องสอบเทียบค่าในระบบคอมพิวเตอร์อีกครั้ง โดยทั่วไปแล้วแบตเตอรี่จะมีอายุการใช้งาน 3 ปี หรือมากกว่านั้น

ระบบคอมพิวเตอร์ของเครื่องมือวัดมีปุ่มทำงานง่ายๆเพียง 2 ปุ่ม ปุ่มล่างเป็นปุ่มเลือกฟังก์ชันและปุ่มบนเป็นปุ่มรีเซตค่าฟังก์ชัน ถ้ากดปุ่มบนค้าง 3 วินาที เป็นการเซตศูนย์ให้กับค่าความเร็วเฉลี่ยและค่าความเร็วสูงสุดฟังก์ชันคอมพิวเตอร์มีดังนี้

4.1 ความเร็วกระแสน้ำ ตัวเลขที่แสดงอยู่ด้านบนของจอแสดงผลเป็นค่าความเร็วที่วัดได้ทันทีที่ความเร็วใกล้กับ 0.5 ฟุตต่อวินาที (หรือหน่วยเป็นเมตรแล้วแต่การเซตค่า)

4.2 ตัวเลขแสดงอยู่ด้านล่างใช้สำหรับฟังก์ชันดังต่อไปนี้ ความเร็วเฉลี่ย (AVGSPEED) ความเร็วสูงสุด (MAXSPEED) นาฬิกาจับเวลา (STPWATCH) และนาฬิกา (CLOCK)

4.3 ปุ่มล่างปรับขึ้นลงเพื่อเลือกฟังก์ชันต่างๆรวมทั้งDIST/SAY,RIDETIME,TRIP UP และ TOTALODO ซึ่งไม่ได้ใช้ในการวัด

4.4 กดปุ่มด้านบนค้างไว้ 3 วินาที เป็นการรีเซตฟังก์ชันที่ถูกแสดงอยู่ ถ้ากดค้างไว้ 5 วินาที จะเป็นการรีเซตฟังก์ชันความเร็วทั้งหมด

4.5 นาฬิกาจับเวลา ขณะที่ STPWATCH แสดงที่หน้าจอแสดงผลอยู่นั้น ให้กดปุ่มด้านบนหนึ่งครั้งจะเป็นเริ่มจับเวลา กดครั้งที่สองเป็นการหยุดการจับเวลากดแช่ไว้ 3 วินาทีเพื่อเคลียร์ค่านาฬิกา ระบบคอมพิวเตอร์จะทำงานเป็นนาฬิกาธรรมดาเมื่อไม่มีการใช้เครื่องวัด

5. รายละเอียดของอุปกรณ์

ช่วงการวัด	0.3-15 ฟุตต่อวินาที (0.1-4.5 เมตรต่อวินาที)
ความแม่นยำ	0.1 ฟุตต่อวินาที
การหาค่าเฉลี่ย	แสดงค่าเฉลี่ยจริงแบบตัวเลขตลอดการวัด การอ่านค่าหนึ่งครั้งต่อวินาที
จอแสดงผล	LCD
ชนิดของเซ็นเซอร์	เซ็นเซอร์แม่เหล็กไฟฟ้าติดที่ภายในช่องใบพัด
น้ำหนัก	2 ปอนด์
ขนาด	ความยาว:FP101 3-6 ฟุต ,FP201 5-15 ฟุต
ทำจากวัสดุ	PVC, อะลูมิเนียมอะโนไดซ์,ลูกปืนทำจาสแตนเลส
แบตเตอรี่	แบตเตอรี่นาฬิกาภายใน อายุการใช้งาน 1 ปี
อุณหภูมิทดสอบ	0-120 องศาฟาเรนไฮต์
หีบบรรจุ	ภายในหีบบรรจุมีตัวกันกระแทกอย่างดี

6. การบำรุงรักษา

6.1 ด้ามจับเครื่องมือวัด

เมื่อเราจุ่มข้อต่อส่วนที่ยืดออกของเครื่องมือวัด น้ำสามารถที่จะเข้าไปในด้ามจับได้ ดังนั้นหลังจากใช้เครื่องมือแล้ว ให้ทำเครื่องมือให้แห้งโดยแยกส่วนด้ามจับ 2 ส่วนออกจากกันเอาน้ำออกจากภายในด้ามจับและทิ้งไว้ให้แห้งก่อนประกอบกันอีกครั้งด้ามจับของเครื่องมือวัดสามารถทำความสะอาดได้โดยการใช้สบู่อ่อนและน้ำอย่าจุ่มส่วนบนของเสาและคอมพิวเตอร์ลงในน้ำ ถ้าคอมพิวเตอร์เปียกน้ำให้ถอดออกจากเครื่องมือวัด และทำให้แห้งทันทีโดยใช้ผ้านุ่ม ๆเช็ด เอาแบตเตอรี่ออกทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 1 คืน

6.2 การเปลี่ยนแบตเตอรี่

คอมพิวเตอร์ถูกติดตั้งอยู่ที่หัวของเครื่องมือวัดโดยการต่อแบบบิดล็อค การเอาออกให้หมุนคอมพิวเตอร์ไปทางซ้าย $\frac{1}{4}$ รอบและดึงออก การเอาแบตเตอรี่ออกให้ใช้เหรียญหมุนที่ครอบแบตเตอรี่ที่อยู่ด้านหลังของคอมพิวเตอร์ออกโดยหมุนไปทางซ้าย $\frac{1}{4}$ รอบ ใส่แบตเตอรี่โดยหันด้านบวกเข้าหาฝาครอบ แบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแบบ CR2032, 3 โวลต์ ลิเทียม หลังจากใส่แบตเตอรี่ใหม่แล้วเราจะต้องรีเซตค่าต่างๆ

6.3 การทำความสะอาด

ใบพัดจะต้องหมุนได้อย่างอิสระทั้งก่อนและหลังใช้งาน ทดสอบได้โดยการเป่าไปที่ใบพัดตามลูกศร ใบพัดจะต้องหมุนได้อย่างอิสระ ถ้าใบพัดหมุนอย่างไม่อิสระให้ล้างเครื่องมือวัดโดยใช้น้ำสะอาดและเอาสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ที่ลูกปืนของเครื่องมือวัดออกให้หมด หรือถ้าใบพัดยังคงหมุนอย่างติดขัดอยู่ไขสกรูยึดใบพัดและถอดใบพัดออก ล้างทั้งสองส่วนในน้ำสะอาดหรือด้วยสบู่และน้ำ แล้วจึงประกอบเข้าด้วยกันใหม่ โดยไขสกรูให้แน่นแต่ต้องแน่ใจว่าใบพัดต้องหมุนได้อย่างอิสระ

