การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อหาปริมาณน้ำหลาก

Applied GIS application determine ranoff quality

เกียรติพนธ์ ต้นประสงค์

สพล ภูมิภักดิ์

สำราญ เขียวสำริด

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2561

1-61CE013

ใบรับรองโครงงาน

ชื่อหัวข้อ การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อหาปริมาณน้ำหลาก

ชื่อนักศึกษา นายเกียรติพนธ์ ต้นประสงค์

นายสพล ภูมิภักดิ์

นายสำราญ เขียวสำริด

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม อนุมัติให้โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชาโครงงานวิศวกรรมโยธา

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง

.....

(อาจารย์สุรพันธ์ สันติยานนท์)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อหาปริมาณน้ำหลาก

Applied GIS application determines run off quality

บทคัดย่อ (Abstract)

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรม ArcGIS เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ ได้แก่ ขนาดของพื้นที่รับน้ำ ความยาวลำน้ำ จุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่รับน้ำ เพื่อนำไปสู่การคำนวณหาปริมาณน้ำหลาก ช่วยให้สามารถนำเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาได้เหมาะสมตามหลักวิชาการ และพื้นที่ ซึ่งจะช่วยให้สามารถวางแผนบริหารจัดการน้ำของลุ่มน้ำแม่รำพัน ที่ส่งผลกระทบต่ออุทยานประวิติศาสตร์สุโขทัยได้

จากการศึกษา วิเคราะห์หาพื้นที่รับน้ำ และปริมาณน้ำหลาก ของพื้นที่อุทยานประวิติศาสตร์สุโขทัย พบว่าเส้นทางน้ำหลากของลุ่มแม่รำพัน ไม่ได้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อพื้นที่อุทยานประวิติศาสตร์สุโขทัย จะมีแต่ปริมาณน้ำหลากของที่มาจากเส้นสันปันน้ำของเขาเจดีย์งาม และเขาควายบ้านคลองสวน โดยมีพื้นที่รับน้ำ 45.94 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำหลากสูงสุด 7.57 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที มีปริมาตรน้ำหลาก 0.42 ล้านลูกบาศก์เมตร มีปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำ 25 ปี เท่ากับ 24.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งคลองแม่รำพันมีความสามารถในการระบายน้ำได้ 7.69 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ไม่เพียงต่อการระบายน้ำในรอบปีการเกิดซ้ำ 25 ปี ทางคณะจัดทำโครงงานจึงได้นำเสนอแนวทางการแก้ไข ทางเลือกที่ 1 ขุดลอกคลองแม่รำพันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำได้ 26.50 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ทางเลือกที่ 2 ก่อสร้างอาคารควบคุมน้ำปากคลอง และก่อสร้างคลองระบายน้ำ 2 แห่ง สามารถเพิ่มการระบายน้ำได้ 17.88 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จะช่วยให้บรรเทาปัญหาอุทกภัยในเขตตำบลเมืองเก่า ตำบลบ้านกล้วย และตำบลธานี อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ อาจารย์สุรพันธ์ สันติยานนท์ ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงงาน ที่เสียสละเวลาให้ความรู้ คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆในการทำโครงงาน จนทำให้โครงงานเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณกรรมการสอบโครงงานทุกท่าน ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.ไพบูลย์ ปัญญาคะโป ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน ดร.วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์ อาจารย์ปฐมทัศน์ โพธิ์เงิน ที่คอยให้ความรู้ รวมไปถึงให้ข้อเสนอแนะ และคำแนะนำต่างๆ เพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทาน โครงการชลประทานสุโขทัย สำนักงานชลประทานที่ 4 กรมชลประทาน ที่คอยให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาต่างๆเกี่ยวกับการวิเคราะห์เพื่อให้การจัดทำโครงงานเล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายเกียรติพนธ์ ต้นประสงค์

นายสพล ภูมิภักดิ์

นายสำราญ เขียวสำริด

ผู้จัดทำโครงงาน

วันที่ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2562

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

กิตติกรรมประกาศ ข

สารบัญ ค

สารบัญ (ต่อ) ง

สารบัญ (ต่อ) จ

สารบัญตาราง ฉ

สารบัญรูปภาพ ช

สารบัญรูปภาพ (ต่อ) ซ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 อุปกรณ์และข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา พื้นที่การศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 คำถามการศึกษา 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ขบวนการเกิดน้ำท่า (Runoff Process) 4

2.2 นิยามของลุ่มน้ำ (Definition of Watershed) 6

2.3 โครงข่ายลำน้ำ (STREAM NETWORKS) 6

2.4 วิธีการหาปริมาณการไหลน้ำท่าสูงสุด 8

2.5 วิธีการหาปริมาณการไหลในลำน้ำ และหาหน้าตัดของลำน้ำ ด้วยวิธี Manning 14

2.6 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 16

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.7 ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก 19
2.8 ข้อมูลภูมิสารสนเทศ 22
2.9 แผนที่ 27
2.10 ระบบพิกัด (Coordinate System) 31
2.11 โปรแกรม ArcGIS เบื้องต้น 37
2.12 หลักการวิเคราะห์และแบบจำลองอุทกวิทยา 40
บทที่ 3 ข้อมูล อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา 42
3.1 ข้อมูล และ อุปกรณ์ 42
3.2 วิธีการศึกษา 43
3.3. ขั้นตอนออกแบบกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) 48
3.4 ขั้นตอนวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุด (Design Flood Hydrograph) 49
3.5 ขั้นตอนการกระจายของฝนสูงสุดตามช่วงเวลาของพายุฝนตามรอบปีการเกิดซ้ำ (T_r) 50
3.6 นำปริมาณน้ำสูงสุดมาใช้เพื่อวิเคราะห์ทางระบายน้ำเดิมในพื้นที่ศึกษาเพื่อหาแนวทางลดปัญหาทางอุทกภัยของพื้นที่ 53
3.7 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย 53
บทที่ 4 ผลการดำเนินการโครงการ 54
4.1 ผลการรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูล 54
4.2 วิเคราะห์ขอบเขตพื้นที่รับน้ำที่มีการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำหลากโดยโปรแกรม Arc GIS 59
4.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาและการจัดการน้ำในพื้นที่รับน้ำหลากอุทยานประวัติศาสตร์ 73
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการโครงงานและข้อเสนอแนะ 89

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.1 สรุปผลการดำเนินการโครงงาน 89

5.2 ข้อเสนอแนะ 91

ภาคผนวก ก 92

ภาคผนวก ข ขั้นตอนการวิเคราะห์การหาขอบเขตและพื้นที่รับน้ำด้วยโปรแกรม ArcMap 101

ภาคผนวก ค ปริมาณน้ำหลากตามรอบปีการเกิดซ้ำ 124

ภาคผนวก ง 143

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา 42
ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา 42
ตารางที่ 3.3 แสดงกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไม่มีหน่วย ของสถานีวัดน้ำ Y.26 บ้านน้ำพุ อ.เถิน จ. ลำปาง 51
ตารางที่ 3.4 เปอร์เซ็นต์ฝนสูงสุด 52
ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำหลากตามรอบปีการเกิดซ้ำ ลุ่มแม่มอก ภาคผนวก ค.7-12 61
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบรายละเอียดและลักษณะทางกายภาพของสถานีที่ศึกษาของลุ่มน้ำยม สถานี Y.26 ภาคผนวก ง.1 61
ตารางที่ 4.2 ปริมาณน้ำหลากตามรอบปีการเกิดซ้ำ ลุ่มน้ำแม่รำพัน ภาคผนวก ค.13-18 64
ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำหลากตามรอบปีการเกิดซ้ำ พื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย 69
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลทางกายภาพและข้อมูลการใช้พื้นที่ เขตอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยและตำบลเมืองเก่า 69

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 สถานีวัดน้ำท่าลุ่มน้ำยม จังหวัดสุโขทัย 3
รูปที่ 2.1 ขอบเขตของลุ่มน้ำ 5
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงพื้นที่ลุ่มน้ำสะสมที่จุดต่าง ๆ ในลุ่มน้ำ 5
รูปที่ 2.3 การจัดลำดับลำน้ำของลุ่มน้ำ MILLER CREEK, BLANCO COUNTY, TEXAS 8
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง TC และค่าความเข้มฝนของจังหวัดสุโขทัย 13
รูปที่ 2.5 โครงสร้างข้อมูลภูมิสารสนเทศ 22
รูปที่ 2.6 มาราส่วนแผนที่ขนาดต่างๆ ที่มา : รัศมี สุวรรณวีระกำธร, 2557 29
รูปที่ 2.7 การเขียนค่าพิกัดกริด 34
รูปที่ 2.8 แผนผังชุดโปรแกรม ARCEDITOR 38
รูปที่ 2.9 การวิเคราะห์ FLOW DIRECTION 40
รูปที่ 2.10 การวิเคราะห์ FLOW ACCUMULATION 40
รูปที่ 3.1. แผนการจัดการกับปริมาณน้ำหลากในพื้นที่ เขต อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย 43
รูปที 3.2 แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์ขอบเขตและขนาดของพื้นที่รับน้ำด้วยโปรแกรม ArcGIS 47
รูปที่ 3.3 เปอร์เซ็นต์การกระจายของฝน สถานีวัดน้ำ Y.14 53
รูปที่ 4.1 แผนภาพลุ่มน้ำยม 55
รูปที่ 4.2 แสดงรูป DEM เมื่อนำเข้าในโปรแกรม ARC MAP 56
รูปที่ 4.3 แสดงการนำเข้าแผนที่ 1: 50000 57
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน – ช่วงเวลา – ความถี่ฝน
และเปอร์เซ็นต์การแผ่กระจายของปริมาณฝนสูงสุด 24 ชั่วโมง 58
รูปที่ 4.5 แสดงข้อมูลทางกายภาพของลุ่มแม่มอก 59
รูปที่ 4.6 แสดงแผนภาพพื้นที่รับน้ำลุ่มน้ำแม่รำพัน 62
รูปที่ 4.7 แสดงพื้นที่รับน้ำของลุ่มน้ำแม่รำพันและเขตอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย 65

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.8 แสดงพื้นที่รับน้ำและค่าข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย 66
รูปที่ 4.9 แสดงเฉดสีชั้นความสูงด้วย DEM 67
รูปที่ 4.10 แผนภาพข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่รับน้ำอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย และตำบลเมืองเก่า 70
รูปที่ 4.11 แสดงขอบเขตพื้นที่ ที่ได้รับผลกระทบจากพื้นที่รับน้ำที่ศึกษา 74
รูปที่ 4.12 แนวคลอง และแนวทางระบายน้ำเดิม 75
รูปที่ 4.13 สำรวจพื้นที่รับน้ำและสำรวจหาหน้าตัดคลองแม่รำพัน และคลองยาง 76
รูปที่ 4.14 รูปหน้าตัดตามขวางคลองแม่รำพัน 77
รูปที่ 4.15 รูปหน้าตัดตามขวางคลองยาง 77
รูปที่ 4.16 แผนที่แสดงทางเลือกในการแก้ไขปัญหาอุทกภัย 80
รูปที่ 4.17 พื้นที่ก่อสร้างแนวคลองช่วยระบาย 1 84
รูปที่ 4.18 พื้นที่ก่อสร้างแนวคลองช่วยระบาย 2 84
รูปที่ 4.19 พื้นที่รับหลาก ต.บ้านป้อม 85

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันคลองแม่รำพันได้ประสบปัญหาอุทกภัยในช่วงฤดูน้ำหลาก เป็นประจำทุกปี สร้างความเสียหายต่อพืชผลทางการเกษตร และส่งผลกระทบต่อเส้นทางสัญจรหลายสาย จึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบ และสร้างความเสียทางเศรษฐกิจอย่างมาก ซึ่งแนวคลองแม่รำพันไหลผ่านและเอ่อล้น ท่วมขังเส้นทางหลักในการเดินทางไปยัง อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

ทั้งนี้การเกิดอุทกภัยนั้นมีสาเหตุมาจากปัจจัยหลายประการ เช่น การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การที่ไม่สามารถจัดการทรัพยากรน้ำได้อย่างเหมาะสม เป็นต้น และหากมีการศึกษาถึงพฤติกรรมการเกิดอุทกภัย จะพบว่าข้อมูลปริมาณน้ำท่าเป็นข้อมูลพื้นฐานทางอุทกวิทยาที่มีความสำคัญสำหรับนำไปใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในด้านต่าง ๆ

จากปัญหาดังกล่าว ผู้จัดทำโครงงานจึงคิดว่าหากสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำท่าได้อย่างถูกต้อง จะช่วยให้สามารถจัดการทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้เกิดแนวคิดที่จะนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information system) GIS มาช่วยหาข้อมูลทางภูมิศาสตร์ กายภาพของพื้นที่ ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นมาใช้ประกอบเพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการใช้ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณนี้นำไปปรับปรุง หรือออกแบบทางระบายน้ำ ตลอดจนการแจ้งเตือนพื้นที่ที่จะเกิดอุทกภัยได้แม่นยำมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และ โปรแรม Arc GIS หาข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่
2. เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยและพื้นที่ตำบลเมืองเก่า
3. เพื่อศึกษาหาแนวทางแก้ไขอุทกภัยจากปริมาณน้ำหลากที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยและพื้นที่ตำบลเมืองเก่า

1.3 อุปกรณ์และข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา พื้นที่การศึกษา

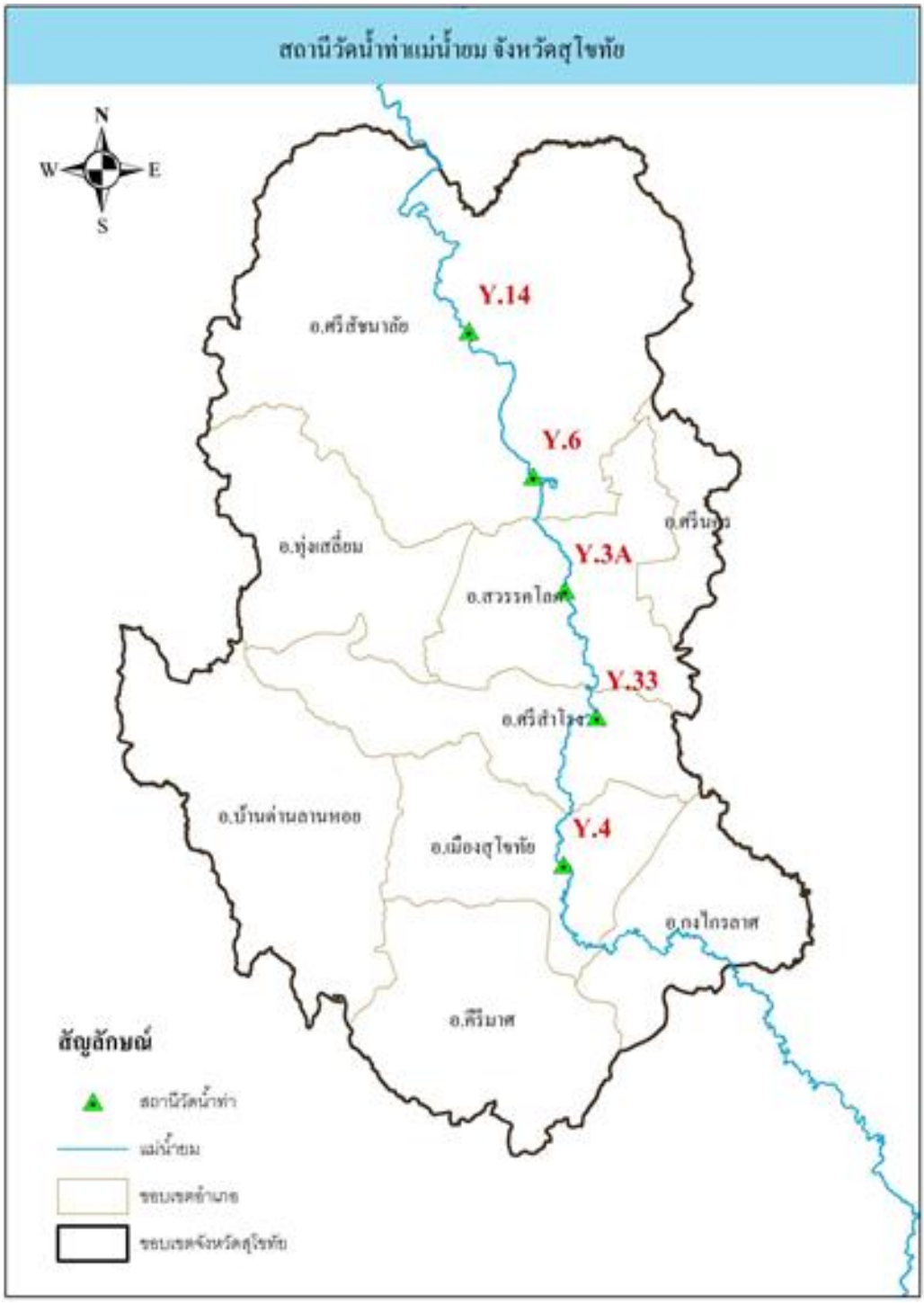
1. โปรแกรม ArcGIS for desktop basic 10.3.1 เพื่อการนำเข้าข้อมูลและวิเคราะห์แผนที่
2. ระบบระบุตำแหน่งบนโลก (global positioning system , GPS)
3. ข้อมูลเส้นทางน้ำในรูปแบบของข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากกรมแผนที่ทหาร มาตรส่วน 1: 50,000
4. ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (digital elevation model , DEM)
5. ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์การใช้ประโยชน์ที่ดิน
6. ลุ่มน้ำแม่มอก ลุ่มน้ำแม่รำพัน และพื้นที่รับน้ำ ต.เมืองเก่า

1.4 ประโยชนที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเข้าใจขั้นตอนการใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information system) GIS
2. ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ ที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำหลากของลุ่มน้ำย่อย
3. ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำหลากที่ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำหลากที่เกิดขึ้นจริง
4. นำเสนอทางเลือกในการแก้ไขปัญหาอุทกภัยมีผลกระทบต่อพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

1.5 คำถามการศึกษา

1. เมื่อหาค่าพารามิเตอร์ของลุ่มน้ำด้วย ArcGIS แล้ว นำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาคำนวณหาปริมาณน้ำหลาก เพื่อเปรียบเทียบกับการวัดปริมาณน้ำจากสถานีวัดน้ำ จะมีค่าแตกต่างกันเท่าไร
2. สามารถนำวิธีการนี้ไปใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นได้เลยหรือไม่ เมื่อดำเนินการสอบเทียบลุ่มน้ำที่ลักษณะคล้ายคลึงกันเพียงอย่างเดียว โดยที่ไม่ได้สอบเทียบปริมาณหลากจากสถานีวัดน้ำในพื้นที่นั้น ๆ



รูปที่ 1.1 สถานีวัดน้ำท่าลุ่มน้ำยม จังหวัดสุโขทัย

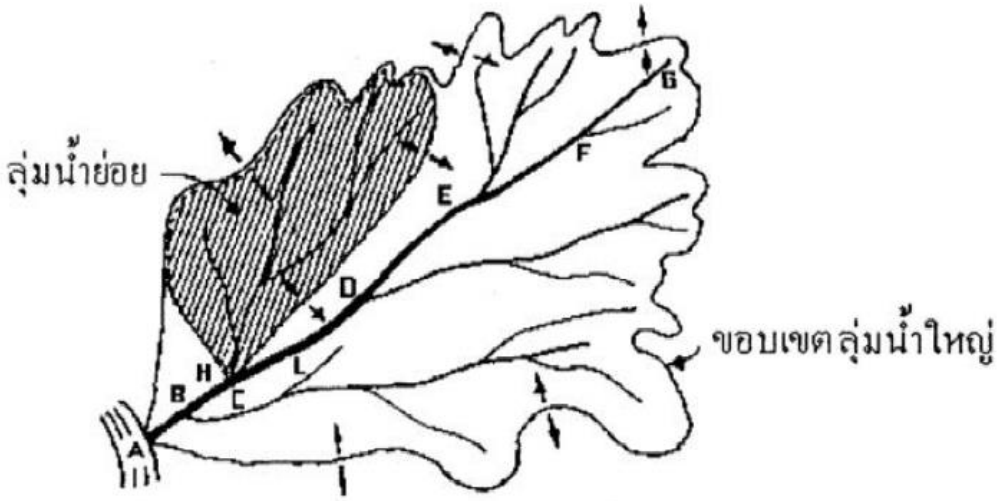
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขบวนการเกิดน้ำท่า (Runoff Process)

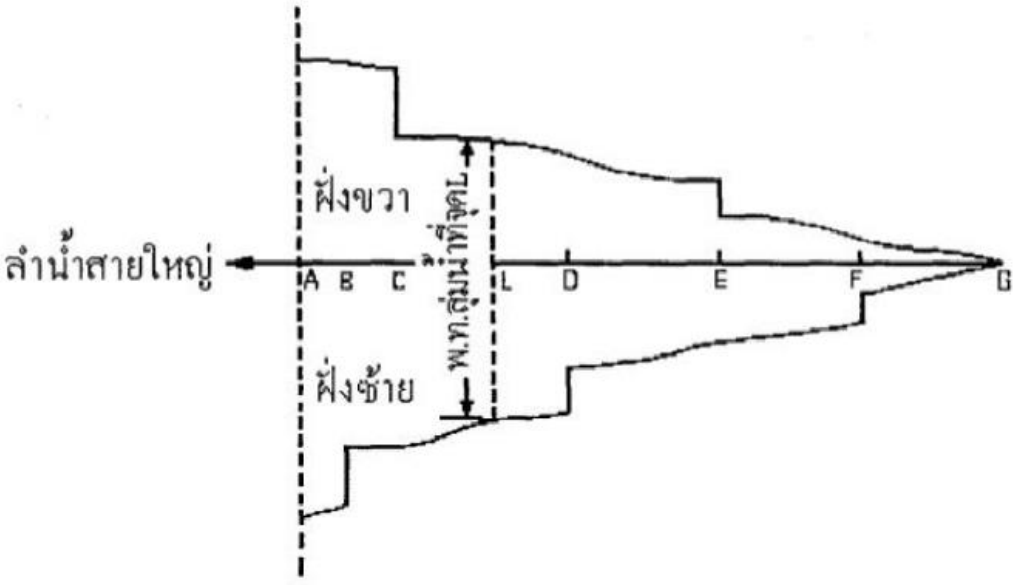
ฝนที่ตกลงบนผิวดินเมื่อหักปริมาณการเก็บกักบนผิวดิน (Surface Storage) การซึมลงไปในดินและการระเหยแล้ว ที่เหลือจะเป็นน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ในช่วงที่ฝนเริ่มตกน้ำจะไหลเป็นแผ่นบาง ๆ ไปบนผิวดิน การไหลของน้ำในลักษณะนี้เรียกว่าการไหลบนผิวดิน (Overland Flow) คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของการไหลบนผิวดินยังคงไม่สามารถอธิบายได้แน่ชัด (Chow, V.T. 1959 และ Linsley et. Al, 1960) น้ำท่าที่ไหลไปบนผิวดินนี้จะไหลไปรวมตัวกัน (Concentrating) ในร่องน้ำเล็ก ๆ หรือเริ่มกัดเซาะดินเป็นร่องน้ำเล็กในเวลาอันรวดเร็ว หลังจากนั้นการไหลของน้ำจะเปลี่ยนเป็นการไหลในทางน้ำ (Channel Flow) จากลำน้ำเล็กสู้ลำน้ำใหญ่ขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงลำน้ำใหญ่ที่สุดในลุ่มน้ำ และในที่สุดจะไหลออกสู่ทางออก (Outlet) ของลุ่มน้ำ

จุดที่น้ำซึ่งเกิดจากฝนที่ตกในลุ่มน้ำไหลมารวมกันเรียกว่าทางออก (Point of Concentration หรือ Outlet) เช่นจุด A ในรูปที่ 2.1 คือทางออกของลุ่มน้ำระยะเวลาที่น้ำไหลจากจุดไกลที่สุดในเชิงชลศาสตร์ถึงทางออกของลุ่มน้ำเรียกว่าเวลาการเกิดน้ำท่าสูงสุด (Time of Concentration)

(รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒิณิชย์,2545,1)



รูปที่ 2.1 ขอบเขตของลุ่มน้ำ



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงพื้นที่ลุ่มน้ำสะสมที่จุดต่าง ๆ ในลุ่มน้ำ

ที่มา : อุทกวิทยาทางวิศวกรรม (Engineering Hydrology),

รองศาสตราจารย์ดร.วราวุธ วุฒิณิชย์,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2545

2.2 นิยามของลุ่มน้ำ (Definition of Watershed)

ลุ่มน้ำหมายถึงพื้นที่ทั้งหมดซึ่งน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ที่เกิดจากฝนที่ตกลงบนพื้นที่นี้จะไหลออกสู่ทางออก (Point of Concentration) โดยนัยนี้ลุ่มน้ำจึงเกี่ยวข้องกับทางออกอันใดอันหนึ่งโดยเฉพาะ ตัวอย่างเช่น จุด A ในรูปที่ 2.1 คือ ทางออกจุดสุดท้ายของลุ่มน้ำที่กำหนดให้ ขณะที่จุด H เป็นทางออกของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (บริเวณที่แรเงา) ดังนั้นเมื่อไรก็ตามที่พูดถึงพื้นที่ลุ่มน้ำควรต้องให้ชัดว่าเป็นที่ลุ่มน้ำเหนือจุดใด

เส้นแบ่งเขตลุ่มน้ำเรียกว่าสันปันน้ำ (Watershed Divide) ซึ่งเป็นเส้นที่วิ่งไปตามแนวสูงสุดของพื้นที่ ฝนที่ตกลงในพื้นที่ที่อยู่นอกสันปันน้ำจะไหลลงลุ่มลำน้ำอื่นดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1

ทางออก (Point of Concentration) ยิ่งอยู่ทางด้านท้ายน้ำมากขึ้นก็จะมีลำน้ำสาขาไหลลงมารวมกันมากขึ้น และขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำจะมากขึ้นมาลำดับ การเพิ่มของพื้นที่ลุ่มน้ำตามแนวลำน้ำสายใหญ่เมื่อทางออกเคลื่อนตัวไปทางด้านท้ายน้ำจะสามารถแสดงด้วยกราฟ ดังรูปที่ 2.2 จุดที่พื้นที่ลุ่มน้ำเพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด เช่นนี้จุด F , E , D , C และ B แสดงถึงจุดที่มีลำน้ำสาขาไหลเข้ามาบรรจบลำน้ำใหญ่ ทำให้พื้นที่ลุ่มน้ำตามแนวลำน้ำใหญ่เพิ่มขึ้นตามพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของลำน้ำสาขา ส่วนช่วงที่พื้นที่น้ำค่อย ๆ เพิ่มขึ้นคิดจากพื้นที่ซึ่งน้ำไหลบนผิวดิน (Overland Flow Area)

(รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒิณิชย์,2545)

2.3 โครงข่ายลำน้ำ (Stream Networks)

วิชากลศาสตร์ของของไหล ใช้ทฤษฎีการศึกษาความคลายคลึง (Similarity) ในการไหลของของไหลเป็นเครื่องมือสำคัญในการหาความสัมพันธ์ระหว่างจะการศึกษาผลการศึกษาในแบบจำลอง (model) กับในสภาพจริง (Prototype) ในทำนองเดียวกันวิชาอุทกวิทยา ก็ได้อาศัยวิชาที่เกี่ยวกับลักษณะ ทางธรณีวิทยา (Geomorphology) หรือการศึกษารูปร่างลักษณะพื้นผิวดินในเชิงปริมาณเพื่อบ่งบอกถึงความคล้ายคลึงระหว่างลุ่มน้ำต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความคล้ายครึงของโครงข่ายลำน้ำต่าง ๆ

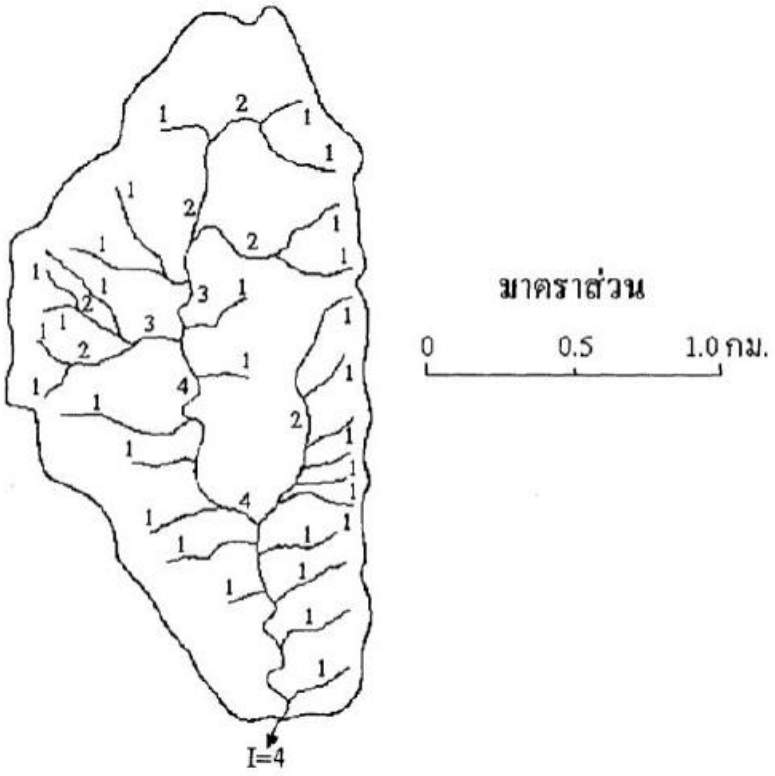
Horton, R.E. (1945) เป็นคนแรกที่ได้ศึกษา เกี่ยวกับโครงข่ายลำน้ำ แลเป็นผู้พัฒนาระบบในการจัดลำดับโครงข่าลำน้ำพร้อมทั้งคิดสูตรในการหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน (Number) และ

ความยาว (Length) ของลำน้ำกับลำดับ (Order) ของลำน้ำ ระบบการจัดลำดับลำน้ำ (Stream Ordering System) ของ Horton ซึ่งพัฒนาแก้ไขโดย Strahler, A.N. (1964) กล่าวว่า

1. ลำน้ำที่เล็กที่สุดในลุ่มน้ำคือ ลำน้ำลำดับที่ 1 ซึ่งปกติจะมีน้ำไหลเฉพาะช่วงที่มีฝนตก
2. ลำน้ำลำดับที่ 1 สองลำน้ำหรือมากกว่าไหลมารวมตัวกัน จะเกิดเป็นลำน้ำลำดับที่ 2 ในทำนองเดียวกันลำน้ำลำดับที่ 2 ตั้งแต่ 2 ลำน้ำขึ้นไปไหลมารวมตัวกันจะเกิดเป็นลำน้ำลำดับที่ 3 หรือโดยทั่ว ๆ ไปอาจจะกล่าวได้ว่า ลำน้ำลำดับที่ i ตั้งแต่ 2 ลำน้ำขึ้นไปไหลมารวมตัวกันจะเกิดเป็นลำน้ำลำดับที่ i + 1
3. ลำน้ำที่เกิดจากลำน้ำที่ต่ำกว่าไหลไปรงกับลำน้ำที่ลำดับสูงกว่าจะมีลำดับเท่ากับลำดับที่สูงกว่า เช่น ลำดับที่ 1 รวมลำดับที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ 2
4. ลำดับของลุ่มน้ำจะกำหนดตามลำดับของลำน้ำที่ระบายน้ำออกสู่งทางออก (Outlet) ซึ่งก็คือลำดับที่สูงที่สุดในลุ่มน้ำและกำหนดใหเท่ากับ I

(รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒิณิชย์,2545)

ตัวอย่างการจัดลำดับลำน้ำตามระบบของ Horton แสดงอยู่ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การจัดลำดับลำน้ำของลุ่มน้ำ Miller Creek, Blanco County, Texas

(Chow, V.T., D.R. Maindment and L.W. Mays, 1988)

ที่มา : อุทกวิทยาทางวิศวกรรม (Engineering Hydrology),

รองศาสตราจารย์ดร.วราวุธ วุฒิณิชย์,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2545

2.4 วิธีการหาปริมาณการไหลน้ำท่าสูงสุด

วิธีการหาอัตรากาไหลสูงสุดมีมากมายหลายวิธี แต่ละวิธีต้องการข้อมูลต่างกันออกไป แต่ส่วนใหญ่ต้องการข้อมูลปริมาณน้ำฝนและคุณสมบัติต่าง ๆ ของลุ่มน้ำ ในโครงงานนี้จะกล่าวถึงวิธีการหาอัตราการไหลสูงสุด 3 วิธีคือ (1) วิธี Unit hydrograph (2) วิธี Rational method

2.4.1 เอกชลภาพ (Unit hydrograph)

ในปี พ.ศ. 2475 Sherman เป็นบุคคลแรกที่กล่าวถึงทฤษฎีเอกชลภาพว่า “ เอกชลภาพ คือ ชลภาพของน้ำท่าโดยตรง (hydrograph of direct runoff) ที่ไหลบนผิวดินออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่รับน้ำที่มีความลึกน้ำเฉลี่ย 1 หน่วย (1 ซม. หรือ 1 นิ้ว) อันเนื่องมาจากฝนตกในช่วงเวลา D ชั่วโมง ”

ข้อจำกัดของทฤษฎีเอกชลภาพ มีดังนี้

1. ทฤษฎีเอกชลภาพไม่สามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่รับน้ำที่มีขนาดมากกว่า 5,000 ตารางกิโลเมตร เพราะ พื้นที่ขนาดใหญ่จะมีการกระจายของน้ำฝนไม่สม่ำเสมอและไม่คงที่ อย่างไรก็ตามในกรณีของพื้นที่ขนาดใหญ่ถ้าจำเป็นต้องใช้ทฤษฎีเอกชลภาพ ก็ควรจะใช้วิธีแบ่งพื้นที่ขนาดใหญ่ ที่พิจารณาออกเป็นพื้นที่ย่อย แล้ววิเคราะห์แต่ละพื้นที่ย่อย จากนั้นจึงรวมเอกชลภาพที่เวลาเดียวกันและที่ตำแหน่งเดียวกัน ซึ่งสามารถใช้ทฤษฎีการไหลหลาก (flood routing theory) เข้าช่วย
2. เอกชลภาพไม่สามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่รับน้ำที่มีขนาดน้อยกว่า 2 ตารางกิโลเมตร
3. ชลภาพของน้ำท่าโดยตรง (direct-runoff hydrograph) ของพื้นที่รับน้ำที่เกิดจากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนสิทธิผล (effective rainfall) จะเป็นค่าไม่คงที่ เพราะมีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของลุ่มน้ำ ฤดูกาล และจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การปลูกป่า หรือ การบุกรุกป่า เป็นต้น
4. ช่วงเวลาที่ฐาน (base period) ของน้ำท่าโดยตรง (direct runoff) ที่เกิดจากพายุฝนเหมือนกันแต่มีความเข้มฝนไม่เท่ากันจะมีค่าไม่เท่ากัน
5. ทฤษฎีเอกชลภาพไม่สามารถประยุกต์ใช้กับพายุฝนที่ตกลงมาเป็นหิมะได้
6. ทฤษฎีเอกชลภาพมีความถูกต้อง (accuracy) ประมาณ ±10%
7. ในพื้นที่รับน้ำแต่ละแห่งจะมีเอกชลภาพเป็นจำนวนมาก เพราะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาแต่ละหน่วยจะทำให้เอกชลภาพมีการเปลี่ยนแปลงตาม อย่างไรก็ตาม ในการปฏิบัติถือว่า ถ้ามีผลของความแตกต่างของช่วงเวลาพิจารณามีเพียงเล็กน้อยกล่าวคือ มีนัยสำคัญ (significant) ที่ยอมให้ ±25% ก็ถือว่ายอมรับได้ เช่น เอกชลภาพ 6 ชั่วโมง สามารถใช้กับเอกชลภาพ 4.5 ชั่วโมง ได้ เป็นต้น

   (รศ.กีรติ ลีวัจนกุล,ม.ป.ป.:417-418)

   การสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) ของสถานีสำรวจอุทกวิทยาทั่วประเทศได้จากพารามิเตอร์ ลุ่มน้ำ-ลำน้ำ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเกิดปริมาณการไหลสูงสุดกับอัตราส่วน (LL_c / $\sqrt{S}$) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝน (Q_p / A) เก็บเวลาการเกิดปริมาณการไหลสูงสุด (T_p) ดังสมการต่อไปนี้

$$T_p = a\,(LL_c / \sqrt{S})^b \quad \text{...(2.1)}$$

$$Q_p / A = c\,(T_p)^d \quad \text{...(2.2)}$$

เมื่อ T_p = เวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำท่า-ชั่วโมง

Q_p = ปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำท่า-ลูกบาศก์เมตร/วินาที

A = พื้นที่รับน้ำ-ตารางกิโลเมตร

L = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ-กิโลเมตร

L_c = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำมากที่สุด-กิโลเมตร

S = ความลาดเทเฉลี่ยนของลำน้ำสายใหญ่

a,b,c,d เป็นค่าสัมประสิทธิ์รีเกรชชั่น ซึ่งจะต้องคำนวณหาจากข้อมูลที่มีอยู่จริงในแต่ละลุ่มน้ำ

ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น อันได้แก่ ค่าพื้นที่รับน้ำฝน (A) , ค่าความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (L) , ค่าความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำมากที่สุด (L_c) , ความลาดเทเฉลี่ยนของลำน้ำสายใหญ่ (S) หาได้จากการวัดในแผนที่มาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร

สำหรับค่า เวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (T_p) และค่าปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Q_p) หาได้จากข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริงของแต่ละสถานี

จากพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่คำนวณได้จากสมการทั้ง 2 นำไปประยุกต์กับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless) ก็สามารถคำนวณกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของพื้นที่รับน้ำฝนของลุ่มน้ำย่อยได้ ซึ่งกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless) ของสถานีสำรวจอุทกวิทยา ได้แสดงไว้ในตารางภาคผนวก ก.1

2.4.2 วิธี Rational method

Rational method หรือวิธีลอยด์-เดวิส (Lloyd-Davies Method) เป็นวิธีกี่หาอัตราการไหลของน้ำบนนิผิวดินสูงสุด ใช้กับพื้นที่รับน้ำขนาดน้อยกว่า 25 ตารางกิโลเมตร มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มฝน โดยทั่วไปจะคิดปริมาณน้ำในรอบปี 20 ปี อัตราการไหลของน้ำบนผิวดินสูงสุดคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Rational formula : } Q_p = 0.278\ CIA \qquad \ldots(2.3)$$

โดย Q_p คือ อัตราการไหลบนนิผิวดินสูงสุด (ม.^{3}/วินาที)

C คือ สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผิวดิน

I คือ ความเข้มฝน (มม./ชั่วโมง)

A คือ ขนาดพื้นที่รับน้ำ (กม.^{2})

ขั้นตอนการคำนวณหาปริมาณน้ำสูงสุดด้วยวิธี Rational method มีดังนี้

1. หาขนาดของพื้นที่รับน้ำ (A) ซึ่งสามารถหาได้จากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 50,000 โดยพิจารณาจากเส้นชั้นความสูง (contour line) หรือการใช้โปรแกรมด้าน GIS ช่วยในการกำหนดขอบเขตและคำนวณขนาดของพื้นที่รับน้ำ
2. หาค่า Time of concentration (T_c) คือ ค่าระยะเวลาที่สั้นที่สุดที่ฝนตกบนพื้นที่รับน้ำฝนที่ใกล้ที่สุด ที่จะไหลมาสมทบถึงบริเวณอาคารระบายน้ำ ซึ่งกำหนดให้เท่ากับระยะเวลาฝนตก (duration) ซึ่งเกิดขึ้นในรอบปีที่ออกแบบ โดยทั่วไปใช้ในรอบ 25 ปี

$$T_c = (0.87L^3 / H)^{0.385} \qquad \ldots(2.4)$$

โดย T_c คือ เวลาที่น้ำไหลมารวมกัน (ชั่วโมง)

L คือ ความยาวของทางน้ำที่ไกลที่สุด (กม.)

H คือ ระดับความสูงที่แตกต่างกัน ระหว่างจุดที่ไกลที่สุด กับจุดที่ออกแบบอาคารระบายน้ำ (ม.)

3. นำค่า T_c ไปหาค่าความเข้มฝน (I) จาก Rainfall Intensity-Duration-Frequency curves รูปที่ 2.3 ของพื้นที่ที่จะทำการวิเคราะห์
4. ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ (C) ได้จากตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผิวดินในภาคผนวก ก.3 โดยพิจารณาตามสภาพความลาดชันของพื้นที่ ลักษณะทางธรณีวิทยา และสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่รับน้ำนั้น ๆ โดยในพื้นที่รับน้ำหนึ่ง ๆ อาจมีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินหลายประเภท จึงต้องทำการวิเคราะห์ C ในแต่ละพื้นที่ย่อย ๆ เหล่านั้น จากนั้น จึงทำการหาค่า C เฉลี่ยของพื้นที่รับน้ำ ตามสมการ

$$C = (C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n) / A_{total} \quad \dots(2.5)$$

เมื่อ $C_1 , C_2 , \dots , C_n$ คือ ค่า C ของแต่ละพื้นที่ย่อย ๆ

$A_1 , A_2 , \dots , A_n$ คือ ขนาดพื้นที่ของแต่ละพื้นที่ย่อย ๆ (กม.^{2})

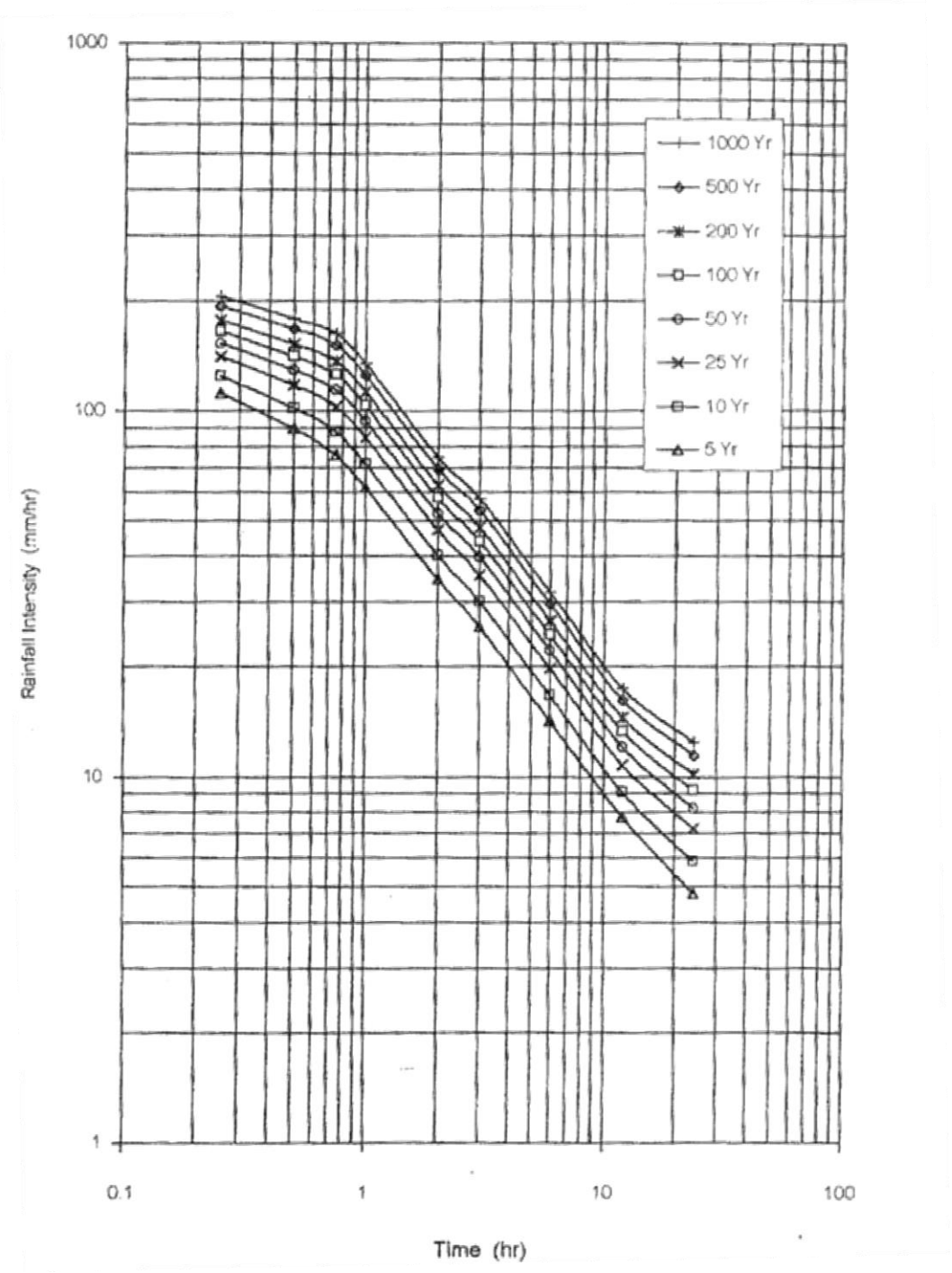
A_{total} คือ ขนาดของพื้นที่รับน้ำทั้งหมด (กม.^{2})

5. คำนวณอัตราการไหลบนผิวดินสูงสุด Q_p ตามสมการ 2.3
6. คำนวณหาขนาดช่องเปิดที่เหมาะสม (required opening area) จากสมการ

$$Q_r = Q_p / V \quad \dots(2.6)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วของน้ำในลำน้ำ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.7-2.0 ม./วินาที

(อภิวัฒน์ พารา และคณะ, 2556)



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Tc และค่าความเข้มฝนของจังหวัดสุโขทัย

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2552

2.5 วิธีการหาปริมาณการไหลในลำน้ำ และหาหน้าตัดของลำน้ำ ด้วยวิธี Manning

สูตรของ Manning ในปี พ.ศ. 2432 Robert Manning วิศวกรชาวไอริสได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ของ Chezy C และสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning กับรัศมีชลศาสตร์ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายดังนี้

ระบบหน่วย SI $C = (1/n) R^{1/6}$ ...(2.7)

เมื่อแทนค่า C จากสมการที่ 2.7 ในสมการ $V = C (RS)^{1/2}$ จะได้สมการ Manning สำหรับการคำนวณความเร็วของการไหลในทางน้ำเปิด ดังนี้

ระบบหน่วย SI $V = (1/n) R^{2/3} S^{1/2}$ ...(2.8)

จากสมการที่ 2.8 สามารถหาอัตราการไหลในทางน้ำเปิด (Q=AV) ดังนี้

ระบบหน่วย SI $Q = (1/n) AR^{2/3} S^{1/2}$ ...(2.9)

สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning (n) สามารถหาได้จากการทดลองหรือทดสอบจากการวัดตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งในกรณีการไหลแบบสม่ำเสมอจะต้องวัดค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. อัตราการไหล (Q) โดยการใช้เครื่องวัดความเร็วน้ำ (current meter) ที่หน้าตัดย่อยของทางน้ำเปิด (Q = AV)
2. พื้นที่หน้าตัด (A) โดยใช่เทป ไม้ระดับ ประกอบกับเครื่องมือวัดความลึกของน้ำโดยอาศัยคลื่นเสี่ยงสะท้อน (echo-sounding) (ถ้ามี) จากนั้นนำผลที่ได้มาลงในกระดาษกราฟ แล้วใช่เครื่องมือวัดพื้นที่ (planimeter) หาขนาดพื้นที่หน้าตัดได้
3. เส้นขอบเปียก (P) สามารถหาได้จากการใช้เครื่องมือวัดระยะทางวัดเส้นขอบเปียกได้จากหน้าตัดทางน้ำเปิด
4. ความลาด (S) หาได้จากการใช้กล้องระดับประกอบกับเทปวัดระยะทาง

เมื่อวัดตัวแปรต่าง ๆ ทั้ง 4 ตัวแปร จะสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิดได้จากสมการที่ 2.7 แล้ว แต่ว่าข้อมูลที่วัดจริงเป็นระบบหน่วยอะไร และในกรณีที่ไม่มีการวัดจริงในสนาม ก็มีข้อแนะนำในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำเปิดจากตาราง ภาคผนวก ก.3

วิธีการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n จะต้องอาศัยประสบการณ์และการตัดสินใจ (judgement) จากองค์ประกอบต่าง ๆ (factors) ที่สำคัญดังนี้

1. ความขรุขระของผิวทางน้ำเปิด (surface roughness) หมายถึง ขนาดและรูปร่างของวัสดุที่เป็นผิวทางน้ำเปิด ถ้าวัสดุเม็ดละเอียด (fine grain) มีค่า n ต่ำ ในขณะที่วัสดุเม็ดหยาบ (coarse grain) จะมีค่า n สูง
2. พืชปกคลุม (vegetation) หมายถึง การที่มีพืชเจริญเติบโตในทางน้ำเปิด เช่น มีหญ้าขึ้นหรือมีผักตบชวาลอยน้ำ เป็นต้น ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ค่า n มากขึ้น เพราะไปขวางทางน้ำ ทำให้ลดพื้นที่หน้าตัดการไหล ซึ่งผลของการมีพืชปกคลุมต่อสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะมาหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสูง ความนาวแน่น และชนิดของพืช เป็นต้น
3. ความผันแปรและความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด (channel irregularities and channel alignment) คือความผันแปรของทางน้ำเปิดอันเนื่องมาจากความแปรเปลี่ยนของรูปร่างหน้าตัดและขนาดตามความยาวของทางน้ำเปิด ตลอดจนความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงมากจะทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระมากตามไปด้วย
4. การกัดเซาะ และการตกตะกอน (scouring and silting) เมื่อทางน้ำเปิดถูกกัดเซาะโดยกรัแสน้ำมากก็เท่ากับเป็นการเพิ่มความขรุขระของผนังคลอง ทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นผิวมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม หากมีการตกตะกอนของวัสดุที่มีความละเอียดกว่าผิวทางน้ำเปิดจะช่วยลดความขรุขระของพื้นผิว ทำให้สภาพการไหลสะดวกยิ่งขึ้น ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะมีแนวโน้มน้อยลง
5. สิ่งกีดขวาง (obstruction) เช่น ตอม่อสะพาน การรุกล้ำของสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ เข้าไปในคูคลองหรือแม่น้ำต่าง ๆ จะทำให้น้ำไหลได้ลำบากยิ่งขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดร รูปร่าง จำนวน และการเรียงตัวของสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เป็นต้น
6. ความลุกของการไหลและอัตราการไหล (stage and discharge) โดยปกติค่า n ในทางน้ำเปิดทั่ว ๆ ไป จะมี n ลดลงเมื่อมีความลึกมากขึ้น หรือมีอัตราการไหลเพิ่มขึ้น เพราะในขณะที่มีน้ำน้อยในทางน้ำเปิด ในส่วนของปริมาตรน้ำ จะมีการสัมผัสกับผนังทางน้ำเปิดคิดเป็นสัดส่วนกับปริมาณน้ำทั้งหน้าตัดแล้ว เมื่อน้ำน้อยจะมีสัดส่วนการสัมผัสผนังทางน้ำเปิดมากกว่าจึงมีผลทำให้ค่า n ในน้ำน้อยมีแนวโน้มที่สูงกว่าในน้ำมาก แต่ก็ไม่เสมอไปทุกกรณี ดังเช่น ถ้าความลึกน้ำมากขึ้นแล้วจะไปพบหรือท่วมตลิ่งที่มีความขรุขระมากก็มีผลทำให้ค่า n สูงขึ้นได้ ได้แสดงว่าค่า n ไว้ในตารางภาคผนวก ก.4

