

ผลงานฉบับเต็ม

เรื่อง

การสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากลุ่มน้ำขนาดเล็กที่มีความลาดชันสูงซึ่งปลูกพืชไร่และยางพารา

Derivation of Unit Hydrograph from Steep Slope Small Catchments Covering
with Para-rubber Plantation and Annual Cash Crops

ของ

นายกานต์ ไตรโสภณ

ตำแหน่งนักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ตำแหน่งเลขที่ 819

สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6

เสนอ

ขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ

ผู้เชี่ยวชาญด้านพัฒนาที่ดินบนพื้นที่สูง

ตำแหน่งเลข ที่ 819 สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6

กรมพัฒนาที่ดิน

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
หลักการและเหตุผล	3
วัตถุประสงค์	6
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์การศึกษา	14
ระยะเวลาดำเนินการ	14
สถานที่ดำเนินการ	14
ขั้นตอนและวิธีการศึกษา	14
ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	21
ผลการศึกษาและวิจารณ์	33
สรุป	59
การนำไปใช้ประโยชน์	60
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	65

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงการจำแนกความลาดชันของกลุ่มน้ำ RTC	23
2	แสดงสมบัติดินที่พบในกลุ่มน้ำ RTC	25
3	แสดงการจำแนกความลาดชันของกลุ่มน้ำ ACC	29
4	แสดงสมบัติดินที่พบในกลุ่มน้ำ ACC	31
5	สถิติข้อมูลน้ำฝนรายเดือนในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา (มิลลิเมตร)	33
6	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของมิติสำคัญสามประการแรกจากกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่สังเคราะห์ได้	36
7	สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 8 ที่คำนวณได้จากกลุ่มน้ำ RTC	38
8	สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 16 ที่คำนวณได้จากกลุ่มน้ำ RTC	39
9	ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยจากกลุ่มน้ำ RTC	41
10	สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 8 ที่คำนวณได้จากกลุ่มน้ำ ACC	42
11	สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 16 ที่คำนวณได้จากกลุ่มน้ำ ACC	43
12	ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยจากกลุ่มน้ำ ACC ที่มีฐานเวลา 90 นาที	45
13	สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 8 จากกลุ่มน้ำ ACC	46
14	สัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามลำดับที่ 16 จากกลุ่มน้ำ ACC	48

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	องค์ประกอบของกราฟน้ำท่า	4
2	วิธีการแยกการไหลพื้นฐานจากน้ำไหลบ่าผิวดินในกราฟน้ำท่า	9
3	สถานีอุตุนิยมวิทยาอัตโนมัติ	15
4	แปลนและรูปด้านข้างของอาคารวัดน้ำแบบ Parshall flume	16
5	ภาพถ่ายอาคารวัดระดับน้ำแบบ Parshall flume ในพื้นที่ศึกษา	16
6	staff gauge สำหรับสอบทานระดับน้ำและบ่อน้ำนิ่ง (stilling well) สำหรับติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติ	17
7	ชุดเครื่องมือวัดระดับน้ำอัตโนมัติในบ่อน้ำนิ่งอันประกอบด้วยลูกลอย (สีเหลือง) และ sensor วัดระดับน้ำซึ่งบรรจุอยู่ในกล่องโลหะสีเขียว	18
8	ชุดบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (data logger) และชุดควบคุมการเก็บตัวอย่างน้ำอัตโนมัติ	18
9	แสดงที่ตั้งโดยสังเขปของกลุ่มน้ำศึกษา	21
10	แผนที่ธรณีวิทยาลุ่มน้ำ RTC	22
11	แผนที่ความลาดชันลุ่มน้ำ RTC	24
12	แผนที่ดิน ลุ่มน้ำ RTC	26
13	แผนที่ธรณีวิทยาลุ่มน้ำ ACC	28
14	แผนที่ความลาดชันลุ่มน้ำ ACC	30
15	แผนที่ดินลุ่มน้ำ ACC	32
16	กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ RTC จากสมการพหุนามลำดับที่ 8	38
17	กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ RTC จากสมการพหุนามลำดับที่ 16	40
18	กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ RTC ภายหลังปรับค่า ordinate	41
19	กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC จากสมการพหุนามลำดับที่ 8	43
20	กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC จากสมการพหุนามลำดับที่ 16	44
21	กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC ภายหลังปรับค่า ordinate	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC จากสมการพหุนามลำดับที่ 8	47
23	กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC จากสมการพหุนามลำดับที่ 16	49
24	กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC ภายหลังปรับค่า Ordinate	50
25	เส้นกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยจากกลุ่มน้ำ RTC พล็อต เทียบกับ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่นำมาหาค่าเฉลี่ย	50
26	เส้นกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยที่มีฐานเวลา 90 นาทีจากกลุ่มน้ำ ACC พล็อต เทียบกับ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่นำมาหาค่าเฉลี่ย	51
27	เส้นกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยที่มีฐานเวลา 180 นาทีจากกลุ่มน้ำ ACC พล็อต เทียบกับ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่นำมาหาค่าเฉลี่ย	51
28	เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่วัดได้จริงและที่สังเคราะห์ขึ้นวันที่ 13 กรกฎาคม 2560	52
29	เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่วัดได้จริงและที่สังเคราะห์ขึ้น วันที่ 4 ตุลาคม 2558	53
30	เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่วัดได้จริงและที่สังเคราะห์ขึ้น วันที่ 3 มิถุนายน 2559	54
31	เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่วัดได้จริงและที่สังเคราะห์ขึ้น วันที่ 24 พฤษภาคม 2560	55
32	เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่วัดได้จริงและที่สังเคราะห์ขึ้น วันที่ 17 สิงหาคม 2558	56
33	เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่วัดได้จริงและที่สังเคราะห์ขึ้น วันที่ 13 กรกฎาคม 2560	57

สารบัญภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่		หน้าที่
1	ตัวอย่างข้อมูลระดับน้ำจากลุ่มน้ำ RTC เมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2559	65
2	มิติสำคัญของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากลุ่มน้ำ RTC เรียงลำดับตามอัตราการไหลสูงสุด	66
3	มิติสำคัญของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากลุ่มน้ำ ACC เรียงลำดับตามอัตราการไหลสูงสุด	67

ภาพภาคผนวกที่		หน้าที่
1	ตัวอย่างกราฟน้ำท่าในหน่วยวัดที่เป็นระดับน้ำของลุ่มน้ำ RTC จากข้อมูลในตารางภาคผนวกที่ 1	68
2	ตัวอย่างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากลุ่มน้ำ RTC และ ACC	69

การสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากลุ่มน้ำขนาดเล็กที่มีความลาดชันสูงซึ่งปลูกพืชไร่และยางพารา

Derivation of Unit Hydrograph from Steep Slope Small Catchments Covering with Para-rubber Plantation and Annual Cash Crops

นายกานต์ ไตรโสภณ

สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 6

นางสาวเกสร จำปา

กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย "การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก" ซึ่งเป็นโครงการวิจัยภายใต้กรอบความร่วมมือระหว่างกรมพัฒนาที่ดินและสถาบัน IRD ประเทศฝรั่งเศส ในการศึกษาได้ทำการคัดเลือกพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่สูง 2 สองลุ่มน้ำที่มีการใช้ที่ดินแตกต่างกันในตำบลท่าข้าม อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย ลุ่มน้ำแรกมีการใช้ที่ดินเพื่อการปลูกยางพาราโดยยางพาราส่วนใหญ่มีอายุ 7 ปีขึ้นไป ให้ชื่อรหัสลุ่มน้ำว่า RTC มีขนาดพื้นที่ 186 ไร่ มีลักษณะเป็นรูปพัด ลุ่มน้ำที่สองมีการใช้ที่ดินเป็นการปลูกพืชไร่อาศัยน้ำฝน ให้ชื่อรหัสลุ่มน้ำว่า ACC มีขนาดพื้นที่ 486 ไร่ มีลักษณะเป็นรูปใบไม้ โดยวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาคือ เพื่อสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าอันเป็นผลจากการใช้ที่ดินสองรูปแบบข้างต้นบนพื้นที่ภูเขาสูงชัน ในการศึกษาได้ใช้ข้อมูลน้ำท่าที่วัดได้จากลุ่มน้ำวิจัยทั้งสองมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของแต่ละลุ่มน้ำด้วยโดยใช้วิธีหาสัมประสิทธิ์สมการพหุนาม ซึ่งพบว่าสมการพหุนามลำดับที่ 16 ให้เส้นโค้งซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของกราฟน้ำท่าจากทั้งสองลุ่มน้ำดีที่สุด ลุ่มน้ำ RTC ได้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยที่มีฐานเวลา 60 นาที ที่มีค่าอัตราการไหลสูงสุด 2.109 ลบ.ม./วินาที/1 เซนติเมตร มีค่าระยะเวลาการเกิดการไหลสูงสุด 18 นาที ส่วนลุ่มน้ำ ACC ได้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน 2 เส้นที่มีฐานเวลา 90 และ 180 นาที ที่ฐานเวลา 90 นาทีที่มีค่าอัตราการไหลสูงสุด 3.965 ลบ.ม./วินาที/1 เซนติเมตร และมีค่าระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด 36 นาที ที่ฐานเวลา 180 นาที มีค่าอัตราการไหลสูงสุด 2.001 ลบ.ม./วินาที/1 เซนติเมตรและมีค่าระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด 75 นาที อนึ่งการเปรียบเทียบปริมาณน้ำไหลบ่าต่อหน่วยพื้นที่ที่อัตราการไหลสูงสุดพบว่า ลุ่มน้ำ RTC มีน้ำไหลบ่าเกิดขึ้น 0.0113 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ในขณะที่ลุ่มน้ำ ACC มีน้ำไหลบ่าเกิดขึ้น 0.0041 และ 0.0081 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ สำหรับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยที่มีฐานเวลา 90 และ 180 นาทีที่ตามลำดับซึ่งแสดงว่าลุ่มน้ำที่มีการปลูกยางพารามีปริมาณน้ำไหลบ่าต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าลุ่มน้ำที่ปลูกพืชไร่

Abstract

This study is a part of a research program "Mathematic Model for Land-use Impact on small catchment in Northern Thailand" which is a joint research program between LDD Thailand and IRD France. In this study we monitor flow from two sub - catchments in Tumbol Takham, WiangKhaen District, Chiangrai Province. One catchment which has a code-name RTC and is mostly covered by mature para-rubber trees. This one has a fan shape, with a size of 0.12 km^2 . The other catchment has a code-name ACC and is mostly covered by rainfed annual cash crop. This catchment has a leave shape, with a size of 0.30 km^2 . The objectives of this study are to derive unit hydrograph for each catchment and then evaluate land use impact on direct runoff. Hydrographs from each catchment are created and then representative unit hydrographs are derived by fitting polynomial equation to the order 16th. Representative unit hydrographs from RTC has 90 minutes time base. Peak flow is $2.109 \text{ cu m/sec/1 cm}$. Time to peak is 18 minutes. ACC yields 2 distinct time base unit hydrographs, 90 and 180 minutes. The 90 minutes time base unit hydrograph has $3.965 \text{ cu m/sec/1 cm}$ peak flow and 36 minutes time to peak. The 180 minutes time base unit hydrograph has $2.001 \text{ cu m/sec/1 cm}$ peak flow and 75 minutes time to peak. At peak flow RTC yields $0.0706 \text{ cu m/sec/hectare}$ compare to 0.0256 and $0.0506 \text{ cu m/sec/hectare}$ from ACC. This reflects the truth that para-rubber trees actually yield more runoff per unit area than annual cash crop.