7. การแก้ปัญหา

เมื่อคอมพิวเตอร์อ่านค่าไม่ถูกต้องให้ลองเป่าใบพัด ใบพัดควรจะหมุนได้อย่างอิสระและมีเสียงเมื่อเป่า ใบพัดควรจะอยู่หลวม ๆ บนเพลารู้ได้โดยการกดด้วยนิ้วมือ ถ้าใบพัดหมันอย่างไม่อิสระ ให้ล้างด้วยน้ำสะอาดหรือแช่ลงในน้ำสบู่อ่อน ๆ

แม่เหล็กเล็ก ๆที่หุ้มด้วยวัสดุใส ติดอยู่ด้านหลังของใบพัดแน่ใจว่าแม่เหล็กนั้นยังอยู่ ไม่หลุดออก เนื่องจากแม่เหล็กนี้จะเป็นตัวทำให้เกิดสัญญาณสำหรับระบบคอมพิวเตอร์

ดึงที่ยึดคอมพิวเตอร์ออกจากด้ามจับเครื่องมือ เมื่อดึงที่ยึดออกควรจะมีเสียงป๊อป เกิดขึ้น แน่ใจว่าไม่มีความชื้นรอบ ๆ ตัวเสียบหรือเบ้าเสียบถ้าตัวเสียบหรือเบ้าเสียบเปียกให้ทำให้แห้งโดยทิ้งไว้ในที่อบอุ่น 1 คืน ประกอบตัวยึดคอมพิวเตอร์กับด้ามจับโดยต้องมีเสียง “ป๊อป” หรือ “สแนป” ถ้าไม่ได้ยินเสียงใดๆ เป็นไปได้ว่าตัวต่ออาจยังไม่เข้าที่หรืออาจจะเสีย ปรับศูนย์ “av” โหมดและเป่าที่ใบพัด 5-7 วินาที จอแสดงผลควรจะแสดงเลขใน “av” เพื่อแสดงว่าเครื่องมือไม่เสีย

คอมพิวเตอร์สามารถถอดออกจากตัวยึดโดยหมุนทางซ้าย $^{1}/4$ รอบและยกขึ้น ตรวจสอบหน้าสัมผัสทางไฟฟ้า 2 อัน ที่ตัวยึดคอมพิวเตอร์และหน้าสัมผัสแบบสปริงที่คอมพิวเตอร์ แน่ใจว่าสะอาดและแห้ง

ประกอบระบบคอมพิวเตอร์เข้ากับหัวต่อในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับตอนที่เอาออก เป่าใบพัดและเช็คการอ่านค่าเฉลี่ย ถ้าไม่อ่านค่าใด ๆให้ติดต่อกับทางบริษัท

ถ้าจอแสดงผลได้ลาง ๆ หรือ ไม่มีอะไรแสดง ให้เปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่

8. ปัญหาอื่น ๆ

หากมีปัญหาทางด้านเทคนิคอื่นๆ สามารถติดต่อตัวแทนจำหน่ายได้โดยตรง โดยให้เตรียมข้อมูลดังต่อไปนี้ให้พร้อม

a. หมายเลขรุ่น (Model No.)
b. เลขหมายเครื่อง (Unit Serial No.)
c. ขั้นตอนการซ่อมและ/หรือปัญหาเฉพาะ

เตรียมอธิบายปัญหาที่เกิดขึ้น โดยต้องประกอบไปด้วยรายละเอียดเฉพาะของการใช้งาน การติดตั้งและข้อมูลต่างหากที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

การตั้งค่าระบบคอมพิวเตอร์

BC1200 มีความสามารถในการเปลี่ยนค่าที่ใช้ในการสอบเทียบ 2 ตัว ถ้าต้องการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสอบเทียบ 2 ตัวนี้ให้เอาระบบคอมพิวเตอร์ออกจากหัวเครื่องมือวัดโดยการหมุนทวนเข็มนาฬิกาไป 45 องศาและดึงขึ้น ปุ่มสีเทาที่มีรอยมากที่อยู่ด้านมุมซ้ายบนทางด้านหลังของระบบคอมพิวเตอร์ใช้เพื่อเปลี่ยนการสอบเทียบทั้งสองแบบ ทางด้านมุมบนซ้ายของจอแสดงผล 1 แสดงการสอบเทียบแบบ CAL I และ II แสดงการสอบเทียบแบบ CAL II

หมายเหตุ

I = ฟุตต่อวินาที Calibration# คือ 0053

II = เมตรต่อวินาที Calibration# คือ 0016

ปุ่มสีเทาที่มีรอยมากที่อยู่ทางด้านบนขวาใช้เพื่อการเข้าสู่โหมดการสอบเทียบโดยการกดและค้างไว้ 5 วินาที

การตั้งค่าการสอบเทียบ

(Calibration# เป็นเลขกำหนดมาแล้วโรงงาน การตั้งค่าการใช้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแบตเตอรี่)

- กดปุ่มล่างจนกระทั่งจอไม่แสดง CLOCK หรือ TOTALODO
- กดปุ่มสีเทาที่มีรอยบากเพื่อเลือกการสอบเทียบที่ I
- หมุนคอมพิวเตอร์จนสุดและกดปุ่มสีเทาที่มีรอยบากค้างไว้ 5 วินาที และ “Set Language” จะกระพริบขึ้นที่จอแสดงผล
- กดปุ่มบนเพื่อเลือกภาษา
- กดปุ่มล่างเพื่อตกลง
- กดปุ่มบนจนกระทั่ง “SET M” แสดงที่หน้าจอ
- กดปุ่มล่างเพื่อตกลง ค้าที่ต้องใช้ในการสอบเทียบจะปรากฏขึ้นที่หน้าจอ
- การกดปุ่มบนจะเป็นการเปลี่ยนค่าของเลขที่กระพริบอยู่
- การกดปุ่มล่างจะเป็นการยอมรับใช้ค่า ๆ นั้น และเปลี่ยนไปยังเลขตัวถัดไป
- ตั้งค่าปรับเทียบดังนี้
  - ฟุต/วินาที: 0053 (CAL I)
  - เมตร/วินาที: 0016 (CAL II)

- กดปุ่มสีเทาที่มีรอยบากด้านขวาอยู่ด้านหลังเป็นเวลา 1 วินาทีเพื่อเก็บค่า

ทำซ้ำขั้นตอนข้างต้นอีกทีสำหรับ CAL II (แค่เปลี่ยน Cal#)

หมายเหตุ หลังจากเปลี่ยนแบตเตอรี่และจอแสดงผลเพิ่มการแสดงผล SET ODO จะแสดงเลข 4 ตัว ของ cal# เราไม่ต้องสนใจ และจึงกดปุ่มสีเทาที่มีรอยบากเพื่อเก็บค่าที่ตั้งอยู่