2.6 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) คือ ระบบคอมพิวเตอร์ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โปรแกรมซอฟแวร์ บุคลากร และข้อมูล โดยที่ระบบมีความสามารถในการนำเข้า จัดเก็บ ประมวลผล วิเคราะห์ แก้ไข และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ (Geo-reference data) ได้แก่ ข้อมูลที่แสดงสภาพทางภูมิศาสตร์ ข้อมูลดังกล่าวที่ปรากฏในลักษณะพื้นที่รูปหลายเหลี่ยม เส้น หรือจุด ตัวอย่างเช่น ขอบเขตชายฝั่งทะเล พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน เส้นทางแม่น้ำ เส้นทางลำคลอง เส้นทางคลองชลประทาน เส้นทางถนน ตำแหน่งหมู่บ้าน ตำแหน่งสถานีตรวจวัดข้อมูลต่าง ๆ ตลอดจนแผนที่ผลการวิเคราะห์พื้นที่ความเสี่ยงต่อภัยพิบัติต่าง ๆ เป็นต้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. 2552: 5)

2.6.1 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2552: 5-6) ได้อธิบาย องค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ไว้ดังนี้

1. บุคลากร เป็นที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ ผู้ใช้แผนที่ ซึ่งจะใช้แผนที่สำหรับการประกอบการตัดสินใจและวางแผนเฉพาะเรื่อง ผู้ทำแผนที่ใช้ข้อมูลจากชั้นแผนที่ต่าง ๆ เพื่อนำมาผลิตแผนที่ที่มีคุณภาพสูง นักวิเคราะห์จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงพื้นที่และภูมิศาสตร์ เช่น เส้นทางที่เหมาะสม การจัดการการจราจรพื้นที่เสี่ยงภัยพิบัติ เป็นต้น ผู้จัดทำข้อมูลทำหน้าที่นำเข้าข้อมูล จัดเก็บ และแก้ไขข้อมูลให้ถูกต้อง สำหรับการวิเคราะห์ในด้านต่าง ๆ นักออกแบบระบบฐานข้อมูล ทำหน้าที่ออกแบบระบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อให้การทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และนักพัฒนาโปรแกรม ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
2. ข้อมูล ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้จากแหล่งต่าง ๆ เช่น ข้อมูลจากดาวเทียม รูปถ่ายทางอากาศ แผนที่ภูมิประเทศ แผนที่น้ำใต้ดิน และแผนที่ธรณีวิทยา เป็นต้น โดยแหล่งข้อมูลอยู่ในรูปของข้อมูลกระดาษและข้อมูลเชิงเลข
3. ซอฟต์แวร์ ใช้เพื่อทำหน้าที่จัดการควบคุมการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ซอฟต์แวร์ ที่ใช้ทำงานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เรียกว่า ซอฟต์แวร์ระบบ (System software) หรือระบบปฏิบัติการ (Operating system)

เป็นโปรแกรมควบคุมระบบเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละชนิดจะเรียกใช้ระบบปฏิบัติการต่างกัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิต เช่น เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มักใช้ระบบปฏิบัติการ WINDOWS ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่สามารถใช้ทำงานในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ต้องมีความสามารถหลักๆ ในการป้อนข้อมูลและการตรวจสอบข้อมูล โดยการนำเข้าข้อมูลนั้นอาจเป็นการเปลี่ยนข้อมูลจากแผนที่ต้นฉบับ ข้อมูลจากภาพดาวเทียม รูปถ่ายทางอากาศ ให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงเลข โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการนี้ เช่น ตัวแปลงเป็นดิจิทัล (Digitizer) และเครื่องกราดภาพ (Scanner) เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องมีการจัดเก็บข้อมูลประเภทต่าง ๆ คือ จุด เส้น หรือพื้นที่ และการจัดการฐานข้อมูลที่ผู้ใช้เรียกใช้ได้สะดวก ปัจจุบันซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ใช้ในประเทศไทย เช่น ArcView, ArcGIS, SuperMap, QGIS และ MapInfo Professional เป็นต้น

4. ฮาร์ดแวร์ องค์ประกอบฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้น ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีทำให้ฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาปรับปรุงให้มีการประมวลผลที่เร็วยิ่งขึ้น เช่น มีหน่วยความจำหลัก (Main Memory) ที่มีขนาดตั้งแต่ 2GB ขึ้นไป จอสำหรับแสดงผลในปัจจุบันนิยมแบบ LCD (Liquid crystal display) หรือ LED (Light emitting diode) ซึ่งมีความละเอียดของภาพมากขึ้น ความคมชัดมากขึ้น และเครื่องพิมพ์ที่ใช้ส่วนมากจะเป็นแบบพ่นหมึก โดยใช้วิธีพ่นหมึกจากหัวฉีด (Ink jet) ชนิดเป็นสี หรือเครื่องวาด (Plotter) ซึ่งใช้กับกระดาษขนาดตั้งแต่ A4 ขึ้นไป สำหรับตัวแปลงเป็นดิจิทัล คือเครื่องถ่ายทอดขอบเขตต่าง ๆ บนแผนที่ให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ และจานบันทึกแบบแข็ง (Hard disk) ต้องสามารถเก็บข้อมูลไว้อย่างเพียงพอ หรือใช้ซีดีรอม (CD-ROM) เป็นสื่อในการบันทึกข้อมูล
5. กระบวนงาน เป็นกระบวนการเพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์เพื่อดำเนินงานให้ได้สารสนเทศตามเป้าหมาย ซึ่งต้องอาศัยองค์ประกอบและองค์ความรู้ต่าง ๆ ตามศาสตร์ที่จะดำเนินการ การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นจุดแข็งของระบบที่ทำให้ข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงตารางสามารถนำมาประมวลผลรวมกันโดยเทคนิคการซ้อนทับข้อมูล ทำให้สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนของทรัพยากรธรรมชาติ ตลอดจนการวางแผนการใช้ที่ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ทำให้กระบวนการการตัดสินใจเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

และจัดแสดงในรูปแบบแผนที่ รายงานในระบบหนังสือ หรือระบบดิจิตอลซึ่งสามารถสืบค้นและเข้าถึงได้ง่าย

2.6.2 GIS สามารถทำอะไรได้บ้าง

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นระบบที่เกี่ยวกับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) และข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) ดังนั้นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ และให้ข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ได้หลายประการ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท คือ

1. Location มีอะไรอยู่ที่ไหน เป็นคำถามเกี่ยวกับตำแหน่งที่ตั้ง ว่ามีอะไรอยู่ที่ไหน เช่น โรงงานผลิตน้ำตาล ตั้งอยู่ที่ตำบล อำเภอ จังหวัดอะไร หรือตั้งอยู่ที่ตำแหน่งพิกัดที่เท่าไร เป็นต้น
2. Condition สิ่งที่อยากทราบอยู่ที่ไหน เป็นคำถามที่มีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาคำตอบ เช่น เราต้องการทราบว่าพื้นที่ไหนเหมาะสมต่อการปลูกอ้อย โดยมีเงื่อนไขคือ ต้องอยู่ในรัศมีรัศมี 50 กิโลเมตร ของโรงงานผลิตน้ำตาล และอยู่ใกล้เส้นทางคมนาคมไม่เกิน 1 กิโลเมตร เป็นต้น
3. Trends ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมามีอะไรเปลี่ยนแปลงบ้าง เป็นคำถามที่เดี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่ในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งคำถามนี้จะเกี่ยวข้องกับคำถามที่ 1 และคำถามที่ 2 ว่าสิ่งที่เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีอะไรบ้าง สิ่งที่เปลี่ยนแปลงอยู่ที่ไหน และมีขนาดเท่าไร เช่น ต้องการทราบว่าพื้นที่ในรัศมี 50 กิโลเมตรของโรงงานผลิตน้ำตาล A ก่อนก่อตั้งโรงงานผลิตน้ำตาล เคยเป็นพื้นที่อะไรมาก่อน และมีพื้นที่กี่ไร่ เป็นต้น
4. Patterns ความสัมพันธ์ด้านพื้นที่เป็นอย่างไร คำถามนี้ค่อนข้างจะซับซ้อนกว่าคำถามที่ 1-3 ตัวอย่างของคำถามนี้เช่น เราต้องการทราบว่าปัจจัยอะไรที่เป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในรัศมี 50 กิโลเมตรของโรงงานผลิตน้ำตาล A จากนาข้าวเปลี่ยนเป็นพื้นที่ปลูกอ้อย และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับโรงงานผลิตน้ำตาลหรือไม่ เป็นต้น
5. Modeling จะมีอะไรเกิดขึ้นหาก คำถามนี้จะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์หรือการพยากรณ์ เช่น จะเกิดอะไรขึ้นหากมีการตั้งโรงสีข้าวใกล้กับโรงงานผลิตน้ำตาล เป็นต้น

2.6.3 GIS ไม่สามารถทำอะไรได้บ้าง

GIS เป็นเครื่องมือ (Tool) ที่ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม GIS ไม่สามารถทำอะไรได้ทุกอย่าง เช่น

1. GIS ไม่สามารถระบุความผิดพลาดของข้อมูลได้ เช่น เจ้าหน้าที่นำเข้าข้อมูล ได้นำเข้าข้อมูลบ้านเลขที่ผิด GIS ไม่สามารถบอกได้ว่าข้อมูลบ้านเลขที่ดังกล่าวผิด
2. GIS ไม่สามารถเปรียบเทียบคุณภาพข้อมูลแต่ละชั้นข้อมูล หรือข้อมูลที่มาจากแต่ละแหล่งว่าข้อมูลชุดใดมีคุณภาพมากกว่ากัน
3. GIS ไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลดิบ (Raw data) ให้มีความถูกต้องขึ้นได้ ยกตัวอย่างเช่น การนำเข้าข้อมูลจากแผนที่กลุ่มชุดดิน มาตราส่วน 1:100,000 ถึงแม้ว่า GIS จะสามารถพิมพ์แผนที่เป็นมาตราส่วน 1:50,000 ได้ แต่ก็ไม่ได้หมายความว่า ข้อมูลนั้นจะมีความถูกต้องมากขึ้น
4. GIS ไม่สามารถทดแทนความรู้ของนัก GIS ได้ เช่น การวิเคราะห์หาพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกยางพารา ยังมีความจำเป็นที่จะต้องมีนัก GIS เป็นผู้กำหนดปัจจัยหรือเงื่อนไขต่าง ๆ
5. GIS ไม่สามารถระบุได้ว่าแบบจำลองในการวิเคราะห์ข้อมูล หรือเงื่อนไขต่าง ๆ ที่นักวิเคราะห์ GIS ตัดสินใจได้เลือกไปนั้นถูกต้องหรือไม่

2.7 ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก

ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (Global Positioning System: GPS) ใช้หลักการตรวจวัดสัญญาณที่ส่งจากดาวเทียมที่ทราบวงโคจรที่แน่นอน สัญญาณนี้จะถูกรับโดยเครื่องรับที่สถานีภาคพื้นดิน เราสามารถคำนวณหาระยะทางหรือพิสัย (Range) จากดาวเทียมถึงเครื่องรับได้จากเวลาจากดาวเทียมถึงเครื่องรับและข้อมูลของสัญญาณ ทำให้คำนวณตำแหน่งของเครื่องรับได้ เนื่องจากสัญญาณเป็นสัญญาณที่ส่งออกมาจากดาวเทียมทางเดียว ทั้งเครื่องรับและเครื่องส่งต้องมีนาฬิกาที่เที่ยงตรง เนื่องจากดาวเทียมมีวงโคจรที่ระดับความสูง 20,000 ก.ม. เหนือพื้นผิวโลก ซึ่งวงโคจรที่ค่อนข้างสูงนี้จะไม่มีอิทธิพลจากแรงโน้มถ่วงของโลกหรือมีน้อยมาก ซึ่งทำให้หาวงโคจรที่ค่อนข้างแม่นยำ (ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. 2540: 14)

2.7.1 องค์ประกอบของ GPS

ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนอวกาศ (Space segment) ส่วนสถานีควบคุม (Control segment) และส่วนผู้ใช้ (User segment) ซึ่งสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2547: 47-49) ได้อธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

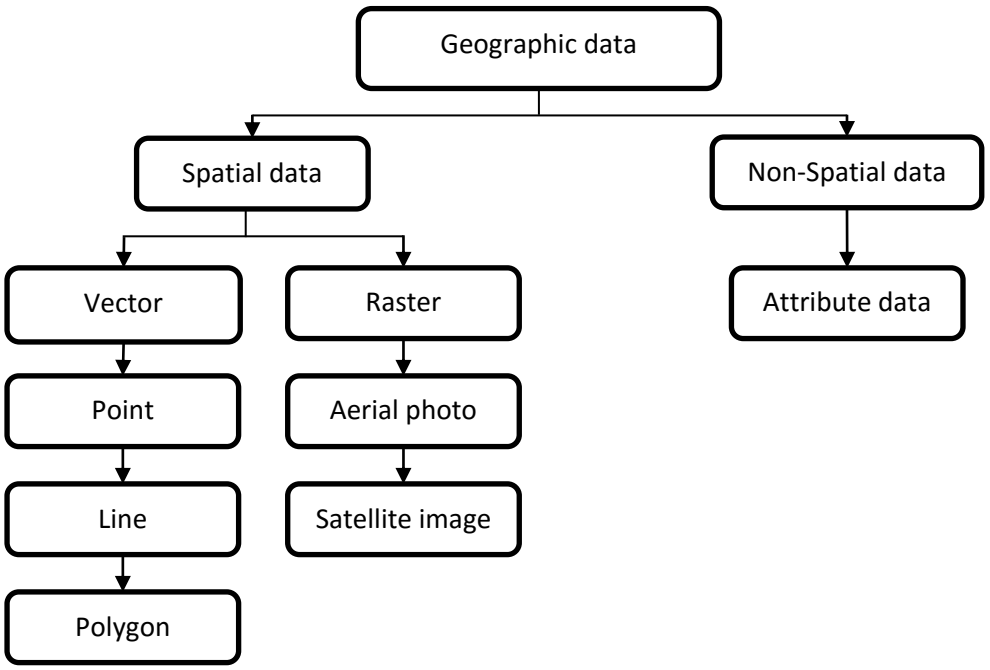
1. ส่วนอวกาศ (Space segment) เป็นส่วนที่อยู่บนอวกาศจะประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวง โดยมีดาวเทียม 21 ดวงทำหน้าที่ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุจากอวกาศ (Space vehicles, SVs) ส่วนอีก 3 ดวง เป็นดาวเทียมปฏิบัติการเสริมวงโคจรของดาวเทียมแต่ละดวงจะใช้เวลาโคจร 12 ชั่วโมง ต่อ 1 รอบ โดยจะมีทั้งหมด 6 วงโคจร แต่ละวงโคจรมีดาวเทียม 4 ดวง วงโคจรมีมุมเอียง 55 องศา กับระนาบศูนย์สูตรและห่างกัน 60 องศา วงโคจรในลักษณะดังกล่าวจะทำให้มีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงอยู่บนท้องฟ้าทุก ๆ จุดบนพื้นผิวโลก ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ดาวเทียมชุดแรก เรียก GPS Block I มีทั้งหมด 10 ดวง ดาวเทียมแต่ละดวงจะมีนาฬิกาที่มีความแม่นยำสูงซึ่งเป็นชุดของนาฬิกาอะตอมมิค แบ่งออกเป็นแหล่งกำเนิดความถี่รูบิเดียม 2 เรือน และ ซีเซียม 2 เรือน ทำให้เวลามาตรฐานของดาวเทียมมีความถูกต้องสูงมากนาฬิกาดังกล่าวช่วยในการคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณเพื่อที่จะคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งได้
2. ส่วนสถานีควบคุม (Control segment) ประกอบไปด้วยสถานีภาคพื้นดินที่ควบคุมระบบ (Operational Control System: OCS) ที่กระจายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของโลก มีหน้าที่ปรับปรุงให้ข้อมูลดาวเทียมมีความถูกต้องทันสมัยอยู่ตลอดเวลา ซึ่งสถานีควบคุมประกอบไปด้วย 3 สถานี คือ สถานีควบคุมหลัก สถานีติดตามดาวเทียม และสถานีรับส่งสัญญาณ
3. ส่วนผู้ใช้(User segment) ประกอบด้วยเครื่องรับสัญญาณหรือตัว GPS ที่เราใช้อยู่มีหลายขนาดสามารถพกพาได้ หรือติดไว้ในรถ เรือหรือเครื่องบิน เครื่อง GPS จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณจาก SVs เป็นตำแหน่ง ความเร็วและเวลาโดยประมาณ ถ้าหากต้องการทราบค่า X Y Z (Position) และเวลาต้องใช้ดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ความถูกต้องของตำแหน่งขึ้นอยู่กับนาฬิกาและตัว GPS ซึ่งอาจจะหาตำแหน่งที่มีความผิดพลาดได้น้อยกว่า 3 ฟุต นาฬิกาที่ใช้จะมีความถูกต้องสามารถวัดได้ในเวลา 0.000000003 วินาทีซึ่งเวลาที่ใช้ในการอ้างอิงสำหรับระบบดาวเทียม GPS เรียกว่า เวลา GPS

2.7.2 หลักการทำงานของระบบ GPS

GPS มีหลักการทำงานโดยอาศัยตำแหน่งของดาวเทียมเป็นจุดอ้างอิงแล้ววัดระยะจากดาวเทียม 4 ดวงและใช้หลักการเรขาคณิตคำนวณหาตำแหน่งจากนั้นวัดระยะทางระหว่างเครื่องรับกับดาวเทียม โดยวัดระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้เดินทางจากดาวเทียมสู่เครื่องรับ(ระยะทาง = ความเร็วx เวลาที่ใช้เดินทาง) ค่ารังวัดที่ได้จากสัญญาณดาวเทียมมี2 ชนิดคือ Pseudorange และ Carrier phase ข้อมูล GPS จะได้ผลลัพธ์ออกมาใน 3 รูปแบบ คือ จุดตำแหน่ง (Waypoint) เส้นทาง (Routes) และเส้นเชื่อมโยงจุดตำแหน่ง (Tracks)ในปัจจุบันได้มีการใช้ GPS อย่างแพร่หลาย และหลากหลายรูปแบบซึ่ง สุเพชร จิรขจรกุล (2549: 6) ได้อธิบายประโยชน์ของ GPS ไว้หลายประการ เช่น หาตำแหน่งใด ๆ บนพื้นผิวโลกได้ตลอด 24 ชั่วโมง การนำทางจากที่หนึ่งไปยังที่หนึ่งได้ตามต้องการ การติดตามการเคลื่อนที่ของคนและสิ่งของต่าง ๆ การทำแผนที่ และการวัดเวลาที่มีความเที่ยงตรง

2.8 ข้อมูลภูมิสารสนเทศ

ข้อมูลทางภูมิสารสนเทศแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ประกอบด้วย ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) และข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Nonspatial data) ข้อมูลแต่ละประเภทจะมีคุณลักษณะ และคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป โครงสร้างข้อมูลภูมิสารสนเทศดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.5 โครงสร้างข้อมูลภูมิสารสนเทศ

2.8.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data)

ข้อมูลเชิงพื้นที่ หมายถึง ข้อมูลที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ (Geo-Reference data) ของรูปลักษณ์ของพื้นที่ (Graphic Feature) ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ ข้อมูลเวกเตอร์ (Vector data) และข้อมูลราสเตอร์ (Raster data)

1. ข้อมูลเวกเตอร์ (Vector data) คือ ข้อมูลที่แสดงด้วย จุด (Point) เส้น (Line, Polyline) หรือพื้นที่ (Polygon) ที่ประกอบด้วยจุดพิกัดทางแนวราบ (X , Y) และ/หรือ แนวดิ่ง (Z) หรือ Cartesian Coordinate System ถ้าเป็นพิกัดตำแหน่งเดียวก็จะเป็นค่าของจุด (จุดตัดตามแนวแกน X และแกน Y) ถ้าจุดพิกัดสองจุดหรือมากกว่าจะเป็นค่าของเส้น ส่วนพื้นที่นั้นจะต้องมีจุดมากกว่า 3 จุดขึ้นไปและจุดพิกัดเริ่มต้นและจุดพิกัดสุดท้ายจะต้องอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ข้อมูลเชิงพื้นที่ ในรูปแบบเวกเตอร์ จะมีลักษณะและรูปแบบ (Spatial features) ต่าง ๆ ของข้อมูลทั้ง 3 ประเภท ดังนี้

1.1. ข้อมูลแบบจุด (Point) เป็นข้อมูลที่แสดงตำแหน่งพิกัดจุดตัดของแกน X และแกน Y คุณสมบัติของข้อมูลแบบจุด คือ จะบอกเพียงตำแหน่ง ไม่มีทิศทางและขนาด เช่น ตำแหน่งที่ตั้งโรงเรียน วัด และตู้ ATM เป็นต้น

1.2. ข้อมูลแบบเส้น (Line, Polyline) เป็นข้อมูลที่แสดงระยะทางระหว่างจุด (Node) ตั้งแต่ 2 จุด ขึ้นไป ข้อมูลแบบเส้นจะเป็นข้อมูลที่แสดงระยะทางระหว่างจุด 2 จุด เรียกว่า Line หรือถ้ามีจุดมากกว่า 2 จุดขึ้นไป เรียกว่า Polyline ข้อมูลแบบเส้นมีคุณสมบัติ คือ บอกทิศทาง และระยะทาง หรือความยาว ข้อมูลแบบเส้น เช่น เส้นถนน ทางรถไฟ เป็นต้น

1.3. ข้อมูลพื้นที่รูปปิด (Polygon) เป็นข้อมูลที่แสดงพื้นที่ ซึ่งมีคุณสมบัติ คือ บอกขนาดพื้นที่ และความยาวเส้นรอบวง ข้อมูลพื้นที่รูปปิด เช่น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ขอบเขตกลุ่มชุดดิน เป็นต้น

โดยทั่วไปข้อมูลเวกเตอร์ จะถูกเก็บในรูปแบบของไฟล์ประเภทต่าง ๆ เช่น ไฟล์ MapInfo (.tab) และ Shape file แต่โดยส่วนมากจะใช้รูปแบบ Shape file

Shape file คือ ไฟล์ที่บันทึกข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่อยู่ในรูปแบบข้อมูลเรขาคณิต และข้อมูลเชิงบรรยาย หรือ ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบตาราง Shape file รองรับข้อมูลทางด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์หรือข้อมูลเวกเตอร์ (Vector) ประกอบด้วยข้อมูลแบบจุด (Point) เส้น (Line) และพื้นที่รูปปิด (Polygon) (ESRI Shapefile Technical Description, 1998 p : J-7855) ข้อมูลเวกเตอร์ใน 3 ลักษณะดังกล่าว จะแยกเก็บออกเป็นแต่ละชั้นข้อมูล (Layer) ซึ่ง Shape file หนึ่งๆ จะประกอบด้วยไฟล์อย่างน้อย 3 ไฟล์ที่มีการเชื่อมโยง อ้างถึงกันและกัน และไม่สามารถขาดไฟล์ใดไฟล์หนึ่งไปได้ ได้แก่

1.3.1. ไฟล์ประเภท (.shp) ไฟล์นี้จะประกอบไปด้วยข้อมูลเวกเตอร์แต่ละประเภท ซึ่งแต่ละเวกเตอร์ประกอบเป็น Shape File นั้นจะอ้างอิงระบบพิกัด เช่น UTM หรือ Lat/Longไฟล์ประเภท (.dbf) ไฟล์นี้จะประกอบไปด้วยข้อมูลในรูปแบบตารางฐานข้อมูลเพื่อแสดง รายละเอียดของแต่ละเวกเตอร์

1.3.2. ไฟล์ประเภท (.shx) ไฟล์นี้จะทำหน้าที่เชื่อมไฟล์ (.shp) และ (.dbf) เข้าด้วยกัน Shape file สามารถสร้างเวกเตอร์ได้อย่างรวดเร็วและสามารถแก้ไขข้อมูลเวกเตอร์ที่ทับซ้อนกัน หรือไม่ติดกัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ Shape file ยังใช้

พื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลน้อย และง่ายต่อการอ่านและเขียนบนอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (ESRI Shapefile Technical Description : 1998 p. J-7855) ข้อมูล Shape file มีข้อจำกัดต่าง ๆ ในเรื่องดังต่อไปนี้

1.3.3. Shape file 1 ไฟล์ บรรจุข้อมูลได้ไม่เกิน 2 GB

1.3.4. Shape file 1 ไฟล์บรรจุข้อมูลได้ทั้งหมด 65535 Records

1.3.5. ใน 1 Record เก็บข้อมูลได้มากสุด 1000 Bytes หรือ ไม่เกิน 32 Field

1.3.6. การสร้างชื่อ Field จำกัด 8 ตัวอักษร

1.3.7. สามารถเก็บตัวอักษรใน Field ได้มากสุด 254 Byte

1.3.8. ไม่รองรับระบบ Unicode

1.4. ข้อดีของข้อมูลแบบเวกเตอร์

1.4.1. ข้อมูลเวกเตอร์ สามารถนำมาวิเคราะห์เชิงพื้นที่ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งสูง

1.4.2. ข้อมูลเวกเตอร์ สามารถสร้างได้ง่าย สามารถบอกตำแหน่งเชิงพื้นที่ แสดงทิศทาง และพื้นที่ได้

1.4.3. ข้อมูลเวกเตอร์สามารถเชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.4. ข้อมูลเวกเตอร์ สามารถแสดงด้วยสี หรือสัญลักษณ์ได้ ทำให้มีความสวยงามเหมาะสม และเข้าใจได้ง่าย

1.4.5. โครงสร้างข้อมูลเวกเตอร์มีขนาดเล็ก ทำให้ไฟล์ข้อมูลมีขนาดเล็กจึงใช้พื้นที่สำหรับการจัดเก็บน้อย

1.4.6. ความเชื่อมโยงทางโทโพโลยี (Topology) สามารถทำได้ครบถ้วนด้วยการเชื่อมโยงแบบเครือข่าย ทำให้สามารถตรวจสอบโทโพโลยีของข้อมูลเวกเตอร์ได้

1.4.7. มีความถูกต้องในเชิงกราฟฟิก ซึ่งสามารถแทนข้อมูลได้อย่างมีความแม่นยำเชิงตำแหน่ง

1.4.8. สามารถทำการค้นคืน และการแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้อย่างง่ายและสะดวก

1.5. ข้อด้อยของข้อมูลแบบเวกเตอร์

1.5.1. โครงสร้างข้อมูลซับซ้อน

1.5.2. การรวมแผนที่แบบเวกเตอร์หลาย ๆ แผ่นหรือรวมแผนที่เวกเตอร์กับราสเตอร์ด้วยวิธีวางซ้อนมีความยุ่งยากมาก

1.5.3. การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ทำได้ยาก เพราะแต่ละหน่วยของแผนที่มีโครงสร้างที่ต่างกัน

1.5.4. การสร้างข้อมูลเวกเตอร์ จำเป็นต้องใช้ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่มีความซับซ้อน

2. ข้อมูลแสดงลักษณะเป็นกริด หรือข้อมูลราสเตอร์ (Raster data) คือข้อมูลที่มีโครงสร้างเป็นช่องเหลี่ยม เรียกว่า จุดภาพ หรือ Grid cell หรือ Pixel เรียงต่อเนื่องกันในแนวราบและแนวดิ่ง ในแต่ละจุดภาพสามารถเก็บค่าได้ 1 ค่า ความสามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ ณ จุดพิกัดที่ประกอบขึ้นเป็นฐานข้อมูลแสดงตำแหน่งชุดนั้น ค่าที่เก็บในแต่ละจุดภาพสามารถเป็นได้ทั้งข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ หรือรหัสที่ใช้อ้างอิงถึงข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลก็ได้ ข้อมูลราสเตอร์ สามารถแปลงจากข้อมูลเวกเตอร์ได้

2.1. ข้อดีของข้อมูลแบบราสเตอร์

2.1.1. มีโครงสร้างข้อมูลง่ายๆ ไม่ซับซ้อน ทำให้การประมวลผลในระดับจุดภาพมีความสะดวก

2.1.2. สามารถใช้วิเคราะห์เชิงพื้นที่ในแบบต่าง ๆ ได้ง่าย เช่น การวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ (Vegetation index)

2.1.3. การทดสอบด้วยการจำลองสถานการณ์ทำได้ง่าย เพราะหน่วยพื้นที่แต่ละหน่วยมีรูปร่างและขนาดเท่ากัน ซึ่งอยู่ในรูปของตารางกริด

2.1.4. ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีราคาถูกลงและมีการพัฒนาอย่างหลากหลาย

2.1.5. นอกจากนี้ข้อมูลแบบราสเตอร์ยังมีความเหมาะสมกับการแทนลักษณะของพื้นผิว (Surface) ที่มีความต่อเนื่องกัน

2.2. ข้อด้อยของข้อมูลแบบราสเตอร์

2.2.1. ข้อมูลกราฟิกมีขนาดใหญ่ ไฟล์มีขนาดใหญ่จึงใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมาก

2.2.2. ข้อมูลราสเตอร์เมื่อแปลงเป็นข้อมูลเวกเตอร์จะได้ข้อมูลที่หยาบ

2.2.3. การใช้ช่องกริดใหญ่เพื่อลดปริมาตรข้อมูลทำให้สูญเสียโครงสร้างข้อมูลเกี่ยวกับปรากฏการณ์และเป็นการสูญเสียข้อสนเทศอย่างมาก

2.2.4. การแปลงค่าพิกัดแผนที่ต้องใช้เวลามาก ยกเว้นแบ่งเป็นพื้นที่เล็ก ๆ หรือใช้อุปกรณ์ที่มีศักยภาพสูง

2.8.2 ข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Non Spatial data)

ข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) ซึ่งจะอธิบายถึงคุณลักษณะต่าง ๆ ของข้อมูลชนิดนั้น ๆ (ที่อยู่ในรูปแบบ Shape file) ในพื้นที่นั้น ๆ ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง หรือหลายๆ ช่วงเวลา เช่น ข้อมูลชื่อถนนของจังหวัดร้อยเอ็ด ข้อมูลเขตพืชเศรษฐกิจ เป็นต้น

2.9 แผนที่

ในปัจจุบันแผนที่จัดเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ในด้านต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย ไม่ได้ถูกจำกัดในวงการศึกษา หรืองานวิชาการเท่านั้น แต่การนำมาใช้ในปัจจุบันมีแนวโน้มมากขึ้น โดยเฉพาะแผนที่ที่ให้บริการในรูปแบบ Map service ซึ่งสามารถเรียกใช้งานง่าย สะดวก และสามารถใช้งานได้ทุกที่ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต แผนที่ได้มีคำจำกัดความมากมาย ยกตัวอย่างเช่น สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) : (2552.) ได้ให้คำจำกัดความว่า แผนที่ คือ “การจำลองสิ่งต่าง ๆ ที่ปรากฏบนพื้นผิวโลกมาย่อส่วนให้เล็กลงตามมาตราส่วนที่ต้องการบนแผ่นวัสดุที่เลือกสรรแล้ว สิ่งต่าง ๆ ที่ปรากฏบนพื้นผิวโลก ประกอบด้วยสิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ รวมทั้งสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งแสดงให้ปรากฏด้วยสัญลักษณ์ เส้น สี หรือรูทรงสัณฐานต่าง ๆ ”คำจำกัดความจากหนังสือ การอ่านแผนที่และภาพถ่ายทางอากาศ (ภาควิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2540 : 8) แผนที่ คือ “สิ่งที่แสดงลักษณะภูมิประเทศของผิวโลกทั้งที่เป็นอยู่ตามธรรมชาติและส่วนที่มนุษย์ปรุงแต่งขึ้น โดยนำมาแสดงลงในพื้นราบจะเป็นกระดาษหรือวัตถุอย่างใดอย่างหนึ่งที่แบน ด้วยการย่อส่วนให้เล็กลงตามขนาดที่ต้องการ ซึ่งต้องอาศัยเครื่องหมาย สัญลักษณ์ ทิศทาง มาตราส่วน และสิ่งอื่น ๆ ที่ทำให้การอ่านลักษณะภูมิประเทศได้ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น”

2.9.1 การจำแนกชนิดของแผนที่

ในปัจจุบันแผนที่มีมากมาย และสามารถนำมาจัดแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้หลายประเภท เช่น การแบ่งตามมาตราส่วนแผนที่ การแบ่งตามรายละเอียดที่ปรากฏบนแผนที่ การแบ่งตามชนิดของการใช้หรือรายละเอียดที่แสดงไว้ในแผนที่ และการแบ่งตามมาตรฐานของสมาคมคาร์โตกราฟฟี่ระหว่างประเทศ (International Cartographic Association : ICA) แต่โดยทั่วไปการแบ่งประเภทแผนที่จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

1. แผนที่แบบแบน
2. แผนที่ภูมิประเทศ
3. แผนที่ภาพถ่าย

แผนที่แบบแบน แผนที่แสดงพื้นที่ผิวในทางราบ ไม่สามารถบอกความสูงต่ำของภูมิประเทศไว้ใช้แสดงตำแหน่งของสิ่งต่าง ๆ เช่น ทางน้ำ ถนน และสามารถหาระยะทางในทางราบและเส้นทางได้ แผนที่ภูมิประเทศ เป็นแผนที่แสดงให้เห็นความสูงต่ำของภูมิประเทศ แผนที่ภูมิประเทศมีรายละเอียดต่าง ๆ ก็มีแบบเดียวกับแผนที่แบบ มักเป็นแผนที่มาตราส่วนใหญ่แผนที่ภาพถ่าย เป็นแผนที่ที่ทำขึ้นจากภาพถ่ายทางอากาศโดยการต่อภาพ ใช้สัญลักษณ์ประกอบเพิ่มเติม ทำได้รวดเร็วแต่อ่านยาก ไม่สามารถสังเกตความสูงต่ำของภูมิประเทศได้ชัดเจนต้องใช้กล้องกระจกหรือแว่นขยายประกอบการดูจะเห็นภาพสามมิติชัดเจน

2.9.2 มาตราส่วนแผนที่ (Scale or Scale Ratio)

แผนที่ภูมิประเทศหรือแผนที่ต่าง ๆ ที่จัดทำขึ้นมานั้นเป็นการย่อส่วนรายละเอียดต่าง ๆ ที่ปรากฏบนพื้นผิวโลก แล้วนำมาเขียนบนแผนที่ในขนาดของอัตราส่วนหรือสัดส่วนที่ต่างกัน ตามวัตถุประสงค์ของจำเป็นในการแสดงรายละเอียด และเป็นสิ่งที่นักแผนที่จำเป็นต้องแสดงกำกับไว้บนแผนที่เสมอ เรียกว่า “มาตราส่วนแผนที่” (ภาควิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2540 : 222)

มาตราส่วนแผนที่ คือ อัตราส่วนระหว่างระยะทางบนแผนที่ (Map Distance หรือ M.D.) กับระยะทางในภูมิประเทศหรือในพื้นที่จริงบนโลกที่ตรงกัน (Ground Distance)

เมื่อถือว่าระยะทางในแผนที่เป็น 1 หน่วย

$$\text{ระยะทางบนแผนที่ระยะทางในภูมิประเทศ} = \frac{\text{ระยะทางบนแผนที่}}{\text{ระยะทางในภูมิประเทศ}}$$

Scal = Map Distance / Ground Distance

ตัวอย่าง วัดระยะทางในแผนที่ของจุด 2 จุดได้เท่ากับ 20 เซนติเมตร และวัดระยะระหว่างจุด 2 จุดนั้น ในภูมิประเทศได้เท่ากับ 2,000 เมตร

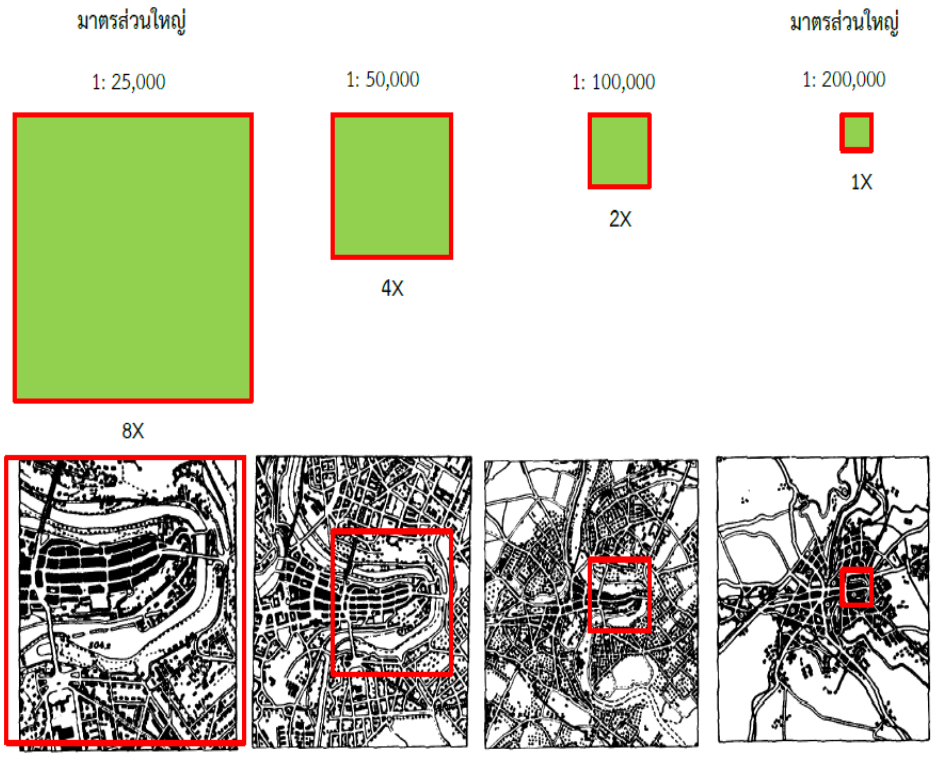
คำนวณค่ามาตราส่วนแผนที่ (ชนิดมาตราส่วนแบบเศษส่วน)

มาตราส่วนแผนที่ = 20 ซม. / 2,000 ม.

= 20 ซม. / 2,000 x 100 ซม.

= 1:10,000

มาตราส่วนแผนที่แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ มาตราส่วนเศษส่วน มาตรส่วนเส้นบรรทัด และมาตราส่วนคำพูด ซึ่งมาตราส่วนแผนที่แบ่งเป็นมาตราส่วนใหญ่ มาตราส่วนกลาง และมาตราส่วนเล็ก แผนที่มาตราส่วนใหญ่จะให้รายละเอียดมาก แต่จะครอบคลุมพื้นที่น้อย แผนที่มาตราส่วนเล็กจะให้รายละเอียดน้อย แต่จะครอบคลุมพื้นที่มาก ขนาดมาตราส่วนสามารถอธิบายดังภาพ



รูปที่ 2.6 มาราส่วนแผนที่ขนาดต่างๆ ที่มา : รัศมี สุวรรณวีระกำธร, 2557

2.9.3 ความละเอียดของแผนที่ (Map Resolution)

ขนาดของจุดที่เล็กที่สุดที่สามารถมองเห็นด้วยสายตาคนปกติ คือ 0.2 mm ความละเอียดของแผนที่ = ความสามารถแสดงรายละเอียดตำแหน่งองค์ประกอบภูมิศาสตร์ บนแผนที่ = 0.2 x มาตราส่วนแผนที่ (รัศมี สุวรรณวีระกำธร, 2557)

ตัวอย่าง

เมื่อใช้แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ความละเอียดของแผนที่ = 0.2 x 50,000 = 10,000 มม. หรือ 10 ม. มีความหมายว่า

- ตำแหน่งความถูกต้องสำหรับแผนที่อยู่ในพิสัย 10 ม.
- ผู้ใช้แผนที่จะไม่สามารถวัดระยะทางที่สั้นกว่า 10 ม.
- เมื่อแสดงแผนที่บนจอภาพคอมพิวเตอร์ 1 จุดภาพบนจอภาพจะมีขนาดเท่ากับรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความยาวด้านละ 10 x 10 ม.

2.9.4 ความสามารถวัดระยะบนแผนที่

ความสามารถในการวัดระยะบนแผนที่ เป็นการใช้อุปกรณ์ เช่น ไม้วัดระยะหรือไม้บรรทัด วัดระยะในแผนที่ โดยทั่วไปไม้บรรทัดแบ่งช่องวัดได้เล็กที่สุดที่ 0.5 มม. ดังนั้นความสามารถในการวัดระยะบนแผนที่ในมาตราส่วนต่าง ๆ จึงแตกต่างกันไป ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 2.1 ความสามารถวัดระยะบนแผนที่ = 0.5 * มาตราส่วนแผนที่

มาตราส่วน	ความละเอียด	ความสามารถวัดระยะบนแผนที่
1:1,000	0.2	0.5
1:2,000	0.4	1.0
1:5,000	1.0	2.5
1:10,000	2.0	5.0
1:20,000	4.0	10.0

2.9.5 ประโยชน์ของแผนที่

แผนที่นับเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการทำงาน หรือการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ และในปัจจุบันได้มีการนำแผนที่ไปใช้อย่างกว้างขวาง การให้บริการแผนที่ก็มีหลากหลายรูปแบบให้เช่น แผนที่ในระบบ

นำทาง แผนที่ในรูปแบบ Map service เป็นต้น ซึ่งสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสม ซึ่งประโยชน์ของแผนที่มีมากมายหลายด้าน แต่จะแยกเป็นประโยชน์หลักๆ ดังนี้

1. เพื่อใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น การใช้แผนที่ถนนนำทาง
2. ด้านการทหาร
3. ด้านเศรษฐกิจและสังคม
4. ด้านการเมืองการปกครอง
5. ด้านส่งเสริมการท่องเที่ยว
6. ด้านการสำรวจทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
7. เพื่อใช้ศึกษาประกอบการเรียนการสอน เป็นต้น

2.10 ระบบพิกัด (Coordinate System)

ระบบพิกัด (Coordinate System) เป็นระบบที่สร้างขึ้นสำหรับใช้อ้างอิงในการกำหนดตำแหน่ง หรือบอกตำแหน่งพื้นโลกจากแผนที่มีลักษณะเป็นตารางโครงข่ายที่เกิดจากตัดกันของเส้นตรงสองชุด ที่ถูกกำหนดให้วางตัวในแนวเหนือ - ใต้ และแนวตะวันออก - ตะวันตก ตามแนวของจุดศูนย์กำเนิด (Origin) ที่กำหนดขึ้น ค่าพิกัดที่ใช้อ้างอิงในการบอกตำแหน่งต่าง ๆ จะใช้ค่าของหน่วยที่นับออกจากจุดศูนย์กำเนิดเป็นระยะเชิงมุม (Degree) หรือเป็นระยะทาง (Distance) ไปทางเหนือหรือใต้และตะวันออกหรือตะวันตก ตามตำแหน่งของตำบลที่ต้องการหาค่าพิกัดที่กำหนดตำแหน่งต่าง ๆ จะถูกเรียกอ้างอิงเป็นตัวเลขในแนวตั้งและแนวนอนตามหน่วยวัดระยะใช้วัด สำหรับระบบพิกัดที่ใช้อ้างอิงกำหนดตำแหน่งบนแผนที่ ที่นิยมใช้กับแผนที่ในปัจจุบัน มีอยู่ด้วยกัน 2 ระบบ คือ

1. ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinate System)
2. ระบบพิกัดกริดแบบ UTM (Universal Transverse Mercator Coordinate System)

2.10.1 ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinate System)

ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ เป็นระบบพิกัดที่กำหนดตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นโลก ด้วยวิธีการอ้างอิงบอกตำแหน่งเป็นค่าระยะเชิงมุมของละติจูด (Latitude) และ ลองติจูด (Longtitude) ตามระยะเชิงมุมที่ห่างจากศูนย์กำเนิด (Origin) ของละติจูดและลองติจูด ที่กำหนดขึ้นสำหรับศูนย์กำเนิดของละติจูด (Origin of Latitude) นั้นกำหนดขึ้นจากแนวระดับที่ ตัดผ่านศูนย์กลางของโลกและตั้งฉากกับแกนหมุน เรียกแนวระนาบศูนย์กำเนิดนั้นว่า เส้นศูนย์สูตร (Equator) ซึ่งแบ่งโลกออกเป็นซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ ฉะนั้นค่าระยะเชิงมุมของละติจูดจะเป็นค่าเชิงมุมที่เกิดจากมุมที่ศูนย์กลางของ

โลก กับแนวระดับฐานกำเนิดมุมที่เส้นศูนย์สูตรที่วัดค่าของมุมออกไปทั้งซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ ค่าของมุมจะสิ้นสุดที่ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ มีค่าเชิงมุม 90 องศาพอดี ดังนั้นการใช้ค่าระยะเชิงมุมของละติจูดอ้างอิงบอกตำแหน่งต่าง ๆ นอกจากจะกำหนดเรียกค่าวัดเป็น องศาลิปดา และฟิลิปดา แล้วจะบอกซีกโลกเหนือหรือใต้กำกับด้วยเสมอ ระบบพิกัดภูมิศาสตร์สามารถเขียนได้ 3 แบบ ดังนี้

1. DMS = Degree Minute Second = องศา ลิปดา ฟิลิปดา

ตัวอย่าง 102 องศา 30 ลิปดา 30 ฟิลิปดา

2. DMD = Degree Minute Decimal = องศา ลิปดา+ทศนิยม

ตัวอย่าง 102 องศา 30.50 ลิปดา

3. DDD= Degree Decimal Decimal = องศา + ทศนิยม
4. ตัวอย่าง 102.5083 องศา

2.10.2 ระบบพิกัดกริด UTM (Universal Transverse Mercator Coordinate System)

ระบบพิกัดกริด UTM (Universal Transverse Marcator) เป็นระบบตารางกริดที่ใช้ช่วยในการกำหนดตำแหน่งและใช้อ้างอิงในการบอกตำแหน่งที่นิยมใช้กับแผนที่ในกิจการทหารของประเทศต่าง ๆ เกือบทั่วโลกในปัจจุบัน เพราะเป็นระบบตารางกริดที่มีขนาดรูปร่างเท่ากันทุกตารางและมีวิธีการกำหนดบอกค่าพิกัดที่ง่ายและถูกต้องเป็นระบบกริดที่นำเอาเส้นโครงแผนที่แบบ Universal Transverse Mercator Projection ของ Gauss -Krueger มาใช้ดัดแปลง การถ่ายทอดรายละเอียดของพื้นผิวโลกให้รูปทรงกระบอก Mercator Projection อยู่ในตำแหน่ง Mercator Projection (แกนของรูปทรงกระบอกจะทับกับแนวเส้นอิเควเตอร์ และตั้งฉากกับแนวแกนของขั้วโลก) ประเทศไทยเราได้นำเอาเส้นโครงแผนที่แบบ UTM นี้มาใช้กับการทำแผนที่ เป็นชุด L7017 ที่ใช้ในปัจจุบัน แผนที่ที่ใช้เส้นโครงแผนที่แบบ UTM เป็นระบบเส้นโครงชนิดหนึ่งที่ใช้ผิวรูปทรงกระบอกเป็นผิวแสดงเส้นเมอริเดียน (หรือเส้นลองติจูด) และเส้นละติจูดของโลก โดยใช้ทรงกระบอกตัดโลกระหว่างละติจูด 84 องศาเหนือ และ 80 องศาใต้ในลักษณะแกนรูปทรงกระบอกแล้วทำมุมกับแกนโลก 90 องศารอบโลก แบ่งออกเป็น 60 โซนๆ ละ 6 องศา โซนที่ 1 อยู่ระหว่าง 180 องศา กับ 174 องศาตะวันตก และมีลองติจูด 177 องศาตะวันตก เป็นเมริเดียนย่านกลาง (Central Meridian) มีเลขกำกับแต่ละโซนจาก 1 ถึง 60 โดย นับจากซ้าย ไปทางขวาระหว่างละติจูด 84 องศาเหนือ 80 องศาใต้ แบ่งออกเป็น 2 ช่อง ช่องละ 8 องศา ยกเว้นช่องสุดท้าย เป็น 12 องศา โดยเริ่มนับตั้งแต่ละติจูด 80 องศา

ใต้ขึ้นไปทางเหนือ ให้ช่องแรกเป็นอักษร C และช่องสุดท้ายเป็นอักษร X (ยกเว้น I และ O) จากการแบ่งตามที่กล่าวแล้วจะเห็นพื้นที่ในเขตลองติจูด 180 องศาตะวันตก ถึง 180 องศาตะวันออก และละติจูด 80 องศาใต้ ถึง 84 องศาเหนือ จะถูกแบ่งออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า 1,200 รูป แต่ละรูปมีขนาดกว้างยาว 6 องศา x 8 องศา จำนวน 1,140 รูป และกว้างยาว 6 องศา x 12 องศา จำนวน 60 รูป รูปสี่เหลี่ยมนี้เรียกว่า Grid Zone Designation (GZD) การเรียกชื่อ Grid Zone Designation ประเทศไทยมีพื้นที่อยู่ ระหว่างละติจูด 5 องศา 30 ลิปดา เหนือ ถึง 20 องศา 30 ลิปดา เหนือ และลองติจูดประมาณ 97 องศา 30 ลิปดา ตะวันออก ถึง 105 องศา 30 ลิปดา ตะวันออก ดังนั้นประเทศไทยจึงตกอยู่ใน GZD 47N 47P 47Q 48N 48P และ 48Q(ภาควิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามค าแหง, 2540 : 190-199)

2.10.3 การอ่านค่าพิกัดกริด UTM

การอ่านค่าพิกัดกริดใช้วิธีการอ่านแบบอ่านไปขวาและขึ้นบน (Read right up) และการเขียนบอกค่าพิกัดที่ถูกต้องก็จะเขียนเรียงต่อเนื่องกันไปตามลำดับ ไม่มีเว้นวรรค ซึ่งตัวเลขพิกัดกริดกลุ่มแรกจะเป็นค่า Easting และกลุ่มหลังจะเป็นค่า Northing ซึ่งตัวเลขทั้งสองกลุ่มนี้จะเป็นจำนวนคู่กันเสมอ ซึ่งถ้าตัวเลขค่าพิกัดมีหลายตัวความละเอียดทางตำแหน่งก็จะสูงมากขึ้น และในการบอกค่าพิกัดกริดของตำแหน่งต่าง ๆ ที่ต้องการจะบอกเลขอักษรประจำกริดกับอักษรประจำจัตุรัส 100,000 เมตร ด้วยเสมอ มิเช่นนั้นจะไม่สามารถหาตำแหน่งที่หมายที่ต้องการได้ เพราะตัวเลขบอกค่าพิกัดกริดของแผนที่ในแต่ละโซนจะมีค่าเหมือนกัน (ภาควิชาภูมิศาสตร์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2540 : 210)