หลักการและเหตุผล

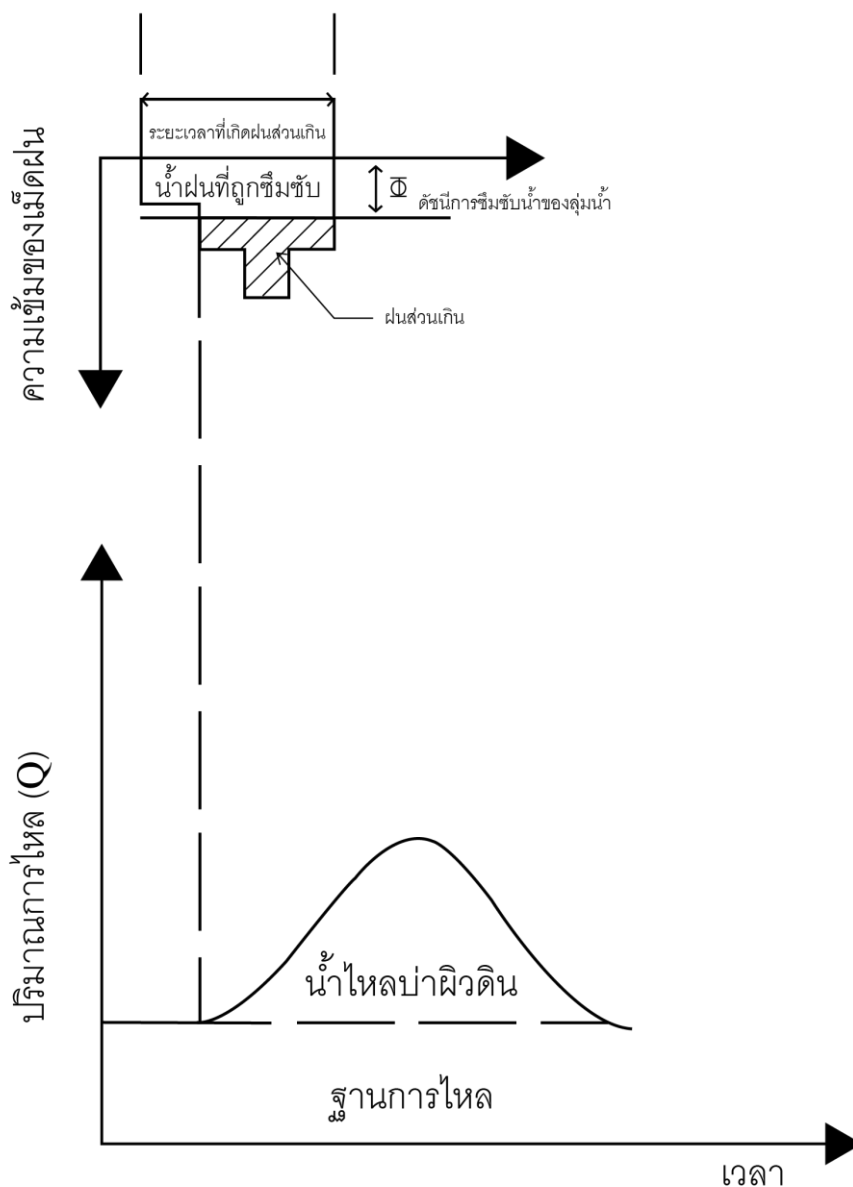
กราฟน้ำท่า (hydrograph) หมายถึง เส้นโค้งหรือเส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ (stage) หรือปริมาณการไหล (discharge) เทียบกับเวลา สำหรับเวลาที่ใช้แสดงความสัมพันธ์อาจอยู่ในหน่วยนาที่ ชั่วโมงหรือวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ที่ต้องการแสดงปริมาณการไหลของน้ำ เช่น หากต้องการแสดงภาวะน้ำหลาก (flood) ความสัมพันธ์ของอัตราการน้ำหลากกับเวลาในหน่วยชั่วโมงจะมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานมากกว่าหน่วยอื่น สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กหน่วยที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่จะใช้หน่วยใหญ่ขึ้นเป็น 100 ลูกบาศก์เมตร/วินาที หรือต่อวันที่ ชั่วโมง วัน

องค์ประกอบของกราฟน้ำท่าที่เกิดจากพายุฝนลูกหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือการไหลพื้นฐาน (base flow) และน้ำไหลบ่าผิวดิน (surface runoff) โดยทั้งสององค์ประกอบจะมีหน่วยในการวัดเป็นปริมาตรต่อหน่วยเวลาดังอธิบายแล้วข้างต้นเหมือนกัน

การไหลพื้นฐานจะเป็นส่วนฐานของกราฟน้ำท่า เกิดจากการไหลของน้ำใต้ดินเป็นองค์ประกอบหลัก โดยธรรมชาติการไหลพื้นฐานจะมีปริมาณต่ำมากและมีค่าค่อนข้างคงที่ น้ำในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เกิดจากพายุฝนที่ได้ตกก่อนหน้านี้เป็นเวลานานและเคลื่อนที่ได้ผิวดินออกมาสู่ลำน้ำด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าน้ำไหลบ่าผิวดินมาก

ส่วนบนของกราฟน้ำท่าจะมีน้ำไหลบ่าผิวดินเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งในลุ่มน้ำขนาดเล็กน้ำไหลบ่าผิวดินจะเคลื่อนที่ถึงจุดปลายสุดของลุ่มน้ำเร็วมาก มีช่วงเวลาการเกิดคาบเกี่ยวกับพายุฝนที่กำลังตกลงในลุ่มน้ำในขณะนั้น

ปริมาตรของน้ำไหลบ่าผิวดินจะเท่ากับปริมาตรที่เกิดจากความลึกของฝนส่วนเกิน (excess rainfall) ที่ตกกระจายทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ ปริมาณฝนส่วนเกินสามารถหาได้จากการลบปริมาตรทั้งหมดของกราฟน้ำท่าด้วยปริมาตรของการไหลพื้นฐานซึ่งค่อนข้างคงที่และสามารถประเมินได้ง่าย ผลที่ได้คือปริมาตรของน้ำไหลบ่าผิวดินทั้งหมด ซึ่งเมื่อนำมาหารด้วยพื้นที่ลุ่มน้ำก็จะได้ค่าความลึกของฝนส่วนเกิน (Linsley *et al.*, 1988; วิษุวัตม์, 2555)



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของกราฟน้ำท่า

ที่มา: ดัดแปลงจาก Barszcz *et al.* (2006)

คำจำกัดความของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (unit hydrograph) ในทางทฤษฎีคือ กราฟของน้ำไหลบ่าผิวดินเมื่อทำการพลอตเทียบกับเวลา โดยปริมาตรน้ำไหลบ่าผิวดินดังกล่าวเกิดจากฝนส่วนเกิน 1 หน่วยความลึกซึ่งตกแผ่กระจายสม่ำเสมอตลอดทั้งลุ่มน้ำ ด้วยอัตราความเข้มคงที่ในช่วงเวลาที่กำหนด กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเป็นสมบัติเฉพาะในทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งมีองค์ประกอบของชั้นดิน ชั้นหิน ภูมิสัณฐานของลุ่มน้ำและการใช้ที่ดินต่างๆ (Linsley *et al.*, 1988)

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าโดยทั่วไปจะมีพื้นฐานเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยมีแกนตั้ง (y) เป็นอัตราการไหลต่อความลึกฝนส่วนเกินหนึ่งหน่วยและแกนนอน (x) เป็นเวลา พารามิเตอร์สำคัญที่กำหนดรูปร่างของเส้นกราฟคือ เวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด (time to peak) อัตราการไหลสูงสุด (peak flow) และฐานเวลา (time base) (วิชวุฒิก, 2555)

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่ามีข้อที่เป็นประโยชน์หลายประการอาทิ สามารถสร้างจากข้อมูลเพียงช่วงสั้นๆ และนำไปใช้คาดการณ์ปริมาณน้ำหลากได้อย่างแม่นยำ ทั้งในแง่ของอัตราการไหลสูงสุดและปริมาณน้ำที่เกิดจากพายุฝนขนาดที่สนใจ สามารถใช้ข้อมูลจากเครื่องวัดระดับน้ำและน้ำฝนอัตโนมัติป้อนเข้าคอมพิวเตอร์เพื่อทำการคำนวณได้โดยง่าย ทั้งในขั้นตอนการสร้างและการนำไปใช้งาน และยังสามารถใช้สอบทานความถูกต้องของปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้ด้วยวิธีการทางสถิติทั้งแบบ Stochastic และ Deterministic นอกจากนี้ยังสามารถนำกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าไปใช้เพื่อการทำนายปริมาณน้ำไหลบ่าและอัตราการเกิดน้ำไหลบ่าสูงสุดในพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นๆ ที่มีสมบัติทางกายภาพและการใช้ที่ดินใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานที่หน่วยงานที่ทำงานทางด้านอุทกวิทยาและการก่อสร้างแหล่งน้ำใช้ประโยชน์ ทั้งในแง่ของการคาดการณ์ภัยพิบัติจากการเกิดน้ำหลาก โดยสามารถใช้ในการคำนวณทั้งปริมาณน้ำท่วมสูงสุดและปริมาตรน้ำท่วมที่จะเกิดขึ้นเพื่อการออกแบบอาคารควบคุมทางชลศาสตร์ที่เหมาะสม ตลอดจนสามารถคาดการณ์ภาวะน้ำท่วมและเตือนภัยล่วงหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สงวนและคณะ, 2552)