การตั้งค่านาฬิกา

- กดปุ่มล่างจนกระทั่งนาฬิกาปรากฏขึ้นที่ด้านล่างของจอแสดงผล
- หมุนระบบคอมพิวเตอร์ไปจนสุดแล้วจึงกด และกดปุ่มสีเทาที่มีรอยบากด้านขวามือตั้งค่า (S) ค้างไว้ 5 วินาทีหรือจนกระทั่งนาฬิกากระพริบ
- กดปุ่มบนจนกระทั่งถึงหน่วย ชม.(ชั่วโมง)
- กดปุ่มล่างเพื่อเปลี่ยนไปที่หน่วยนาที
- กดปุ่มบนจนกระทั่งได้เลขที่ต้องการ
- กดปุ่มล่างเพื่อเปลี่ยนไปยังหลักหน่วยของนาที
- กดปุ่มบนจนกระทั่งได้เลขหน่วยของนาทีที่ต้องการ
- หมุนระบบคอมพิวเตอร์จนสุดและกดปุ่มสีเท่าที่มีรอยบากด้านขวา 1 วินาที เพื่อบันทึกค่าที่ตั้งไว้

ภาพผนวกที่ จ1 เครื่องมือวัดการไหล (Current Meter)

ภาคผนวก ฉ

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ระบบระบายน้ำจากแบบจำลองกรณีศึกษาที่ 7 ที่เสนอแนะ

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.0 (Build 5.0.005b)

Rajamangala University of Technology Lanna Tak Campus
(Case7)

****
Analysis Options
****
Flow Units ..... CMS
Infiltration Method ..... HORTON
Flow Routing Method ..... DYNWAVE
Starting Date OCT-01-2006 00:00:00
Ending Date OCT-02-2006 00:00:00
Report Time Step 01:00:00
Wet Time Step 01:00:00
Dry Time Step 01:00:00
Routing Time Step ..... 0.17 sec

****
Element Count
****
Number of rain gages 1
Number of subcatchments ... 37
Number of nodes 136
Number of links 140
Number of pollutants 0
Number of land uses 2

****
Landuse Summary
****

Name	Sweeping Interval	Maximum Removal	Last Swept
Residential	0.00	0.00	0.00
Undevoloped	0.00	0.00	0.00

****
Raingage Summary
****

Name	Data Source	Data Type	Interval hours
1	RG1(10y)	INTENSITY	1.00

****
Subcatchment Summary
****

Name	Area	Width	%Imperv	%Slope	Rain Gage
52	0.47	76.70	34.17	0.40	1
73	0.78	102.65	37.05	0.19	1
139	1.76	225.21	32.30	0.85	1
140	0.51	37.72	8.98	0.73	1
141	0.35	67.95	25.39	0.13	1
142	0.45	67.95	25.39	1.12	1
143	1.01	398.96	0.00	0.61	1
144	0.63	56.90	21.79	0.75	1
145	1.36	113.35	44.42	0.09	1
146	0.53	108.43	76.62	1.75	1
147	0.76	108.43	48.28	1.05	1
148	1.31	110.68	82.48	1.34	1
149	0.25	24.42	40.88	1.01	1
150	0.62	108.32	37.97	0.24	1
151	0.45	79.00	34.22	1.39	1
152	0.16	42.74	25.00	1.05	1
153	0.53	76.83	100.00	1.54	1
154	0.34	83.13	16.78	3.07	1
155	0.23	47.05	25.48	3.07	1
156	0.69	97.65	36.19	0.01	1
157	0.72	107.43	21.26	0.86	1
158	2.14	59.00	0.00	0.32	1
159	1.20	116.09	33.60	0.41	1
160	0.68	79.30	57.30	0.50	1
161	0.40	93.95	13.78	0.93	1
162	0.47	80.08	7.26	0.34	1
163	0.38	111.50	20.16	0.50	1
164	0.60	43.89	74.72	2.64	1
165	0.88	55.00	13.81	0.95	1
166	0.84	91.90	37.26	0.84	1
167	1.34	135.48	14.01	0.59	1
168	0.46	90.54	21.02	0.52	1
169	1.91	90.54	90.98	0.28	1
170	2.52	102.67	5.20	1.94	1
171	1.54	69.00	30.68	1.43	1
172	1.27	73.03	55.09	0.44	1
173	0.54	94.17	42.06	1.04	1

****
Node Summary
****

Name	Type	Invert	Depth
1	JUNCTION	114.07	0.40
4	JUNCTION	112.66	0.40
5	JUNCTION	111.15	0.40
6	JUNCTION	110.77	0.40
7	JUNCTION	110.67	0.40

8	JUNCTION	109.87	2.13
10	JUNCTION	110.97	1.89
11	JUNCTION	112.93	0.30
13	JUNCTION	110.96	2.18
14	JUNCTION	112.40	0.40
15	JUNCTION	112.07	0.40
17	JUNCTION	111.64	0.40
19	JUNCTION	110.08	2.92
20	JUNCTION	111.75	0.40
21	JUNCTION	111.43	0.40
22	JUNCTION	111.13	0.40
23	JUNCTION	111.04	0.40
24	JUNCTION	110.90	0.40
25	JUNCTION	110.62	0.40
26	JUNCTION	110.59	0.40
29	JUNCTION	110.53	0.90
30	JUNCTION	110.47	0.40
31	JUNCTION	108.61	3.39
32	JUNCTION	112.32	0.40
33	JUNCTION	111.63	0.40
34	JUNCTION	112.49	0.40
39	JUNCTION	110.87	0.40
40	JUNCTION	109.14	3.36
43	JUNCTION	110.07	2.43
46	JUNCTION	111.02	2.24
47	JUNCTION	109.23	2.83
48	JUNCTION	108.58	3.57
49	JUNCTION	108.63	3.68
50	JUNCTION	109.07	2.93
51	JUNCTION	109.68	2.32
56	JUNCTION	113.10	0.40
83	JUNCTION	112.87	0.40
84	JUNCTION	112.83	0.40
85	JUNCTION	112.83	0.40
86	JUNCTION	112.82	0.40
87	JUNCTION	112.80	0.40
88	JUNCTION	112.75	0.40
89	JUNCTION	112.74	0.40
90	JUNCTION	112.69	0.40
91	JUNCTION	112.51	0.40
92	JUNCTION	112.33	0.40
99	JUNCTION	111.08	0.40
100	JUNCTION	110.45	0.40
101	JUNCTION	110.41	0.40
102	JUNCTION	108.27	3.73
104	JUNCTION	112.27	0.40
105	JUNCTION	112.90	0.40
106	JUNCTION	112.12	0.40
107	JUNCTION	112.08	0.40
109	JUNCTION	110.59	0.40
111	JUNCTION	110.56	0.40
113	JUNCTION	111.86	0.55
114	JUNCTION	111.86	0.55