การอ่านค่าพิกัดกริดของระบบ UTM ที่ใช้ในกิจการทหารจะมีวิธีอ่านค่าพิกัด ตามลำดับดังต่อไปนี้

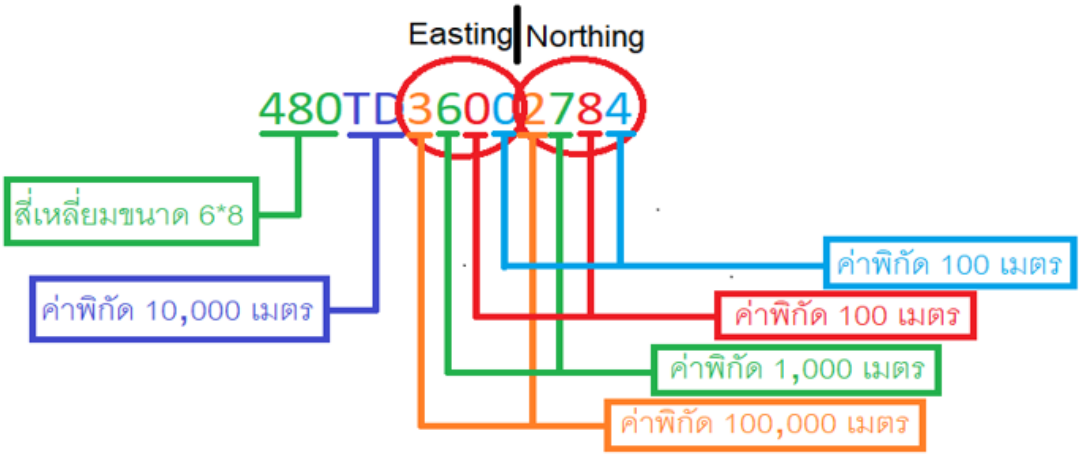
1. บอกให้ทราบชื่อโซนของกริด/เลขอักษรประจำเขตกริด (Grid Zone Designation) เช่น 48Q
2. บอกให้ทราบชื่อรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสแสนเมตร/อักษรประจำจัตุรัส (100,000 meter square identification) เช่น TD
3. บอกค่าพิกัดกริดของจุดที่พิจารณา ตามขนาดความละเอียดที่ต้องการ เช่น รายละเอียด 100 เมตร จะมีค่าพิกัดของจุดที่พิจารณาทางด้านตะวันออก (E) 3 ค่า ทางเหนือ 3 ค่า 218427 (218: ค่าE, 427: ค่า N)

การเขียนค่าพิกัดกริดที่สมบูรณ์ใช้วิธีการเขียนเรียงต่อเนื่องกันไปตามลำดับเริ่มตั้งแต่ชื่อโซน แล้วต่อด้วยชื่อจัตุรัสแสนเมตร และค่าตัวเลขของพิกัดตะวันออก (E) และ พิกัดเหนือ (N)

ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- 48Q กำหนดอยู่ในรูปเหลี่ยมขนาด 6 x 8 องศา
- 48QTD กำหนดอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านยาว 100,000 เมตร
- 48QTD32 กำหนดอยู่ในรูปสี่เหลียมจัตุรัสด้านยาว 10,000 เมตร
- 48QTD3627 กำหนดอยู่ในรูปสี่เหลียมจัตุรัสด้านยาว 1,000 เมตร
- 48QTD360278 กำหนดอยู่ในรูปสี่เหลียมจัตุรัสด้านยาว 100 เมตร

–48QTD36002784 กำหนดอยู่ในรูปสี่เหลียมจัตุรัสด้านยาว 10 เมตร



รูปที่ 2.7 การเขียนค่าพิกัดกริด

2.10.4 พื้นหลักฐานอ้างอิง (Datum)

โลกมีรูปร่างสัณฐานที่ไม่ใช่รูปร่างเลขาคณิต คือไม่กลมและไม่รีแบบเรขาคณิต ดังนั้นการหาขนาดและรูปร่างที่ใกล้เคียงจึงทำได้ยาก จึงมีการคิดค้นวิธีการและทฤษฎีขึ้นมาเพื่อหาขนาดและรูปร่างของโลก เรียกว่า “ยีออเดซี่” (Geodesy) ในการศึกษาทางยีออเดซี่ได้อธิบายถึง “สัณฐานของโลก” ว่าประกอบด้วยพื้นผิว 3 ลักษณะ คือ พื้นผิวภูมิประเทศ (Topographic Surface) พื้นยีออยด์ (Geoid) และพื้นรูปทรงรี (Spheriod or Ellipsoid)

พื้นผิวภูมิประเทศ (Topographic Surface) เป็นพื้นผิวทางกายภาพที่เป็นจริงบนพื้นผิวโลก ทั้งส่วนที่เป็นพื้นดินและพื้นน้ำ ซึ่งการสำรวจรังวัดจะกระทำบนพื้นผิวนี้ แต่พื้นผิวนี้ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน จึงไม่สามารถใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้

พื้นยีออยด์ (Geoid) เป็นพื้นผิวที่มีค่าศักยภาพความโน้มถ่วงเท่ากันทุกแห่ง อาจกล่าวได้ว่ามีขนาดและพื้นผิวใกล้เคียงกับพื้นผิวของระดับทะเลปานกลางมากที่สุด เนื่องจากความหนาแน่นของมวลสารภายใต้พื้นผิวโลกไม่เท่ากัน พื้นยีออยด์จึงมีรูปร่างพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ และไม่สามารถแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายๆ ได้

พื้นรูปทรงรี (Spheriod or Ellipsoid) เกิดจากการหมุนของวงรีรอบแกนสั้น ตามลักษณะการหมุนของโลก มีลักษณะใกล้เคียงกับสัณฐานของโลก โดยมีการยุบที่บริเวณขั้วโลกพื้นรูปทรงรี จะใช้เป็นพื้นหลักฐานอ้างอิง ในการคำนวณเพื่อหาระยะและตำแหน่งบนผิวโลกที่เป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนั้นตำแหน่งบนผิวโลกที่ได้จากการคำนวณจะถูกต้องหรือใกล้เคียงความจริงมากที่สุด เมื่อพื้นผิวของรูปทรงรีที่ใช้ในการคำนวณมีความใกล้เคียงหรือทาบทับกับพื้นผิวยีออยด์มากที่สุด (Best fitting) แต่เนื่องจากลักษณะรูปร่างของจีออยด์แต่ละพื้นที่แตกต่างกัน จึงมีการกำหนดรูปทรงรีขึ้นมาใช้มากมายหลายขนาด เพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่นั้น ๆ ในส่วนของประเทศไทยนั้น โดยกรมแผนที่ทหารได้กำหนดให้ใช้พื้นหลักฐานท้องถิ่น (Local datum) ชื่อว่า อินเดียน 1975 (2518) (กรมแผนที่ทหาร, 2558)

พื้นหลักฐานอินเดียน 1975 (Indian Datum 1975) เป็นพื้นหลักฐานอ้างอิงในการคำนวณงานทางด้านยีออเดติก (Geodatic) ของประเทศไทย ซึ่งการวางโครงข่ายเพื่อหาค่าพิกัดทางราบจะอาศัยวิธีงานข่ายสามเหลี่ยม ค่าพิกัดที่รังวัดมาได้จะถูกคำนวณลงบนรูปทรงรีเอเวอเรสต์ และประเทศไทยได้ใช้พื้นหลักฐานอินเดียน 1975 ในการทำแผนที่ภูมิประเทศชุด L7017

พื้นหลักฐาน WGS84 (World Geodetic System 1984) เป็นพื้นหลักฐานอ้างอิงที่ใช้เทคนิคการสำรวจด้วยระบบดาวเทียม GPS (Global Positioninf System) ซึ่งใช้หลักฐานสากลที่ทำให้สามารถอ้างอิงได้ทั่วโลก ค่าพิกัดที่ที่รังวัดมาได้จะถูกคำนวณลงบนรูปทรงรี (Spheriod or Ellipsoid) พื้นหลักฐานอ้างอิง และระบบพิกัดที่ประเทศไทยใช้ในงานแผนที่มี ดังนี้

1. WGS 1984 หรือ World Geodetic System 1984
2. Indian 1975 หรือ Indian Datum 1975

ดังนั้นระบบพิกัดแผนที่เมื่อต้องเลือกหมุดหลักฐานด้วย มีทั้งหมด 6 แบบ

1. WGS 84 / Geographic
2. WGS 84 / UTM Zone 47
3. WGS 84 / UTM Zone 84
4. Indian 1975 / Geographic
5. Indian 1975 / UTM Zone 47
6. Indian 1975 / UTM Zone 84

มาตรฐานรหัสพื้นหลักฐานแผนที่ (Map datum) และการฉายแผนที่ (Map projection) ตามมาตรฐาน European Petroleum Survey Group (EPSG) ปัจจุบันชื่อว่าThe OGP Surveying and Positioning Committee มาตรฐานนี้เป็นที่ยอมรับมาตรฐานนานาชาติ ISO และมาตรฐานวิชาชีพ OGC (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2557)

1. WGS84 Geographic Coordinate System. EPSG : 4326
2. WGS84 UTM Zone 47N EPSG : 32647
3. WGS84 UTM Zone 48N EPSG : 32648
4. Indian Datum 1975 Geographic Coordinate System. EPSG : 4240
5. Indian Datum 1975 UTM Zone 47N EPSG : 24047
6. Indian Datum 1975 UTM Zone 48N EPSG : 24048

2.10.5 การแปลงค่าพื้นหลักฐานอ้างอิง Indian1975 เป็น พื้นหลักฐานอ้างอิง WGS84

แผนที่ภาพที่จัดทำขึ้นในพื้นหลักฐานแผนที่เดิมของประเทศไทย เช่น พื้นหลักฐานอินเดียน 1975 สามารถแปลงพื้นหลักฐาน WGS 84 ได้โดยใช้ทฤษฎีของ Melodenski โดยที่จะต้องมีพารามิเตอร์การแปลงพื้นหลักฐาน อย่างย่อ 3 ค่า หรือ ครบถ้วนทั้ง 7 ค่าค่าพารามิเตอร์การแปลงในประเทศไทยสำหรับการแปลงพื้นหลักฐานที่นิยมใช้ มีให้เลือกใช้ 2 ชุดคือ

1. ค่าตามประกาศของกรมแผนที่ทหารเดิม

   ΔX = -206 m., ΔY = -837 m., ΔZ = -295 m.

2. ค่าตามประกาศของกรมแผนที่ทหารใหม่ 1 และกรมที่ดิน 2 รับไปใช้

   ΔX = -204.5 m, ΔY = -837.9 m, ΔZ = -294.8 m.

([1] กรมแผนที่ทหาร (2551) ประกาศกรมแผนที่ทหาร เรื่องค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการแปลงพื้นหลักฐาน วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2551

([2] ศูนย์ข้อมูลแปลงที่ดินแห่งชาติ กรมที่ดิน (2551) กมร. 102-2551 มาตรฐานพื้นหลักฐาน , โปรดอ่านคำประกาศเพิ่มเติม กรมแผนที่ทหาร ขอแก้ไขมาตรฐานระวางแผนที่และแผนที่รูปแปลงที่ดินในที่ดินของรัฐ (กมร.) (ตามหนังสือกรมแผนที่ทหาร ด่วนมาก ที่ กห 0313/464 ลงวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2552) (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2557)

2.11 โปรแกรม ArcGIS เบื้องต้น

ภูมิสารสนเทศ เป็นวิทยาศาสตร์ที่บูรณาการเทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกล ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก เพื่อศึกษาเกี่ยวกับสิ่งต่าง ๆ ที่ปรากฏบนพื้นผิวโลก ประกอบด้วยการนำเข้า จัดเก็บ ประมวลผล วิเคราะห์ แก้ไข และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งในกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้จะกระทำผ่านโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งโปรแกรมประยุกต์แบ่งออกเป็นโปรแกรมประยุกต์ด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น โปรแกรม MapInfo โปรแกรม ArcGIS โปรแกรม SuperMap โปรแกรม QIGS เป็นต้น โปรแกรมประยุกต์ด้านการสำรวจจากระยะไกล เช่น โปรแกรม Erdas โปรแกรม ENVI และโปรแกรม PCI เป็นต้น

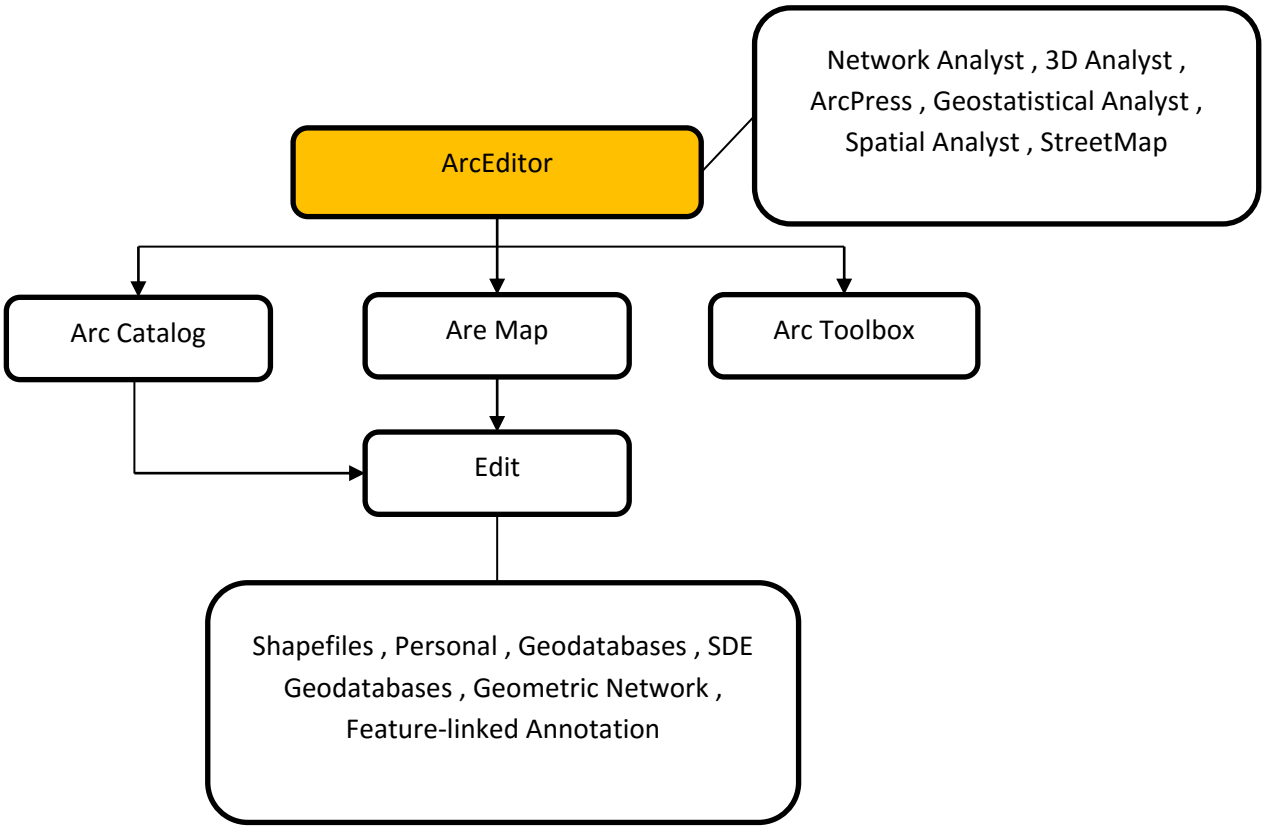
2.11.1 องค์ประกอบของ ArcGIS

โปรแกรม ArcGIS เป็นชุดโปรแกรมประยุกต์ด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัท ESRI เป็นโปรแกรมประยุกต์ที่มีประสิทธิภาพสูง โปรแกรมได้ถูกพัฒนาให้มีเมนูที่หลากหลายและครอบคลุม นอกจากนี้โปรแกรมยังมีองค์ประกอบการใช้งานหลายระดับ ดังนี้

โปรแกรม ArcGIS จะมีอยู่สองรูปแบบ คือ โปรแกรมสำหรับเครื่อง PC หรือเรียกว่า ArcGIS Desktop และโปรแกรมสำหรับ Server เรียกว่า ArcGIS Server ซึ่ง ArcGIS Desktop จะมีระดับการใช้งาน 3 ระดับ ได้แก่ ArcView, ArcEditor และ ArcInfo ทั้ง 3 ระดับจะมีเครื่องมือหลักในการใช้งานพื้นฐานอีก 3 โปรแกรมหลัก ได้แก่ ArcMap, ArcCatalog และ ArcToolbox (สุเพชร จิรขจรกุล. 2549 : คำนำ) เพื่อการนำเข้า แก้ไขวิเคราะห์ และแสดงผลแผนที่ นอกจากนี้ยังมีชุดโปรแกรม ArcSDE และ Enterprise Database เพื่อการจัดการระบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ และชุดโปรแกรม ArcIMS เพื่อการให้บริการแผนที่ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ซึ่งชุดโปรแกรมที่ใช้งานบ่อย ๆ เป็นชุดโปรแกรมของ ArcGIS Desktop ได้แก่ ArcView, ArcEditor และ ArcInfo มีรายละเอียดดังนี้

1. ชุดโปรแกรม ArcEditor เป็น ArcGIS ขนาดกลาง ซึ่งมีฟังก์ชั่นของ ArcView ทั้งหมด โดยถูกออกแบบมาสำหรับองค์กรที่เป็น enterprise GIS ตามชื่อของมันซึ่งมีความสามารถในการปรับแก้ข้อมูลใน enterprise GIS ตัวอย่างเช่น ภายใต้ระบบซึ่งมี ArcInfo 8.1 และ ArcSDE

8.1 ทำงานเป็นแกนด้วยการจัดการระบบแบบ RDBMS จะมีผู้ใช้บางคนปรับแก้ข้อมูลได้โดยอาศัย ArcEditor และมีผู้ใช้บางคนกำลังเรียกดูข้อมูล หรือสืบค้นข้อมูลโดยใช้ ArcView 8 ทำไปพร้อม ๆ กันได้



รูปที่ 2.8 แผนผังชุดโปรแกรม ArcEditor

2. ชุดโปรแกรม ArcInfo มีความสามารถสูงสุดใน ArcGIS ซึ่งมีฟังก์ชั่นทั้งหมดของ Arcview และ ArcEditor รวมทั้งยังมี ArcToolbox ครบสมบูรณ์ และ ArcInfo Workstation ซึ่งประกอบด้วย (ARC, ArcEdit, ArcPlot, AML, and all extensions) ซึ่ง ArcInfo เป็นโปรแกรมทาง GIS ที่ครบสมบูรณ์ได้แก่ การสร้าง ปรับแก้ สืบค้น การสร้างแผนที่ และการวิเคราะห์ข้อมูล โปรแกรม ArcInfo สามารถใช้งานฟังก์ชั่นการวิเคราะห์ข้อมูลได้ครบสมบูรณ์ รวมทั้งสามารถประยุกต์การทำงานกับโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ เนื่องจากโปรแกรม ArcMap สร้างขึ้นมาจากเทคโนโลยี COM (Component Object Model) ทำให้สามารถแจกจ่าย objects ให้โดยการกำหนดกฎเกณฑ์ และพฤติกรรมของ Objects

3. ชุดโปรแกรม ArcView มีความสามารถในการเรียกดูข้อมูล (Data visualization) สืบค้นข้อมูล (Query) วิเคราะห์ (Analysis) และสร้างแผนที่ (Map creation) โดยมีเครื่องมือสำหรับสำรวจดูข้อมูล (Exploring) เลือกบริเวณที่สนใจ (Selecting) แสดงผล (Displaying) ปรับแก้ข้อมูล (Editing) วิเคราะห์ (Analyzing) ให้สัญลักษณ์ (Symbolizing) และจำแนกชั้นข้อมูล (Classifying data) รวมทั้งสามารถสร้าง ปรับแก้ และจัดการ metadata โครงสร้างของโปรแกรม ArcView ประกอบด้วย ArcMap, ArcCatalog และ ArcToolbox.

2.11.2 โปรแกรมชุด ArcMap, ArcCatalog และ ArcToolbox

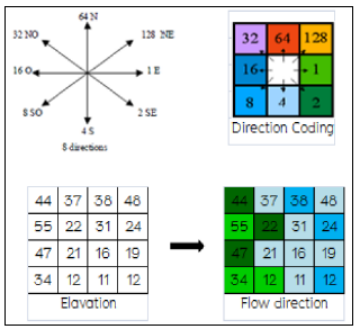
1. ArcMap เป็นโปรแกรมสำหรับแสดงภาพ แก้ไขข้อมูลเชิงพื้นที่ สร้างแผนที่ กราฟ และรายงาน ข้อมูล GIS จะแสดงบนแผนที่เรียกว่าชั้นข้อมูล (Layer) ซึ่งจะมีกล่อง Table of Content (TOC) สำหรับแสดงรายการของชั้นข้อมูลบนแผนที่ ซึ่งปรกติกล่อง TOC จะอยู่ด้ายซ้ายมือสุด แต่สามารถเคลื่อนย้ายไปอยู่ตำแหน่งอื่น ๆ ได้ตามต้องการ ชั้นข้อมูลใน TOC ปกติจะแสดงชั้นข้อมูลเวกเตอร์ประกอบด้วยจุด เส้น พื้นที่ ก่อน และชั้นข้อมูลราสเตอร์เป็นลำดับสุดท้าย แต่เราสามารถสลับตำแหน่งตามการใช้งานได้
2. ArcCatalog เป็นโปรแกรมที่ใช้เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล ซึ่งความสามารถของ ArcCatalog คือ สามารถเลือกเส้นทางข้อมูล (Browse) ดูโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูล (Organize) จัดการข้อมูล ในส่วนของการลบ คัดลอก และการเปลี่ยนแปลงชื่อของชั้นข้อมูล สร้างข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในรูปแบบ Shape file จัดทำส่วนอธิบายข้อมูลหรือ Metadata ในการบอกถึงคุณลักษณะของข้อมูล และโครงสร้างการจัดเก็บชั้นข้อมูลแผนที่ที่มีอยู่ได้
3. ArcToolbox เป็นโปรแกรมส่วนที่เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล GIS ขั้นสูง เช่น การประมาณค่าด้วยวิธีต่าง ๆ (Interpolation) การวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analysis) การแปลงระบบพิกัด (Projection Tranformation) หรือแปลงประเภทข้อมูลประเภทต่าง ๆ (Conversion) เป็นต้น ArcToolbox เป็นการทำงานแบบ Drag and Drop ทำให้สามารถลากข้อมูลจาก ArcCatalog ไปยัง ArcToolbox ได้

(โครงงานฝึกอบรบด้านภูมิสารสนเทศสารสนเทศ ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมพัฒนาที่ดิน,ม.ป.ป.)

2.12 หลักการวิเคราะห์แบบจำลองอุทกวิทยา

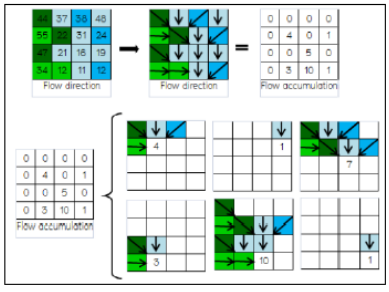
ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา คือ DEM (Digital Elevation Model) แบบจำลองเส้นชั้นความสูงเชิงตัวเลขชนิด “ราสเตอร์” ซึ่งสามารถแสดงเซลล์ความสูงของพื้นที่ การที่จะเริ่มดำเนินการในขั้นตอนการนำ DEM มาใช้วิเคราะห์ต่อ หลักการดำเนินการแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ทิศทางการไหล (Flow direction) เป็นทิศทางการไหลของน้ำจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยรอบ 8 ทิศทาง ตาม direction coding ดังรูป โดยแต่ละ pixel จะทำการเชื่อมต่อกับอีก pixel ซึ่งเป็นตำแหน่งใกล้เคียงที่ต่ำที่สุดที่โดยกำหนดค่าของทิศทางการไหลในแนวแกนตั้งฉากเป็น 1,4,16 และ 64 สำหรับทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตก และทิศเหนือ ส่วนค่าของทิศทางการไหลในแนวแกนเอียง 45 องศา 2,8,32 และ 128 สำหรับทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 การวิเคราะห์ Flow direction

2. การไหลสะสม (Flow accumulation) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ต่อเนื่องจากขั้นตอน Flow direction โดย cell ที่มีการไหลสะสมสูงก็จะถูกกำหนดให้เป็นช่องทางการไหล ดังรูป



รูปที่ 2.10 การวิเคราะห์ Flow accumulation

3. การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำ (Watershed delineation) เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องมาจากการหาทิศทางการไหลโดยเริ่มจากการเชื่อมกริดของข้อมูล DEM เพื่อคำนวณกริดของทิศ

ทางการไหล (Flow direction) แล้วประมวลผลรวมหน่วยการไหลสะสมของจำนวนหน่วยข้อมูลที่ไหลจากพื้นที่ที่อยู่สูงกว่าการลากเส้นแนวลำน้ำโดยกำหนดจากผลรวมหน่วยการไหลสะสมที่มากที่สุดแต่ไม่น้อยกว่าขอบเขตการไหลสะสม และเส้นพื้นที่ลุ่มน้ำกำหนดจากหน่วยข้อมูลที่ทำการระบายน้ำผ่านหน่วยข้อมูลดังกล่าว

ที่มา : (GIS [Geographic Information System]

http://databasegis.blogspot.com/2014/02/hydrological-model-analysis.html

บทที่ 3

ข้อมูล อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

3.1 ข้อมูล และ อุปกรณ์

ข้อมูลและอุปกรณ์ที่ใช้ศึกษา สรุปไว้ในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

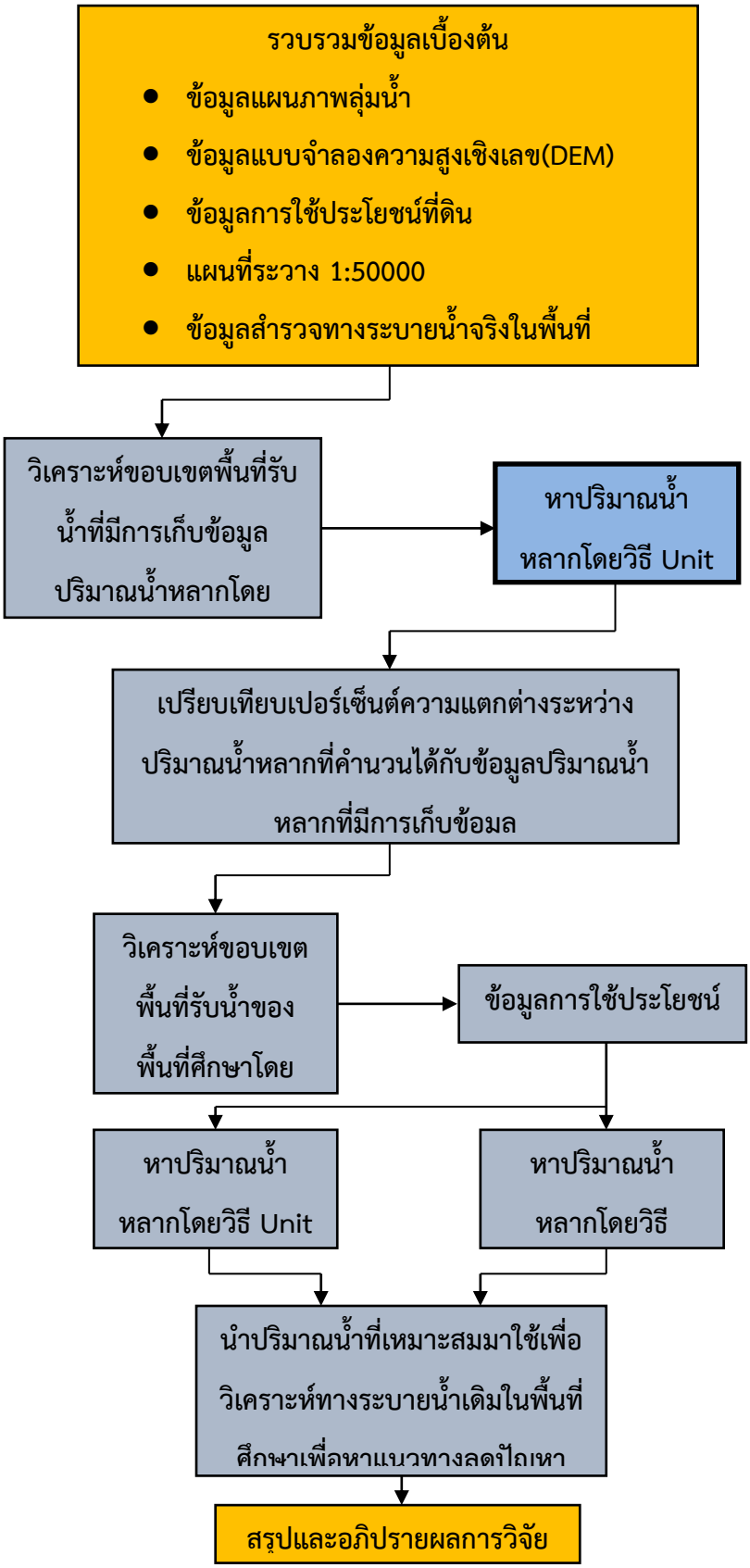
ประเภทข้อมูล	การใช้งาน	แหล่งที่มา
Shape file 25 Basin Thailand	ข้อมูลนำเข้าใน Arc map	กรมชลประทาน
Land use 2552-2553	ข้อมูลนำเข้าใน Arc map	กรมพัฒนาที่ดิน
แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM)	ข้อมูลนำเข้าใน Arc map	สำนักสำรวจและจัดทำแผนที่ กรมพัฒนาที่ดิน
ข้อมูลทางอุทกวิทยา ปริมาณน้ำฝนรายวัน	ข้อมูลนำเข้าวิเคราะห์ Hydrograph	กรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

อุปกรณ์	การใช้งาน	แหล่งที่มา
Arc GIS 10.4.1	เพื่อปฏิบัติการโปรแกรม Arc Map	http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/free-trial
Arc Map	วิเคราะข้อมูลทาง กายภาพ ของลุ่มน้ำ	http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop/free-trial

3.2 วิธีการศึกษา

ในการศึกษาหาปริมาณน้ำหลากโดยการอาศัยโปรแกรม Arc GIS จะใช้ในส่วนของ Arc map ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ เพื่อนำข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ เช่น พื้นที่ ความสูง ความยาวลำน้ำ มาประกอบกับข้อมูลพารามิเตอร์ของลุ่มน้ำที่ได้มีการศึกษานำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากของพื้นที่ที่มีการวัดปริมาณน้ำหลากจริงของลุ่มน้ำใกล้เคียง มาเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำหลากที่คำนวณได้ เพื่อประเมินความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ลุ่มน้ำที่นำมาใช้ จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาใช้วิเคราะห์ประกอบกับข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา เพื่อหาปริมาณน้ำหลาก และหาแนวทางแก้ไข เสนอแผนการจัดการกับปริมาณน้ำหลากในพื้นที่ เขตอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย มีขั้นตอนการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1. การรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น

1. ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ที่ได้มีการจัดทำเป็นฐานข้อมูลในรูปแบบของเวคเตอร์และราสเตอร์ เพื่อนำมาใช้ร่วมกับโปรแกรม Arc map 10.4.1 โดยใช้ข้อมูลดังต่อไปนี้

   - ข้อมูลแผนภาพลุ่มน้ำ ในรูปแบบไฟล์ AutoCAD Shape Source (.shp)

   - ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) (.gdb)

   - ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2552-2553 AutoCAD Shape Source (.shp)

   - แผนภาพระวาง 1:50000 AUX File (.aux), TIFF image (.tif), RRD File (.rrd)

2. ชุดข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

   - ปริมาณฝนรายวันสูงสุด

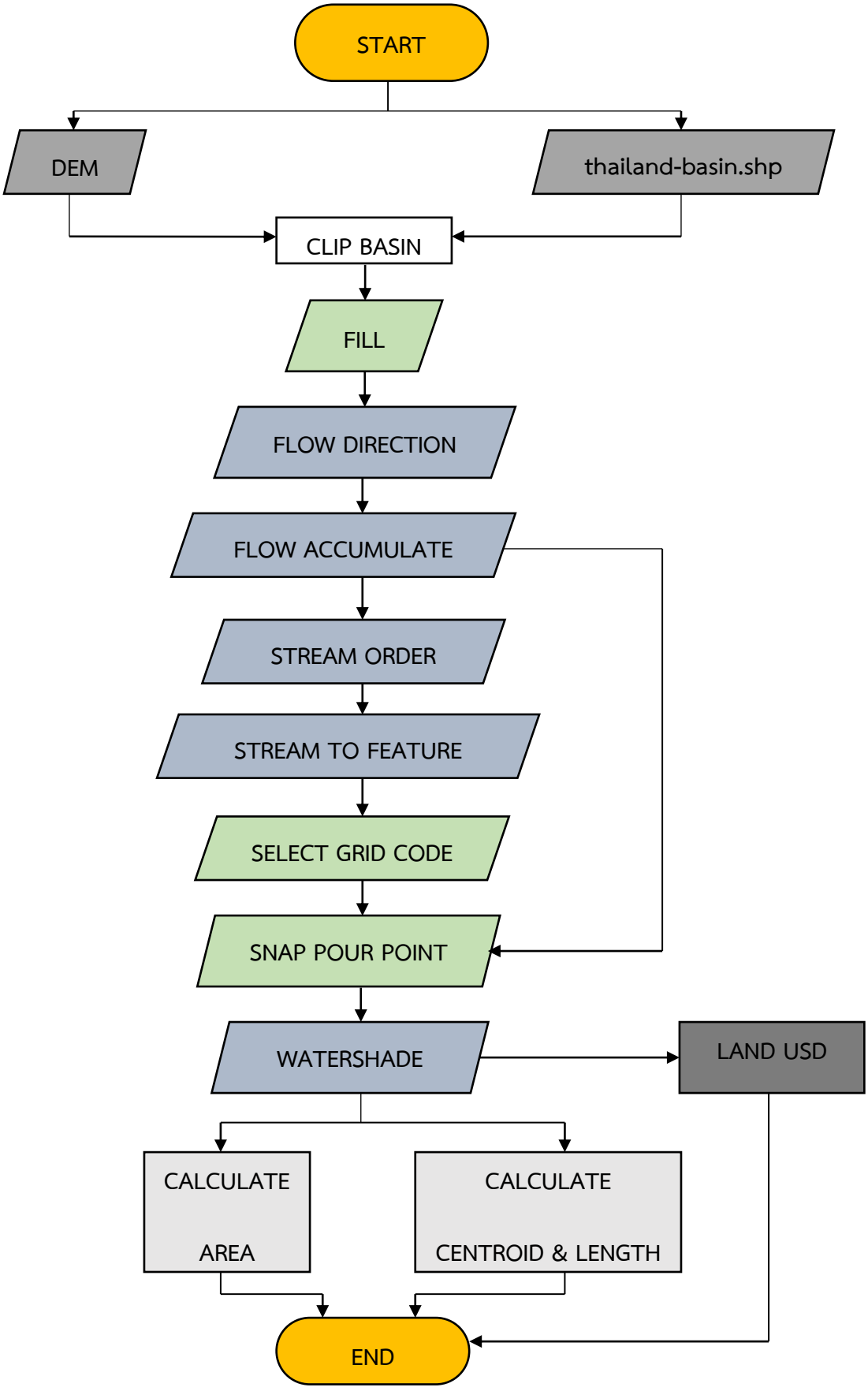
3.2.2. วิธีการวิเคราะห์และหาข้อมูลทางกายภาพลุ่มน้ำ

หลักการวิเคราะห์ขอบเขตลุ่มน้ำหรือพื้นที่รับน้ำจะพิจารณาจากสันปันน้ำ โดยเส้นสันเขาหรือเส้นสันปันน้ำที่น้ำไปใช้ในการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ามี 2 แบบได้แก่ Topographic divide หรือ Surface divide และPhreatic divide หรือ Sup-surface divide หรือ Ground water divide การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำที่ถูกต้องจะต้องให้ Topographic divide ทับ กับ Phreatic divide โดยการวิเคราะห์ทางอุทกศาสตร์จะดำเนินการโดยใช้ชุดเครื่องมือในคำสั่งเสริม Spatial Analyst Extension ในชุดเครื่องนี้ ใช้สร้างแบบจำลองการไหลของน้ำบนพื้นผิวผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าทิศทางการไหลของน้ำ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน อาทิ การวางแผนการจัดการน้ำ การเกษตรกรรม และป่าไม้ แบบจำลองอุทกวิทยา

การกำหนดขอบเขตและพื้นที่รับน้ำโดยทั่วไปจะทำโดยการหาข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ด้านความสูงต่ำจะเป็นตัวกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำ โดยโปรแกรม ArcMap จะทำงานร่วมกับ Shape file และ layer file แบบจำลองเชิงเลข DEM มาใช้วิเคราะห์หาขอบเขตและพื้นที่รับน้ำได้ง่ายและ

รวดเร็ว สามารถหาปริมาณทางตัวเลขที่ต้องการเพื่อช่วยในการคำนวณต่าง ๆ ได้แม่นยำในระดับหนึ่ง ดังนั้นความแม่นยำของคำตอบจึงขึ้นอยู่กับข้อมูลที่นำเข้าด้วย

การวิเคราะห์และหาข้อมูลทางทางกายภาพของลุ่มน้ำโดยใช้โปรแกรม ArcGIS 10.4.1 โดยใช้ส่วนของ ArcMap เป็นตัวเชื่อมการทำงานกับแบบจำลองความสูงเชิงเลข DEM (Digital Elevtion model) เพื่อช่วยหาขอบเขตและเส้นทางการไหลของลุ่มน้ำ และหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหลากตามขั้นตอนการวิเคราะห์ขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์ขอบเขตและขนาดของพื้นที่รับน้ำด้วยโปรแกรม ArcGIS

3.2.3. ขั้นตอนการวิเคราะห์การหาขอบเขตและพื้นที่รับน้ำด้วยโปรแกรม ArcMap

ดูภาคผนวก ก

3.3. ขั้นตอนออกแบบกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph)

1. วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ หาขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำตามแนวสันปันน้ำ (A)
2. วัดค่าความยาวลำน้ำสายหลักซึ่งต่อแนวไปจนถึงจุดที่สูงที่สุดบนสันปันน้ำ (L)
3. หาจุดศูนย์ถ่วงหรือจุดศูนย์กลางของลุ่มน้ำ วัดความยาวลำน้ำจากจุดที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำมากที่สุดถึงจุดออกของลำน้ำ (Lc)
4. คำนวณค่าความชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก (S)
5. สร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเกิดปริมาณการไหลสูงสุด (Tp) ดังสมการ $t_p = a \quad (LL_c / \sqrt{S})^b$ และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณในการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝน (Qp) ดังสมการ $q_p / A = c\,(t_p)^d$ *โดย a , b , c และ d คือค่าคงที่ของแต่ละลุ่มน้ำ (กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2552)
6. สร้างตารางคำนวณ อัตราส่วน t/t_p และ q/q_p (กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2552)
7. คำนวณค่าเวลา (t) โดยนำค่า t_p ที่คำนวณได้ตามข้อ 5 คูณกับ อัตราส่วน t/t_p ตามข้อ 3.3.6
8. คำนวณปริมาณการไหล (q) โดยนำค่า q_p ที่คำนวณได้ตามข้อ 5 คูณกับ อัตราส่วน q / q_p ตามข้อ 6
9. คำนวณช่วงเวลา time interval (Δt)
10. รวมค่าปริมาณการไหล $\sum q$ ที่คำนวณได้ตามข้อ 8
11. ปรับแก้ค่า K ตามสมการ $(\sum q \times \Delta t \times 3{,}600 \times 100) / (A \times 1{,}000 \times 1{,}000)$
12. คำนวณค่าปรับแก้ ปริมาณการไหล (q) โดยนำค่า q/K
13. ตรวจสอบค่า K ตามสมการโดยใช้ $\sum q$ ที่คำนวณค่าปรับแก้แล้วตามข้อ 11 $(\sum q \times \Delta t \times 3{,}600 \times 100) / (A \times 1{,}000 \times 1{,}000)$

14. สร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) ปริมาณในการไหลสูงสุด (q) ต่อเวลาการเกิดปริมาณการไหลสูงสุด (t)

3.4 ขั้นตอนวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุด (Design Flood Hydrograph)

การคำนวณออกแบบพายุฝน โดยใช้ทฤษฎีการแจกแจงความถี่ของกัมเบล (Gumbel Distribution) โดยใช้ข้อมูลฝนสูงสุดราย 1 วัน มาคำนวณกราฟแจกแจงความถี่ (Frequency Curve) จะได้ค่าฝนสูงสุดที่รอบปีต่าง ๆ เพื่อนำไปสร้างกราฟน้ำนอง (Flood Hydrograph)

1. เลือกใช้ข้อมูลฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลฝนสูงสุด 1 วัน ที่สถานี ในพื้นที่ลุ่มน้ำ หากไม่มีให้ใช้ข้อมูลตามสถานีที่ใกล้ที่สุด แล้วอ่านค่าความลึกของฝนตามรอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) ของฝนสูงสุด 1 วัน ในรอบ 5, 10, 25, 50 และ 100 ปี (ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน – ช่วงเวลา – ความถี่ฝน และเปอร์เซ็นต์การแผ่กระจาย ของปริมาณฝนสูงสุด 24 ชั่วโมง กรมชลประทาน 2544)
2. หาค่าเปอร์เซ็นต์การกระจายของฝน (RF) ที่เวลา 7 ชั่วโมง (ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน – ช่วงเวลา – ความถี่ฝน และเปอร์เซ็นต์การแผ่กระจาย ของปริมาณฝนสูงสุด 24 ชั่วโมง กรมชลประทาน 2544)
3. หาค่าเปอร์เซ็นต์ฝนสูงสุด 1 วันตามช่วงเวลาตามที่ได้คำนวณได้ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า
4. นำเปอร์เซ็นต์ของฝนที่เวลา 7 ชั่วโมง ข้อ 2 คูณค่าเปอร์เซ็นต์ฝนสูงสุด 1 วัน ข้อ 3 หารด้วย 100 จะได้เปอร์เซ็นต์การแผ่กระจายของฝน (RF)
5. คำนวณแฟกเตอร์ลดความลึกของฝน ตามขนาดพื้นที่รับน้ำฝน และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำฝน (rainfall loss rate) กรณีฝนปกติ(CO) สามมารถหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณฝนการ ตามสมการ CO = 0.2343 RF + 3.4343 (ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน – ช่วงเวลา – ความถี่ฝน และเปอร์เซ็นต์การแผ่กระจาย ของปริมาณฝนสูงสุด 24 ชั่วโมง กรมชลประทาน 2544)
6. คำนวณหาปริมาณฝน (RE) โดยนำเปอร์เซ็นต์การแผ่กระจายของฝน (RF) ตามข้อ 4 คูณกับค่าสัมประสิทธิ์การเกิดน้ำท่า (CO_2) แล้วหารด้วย 100

3.5 ขั้นตอนการกระจายของฝนสูงสุดตามช่วงเวลาของพายุฝนตามรอบปีการเกิดซ้ำ (T_r)

1. เลือกเวลาที่คำนวณได้ตามสมการ $t_r = t_p / 5.5$ (กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2552)
2. หาค่าเปอร์เซ็นต์การกระจายของฝน (RF) ตามช่วงเวลาต่าง ๆ ที่คำนวณได้ตามข้อ 1 (ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน – ช่วงเวลา – ความถี่ฝน และเปอร์เซ็นต์การแผ่กระจาย ของปริมาณฝนสูงสุด 24 ชั่วโมง กรมชลประทาน 2544)
3. คำนวณเปอร์เซ็นต์การกระจายฝนสูงสุดตามรอบปีการเกิดซ้ำ (RE) โดยนำปริมาณฝน (RE)ตามข้อ 3.4-6 คูณกับค่าเปอร์เซ็นต์การกระจายของฝน (RF) ตามข้อ 2 แล้วหารด้วย 100
4. สร้างกราฟน้ำนองสูงสุดตามรอบปีการเกิดซ้ำที่ 5 , 10 , 25 , 50 และ 100 ปี

ตารางที่ 3.3 แสดงกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไม่มีหน่วย ของสถานีวัดน้ำ Y.26 บ้านน้ำพุ อ.เถิน จ.ลำปาง

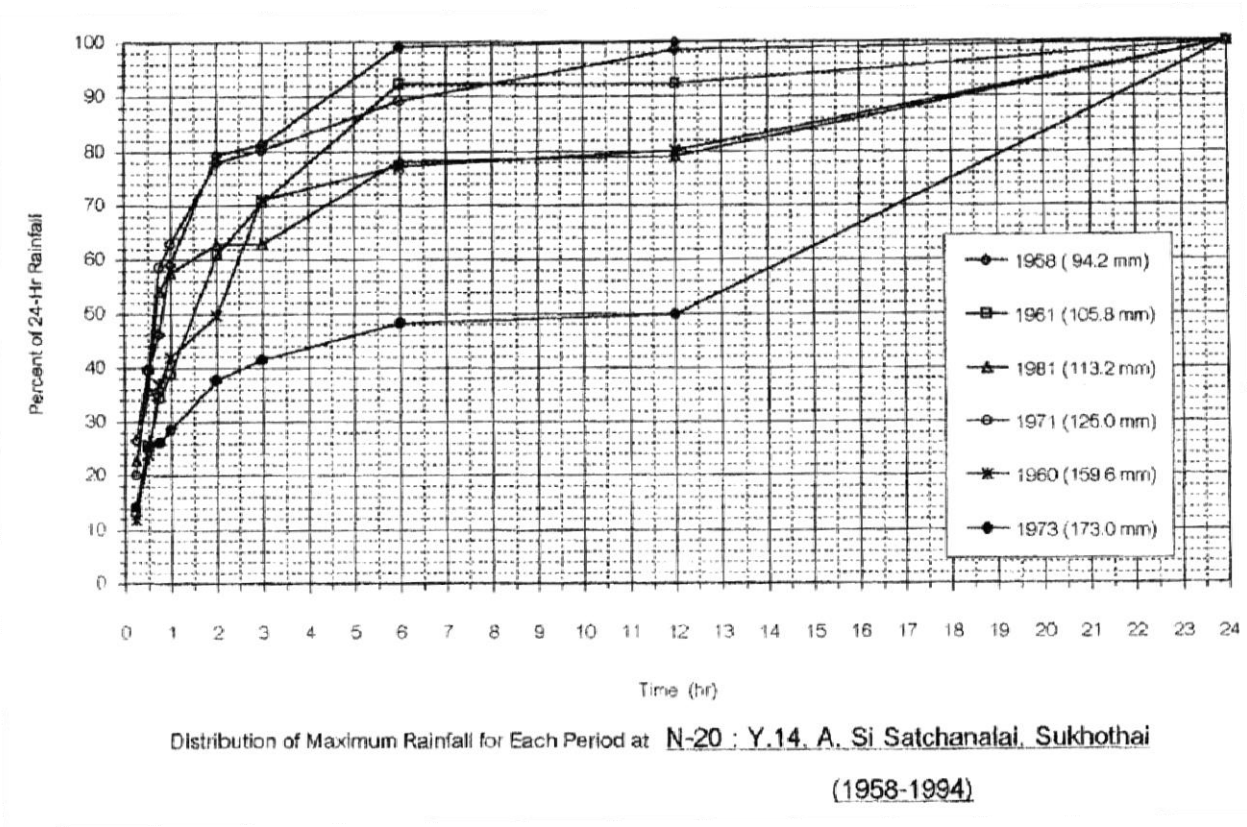
Station Y.26 Dimensionless			
T/T_p	Q/Q_p	T/T_p	Q/Q_p
0.0	0.000	2.8	0.122
0.2	0.179	3.0	0.059
0.4	0.398	3.2	0.040
0.6	0.697	3.4	0.040
0.8	0.878	3.6	0.027
1.0	1.000	3.8	0.019
1.2	0.914	4.0	0.012
1.4	0.811	4.2	0.008
1.6	0.675	4.4	0.005
1.8	0.544	4.6	0.003
2.0	0.417	4.8	0.002
2.2	0.320	5.0	0.001
2.4	0.234	5.2	0.000
2.6	0.170		

ที่มา : กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2552

ตารางที่ 3.4 เปอร์เซ็นต์ฝนสูงสุด

Time	Rainfall Amount (mm.)								
(hr.)	2 year	5 year	10 year	25 year	50 year	100 year	200 year	500 year	1,000 year
0.25	23.1	28.0	31.2	35.4	38.4	41.4	44.4	48.4	51.4
0.5	35.6	45.0	51.2	59.1	64.9	70.7	76.5	84.1	89.8
0.75	43.1	56.8	65.9	77.5	86.0	94.5	102.9	114.1	122.5
1	46.2	61.6	71.9	84.8	94.3	103.9	113.3	125.8	135.3
2	52.8	69.5	80.6	94.6	105.0	115.3	125.4	139.1	149.4
3	57.3	77.2	90.4	107.0	119.4	131.7	143.9	160.0	172.2
6	63.2	85.4	100.2	118.9	132.7	146.4	160.1	178.2	191.8
12	68.8	93.1	109.2	129.6	144.7	159.7	174.6	194.4	209.3
24	76.8	115.4	140.9	173.2	197.1	220.9	224.5	275.8	299.4

ที่มา : ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน – ช่วงเวลา – ความถี่ฝน และเปอร์เซ็นต์การแผ่กระจายของปริมาณฝนสูงสุด 24 ชั่วโมง กรมชลประทาน 2544



รูปที่ 3.3 เปอร์เซ็นต์การกระจายของฝน สถานีวัดน้ำ Y.14

ที่มา : ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน – ช่วงเวลา – ความถี่ฝน และเปอร์เซ็นต์การแผ่กระจายของปริมาณฝนสูงสุด 24 ชั่วโมง กรมชลประทาน 2544

3.6 นำปริมาณน้ำสูงสุดมาใช้เพื่อวิเคราะห์ทางระบายน้ำเดิมในพื้นที่ศึกษาเพื่อหาแนวทางลดปัญหาทางอุทกภัยของพื้นที่