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่ามีจุดด้อยที่ต้องทำการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนและกราฟน้ำท่าอย่างต่อเนื่องระยะเวลาหนึ่งเพื่อนำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า แต่เมื่อสามารถสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าครอบคลุมเงื่อนไขทางด้านภูมิสารสนเทศของพื้นที่และการใช้ที่ดินได้แล้ว การนำไปใช้งานจะสะดวกและรวดเร็ว ให้ความแม่นยำในระดับที่น่าเชื่อถือได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกอื่นอันได้แก่การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทางด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ที่มีความซับซ้อน และต้องอาศัยการนำเข้าข้อมูลจำนวนมากและหลากหลายประเภท อาทิเช่น FLO 2D (FLO 2D Software Inc. 2009) HEC (Hydrologic Engineering Center 2013) หรือ MIKE (DHI Water & Environment 2009) แล้ว การใช้งานกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเพื่อการทำนายภาวะน้ำหลากสำหรับลุ่มน้ำที่ยังไม่มีการศึกษาข้อมูลถือว่าสะดวกรวดเร็ว และให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำเพียงพอแก่การแก้ปัญหา

ในประเทศไทยมีการศึกษากราฟน้ำท่าและสังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าครอบคลุมลุ่มน้ำสำคัญของประเทศที่มีสถานีวิจัยทางอุทกวิทยา แต่ยังไม่พบว่ามีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าในลุ่มน้ำขนาดเล็กที่มีขนาดต่ำกว่า 1 ตารางกิโลเมตร ทำให้ขาดข้อมูลสำคัญที่จะใช้ในการออกแบบทางชลศาสตร์สำหรับกิจกรรมที่จะเกิดในลุ่มน้ำขนาดเล็ก อาทิ การก่อสร้างมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำด้วยวิธีกล อันประกอบด้วยคันดินกั้นน้ำ คันดินเบนน้ำ อาคารชะลอความเร็วของน้ำ บ่อตกตะกอน ฯลฯ อันเป็นภารกิจเฉพาะของกรมพัฒนาที่ดิน

นอกจากการใช้งานทางด้านการออกแบบอาคารทางชลศาสตร์และการเตือนภัยน้ำท่วมแล้ว กราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างแบบจำลองการตอบสนองทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำ (catchment modeling) เนื่องจากเส้นกราฟเองเป็นตัวแทนการตอบสนองต่อพายุฝนของพื้นที่ลุ่มน้ำ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย "การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก" ซึ่งเป็นโครงการวิจัยภายใต้กรอบความร่วมมือระหว่างกรมพัฒนาที่ดินและสถาบัน IRD ประเทศฝรั่งเศส ในการวิจัยได้ทำการคัดเลือกพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่สูง 2 สองกลุ่มน้ำที่มีการใช้ที่ดินแตกต่างกัน คือ กลุ่มน้ำที่ 1 มีการใช้ที่ดินเพื่อการปลูกยางพาราโดยยางพาราส่วนใหญ่มีอายุ 7 ปีขึ้นไป กลุ่มน้ำที่ 2 การใช้ที่ดินเป็นการปลูกพืชไร่อาศัยน้ำฝนเพื่อทำการศึกษาลักษณะทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำภายใต้อิทธิพลของการใช้ที่ดินที่แตกต่างกัน โดยกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำเป็นลักษณะข้อหนึ่งที่จะทำการศึกษาก่อนที่จะพัฒนาไปสู่การจำลองการไหลของน้ำในลำน้ำต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำสำหรับกลุ่มน้ำขนาดเล็กที่มีความลาดชันสูงบนพื้นที่ภูเขา ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินแตกต่างกันสองรูปแบบ คือ ปลูกพืชไร่อาศัยน้ำฝนและปลูกยางพารา และเปรียบเทียบอิทธิพลของการใช้ที่ดินทั้งสองรูปแบบต่อการเกิดน้ำไหลบ่า

การตรวจเอกสาร

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำ

Linsley *et al.* (1988) อ้างถึง Sherman (1932) ว่าเป็นบุคคลแรกที่นำเสนอแนวคิดเรื่องกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำ โดยให้คำจำกัดความของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำคือ กราฟอัตราการไหลของน้ำไหลบ่าผิวดินเมื่อพลอตเทียบกับเวลา ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินดังกล่าวเกิดจากฝนส่วนเกิน 1 หน่วยความลึก ซึ่งตกแผ่กระจายสม่ำเสมอตลอดทั้งลุ่มน้ำ ด้วยอัตราความเข้มข้นที่ในช่วงเวลาที่กำหนด สำหรับประเทศที่วัดปริมาณปริมาณน้ำฝนด้วยระบบเมตรริก มักนิยาม 1 หน่วยความลึกเป็น 10 มิลลิเมตรหรือ 1 เซนติเมตร กราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำเป็นสมบัติเฉพาะในทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งมีองค์ประกอบของชั้นดิน ชั้นหิน ภูมิสัณฐานของกลุ่มน้ำและการใช้ที่ดินหนึ่งๆ โดยแต่เดิมนั้น Sherman ใช้คำว่า หน่วยในความหมายของหน่วยเวลา แต่การตีความในภายหลังได้ใช้คำว่าหน่วยในความหมายของความลึกของฝนส่วนเกิน

ตามนิยามดังกล่าวข้างต้น กราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำจึงเป็นแบบจำลองเชิงเส้น (linear system) ซึ่งเป็นผลจากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำทำที่เกิดจากฝนส่วนเกิน โดยมีข้อกำหนดดังนี้

1. พายุฝนที่ตกในเวลาเท่ากัน จะให้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่มีฐานเวลายาวเท่ากัน ไม่ว่าพายุฝนนั้นๆ จะมีความเข้ม (intensity) เท่าไร ความยาวของฐานเวลาขึ้นกับระยะเวลาที่เกิดฝนส่วนเกิน
2. พายุฝนมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งลุ่มน้ำ และมีความเข้มสม่ำเสมอเช่นกัน
3. อัตราการไหลของน้ำท่า ณ เวลาใดๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับฝนส่วนเกิน
4. ความชันดั้งเดิมของลุ่มน้ำเมื่อก่อนเกิดพายุฝนไม่มีอิทธิพลต่อฐานเวลาของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Ramirez, 2000)

สำหรับข้อกำหนดทั้ง 4 นี้ Linsley *et al.* (1988) ได้ตั้งข้อสังเกตว่า แม้ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำอาทิ ขนาด รูปร่าง ความลาดชัน จะคงที่ แต่สมบัติของพายุฝนก็ยังสามารถก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อรูปร่างของกราฟน้ำท่าได้หลากหลาย ในทางทฤษฎีแล้วกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าในอุดมคติจะมีช่วงเวลาที่ฝนตกเข้าใกล้ 0 ในข้อเท็จจริงพายุฝนจะมีช่วงเวลาที่แตกต่างกันมากมายจากเพียงไม่กี่นาทีไปจนหลายชั่วโมง ดังนั้นจึงมักนิยามกำหนดช่วงเวลาของพายุที่จะใช้สำหรับการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าไว้ที่ค่าหนึ่ง อาทิ 1 ชั่วโมง โดยยอมรับความคลาดเคลื่อนของช่วงเวลานี้ได้ที่ร้อยละ 25 นอกจากนี้ความเข้มของพายุฝนที่ต่างกันยังส่งผลให้เกิดน้ำท่าในปริมาณที่ต่างกัน ความแตกต่างนี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับขนาดของลุ่มน้ำเป็นสำคัญ ถ้าลุ่มน้ำมีขนาดเล็ก การเปลี่ยนแปลงความเข้มของพายุฝนเพียงช่วงเวลาสั้นๆ ก็อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลอย่างเห็นได้ชัด

อนึ่งลุ่มน้ำขนาดเล็กยังมีข้อได้เปรียบที่สอดคล้องกับข้อกำหนดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าคือ มักมีความหลากหลายของชั้นดินและหินน้อย ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าในอัตราค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งลุ่มน้ำ สอดคล้องกับข้อกำหนดที่ 3 แต่หากลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่มากขึ้นโอกาสที่จะเกิดความหลากหลายของชั้นดินและหินย่อมมากขึ้น ทำให้อัตราการเกิดน้ำไหลบ่าไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งพื้นที่ เป็นเหตุให้อัตราการไหลของน้ำท่าไม่เป็นสัดส่วนเดียวกันกับปริมาณฝนส่วนเกิน

วิษุวัต (2555) ยังตั้งข้อสังเกตว่า ข้อกำหนดที่ว่าปริมาณการไหล ณ เวลาใดๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับฝนส่วนเกินนั้น เกิดจากสมมุติฐานว่าลุ่มน้ำตอบสนองต่อการเกิดพายุฝนเป็นฟังก์ชันเส้นตรง แต่หากในพื้นที่ลุ่มน้ำมีแหล่งน้ำอาทิ บึง ทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ การตอบสนองดังกล่าวจะไม่เป็นฟังก์ชันเส้นตรงและอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ นอกจากนี้ข้อกำหนดที่ว่าความชันดั้งเดิมของลุ่มน้ำเมื่อก่อนเกิดพายุฝนไม่มีอิทธิพลต่อฐานเวลาของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่านั้นไม่ถูกต้อง เพราะปริมาณความชื้นที่มีมาก่อนย่อมมีผลต่ออัตราการซึมผ่านผิวดินและความจุของแหล่งเก็บกัก (storage) ต่างๆ ในลุ่มน้ำ ทำให้ปริมาณและอัตราการเกิดน้ำไหลบ่าของพายุฝนถูกัดมาแตกต่างไปจากเดิม