116	JUNCTION	111.54	0.40
118	JUNCTION	110.79	0.40
119	JUNCTION	110.74	0.40
120	JUNCTION	110.67	0.40
121	JUNCTION	110.63	0.40
122	JUNCTION	110.70	0.40
123	JUNCTION	110.67	0.40
124	JUNCTION	110.57	0.40
125	JUNCTION	110.54	0.40
126	JUNCTION	110.79	0.40
127	JUNCTION	110.74	0.40
128	JUNCTION	110.72	0.40
134	JUNCTION	111.98	0.40
16	JUNCTION	111.62	0.40
42	JUNCTION	110.23	2.77
2	JUNCTION	113.18	0.40
27	JUNCTION	110.23	2.77
36	JUNCTION	109.98	2.62
53	JUNCTION	108.85	3.15
54	JUNCTION	110.97	2.03
55	JUNCTION	110.23	2.77
57	JUNCTION	110.23	2.77
58	JUNCTION	110.26	2.24
59	JUNCTION	110.11	2.46
60	JUNCTION	109.97	2.55
61	JUNCTION	110.04	2.48
62	JUNCTION	108.26	3.75
63	JUNCTION	108.50	3.75
64	JUNCTION	108.06	4.30
65	JUNCTION	108.10	4.30
66	JUNCTION	108.71	3.51
67	JUNCTION	108.63	3.84
68	JUNCTION	108.55	3.47
69	JUNCTION	108.42	3.68
70	JUNCTION	108.47	3.68
71	JUNCTION	108.46	3.57
72	JUNCTION	108.47	3.54
74	JUNCTION	108.66	3.54
75	JUNCTION	108.56	3.61
76	JUNCTION	108.84	3.61
77	JUNCTION	109.48	2.52
78	JUNCTION	109.00	3.13
79	JUNCTION	109.41	2.87
80	JUNCTION	109.15	2.85
81	JUNCTION	109.26	2.93
82	JUNCTION	109.46	2.54
93	JUNCTION	108.84	3.66
94	JUNCTION	108.73	3.27
95	JUNCTION	109.08	3.24
96	JUNCTION	109.04	3.27
97	JUNCTION	109.35	2.65
98	JUNCTION	110.97	2.03
103	JUNCTION	108.85	3.15

108	JUNCTION	111.00	2.24
110	JUNCTION	109.67	2.54
112	JUNCTION	109.48	3.13
115	JUNCTION	108.46	3.91
117	JUNCTION	110.16	2.92
129	JUNCTION	109.93	2.62
130	JUNCTION	110.22	2.33
131	JUNCTION	108.99	3.66
132	JUNCTION	108.77	3.39
133	JUNCTION	108.35	3.91
135	JUNCTION	108.89	3.27
136	JUNCTION	109.05	3.47
137	JUNCTION	109.88	2.62
138	JUNCTION	108.62	3.84
37	JUNCTION	110.97	2.03
38	JUNCTION	110.23	2.77
41	JUNCTION	110.26	2.24
44	JUNCTION	108.84	3.66
45	JUNCTION	109.15	3.91
35	OUTFALL	108.80	1.13
3	DIVIDER	112.67	0.40
12	DIVIDER	112.07	0.55
28	DIVIDER	110.81	0.69
9	DIVIDER	113.28	0.40
18	DIVIDER	111.64	0.55

****
Link Summary
****

Name	From Node	To Node	Type	Length	%Slope	N
1	1	2	CONDUIT	95	0.9405	0.0140
3	3	4	CONDUIT	8	0.1023	0.0140
6	6	7	CONDUIT	7	1.4621	0.0140
8	9	2	CONDUIT	10	1.0821	0.0140
9	9	10	CONDUIT	402	0.2499	0.0140
11	12	13	CONDUIT	118	0.3558	0.0140
12	3	14	CONDUIT	13	2.0515	0.0140
13	14	15	CONDUIT	170	0.1908	0.0140
14	134	16	CONDUIT	92	0.3999	0.0140
15	17	16	CONDUIT	17	0.1163	0.0140
16	18	17	CONDUIT	6	0.0313	0.0140
17	18	19	CONDUIT	118	0.4325	0.0140
19	20	21	CONDUIT	121	0.2636	0.0140
20	21	22	CONDUIT	52	0.5731	0.0140
21	22	23	CONDUIT	8	1.1209	0.0140
22	23	24	CONDUIT	72	0.1946	0.0140
23	24	118	CONDUIT	6	1.8041	0.0140
24	25	26	CONDUIT	46	0.0499	0.0140
26	16	116	CONDUIT	10	0.8324	0.0140
27	28	29	CONDUIT	8	3.3980	0.0140
28	29	122	CONDUIT	43	0.1874	0.0140
29	26	30	CONDUIT	12	1.0009	0.0140

30	30	31	CONDUIT	57	0.3159	0.0140
31	32	33	CONDUIT	106	0.6588	0.0140
33	33	19	CONDUIT	17	1.3973	0.0140
35	28	39	CONDUIT	87	0.1068	0.0140
38	39	126	CONDUIT	8	0.9657	0.0140
39	46	108	CONDUIT	12	0.1835	0.0180
40	10	13	CONDUIT	8	0.1902	0.0250
41	13	98	CONDUIT	20	0.6801	0.0180
42	38	55	CONDUIT	21	0.0015	0.0180
43	19	43	CONDUIT	8	0.1203	0.0140
44	43	36	CONDUIT	17	0.5272	0.0180
45	58	93	CONDUIT	1	0.0610	0.0140
47	47	76	CONDUIT	18	2.1118	0.0500
48	48	64	CONDUIT	31	1.6819	0.0500
50	81	50	CONDUIT	19	1.0384	0.0500
51	8	51	CONDUIT	8	2.1838	0.0140
53	49	71	CONDUIT	25	0.6931	0.0500
54	2	56	CONDUIT	5	1.5969	0.0140
56	83	84	CONDUIT	5	0.7341	0.0140
58	85	86	CONDUIT	6	0.2139	0.0140
59	86	87	CONDUIT	16	0.1389	0.0140
60	87	88	CONDUIT	11	0.4806	0.0140
61	88	89	CONDUIT	17	0.0531	0.0140
62	89	90	CONDUIT	6	0.7308	0.0140
63	90	3	CONDUIT	12	0.1823	0.0140
64	4	91	CONDUIT	49	0.3089	0.0140
65	91	92	CONDUIT	7	2.5068	0.0140
74	99	6	CONDUIT	66	0.4572	0.0140
76	100	101	CONDUIT	6	0.7248	0.0140
77	101	8	CONDUIT	29	0.1101	0.0140
78	40	102	CONDUIT	7	0.9913	0.0140
79	102	62	CONDUIT	10	0.1148	0.0500
80	34	104	CONDUIT	49	0.4531	0.0140
81	104	19	CONDUIT	85	1.0261	0.0140
82	11	105	CONDUIT	9	0.3800	0.0140
83	105	106	CONDUIT	82	0.9495	0.0140
84	106	107	CONDUIT	8	0.4814	0.0140
85	107	12	CONDUIT	22	0.0232	0.0140
86	7	109	CONDUIT	32	0.2376	0.0140
87	56	83	CONDUIT	20	1.1161	0.0140
88	84	85	CONDUIT	20	0.0150	0.0140
89	92	5	CONDUIT	174	0.6724	0.0140
90	5	99	CONDUIT	7	1.0270	0.0140
91	109	111	CONDUIT	4	0.6334	0.0140
92	111	100	CONDUIT	16	0.6879	0.0140
93	12	113	CONDUIT	75	0.2817	0.0140
94	113	114	CONDUIT	6	0.1573	0.0140
95	114	18	CONDUIT	30	0.7305	0.0140
96	116	28	CONDUIT	117	0.5037	0.0140
97	118	119	CONDUIT	10	0.5350	0.0140
98	119	120	CONDUIT	7	1.0150	0.0140
99	120	121	CONDUIT	36	0.1200	0.0140
100	121	25	CONDUIT	5	0.1769	0.0140