3.7 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

บทที่ 4

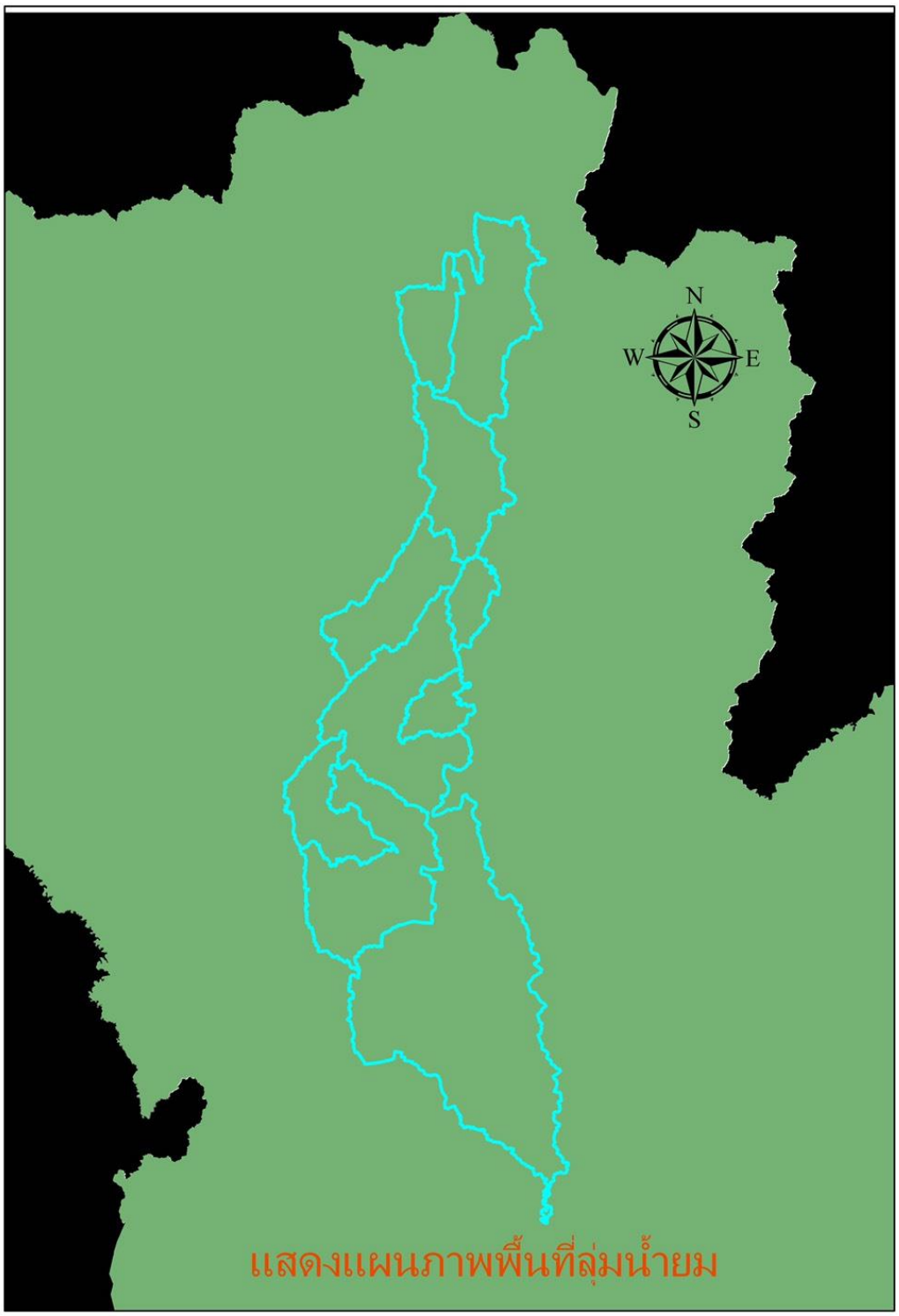
ผลการดำเนินการโครงการ

การดำเนินงานโครงงานการประยุกต์ใช้ข้อมูลสารสนเทศน์ภูมิศาสตร์เพื่อหาปริมาณน้ำหลากในเขตพื้นที่อุทยานเมืองเก่าจ.สุโขทัยโดยใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์หาข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่นำมาประกอบการคำนวนหาปริมาณน้ำหลากสูงสุด เพื่อหาแนวทางบรรเทาปัญหาที่เกิดจากอุทกภัยและ จัดการการระบายน้ำของพื้นที่ศึกษา มีผลการศึกษาอธิบายตามวิธีการศึกษาประกอบด้วย (1) การรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูล(2) การประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการหาปริมาณน้ำหลากของพื้นที่ลุ่มน้ำโดยวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหลากเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่มีการเก็บข้อมูลน้ำหลาก (3) การหาปริมาณน้ำหลากของพื้นที่ที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ศึกษา (4)การเสนอแนวทางการจัดการบริหารน้ำช่วงที่มีน้ำหลากในพื้นที่

4.1 ผลการรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูล

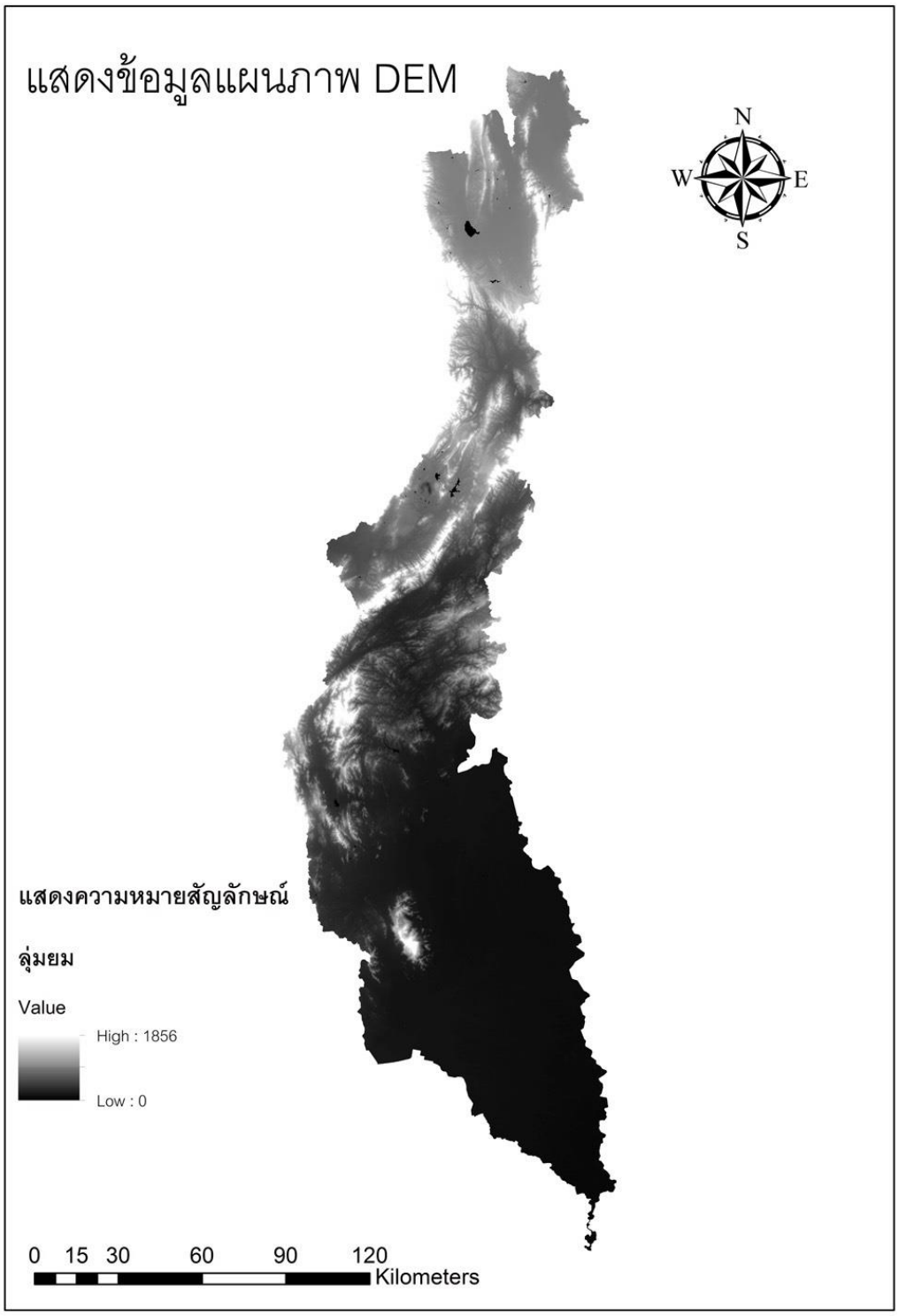
4.1.1 ข้อมูลแผนภาพลุ่มน้ำในประเทศไทย

แผนภาพแสดงพื้นที่ลุ่มน้ำที่ถูกจัดเก็บเป็นข้อมูลแบบ Vector ที่ประกอบเป็น Shape file (.shp) ในรูปแบบ Polygon อ้างอิงระบบ พิกัด UTM และ LAT/LONG



รูปที่ 4.1 แผนภาพลุ่มน้ำยม

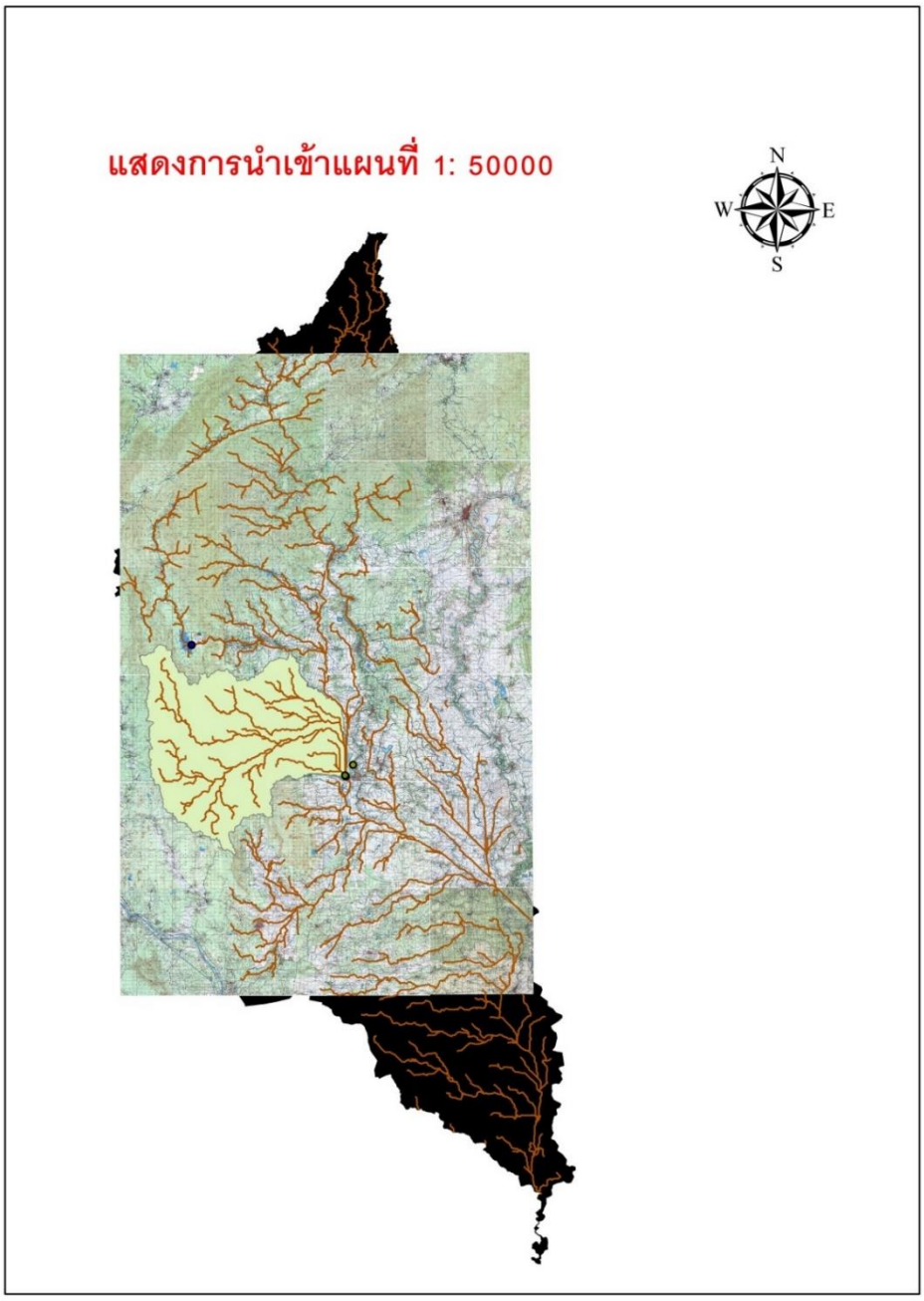
4.1.2 ข้อมูล DEM (แบบจำลองความสูงเชิงเลข)



รูปที่ 4.2 แสดงรูป DEM เมื่อนำเข้าในโปรแกรม ArcMap

4.1.3 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2552-2553 ภาคผนวก ง.4

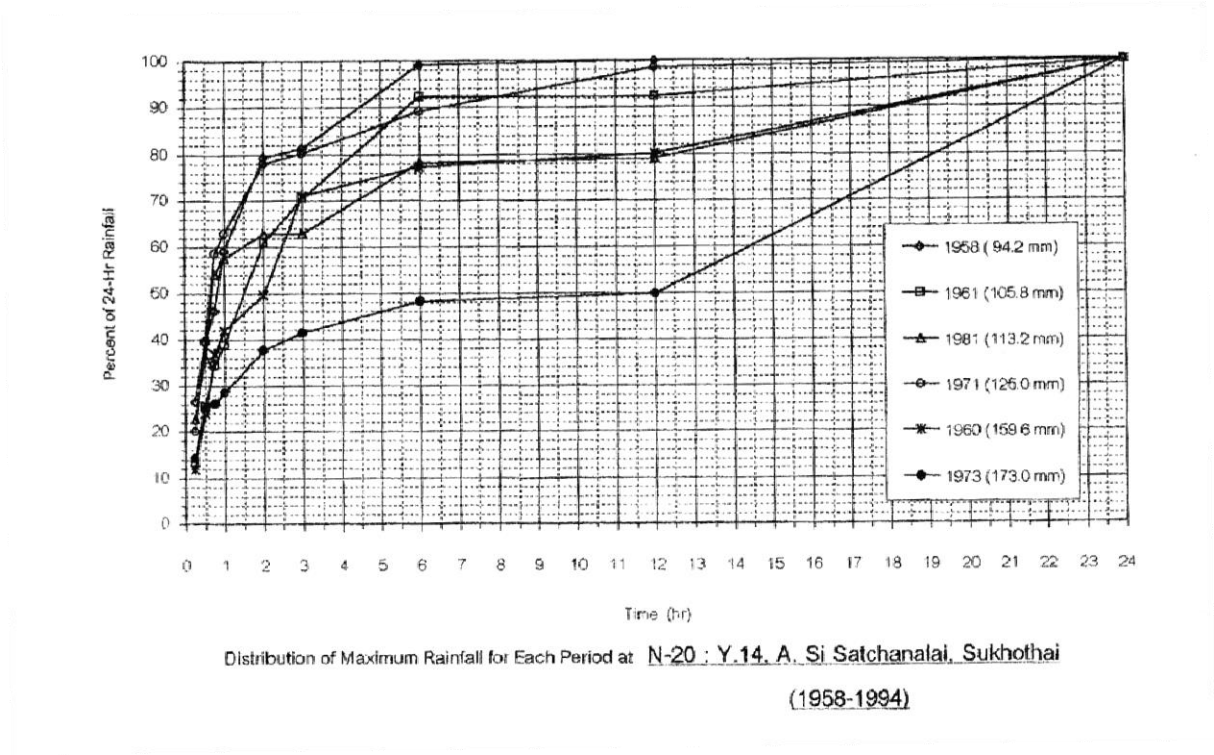
4.1.4 แผนที่ระวาง 1: 50000



รูปที่ 4.3 แสดงการนำเข้าแผนที่ 1: 50000

ที่มา : กรมแผนที่ทหาร

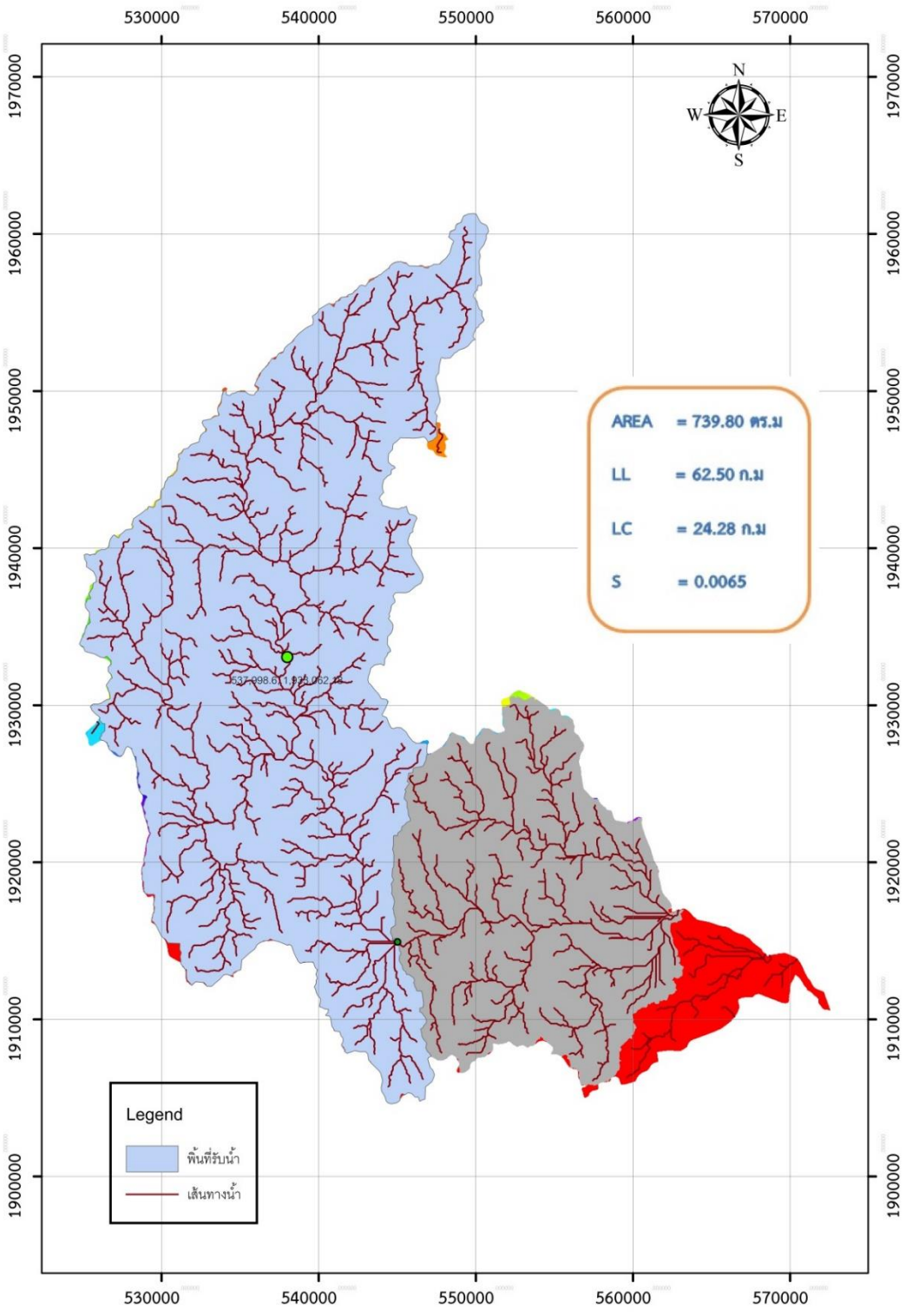
4.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน – ช่วงเวลา – ความถี่ฝน และเปอร์เซ็นต์การแผ่กระจาย ของปริมาณฝนสูงสุด 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน – ช่วงเวลา – ความถี่ฝน และเปอร์เซ็นต์การแผ่กระจายของปริมาณฝนสูงสุด 24 ชั่วโมง
ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2544

4.2 วิเคราะห์ขอบเขตพื้นที่รับน้ำที่มีการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำหลากโดย โปรแกรม Arc GIS

4.2.1 ผลการใช้โปรแกรมวิเคราะห์หาข้อมูลทางกายภาพของลุ่มน้ำแม่มอก



รูปที่ 4.5 แสดงข้อมูลทางกายภาพของลุ่มแม่มอก

จากการใช้โปรแกรมวิเคราะห์หาข้อมูลทางกายภาพของลุ่มน้ำแม่มอกที่ใช้ในการคำนานหาปริมาณน้ำหลาก พบว่า ลุ่มน้ำแม่มอกมีพื้นที่รับน้ำทั้งหมด Area = 739.80 ตารางกิโลเมตร ความยาวลำน้ำของแม่น้ำสายหลักจนถึงปลายทางออก L = 62.50 กม. ความยาวลำน้ำของลำน้ำหลักที่ออกจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่รับน้ำจนถึงปลายออก L_C = 24.28 กม. มีความลาดเทเฉลี่ยของแม่น้ำสายใหญ่ = 0.0054

หาค่า T_p จากสมการลุ่มน้ำยม (สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2552)

จากสมการที่ 2.1 $T_p = a (LL_c / \sqrt{S})^b$

จะได้ $T_p = 1.6375 (LL_c / \sqrt{S})^{0.2377}$

แทนค่า L , L_c

$T_p = 1.6375 ((62.50 \times 24.28) / \sqrt{0.0054})^{0.2377}$

$T_p = 17.70$ ชั่วโมง

จากสมการที่ 2.2 $Q_p / A = c (T_p)^d$

$Q_p = 739.80 \times 0.2385 \times 17.70^{-1.0291}$

$Q_p = 9.16$ ลบ.ม. / วินาที /ม.ม.

นำค่า T_p และ Q_p จากพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่คำนวณได้จากสมการทั้ง 2 นำไปประยุกต์กับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless) ดูภาคผนวก ง.1

ได้ปริมาณน้ำหลากสูงสุด = 76.109 ลบ.ม. / วินาที

ได้ปริมาณน้ำหลาก = 7.38 ล้าน ลบ.ม.

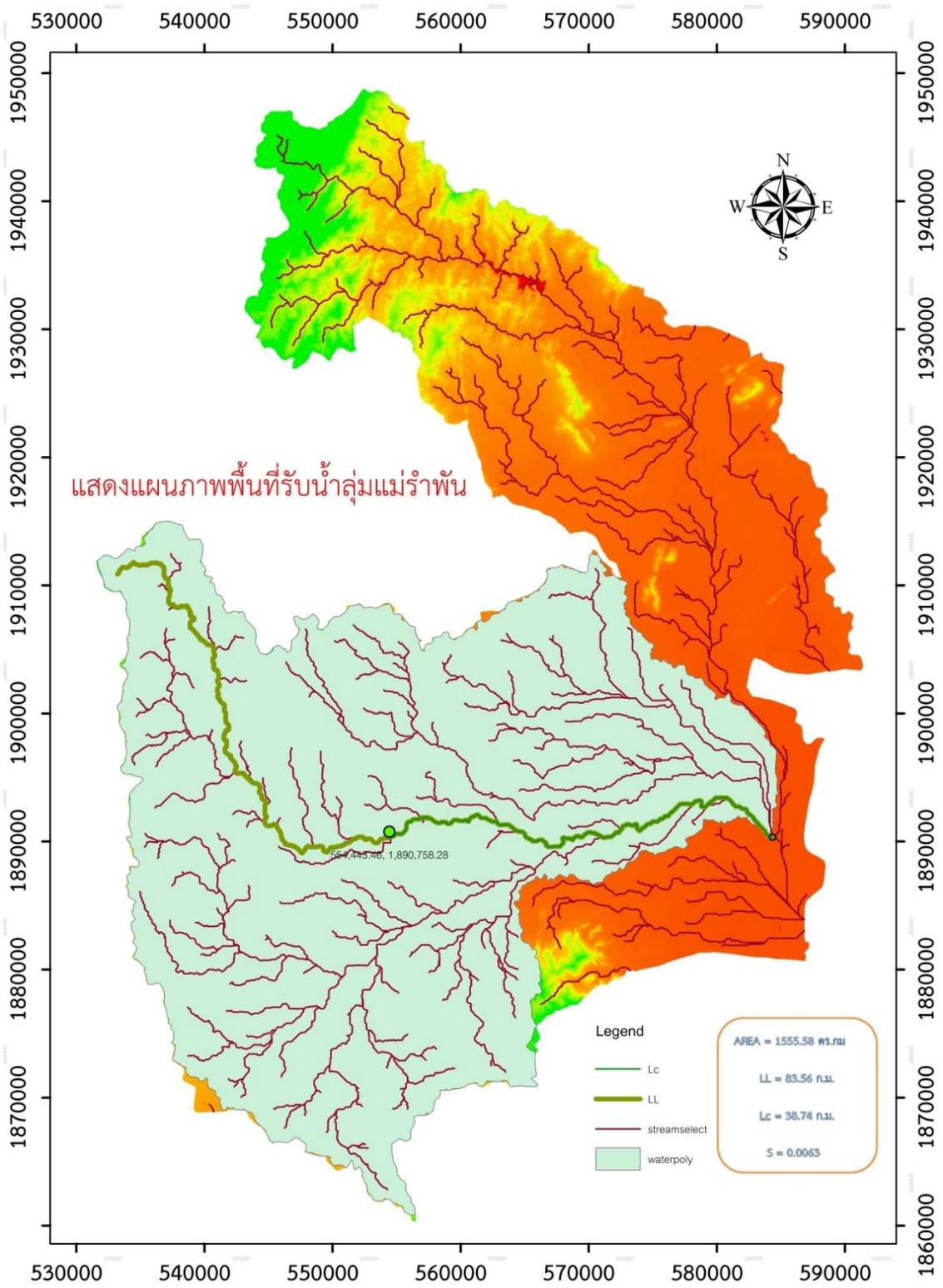
ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำหลากตามรอบปีการเกิดซ้ำ ลุ่มแม่มอก ภาคผนวก ค.7-12

รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี)	ปริมาณน้ำหลาก (ลบ.ม/วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก (ล้าน ลบ.ม)
5	114	13.02
10	164	18.72
25	250	27.43
50	306	34.92
100	372	41.04

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบรายละเอียดและลักษณะทางกายภาพของสถานีที่ศึกษาของลุ่มน้ำยม สถานี Y.26 ภาคผนวก ง.1

ข้อมูล	DA (กม.^{2})	S	L (กม.)	L_c (กม.)	Q_p (ลบ.ม./วินาที/ มม.)	T_p	Q_p/DA
สถานี Y.26	784	0.0035	84.87	34.18	5.32	27	0.007
Arc GIS	739.80	0.0054	62.50	24.28	8.95	18.11	0.012

4.2.2 ผลการใช้โปรแกรมวิเคราะห์หาข้อมูลทางกายภาพของลุ่มน้ำแม่รำพัน



รูปที่ 4.6 แสดงแผนภาพพื้นที่รับน้ำลุ่มน้ำแม่รำพัน

จากการใช้โปรแกรมวิเคราะห์หาข้อมูลทางกายภาพของลุ่มน้ำแม่รำพันที่ใช้ในการคำนานหาปริมาณน้ำหลาก พบว่า ลุ่มน้ำแม่มอกมีพื้นที่รับน้ำทั้งหมด Area = 1,555.58 ตารางกิโลเมตร ความยาวลำน้ำของแม่น้ำสายหลักจนถึงปลายทางออก L = 83.56 ก.ม. ความยาวลำน้ำของลำน้ำหลักที่ออกจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่รับน้ำจนถึงปลายออก L_C = 38.74 ก.ม. มีความลาดเทเฉลี่ยของแม่น้ำสายใหญ่ = 0.0063

หาค่า T_p จากสมการลุ่มน้ำยม (สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2552)

จากสมการที่ 2.1 $T_p = a (LL_c / \sqrt{S})^b$

$T_p = 1.6375 (LL_c / S^{0.5})^{0.2377}$

แทนค่า L , L_c

$T_p = 1.6375 ((83.56 \times 38.74) / \sqrt{0.0063})^{0.2377}$

$T_p = 20.42$ ชั่วโมง

จากสมการที่ 2.2 $Q_p / A = c (T_p)^d$

$Q_p = 1555.58 \times 0.2385 \times 20.42^{-1.0291}$

$Q_p = 16.64$ ลบ.ม. / วินาที /ม.ม.

นำค่า T_p และ Q_p จากพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่คำนวณได้จากสมการทั้ง 2 นำไปประยุกต์กับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless) ดูภาคผนวก ง.1

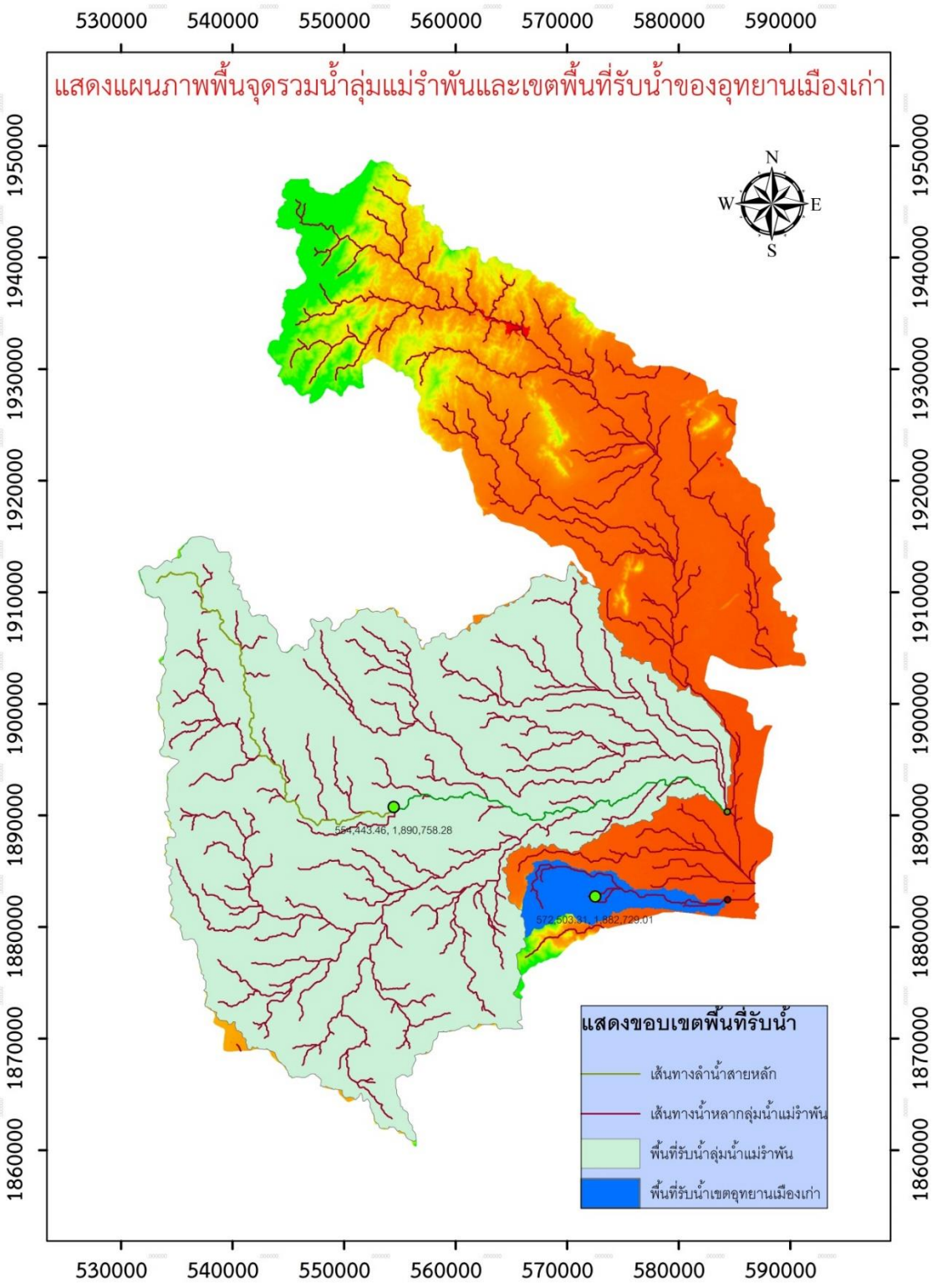
ได้ปริมาณน้ำหลากสูงสุด = 138.906 ลบ.ม. / วินาที

ได้ปริมาณน้ำหลาก = 15.56 ล้าน ลบ.ม.

ตารางที่ 4.2 ปริมาณน้ำหลากตามรอบปีการเกิดซ้ำ ลุ่มน้ำแม่รำพัน ภาคผนวก ค.13-18

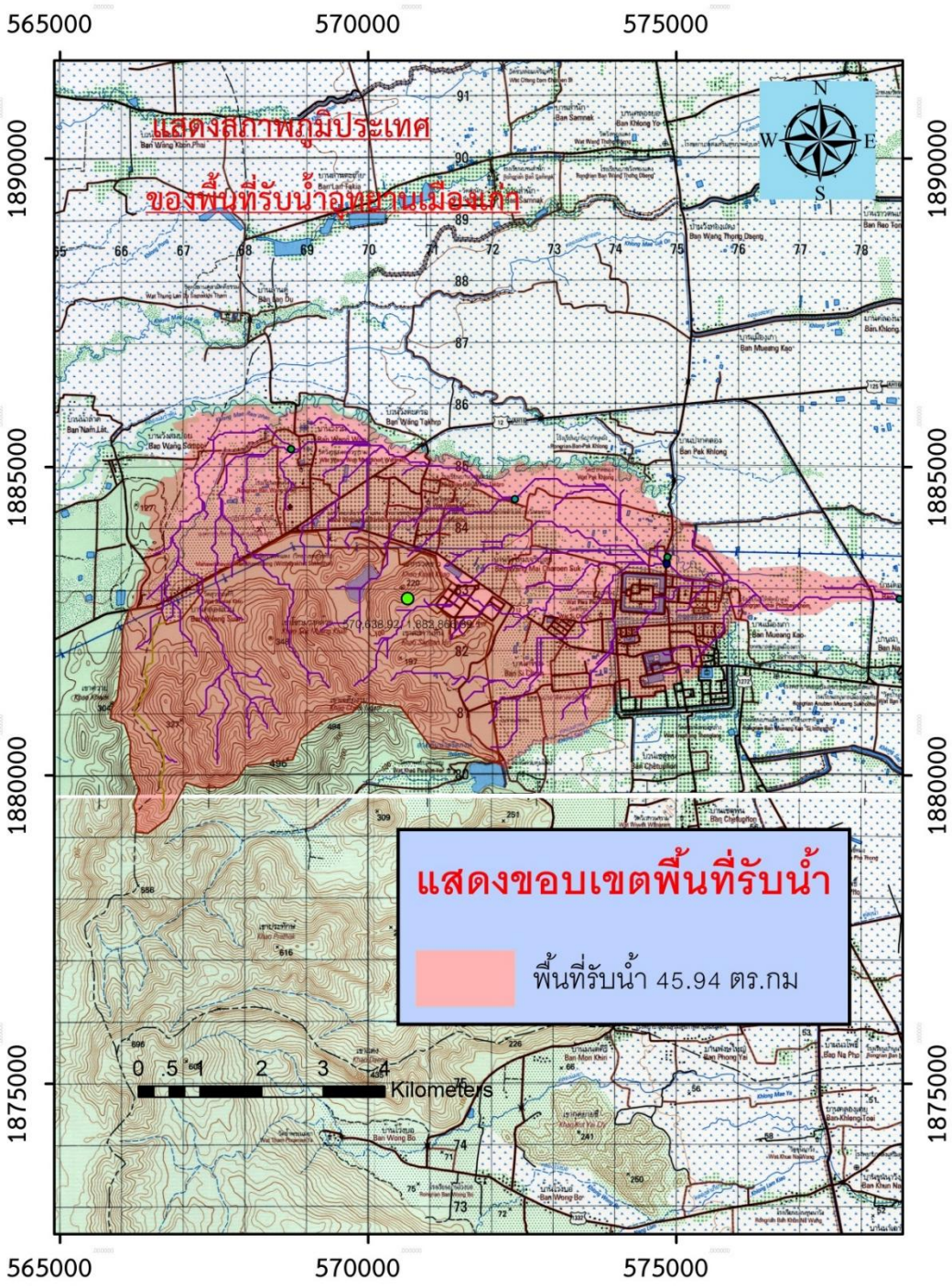
รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี)	ปริมาณน้ำหลาก(ลบ.ม/วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก(ล้าน ลบ.ม)
5	208	27.38
10	299	39.38
25	438	57.67
50	558	73.43
100	680	86.30

จากการศึกษาข้อมูลทางกายภาพลุ่มน้ำแม่รำพัน เมื่อพิจารณาพื้นที่และทางไหลของน้ำ พบว่า พื้นที่ทางน้ำหลากตามแผนภาพไม่ส่งกระทบต่ออุทยานเมืองเก่าโดยตรง เนื่องจากทางน้ำหลากของลุ่มน้ำแม่รำพันได้หลากไปทางทิศเหนือของเขตอุทยานเมืองเก่าและแนวเขตพื้นที่เมืองเก่าแนวคลองสะหวา แล้วจึงไปไหลรวมลงแก้มลิงทะเลหลวงจากนั้นจึงจะไหลลงมาตามทางระบายน้ำแก้มลิงทะเลหลวงไหลรวมพบกันบริเวณ บ้านโพธิ์ทองพัฒนา แสดงดังรูปที่ 4.6

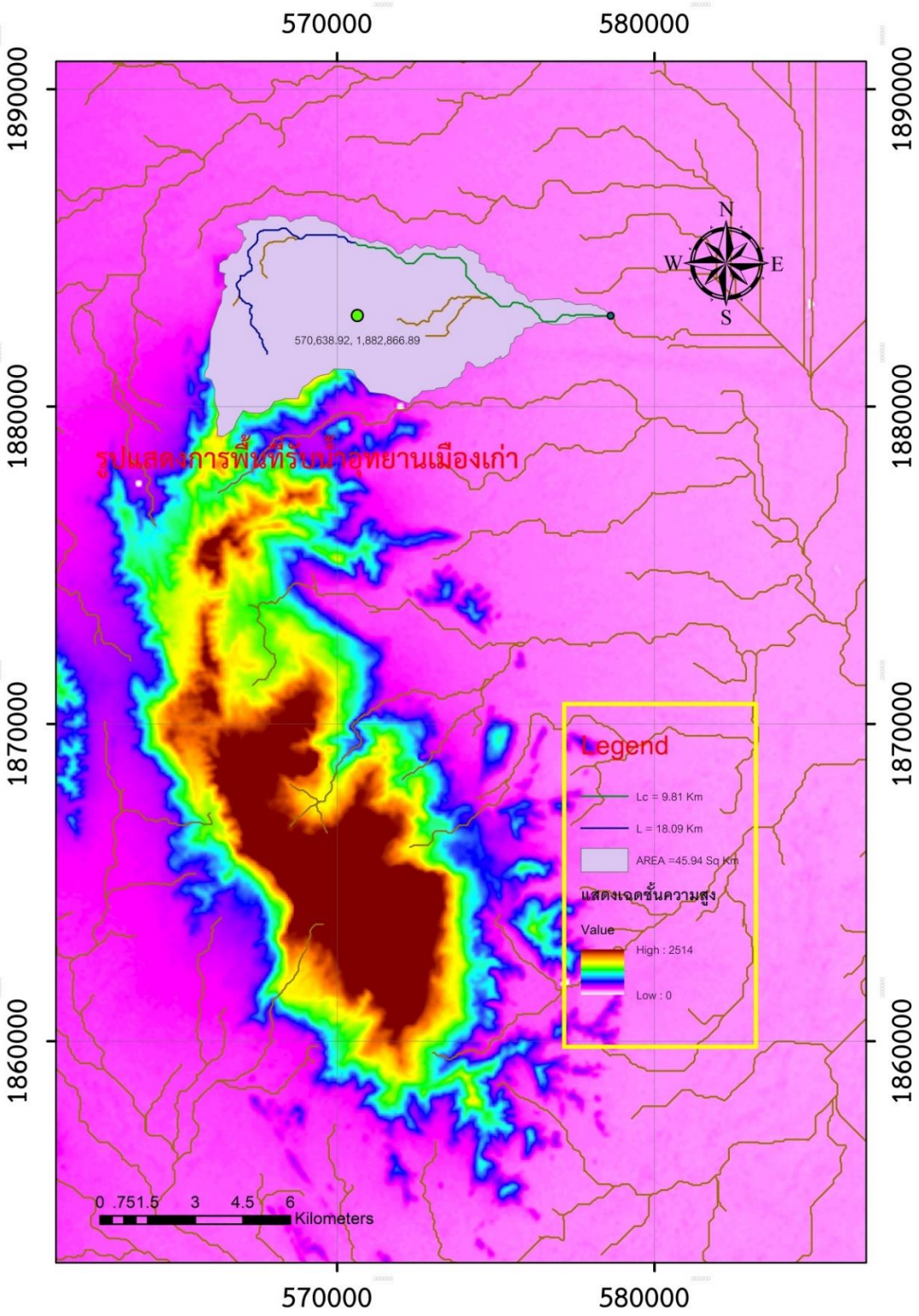


รูปที่ 4.7 แสดงพื้นที่รับน้ำของลุ่มน้ำแม่รำพันและเขตอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

ทางคณะผู้จัดทำโครงงานจึงได้ศึกษาพื้นที่รับน้ำของเขตอุทยานประวัติศาสตร์เพื่อหาข้อมูลทางกายภาพนำมาคำนวณปริมาณน้ำหลากที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อพื้นที่ ได้ข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ดังนี้



รูปที่ 4.8 แสดงพื้นที่รับน้ำและค่าข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย



รูปที่ 4.9 แสดงเฉดสีชั้นความสูงด้วย DEM

จากการใช้โปรแกรมวิเคราะห์หาข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่เขตอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย พบว่า มีพื้นที่รับน้ำทั้งหมด Area = 45.94 ตารางกิโลเมตร ความยาวลำน้ำของแม่น้ำสายหลักจนถึงปลายทางออก L = 18.09 กม. ความยาวลำน้ำของลำน้ำหลักที่ออกจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่รับน้ำจนถึงปลายออก L_c = 9.81ก.ม. มีความลาดเทเฉลี่ยของแม่น้ำสายใหญ่ (S) = 0.0033

หาค่า Tp จากสมการลุ่มน้ำยม (สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2552)

จากสมการที่ 2.1 $T_p = a (LL_c / \sqrt{S})^b$

$T_p = 1.6375 (LL_c / S^{0.5})^{0.2377}$

แทนค่า L , L_c

$T_p = 1.6375 ((18.09 \times 9.81) / \sqrt{0.0033})^{0.2377}$

$T_p = 11.06$ ชั่วโมง

จากสมการที่ 2.2 $Q_p / A = c (T_p)^d$

$Q_p = 45.94 \times 0.2385 \times 11.06^{-1.0291}$

$Q_p = 0.92$ ลบ.ม./วินาที/มม.

นำค่า T_p และ Q_p จากพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่คำนวณได้จากสมการทั้ง 2 นำไปประยุกต์กับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless) ดูภาคผนวก ง.1

ได้ปริมาณน้ำหลากสูงสุด = 7.57 ลบ.ม./วินาที

ได้ปริมาณน้ำหลาก = 0.42 ล้าน ลบ.ม.

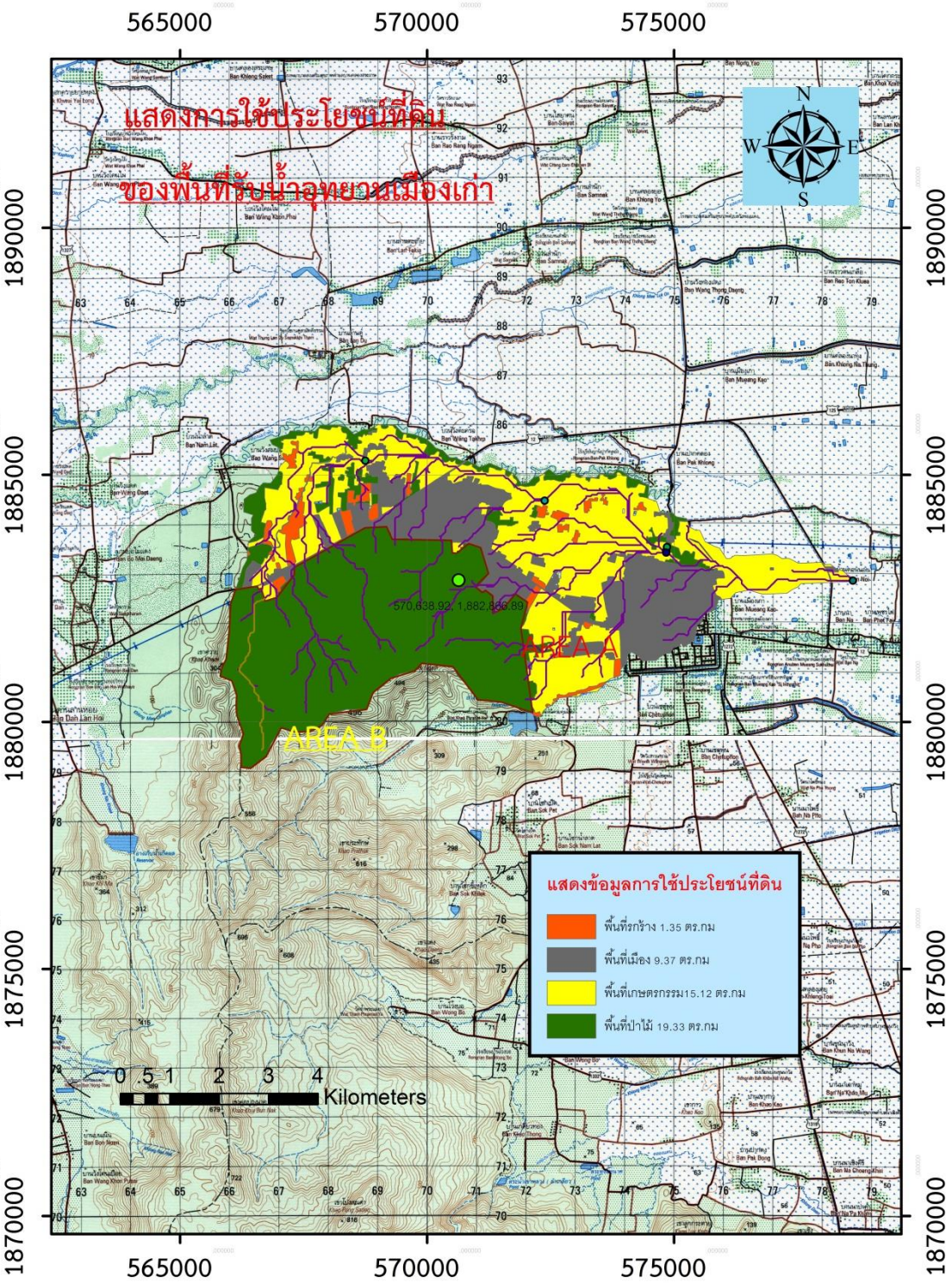
ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำหลากตามรอบปีการเกิดซ้ำ พื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ภาคผนวก ค.2-6

รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี)	ปริมาณน้ำหลาก(ลบ.ม/วินาที)	ปริมาตรน้ำหลาก(ล้าน ลบ.ม)
5	11	0.80
10	16	1.16
25	24	1.70
50	30	2.17
100	37	2.55

เนื่องจากพื้นที่รับน้ำบริเวณอุทยานเมืองเก่า มีพื้นที่ขนาดเล็กถึงกลาง โปรแกรม ArcGIS ยังสามารถแบ่งพื้นที่แยกย่อย หาข้อมูลทางกายภาพและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องการใช้ ในการคำนวนด้วยวิธี Rational Method เพื่อเปรียบเทียบการคำนวนปริมาณน้ำหลากกับวิธีหนึ่งหน่วยน้ำท่าได้ โดยการแบ่งพื้นที่รับน้ำไม่ให้เกิน 25 ตารางกิโลเมตร ตามเงื่อนไขของทฤษฎี Rational Method ได้ข้อมูลทางกายภาพและข้อมูลการใช้พื้นที่ของสรุปตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลทางกายภาพและข้อมูลการใช้พื้นที่ เขตอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยและตำบลเมืองเก่า

พื้นที่	ขนาดพื้นที่ (กม.^{2})	ความยาวลำน้ำ(กม.)	พื้นที่ลุ่มน้ำ(กม.^{2})	พื้นที่รกร้าง(กม.^{2})	พื้นที่เมือง (กม.^{2})	พื้นที่เกษตร (กม^2)	ป่าไม้ (กม^2)	ค่าต่างระดับ(ม.)
A	28.35	12.63	0.21	1.35	9.37	15.12	2.33	21
B	17.54	3.62	-	-	-	-	17.54	230



รูปที่ 4.10 แผนภาพข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่รับน้ำอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย และตำบลเมืองเก่า

4.2.3 การคำนวณปริมาณน้ำหลาก ด้วยวิธี Rational method

<u>พื้นที่ A</u>

ขนาดพื้นที่รับน้ำ (A) จากการวิเคราะห์ขอบเขตและขนาดของพื้นที่รับน้ำด้วยโปรแกรม ArcGIS พบว่าพื้นที่ A มีขนาดพื้นที่รับน้ำ 28.35 ตารางกิโลเมตร

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ (C) ภาคผนวก ก.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผิวดิน (Values of runoff coefficient, C) บริเวณพื้นที่รับน้ำ A เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำ ทุ่งหญ้า เมืองการเกษตร และป่าไม้ มีความชันของพื้นที่ 0-5 เปอร์เซ็นต์ และลักษณะดินเป็น Tight clay ได้ค่า C เท่ากับ 1,0.4,0.65,0.6,0.4 ตามลำดับ

ค่า Rainfall Intensity (I) คำนวณจากค่า Time of concentration (T_c)

จากสมการที่ 2.4 $T_c = (0.87L^3/H)^{0.385}$ ชั่วโมง

$= (0.87 \times 12.63^3 / 22)^{0.385}$ ชั่วโมง

$= 5.395$ ชั่วโมง

จากนั้นนำค่า T_c ที่ได้ ไปหาค่าความเข้มของฝนจาก Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curves (รูปที่ 2.4) ได้ค่า Rainfall Intensity เท่ากับ 14 มม./ชม.

การคำนวณปริมาณน้ำสูงสุดในพื้นที่รับน้ำ

การคำนวณหาปริมาณน้ำหลากสูงสุด (Peak discharge, Q_p) โดยวิธี Rational formula ดังนี้

ขนาดพื้นที่รับน้ำ $A = 28.35$ ตร.กม.

จาก สมการที่ 2.3 $Q_p = 0.278\ CIA$

จากสมการที่ 2.5 $C = (C_1A_1 + C_2A_2 + \ldots + C_nA_n) / A_{total}$

$=((0.21x1)+(1.35x0.4)+(9.37x0.65)+(15.12x0.6)+(2.33x0.4))/28.35$

$= 0.594$

$I = 14$ มม./ชม.

ปริมาณน้ำหลากสูงสุดในพื้นที่รับน้ำ $Q_p = 0.278\ CIA$

$= 0.278 \times 0.594 \times 14 \times 28.35$

$= 65.54$ ลบ.ม./วินาที

<u>พื้นที่ B</u>

ขนาดพื้นที่รับน้ำ (A) จากการวิเคราะห์ขอบเขตและขนาดของพื้นที่รับน้ำด้วยโปรแกรม ArcGIS พบว่าพื้นที่ B มีขนาดพื้นที่รับน้ำ 17.54 ตารางกิโลเมตร

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ (C) ภาคผนวก ก.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผิวดิน (Values of runoff coefficient, C) บริเวณพื้นที่รับน้ำ B เป็นพื้นที่ป่าไม้ มีความชันของพื้นที่ 0-5 เปอร์เซ็นต์ และลักษณะดินเป็น Tight clay ได้ค่า C เท่ากับ 0.4

ค่า Rainfall Intensity (I) คำนวณจากค่า Time of concentration (T_c)

จากสมการที่ 2.4 $T_c = (0.87L^3/H)^{0.385}$ ชั่วโมง

$= (0.87 \times 3.62^3 / 23)^{0.385}$ ชั่วโมง

$= 1.252$ ชั่วโมง

จากนั้นนำค่า T_c ที่ได้ ไปหาค่าความเข้มของฝนจาก Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curves (รูปที่ 2.4) ได้ค่า Rainfall Intensity เท่ากับ 51 มม./ชม.