แต่อย่างไรก็ตามการนำเอาทฤษฎีของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าไปใช้พบว่าให้ผลเป็นที่น่าพอใจและมีความถูกต้องสูงและยังคงเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง สำหรับใช้ในการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรน้ำท่วมที่จะเกิดขึ้นเพื่อการออกแบบทางวิศวกรรมเช่น Inman (1987)

อธิบายถึงการใช้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าในคำนวณอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรการไหลสูงสุดเพื่อการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันผิวดินหลวมในลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีตรวจวัดทางอุทกวิทยาในรัฐจอร์เจีย สหรัฐอเมริกา Pradhan and Loney (2017) อธิบายถึงการปรับแก้อัตราการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าด้วยการเพิ่มสัมประสิทธิ์การไหลสูงสุด (peaking factor) เพื่อให้ได้กราฟน้ำท่าที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นฐานในการคำนวณความปลอดภัยของเขื่อน

วิธีการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

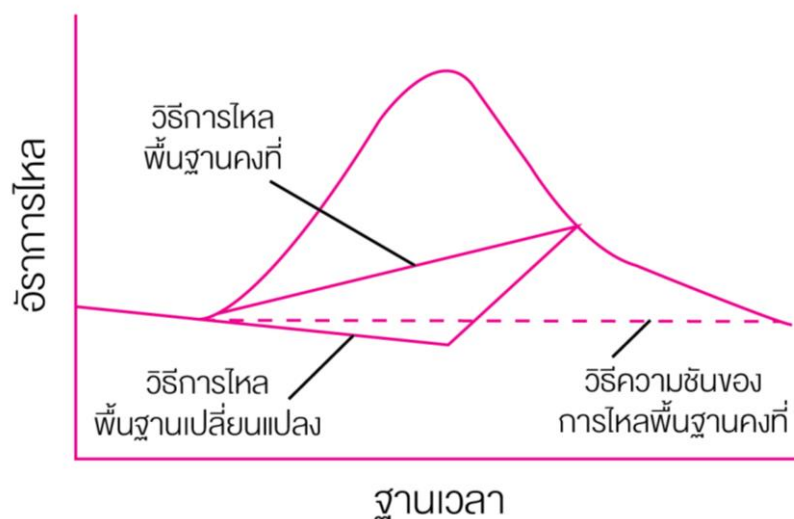
ขั้นตอนการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากข้อมูลกราฟน้ำท่าของสถานีตรวจวัดทางอุทกวิทยาตามวิธีการของ Sherman (1932 cited in Linsley *et al.*, 1988) นั้นทำได้โดย

1. แยกการไหลพื้นฐานออกจากกราฟน้ำท่า เพื่อให้เหลือเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำไหลบ่าผิวดินเท่านั้น
2. ทำการคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินทั้งหมด ($V_{DR} = \int Q_{DR}(t)dt$) โดย V_{DR} คือ ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินทั้งหมด และ Q_{DR} คืออัตราการไหล ณ เวลา t ใดๆ
3. เปลี่ยนปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมดให้อยู่ในรูปของความลึกของฝนส่วนเกินเหนือพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด (Equivalent depth = V_{DR}/A) A คือพื้นที่ของลุ่มน้ำ
4. สร้าง ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าโดยการนำความลึกของฝนส่วนเกินเหนือพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมดไปหาร $Q_{DR}(t)$ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะมีหน่วยเป็นอัตราการไหล/ ความลึกฝนส่วนเกิน 1 หน่วย ยกตัวอย่างเช่น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/1 เซนติเมตร

วิธีการมาตรฐานที่ใช้การตัดการไหลพื้นฐานจากกราฟน้ำท่านั้นจะมี 3 วิธีการด้วยกันคือ

- วิธีการไหลพื้นฐานคงที่ (constant discharge) วิธีนี้จะตั้งสมมุติฐานว่า อัตราการไหลพื้นฐานไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะมีน้ำไหลบ่าผิวดินเท่าไรและกำหนดว่าอัตราการไหลพื้นฐานตลอดช่วงระยะเวลาที่เกิดกราฟน้ำท่าเท่ากับอัตราการไหลเมื่อเริ่มเกิดกราฟน้ำท่า การตัดการไหลพื้นฐานทำโดยการลากเส้นตรงขนานกับแกนเวลาจากจุดที่ระดับน้ำเริ่มเพิ่มสูงขึ้น ไปจนจรดโค้งด้านลด (recession limb) ในอีกด้านหนึ่ง
- วิธีการความชันของการไหลพื้นฐานคงที่ (constant slope) วิธีนี้จะตั้งสมมุติฐานว่า อัตราการไหลพื้นฐานจะเพิ่มขึ้นพร้อมๆ กับน้ำไหลบ่าผิวดิน และการไหลของน้ำไหลบ่าผิวดินสิ้นสุดลง ณ ตำแหน่งที่ความลาดชันของโค้งด้านลดเปลี่ยน ณ ตำแหน่งนั้นการไหลทั้งหมดเกิดจากการไหลพื้นฐาน วิธีการคือลากเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นการไหลบนโค้งด้านขึ้น (rising limb) ไปยังจุดเปลี่ยนความลาดชันบนโค้งด้านลด
- วิธีการไหลพื้นฐานเปลี่ยนแปลง (concave) วิธีนี้จะตั้งสมมุติฐานว่าอัตราการไหลพื้นฐานลดลงในอัตราเดียวกับช่วงเวลาก่อนหน้าที่จะเกิดกราฟน้ำท่า ในขณะที่น้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มขึ้น อัตราการไหลพื้นฐานจะถึงจุดต่ำสุดในเวลาเดียวกับที่อัตราการไหลของน้ำไหลบ่าผิวดินสูงที่สุด จากนั้นจะเพิ่มขึ้นไปหาจุดที่ความชันของโค้งด้านลดเปลี่ยนเช่นเดียวกับวิธีการความชันคงที่ วิธีการคือ ต่อเส้นตรงที่มีความลาดชันเดียวกับ

ความลาดชันของการลดลงของการไหลพื้นฐานจากจุดเริ่มต้นของโค้งด้านขึ้นไปยังตำแหน่งใต้ตำแหน่งที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด จากนั้นลากเส้นตรงขึ้นไปหาจุดที่ความลาดชันของโค้งด้านลดเปลี่ยนแปลง (Linsley *et al.*, 1988; Brodie and Hostetler, 2009)



วิธีตัดการไหลพื้นฐาน

ภาพที่ 2 วิธีการแยกการไหลพื้นฐานจากน้ำไหลบ่าผิวดินในกราฟน้ำท่า

ที่มา : ดัดแปลงจาก McCuen (1998)

โดยที่กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่ได้จากวิธีการดังกล่าวที่เกิดจากพายุฝนแต่ละลูกย่อมมีความแตกต่างคลาดเคลื่อนกันออกไปเนื่องจากความเข้มของพายุฝนและการกระจายตัวของพายุฝนในธรรมชาติย่อมไม่เป็นไปตามสมมติฐานในอุดมคติของ Sherman ดังนั้นจึงต้องนำกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่ได้มาสร้างเป็นกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นตัวแทนการตอบสนองของกลุ่มน้ำนั้นๆ สำหรับใช้การต่อไป

วิธีการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ย

โดยหลักการแล้วมีวิธีการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ 1) การนำเอาข้อมูลน้ำท่าจากสถานีตรวจวัดทางอุทกวิทยามาจัดทำกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าและหาค่าเฉลี่ย ซึ่งอาจจะทำได้โดยวิธีพื้นฐานที่สุดคือการลากเส้นบนกระดาษกราฟ ไปจนถึงวิธีการที่ใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน และ 2) การสังเคราะห์พารามิเตอร์ที่ควบคุมรูปทรงของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากความสัมพันธ์ระหว่างกราฟน้ำท่ากับลักษณะของลุ่มน้ำ อาทิ รูปร่างของลุ่มน้ำ ความหนาแน่นของลำน้ำ (drainage density) ความลาดชันและความยาวของลำน้ำสายหลัก ฯลฯ

การสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์

วิธีการนี้มาจากสมมุติฐานที่ว่าเส้นโค้งของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์หลายรูปแบบจึงน่าจะใช้ชุดข้อมูลของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่สร้างมาได้มาทำการปรับเส้นโค้ง (fit curve) เพื่อให้ได้เส้นกราฟที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของชุดข้อมูล Johnson and Clement (n.d.) ระบุว่าสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของฝนส่วนเกิน $I(\tau)$ และ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า $u(0,t)$ และกราฟน้ำท่าได้ $q(t)$ ในรูปของสมการ

$$q(t) = \int_0^t i(\tau) \cdot u(0, t - \tau) d\tau$$

ทั้งนี้โดยมีสมมุติฐานว่าทั้งโค้งของกราฟน้ำท่าและกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสามารถแทนได้ด้วยสมการพหุนาม (Polynomial) ลำดับที่ n ดังนี้

$$q(t) = q_0 + q_1 t + q_2 t^2 + \dots + q_n t^n$$

$$u(0,t) = u_0 + u_1 t + u_2 t^2 + \dots + u_n t^n$$

ซึ่งลำดับที่ n ในที่นี้ขึ้นกับผลการคำนวณเพื่อให้ได้เส้นโค้งที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดซึ่งผู้วิจัยระบุว่าอาจเป็นลำดับที่ 8 หรือ 16 ก็ได้โดยขึ้นกับข้อมูลของกราฟน้ำท่าเอง นอกจากนี้ Parmentier *et al.* (2003) และ Seong (2017) ได้อ้างถึง de Laine (1970) ซึ่งใช้วิธีการของสมการพหุนามในการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากกราฟน้ำท่าโดยไม่ต้องใช้ข้อมูลน้ำฝนโดยระบุว่าความถูกต้องแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้ขึ้นกับคุณภาพของข้อมูลน้ำท่าเป็นสำคัญ