101	122	123	CONDUIT	7	0.3499	0.0140
102	123	124	CONDUIT	8	1.3282	0.0140
103	124	125	CONDUIT	7	0.4365	0.0140
104	125	30	CONDUIT	41	0.1522	0.0140
105	126	127	CONDUIT	22	0.2048	0.0140
106	127	128	CONDUIT	8	0.2423	0.0140
107	128	40	CONDUIT	19	0.9785	0.0140
108	15	134	CONDUIT	5	1.6603	0.0140
2	27	117	CONDUIT	21	0.3646	0.0180
4	36	137	CONDUIT	22	0.4284	0.0180
5	53	35	CONDUIT	14	0.0022	0.0140
7	54	42	CONDUIT	1	5.6874	0.0140
10	55	57	CONDUIT	3	0.0116	0.0180
18	27	57	CONDUIT	9	0.0317	0.0180
32	130	59	CONDUIT	6	1.9224	0.0180
34	60	61	CONDUIT	5	0.0061	0.0180
36	59	61	CONDUIT	8	0.8173	0.0180
37	63	62	CONDUIT	25	0.9480	0.0500
46	48	63	CONDUIT	27	0.3071	0.0500
55	65	64	CONDUIT	42	0.0765	0.0500
57	66	65	CONDUIT	36	1.6914	0.0500
66	132	66	CONDUIT	41	0.1399	0.0500
67	67	31	CONDUIT	19	0.1332	0.0500
68	138	68	CONDUIT	35	0.1883	0.0500
69	68	69	CONDUIT	42	0.3077	0.0500
70	70	69	CONDUIT	47	0.0928	0.0500
71	70	133	CONDUIT	11	1.0735	0.0500
72	72	71	CONDUIT	35	0.0403	0.0500
109	103	74	CONDUIT	21	0.9402	0.0500
110	76	75	CONDUIT	31	0.9156	0.0500
111	48	75	CONDUIT	45	0.0488	0.0500
112	51	79	CONDUIT	18	1.5281	0.0500
113	79	78	CONDUIT	30	1.3583	0.0500
115	77	80	CONDUIT	1	0.0610	0.0140
116	80	45	CONDUIT	1	0.0610	0.0500
117	112	78	CONDUIT	47	1.0232	0.0500
118	82	81	CONDUIT	31	0.6336	0.0500
119	110	82	CONDUIT	28	0.7368	0.0500
120	131	44	CONDUIT	3	4.9834	0.0500
122	95	47	CONDUIT	10	2.7984	0.0500
123	96	94	CONDUIT	22	1.4319	0.0500
124	97	96	CONDUIT	10	2.9743	0.0500
125	98	37	CONDUIT	19	0.0016	0.0180
126	103	53	CONDUIT	6	0.0048	0.0500
127	108	10	CONDUIT	11	0.2152	0.0180
128	8	110	CONDUIT	12	1.7200	0.0500
129	112	77	CONDUIT	1	0.0610	0.0500
131	117	19	CONDUIT	20	0.3994	0.0180
132	60	129	CONDUIT	27	0.1662	0.0180
133	41	130	CONDUIT	3	1.4090	0.0180
134	40	131	CONDUIT	4	3.6946	0.0500
135	132	31	CONDUIT	26	0.6233	0.0500
136	49	115	CONDUIT	29	0.5892	0.0500

137	135	94	CONDUIT	23	0.7043	0.0500
138	136	135	CONDUIT	32	2.0988	0.0500
139	129	137	CONDUIT	20	0.2205	0.0180
140	136	95	CONDUIT	24	0.3580	0.0140
141	67	138	CONDUIT	21	0.0729	0.0500
142	74	72	CONDUIT	47	0.3992	0.0500
25	37	54	CONDUIT	1	0.0610	0.0180
49	42	38	CONDUIT	1	0.0610	0.0180
52	41	58	CONDUIT	1	0.0610	0.0180
73	93	44	CONDUIT	1	0.0610	0.0500
75	45	115	CONDUIT	15	4.5170	0.0500
114	115	133	CONDUIT	10	1.0342	0.0500

**********	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
**********	---------	-------
Total Precipitation	1.593	51.244
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.089	2.878
Surface Runoff	1.567	50.412
Final Surface Storage	0.000	0.016
Continuity Error (%)	-4.023	

**********	Volume	Volume
Flow Routing Continuity	hectare-m	Mliters
**********	---------	---------
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	1.567	15.672
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	12.831	128.309
External Outflow	12.757	127.571
Surface Flooding	0.496	4.959
Evaporation Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.002	0.020
Final Stored Volume	1.135	11.352
Continuity Error (%)	0.082	