การคำนวณปริมาณน้ำสูงสุดในพื้นที่รับน้ำ

การคำนวณหาปริมาณน้ำหลากสูงสุด (Peak discharge, Q_p) โดยวิธี Rational formula ดังนี้

ขนาดพื้นที่รับน้ำ $A = 17.54$ ตร.กม.

จาก สมการที่ 2.3 $Q_p = 0.278\ CIA$

จากสมการที่ 2.5 $C = (C_1A_1 + C_2A_2 + \ldots + C_nA_n) / A_{total}$

$= (17.54 \times 0.4)/17.54$

$= 0.40$

$I = 51$ มม./ชม.

ปริมาณน้ำหลากสูงสุดในพื้นที่รับน้ำ $Q_p = 0.278\ CIA$

$= 0.278 \times 0.40 \times 51 \times 17.54$

$= 99.47$ ลบ.ม./วินาที

Q_p(รวม) $= Qp(A)+Q_p(B) = 65.54 + 99.47$

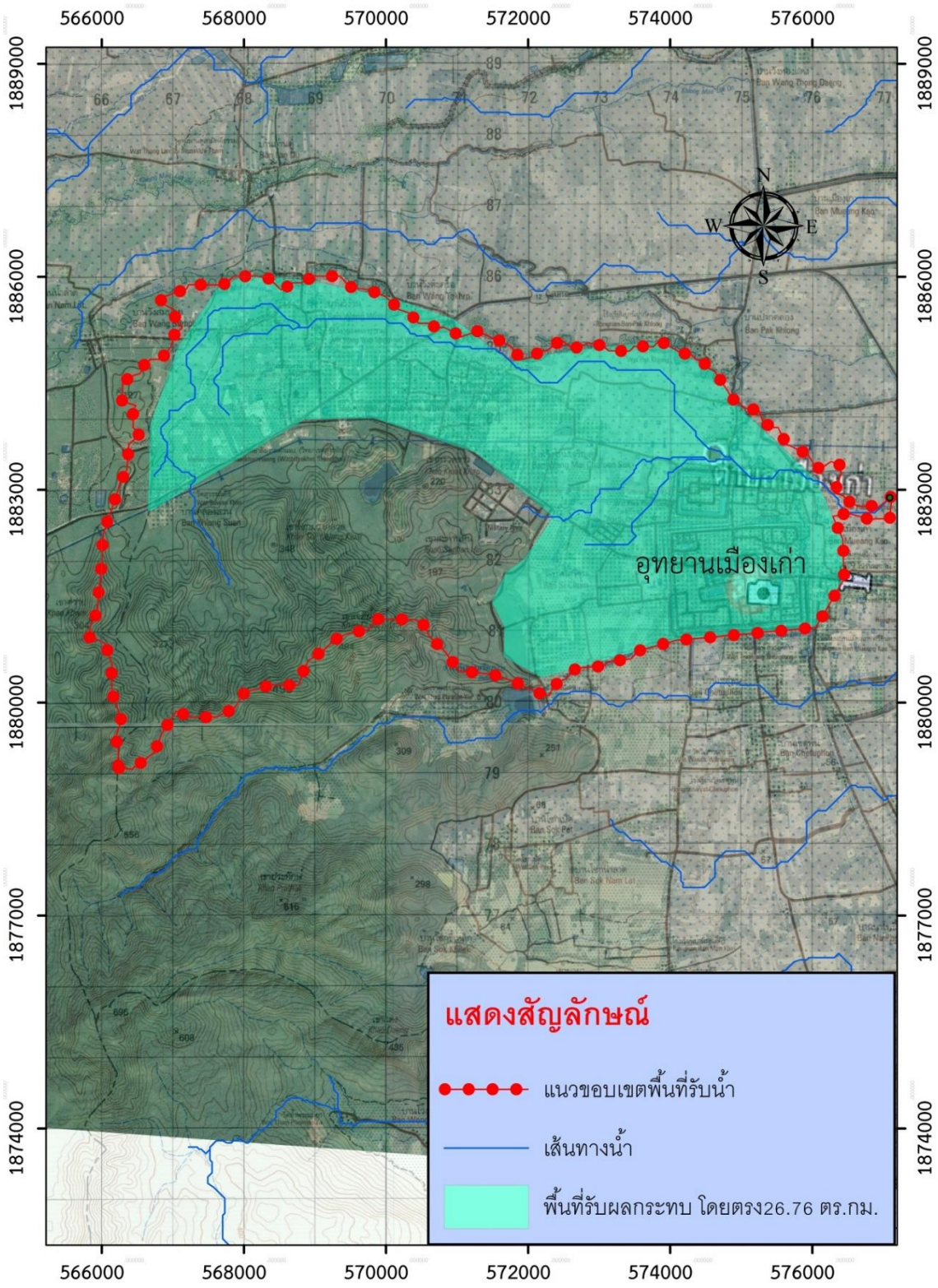
$= 165.01$ ลบ.ม./วินาที

จากผลการคำนวณหาปริมาณน้ำหลากสูงสุด (Peak Discharge, Q_p) ของพื้นที่ศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย โดยวิธี Rational Method คำนวณหาปริมาณน้ำหลากสูงสุดได้ Q_p(รวม) = 165.01 ลบ.ม./วินาที และคำนวณหาปริมาณน้ำหลากสูงสุด โดยวิธี Unit hydrograph ได้ปริมาณน้ำหลากสูงสุด 7.57 ลบ.ม./วินาที

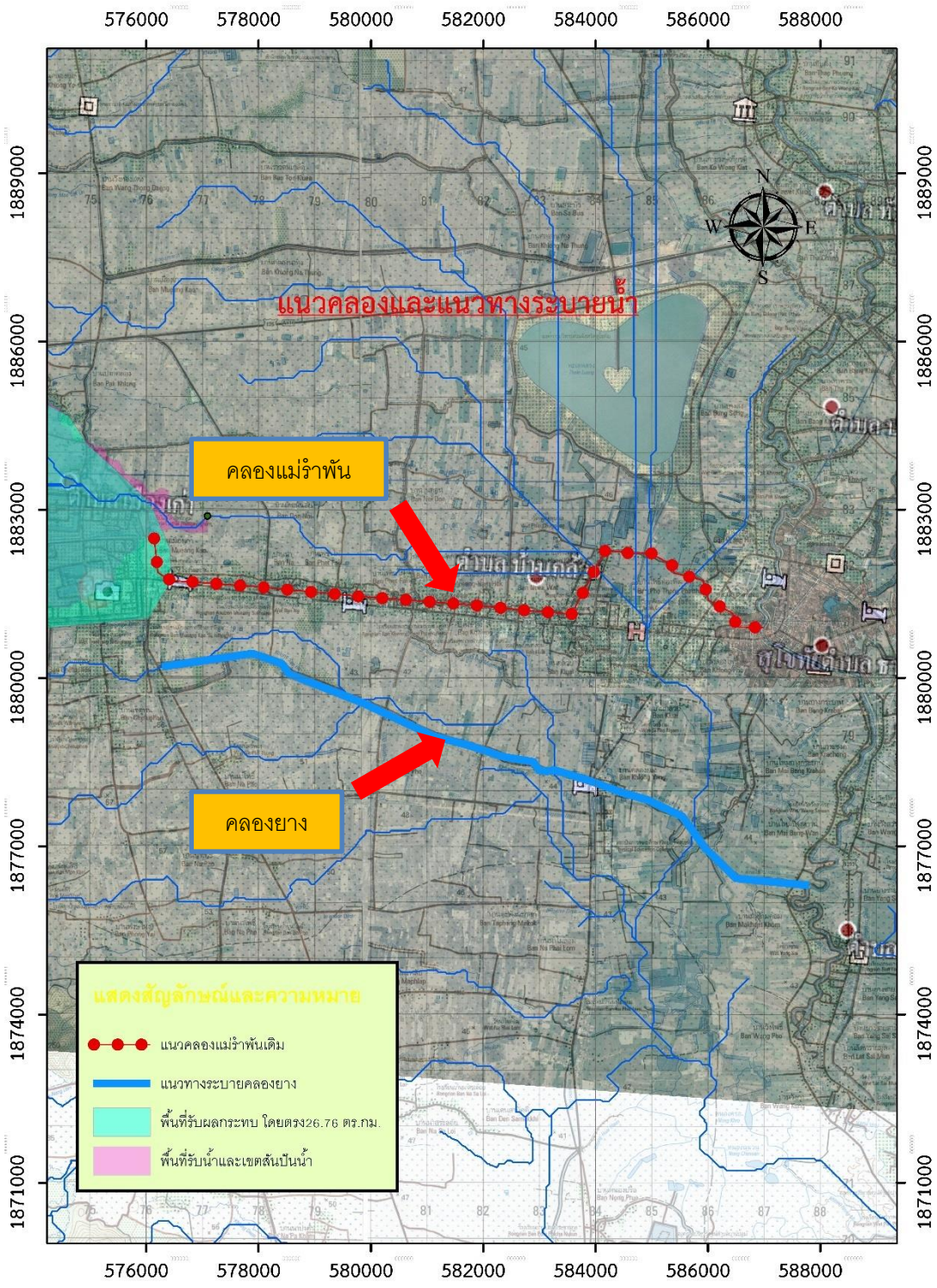
จากการสอบเทียบ ระหว่างปริมาณน้ำหลากที่วัดจริงของลุ่มน้ำแม่มอกกับการคำนวณหาปริมาณหลากจากการหาขนาดพื้นที่รับน้ำด้วย ArcGIS โดยวิธี Unit hydrograph มีค่าความแตกต่างกัน 4.56 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นคณะผู้จัดทำโครงงานจึงเลือกใช้ ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คำนวณได้จากวิธี Unit hydrograph กับพื้นที่ศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

4.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาและการจัดการน้ำในพื้นที่รับน้ำหลากอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

เพื่อศึกษาหาแนวทางการแก้ไข และบรรเทาปัญหาอุทกภัยที่เกิดจากปริมาณน้ำหลากทาง คณะผู้จัดทำโครงงานจึงได้ลงสำรวจพื้นที่รับน้ำและสำรวจหาหน้าตัดคลองแม่รำพัน เพื่อนำมาหาค่าความสามารถในการระบายน้ำของคลองแม่รำพันซึ่งเป็นทางระบายน้ำหลักของพื้นที่อุทยานประวิติศาสตร์สุโขทัย



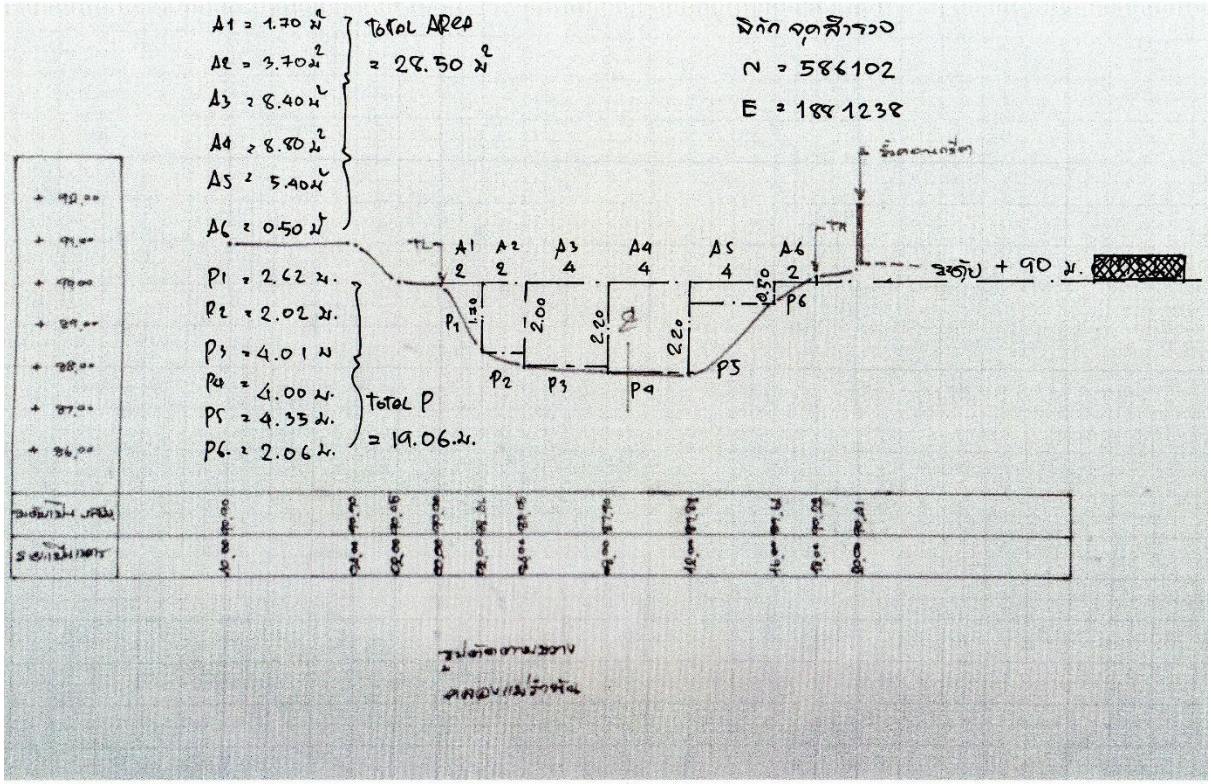
รูป 4.11 แสดงขอบเขตพื้นที่ ที่ได้รับผลกระทบจากพื้นที่รับน้ำที่ศึกษา



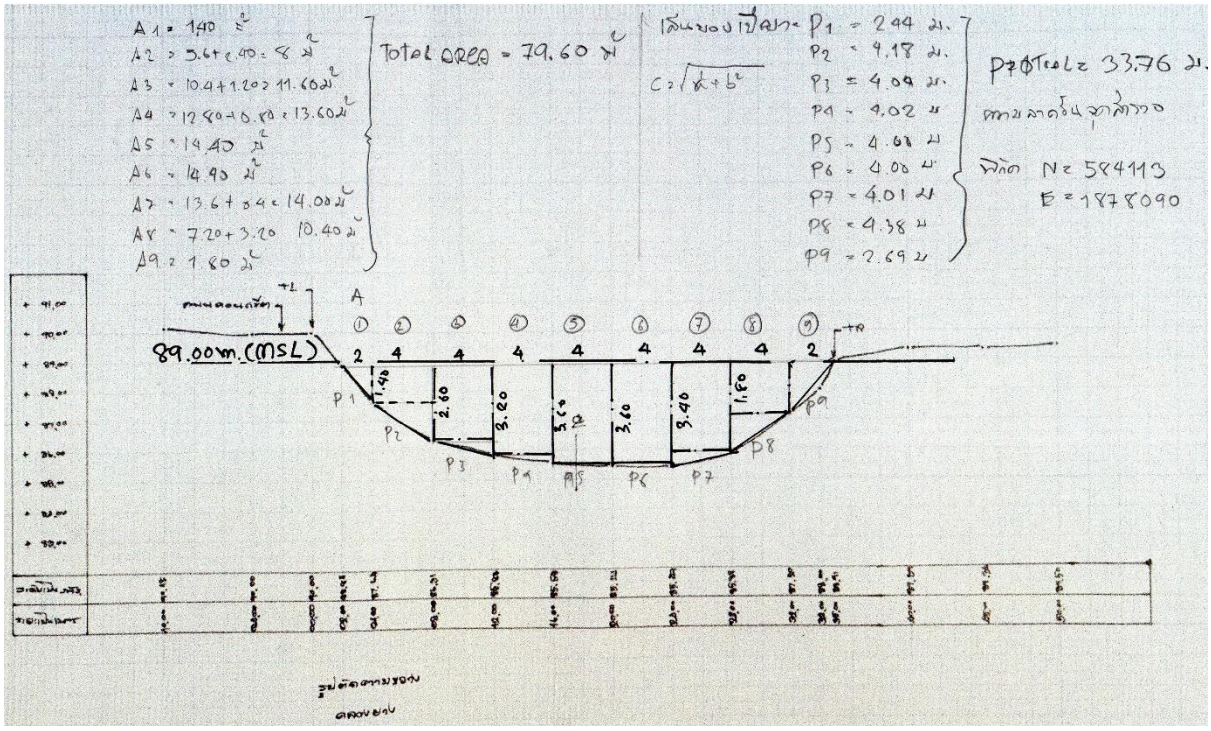
รูปที่ 4.12 แนวคลอง และแนวทางระบายน้ำเดิม

4.3.1 คำนวณหาปริมาณการไหลในลำน้ำ โดยใช้หน้าตัดลำน้ำเดิม ด้วยวิธี Manning

รูปที่ 4.13 สำรวจพื้นที่รับน้ำและสำรวจหาหน้าตัดคลองแม่รำพัน และคลองยาง



รูปที่ 4.14 รูปหน้าตัดตามขวางคลองแม่รำพัน



รูปที่ 4.15 รูปหน้าตัดตามขวางคลองยาง

1. คลองแม่รำพัน

ลักษณะของลำน้ำ : ลำน้ำธรรมชาติ ไม่สม่ำเสมอและรูปตัดขรุขระ

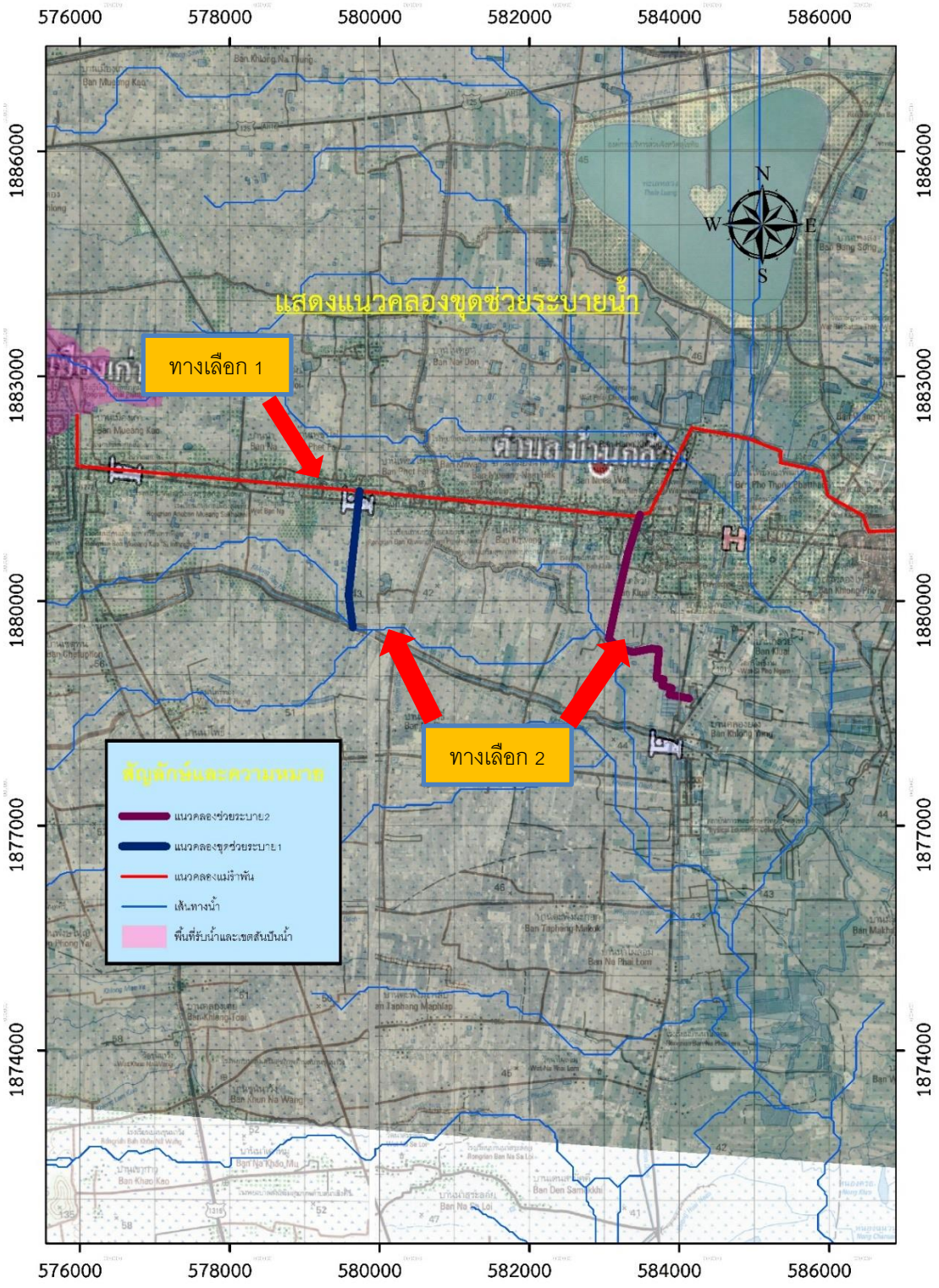
สัมประสิทธิ์ความขรุขระ	n	=	0.1	ภาคผนวก ก.4
ค่า slope		=	0.000458	จากแผนที่ 1 : 50,000 รูปที่ 4.3
ขนาดหน้าตัดลำน้ำ	A	=	28.50 ม.^{2}	จากรูปที่ 4.14
เส้นขอบเปียก	P	=	19.06 ม.	จากรูปที่ 4.14
	R	=	A / P	
		=	28.50 / 19.06	
		=	1.495 ม.	
จากสมการที่ 2.14	V	=	$(1/n) R^{2/3} S^{1/2}$	
	V	=	$(1 / 0.1) \times (1.495)^{2/3} \times (0.000458)^{1/2}$	
		=	0.27 ม./วินาที	
จากสมการที่ 2.15	Q	=	$(1/n) A R^{2/3} S^{1/2}$	
หรือ	Q	=	A V	
		=	28.50 x 0.27	
		=	7.69 ม.^{3}/วินาที	

2. คลองยาง

ลักษณะของลำน้ำ : ทางน้ำที่ขุดขึ้น เป็นคลองดินตรงและสม่ำเสมอ มีหญ้าสั้นๆ มีวัชพืชเล็กน้อย

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ	n	=	0.033	ภาคผนวก ก.4
ค่า slope		=	0.00036	จากแผนที่ 1 : 50,000 รูปที่ 4.3
ขนาดหน้าตัดลำน้ำ	A	=	79.60 ม.^{2}	จากรูปที่ 4.15
เส้นขอบเปียก	P	=	33.76 ม.	จากรูปที่ 4.15
	R	=	A / P	
		=	79.60 / 33.76	
		=	2.357 ม.	
จากสมการที่ 2.14	V	=	$(1/n) R^{2/3} S^{1/2}$	
	V	=	$(1 / 0.033) \times (2.357)^{2/3} \times (0.00036)^{1/2}$	
		=	1.01 ม./วินาที	
จากสมการที่ 2.15	Q	=	$(1/n) A R^{2/3} S^{1/2}$	
หรือ	Q	=	A V	
		=	79.60 x 1.01	
		=	80.396 ม.^{3}/วินาที	

4.3.2 เสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา และการจัดการน้ำให้พื้นที่



รูปที่ 4.16 แผนที่แสดงทางเลือกในการแก้ไขปัญหาอุทกภัย

<u>ทางเลือกที่ 1</u> : เพิ่มความสามารถในการระบายน้ำด้วยการลดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning (n) โดยการขุดลอกคลองแม่รำพัน ตั้งแต่บริเวณ ท้ายอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ถึงปลายคลองแม่รำพัน ตลอดความยาวประมาณ 12,000 ม.โดยใช้ขนาดหน้าตัดเดิมดังรูปที่ 4.14

ผลกระทบ ด้านบวก

1. หลังจากขุดลอกคลองแล้ว จากเดิมระบายน้ำได้ 7.69 ลบ.ม./วินาที สามารถเพิ่มการการระบายได้ เป็น 26.5 ลบ.ม./วินาที
2. เพิ่มพื้นที่เก็บกักน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง

ผลกระทบ ด้านลบ

1. ประชาชนในพื้นที่ได้รับผลกระทบในช่วงการก่อสร้าง (ฝุ่นละออง การทำงานของเครื่องจักร การสัญจรไม่สะดวก)

แนวทางการลดผลกระทบ

1. ใช้รถบรรทุกน้ำลดการกระจายของฝุ่นละออง
2. จัดช่วงเวลาการทำงานให้เหมาะสม

คำนวณหาปริมาณการไหลในลำน้ำคลองแม่รำพัน ด้วยวิธี Manning (หลังจากขุดลอกใหม่)

ลักษณะของลำน้ำ : คลองดิน ไม่มีพืช

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ	n	=	0.03	ภาคผนวก ก.4
ค่า slope		=	0.000458	จากแผนที่ 1 : 50,000 รูปที่ 4.3
ขนาดหน้าตัดลำน้ำ	A	=	28.50 ม.^{2}	จากรูปที่ 4.14
เส้นขอบเปียก	P	=	19.06 ม.	จากรูปที่ 4.14
	R	=	A / P	
		=	28.50 / 19.06	
		=	1.495 ม.	
จากสมการที่ 2.14	V	=	$(1/n)\ R^{2/3}\ S^{1/2}$	
	V	=	$(1 / 0.03) \times (1.495)^{2/3} \times (0.000458)^{1/2}$	
		=	0.93 ม./วินาที	
จากสมการที่ 2.15	Q	=	$(1/n)\ A\ R^{2/3}\ S^{1/2}$	
	หรือ	Q	= A V	
		=	28.50 x 0.93	
		=	26.5 ม.^{3}/วินาที	

<u>ทางเลือกที่ 2</u> ก่อสร้างอาคารควบคุมน้ำปากคลอง จำนวน 2 แห่ง ปรับปรุงคลองฝั่งซ้ายคลองแม่รำพัน(แนวคลองช่วยระบาย 1) พิกัด 47 Q , x 580557 , y 1881359 ความยาวประมาณ 2,180 ม. และปรับปรุงคลองฝั่งขวาคลองแม่รำพัน(แนวคลองช่วยระบาย 2) ความยาวประมาณ 3,500 ม. พิกัด 47 Q , x 580557 , y 1881359 เพื่อเป็นคลองช่วยระบายน้ำออกจากคลองแม่รำพัน ไปสู่คลองยาง ซึ่งมีความสามารถในการระบายน้ำ 80 ม.^{3}/วินาที รับน้ำในการระบายปกติ 10 ม.^{3}/วินาที โดยที่ปลายทางของคลองยางจะเป็นพื้นที่รับน้ำหลาก ต.บ้านป้อม มีพื้นที่รับน้ำ 53 ตร.กม ตามหนังสือโครงการชลประทานสุโขทัย แจ้งไปยังผู้ว่าราชการจังหวัดสุโขทัย เรื่องการเตรียมความพร้อมรับสถานการณ์น้ำหลากในแม่น้ำยม ซึ่งได้กำหนดให้พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่หน่วงน้ำ

ผลกระทบ ด้านบวก

1 เพิ่มการการระบายได้ เป็น 18 ลบ.ม./วินาที

2 ใช้เป็นคลองส่งน้ำให้กับประชาชนในพื้นที่ ประมาณ 650 ไร่

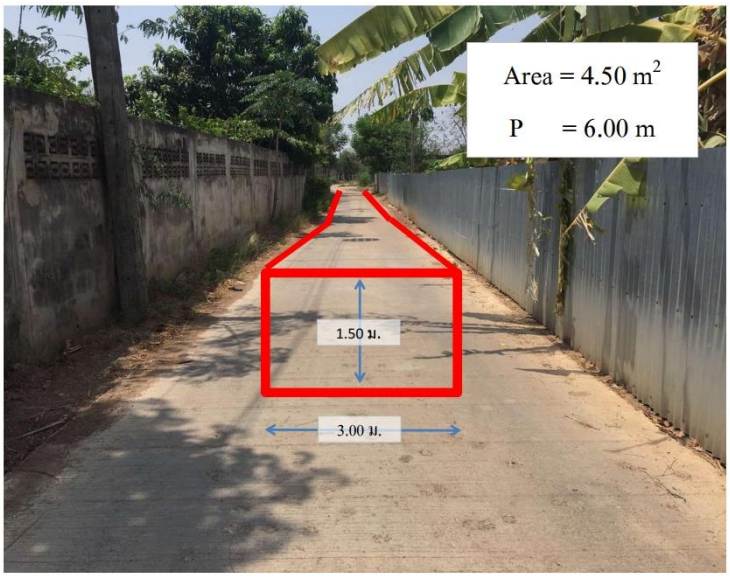
3 เพิ่มพื้นที่เก็บกักน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง

ผลกระทบ ด้านลบ

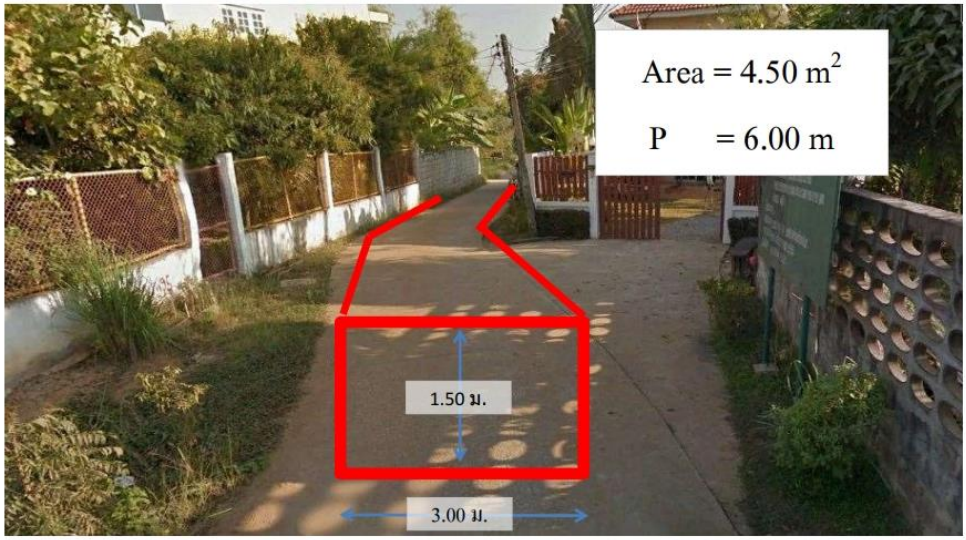
1. พื้นที่การเกษตรได้รับผลกระทบจากการระบายในช่วงฤดูน้ำหลาก
2. พื้นที่ก่อสร้างบางส่วนต้องใช้พื้นที่ถนนเดิม ประชาชนต้องเปลี่ยนเส้นทางการสัญจร

แนวทางการลดผลกระทบ

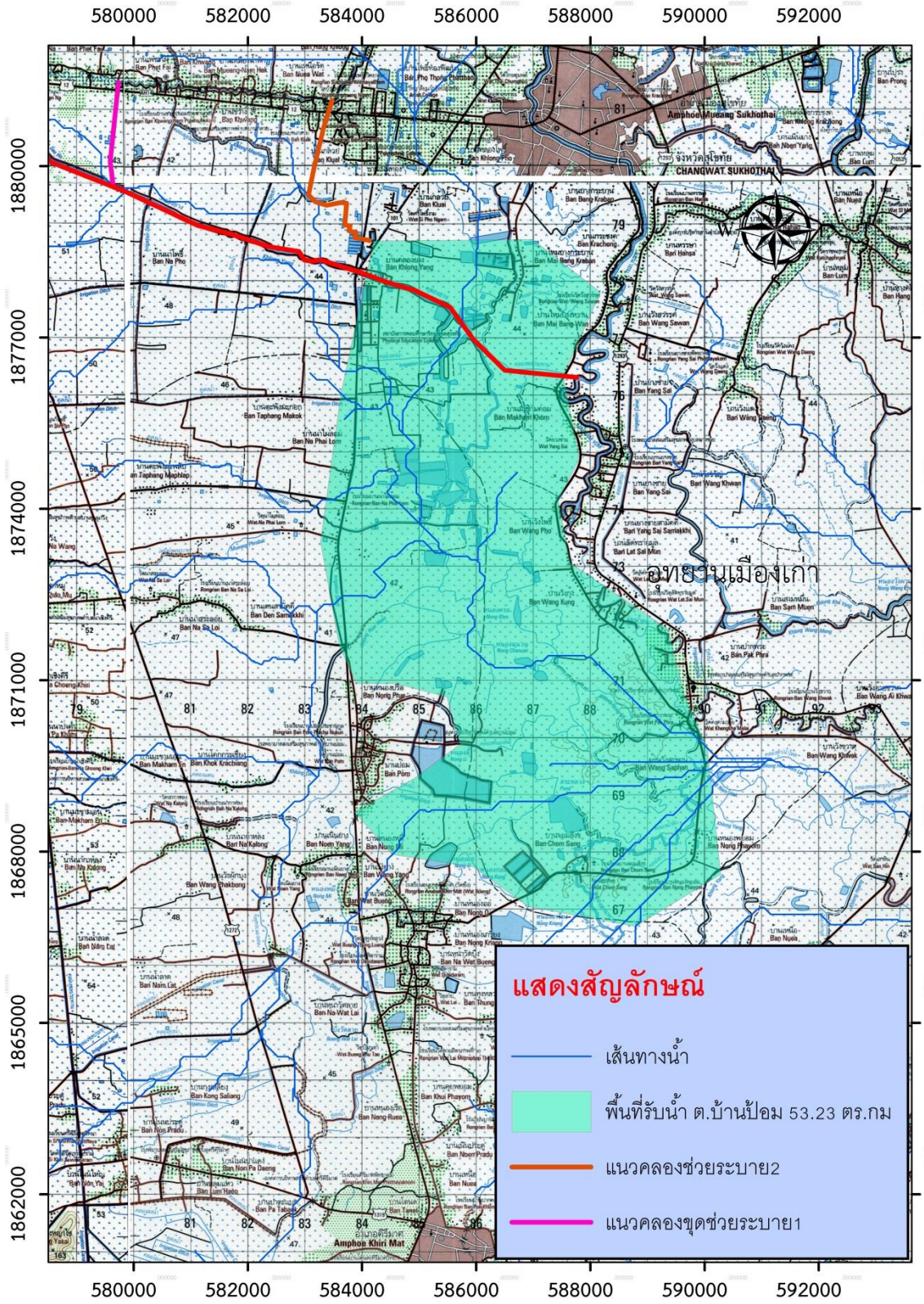
1. วางแผน และปรับเปลี่ยนปฏิทินการปลูกพืชให้เหมาะสม



รูปที่ 4.17 พื้นที่ก่อสร้างแนวคลองช่วยระบาย 1



รูปที่ 4.18 พื้นที่ก่อสร้างแนวคลองช่วยระบาย 2



รูปที่ 4.19 พื้นที่รับหลาก ต.บ้านป้อม

คำนวณหาปริมาณการไหลในลำน้ำ ด้วยวิธี Manning (แนวคลองช่วยระบาย 1)

ลักษณะของลำน้ำ : ทางน้ำดาดผิว ซีเมนต์ผิวเรียบ

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ	n	=	0.013	ภาคผนวก ก.4
ค่า slope		=	0.000458	จากแผนที่ 1 : 50,000 รูปที่ 4.3
ขนาดหน้าตัดลำน้ำ	A	=	6 ม.^{2}	จากรูปที่ 4.17
เส้นขอบเปียก	P	=	7 ม.	จากรูปที่ 4.17
	R	=	A / P	
		=	6 / 7	
		=	0.857 ม.	
จากสมการที่ 2.14	V	=	$(1/n) R^{2/3} S^{1/2}$	
	V	=	$(1 / 0.013) \times (0.857)^{2/3} \times (0.000458)^{1/2}$	
		=	1.49 ม./วินาที	
จากสมการที่ 2.15	Q	=	$(1/n) A R^{2/3} S^{1/2}$	
หรือ	Q	=	A V	
		=	6 x 1.49	
		=	8.94 ม.^{3}/วินาที	

คำนวณหาปริมาณการไหลในลำน้ำ ด้วยวิธี Manning (แนวคลองช่วยระบาย 2)

ลักษณะของลำน้ำ : ทางน้ำดาดผิว ซีเมนต์ผิวเรียบ

สัมประสิทธิ์ความขรุขระ	n	=	0.013	ภาคผนวก ก.4
ค่า slope		=	0.000458	จากแผนที่ 1 : 50,000 รูปที่ 4.3
ขนาดหน้าตัดลำน้ำ	A	=	6 ม.^{2}	จากรูปที่ 4.18
เส้นขอบเปียก	P	=	7 ม.	จากรูปที่ 4.18
	R	=	A / P	
		=	6 / 7	
		=	0.857 ม.	
จากสมการที่ 2.14	V	=	$(1/n) R^{2/3} S^{1/2}$	
	V	=	$(1 / 0.013) \times (0.857)^{2/3} \times (0.000458)^{1/2}$	
		=	1.49 ม./วินาที	
จากสมการที่ 2.15	Q	=	$(1/n) A R^{2/3} S^{1/2}$	
หรือ	Q	=	A V	
		=	6 x 1.49	
		=	8.94 ม.^{3}/วินาที	

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินการโครงงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินการโครงงาน

5.1.1 จากการดำเนินงานโครงงานการประยุกต์ใช้ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำหลากของลุ่มแม่รำพันที่ส่งผลกระทบต่อเขตตำบลเมืองเก่าและเขตอุทยานตำบลเมืองเก่าผลการศึกษาและเรียนรู้หลักการและประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อหาข้อมูลทางกายภาพ ขนาดพื้นที่รับน้ำ ความยาวลำน้ำสายหลัก

นำไปคำนวณร่วมพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อคาดการณ์หาปริมาณน้ำหลาก ได้ค่าข้อมูล ทางกายภาพและปริมาณน้ำหลากของลุ่มน้ำแม่มอก จากการคำนวณโดยใช้พารามิเตอร์ลุ่มน้ำยม มีค่า ความสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์ T_p กับ a $(LL_c / S)^b$ และความสัมพันธ์ระหว่าง ความสัมพันธ์ Q_p กับ $a=c\ (t_p)^d$ ตามตารางที่ 5.1

เปรียบเทียบรายละเอียดและลักษณะทางกายภาพของสถานีที่ศึกษาของลุ่มน้ำยม สถานี Y.26มีข้อมูลพื้นที่รับน้ำ (DA) และค่าความลาดชันเฉลี่ยของพื้นที (S) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันคือ 784/739.80 , 0.0035/0.0038 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างข้อมูลเท่ากับ 8.57% , 5.63 % ตามลำดับ

แต่มีค่าความยาวลำน้ำสายใหญ่ (L) และ ค่าความยาวลำน้ำจากจุดศูนย์ถ่วง (L_c) ที่มีค่าข้อมูลค่อนข้างห่างกันคือ 84.87/62.50 , 34.18/24.28 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างข้อมูลเท่ากับ 26.35% . 28.96% ซึ่งข้อมูลความยาวของช่วงอาจแตกต่างกันได้เนื่องจาก การกำหนดจุดบนสุดของลำน้ำและจุดปลายสุดของลำน้ำของผู้วิเคราะห์ลุ่มน้ำอาจมีข้อวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน

ได้ผลข้อมูลเปรียบเทียบปริมาณน้ำหลากจากข้อมูลอ่างแม่มอกที่มีของเดือน 4-20 ตุลาคม 2560 กับ ฝน 24 ชั่วโมง = 16.84 มม. การคำนวนโดยใช้สมการลุ่มน้ำวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลทางกายภาพที่ได้จากโปรแกรม Arc GIS ได้ค่าปริมาณน้ำหลากของอ่างแม่มอก และ จากการคำนวณ 71.23 (ลบ.ม./วินาที) , 74.48 (ลบ.ม./วินาที) ตามลำดับ มีค่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างข้อมูลเท่ากับ 4.56 % พบว่ามีค่าปริมาณน้ำหลากที่ใกล้เคียงกัน สามารถนำสมการลุ่มน้ำของสถานี Y.26 ซึ่งเป็นลุ่มน้ำใกล้เคียงกับลุ่มน้ำพื้นที่ศึกษาไปใช้เพื่อช่วยวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากต่อไปได้

5.1.2 ผลจากการใช้โปรแกรม ArcGIS วิเคราะห์หาข้อมูลทางกายภาพ ลุ่มน้ำแม่รำพันมีพื้นที่รับน้ำทั้งหมด Area = 1,555.58 ตารางกิโลเมตร ความยาวลำน้ำของแม่น้ำสายหลักจนถึงปลายทางออก L = 83.56 กม. ความยาวลำน้ำของลำน้ำหลักที่ออกจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่รับน้ำจนถึงปลายออก L_c = 38.74 กม. มีความลาดเทเฉลี่ยของแม่น้ำสายใหญ่ = 0.0063

เมื่อพิจารณาจากเส้นทางลำน้ำแล้วพบว่าเส้นทางน้ำหลากของลุ่มแม่รำพันไม่ได้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อพื้นที่ของอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยและเขตตำบลเมืองเก่าโดยตรง จึงได้มีการวิเคราะห์พื้นที่รับน้ำของพื้นที่ศึกษาเพิ่มเติมได้ผลข้อมูลทางกายภาพและข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษา ตำบลเมืองเก่า ดังนี้ พื้นที่เขตอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย มีพื้นที่รับน้ำทั้งหมด Area = 45.94 ตารางกิโลเมตร ความยาวลำน้ำของแม่น้ำสายหลักจนถึงปลายทางออก L = 18.09 ก.ม. ความยาวลำน้ำของลำน้ำหลักที่ออกจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่รับน้ำจนถึงปลายออก L_c = 9.81 ก.ม. มีความลาดเทเฉลี่ยของแม่น้ำสายใหญ่ (S) = 0.0033

ได้ผลการคำนวณหาปริมาณน้ำหลากสูงสุด (Peak Discharge, Q_p) ของพื้นที่ศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย โดยวิธี Rational Method คำนวณหาปริมาณน้ำหลากสูงสุดได้ Q_p(รวม) = 165.01 ลบ.ม./วินาที และคำนวณหาปริมาณน้ำหลากสูงสุด โดยวิธี Unit hydrograph ได้ปริมาณน้ำหลากสูงสุด 7.57 ลบ.ม./วินาที

จากการสอบเทียบ ระหว่างปริมาณน้ำหลากที่วัดจริงของลุ่มน้ำแม่มอกกับการคำนวณหาปริมาณหลากจากการหาขนาดพื้นที่รับน้ำด้วย ArcGIS โดยวิธี Unit hydrograph มีค่าความแตกต่างกัน 4.56 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นคณะผู้จัดทำโครงงานจึงเลือกใช้ ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่คำนวณได้จาก วิธี Unit hydrograph กับพื้นที่ศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย

5.1.3 นำเสนอทางเลือกในการแก้ไขปัญหาอุทกภัยที่มีผลกระทบต่อพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัยและพื้นที่ตำบลเมืองเก่า

จากการคำนวณความสามารถในการระบายน้ำเดิม

คลองแม่รำพัน มีความสามารถในการระบายน้ำ	7.69	ม.^{3}/วินาที
คลองยาง มีความสามารถในการระบายน้ำ	80.396	ม.^{3}/วินาที

ทางเลือกที่ 1 ขุดลอกคลองแม่รำพัน ตั้งแต่บริเวณ อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ถึง ปลายคลองแม่รำพัน ตลอดความยาวประมาณ 12,000 ม. และจากผลการดำเนินการพบว่าพื้นที่บริเวณคลองแม่รำพัน พื้นที่ไม่สามารถเพิ่มขนาดหน้าตัด (A) ของคลองได้จึงเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ด้วยการขุดลอกคลองทำให้ท้องคลองสม่ำเสมอ และนำเอาวัชพืชที่ขวางทางน้ำออก จะช่วยเพิ่มการระบายน้ำออกจากพื้นที่ (Q) เนื่องจากบริเวณพื้นที่ที่จะทำการขุดลอกเป็นชุมชนเมืองขนาดเล็ก จึงเลือกใช้รอบปีการเกิดซ้ำที่ 25 ปี ภาคผนวก ง.5 จากความสารถระบายน้ำเดิม ทำได้ 7.69 ลบ.ม./วินาที สามารถเพิ่มการการระบายน้ำได้ เป็น 26.5ลบ.ม./วินาที การพิจารณาทางเลือกใช้แนวทางการพิจารณาทางวิศวกรรมเท่านั้น

ทางเลือกที่ 2 ก่อสร้างอาคารควบคุมน้ำปากคลอง จำนวน 2 แห่ง

ปรับปรุงคลองฝั่งซ้ายคลองแม่รำพัน(แนวคลองช่วยระบาย 1) ความยาวประมาณ 2,180 ม.

สามารถเพิ่มการการระบายได้ เป็น 8.94 ลบ.ม./วินาที

ปรับปรุงคลองฝั่งขวาคลองแม่รำพัน(แนวคลองช่วยระบาย 2) ความยาวประมาณ 3,500 ม.