ในอีกทางหนึ่ง Bhunya *et al.* (2011) มีความเห็นว่ารูปร่างของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่ามีความคล้ายคลึงกับฟังก์ชันการกระจายตัวในทางสถิติ จึงได้มีความพยายามทดลองใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นหลายรูปแบบในการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ย อาทิ 2-parameter gamma distribution, 3-parameter beta distribution, 2-parameter Weibull distribution และ 1-parameter chi-square distribution ซึ่งจากการทดสอบสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยจากข้อมูลในประเทศอินเดียพบว่า ทั้ง 4 ฟังก์ชันสามารถจำลองรูปแบบของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าได้ดี โดยมีข้อจำกัดสำหรับฟังก์ชัน Gamma, Weibull และ Chi-square คือ ไม่สามารถกำหนดฐานเวลาที่แน่นอนได้ เนื่องจากฟังก์ชันทั้งสามจะคืนค่าฐานเวลาที่เข้าใกล้อนันต์เมื่ออัตราการไหลเข้าใกล้ 0 Ghorbani *et al.* (2017) ได้ทดสอบการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยด้วยการใช้ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น 6 ฟังก์ชันโดยวิธี non-linear optimization ฟังก์ชันที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมดได้แก่ 2 parameter gamma, 2 parameter Gumbel, 2 parameter log-normal, 2 parameter normal, 3 parameter Pearson และ 2 parameter Weibull และพบว่าฟังก์ชัน Gamma และ Pearson สามารถจำลองความลาดชันของโค้งด้านขึ้นและด้านลดได้ดีกว่าฟังก์ชันอื่น ในขณะที่ฟังก์ชัน log-normal ทำนายอัตราการไหลสูงสุดและระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดได้แม่นยำกว่า

การสังเคราะห์พารามิเตอร์ที่ควบคุมรูปทรงของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

แม้ในทางทฤษฎีแล้วกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยตรงจากปริมาณฝนส่วนเกินและปริมาณน้ำท่านั้น จะมีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานในกลุ่มน้ำอื่นๆ เนื่องจากจำเป็นจะต้องมั่นใจว่าลุ่มน้ำเป้าหมายที่จะนำไปใช้งานนั้นมีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกัน ซึ่งในข้อเท็จจริงแล้วไม่มี 2 ลุ่มน้ำใดที่มีสมบัติเหมือนกันทุกประการ ทำให้ยากแก่การตัดสินใจว่าควรจะยอมรับความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพได้ระดับใด แต่โดยที่หลักการของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสามารถใช้งานได้อย่างแม่นยำและเป็นที่ยอมรับกว้างขวางในภายหลังจึงมีผู้คิดค้นหาวิธีการสังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าขึ้นจากสมบัติทางกายภาพของลุ่มน้ำ อาทิ วิธีการของ Snyder และวิธีการของ Soil Conservation Service

1) วิธีการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของ Snyder

Ramirez (2000) ได้อธิบายถึงวิธีการของ Snyder (1938) ว่าเป็นการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างลักษณะทางกายภาพ 3 ข้อคือ ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ ความยาวของลำน้ำสายหลัก และระยะทางจากจุดปลายสุดของลุ่มน้ำ (outlet) ไปยังตำแหน่งบนลำน้ำสายหลักที่ใกล้กับจุดศูนย์กลาง (centroid) ของลุ่มน้ำมากที่สุด กับพารามิเตอร์ 3 ตัวที่ควบคุมรูปร่างของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าอันได้แก่ เวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด อัตราการไหลสูงสุด และฐานเวลา

สำหรับในประเทศไทย กรมชลประทานที่เป็นหน่วยงานหลักในเรื่องการบริหารจัดการน้ำของประเทศ ใช้วิธีการของ Snyder ในการสังเคราะห์พารามิเตอร์สำหรับสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าครอบคลุมลุ่มน้ำสำคัญต่างๆ ทั่วประเทศ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดกับอัตราส่วน LLc/S และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝน (Q_p/A) กับเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด ดังสมการต่อไปนี้

$$Tp = a (LLc/S)^b$$

$$Q_p/A = c (Tp)^d$$

โดย Tp : เวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด (ชั่วโมง)

Q_p : อัตราการไหลสูงสุด (ลูกบาศก์เมตร/วินาที/มิลลิเมตรของฝน)

A = พื้นที่รับน้ำฝน (ตารางกิโลเมตร)

L = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดใกล้สุดบนสันปันน้ำ (กิโลเมตร)

Lc = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดใกล้สุดบนลำน้ำที่ใกล้จุดศูนย์กลางของลุ่มน้ำมากที่สุด (กิโลเมตร)

S = ความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่ (เมตร : เมตร)

a, b, c, d เป็นค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย (regression) ซึ่งจะต้องคำนวณหาจากข้อมูลที่มีอยู่จริงในแต่ละลุ่มน้ำ (สงวนและคณะ, 2552)

Bhunya *et al.* (2011) วิจารณ์ว่า รูปแบบสมการที่ Snyder เสนอ เมื่อนำมาสร้างสัมประสิทธิ์ด้วย ข้อมูลจากลุ่มน้ำที่มีการตรวจวัดและนำไปทดสอบมักพบว่า จะได้ค่าอัตราการไหลในช่วงโค้งด้านขึ้นและอัตราการไหลสูงสุดต่ำกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย ในขณะที่มักจะให้ผลการคำนวณอัตราการไหลในช่วงโค้งด้านลดสูงกว่าความเป็นจริง ซึ่งส่งผลให้ฐานเวลายาวมากขึ้นด้วย จึงเหมาะแก่การนำไปใช้งานในลุ่มน้ำขนาดใหญ่มาก

อีกวิธีการที่คล้ายคลึงกับวิธีการของ Snyder คือวิธีการของ Taylor และ Schwarz (1952 cited in Devi and Das, 2016) ซึ่งเพิ่มตัวแปรความลาดชันของลำน้ำเข้ามาในรายการคำนวณด้วย และกำหนดรูปแบบสมการให้ค่าฐานเวลายาวเป็น 3 ถึง 5 เท่าของเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด อย่างไรก็ตามในประเด็นอื่นๆ วิธีการของ Taylor และ Schwarz มีจุดอ่อนเช่นเดียวกับวิธีการของ Snyder

2) วิธีการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของ Soil Conservation Service

วิธีการของ Soil Conservation Service (ปัจจุบันเปลี่ยนชื่อเป็น Natural Resource Conservation Service) ซึ่งเป็นหน่วยงานในสังกัดกระทรวงเกษตร สหรัฐอเมริกา ใช้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าไร้มิติ (dimensionless unit hydrograph : กราฟที่ไม่มีหน่วยในทั้ง 2 แกน) ที่สร้างจากลุ่มน้ำจำนวนมากซึ่งมีสมบัติแตกต่างกันเป็นฐานในการสังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า โดยมีพื้นฐานในการคำนวณดังนี้

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_l$$

โดย T_p คือระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด (ชั่วโมง) t_r คือความยาวของพายุฝน (ชั่วโมง) และ t_l คือระยะเวลาระหว่างจุดกึ่งกลางของพายุฝนจนถึงเวลาที่เกิดอัตราน้ำไหลบ่าสูงสุด (ชั่วโมง) ซึ่ง t_l สามารถคำนวณได้จากสมการ $t_l = 0.6t_c$ t_c คือ ระยะเวลาที่น้ำไหลจากจุดไกลสุดของลุ่มน้ำไปยังจุดปลายสุด มีหน่วยเป็นชั่วโมง และ t_c สามารถคำนวณได้จากสมการ $t_c = 0.0195L^{0.77}S^{-0.385}$ L คือความยาวของลำน้ำสายหลัก (เมตร) S คือความลาดชันเฉลี่ยของลุ่มน้ำ (เมตร/เมตร) (Devi and Das, 2016)

Bhunya *et al.* (2011) วิจารณ์ว่าวิธีการนี้มีแนวโน้มที่จะให้ผลการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดสูงกว่าความเป็นจริง ผลการคำนวณอัตราการไหลในช่วงโค้งด้านขึ้นต่ำกว่าความเป็นจริง และอัตราการไหลในช่วงโค้งด้านลดใกล้เคียงความเป็นจริง และโดยที่วิธีการนี้มีการกำหนดอัตราส่วนระหว่างฐานเวลาและระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดเป็นค่าคงที่ตามรูปทรงของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าไร้มิติ ดังนั้นเมื่อนำไปใช้ในลุ่มน้ำขนาดใหญ่กว่า 500 ตารางไมล์ จึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากพฤติกรรมการเก็บกักน้ำตามธรรมชาติในลุ่มน้ำ

การใช้ประโยชน์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

การใช้ประโยชน์จากกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่านั้นนอกจากจะเป็นพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่เป็นตัวแทนของการตอบสนองของกลุ่มน้ำต่อพายุฝนแล้ว ยังสามารถใช้เพื่อการคำนวณอัตราการเกิดน้ำท่วมสูงสุดและปริมาณน้ำท่วมที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยสามารถกำหนดขนาดของพายุฝนที่ต้องการจะใช้เพื่อสร้างภาพฉายของเหตุการณ์ (scenario) สำหรับกลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีตรวจวัดทางอุทกวิทยา สำหรับประเทศไทยในกลุ่มน้ำขนาดใหญ่ยังสามารถใช้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าร่วมกับข้อมูลเรดาร์ฝนของกรมอุทกวิทยาเพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าราย 15 นาที ซึ่งสามารถใช้เตือนภัยน้ำท่วมได้อีกทางหนึ่งด้วย (ส่วนบริหารจัดการน้ำ สำนักงานชลประทานที่ 5, 2560) Grimaldi *et al.* (2012) ใช้หลักการของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าร่วมกับลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำและแบบจำลองภูมิประเทศเชิงคณิต (digital elevation model) ที่ใช้คำนวณความเร็วของน้ำไหลบ่าที่ไหลบนลาดเขาและความเร็วของน้ำท่าไหลในลำน้ำ เพื่อพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็กในสหรัฐอเมริกา