****
Subcatchment Runoff Summary
****

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Total Runoff mm	Runoff Coeff
52	51.244	0.000	0.000	1.994	51.554	1.006
73	51.244	0.000	0.000	4.416	48.107	0.939
139	51.244	0.000	0.000	1.978	51.603	1.007
140	51.244	0.000	0.000	6.514	46.039	0.898
141	51.244	0.000	0.000	4.628	47.950	0.936
142	51.244	0.000	0.000	3.296	49.657	0.969
143	51.244	0.000	0.000	2.516	51.899	1.013
144	51.244	0.000	0.000	2.738	50.829	0.992
145	51.244	0.000	0.000	2.656	51.092	0.997
146	51.244	0.000	0.000	0.464	51.351	1.002
147	51.244	0.000	0.000	1.343	51.788	1.011
148	51.244	0.000	0.000	0.555	52.345	1.021
149	51.244	0.000	0.000	1.754	51.668	1.008
150	51.244	0.000	0.000	1.968	51.509	1.005
151	51.244	0.000	0.000	1.646	51.706	1.009
152	51.244	0.000	0.000	2.729	50.631	0.988
153	51.244	0.000	0.000	0.000	52.057	1.016
154	51.244	0.000	0.000	2.028	51.749	1.010
155	51.244	0.000	0.000	2.443	51.083	0.997
156	51.244	0.000	0.000	4.578	48.704	0.950
157	51.244	0.000	0.000	3.762	49.138	0.959
158	51.244	0.000	0.000	7.497	45.103	0.880
159	51.244	0.000	0.000	2.765	50.336	0.982
160	51.244	0.000	0.000	1.369	51.822	1.011
161	51.244	0.000	0.000	2.514	51.586	1.007
162	51.244	0.000	0.000	2.449	51.866	1.012
163	51.244	0.000	0.000	2.135	51.772	1.010
164	51.244	0.000	0.000	0.634	52.111	1.017
165	51.244	0.000	0.000	3.904	49.270	0.961
166	51.244	0.000	0.000	2.146	51.136	0.998
167	51.244	0.000	0.000	3.543	49.829	0.972
168	51.244	0.000	0.000	2.591	51.095	0.997
169	51.244	0.000	0.000	0.257	54.158	1.057
170	51.244	0.000	0.000	4.719	48.426	0.945
171	51.244	0.000	0.000	3.112	49.932	0.974
172	51.244	0.000	0.000	1.943	51.541	1.006
173	51.244	0.000	0.000	1.608	51.660	1.008
Totals	51.245	0.000	0.000	2.878	50.412	0.984

****
Node Depth Summary
****

Node	Average Depth Meters	Maximum Depth Meters	Maximum HGL Meters	Time of Max Occurrence days	hr:min	Total Flooding mm/ha	Total Minutes Flooded
1	0.02	0.19	114.26	0	3:30	0	0
4	0.02	0.12	112.78	0	3:33	0	0
5	0.04	0.34	111.49	0	1:16	0	0
6	0.04	0.31	111.08	0	2:50	0	0
7	0.06	0.40	111.07	0	1:12	21.45	138
8	0.19	0.69	110.56	0	3:37	0	0
10	0.86	1.05	112.02	0	3:29	0	0
11	0.01	0.18	113.11	0	3:30	0	0
13	0.85	1.04	112.00	0	3:28	0	0
14	0.07	0.40	112.80	0	1:15	32.05	134
15	0.06	0.40	112.47	0	1:26	6.43	55
17	0.05	0.40	112.04	0	1:18	24.88	82
19	0.74	1.26	111.34	0	1:44	0	0
20	0.04	0.27	112.01	0	3:30	0	0
21	0.08	0.40	111.83	0	1:25	41.42	122
22	0.07	0.32	111.45	0	1:17	0	0
23	0.10	0.40	111.44	0	1:17	27.07	194
24	0.06	0.29	111.19	0	3:33	0	0
25	0.12	0.40	111.02	0	1:18	4.28	98
26	0.07	0.29	110.88	0	1:12	0	0
29	0.32	0.90	111.43	0	1:11	0.01	0
30	0.11	0.40	110.87	0	1:12	51.5	238
31	1.38	1.98	110.59	0	3:33	0	0
32	0.02	0.25	112.57	0	3:30	0	0
33	0.01	0.11	111.73	0	3:30	0	0
34	0.02	0.18	112.67	0	3:30	0	0
39	0.04	0.36	111.23	0	3:30	0	0
40	0.87	1.57	110.70	0	3:34	0	0
43	0.74	1.19	111.25	0	1:23	0	0
46	0.81	1.01	112.02	0	3:31	0	0
47	0.76	1.39	110.62	0	3:31	0	0
48	1.40	2.04	110.62	0	3:40	0	0
49	1.34	1.92	110.55	0	3:39	0	0
50	0.95	1.50	110.56	0	3:44	0	0
51	0.31	0.89	110.57	0	3:31	0	0
56	0.03	0.40	113.50	0	3:30	0.04	3
83	0.04	0.37	113.25	0	3:30	0	0
84	0.05	0.40	113.23	0	1:16	24.35	109
85	0.05	0.36	113.19	0	2:55	0	0
86	0.05	0.37	113.19	0	2:55	0	0
87	0.05	0.35	113.15	0	2:54	0	0
88	0.06	0.40	113.15	0	1:19	7.58	94
89	0.04	0.27	113.00	0	1:20	0	0

90	0.05	0.31	113.00	0	1:20	0	0
91	0.02	0.27	112.78	0	3:36	0	0
92	0.05	0.40	112.73	0	1:16	27.56	77
99	0.06	0.40	111.48	0	1:15	18.14	122
100	0.06	0.36	110.82	0	2:48	0	0
101	0.07	0.40	110.81	0	1:16	3.09	140
102	1.71	2.38	110.65	0	3:34	0	0
104	0.02	0.25	112.51	0	3:31	0	0
105	0.02	0.21	113.11	0	3:30	0	0
106	0.02	0.33	112.45	0	3:31	0	0
107	0.03	0.34	112.42	0	3:31	0	0
109	0.05	0.30	110.89	0	1:16	0	0
111	0.05	0.32	110.89	0	2:49	0	0
113	0.02	0.20	112.07	0	3:30	0	0
114	0.02	0.21	112.06	0	3:30	0	0
116	0.07	0.40	111.94	0	1:13	45.61	142
118	0.09	0.40	111.19	0	3:23	0.17	11
119	0.09	0.40	111.14	0	1:20	0.02	1
120	0.11	0.40	111.07	0	1:15	42.77	170
121	0.11	0.40	111.02	0	1:22	0	0
122	0.07	0.40	111.10	0	1:26	1.46	31
123	0.07	0.40	111.07	0	1:26	0	0
124	0.09	0.40	110.97	0	1:26	0	0
125	0.09	0.40	110.94	0	1:11	52.44	180
126	0.05	0.40	111.19	0	1:23	9.44	63
127	0.04	0.29	111.03	0	1:25	0	0
128	0.03	0.27	111.00	0	1:24	0	0
134	0.07	0.40	112.38	0	1:13	54.16	161
16	0.06	0.35	111.96	0	1:18	0	0
42	0.61	1.18	111.41	0	2:30	0	0
2	0.02	0.32	113.50	0	3:31	0	0
27	0.59	1.05	111.28	0	1:39	0	0
36	0.83	1.28	111.26	0	1:36	0	0
53	1.01	1.11	109.97	0	0:00	0	0
54	0.84	1.01	111.98	0	3:28	0	0
55	0.60	1.11	111.33	0	2:30	0	0
57	0.59	1.07	111.30	0	1:42	0	0
58	0.53	0.86	111.12	0	1:45	0	0
59	0.69	1.05	111.16	0	1:45	0	0
60	0.83	1.23	111.20	0	1:28	0	0
61	0.76	1.14	111.18	0	1:43	0	0
62	1.73	2.39	110.66	0	3:34	0	0
63	1.50	2.14	110.64	0	3:35	0	0
64	1.90	2.56	110.62	0	3:41	0	0
65	1.88	2.52	110.62	0	3:40	0	0
66	1.27	1.89	110.61	0	3:41	0	0
67	1.35	1.95	110.59	0	3:40	0	0
68	1.42	2.02	110.58	0	3:33	0	0
69	1.55	2.15	110.57	0	3:33	0	0
70	1.50	2.10	110.56	0	3:39	0	0
71	1.50	1.95	110.41	0	3:40	0	0
72	1.47	1.87	110.34	0	3:39	0	0
74	1.24	1.47	110.13	0	3:40	0	0