สามารถเพิ่มการการระบายได้ เป็น 8.94 $ม.^3$/วินาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยโปรแกรม ArcGIS ควรมีการลงพื้นที่สำรวจภาคสนามเกี่ยวกับเส้นทางการไหลของทางน้ำในพื้นที่จริง เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์ข้อมูล

5.2.2 ควรทำการสอบเทียบข้อมูลลุ่มน้ำใกล้เคียงมากกว่า 1 ลุ่มน้ำ เพื่อความถูกต้องในการนำสมการความสัมพันธ์ของลุ่มน้ำมาใช้ในการคำนวณ

ภาคผนวก ก

ก.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_p และ $LL_c/\sqrt{S}$ และความสัมพันธ์ระหว่าง Q_p/A และ T_p

ลำดับ	ลุ่มน้ำ	จำนวนสถานีที่ใช้วิเคราะห์	ความสัมพันธ์ T_p กับ $a(LL_c/S)^b$			ความสัมพันธ์ Q_p กับ $a=c(t_p)^d$		
			a	b	r	c	d	r
1	ปิง	11	0.5925	0.3108	0.7246	0.2094	-1.0018	0.8893
2	วัง	5	0.0396	0.5773	0.8717	0.3202	-1.1688	0.9154
3	ยม	5	1.6375	0.2377	0.7488	0.2385	1.0291	0.8666
4	น่าน	5	4.4121	0.156	0.819	1.616	-1.6074	0.839
5	โขง	12	0.2837	0.3979	0.6433	0.2175	-1.0008	0.7821
6	ชี	7	0.0092	0.7214	0.9614	0.1625	-0.955	0.9542
7	มูล	11	0.1909	0.5293	0.7052	0.2434	-0.9887	0.8272
8	ป่าสัก	7	0.0234	0.682	0.5881	0.1095	-0.7042	0.6753
9	ตะวันออก	13	0.7331	0.3433	0.7451	0.1803	-0.9535	0.9022
10	ตะวันตก	11	1.3152	0.2621	0.7117	0.1662	-0.8747	0.5752
11	ใต้	17	1.2636	0.2956	0.5804	0.5379	-1.2642	0.859

ที่มา : กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2552

ก.2 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผิวดิน (Values of runoff coefficient, C) คัดลอกจาก กรมทางหลวง (2555)

Topography and vegetation	Soil texture		
	Open sandy loam	Clay and silt loam	Tight clay
Woodland			
Flat 0-5 % slope	0.10	0.30	0.40
Rolling 5-10 % slope	0.25	0.35	0.50
Hilly 10-30 % slope	0.30	0.50	0.60
Pasture			
Flat 0-5 % slope	0.10	0.30	0.40
Rolling 5-10 % slope	0.16	0.36	0.55
Hilly 10-30 % slope	0.22	0.42	0.60
Cultivated			
Flat 0-5 % slope	0.30	0.50	0.60
Rolling 5-10 % slope	0.40	0.60	0.70
Hilly 10-30 % slope	0.52	0.72	0.82
Urban areas	30% of area impervious	50% of area impervious	70% of area impervious
Flat 0-5 % slope	0.40	0.55	0.65
Rolling 5-10 % slope	0.50	0.65	0.80

ก.3 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n

ชนิดและลักษณะทางน้ำ	ต่ำสุด	ปานกลาง	สูงสุด
1. ทางน้ำที่ขุดขึ้น (excavated or dredged)			
1.1 คลองดินตรงและสม่ำเสมอ			
1.1.1 สะอาด เพิ่งสร้างเสร็จ	0.016	0.018	0.020
1.1.2 สะอาด หลักจากใช้งานแล้ว	0.018	0.022	0.025
1.1.3 กรวด, หน้าตัดสม่ำเสมอ, สะอาด	0.022	0.025	0.030
1.1.4 มีหญ้าสั้นๆมีวัชพืชเล็กน้อย	0.022	0.027	0.033
1.2 คลองดิน คดเคี้ยว และไหลช้า			
1.2.1 ไม่มีพืช	0.023	0.025	0.030
1.2.2 หญ้า, วัชพืช	0.025	0.030	0.033
1.2.3 วัชพืชหนาแน่นหรือวัชพืชขึ้นใต้น้ำในทางน้ำเปิดที่มีความลึก	0.030	0.035	0.040
1.2.4 ท้องคลองเป็นดินและมีเศษหินด้านข้าง	0.028	0.030	0.035
1.2.5 หินที่ท้องคลองและวัชพืชด้านข้าง	0.025	0.035	0.040
1.2.6 ก้อนหินที่ท้องคลองและด้านข้างสะอาด	0.030	0.040	0.050
1.3 คลองขุดด้วยรถขุด			
1.3.1 ไม่มีพืชขึ้น	0.025	0.028	0.033
1.3.2 ไม่มีพุ่มเล็กน้อยบนตลิ่ง	0.035	0.050	0.060
1.4 คลองขุดในหิน			
1.4.1 ราบเรียบและสม่ำเสมอ	0.025	0.035	0.040
1.4.2 ขรุขระและไม่สม่ำเสมอ	0.035	0.040	0.050
1.5 ทางน้ำไม่ได้บำรุงรักษา ไม่ได้ตัดวัชพืชและไม้พุ่ม			
1.5.1 วัชพืชหนาแน่น สูงตามความลึกการไหล	0.050	0.080	0.120
1.5.2 ท้องคลองสะอาด, ไม้พุ่มบนด้านข้าง	0.040	0.050	0.080
1.5.3 เหมือนข้อ 1.5.2 แต่มีระดับน้ำสูงกว่า	0.045	0.070	0.110
2. ทางน้ำธรรมชาติ (natural streams)			
2.1 ลำน้ำย่อย (ความกว้างผิวน้ำเมื่อเกิดอุทกภัยน้อยกว่า 100 ft)			

2.1.1 ลำน้ำบนที่ราบ			
2.1.1.1 สะอาด, ตรง, ระดับสูงไม่มีทางแยกหรือแอ่งน้ำลึก	0.025	0.030	0.033
2.1.1.2 เหมือนข้อ 2.1.1.1 แต่มีหินและวัชพืชมากกว่า	0.030	0.035	0.040
2.1.1.3 สะอาด, คดเคี้ยว, มีแอ่งแลพแก่งใต้น้ำ	0.033	0.040	0.045
2.1.1.4 เหมือนข้อ 2.1.1.3 แต่มีวัชพืชและหิน	0.035	0.045	0.050
2.1.1.5 เหมือนข้อ 2.1.1.4 แต่มีระดับต่ำกว่าความลาดเทและรูปตัดไม่แน่นอน	0.040	0.048	0.055
2.1.1.6 เหมือนข้อที่ 2.1.1.4 แต่มีหินมากกว่า	0.045	0.050	0.060
2.1.1.7 ช่วงที่ไหลช้า, มีวัชพืชและแอ่งลึก	0.050	0.070	0.080
2.1.1.8 ช่วงที่มีวัชพืชมาก บ่อลึกหรือทางอุทกภัยที่มีต้นไม้และไม้พุ่มหนาแน่น	0.075	0.100	0.150
2.1.2 ลำน้ำในหุบเขาไม่มีวัชพืชในทางน้ำตลิ่งลาดชัน ต้นไม้และพุ่มไม้ตามตลิ่งอยู่ใต้น้ำที่ระดับการไหลสูง			
2.1.2.1 ท้องคลอง มีกรวด ก้อนหิน และหินก้อนใหญ่ๆ เล็กน้อย	0.030	0.040	0.050
2.1.2.2 ท้องคลอง มีก้อนหิน และหินก้อนใหญ่กว่าข้อแรก	0.040	0.050	0.070
2.2 พื้นที่น้ำท่วม (flood plain)			
2.2.1 ทุ่งหญ้าไม่มีไม้พุ่ม			
2.2.1.1 หญ้ายาว	0.030	0.035	0.050
2.2.2 พื้นที่เพาะปลูก			
2.2.2.1 ไม่มีพืช	0.020	0.030	0.040
2.2.2.2 พืชเป็นแถวที่แก่	0.025	0.035	0.045
2.2.2.3 พืชไร่ที่แก่	0.030	0.040	0.050
2.2.3 ไม้พุ่ม			
2.2.3.1 ไม้พุ่มกระจัดกระจายวัชพืชขึ้นหนา	0.035	0.050	0.070
2.2.4 ต้นไม้			
2.2.4.1 พื้นที่ว่างเปล่ามีตอไม้ ไม่มีหน่อ	0.030	0.040	0.050
2.2.4.2 เหมือนข้อ 2.2.4.1 แต่มีหน่อมาก	0.050	0.060	0.080

2.2.4.3 มีไม้ยืนต้นมาก มีไม้ล้มเล็กน้อย ต้นเล็กมีเล็กน้อย	0.080	0.100	0.120
2.2.4.4 เหมือนข้อที่ 2.2.4.3 แต่ระดับน้ำถึงกึ่งกลาง	0.100	0.120	0.160
2.3 ลำน้ำหลัก (ผิวน้ำเมื่อเกิดเหตุอุทกภัยกว้างมากกว่า 100 ft ค่า n น้อยกว่าลำน้ำย่อยที่มีลักษณะเหมือนกันเพราะว่าความต้านทานบนตลิ่งที่น้อยกว่า)			
2.3.1 รูปตัดสม่ำเสมอไม่มีก้อนหินหรือไม้พุ่ม	0.025		0.060
2.3.2 ไม่สม่ำเสมอและรูปตัดขรุขระ	0.035		0.100
3. ทางน้ำดาดผิวหรือสร้างขึ้น (lined or built-up channels)			
3.1 โลหะ			
3.1.1 เหล็กตรงเรียบ			
3.1.1.1 ไม่ได้ทาสี	0.011	0.012	0.014
3.1.1.2 ทาสี	0.012	0.013	0.017
3.2 อโลหะ			
3.2.1 ซีเมนต์			
3.2.1.1 ผิวเรียบ	0.010	0.011	0.013
3.2.1.2 มีมอร์ตาร์	0.011	0.013	0.015
3.2.2 ไม้			
3.2.2.1 ผิวเรียบธรรมชาติ	0.010	0.012	0.014
3.2.2.2 ผิวเรียบ	0.011	0.012	0.015
3.2.2.3 ผิวไม่เรียบ	0.011	0.013	0.015
3.2.2.4 แผ่นกระดาน	0.012	0.015	0.018
3.2.2.5 ไม้อัดผิวกระดาษ	0.010	0.014	0.017
3.2.3 คอนกรีต			
3.2.3.1 โปกปูน	0.011	0.013	0.015
3.2.3.2 โปกปูนขรุขระ	0.013	0.015	0.016
3.2.3.3 แต่งผิวเสร็จ และมีกรวดข้างล่าง	0.015	0.017	0.020
3.2.3.4 ไม่เรียบร้อย	0.014	0.017	0.020

3.2.3.5 Gunite หน้าตัดดี	0.016	0.019	0.023
3.2.3.6 Gunite หน้าตัดเป็นคลื่น	0.018	0.022	0.025
3.2.3.7 สร้างบนหินขุดอย่างดี	0.017	0.020	
3.2.3.8 สร้างบนหินขุดไม่เรียบ	0.022	0.027	
3.2.4 คอนกรีตข้างล่างโปกปูนขรุขระ ส่วนด้านข้างมี			
3.2.4.1 หินคัด และมอร์ตาร์	0.015	0.017	0.020
3.2.4.2 หินสุ่ม และมอร์ตาร์	0.017	0.020	0.024
3.2.4.3 อิฐก่อซีเมนต์และปูนฉาบ	0.016	0.020	0.024
3.2.4.4 อิฐก่อซีเมนต์	0.020	0.025	0.030
3.2.5 ท้องน้ำมีกรวดและด้านข้างมี			
3.2.5.1 คอนกรีต	0.017	0.020	0.025
3.2.5.2 หิวสุ่ม และมอร์ตาร์	0.020	0.023	0.026
3.2.5.3 หินแห้ง หรือ หินยาคอนกรีต	0.023	0.033	0.036
3.2.6 อิฐ			
3.2.6.1 เคลือบเงา	0.011	0.013	0.015
3.2.6.2 ในซีเมนต์มอร์ตาร์	0.012	0.015	0.018
3.2.7 อิฐก่อ			
3.2.7.1 ผสมเศษหินซีเมนต์	0.017	0.025	0.030
3.2.7.2 ผสมเศษหิน	0.023	0.032	0.035
3.2.8 หินก่อสร้างรูปสี่เหลี่ยมวางซ้อนกัน	0.013	0.015	0.017
3.2.9 ยางมะตอย			
3.2.9.1 ผิวเรียบ	0.013	0.013	
3.2.9.2 ผิวขรุขระ	0.016	0.016	
3.2.10 ทางน้ำเปิดมีพืชขึ้น	0.030		0.500
4. ท่อที่ทีการไหลไม่เต็มท่อ			
4.1 โลหะ (metal)			
4.1.1 ทองเหลือง ผิวเรียบ	0.009	0.010	0.013

4.1.2 เหล็ก			
4.1.2.1 เชื่อมติดกัน	0.010	0.012	0.014
4.1.2.2 หมุดย้ำและเกลียว	0.013	0.016	0.017
4.1.3 เหล็กท่อ			
4.1.3.1 ผิวเรียบ	0.010	0.013	0.014
4.1.3.2 ผิวไม่เรียบ	0.011	0.014	0.016
4.1.4 เหล็กบริสุทธิ์ไม่มีคาร์บอน			
4.1.4.1 สังกะสี	0.013	0.016	0.017
4.1.5 โลหะผิวขรุขระ			
4.1.5.1 งานระบายน้ำย่อย	0.017	0.019	0.021
4.1.5.2 งานระบายน้ำจากพายุฝน	0.021	0.024	0.030
4.2 อโลหะ (nonmetal)			
4.2.1 Lucite	0.008	0.009	0.010
4.2.2 แก้ว	0.009	0.010	0.013
4.2.3 ซีเมนต์			
4.2.3.1 ผิวเรียบ	0.010	0.011	0.013
4.2.3.2 ผิวมอร์ตาร์	0.011	0.013	0.015
4.2.4 คอนกรีต			
4.2.4.1 ท่อลอด ตรง และตะกอนไหลได้อิสระ	0.010	0.011	0.013
4.2.4.2 ท่อลอดบริเวณทางโค้ง จุดเชื่อมต่อและมีตะกอนบางส่วน	0.011	0.013	0.014
4.2.4.3 แต่งผิวเรียบร้อย	0.011	0.012	0.014
4.2.4.4 ท่อน้ำเสียที่มีบ่อพักน้ำ ทางเข้า และมีแนวตรง	0.013	0.015	0.017
4.2.4.5 ผิวไม่เรียบ, แบบเหล็ก	0.012	0.013	0.014
4.2.4.6 ผิวไม่เรียบ, แบบไม้เรียบ	0.012	0.014	0.016
4.2.4.7 ผิวไม่เรียบ, แบบไม้ไม่เรียบ	0.015	0.017	0.020
4.2.5 ไม้			
4.2.5.1 ไม้บาง (stave)	0.010	0.012	0.014

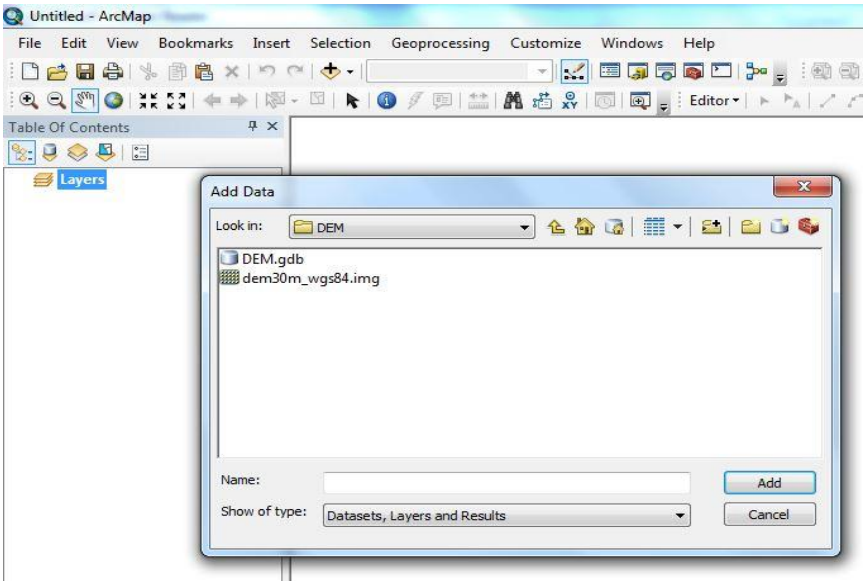
4.2.5.2 ผิวเรียบ	0.015	0.017	0.020
4.2.6 ดินเหนียว			
4.2.6.1 ระบายน้ำทั่วไป	0.011	0.013	0.017
4.2.6.2 Vitrified sewer, มีบ่อพักน้ำ, ทางเข้า	0.013	0.015	0.017
4.2.6.3 Vitrified sewer, มีจุดเชื่อมเปิด	0.014	0.016	0.018
4.2.7 อิฐ			
4.2.7.1 เคลือบเงา	0.011	0.013	0.015
4.2.7.2 คาดด้วยซีเมนต์มอร์ตาร์	0.012	0.015	0.017
4.2.8 ท่อระบายน้ำเสีย มีทางโค้งและจุดเชื่อม	0.012	0.013	0.016
4.2.9 Pave invert, ท้องเรียบ	0.016	0.019	0.020
4.2.10 อิฐก่อและซีเมนต์	0.018	0.025	0.030

ที่มา:Ven te Chow,[33] (รศ.กีรติ ลีวัจนกุล,ม.ป.ป.:222-228)

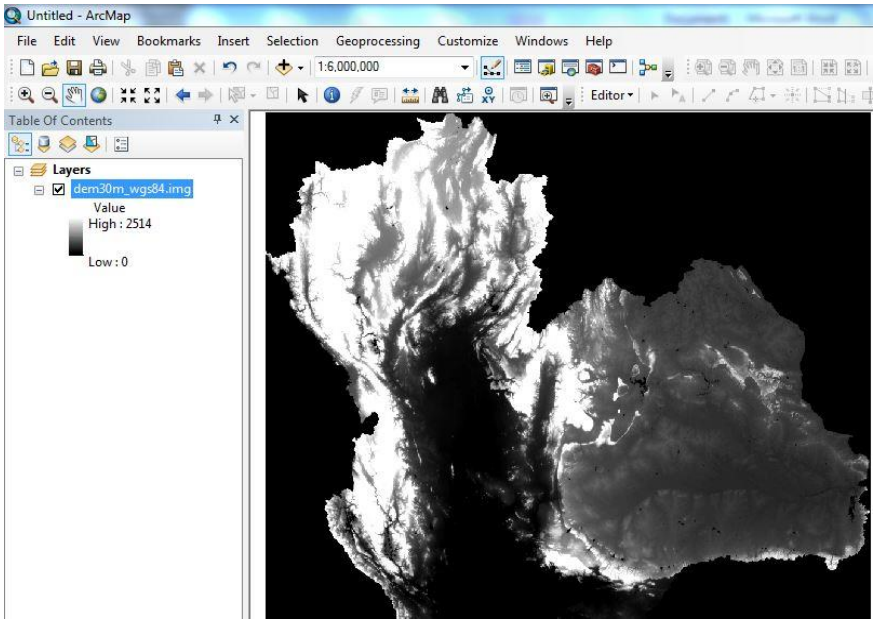
ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการวิเคราะห์การหาขอบเขตและพื้นที่รับน้ำด้วยโปรแกรม ArcMap

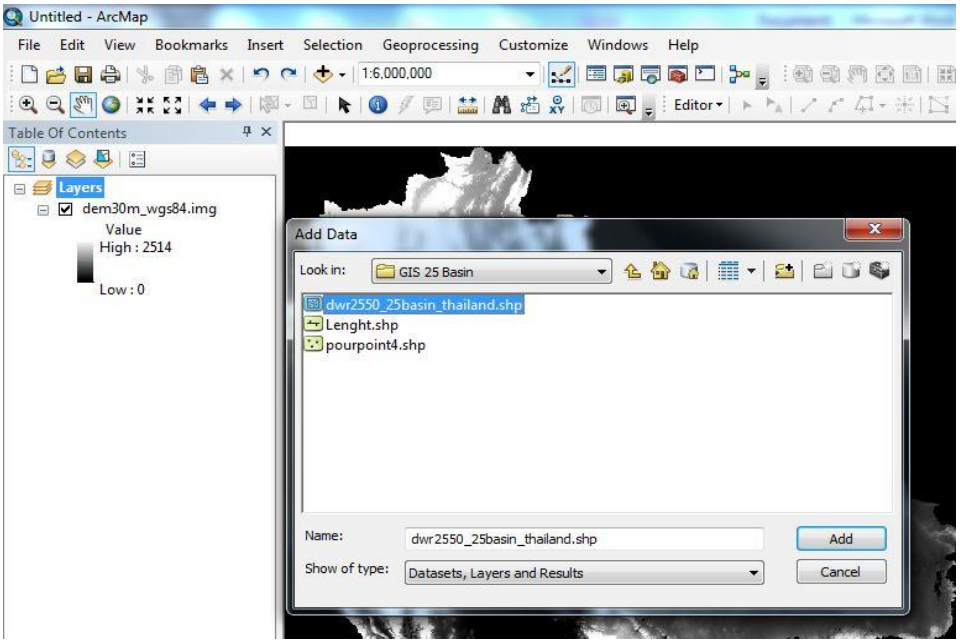
1 แสดงวิธีการนำเข้าข้อมูล DEM



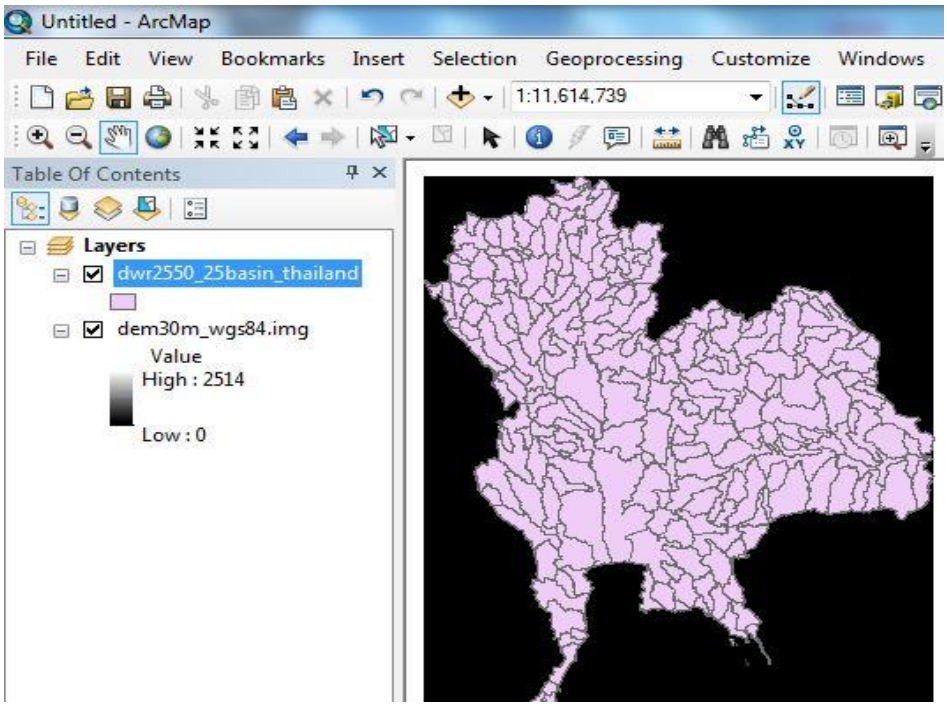
ข.2 แสดงวิธีการนำเข้าข้อมูล DEM



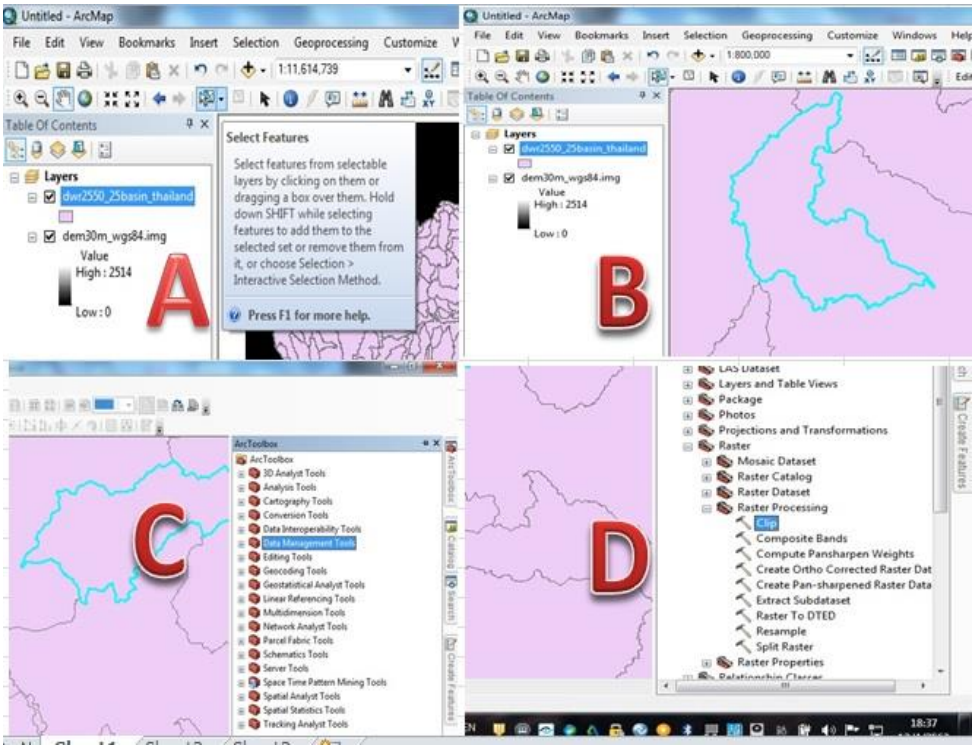
ข.3 แสดงวิธีการนำเข้าข้อมูล Shape file 25-basin Thailand.shp



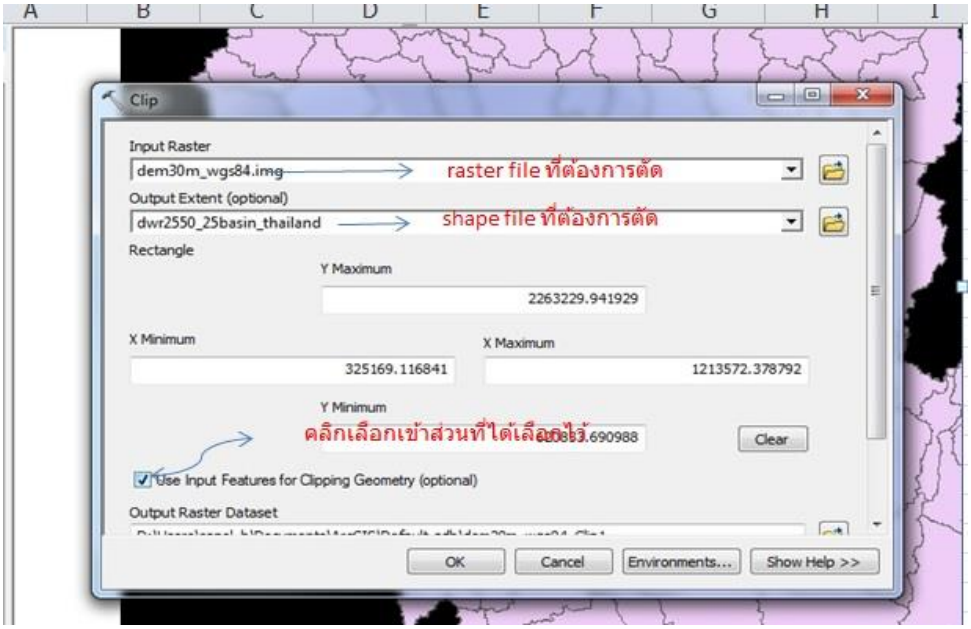
ข.4 แสดงรูปเมื่อนำเข้า Shape file 25-basin Thailand.shp



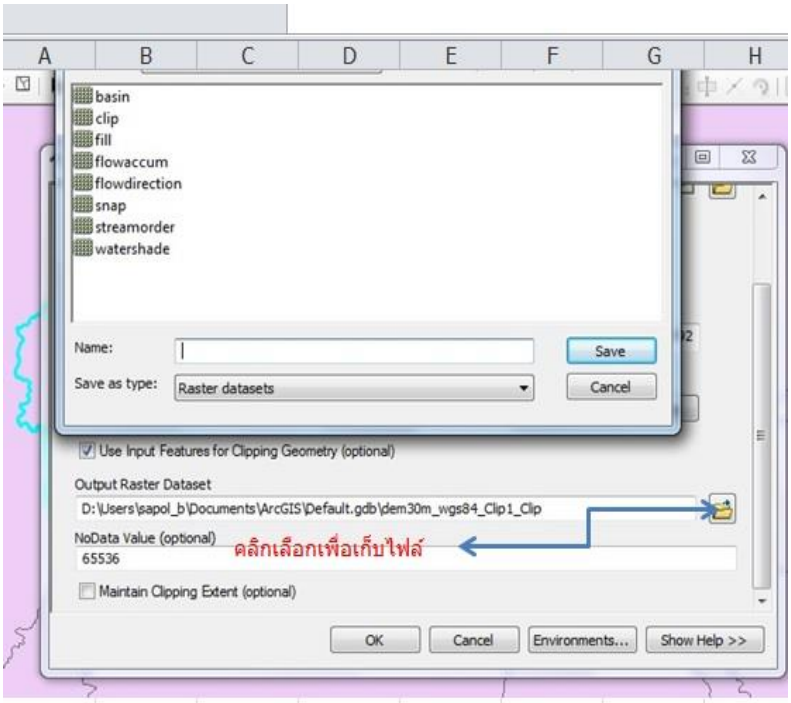
ข.5 แสดงรูปขั้นตอนการเลือกพื้นที่ที่สนใจ



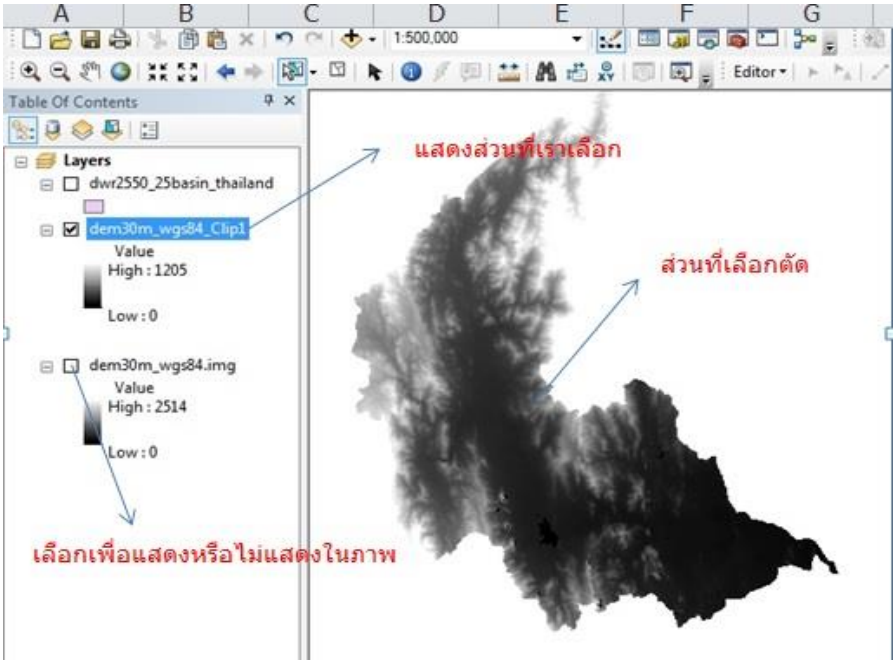
ข.6 แสดงรูปขั้นตอนการเลือกพื้นที่ที่สนใจ 2



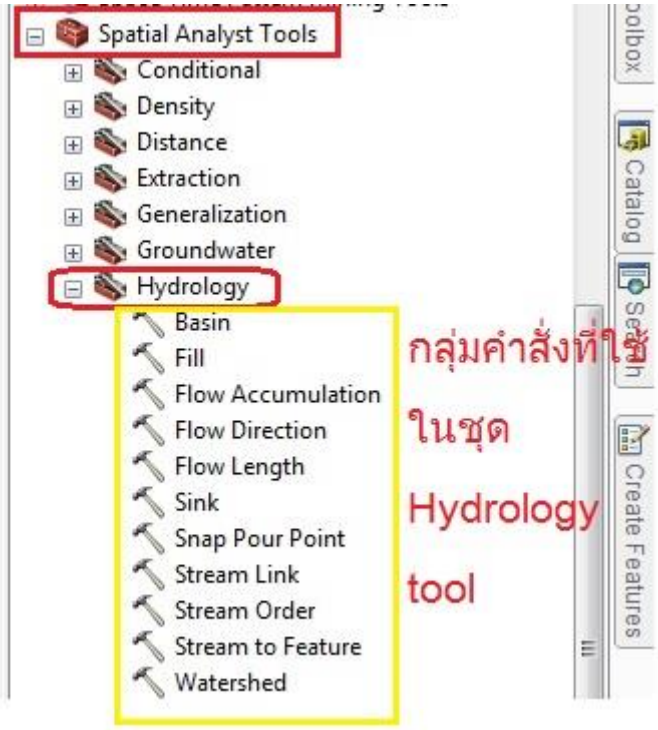
ข.7 แสดงรูปขั้นตอนการจัดการไฟล์เพื่อดำเนินการ



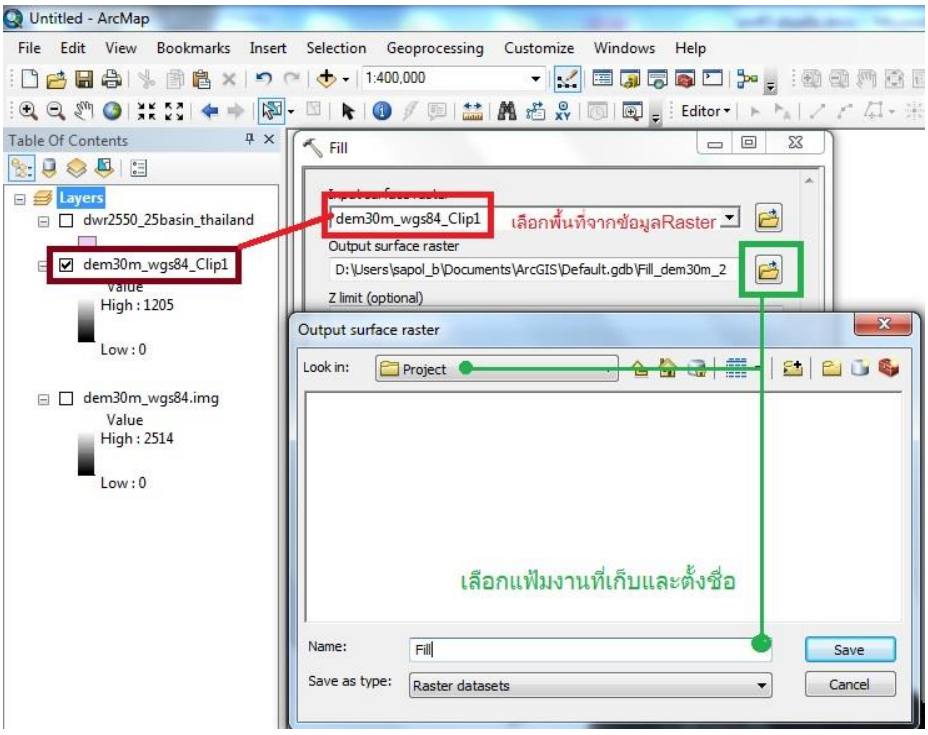
ข.8 แสดงรูปเมื่อสำเร็จขั้นตอนการเลือกพื้นที่ศึกษา



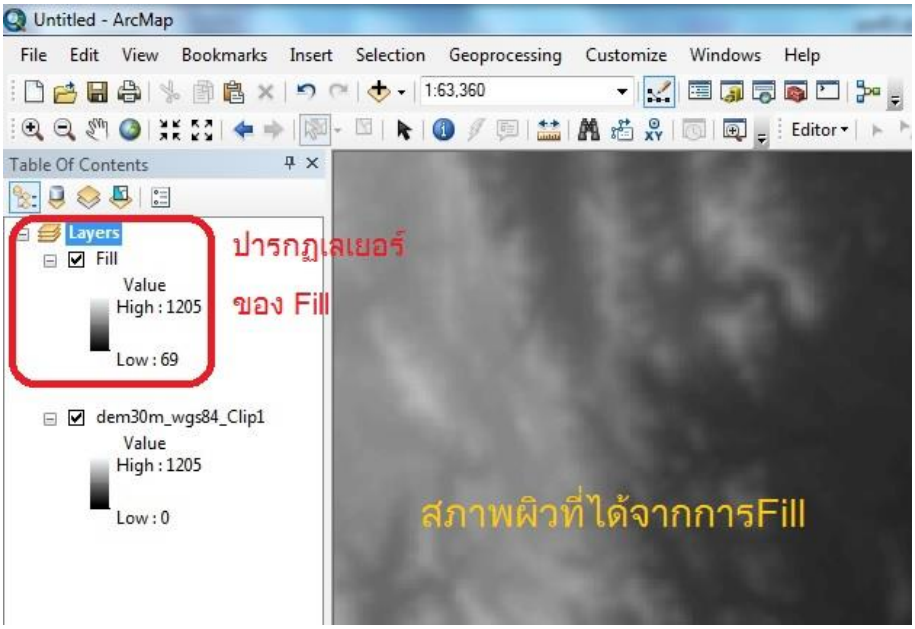
ข.9 แสดงรูปกลุ่มคำสั่งใน Spatial Analyst tool



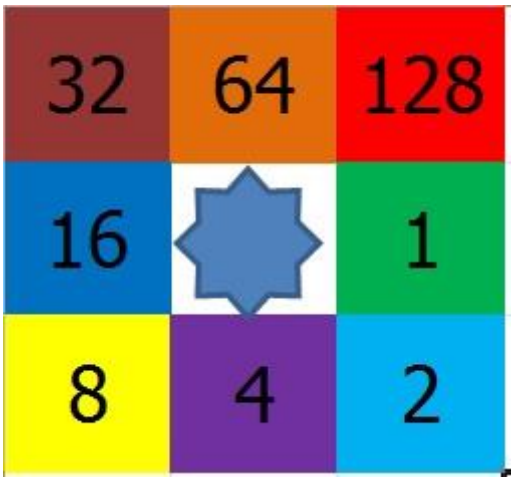
ข.10 แสดงรูปการนำเข้าข้อมูลที่ทางโปรแกรมต้องการและการจัดเก็บ



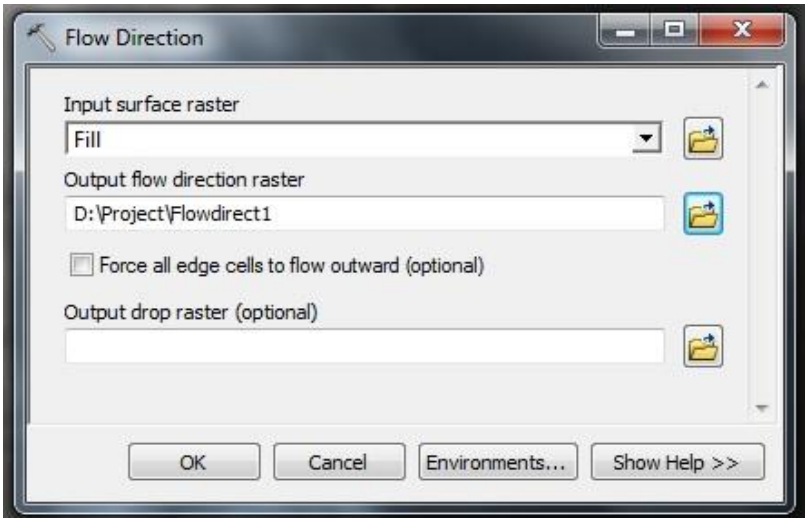
ข.11 แสดงรูปจากการประมวลผลคำสั่ง Fill



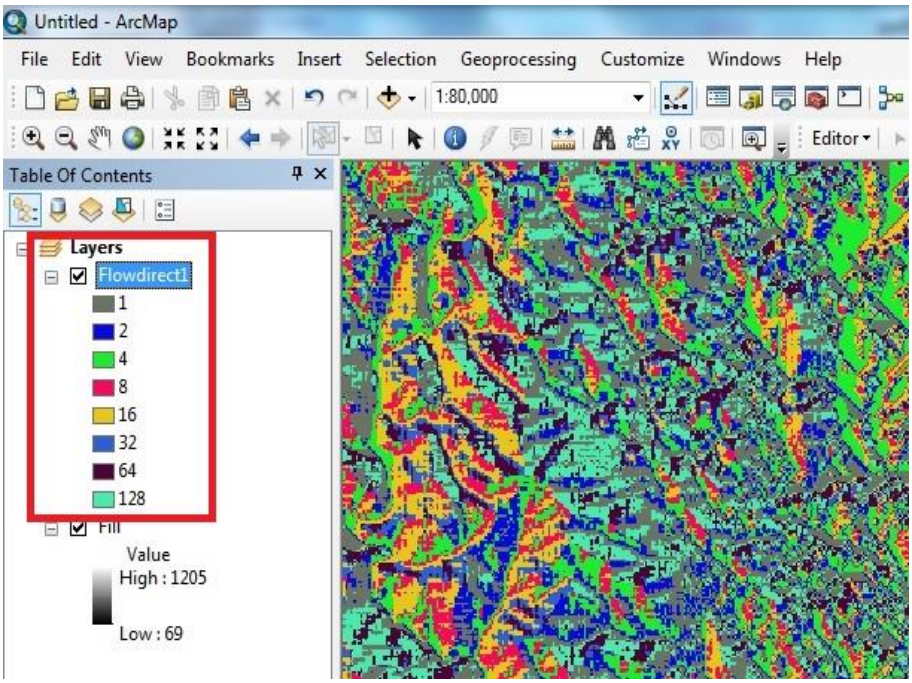
ข.12 แสดงรูปการแสดงรหัสสีบอกทิศทางการไหล



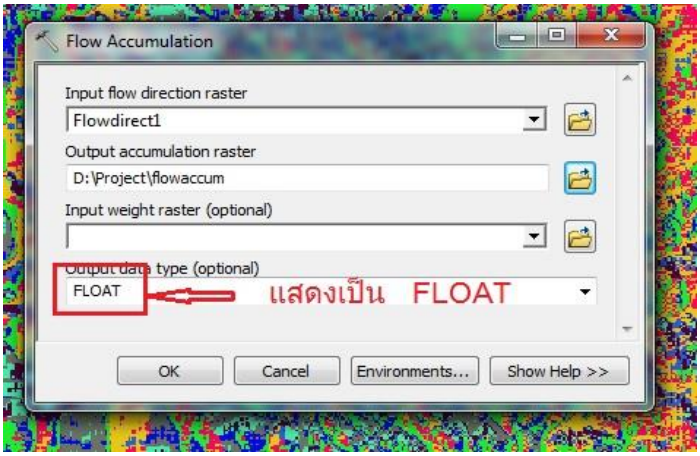
ข.13 แสดงรูปการนำเข้าข้อมูลการ Fill เพื่อหา Flow direction



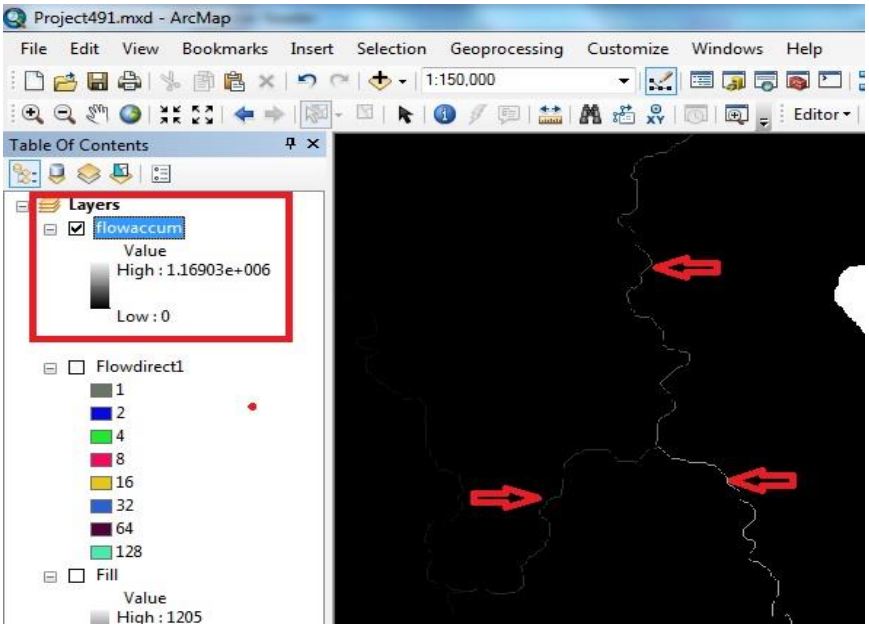
ข.14แสดงรูปการแสดงรหัสสีแทนการบอกทิศทางการไหล



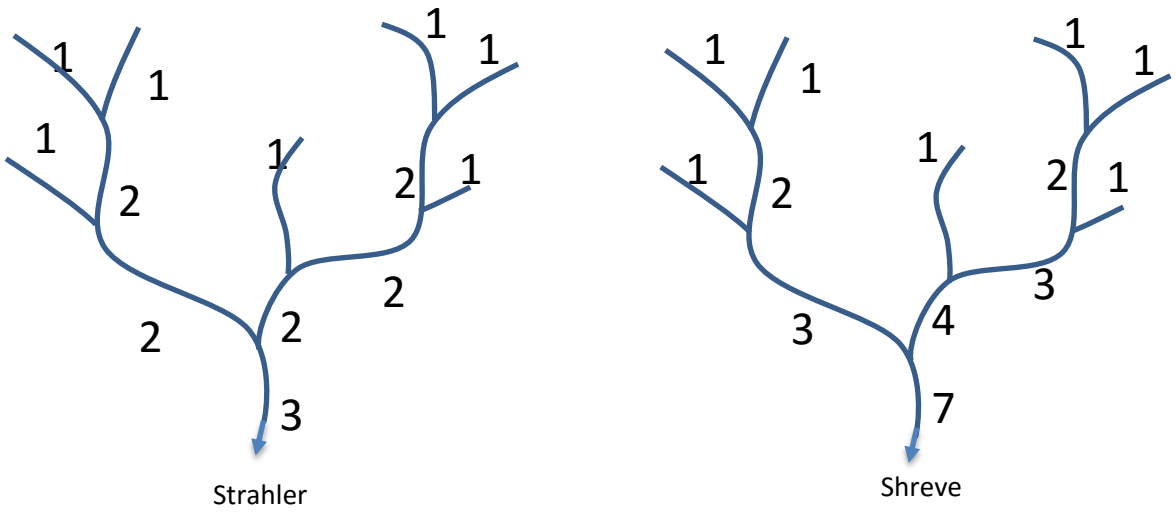
ข.15 แสดงรูปการนำเข้าข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ Flow accumulation



ข.16 แสดงรูป Flow accumulation

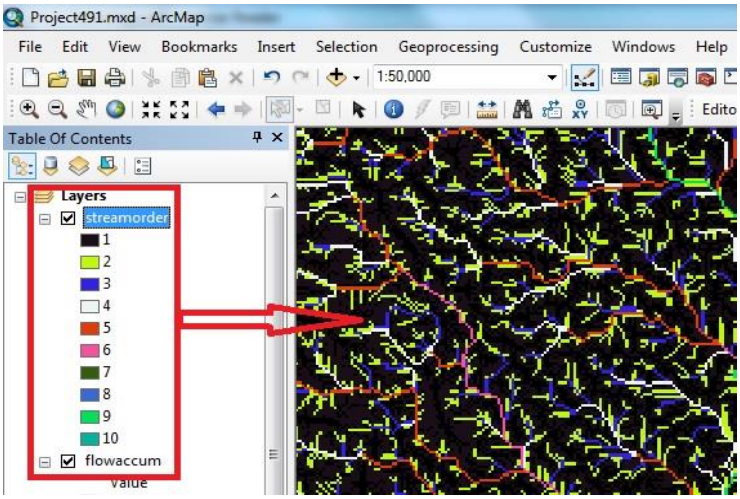


ข.17 แสดงรูปความแตกต่างการนับลำดับขั้นแบบ Strahler และ Shreve

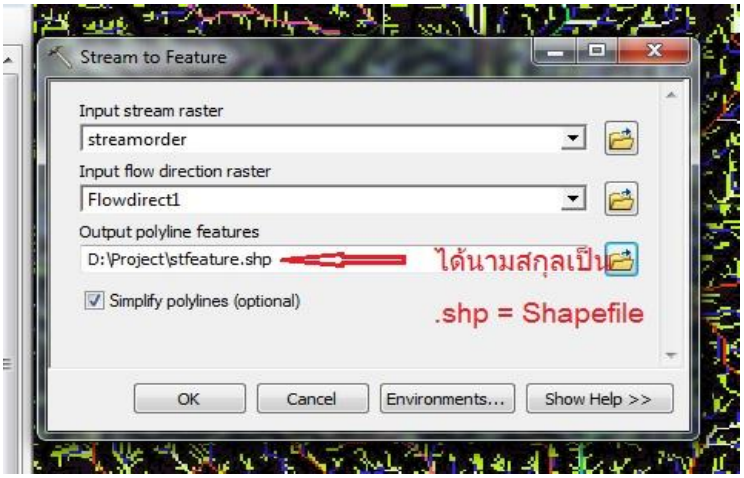


ข.18 แสดงรูปการนำเข้าข้อมูลเพื่อหา Stream order

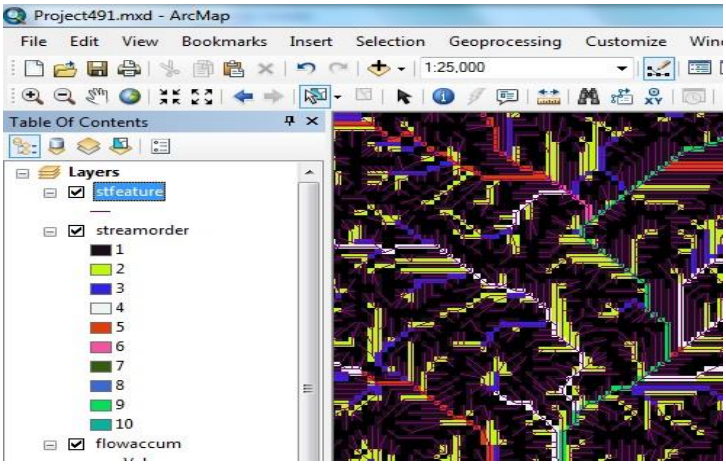
ข.19 แสดงรูปการแสดงลำดับขั้นในหน้าต่างStream order



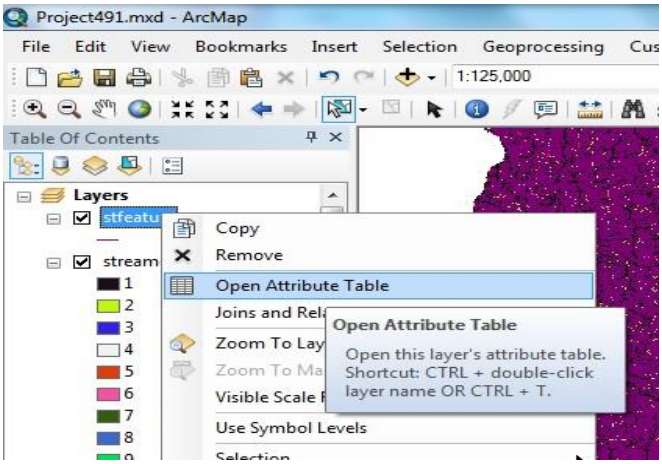
ข.20 แสดงรูปการนำเข้าข้อมูลเพื่อหาเส้นคุณลักษณะ



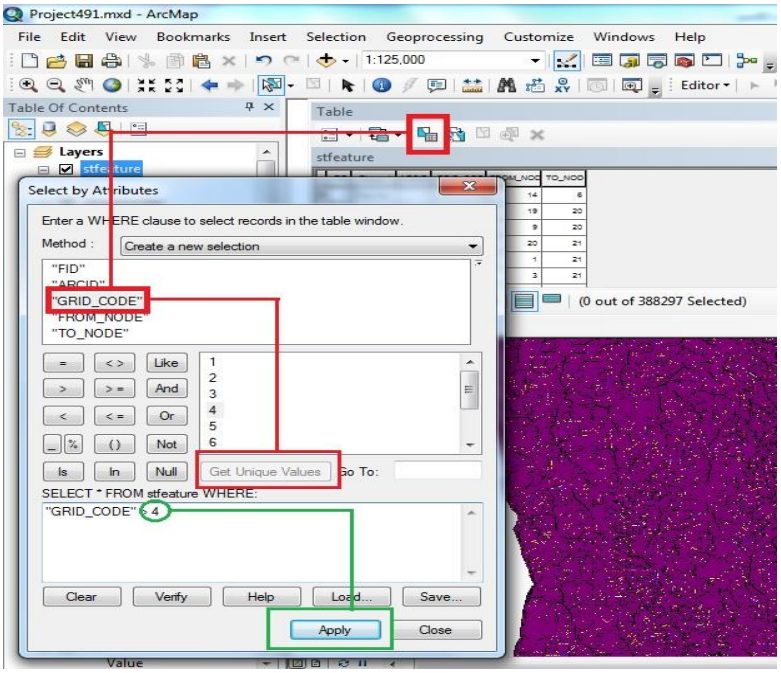
ข.21 แสดงรูป ลำดับขั้นลำน้ำแบบ Shape file



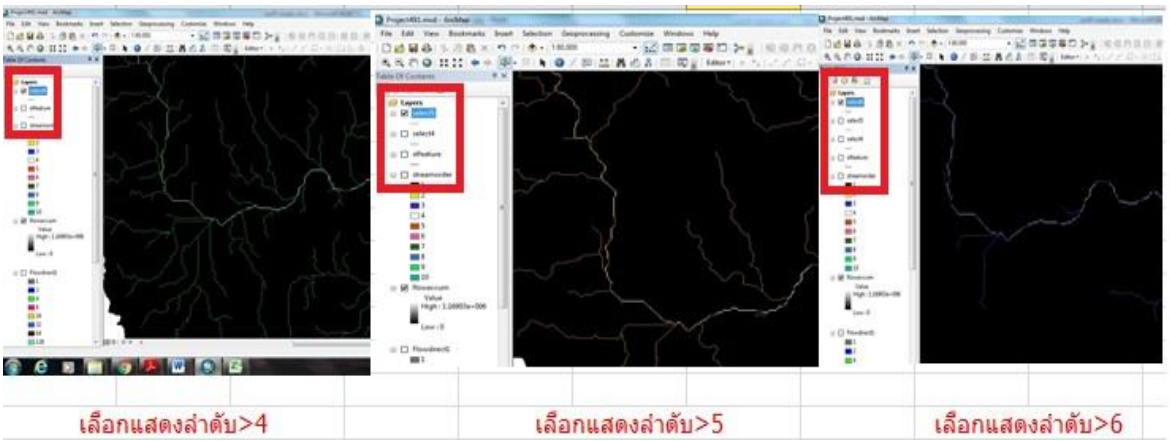
ข.22 แสดงรูปการนำเข้าข้อมูลเพื่อหาเพื่อแยกเส้นคุณลักษณะ



ข.23 แสดงรูปการนำเข้าข้อมูลเพื่อหาเพื่อแยกเส้นคุณลักษณะ ขั้นตอนลำดับการเลือกคำสั่ง