ในส่วนของการพัฒนาที่ดินเองไม่เคยมีการใช้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าในการออกแบบมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำมาก่อน ซึ่งโดยที่พื้นที่ศึกษามีขนาดใกล้เคียงกับพื้นที่ทำการจัดระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้อ้างอิงในการปรับปรุงแบบมาตรฐานของโครงสร้างเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำได้หลายประเภท เป็นต้นว่า อาคารชะลอความเร็วของน้ำ ทางระบายน้ำของบ่อดักตะกอน หรือท่อลอดของเส้นทางลำเลียงในไร่นา

ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธีการนำข้อมูลน้ำท่าจากสถานีวัดน้ำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า แล้วนำกราฟที่ได้ทั้งหมดมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ย ด้วยการปรับแก้สัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามให้ได้เส้นโค้งที่สอดคล้องกับข้อมูลมากที่สุด เนื่องจากกลุ่มน้ำศึกษามีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับกลุ่มน้ำอื่นๆ ที่เคยมีผู้ศึกษามาก่อน ประกอบกับข้อมูลที่มีจำกัดเนื่องจากระยะเวลาการศึกษาเป็นข้อจำกัดต่อวิธีการสังเคราะห์พารามิเตอร์ที่ควบคุมรูปทรง ซึ่งอาจจะต้องมีการพัฒนารูปสมการขึ้นใหม่เป็นการเฉพาะสำหรับลุ่มน้ำที่มีขนาดเล็กมากเช่นนี้

อุปกรณ์การศึกษา

1. อาคารวัดน้ำแบบ Parshall flume
2. เครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติ
3. เครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติ
4. อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data logger)

ระยะเวลาดำเนินการ

มีนาคม 2558 – สิงหาคม 2560

สถานที่ดำเนินการ

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงห้วยแล้ง หมู่ 2 ตำบลท่าข้าม อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย

ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

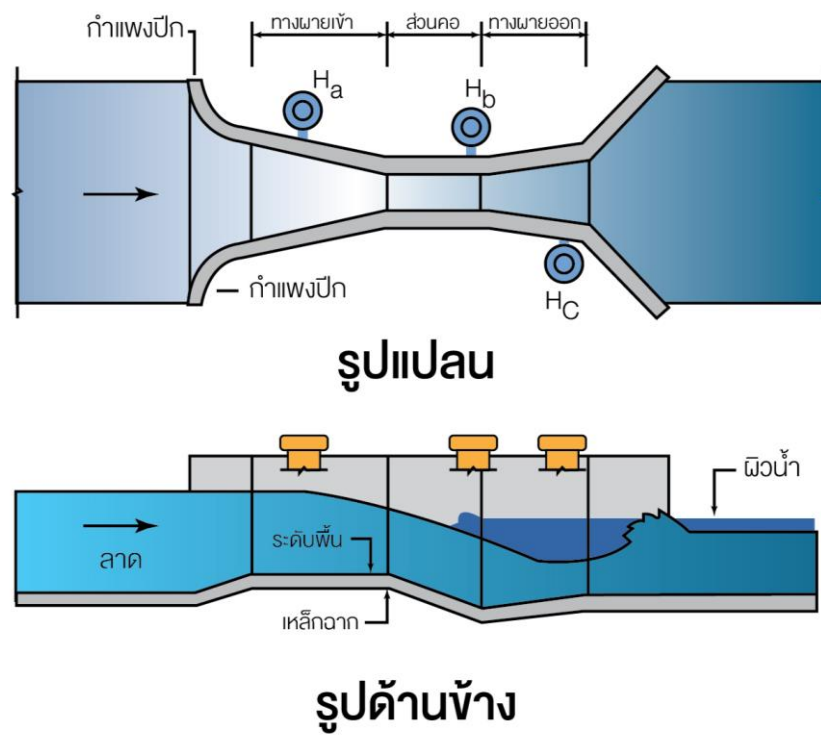
1. คัดเลือกกลุ่มน้ำขนาดเล็กที่มีรูปแบบการใช้ที่ดินตามที่ต้องการศึกษาในที่นี้กลุ่มน้ำที่ 1 มีการใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นการปลูกยางพาราที่เติบโตเต็มที่จนทรงพุ่มเบียดชิดกันแล้ว และกลุ่มน้ำที่ 2 มีการใช้ที่ดินส่วนใหญ่เป็นการปลูกพืชไร่ แซมด้วยยางพาราอายุ 1 - 2 ปี
2. ทำการติดตั้งสถานีตรวจวัดทางอุตุณิยวิทยาอัตโนมัติ โดยสถานที่ตั้งสถานีอยู่ระหว่างพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งสองแต่ไม่อยู่ในขอบเขตของกลุ่มน้ำใด



ภาพที่ 3 สถานีอุตุนิยมวิทยาอัตโนมัติ

สถานีอุตุนิยมวิทยาในภาพที่ 3 สามารถวัดอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด ความเร็วลมและทิศทางหลักของกระแสลม พลังงานแสงอาทิตย์ ความชื้นของพายุฝน บันทึกข้อมูลเป็นรายชั่วโมงและรายวัน ยกเว้นความชื้นของพายุฝนที่บันทึกข้อมูลทุกครั้งที่ฝนตกครบ 2 มิลลิเมตร

3. ก่อสร้างอาคารวัดระดับน้ำแบบ Parshall Flume ที่จุดปลายสุดของพื้นที่ลุ่มน้ำศึกษาจากนั้นติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำอัตโนมัติ และเริ่มบันทึกข้อมูลระดับน้ำ



ภาพที่ 4 แปลนและรูปด้านข้างของอาคารวัดน้ำแบบ Parshall flume
ที่มา : ดัดแปลงจากปราโมทย์ (2554)



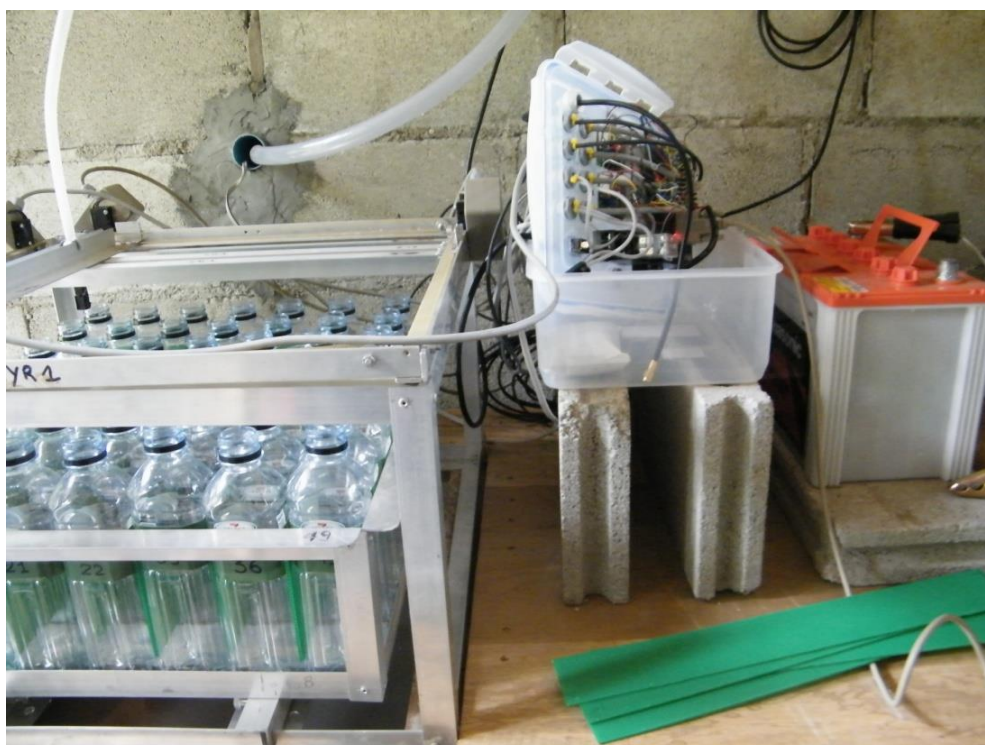
ภาพที่ 5 ภาพถ่ายอาคารวัดระดับน้ำแบบ Parshall flume ในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 6 staff gauge สำหรับสอบทานระดับน้ำและบ่อน้ำนิ่ง (stilling well) สำหรับติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติ



ภาพที่ 7 ชุดเครื่องมือวัดระดับน้ำอัตโนมัติในบ่อน้ำนิ่งอันประกอบด้วยลูกลอย (สีเหลือง) และ sensor วัดระดับน้ำซึ่งบรรจุอยู่ในกล่องโลหะสีเขียว



ภาพที่ 8 ชุดบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (data logger) และชุดควบคุมการเก็บตัวอย่างน้ำอัตโนมัติ

จากภาพที่ 6, 7 และ 8 เมื่อมีน้ำไหลผ่าน Parshall flume น้ำส่วนหนึ่งจะไหลผ่านท่อนำน้ำ (inlet pipe) เข้าไปยังบ่อน้ำนิ่ง ทำให้ระดับน้ำในบ่อน้ำนิ่งเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่าๆ กับระดับน้ำที่กำลังไหลอยู่ ลูกลอยในบ่อน้ำนิ่งจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามการเปลี่ยนแปลงระดับผิวน้ำ การเคลื่อนที่นี้จะกระตุ้นการทำงานของ sensor วัดระดับน้ำให้ส่งสัญญาณไปยังชุดเครื่องมือบันทึกข้อมูลในภาพที่ 8 ซึ่งจะบันทึกข้อมูลวันที่ เวลาและระดับน้ำทุก 3 นาทีเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ มีการสอบทานข้อมูลระดับน้ำเทียบกับ staff gauge ปีละ 1 ครั้ง ตลอดระยะเวลาการวิจัย ข้อมูลนี้นำมาสร้างกราฟน้ำท่าจากการพลอตระดับน้ำที่บันทึกได้เทียบกับเวลา

4. จัดให้มีการสำรวจดินและสภาพการใช้ที่ดินอย่างละเอียด

5. ติดตามตรวจวัดปริมาณน้ำฝน ความเข้มของพายุฝนและการขึ้นลงของระดับน้ำ

6. ทำการคัดกรองข้อมูลกราฟน้ำท่าที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการนำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า กล่าวคือเกิดจากพายุฝนเพียงลูกเดียว ซึ่งจะให้กราฟน้ำท่าที่มีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมฐานโค้ง