75	1.43	2.06	110.62	0	3:34	0	0
76	1.16	1.78	110.62	0	3:35	0	0
77	0.51	1.09	110.56	0	3:39	0	0
78	0.97	1.57	110.57	0	3:31	0	0
79	0.58	1.16	110.57	0	3:38	0	0
80	0.83	1.42	110.56	0	3:39	0	0
81	0.77	1.30	110.56	0	3:44	0	0
82	0.58	1.10	110.56	0	3:43	0	0
93	1.18	1.90	110.74	0	3:28	0	0
94	1.23	1.90	110.63	0	3:43	0	0
95	0.89	1.54	110.62	0	3:42	0	0
96	0.93	1.59	110.63	0	3:43	0	0
97	0.63	1.28	110.63	0	3:42	0	0
98	0.85	1.03	112.01	0	3:31	0	0
103	1.02	1.15	110.00	0	3:40	0	0
108	0.82	1.03	112.02	0	3:31	0	0
110	0.38	0.90	110.56	0	3:37	0	0
112	0.51	1.09	110.56	0	3:39	0	0
115	1.52	2.11	110.56	0	3:39	0	0
117	0.66	1.13	111.29	0	3:27	0	0
129	0.87	1.27	111.20	0	1:28	0	0
130	0.57	0.93	111.14	0	1:45	0	0
131	1.02	1.74	110.73	0	3:34	0	0
132	1.21	1.83	110.59	0	3:41	0	0
133	1.62	2.21	110.56	0	3:33	0	0
135	1.08	1.74	110.63	0	3:43	0	0
136	0.93	1.58	110.63	0	3:43	0	0
137	0.91	1.35	111.23	0	1:43	0	0
138	1.35	1.96	110.58	0	3:40	0	0
37	0.84	1.01	111.98	0	3:30	0	0
38	0.61	1.18	111.41	0	2:30	0	0
41	0.53	0.88	111.14	0	1:45	0	0
44	1.18	1.90	110.74	0	3:46	0	0
45	0.83	1.42	110.56	0	3:39	0	0
35	1.06	1.05	109.85	0	0:00	0	0
3	0.02	0.13	112.79	0	1:15	0	0
12	0.01	0.18	112.25	0	3:32	0	0
28	0.15	0.53	111.34	0	3:30	0	0
9	0.02	0.21	113.49	0	3:31	0	0
18	0.05	0.41	112.05	0	3:30	0	0

****
Conduit Flow Summary
****

Conduit	Maximum Flow CMS	Time of Max Occurrence days	hr:min	Maximum Velocity m/sec	Length Factor	Maximum /Design Flow	Total Minutes Surcharged
1	0.04	0	3:30	0.88	1.00	0.42	0
3	0.02	0	1:15	0.57	1.00	0.29	0
6	0.11	0	1:13	1.09	1.00	0.47	0
8	0.07	0	3:32	1.09	1.00	0.37	0
9	0.02	0	3:31	0.57	1.00	0.32	0
11	0.02	0	3:32	0.47	1.00	0.43	0
12	0.06	0	3:30	0.65	1.00	0.20	0
13	0.05	0	1:26	0.62	1.00	1.00	64
14	0.07	0	1:18	0.93	1.00	0.98	0
15	0.06	0	1:19	0.80	1.00	1.65	112
16	0.09	0	3:30	0.71	1.00	2.62	71
17	0.06	0	1:44	0.95	1.00	0.83	0
19	0.17	0	3:30	0.72	1.00	0.42	0
20	0.08	0	1:27	1.08	1.00	0.97	0
21	0.10	0	1:17	1.01	1.00	0.50	0
22	0.05	0	1:26	0.81	1.00	1.10	203
23	0.11	0	1:20	1.13	1.00	0.42	0
24	0.05	0	3:54	0.67	1.00	1.94	306
26	0.13	0	1:18	1.19	1.00	0.71	0
27	0.12	0	1:10	1.23	1.00	0.34	29
28	0.08	0	3:30	0.96	1.00	1.67	160
29	0.08	0	3:30	0.78	1.00	0.40	0
30	0.06	0	3:32	0.96	1.00	1.03	55
31	0.04	0	3:30	0.99	1.00	0.41	0
33	0.04	0	3:31	1.32	1.00	0.15	0
35	0.05	0	1:30	0.55	1.00	1.00	0
38	0.15	0	3:30	1.24	1.00	0.80	0
39	6.05	0	3:29	0.54	1.00	0.08	0
40	6.07	0	3:31	1.16	1.00	1.37	335
41	6.21	0	3:28	0.79	1.00	0.04	0
42	9.78	0	2:30	0.85	1.00	0.91	0
43	8.21	0	5:01	2.09	1.00	2.12	337
44	9.81	0	1:33	1.37	1.00	0.05	0
45	7.49	0	1:45	1.96	1.00	0.17	0
47	1.17	0	0:59	0.18	1.00	0.01	0
48	7.74	0	3:51	0.73	1.00	0.03	0
50	0.28	0	1:28	0.26	1.00	0.00	0
51	1.08	0	3:32	2.43	1.00	0.33	0
53	7.48	0	3:39	1.43	1.00	0.15	0
54	0.12	0	3:31	1.06	1.00	0.47	0
56	0.11	0	3:30	0.90	1.00	0.68	0
58	0.05	0	1:17	0.53	1.00	0.53	0
59	0.05	0	2:07	0.68	1.00	1.20	120
60	0.05	0	2:07	0.40	1.00	0.35	0