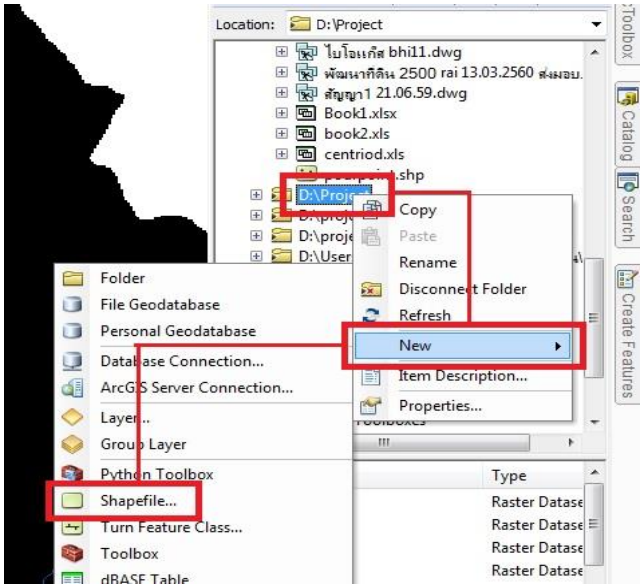


ข.24 แสดงรูปความแตกต่างในการแสดงเส้น Stream line ตามลำดับที่เลือกใช้ต่างๆกัน 5-7

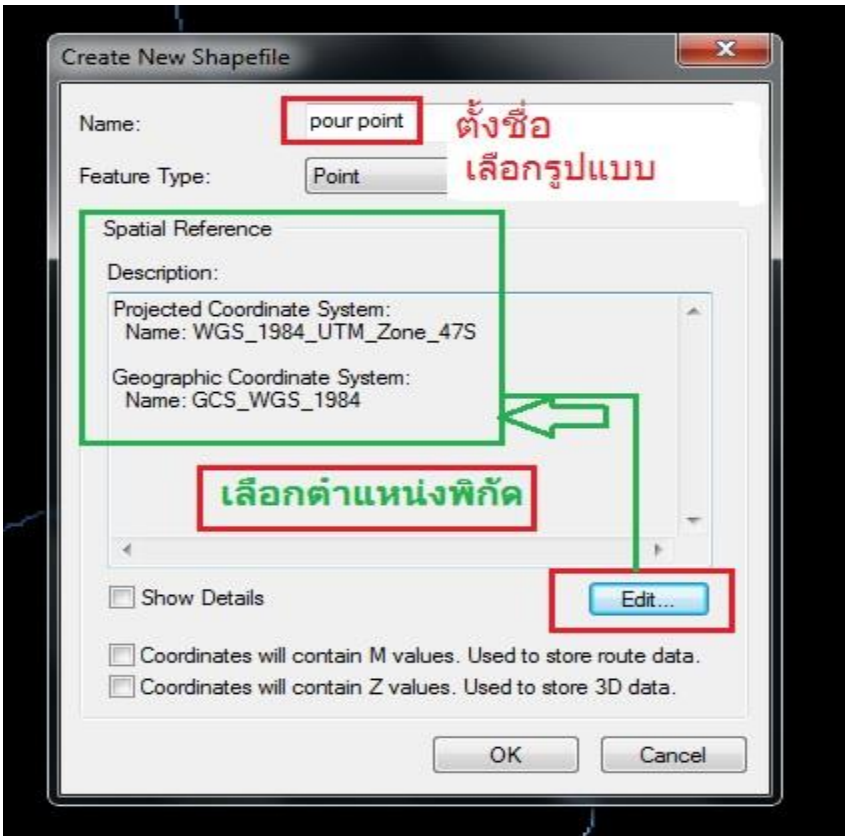


ข.25 แสดงรูปความแตกต่างในการแสดงเส้น Stream line ตามลำดับที่เลือกใช้ต่างๆกัน 1-4

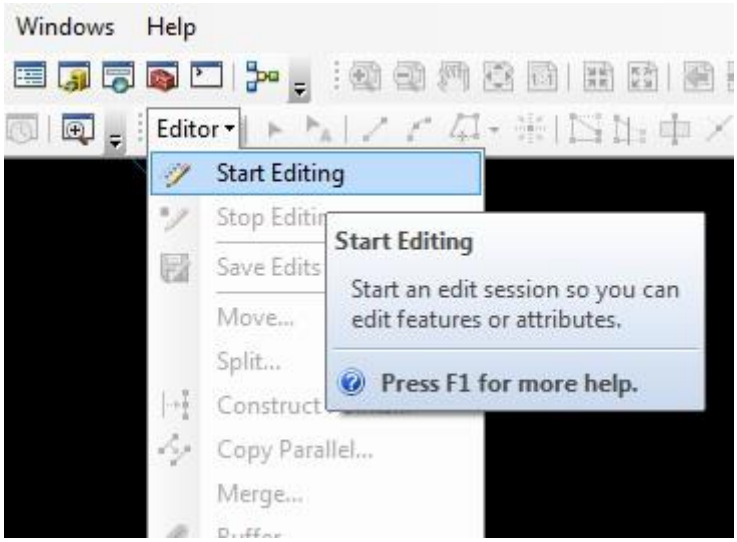
ข.26 แสดงรูปขั้นตอนการสร้าง shape file pour point



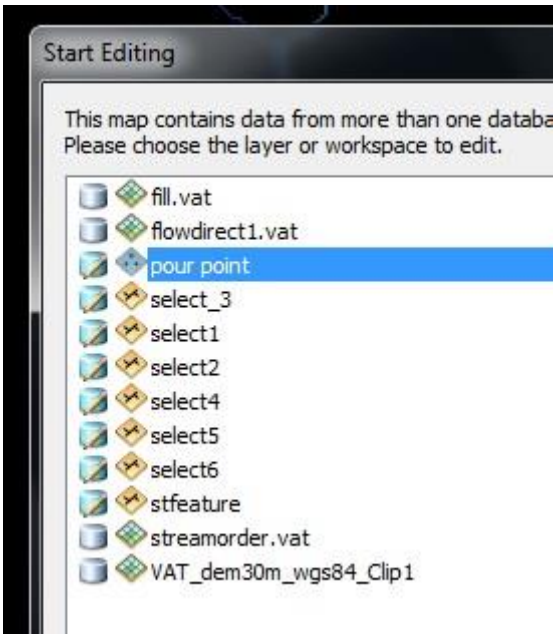
ข.27 แสดงรูปขั้นตอนการสร้าง shape file pour point 2



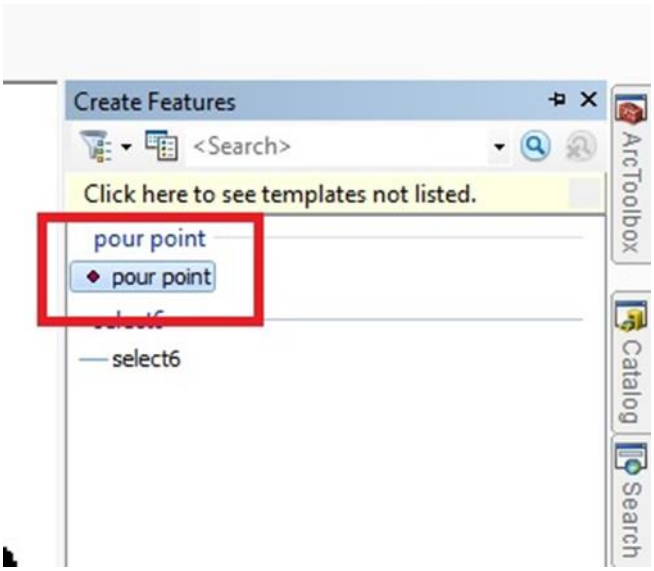
ข.28 แสดงรูปขั้นตอนการสร้าง shape file pour point 3



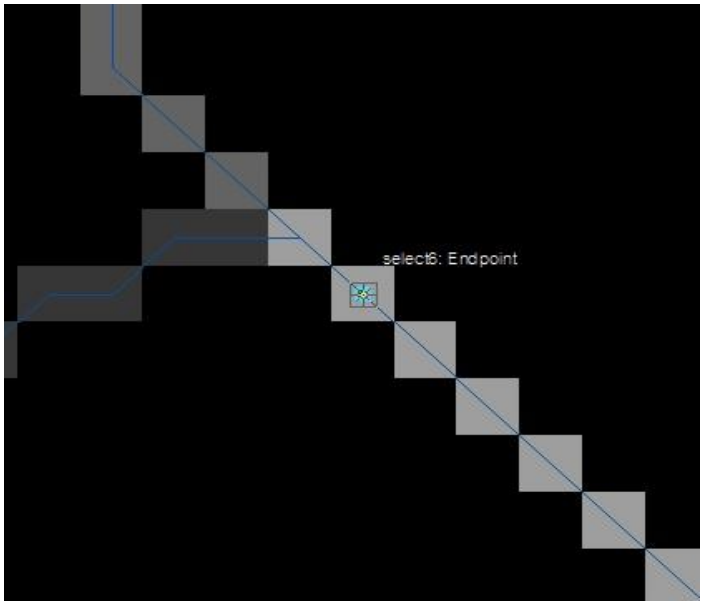
ข.29 แสดงรูปขั้นตอนการสร้าง shape file pour point 4



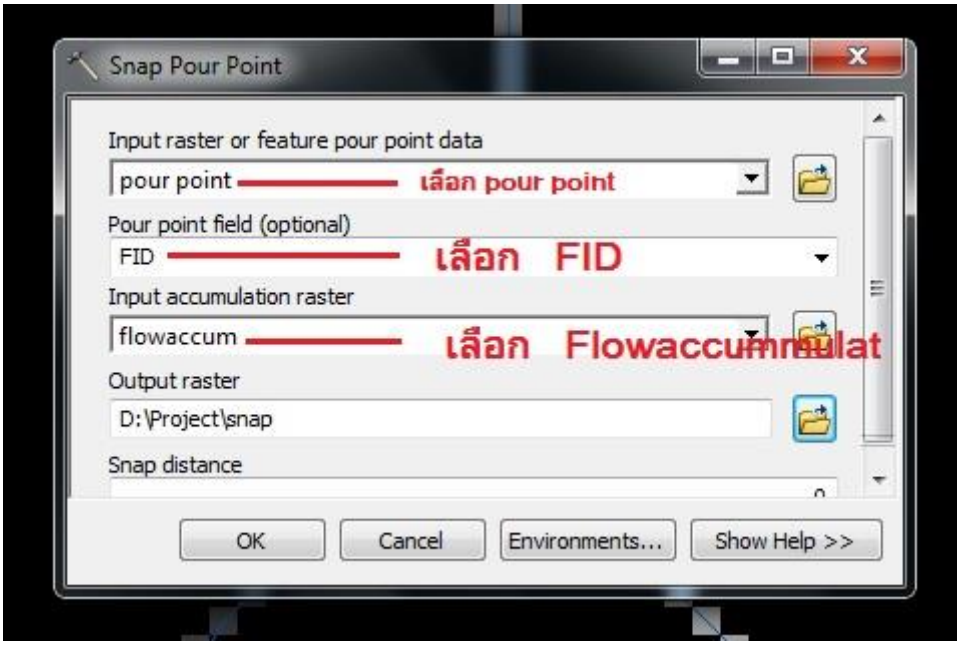
ข.30 แสดงรูปขั้นตอนการสร้าง shape file pour point 5



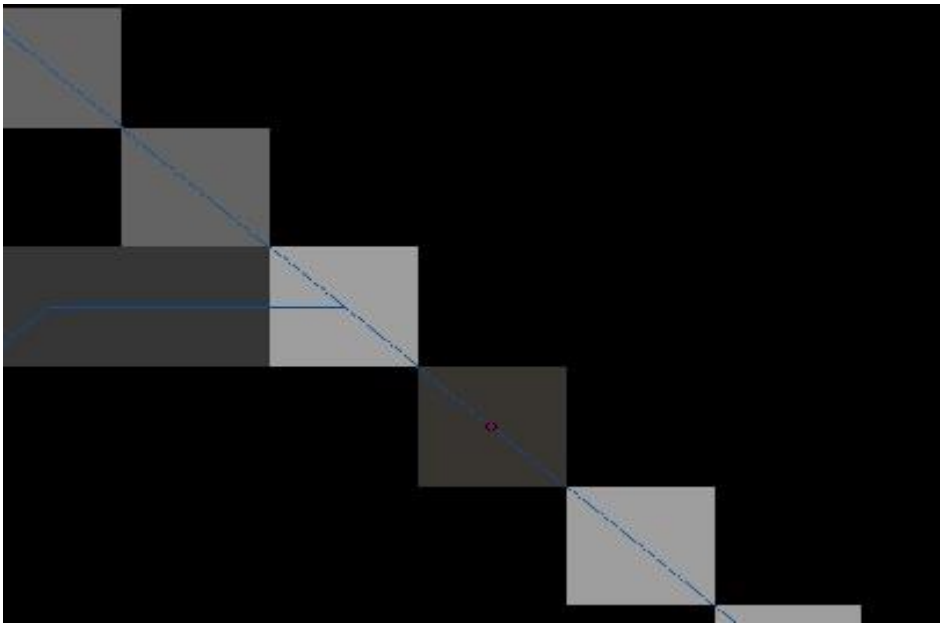
ข.31 แสดงรูปขั้นตอนการสร้าง shape file pour point 6



ข.32 แสดงรูปการนำเข้าข้อมูลเพื่อทำ Snap pour point

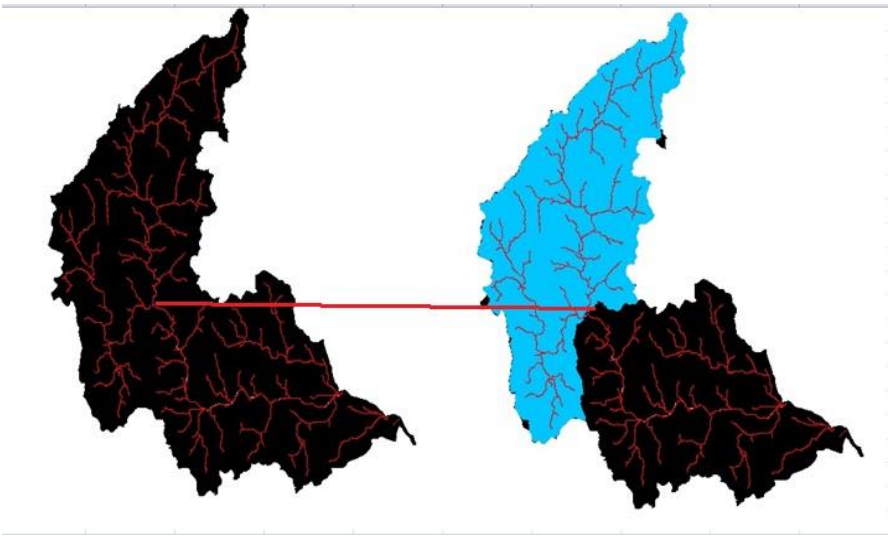


ข.33 แสดงรูปเสร็จสิ้นการทำ Snap pour point

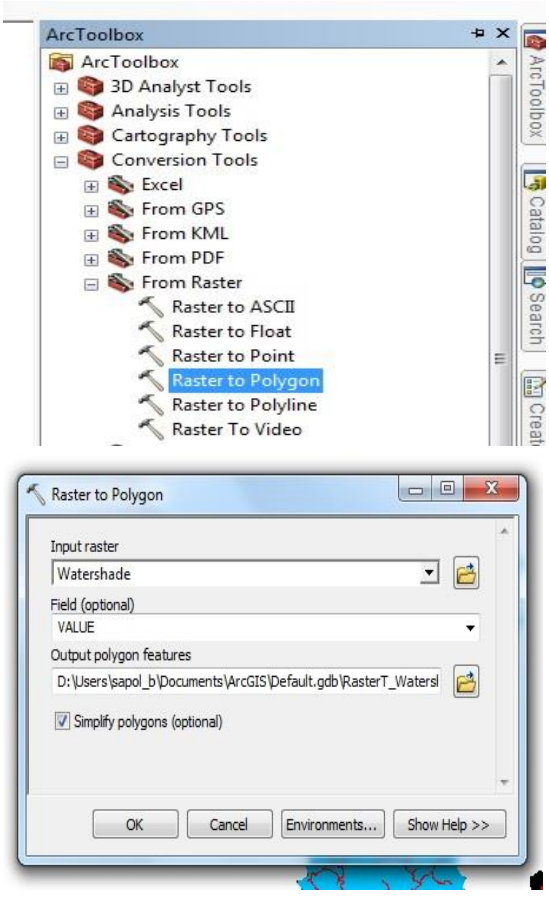


ข.34 แสดงรูปการนำเข้าข้อมูลเพื่อทำ Watershade

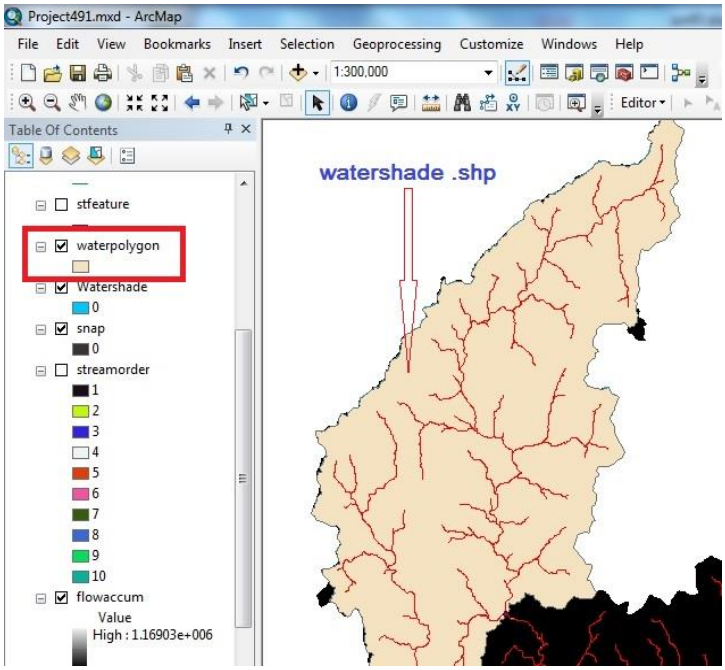
ข.35 แสดงรูปWatershape ที่ได้กำหนดจุดกั้นลำน้ำ



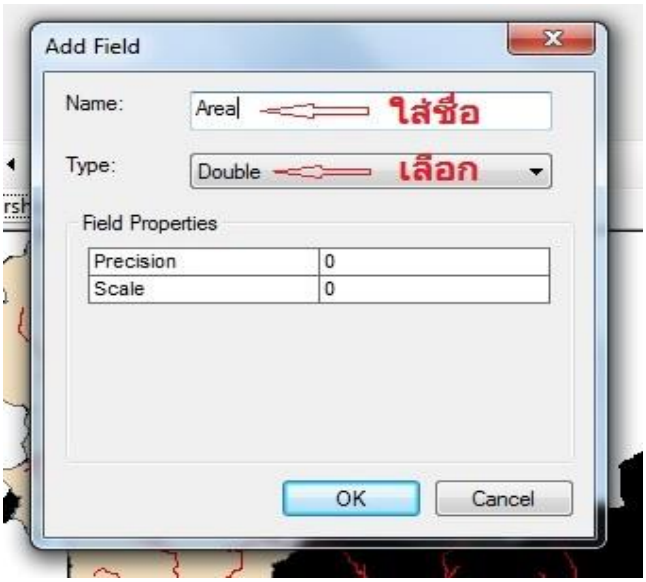
ข.36 แสดงรูปขั้นตอนการเปลี่ยน Raster to polygon



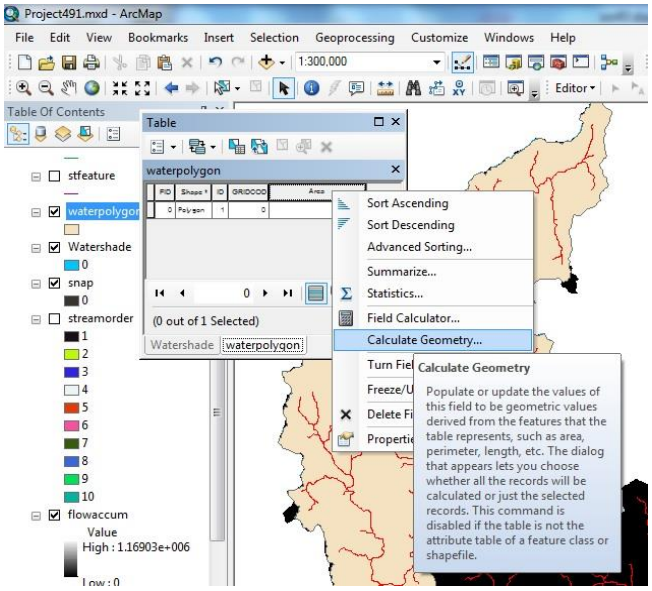
ข.37 แสดงรูปเลเยอร์ทำงานของ Watershade แบบ Polygon



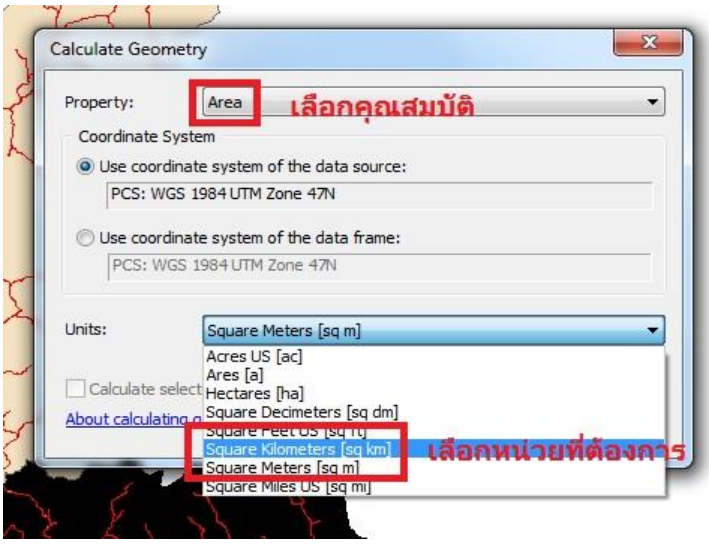
ข.38 ดังรูปขั้นตอนการหาพื้นที่ 1



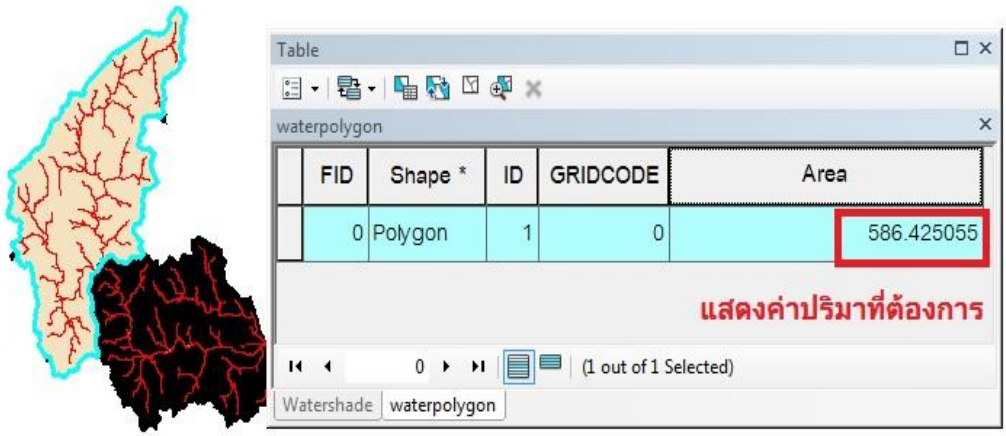
ข.39 แสดงรูปขั้นตอนการหาพื้นที่ 1



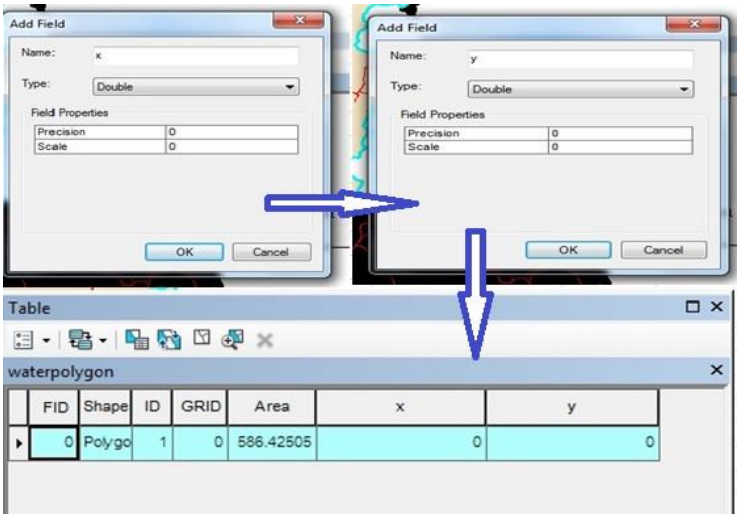
ข.40 แสดงรูปขั้นตอนการหาพื้นที่ 3



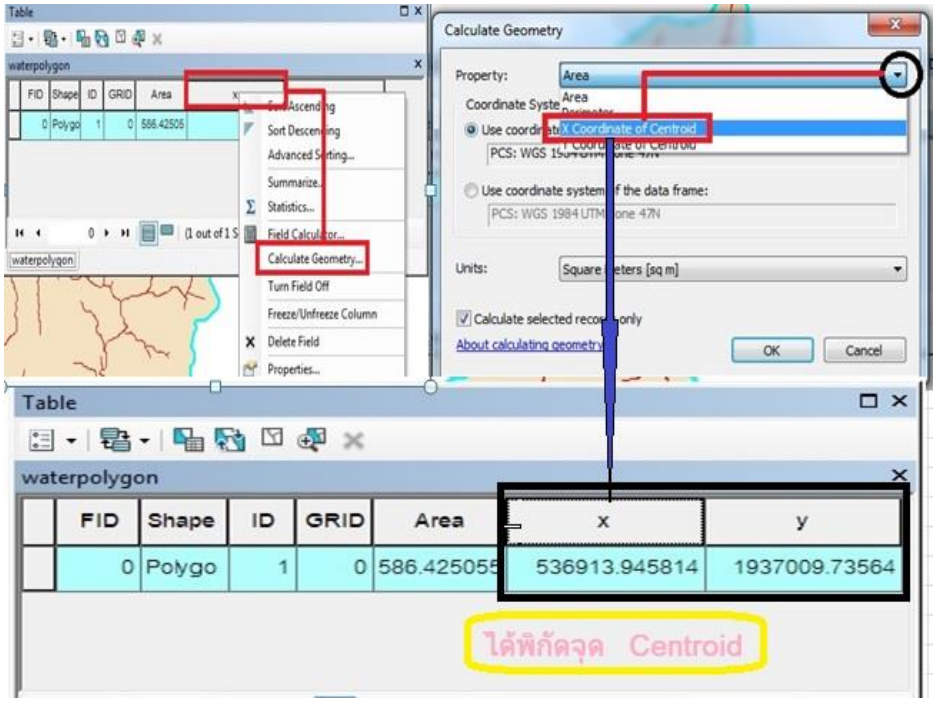
ข.41 แสดงรูปขั้นตอนการหาพื้นที่ 4 ได้ค่าปริมาณพื้นที่ของลุ่มน้ำ



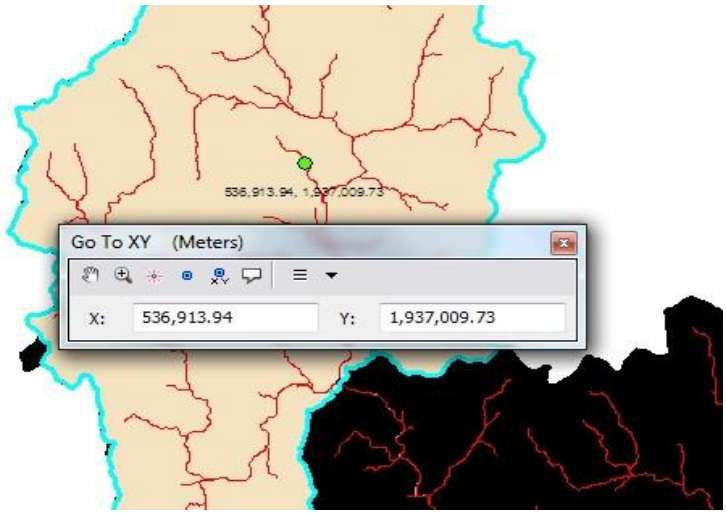
ข.42 แสดงรูปขั้นตอนการ Add field X,Y



ข.43 แสดงรูปขั้นตอนการ Add field X,Y (2)



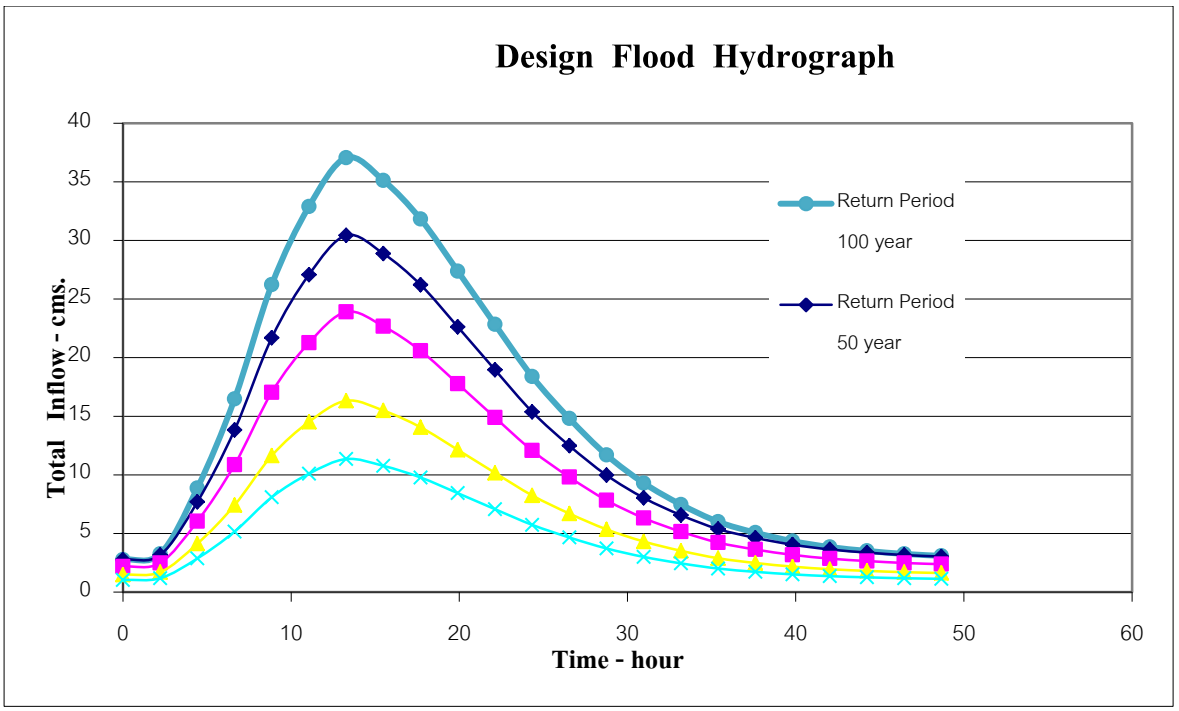
ข.44 แสดงรูปการแสดงจุด Centroid ในพื้นที่



ภาคผนวก ค
ปริมาณน้ำหลากตามรอบปีการเกิดซ้ำ

ค.1 hydrograph เมืองเก่า

การออกแบบกราฟน้ำนองสูงสุด(Design Flood Hydrograph)



ค.2 hydrograph เมืองเก่า

Design Flood Hydrograph : เมืองเก่า

Return Period : 5 Year

Peak Discharge : 11 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 1.03 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.108	1.114	0.144	0.018	0.018	0.018	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(ล้าน ลบ.ม.)
0.00	0.00	0.00						0.00	1.03	0.00	0.00000
2.21	1.36	0.15	0.00					0.15	1.18	1.10	0.00799
4.42	3.01	0.33	1.51	0.00				1.84	2.87	2.02	0.01464
6.64	5.28	0.57	3.36	0.19	0.00			4.12	5.16	4.01	0.02903
8.85	6.65	0.72	5.88	0.43	0.02	0.00		7.06	8.09	6.62	0.04792
11.06	7.57	0.82	7.41	0.76	0.05	0.02	0.00	9.07	10.10	9.09	0.06580
13.27	6.92	0.75	8.44	0.96	0.09	0.05	0.02	10.32	11.35	10.72	0.07759
15.48	6.14	0.66	7.72	1.09	0.12	0.09	0.05	9.74	10.77	11.06	0.08002
17.70	5.11	0.55	6.85	1.00	0.14	0.12	0.09	8.74	9.77	10.27	0.07432
19.91	4.12	0.44	5.70	0.88	0.12	0.14	0.12	7.41	8.44	9.11	0.06589
22.12	3.16	0.34	4.59	0.74	0.11	0.12	0.14	6.04	7.07	7.75	0.05611
24.33	2.42	0.26	3.52	0.59	0.09	0.11	0.12	4.70	5.73	6.40	0.04632
26.54	1.77	0.19	2.70	0.45	0.07	0.09	0.11	3.62	4.65	5.19	0.03758
28.76	1.29	0.14	1.98	0.35	0.06	0.07	0.09	2.69	3.72	4.19	0.03029
30.97	0.92	0.10	1.43	0.25	0.04	0.06	0.07	1.96	3.00	3.36	0.02429
33.18	0.62	0.07	1.03	0.19	0.03	0.04	0.06	1.41	2.45	2.72	0.01969
35.39	0.45	0.05	0.69	0.13	0.02	0.03	0.04	0.97	2.00	2.22	0.01610
37.60	0.30	0.03	0.50	0.09	0.02	0.02	0.03	0.69	1.72	1.86	0.01348
39.82	0.20	0.02	0.34	0.06	0.01	0.02	0.02	0.47	1.51	1.61	0.01169
42.03	0.14	0.02	0.23	0.04	0.01	0.01	0.02	0.32	1.35	1.43	0.01035
44.24	0.09	0.01	0.16	0.03	0.01	0.01	0.01	0.22	1.26	1.31	0.00944
46.45	0.06	0.01	0.10	0.02	0.00	0.01	0.01	0.15	1.18	1.22	0.00880
48.66	0.04	0.00	0.07	0.01	0.00	0.00	0.01	0.10	1.13	1.15	0.00834
			0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	1.09	1.11	0.00803
				0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	1.04	1.07	0.00772
					0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	1.04	0.00752
						0.00	0.00	0.00	1.03	1.03	0.00748
							0.00	0.00	1.03	1.03	0.00747
								0.00	1.03	1.03	0.00747
									1.03	1.03	0.00747
											0.80884

ค.3 hydrograph เมืองเก่า

Design Flood Hydrograph : เมืองเก่า

Return Period : 10 Year

Peak Discharge : 16 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 1.48 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.155	1.603	0.207	0.026	0.026	0.026	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(Cu.m.)
0.00	0.00	0.00						0.00	1.48	0.00	0
2.21	1.36	0.21	0.00					0.21	1.69	1.59	0.01150
4.42	3.01	0.47	2.17	0.00				2.64	4.12	2.91	0.02105
6.64	5.28	0.82	4.83	0.28	0.00			5.93	7.42	5.77	0.04175
8.85	6.65	1.03	8.46	0.62	0.04	0.00		10.15	11.64	9.53	0.06893
11.06	7.57	1.17	10.66	1.09	0.08	0.04	0.00	13.04	14.52	13.08	0.09464
13.27	6.92	1.07	12.14	1.38	0.14	0.08	0.04	14.84	16.32	15.42	0.11160
15.48	6.14	0.95	11.10	1.57	0.17	0.14	0.08	14.00	15.49	15.90	0.11509
17.70	5.11	0.79	9.85	1.43	0.20	0.17	0.14	12.57	14.06	14.77	0.10689
19.91	4.12	0.64	8.19	1.27	0.18	0.20	0.17	10.65	12.14	13.10	0.09477
22.12	3.16	0.49	6.60	1.06	0.16	0.18	0.20	8.69	10.17	11.15	0.08070
24.33	2.42	0.38	5.06	0.85	0.13	0.16	0.18	6.76	8.24	9.21	0.06662
26.54	1.77	0.27	3.88	0.65	0.11	0.13	0.16	5.21	6.69	7.47	0.05405
28.76	1.29	0.20	2.84	0.50	0.08	0.11	0.13	3.86	5.35	6.02	0.04356
30.97	0.92	0.14	2.06	0.37	0.06	0.08	0.11	2.82	4.31	4.83	0.03493
33.18	0.62	0.10	1.48	0.27	0.05	0.06	0.08	2.03	3.52	3.91	0.02832
35.39	0.45	0.07	1.00	0.19	0.03	0.05	0.06	1.40	2.88	3.20	0.02315
37.60	0.30	0.05	0.72	0.13	0.02	0.03	0.05	0.99	2.48	2.68	0.01939
39.82	0.20	0.03	0.49	0.09	0.02	0.02	0.03	0.68	2.17	2.32	0.01681
42.03	0.14	0.02	0.33	0.06	0.01	0.02	0.02	0.46	1.95	2.06	0.01489
44.24	0.09	0.01	0.23	0.04	0.01	0.01	0.02	0.32	1.81	1.88	0.01358
46.45	0.06	0.01	0.15	0.03	0.01	0.01	0.01	0.21	1.69	1.75	0.01266
48.66	0.04	0.01	0.10	0.02	0.00	0.01	0.01	0.14	1.62	1.66	0.01200
			0.06	0.01	0.00	0.00	0.01	0.08	1.57	1.60	0.01155
				0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	1.50	1.53	0.01110
					0.00	0.00	0.00	0.00	1.49	1.49	0.01081
						0.00	0.00	0.00	1.49	1.49	0.01076
							0.00	0.00	1.48	1.49	0.01075
								0.00	1.48	1.48	0.01074
									1.48	1.48	0.01074
								117.74			1.16333

ค.4 hydrograph เมืองเก่า

Design Flood Hydrograph : เมืองเก่า

Return Period : 25 Year

Peak Discharge : 24 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 2.17 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.227	2.347	0.303	0.038	0.038	0.038	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(Cu.m.)
0.00	0.00	0.00						0.00	2.17	0.00	0
2.21	1.36	0.31	0.00					0.31	2.48	2.33	0.01684
4.42	3.01	0.68	3.18	0.00				3.87	6.04	4.26	0.03083
6.64	5.28	1.20	7.08	0.41	0.00			8.69	10.86	8.45	0.06114
8.85	6.65	1.51	12.39	0.91	0.05	0.00		14.87	17.04	13.95	0.10094
11.06	7.57	1.72	15.61	1.60	0.11	0.05	0.00	19.10	21.27	19.15	0.13860
13.27	6.92	1.57	17.78	2.01	0.20	0.11	0.05	21.73	23.91	22.59	0.16344
15.48	6.14	1.40	16.25	2.29	0.25	0.20	0.11	20.51	22.68	23.29	0.16854
17.70	5.11	1.16	14.42	2.10	0.29	0.25	0.20	18.42	20.59	21.63	0.15654
19.91	4.12	0.94	12.00	1.86	0.26	0.29	0.25	15.60	17.77	19.18	0.13879
22.12	3.16	0.72	9.67	1.55	0.23	0.26	0.29	12.72	14.89	16.33	0.11818
24.33	2.42	0.55	7.41	1.25	0.19	0.23	0.26	9.90	12.07	13.48	0.09757
26.54	1.77	0.40	5.69	0.96	0.16	0.19	0.23	7.63	9.80	10.94	0.07916
28.76	1.29	0.29	4.16	0.73	0.12	0.16	0.19	5.66	7.83	8.82	0.06380
30.97	0.92	0.21	3.02	0.54	0.09	0.12	0.16	4.14	6.31	7.07	0.05116
33.18	0.62	0.14	2.17	0.39	0.07	0.09	0.12	2.98	5.15	5.73	0.04147
35.39	0.45	0.10	1.46	0.28	0.05	0.07	0.09	2.05	4.22	4.69	0.03391
37.60	0.30	0.07	1.05	0.19	0.03	0.05	0.07	1.46	3.63	3.93	0.02840
39.82	0.20	0.05	0.71	0.14	0.02	0.03	0.05	1.00	3.17	3.40	0.02461
42.03	0.14	0.03	0.48	0.09	0.02	0.02	0.03	0.68	2.85	3.01	0.02180
44.24	0.09	0.02	0.34	0.06	0.01	0.02	0.02	0.47	2.65	2.75	0.01989
46.45	0.06	0.01	0.21	0.04	0.01	0.01	0.02	0.31	2.48	2.56	0.01854
48.66	0.04	0.01	0.14	0.03	0.01	0.01	0.01	0.20	2.38	2.43	0.01757
			0.09	0.02	0.00	0.01	0.01	0.12	2.30	2.34	0.01691
				0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	2.20	2.25	0.01626
					0.00	0.00	0.00	0.01	2.18	2.19	0.01583
						0.00	0.00	0.00	2.18	2.18	0.01576
							0.00	0.00	2.17	2.18	0.01574
								0.00	2.17	2.17	0.01573
									2.17	2.17	0.01573
											1.70368

ค.5 hydrograph เมืองเก่า

Design Flood Hydrograph : เมืองเก่า

Return Period : 50 Year

Peak Discharge : 30 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 2.77 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.289	2.989	0.386	0.048	0.048	0.048	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(Cu.m.)
0.00	0.00	0.00						0.00	2.77	0.00	0
2.21	1.36	0.39	0.00					0.39	3.16	2.96	0.02144
4.42	3.01	0.87	4.05	0.00				4.92	7.69	5.43	0.03926
6.64	5.28	1.53	9.01	0.52	0.00			11.06	13.83	10.76	0.07785
8.85	6.65	1.92	15.78	1.16	0.07	0.00		18.93	21.70	17.76	0.12853
11.06	7.57	2.19	19.88	2.04	0.15	0.07	0.00	24.31	27.08	24.39	0.17648
13.27	6.92	2.00	22.64	2.56	0.25	0.15	0.07	27.67	30.44	28.76	0.20810
15.48	6.14	1.78	20.69	2.92	0.32	0.25	0.15	26.11	28.88	29.66	0.21460
17.70	5.11	1.48	18.36	2.67	0.37	0.32	0.25	23.45	26.22	27.55	0.19932
19.91	4.12	1.19	15.28	2.37	0.33	0.37	0.32	19.86	22.63	24.42	0.17671
22.12	3.16	0.91	12.32	1.97	0.30	0.33	0.37	16.20	18.96	20.80	0.15047
24.33	2.42	0.70	9.44	1.59	0.25	0.30	0.33	12.61	15.37	17.17	0.12423
26.54	1.77	0.51	7.24	1.22	0.20	0.25	0.30	9.72	12.48	13.93	0.10079
28.76	1.29	0.37	5.30	0.93	0.15	0.20	0.25	7.20	9.97	11.23	0.08123
30.97	0.92	0.27	3.85	0.68	0.12	0.15	0.20	5.27	8.03	9.00	0.06513
33.18	0.62	0.18	2.76	0.50	0.09	0.12	0.15	3.79	6.56	7.30	0.05280
35.39	0.45	0.13	1.86	0.36	0.06	0.09	0.12	2.61	5.37	5.97	0.04317
37.60	0.30	0.09	1.34	0.24	0.04	0.06	0.09	1.85	4.62	5.00	0.03616
39.82	0.20	0.06	0.91	0.17	0.03	0.04	0.06	1.27	4.04	4.33	0.03134
42.03	0.14	0.04	0.61	0.12	0.02	0.03	0.04	0.87	3.63	3.84	0.02776
44.24	0.09	0.03	0.43	0.08	0.01	0.02	0.03	0.60	3.37	3.50	0.02533
46.45	0.06	0.02	0.27	0.06	0.01	0.01	0.02	0.39	3.16	3.26	0.02361
48.66	0.04	0.01	0.18	0.04	0.01	0.01	0.01	0.26	3.03	3.09	0.02237
			0.11	0.02	0.00	0.01	0.01	0.16	2.92	2.98	0.02153
				0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	2.80	2.86	0.02070
					0.00	0.00	0.00	0.01	2.78	2.79	0.02016
						0.00	0.00	0.00	2.77	2.77	0.02007
							0.00	0.00	2.77	2.77	0.02005
								0.00	2.77	2.77	0.02003
									2.77	2.77	0.02002
											2.16924

ค.6 hydrograph เมืองเก่า

Design Flood Hydrograph : เมืองเก่า

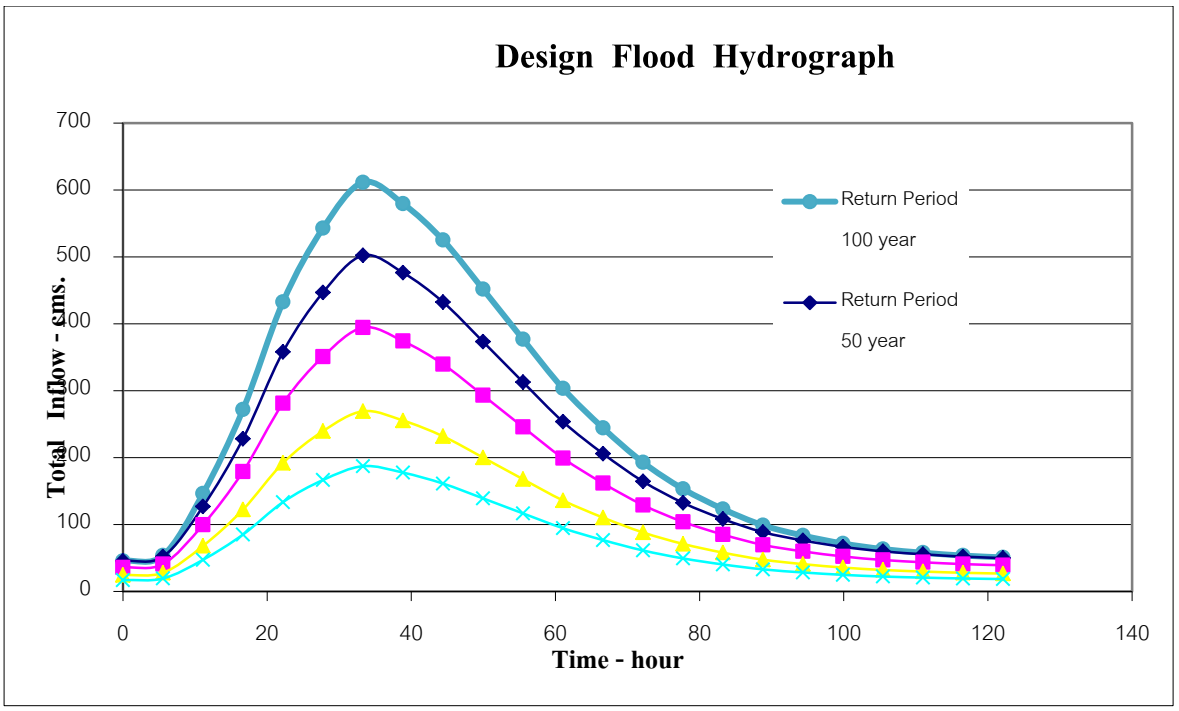
Return Period : 100 Year

Peak Discharge : 37 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 3.43 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.358	3.704	0.478	0.060	0.060	0.060	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(Cu.m.)
0.00	0.00	0.00						0.00	2.77	0.00	0
2.21	1.36	0.49	0.00					0.49	3.25	3.01	0.02178
4.42	3.01	1.08	5.02	0.00				6.10	8.87	6.06	0.04386
6.64	5.28	1.89	11.17	0.65	0.00			13.71	16.47	12.67	0.09169
8.85	6.65	2.38	19.55	1.44	0.08	0.00		23.46	26.23	21.35	0.15449
11.06	7.57	2.72	24.63	2.52	0.18	0.08	0.00	30.13	32.90	29.56	0.21392
13.27	6.92	2.48	28.06	3.18	0.32	0.18	0.08	34.29	37.06	34.98	0.25311
15.48	6.14	2.20	25.64	3.62	0.40	0.32	0.18	32.36	35.12	36.09	0.26116
17.70	5.11	1.83	22.75	3.31	0.45	0.40	0.32	29.06	31.83	33.48	0.24223
19.91	4.12	1.48	18.94	2.94	0.41	0.45	0.40	24.61	27.38	29.60	0.21421
22.12	3.16	1.13	15.26	2.44	0.37	0.41	0.45	20.07	22.84	25.11	0.18169
24.33	2.42	0.87	11.70	1.97	0.31	0.37	0.41	15.62	18.39	20.61	0.14917
26.54	1.77	0.64	8.98	1.51	0.25	0.31	0.37	12.04	14.81	16.60	0.12011
28.76	1.29	0.46	6.57	1.16	0.19	0.25	0.31	8.93	11.69	13.25	0.09588
30.97	0.92	0.33	4.77	0.85	0.14	0.19	0.25	6.53	9.29	10.49	0.07593
33.18	0.62	0.22	3.42	0.62	0.11	0.14	0.19	4.70	7.47	8.38	0.06064
35.39	0.45	0.16	2.30	0.44	0.08	0.11	0.14	3.23	6.00	6.73	0.04871
37.60	0.30	0.11	1.66	0.30	0.06	0.08	0.11	2.30	5.07	5.53	0.04003
39.82	0.20	0.07	1.12	0.21	0.04	0.06	0.08	1.58	4.35	4.71	0.03405
42.03	0.14	0.05	0.76	0.14	0.03	0.04	0.06	1.07	3.84	4.09	0.02961
44.24	0.09	0.03	0.53	0.10	0.02	0.03	0.04	0.75	3.51	3.68	0.02660
46.45	0.06	0.02	0.34	0.07	0.01	0.02	0.03	0.48	3.25	3.38	0.02447
48.66	0.04	0.01	0.22	0.04	0.01	0.01	0.02	0.32	3.09	3.17	0.02293
			0.14	0.03	0.01	0.01	0.01	0.20	2.96	3.02	0.02189
				0.02	0.00	0.01	0.01	0.04	2.80	2.88	0.02086
					0.00	0.00	0.01	0.01	2.78	2.79	0.02019
						0.00	0.00	0.01	2.77	2.78	0.02008
							0.00	0.00	2.77	2.77	0.02005
								0.00	2.77	2.77	0.02003
									2.77	2.77	0.02002
											2.54939

ค.7 hydrograph ลุ่มแม่น้ำมอก

การออกแบบกราฟน้ำนองสูงสุด(Design Flood Hydrograph)



ค.8 hydrograph ลุ่มแม่น้ำมอก

Design Flood Hydrograph : ลุ่มแม่มอก

Return Period : 5 Year

Peak Discharge : 187 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 17.03 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.108	1.114	0.144	0.018	0.018	0.018	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(ล้าน ลบ.ม.)
0.00	0.00	0.00						0.00	17.03	0.00	0.00000
5.55	22.37	2.41	0.00					2.41	19.44	18.23	0.33147
11.10	49.75	5.37	24.93	0.00				30.30	47.33	33.38	0.60689
16.65	87.12	9.40	55.44	3.22	0.00			68.05	85.08	66.20	1.20355
22.20	109.74	11.84	97.09	7.15	0.40	0.00		116.48	133.51	109.29	1.98694
27.75	124.99	13.48	122.30	12.53	0.89	0.40	0.00	149.61	166.63	150.07	2.72826
33.30	114.24	12.32	139.30	15.78	1.57	0.89	0.40	170.26	187.29	176.96	3.21712
38.85	101.37	10.93	127.32	17.97	1.97	1.57	0.89	160.66	177.68	182.48	3.31756
44.40	84.37	9.10	112.97	16.43	2.25	1.97	1.57	144.28	161.31	169.49	3.08141
49.95	67.99	7.33	94.02	14.58	2.05	2.25	1.97	122.21	139.23	150.27	2.73192
55.50	52.12	5.62	75.78	12.13	1.82	2.05	2.25	99.65	116.68	127.96	2.32624
61.05	40.00	4.31	58.09	9.78	1.52	1.82	2.05	77.57	94.60	105.64	1.92049
66.60	29.25	3.15	44.57	7.50	1.22	1.52	1.82	59.78	76.81	85.70	1.55809
72.15	21.25	2.29	32.60	5.75	0.94	1.22	1.52	44.31	61.34	69.08	1.25579
77.70	15.25	1.64	23.68	4.21	0.72	0.94	1.22	32.41	49.43	55.39	1.00694
83.25	10.25	1.11	16.99	3.06	0.53	0.72	0.94	23.34	40.36	44.90	0.81626
88.80	7.37	0.80	11.42	2.19	0.38	0.53	0.72	16.04	33.06	36.71	0.66744
94.35	5.00	0.54	8.22	1.47	0.27	0.38	0.53	11.41	28.44	30.75	0.55906
99.90	3.37	0.36	5.57	1.06	0.18	0.27	0.38	7.84	24.86	26.65	0.48451
105.45	2.37	0.26	3.76	0.72	0.13	0.18	0.27	5.33	22.35	23.61	0.42919
111.00	1.50	0.16	2.65	0.49	0.09	0.13	0.18	3.70	20.73	21.54	0.39159
116.55	1.00	0.11	1.67	0.34	0.06	0.09	0.13	2.40	19.43	20.08	0.36502
122.10	0.62	0.07	1.11	0.22	0.04	0.06	0.09	1.59	18.62	19.02	0.34584
			0.70	0.14	0.03	0.04	0.06	0.97	18.00	18.31	0.33281
				0.09	0.02	0.03	0.04	0.18	17.20	17.60	0.31997
					0.01	0.02	0.03	0.06	17.08	17.14	0.31166
						0.01	0.02	0.03	17.06	17.07	0.31031
							0.01	0.01	17.04	17.05	0.30990
								0.00	17.03	17.03	0.30964
									17.03	17.03	0.30953
											33.53540

ค.9 hydrograph ลุ่มแม่น้ำมอก

Design Flood Hydrograph : ลุ่มแม่มอก

Return Period : 10 Year

Peak Discharge : 269 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 24.49 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.155	1.603	0.207	0.026	0.026	0.026	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(Cu.m.)
0.00	0.00	0.00						0.00	24.49	0.00	0
5.55	22.37	3.47	0.00					3.47	27.96	26.22	0.47674
11.10	49.75	7.72	35.86	0.00				43.58	68.07	48.01	0.87287
16.65	87.12	13.51	79.74	4.63	0.00			97.88	122.37	95.22	1.73105
22.20	109.74	17.02	139.64	10.29	0.58	0.00		167.53	192.02	157.19	2.85779
27.75	124.99	19.39	175.90	18.02	1.29	0.58	0.00	215.18	239.66	215.84	3.92401
33.30	114.24	17.72	200.35	22.70	2.25	1.29	0.58	244.88	269.37	254.52	4.62713
38.85	101.37	15.72	183.12	25.85	2.84	2.25	1.29	231.07	255.56	262.46	4.77159
44.40	84.37	13.09	162.48	23.63	3.23	2.84	2.25	207.52	232.01	243.78	4.43194
49.95	67.99	10.55	135.23	20.97	2.95	3.23	2.84	175.77	200.26	216.13	3.92927
55.50	52.12	8.08	108.99	17.45	2.62	2.95	3.23	143.33	167.82	184.04	3.34580
61.05	40.00	6.20	83.54	14.06	2.18	2.62	2.95	111.57	136.06	151.94	2.76221
66.60	29.25	4.54	64.11	10.78	1.76	2.18	2.62	85.99	110.48	123.27	2.24097
72.15	21.25	3.30	46.88	8.27	1.35	1.76	2.18	63.74	88.22	99.35	1.80619
77.70	15.25	2.37	34.06	6.05	1.03	1.35	1.76	46.61	71.10	79.66	1.44827
83.25	10.25	1.59	24.44	4.39	0.76	1.03	1.35	33.56	58.05	64.58	1.17401
88.80	7.37	1.14	16.43	3.15	0.55	0.76	1.03	23.07	47.55	52.80	0.95997
94.35	5.00	0.78	11.82	2.12	0.39	0.55	0.76	16.42	40.90	44.23	0.80408
99.90	3.37	0.52	8.01	1.53	0.26	0.39	0.55	11.27	35.76	38.33	0.69687
105.45	2.37	0.37	5.41	1.03	0.19	0.26	0.39	7.66	32.15	33.95	0.61730
111.00	1.50	0.23	3.81	0.70	0.13	0.19	0.26	5.32	29.81	30.98	0.56322
116.55	1.00	0.16	2.40	0.49	0.09	0.13	0.19	3.46	27.95	28.88	0.52500
122.10	0.62	0.10	1.60	0.31	0.06	0.09	0.13	2.29	26.78	27.36	0.49742
			1.00	0.21	0.04	0.06	0.09	1.40	25.88	26.33	0.47868
				0.13	0.03	0.04	0.06	0.26	24.74	25.31	0.46021
					0.02	0.03	0.04	0.08	24.57	24.66	0.44825
						0.02	0.03	0.04	24.53	24.55	0.44631
							0.02	0.02	24.50	24.52	0.44572
								0.00	24.49	24.50	0.44534
									24.49	24.49	0.44520
								1942.94			48.23341

ค.10 hydrograph ลุ่มแม่น้ำมอก

Design Flood Hydrograph : ลุ่มแม่มอก

Return Period : 25 Year

Peak Discharge : 394 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 35.86 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.227	2.347	0.303	0.038	0.038	0.038	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(Cu.m.)
0.00	0.00	0.00						0.00	35.86	0.00	0
5.55	22.37	5.08	0.00					5.08	40.95	38.40	0.69819
11.10	49.75	11.30	52.52	0.00				63.82	99.68	70.31	1.27832
16.65	87.12	19.79	116.78	6.78	0.00			143.34	179.21	139.45	2.53512
22.20	109.74	24.93	204.51	15.07	0.85	0.00		245.35	281.21	230.21	4.18522
27.75	124.99	28.39	257.61	26.39	1.88	0.85	0.00	315.12	350.99	316.10	5.74671
33.30	114.24	25.95	293.41	33.24	3.30	1.88	0.85	358.63	394.49	372.74	6.77641
38.85	101.37	23.03	268.17	37.86	4.16	3.30	1.88	338.40	374.26	384.38	6.98797
44.40	84.37	19.17	237.95	34.60	4.73	4.16	3.30	303.91	339.77	357.02	6.49056
49.95	67.99	15.45	198.05	30.70	4.33	4.73	4.16	257.41	293.28	316.52	5.75441
55.50	52.12	11.84	159.61	25.55	3.84	4.33	4.73	209.90	245.77	269.52	4.89991
61.05	40.00	9.09	122.35	20.60	3.19	3.84	4.33	163.39	199.25	222.51	4.04524
66.60	29.25	6.64	93.89	15.79	2.57	3.19	3.84	125.93	161.79	180.52	3.28190
72.15	21.25	4.83	68.66	12.11	1.97	2.57	3.19	93.34	129.20	145.50	2.64515
77.70	15.25	3.46	49.88	8.86	1.51	1.97	2.57	68.26	104.13	116.67	2.12099
83.25	10.25	2.33	35.80	6.44	1.11	1.51	1.97	49.16	85.02	94.57	1.71933
88.80	7.37	1.68	24.06	4.62	0.80	1.11	1.51	33.78	69.64	77.33	1.40587
94.35	5.00	1.14	17.31	3.10	0.58	0.80	1.11	24.04	59.90	64.77	1.17757
99.90	3.37	0.77	11.74	2.23	0.39	0.58	0.80	16.51	52.37	56.14	1.02056
105.45	2.37	0.54	7.92	1.51	0.28	0.39	0.58	11.22	47.08	49.73	0.90403
111.00	1.50	0.34	5.57	1.02	0.19	0.28	0.39	7.79	43.66	45.37	0.82483
116.55	1.00	0.23	3.52	0.72	0.13	0.19	0.28	5.06	40.93	42.29	0.76887
122.10	0.62	0.14	2.35	0.45	0.09	0.13	0.19	3.35	39.21	40.07	0.72847
			1.47	0.30	0.06	0.09	0.13	2.04	37.91	38.56	0.70103
				0.19	0.04	0.06	0.09	0.37	36.24	37.07	0.67397
					0.02	0.04	0.06	0.12	35.98	36.11	0.65646
						0.02	0.04	0.06	35.92	35.95	0.65362
							0.02	0.02	35.89	35.91	0.65276
								0.00	35.86	35.87	0.65220
									35.86	35.86	0.65199
											70.63766

ค.11 hydrograph ลุ่มแม่น้ำมอก

Design Flood Hydrograph : ลุ่มแม่มอก

Return Period : 50 Year

Peak Discharge : 502 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 45.66 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.289	2.989	0.386	0.048	0.048	0.048	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(Cu.m.)
0.00	0.00	0.00						0.00	45.66	0.00	0
5.55	22.37	6.47	0.00					6.47	52.13	48.90	0.88897
11.10	49.75	14.39	66.87	0.00				81.26	126.92	89.53	1.62763
16.65	87.12	25.20	148.69	8.63	0.00			182.51	228.18	177.55	3.22785
22.20	109.74	31.74	260.39	19.19	1.08	0.00		312.39	358.06	293.12	5.32885
27.75	124.99	36.15	328.01	33.60	2.40	1.08	0.00	401.23	446.90	402.48	7.31703
33.30	114.24	33.04	373.58	42.32	4.20	2.40	1.08	456.63	502.29	474.59	8.62811
38.85	101.37	29.32	341.45	48.20	5.29	4.20	2.40	430.87	476.53	489.41	8.89748
44.40	84.37	24.40	302.98	44.06	6.03	5.29	4.20	386.95	432.62	454.57	8.26415
49.95	67.99	19.67	252.17	39.09	5.51	6.03	5.29	327.75	373.42	403.02	7.32683
55.50	52.12	15.08	203.23	32.54	4.89	5.51	6.03	267.26	312.93	343.17	6.23884
61.05	40.00	11.57	155.78	26.22	4.07	4.89	5.51	208.04	253.70	283.31	5.15063
66.60	29.25	8.46	119.55	20.10	3.28	4.07	4.89	160.34	206.00	229.85	4.17870
72.15	21.25	6.15	87.42	15.43	2.51	3.28	4.07	118.85	164.51	185.26	3.36796
77.70	15.25	4.41	63.51	11.28	1.93	2.51	3.28	86.92	132.58	148.55	2.70056
83.25	10.25	2.96	45.58	8.19	1.41	1.93	2.51	62.59	108.25	120.42	2.18915
88.80	7.37	2.13	30.63	5.88	1.02	1.41	1.93	43.01	88.67	98.46	1.79003
94.35	5.00	1.45	22.04	3.95	0.74	1.02	1.41	30.61	76.27	82.47	1.49935
99.90	3.37	0.98	14.94	2.84	0.49	0.74	1.02	21.02	66.68	71.48	1.29944
105.45	2.37	0.69	10.09	1.93	0.36	0.49	0.74	14.29	59.95	63.31	1.15106
111.00	1.50	0.43	7.10	1.30	0.24	0.36	0.49	9.92	55.59	57.77	1.05022
116.55	1.00	0.29	4.48	0.92	0.16	0.24	0.36	6.45	52.11	53.85	0.97896
122.10	0.62	0.18	2.99	0.58	0.11	0.16	0.24	4.27	49.93	51.02	0.92753
			1.87	0.39	0.07	0.11	0.16	2.60	48.27	49.10	0.89259
				0.24	0.05	0.07	0.11	0.48	46.14	47.20	0.85814
					0.03	0.05	0.07	0.15	45.81	45.98	0.83584
						0.03	0.05	0.08	45.74	45.78	0.83223
							0.03	0.03	45.69	45.72	0.83113
								0.00	45.66	45.68	0.83042
									45.66	45.66	0.83015
											89.93983

ค.12 hydrograph ลุ่มแม่น้ำมอก

Design Flood Hydrograph : ลุ่มแม่มอก

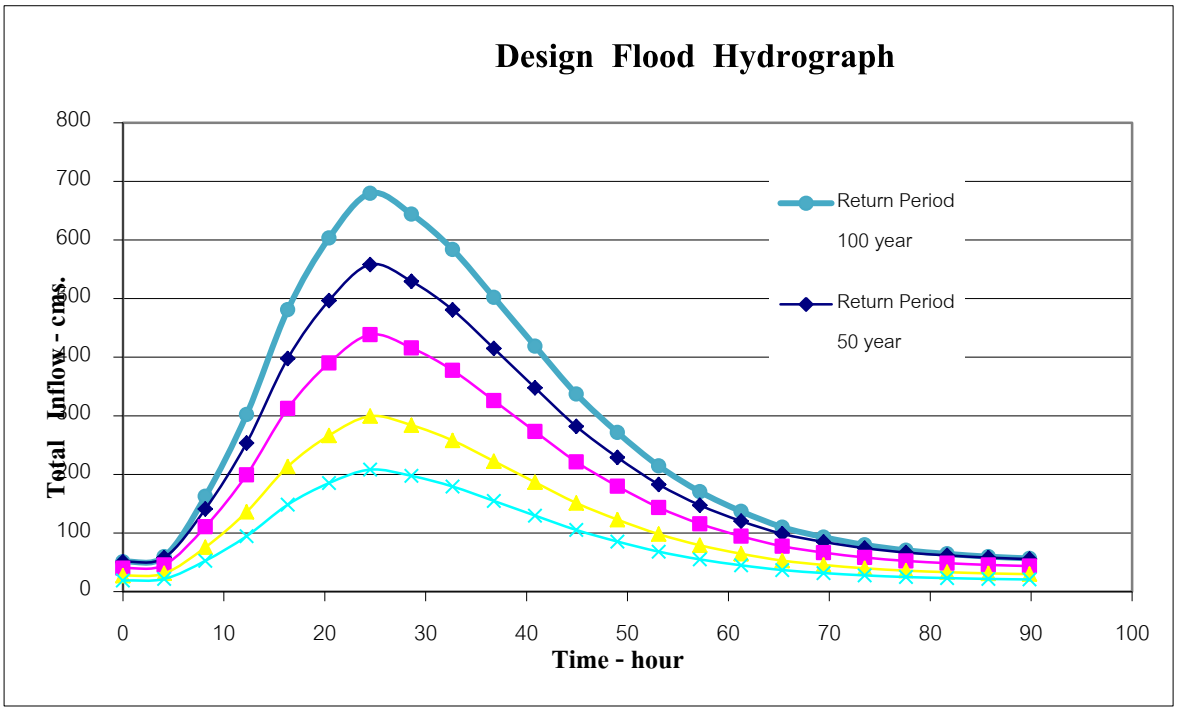
Return Period : 100 Year

Peak Discharge : 612 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 56.59 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.358	3.704	0.478	0.060	0.060	0.060	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(Cu.m.)
0.00	0.00	0.00						0.00	45.66	0.00	0
5.55	22.37	8.02	0.00					8.02	53.68	49.67	0.90305
11.10	49.75	17.83	82.87	0.00				100.71	146.37	100.03	1.81848
16.65	87.12	31.23	184.27	10.69	0.00			226.19	271.85	209.11	3.80166
22.20	109.74	39.34	322.70	23.78	1.34	0.00		387.15	432.82	352.34	6.40547
27.75	124.99	44.81	406.50	41.64	2.97	1.34	0.00	497.26	542.92	487.87	8.86944
33.30	114.24	40.95	462.99	52.45	5.20	2.97	1.34	565.91	611.57	577.24	10.49429
38.85	101.37	36.34	423.17	59.74	6.56	5.20	2.97	533.98	579.64	595.61	10.82812
44.40	84.37	30.24	375.48	54.60	7.47	6.56	5.20	479.56	525.22	552.43	10.04322
49.95	67.99	24.37	312.52	48.45	6.83	7.47	6.56	406.19	451.85	488.54	8.88159
55.50	52.12	18.68	251.87	40.32	6.06	6.83	7.47	331.22	376.89	414.37	7.53323
61.05	40.00	14.34	193.07	32.50	5.04	6.06	6.83	257.82	303.49	340.19	6.18459
66.60	29.25	10.48	148.16	24.91	4.06	5.04	6.06	198.71	244.37	273.93	4.98006
72.15	21.25	7.62	108.34	19.12	3.11	4.06	5.04	147.29	192.95	218.66	3.97530
77.70	15.25	5.47	78.71	13.98	2.39	3.11	4.06	107.72	153.38	173.17	3.14818
83.25	10.25	3.67	56.48	10.16	1.75	2.39	3.11	77.57	123.23	138.31	2.51439
88.80	7.37	2.64	37.96	7.29	1.27	1.75	2.39	53.30	98.97	111.10	2.01974
94.35	5.00	1.79	27.32	4.90	0.91	1.27	1.75	37.94	83.60	91.28	1.65951
99.90	3.37	1.21	18.52	3.52	0.61	0.91	1.27	26.05	71.71	77.65	1.41174
105.45	2.37	0.85	12.50	2.39	0.44	0.61	0.91	17.71	63.37	67.54	1.22786
111.00	1.50	0.54	8.80	1.61	0.30	0.44	0.61	12.30	57.96	60.66	1.10289
116.55	1.00	0.36	5.56	1.14	0.20	0.30	0.44	7.99	53.65	55.81	1.01458
122.10	0.62	0.22	3.70	0.72	0.14	0.20	0.30	5.29	50.95	52.30	0.95084
			2.31	0.48	0.09	0.14	0.20	3.23	48.89	49.92	0.90753
				0.30	0.06	0.09	0.14	0.59	46.25	47.57	0.86483
					0.04	0.06	0.09	0.19	45.85	46.05	0.83721
						0.04	0.06	0.10	45.76	45.80	0.83273
							0.04	0.04	45.70	45.73	0.83137
								0.00	45.66	45.68	0.83049
									45.66	45.66	0.83015
											105.70254

ค.13 hydrograph ลุ่มแม่รำพัน

การออกแบบกราฟน้ำนองสูงสุด(Design Flood Hydrograph)



ค.14 hydrograph ลุ่มแม่รำพัน

Design Flood Hydrograph : ลุ่มรำพัน

Return Period : 5 Year

Peak Discharge : 208 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 18.92 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.108	1.114	0.144	0.018	0.018	0.018	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(ล้าน ลบ.ม.)
0.00	0.00	0.00						0.00	18.92	0.00	0.00000
4.08	24.86	2.68	0.00					2.68	21.60	20.26	0.27063
8.17	55.28	5.96	27.71	0.00				33.67	52.60	37.10	0.49550
12.25	96.82	10.44	61.61	3.58	0.00			75.63	94.55	73.57	0.98265
16.34	121.96	13.15	107.90	7.95	0.45	0.00		129.45	148.37	121.46	1.62226
20.42	138.91	14.98	135.92	13.92	0.99	0.45	0.00	166.27	185.19	166.78	2.22752
24.50	126.96	13.69	154.81	17.54	1.74	0.99	0.45	189.22	208.14	196.66	2.62665
28.59	112.65	12.15	141.49	19.98	2.19	1.74	0.99	178.55	197.47	202.80	2.70865
32.67	93.76	10.11	125.55	18.26	2.50	2.19	1.74	160.35	179.27	188.37	2.51585
36.76	75.56	8.15	104.49	16.20	2.28	2.50	2.19	135.82	154.74	167.00	2.23050
40.84	57.92	6.25	84.22	13.48	2.02	2.28	2.50	110.75	129.67	142.20	1.89929
44.92	44.45	4.79	64.55	10.87	1.69	2.02	2.28	86.21	105.13	117.40	1.56800
49.01	32.50	3.51	49.54	8.33	1.36	1.69	2.02	66.44	85.36	95.25	1.27212
53.09	23.61	2.55	36.22	6.39	1.04	1.36	1.69	49.25	68.17	76.77	1.02531
57.18	16.95	1.83	26.32	4.67	0.80	1.04	1.36	36.02	54.94	61.56	0.82213
61.26	11.39	1.23	18.89	3.40	0.58	0.80	1.04	25.94	44.86	49.90	0.66644
65.34	8.20	0.88	12.69	2.44	0.42	0.58	0.80	17.82	36.74	40.80	0.54494
69.43	5.56	0.60	9.13	1.64	0.30	0.42	0.58	12.68	31.61	34.18	0.45645
73.51	3.75	0.40	6.19	1.18	0.20	0.30	0.42	8.71	27.63	29.62	0.39559
77.60	2.64	0.28	4.18	0.80	0.15	0.20	0.30	5.92	24.84	26.24	0.35042
81.68	1.67	0.18	2.94	0.54	0.10	0.15	0.20	4.11	23.03	23.94	0.31972
85.76	1.11	0.12	1.86	0.38	0.07	0.10	0.15	2.67	21.59	22.31	0.29803
89.85	0.69	0.07	1.24	0.24	0.05	0.07	0.10	1.77	20.69	21.14	0.28237
			0.77	0.16	0.03	0.05	0.07	1.08	20.00	20.35	0.27173
				0.10	0.02	0.03	0.05	0.20	19.12	19.56	0.26124
					0.01	0.02	0.03	0.06	18.98	19.05	0.25446
						0.01	0.02	0.03	18.95	18.97	0.25336
							0.01	0.01	18.93	18.94	0.25302
								0.00	18.92	18.93	0.25280
									18.92	18.92	0.25272
											27.38035

ค.15 hydrograph ลุ่มแม่รำพัน

Design Flood Hydrograph : ลุ่มลำพัน

Return Period : 10 Year

Peak Discharge : 299 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 27.22 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.155	1.603	0.207	0.026	0.026	0.026	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(Cu.m.)
0.00	0.00	0.00						0.00	27.22	0.00	0
4.08	24.86	3.86	0.00					3.86	31.07	29.14	0.38924
8.17	55.28	8.58	39.86	0.00				48.43	75.65	53.36	0.71267
12.25	96.82	15.02	88.62	5.14	0.00			108.78	135.99	105.82	1.41333
16.34	121.96	18.92	155.19	11.43	0.64	0.00		186.19	213.40	174.70	2.33327
20.42	138.91	21.55	195.49	20.02	1.43	0.64	0.00	239.14	266.35	239.88	3.20380
24.50	126.96	19.69	222.66	25.22	2.50	1.43	0.64	272.15	299.37	282.86	3.77787
28.59	112.65	17.47	203.51	28.73	3.15	2.50	1.43	256.80	284.01	291.69	3.89581
32.67	93.76	14.54	180.57	26.26	3.59	3.15	2.50	230.63	257.84	270.93	3.61850
36.76	75.56	11.72	150.29	23.30	3.28	3.59	3.15	195.34	222.56	240.20	3.20810
40.84	57.92	8.99	121.13	19.39	2.91	3.28	3.59	159.29	186.50	204.53	2.73171
44.92	44.45	6.90	92.85	15.63	2.42	2.91	3.28	123.99	151.21	168.86	2.25523
49.01	32.50	5.04	71.25	11.98	1.95	2.42	2.91	95.56	122.78	136.99	1.82967
53.09	23.61	3.66	52.10	9.19	1.50	1.95	2.42	70.83	98.05	110.41	1.47468
57.18	16.95	2.63	37.85	6.72	1.15	1.50	1.95	51.80	79.02	88.53	1.18246
61.26	11.39	1.77	27.16	4.88	0.84	1.15	1.50	37.30	64.52	71.77	0.95853
65.34	8.20	1.27	18.26	3.51	0.61	0.84	1.15	25.63	52.85	58.68	0.78377
69.43	5.56	0.86	13.14	2.36	0.44	0.61	0.84	18.24	45.46	49.15	0.65650
73.51	3.75	0.58	8.91	1.70	0.29	0.44	0.61	12.53	39.74	42.60	0.56897
77.60	2.64	0.41	6.01	1.15	0.21	0.29	0.44	8.51	35.73	37.74	0.50400
81.68	1.67	0.26	4.23	0.78	0.14	0.21	0.29	5.91	33.13	34.43	0.45985
85.76	1.11	0.17	2.67	0.55	0.10	0.14	0.21	3.84	31.06	32.09	0.42864
89.85	0.69	0.11	1.78	0.34	0.07	0.10	0.14	2.54	29.76	30.41	0.40613
			1.11	0.23	0.04	0.07	0.10	1.55	28.77	29.26	0.39082
				0.14	0.03	0.04	0.07	0.28	27.50	28.13	0.37574
					0.02	0.03	0.04	0.09	27.30	27.40	0.36598
						0.02	0.03	0.05	27.26	27.28	0.36440
							0.02	0.02	27.23	27.25	0.36392
								0.00	27.22	27.22	0.36360
									27.22	27.22	0.36349
								2159.30			39.38068

ค.16 hydrograph ลุ่มแม่รำพัน

Design Flood Hydrograph : ลุ่มลำพัน

Return Period : 25 Year

Peak Discharge : 438 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 39.86 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.227	2.347	0.303	0.038	0.038	0.038	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(Cu.m.)
0.00	0.00	0.00						0.00	39.86	0.00	0
4.08	24.86	5.65	0.00					5.65	45.50	42.68	0.57004
8.17	55.28	12.56	58.37	0.00				70.93	110.78	78.14	1.04370
12.25	96.82	21.99	129.78	7.53	0.00			159.31	199.16	154.97	2.06982
16.34	121.96	27.71	227.28	16.75	0.94	0.00		272.67	312.53	255.84	3.41706
20.42	138.91	31.56	286.30	29.33	2.09	0.94	0.00	350.22	390.07	351.30	4.69196
24.50	126.96	28.84	326.08	36.94	3.67	2.09	0.94	398.56	438.42	414.25	5.53267
28.59	112.65	25.59	298.04	42.07	4.62	3.67	2.09	376.08	415.94	427.18	5.70540
32.67	93.76	21.30	264.45	38.46	5.26	4.62	3.67	337.75	377.61	396.77	5.29929
36.76	75.56	17.17	220.10	34.12	4.81	5.26	4.62	286.08	325.93	351.77	4.69824
40.84	57.92	13.16	177.39	28.40	4.27	4.81	5.26	233.28	273.14	299.53	4.00058
44.92	44.45	10.10	135.98	22.89	3.55	4.27	4.81	181.58	221.44	247.29	3.30278
49.01	32.50	7.38	104.35	17.55	2.86	3.55	4.27	139.95	179.81	200.62	2.67954
53.09	23.61	5.36	76.30	13.46	2.19	2.86	3.55	103.74	143.59	161.70	2.15966
57.18	16.95	3.85	55.43	9.85	1.68	2.19	2.86	75.87	115.72	129.66	1.73170
61.26	11.39	2.59	39.78	7.15	1.23	1.68	2.19	54.63	94.49	105.10	1.40377
65.34	8.20	1.86	26.74	5.13	0.89	1.23	1.68	37.54	77.40	85.94	1.14783
69.43	5.56	1.26	19.24	3.45	0.64	0.89	1.23	26.72	66.57	71.99	0.96144
73.51	3.75	0.85	13.04	2.48	0.43	0.64	0.89	18.34	58.20	62.39	0.83325
77.60	2.64	0.60	8.80	1.68	0.31	0.43	0.64	12.47	52.33	55.26	0.73810
81.68	1.67	0.38	6.20	1.14	0.21	0.31	0.43	8.66	48.52	50.42	0.67344
85.76	1.11	0.25	3.91	0.80	0.14	0.21	0.31	5.63	45.48	47.00	0.62775
89.85	0.69	0.16	2.61	0.50	0.10	0.14	0.21	3.72	43.58	44.53	0.59477
			1.63	0.34	0.06	0.10	0.14	2.27	42.13	42.85	0.57236
				0.21	0.04	0.06	0.10	0.42	40.27	41.20	0.55027
					0.03	0.04	0.06	0.13	39.99	40.13	0.53598
						0.03	0.04	0.07	39.92	39.96	0.53366
							0.03	0.03	39.88	39.90	0.53295
								0.00	39.86	39.87	0.53250
									39.86	39.86	0.53232
											57.67283

ค.17 hydrograph ลุ่มแม่รำพัน

Design Flood Hydrograph : ลุ่มลำพัน

Return Period : 50 Year

Peak Discharge : 558 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 50.75 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.289	2.989	0.386	0.048	0.048	0.048	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(Cu.m.)
0.00	0.00	0.00						0.00	50.75	0.00	0
4.08	24.86	7.19	0.00					7.19	57.94	54.34	0.72581
8.17	55.28	15.99	74.32	0.00				90.31	141.06	99.50	1.32890
12.25	96.82	28.00	165.24	9.59	0.00			202.84	253.58	197.32	2.63541
16.34	121.96	35.28	289.38	21.32	1.20	0.00		347.18	397.93	325.76	4.35080
20.42	138.91	40.18	364.53	37.34	2.67	1.20	0.00	445.91	496.66	447.29	5.97406
24.50	126.96	36.72	415.18	47.04	4.67	2.67	1.20	507.47	558.22	527.44	7.04451
28.59	112.65	32.59	379.48	53.57	5.88	4.67	2.67	478.85	529.59	543.91	7.26444
32.67	93.76	27.12	336.71	48.96	6.70	5.88	4.67	430.04	480.79	505.19	6.74735
36.76	75.56	21.86	280.25	43.45	6.12	6.70	5.88	364.25	415.00	447.89	5.98207
40.84	57.92	16.75	225.86	36.16	5.43	6.12	6.70	297.02	347.77	381.38	5.09376
44.92	44.45	12.86	173.13	29.14	4.52	5.43	6.12	231.20	281.95	314.86	4.20528
49.01	32.50	9.40	132.86	22.34	3.64	4.52	5.43	178.19	228.94	255.45	3.41174
53.09	23.61	6.83	97.15	17.14	2.79	3.64	4.52	132.08	182.83	205.89	2.74980
57.18	16.95	4.90	70.58	12.54	2.14	2.79	3.64	96.60	147.34	165.09	2.20490
61.26	11.39	3.29	50.65	9.11	1.57	2.14	2.79	69.56	120.30	133.82	1.78736
65.34	8.20	2.37	34.05	6.54	1.14	1.57	2.14	47.80	98.55	109.43	1.46149
69.43	5.56	1.61	24.50	4.39	0.82	1.14	1.57	34.02	84.77	91.66	1.22416
73.51	3.75	1.08	16.61	3.16	0.55	0.82	1.14	23.36	74.10	79.44	1.06094
77.60	2.64	0.76	11.21	2.14	0.40	0.55	0.82	15.88	66.62	70.36	0.93979
81.68	1.67	0.48	7.89	1.45	0.27	0.40	0.55	11.03	61.78	64.20	0.85746
85.76	1.11	0.32	4.98	1.02	0.18	0.27	0.40	7.17	57.91	59.84	0.79929
89.85	0.69	0.20	3.32	0.64	0.13	0.18	0.27	4.74	55.49	56.70	0.75729
			2.08	0.43	0.08	0.13	0.18	2.89	53.64	54.56	0.72876
				0.27	0.05	0.08	0.13	0.53	51.28	52.46	0.70063
					0.03	0.05	0.08	0.17	50.91	51.10	0.68243
						0.03	0.05	0.09	50.83	50.87	0.67948
							0.03	0.03	50.78	50.81	0.67859
								0.00	50.75	50.76	0.67801
									50.75	50.75	0.67778
											73.43229

ค.18 hydrograph ลุ่มแม่รำพัน

Design Flood Hydrograph : ลุ่มลำพัน

Return Period : 100 Year

Peak Discharge : 680 cms. Assume Base Flow = 10% of Max. Di- Ro. : 62.89 cms.

Time	Unit	Rainfall Excess in cm.						Direct	Total	Average	Flood
	graph	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Runoff	Inflow	Inflow	Volume
(hr.)	(cms.)	0.358	3.704	0.478	0.060	0.060	0.060	(cms.)	(cms.)	(cms.)	(Cu.m.)
0.00	0.00	0.00						0.00	50.75	0.00	0
4.08	24.86	8.91	0.00					8.91	59.66	55.20	0.73731
8.17	55.28	19.82	92.10	0.00				111.92	162.67	111.16	1.48472
12.25	96.82	34.71	204.79	11.88	0.00			251.38	302.13	232.40	3.10391
16.34	121.96	43.72	358.64	26.42	1.49	0.00		430.27	481.01	391.57	5.22981
20.42	138.91	49.79	451.77	46.28	3.30	1.49	0.00	552.63	603.38	542.19	7.24155
24.50	126.96	45.51	514.54	58.29	5.78	3.30	1.49	628.92	679.67	641.52	8.56817
28.59	112.65	40.38	470.29	66.39	7.29	5.78	3.30	593.44	644.19	661.93	8.84073
32.67	93.76	33.61	417.29	60.68	8.30	7.29	5.78	532.96	583.71	613.95	8.19989
36.76	75.56	27.09	347.32	53.84	7.59	8.30	7.29	451.42	502.17	542.94	7.25147
40.84	57.92	20.76	279.91	44.82	6.73	7.59	8.30	368.11	418.85	460.51	6.15058
44.92	44.45	15.93	214.56	36.12	5.60	6.73	7.59	286.53	337.28	378.07	5.04947
49.01	32.50	11.65	164.65	27.69	4.51	5.60	6.73	220.84	271.59	304.43	4.06602
53.09	23.61	8.47	120.40	21.25	3.46	4.51	5.60	163.69	214.44	243.01	3.24567
57.18	16.95	6.07	87.47	15.54	2.66	3.46	4.51	119.71	170.46	192.45	2.57036
61.26	11.39	4.08	62.77	11.29	1.94	2.66	3.46	86.20	136.95	153.71	2.05290
65.34	8.20	2.94	42.19	8.10	1.41	1.94	2.66	59.24	109.99	123.47	1.64904
69.43	5.56	1.99	30.36	5.44	1.01	1.41	1.94	42.16	92.91	101.45	1.35492
73.51	3.75	1.34	20.58	3.92	0.68	1.01	1.41	28.95	79.69	86.30	1.15263
77.60	2.64	0.95	13.89	2.66	0.49	0.68	1.01	19.68	70.42	75.06	1.00250
81.68	1.67	0.60	9.78	1.79	0.33	0.49	0.68	13.67	64.42	67.42	0.90047
85.76	1.11	0.40	6.17	1.26	0.22	0.33	0.49	8.88	59.63	62.02	0.82836
89.85	0.69	0.25	4.12	0.80	0.16	0.22	0.33	5.88	56.62	58.13	0.77632
			2.57	0.53	0.10	0.16	0.22	3.59	54.33	55.48	0.74096
				0.33	0.07	0.10	0.16	0.66	51.40	52.87	0.70610
					0.04	0.07	0.10	0.21	50.95	51.18	0.68355
						0.04	0.07	0.11	50.86	50.91	0.67989
							0.04	0.04	50.79	50.82	0.67878
								0.00	50.75	50.77	0.67806
									50.75	50.75	0.67778
											86.30192

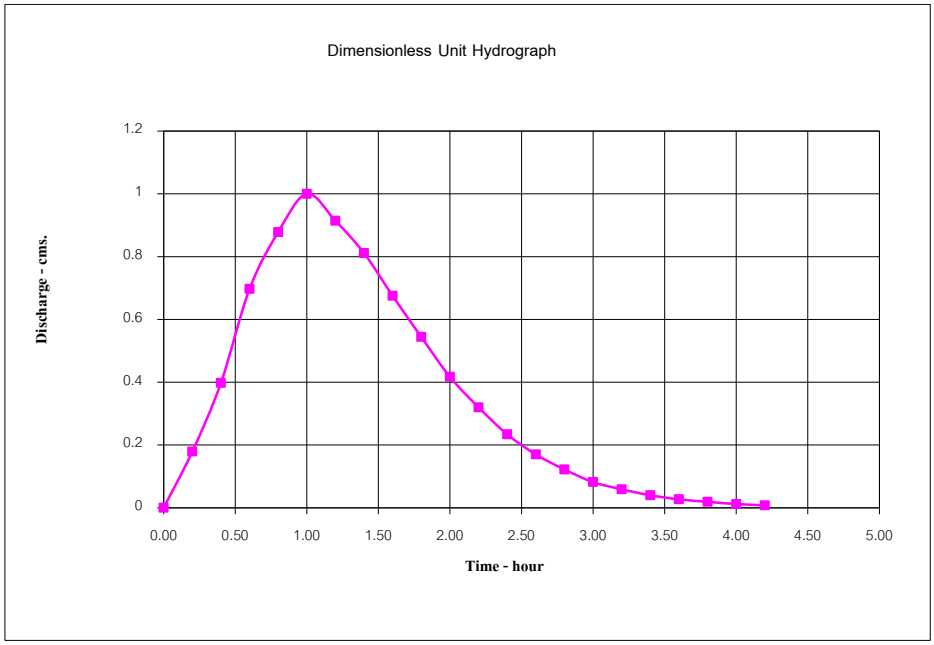
ภาคผนวก ง

ง.1 ตารางแสดงการคำนวณกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้ไร้มิติ (Dimensionless)

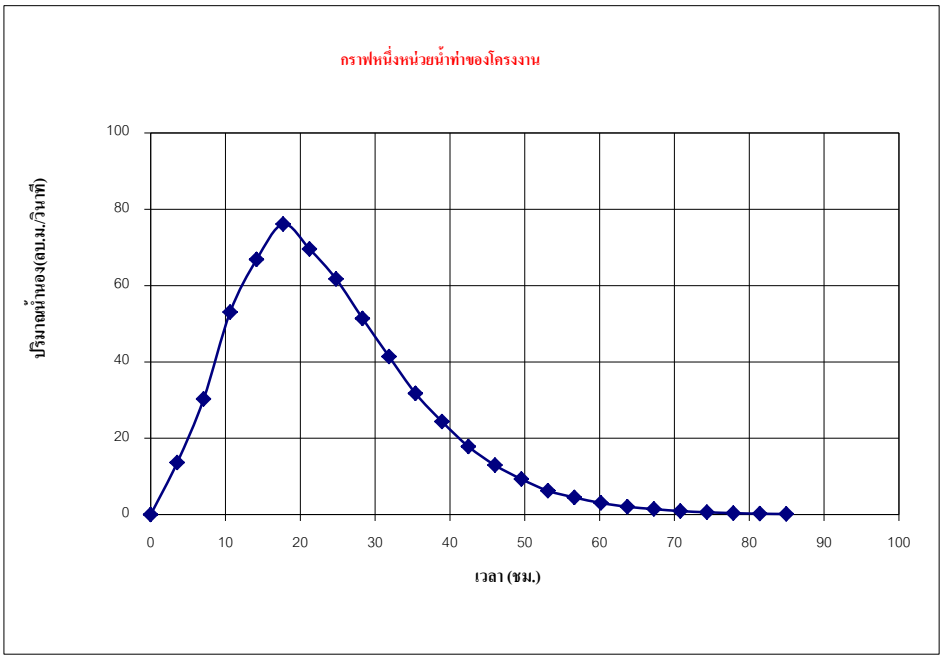
ตารางแสดงการคำนวณกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า Station Y.26

อัตราส่วน t / t_p	**อัตราส่วน q / q_p**	**เวลา, t (ชม.)**	**ปริมาณการไหล, q (ลบ.ม./วินาที)**	**q (ปรับแก้) (ลบ.ม./วินาที)**
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
0.20	0.179	3.540	1.640	13.624
0.40	0.398	7.080	3.646	30.291
0.60	0.697	10.620	6.385	53.048
0.80	0.878	14.160	8.042	66.824
1.00	1.000	17.700	9.160	76.109
1.20	0.914	21.240	8.372	69.564
1.40	0.811	24.780	7.429	61.725
1.60	0.675	28.320	6.183	51.374
1.80	0.544	31.860	4.983	41.403
2.00	0.417	35.400	3.820	31.738
2.20	0.320	38.940	2.931	24.355
2.40	0.234	42.480	2.143	17.810
2.60	0.170	46.020	1.557	12.939
2.80	0.122	49.560	1.118	9.285
3.00	0.082	53.100	0.751	6.241
3.20	0.059	56.640	0.540	4.490
3.40	0.040	60.180	0.366	3.044
3.60	0.027	63.720	0.247	2.055
3.80	0.019	67.260	0.174	1.446
4.00	0.012	70.800	0.110	0.913
4.20	0.008	74.340	0.073	0.609
4.40	0.005	77.880	0.046	0.381
4.60	0.003	81.420	0.027	0.228
4.80	0.002	84.960	0.018	0.152
5.00	0.001	88.500	0.009	0.076
5.20	0.000	92.040	0.000	0.000
		sum	69.772	579.724

ง.2 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้ไร้มิติ (Dimensionless)



ง.3 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของโครงงาน



ง.4 ตารางการใช้ประโยชน์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน

การจำแนกการใช้ประโยชนที่ดิน (Land Use Classification)

ระดับ/Level 1	ระดับ/Level 2		ระดับ/Level 3		
U พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง Urban and Built-up land	U1	ตัวเมืองและย่านการค้า City, Town , Commercial			
	U2	หมู่บ้าน village	U200	หมู่บ้านจัดสรรร้าง	Abandoned village
			U201	หมู่บ้าน	Village
			U202	หมู่บ้านชาวไทยภูเขา	Hill tribe village
	U3	สถานที่ราชการและสถาบันต่าง ๆ Institutional land			
	U4	สถานีคมนาคม Transportation, Communication and Utility	U401	สนามบิน	Airport
			U402	สถานีรถไฟ	Railway station
			U403	สถานีขนส่ง	Bus station
			U404	ท่าเรือ	Harbour
			U405	ถนน	Road
			*U406	ทางรถไฟ	Railway
	U5	ย่านอุตสาหกรรม Industrial land	U500	โรงงานอุตสาหกรรมร้าง	Abandoned factory
			U501	นิคมอุตสาหกรรม	Industrial estate
			U502	โรงงานอุตสาหกรรม	Factory
			U503	ลานตากและแหล่งรับซื้อทางการเกษตร	Agricultural product trading centers
	U6	อื่น ๆ Other	U600	สถานที่ร้าง	Abandoned area
			U601	สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ	Recreation area
			U602	สนามกอล์ฟ	Golf course
			U603	สุสาน,ป่าช้า	Cemetery
			U604	ศูนย์อพยพ	Refugee camp
			*U605	สถานีบริการน้ำมัน	Gassoline Station

A พื้นที่ เกษตรกรรม Agricultural land	A1	นาข้าว Paddy field	A100	นาร้าง	Abandoned paddy field
			A101	นาข้าว	Rice paddy
		พืชไร่			
	A2		A200	ไร่ร้าง	Abandoned field crop
		Field crop	A201	พืชไร่ผสม	Mixed field crop
			A202	ข้าวโพด	Corn
			A203	อ้อย	Sugarcane
			A204	มันสำปะหลัง	Cassava
			A205	สับปะรด	Pineapple
			A206	ยาสูบ	Tobacco
			A207	ฝ้าย	Cotton
			A208	ถั่วเขียว	Mungbean
			A209	ถั่วเหลือง	Soybean
			A210	ถั่วลิสง	Peanut
			A211	ปอแก้ว ปอกระเจา	Kenaf, Jute
			A212	ถั่วดำ ถั่วแดง	Black bean, Red bean
			A213	ข้าวฟ่าง	Sorghum
			A214	ละหุ่ง	Castor bean
			A215	งา	Sesame
			A216	ข้าวไร่	Upland rice
			A217	มันฝรั่ง	Potato
			A218	มันแกว	Jam potato
			A219	มันเทศ	Sweet potato
			A220	แตงโม	Watermelon
			A221	ลูกเดือย	Millet
			A222	ขิง	Ginger
			A223	กะหล่ำปลี	Cabbage
			A224	มะเขือเทศ	Tomato
			A225	ว่านหางจรเข้	Aloevera
			A226	ป่านศรนารายณ์	Agave

			A227	ปอสา	Paper mulberry
			A228	ทานตะวัน	Sunflower
			A229	พริก	Chili
			A230	ข้าวสาลี	Wheat
			A231	ข้าวบาร์เลย์	Barley
			A232	ข้าวไรย์	Rye
			A233	ฝิ่น	Opium
			A234	กัญชา	Marihuana
			A235	กระเจี๊ยบ	Roselle
			A236	เผือก	Taro
	A3	ไม้ยืนต้น	A301	ไม้ยืนต้นผสม	Mixed perennial
		Perennial	A302	ยางพารา	Para rubber
			A303	ปาล์มน้ำมัน	Oil palm
			A304	ยูคาลิปตัส	Eucalyptus
			A305	สัก	Teak
			A306	สะเดา	Magosa
			A307	สนประดิพัทธ์	Casuarina
			A308	กระถิน	Acacia
			A309	ประดู่	Pterocarpus sp.
			A310	ซ้อ	Gmelwa sp.
			A311	ไม้ชายเลน	Mangrove
			A312	กาแฟ	Coffee
			A313	ชา	Tea
			A314	หม่อน	Mulberry
			A315	ไผ่	Bamboo
			A316	นุ่น	Kapok
			A317	หมาก	Betel palm
			A318	จามจุรี	Rain tree
			A319	ตีนเป็ด	Cerlera sp.
			A320	เปล้า	Croton sp.
			A321	ยมหอม	Indian mahogany

			A322	กฤษณา	Agalloch
			A323	ตะกู	New Guinea labula
	A4	ไม้ผล	A401	ไม้ผลผสม	Mixed orchard
		Orchard	A402	ส้ม	Orange
			A403	ทุเรียน	Durian
			A404	เงาะ	Rambutan
			A405	มะพร้าว	Coconut
			A406	ลิ้นจี่	Litchi
			A407	มะม่วง	Mango
			A408	มะม่วงหิมพานต์	Cashew
			A409	พุทรา	Jujube
			A410	น้อยหน่า	Custard apple
			A411	กล้วย	Banana
			A412	มะขาม	Tamarind
			A413	ลำไย	Longan
			A414	ฝรั่ง	Guava
			A415	มะละกอ	Papaya
			A416	ขนุน	Jack fruit
			A417	กระท้อน	Santol
			A418	ชมพู่	Rose apple
			A419	มังคุด	Mangosteen
			A420	ลางสาด ลองกอง	Langsat
			A421	ระกำ สละ	Rakum, Sala
			A422	มะนาว	Lime
			A423	ไม้ผลเมืองหนาว	Sub-tropical fruit
			A424	มะขามเทศ	Manila tamarind
			A425	มะกอกน้ำ	Elaeocarpaceae
			A426	แก้วมังกร	Dragon fruit
			A427	ส้มโอ	Pomelo
			A428	ละมุด	Sapodilla
			A429	มะปราง มะยงชิด	Plummango

			A430	มะไฟ	Burmese grape
			A431	ทับทิม	Pomegranate
	A5	พืชสวน	A501	พืชสวนผสม	Mixed horticulture
		Horticulture	A502	พืชผัก	Truck crop
			A503	ไม้ดอก	Floricultural
			A504	องุ่น	Vine
			A505	พริกไทย	Pepper
			A506	สตรอเบอรี่	Strawberry
			A507	เสาวรส	Passion fruit
			A508	แรสเบอรี่	Raspberry
			A509	พืชสมุนไพร	Herbs
			A510	นาหญ้า	Grass plantation
			A511	หวาย	Rattan
			A512	แคนตาลูป	Cantaloupe
	*A6	ไร่หมุนเวียน	A600	ไร่ร้าง	Bush fallow
		Swidden			
		cultivation			รหัสระดับ 3 เช่นเดียวกับ A2
	A7	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์			
		และ	A700	โรงเรือนร้าง	Abandoned farm house
		โรงเรือนเลี้ยงสัตว์	A701	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	Pasture
		Pasture and	A702	โรงเรือนเลี้ยงโค กระบือ	
		farm house		และม้า	Cattle farm house
			A703	โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ปีก	Poultry farm house
			A704	โรงเรือนเลี้ยงสุกร	Swine farm house
	A8	พืชน้ำ	A801	พืชน้ำผสม	Mixed aquatic plant
		Aquatic plant	A802	กก	Reed
			A803	บัว	Lotus
			A804	กระจับ	Water chestnut
			A805	แห้ว	Water chestnut
			A806	ผักบุ้ง	Water spinach
			A807	ผักกะเฉด	Watercress

	A9	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ Aquacultural land	A900	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำร้าง	Abandoned aquacultural land
			A901	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำผสม	Mixed aquacultural land
			A902	สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	Fish farm
			A903	สถานที่เพาะเลี้ยงกุ้ง	Shrimp farm
			A904	สถานที่เพาะเลี้ยงปู หอย	Crab/ Shellfish farm
			A905	ฟาร์มจระเข้	Crocodile farm
	A0	เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม Integrated farm/ Diversified farm			
	F1	ป่าดิบ Evergreen forest	F100	ป่าดิบรอสภาพฟื้นฟู	Disturbed evergreen forest
F พื้นที่ป่าไม้ Forest land			F101	ป่าดิบสมบูรณ์	Dense evergreen forest
	F2	ป่าผลัดใบ Deciduous forest	F200	ป่าผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู	Disturbed deciduous forest
			F201	ป่าผลัดใบสมบูรณ์	Dense deciduous forest
	F3	ป่าเลน Mangrove forest	F300	ป่าเลนรอสภาพฟื้นฟู	Disturbed mangrove forest
			F301	ป่าเลนสมบูรณ์	Dense mangrove forest
	F4	ป่าพรุ Swamp forest	F400	ป่าพรุรอสภาพฟื้นฟู	Disturbed swamp forest
			F401	ป่าพรุสมบูรณ์	Dense swamp forest
	F5	สวนป่า Forest Plantation	F500	สวนป่ารอสภาพฟื้นฟู	Disturbed forest plantation
			F501	สวนป่าสมบูรณ์	Dense forest plantation
	F6	วนเกษตร Agro - forestry		พื้นที่ปลูกป่าร่วมกับการเกษตร	
W	W1	แหล่งน้ำธรรมชาติ	W101	แม่น้ำลำคลอง	River, Canal

พื้นที่น้ำ Water Body		Natural water body	W102	หนอง บึง ทะเลสาบ	Natural water resource
	W2	แหล่งน้ำที่สร้างขึ้น Reservoir (Built-up)	W201 W202	อ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำในไร่นา	Reservoir Farm pond
			W203	คลองชลประทาน	Irrigation canal
M พื้นที่เบ็ดเตล็ด Miscellaneous land	M1	ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะ Rangeland	M101 M102 M103	 ทุ่งหญ้า ไม้ละเมาะ ไผ่	 Grass Scrub Bamboo
	M2	พื้นที่ลุ่ม Marsh and Swamp			
	M3	เหมืองแร่ บ่อขุด Mine, pit	M300 M301	เหมืองเก่า บ่อขุดเก่า เหมืองแร่	Abandoned mine,pit Mine
			M302	บ่อลูกรัง	Laterite pit
			M303	บ่อทราย	Sand pit
			M304	บ่อดิน	Soil pit
	M4	อื่น ๆ Other	M401	นาเกลือ	Salt flat
			M402	หาดทราย	Beach
			M403	ที่หินโผล่	Rock out crop
			M404	ที่ทิ้งขยะ	Garbage dump
			M405	พื้นที่ถม	Landfill

ง.5 รอบปีการเกิดซ้ำตามความสำคัญและสภาพพื้นที่ต่าง ๆ

สภาพพื้นที่	รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี)
ระบบระบายน้ำในเมือง	
เมืองเล็ก	2-25
เมืองใหญ่	25-50
ท่อลอดถนน	
มีการสัญจรน้อย	5-10
มีการสัญจรปานกลาง	10-25
มีการสัญจรมาก	50-100
สนามบิน	
มีการจราจรน้อย	5-10
มีการจราจรปานกลาง	10-25
มีการจราจรมาก	50-100
หมู่บ้านจัดสรร	5

(รศ.กีรติ ลีวัจนกุล,ม.ป.ป,522)