61	0.07	0	2:54	1.03	1.00	2.79	175
62	0.07	0	1:19	0.71	1.00	0.41	0
63	0.07	0	1:20	1.58	1.00	1.50	135
64	0.01	0	3:31	0.59	1.00	0.24	0
65	0.08	0	3:54	0.99	1.00	0.26	0
74	0.07	0	1:16	0.99	1.00	0.97	0
76	0.06	0	2:49	0.72	1.00	0.39	0
77	0.06	0	1:16	0.98	1.00	1.68	177
78	7.72	0	3:30	3.37	1.00	0.71	303
79	7.71	0	1:45	0.90	1.00	0.18	0
80	0.06	0	3:30	0.84	1.00	0.43	0
81	0.06	0	3:31	1.24	1.00	0.51	0
82	0.00	0	1:04	0.11	1.00	0.01	0
83	0.05	0	3:30	0.92	1.00	0.48	0
84	0.05	0	3:30	0.70	1.00	0.79	23
85	0.05	0	3:31	0.94	1.00	3.04	122
86	0.06	0	1:15	0.99	1.00	1.23	152
87	0.11	0	3:31	1.45	1.00	1.00	3
88	0.05	0	1:16	0.66	1.00	3.78	167
89	0.08	0	1:16	1.10	1.00	0.93	0
90	0.10	0	1:14	1.00	1.00	0.51	0
91	0.06	0	2:49	0.84	1.00	0.41	0
92	0.06	0	1:17	0.96	1.00	0.72	0
93	0.02	0	3:32	0.59	1.00	0.26	0
94	0.02	0	3:32	0.40	1.00	0.32	0
95	0.02	0	3:32	0.37	1.00	0.17	0
96	0.07	0	3:30	1.00	1.00	0.99	0
97	0.09	0	3:24	1.28	1.00	1.22	63
98	0.11	0	3:00	0.92	1.00	0.58	1
99	0.04	0	5:00	0.57	1.00	1.17	232
100	0.04	0	4:56	0.38	1.00	0.55	0
101	0.12	0	1:27	0.97	1.00	1.06	48
102	0.12	0	1:27	1.53	1.00	0.99	0
103	0.12	0	1:26	0.97	1.00	0.95	0
104	0.05	0	1:11	0.67	1.00	1.20	181
105	0.09	0	1:24	1.10	1.00	1.40	107
106	0.09	0	1:24	1.01	1.00	0.99	0
107	0.09	0	1:25	1.45	1.00	0.64	0
108	0.12	0	1:27	1.64	1.00	1.00	174
2	7.84	0	5:41	2.08	1.00	0.05	0
4	9.03	0	4:02	1.19	1.00	0.05	0
5	7.40	0	3:40	2.38	1.00	17.86	403
7	7.12	0	3:30	5.71	1.00	0.37	0
10	8.47	0	1:43	2.21	1.00	0.71	0
18	7.92	0	4:59	1.56	1.00	0.24	0
32	7.22	0	3:36	1.09	1.00	0.03	0
34	9.19	0	3:34	1.16	1.00	0.65	0
36	7.34	0	1:43	1.00	1.00	0.05	0
37	8.08	0	1:35	0.70	1.00	0.06	0
46	7.96	0	1:45	1.22	1.00	0.13	0
55	7.80	0	3:51	0.41	1.00	0.13	0
57	7.64	0	3:29	0.65	1.00	0.04	0
66	7.35	0	3:29	0.57	1.00	0.17	0

67	7.24	0	3:42	0.42	1.00	0.15	0
68	7.38	0	3:43	0.37	1.00	0.12	0
69	7.40	0	3:29	0.37	1.00	0.08	0
70	7.53	0	3:41	0.50	1.00	0.14	0
71	7.65	0	3:41	0.57	1.00	0.04	0
72	7.46	0	3:39	1.08	1.00	0.42	0
109	7.39	0	3:40	1.82	1.00	0.11	0
110	1.32	0	0:59	0.34	1.00	0.01	0
111	2.35	0	0:22	0.54	1.00	0.07	0
112	1.17	0	3:32	0.13	1.00	0.01	0
113	1.50	0	3:32	0.23	1.00	0.01	0
115	1.62	0	3:32	1.24	1.00	0.03	0
116	1.62	0	3:32	0.18	1.00	0.06	0
117	1.58	0	3:32	0.58	1.00	0.01	0
118	0.74	0	3:19	0.28	1.00	0.01	0
119	0.95	0	3:59	0.25	1.00	0.01	0
120	7.61	0	1:45	1.01	1.00	0.04	0
122	1.08	0	0:59	0.94	1.00	0.02	0
123	0.57	0	4:14	0.08	1.00	0.00	0
124	0.17	0	1:59	0.04	1.00	0.00	0
125	7.09	0	3:30	0.63	1.00	0.98	0
126	7.40	0	3:40	2.41	1.00	1.55	294
127	6.04	0	0:22	0.53	1.00	0.10	0
128	1.04	0	1:22	0.69	1.00	0.02	0
129	1.62	0	3:32	0.70	1.00	0.08	0
131	9.36	0	1:28	0.95	1.00	0.04	0
132	7.76	0	1:44	0.82	1.00	0.07	0
133	7.29	0	1:45	1.32	1.00	0.04	0
134	7.52	0	1:45	1.69	1.00	0.05	0
135	7.25	0	3:30	0.42	1.00	0.07	0
136	7.52	0	3:39	0.94	1.00	0.09	0
137	0.83	0	1:59	0.46	1.00	0.01	0
138	1.03	0	1:00	0.52	1.00	0.01	0
139	8.29	0	3:26	1.05	1.00	0.06	0
140	1.06	0	0:58	1.47	1.00	0.49	291
141	7.21	0	3:24	0.52	1.00	0.22	0
142	7.41	0	3:39	1.33	1.00	0.13	0
25	7.11	0	3:32	0.64	1.00	0.16	0
49	7.18	0	3:32	1.76	1.00	0.10	0
52	7.65	0	1:45	1.42	1.00	0.21	0
73	7.44	0	1:45	0.95	1.00	0.31	0
75	1.62	0	3:32	0.10	1.00	0.00	0
114	7.68	0	3:48	0.64	1.00	0.03	0

****
Highest Continuity Errors
****
Node 96 (9.14%)
Node 81 (6.61%)
Node 135 (5.21%)
Node 82 (3.68%)
Node 76 (2.80%)

****
Time-Step Critical Elements
****
None

****
Routing Time Step Summary
****

Minimum Time Step	:	0.17 sec
Average Time Step	:	0.17 sec
Maximum Time Step	:	0.17 sec
Percent in Steady State	:	0.00
Average Iterations per Step	:	2.24

Analysis begun on: Fri Apr 18 16:57:16 2008
Total elapsed time: 00:07:38

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางวันดี พูนพจน์มาศ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 26 มีนาคม 2517
สถานที่เกิด	จ.ชัยนาท
ประวัติการศึกษา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบันฑิต (วิศวกรรมโยธา) วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ระดับ 6
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก 41 ม.7 ต.ไม้งาม อ.เมือง จ.ตาก 63000