7. นำกราฟน้ำท่าที่คัดกรองได้มาทำการตัดการไหลพื้นฐานออกเพื่อให้ได้ ordinate บนกราฟน้ำท่าที่เป็นน้ำไหลบ่าผิวดินเท่านั้น ในที่นี้การตัดการไหลพื้นฐานใช้วิธีการไหลพื้นฐานเปลี่ยนแปลงโดยมีสมมุติฐานว่าระยะเวลาการเกิดน้ำไหลบ่าสูงสุดมีช่วงสั้นมาก แสดงถึงอิทธิพลของสภาพพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง น้ำไหลบ่าผิวดินไหลด้วยความเร็วสูงมาถึงจุดปลายสุดของกลุ่มน้ำโดยรวมเร็ว และการไหลพื้นฐานไม่ควรจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ทันในช่วงนี้ แต่จะเกิดขึ้นภายหลังจากที่เกิดอัตราการไหลสูงสุดไปแล้ว ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบของวิธีการนี้มากกว่าวิธีการอื่น

วิธีการตัดการไหลพื้นฐานทำโดยการคำนวณความลาดชันของการไหลพื้นฐานก่อนหน้าที่จะระดับน้ำจะเปลี่ยนแปลงและต่อเส้นการไหลพื้นฐานจากจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำมาจนถึงตำแหน่งได้จุดที่เกิดอัตราการไหลสูงสุดเป็นเส้นตรงที่ 1 ที่ลาดลง จากนั้นหาจุดเปลี่ยนความลาดชันบนโค้งด้านลดโดยการพลอตความลาดชันระหว่าง ordinate แต่ละคู่เปรียบเทียบกับกัน ซึ่งจะให้เห็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงชัดเจน ถือเป็นจุดที่การไหลของน้ำไหลบ่าผิวดินสิ้นสุดลง ต่อเส้นจากจุดที่การพื้นฐานต่ำสุดได้จุดที่มีอัตราการไหลสูงสุดขึ้นไปหาจุดที่น้ำไหลบ่าผิวดินสิ้นสุดเป็นเส้นตรงที่ 2 ที่ลาดขึ้น จากนั้นทำการคำนวณความลาดชันของเส้นตรงทั้งสองเส้น เมื่อได้ความลาดชันด้านลาดลงและลาดขึ้นของการไหลพื้นฐานแล้วจึงคำนวณ ordinate บนเส้นตรงทั้งสองเพื่อนำไปลบออกจาก ordinate ของกราฟน้ำท่า ในการทำงานได้ทำการคำนวณความลาดชันของเส้นสร้าง ordinate บนเส้นลาดการไหลพื้นฐานและบวกกลับ ordinate บน spreadsheet แทนการลากเส้นและวัดระยะบนแผ่นกราฟ

Ordinate ที่เกิดจากผลต่างข้างต้นนี้คือระดับน้ำที่ไหลผ่านอาคารวัดน้ำในส่วนที่เป็นน้ำไหลบ่าผิวดินเท่านั้น ซึ่งสามารถคำนวณอัตราการไหลได้จากสมการการไหลผ่าน Parshall flume

$$Q = ch^n$$

โดย Q : อัตราการไหลมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/วินาที

h : ระดับน้ำเหนือพื้น Parshall flume มีหน่วยเป็นเมตร

C คือสัมประสิทธิ์การไหล และ n คือตัวแปรยกกำลัง พารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวมีค่าเฉพาะสำหรับ Parshall flume ขนาดต่างๆ ในที่นี้ flume มีความกว้างที่ตำแหน่งปาก (inlet) 90 เซนติเมตร เท่ากันทั้งสองอาคาร C มีค่าเท่ากับ 2.184 และ n มีค่าเท่ากับ 1.566 (ปราโมท, 2554)

8. จากผลลัพธ์ในข้อ 7 ทำการคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมดหรือพื้นที่ใต้กราฟซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sum(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \cdot t)$ เมื่อ y คืออัตราการไหลที่เวลา t มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ t คือ ช่วงห่าง (time step) ของการบันทึกข้อมูลซึ่งในที่นี้เท่ากับ 180 วินาที ผลลัพธ์ที่ได้คือปริมาตรฝนส่วนเกินที่ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าจากนั้นทำการคำนวณเพื่อเปลี่ยนปริมาตรน้ำเป็นความลึกของน้ำเหนือพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมดด้วยการหารด้วยพื้นที่ลุ่มน้ำ ผลลัพธ์ที่ได้เหลือเพียงมิติของความลึกซึ่งมีหน่วยเป็นเมตรจากนั้นทอนให้มาอยู่ในหน่วยเซนติเมตร

9. นำค่าความลึกของฝนส่วนเกินไปหารอัตราการไหลที่ ordinate ต่างๆบนกราฟน้ำท่าตามข้อ 7 เพื่อให้ได้ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าซึ่งจะมีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/1 เซนติเมตร

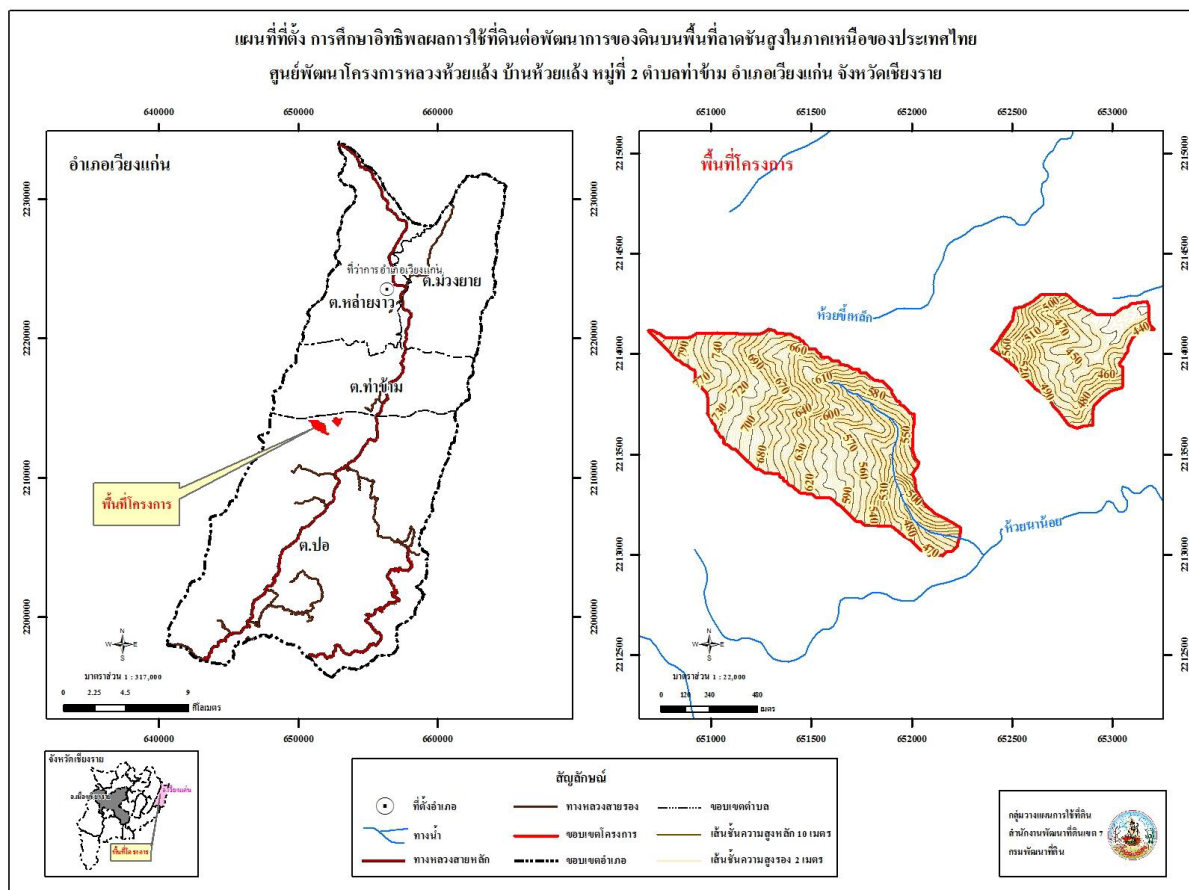
10. ด้วยเหตุที่ข้อมูลมีเพียงจำกัดและลุ่มน้ำทั้งสองมีลักษณะทางกายภาพและการใช้ที่ดินไม่เหมือนกัน การสอบทานความถูกต้องของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยจึงต้องทำกับชุดข้อมูลในลุ่มน้ำเอง ในการนี้ได้สุ่มดึงเอากราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าออกร้อยละ 30 เพื่อใช้ในการทดสอบกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยและใช้ข้อมูลอีกร้อยละ 70 ที่เหลือในการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ย วิธีการสุ่มดึงข้อมูลออกใช้วิธี simple random sampling โดยการกำหนดหมายเลขประจำให้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแต่ละเส้น แล้วสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างเลขสุ่ม ซึ่งผลลัพธ์ตรงกับหมายเลขข้อมูลชุดใด ข้อมูลชุดนั้นจะถูกดึงออกจนได้จำนวนข้อมูลร้อยละ 30

11. นำกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่มีฐานเวลาใกล้เคียงกันมาสร้างกราฟที่เป็นค่าเฉลี่ยด้วยการปรับแก้สัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามลำดับที่ 8 และ 16 การคำนวณเพื่อปรับแก้สัมประสิทธิ์ใช้ฟังก์ชัน LINEST ในโปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel 2007 ซึ่งใช้หลักการ least square adjustment

12. นำกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ย ที่สร้างได้ไปทดลองการสร้างกราฟน้ำท่าเทียบกับกราฟน้ำท่าที่ใช้ในการสร้างค่าเฉลี่ยและกราฟน้ำท่าที่สุ่มออกเพื่อการทดสอบตามข้อ 10 วิธีการสร้างกราฟน้ำท่าใช้วิธีการคูณ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยที่สร้างขึ้นด้วยฝนส่วนเกินตามที่ สงวนและคณะ (2552) เสนอ จากนั้นทดสอบการเข้ากันได้ระหว่างกราฟน้ำท่าที่สร้างขึ้นใหม่และกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดด้วยวิธี Root Mean Square Error

ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำศึกษาทั้งสองแห่งตั้งอยู่ที่บ้านห้วยแล้ง หมู่ 2 ตำบลท่าข้าม อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย โดยมีที่ตั้งเชิงแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงที่ตั้งโดยสังเขปของลุ่มน้ำศึกษา

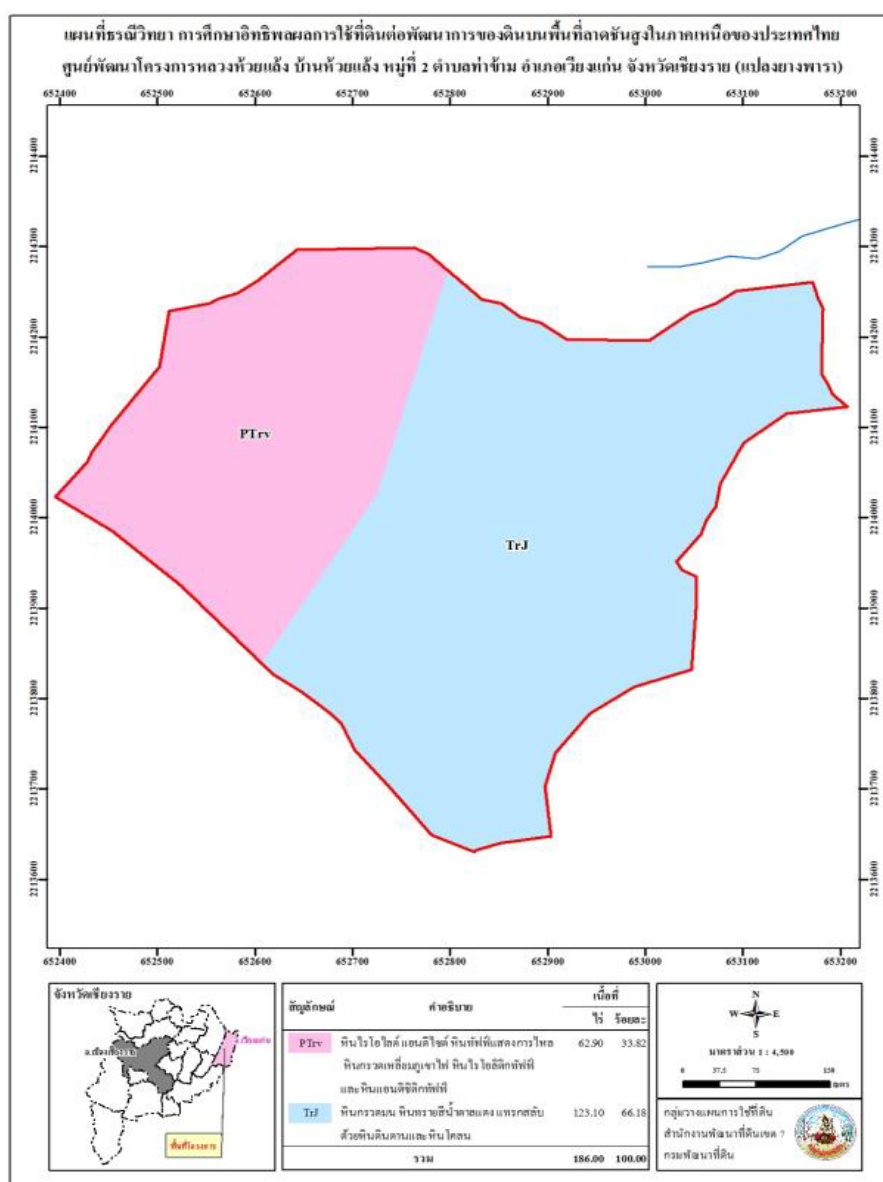
ที่มา : กัณตภณ และคณะ (2558)

ลุ่มน้ำที่ 1 มีพื้นฐานเป็นรูปพัด มีเนื้อที่ 186 ไร่ ตั้งอยู่ระหว่าง พิกัด UTM 2214035 N ถึง พิกัด UTM 2214130 N และระหว่าง พิกัด UTM 653203 E ถึง พิกัด UTM 653297 E มีการใช้ที่ดินส่วนใหญ่เพื่อการปลูกยางพาราในเวลาที่เริ่มทำการศึกษายางพาราส่วนมากมีอายุมากกว่า 7 ปี ขึ้นไป มีการทำคันคูรับน้ำ ขอบเขตตามคำแนะนำการปลูกยางพาราบนพื้นที่ลาดชันของกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง ในการศึกษาได้ให้ชื่อรหัสลุ่มน้ำว่า RTC ซึ่งย่อมาจาก Rubber Tree Catchment

จากการศึกษาแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดเชียงรายมาตราส่วน 1 : 250000 พบหินในสองยุคด้วยกันคือ

1) ยุค เพอร์เมียน – ไทรแอสซิก (Permian - Triassic Period) มีอายุประมาณ 265 - 240 ปีผ่านมาแล้ว หินที่พบประกอบด้วยหินไรโอไลต์ แอนดีไซต์ หินทัฟฟ์แสดงการไหล หินกรวดเหลี่ยมภูเขาไฟ หินไรโอลิติกทัฟฟ์ และหินแอนดีซิดิกทัฟฟ์ครอบคลุมพื้นที่ 62.9 ไร่

2) ยุคไทรแอสซิก – จูแรสซิก (Triassic - Jurassic Period) มีอายุประมาณ 220 - 180 ล้านปีผ่านมาแล้ว หินที่พบประกอบด้วยหินกรวดมน หินทรายสีน้ำตาลแดง แทรกสลับด้วยหินดินดานโคลน ครอบคลุมพื้นที่ 123.1 ไร่



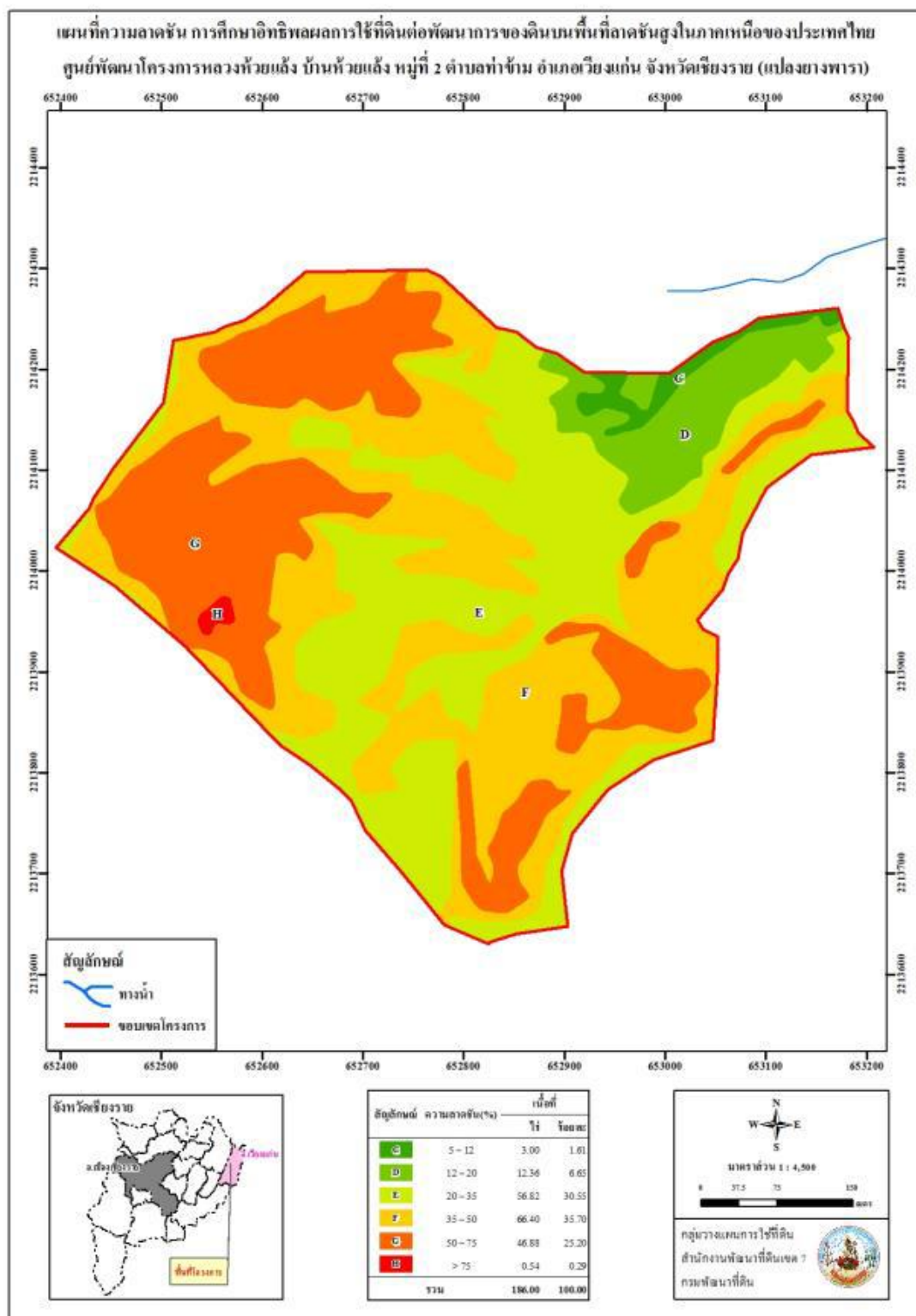
ภาพที่ 10 แผนที่ธรณีวิทยาหมู่บ้าน RTC

ที่มา : กัณตภณ และคณะ (2558)

ในกลุ่มน้ำนี้มีภูมิประเทศมากกว่าร้อยละ 90 เป็นลูกคลื่นลอนชันหรือภูเขาสูงชัน โดยมีความลาดเอียงไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 1 แสดงการจำแนกความลาดชันของกลุ่มน้ำ RTC

ลักษณะภูมิประเทศ	ความลาดชัน (เปอร์เซ็นต์)	พื้นที่	
		ไร่	ร้อยละ
ลูกคลื่นลอนลาด	5-12	3.0	1.61
ลูกคลื่นลอนชัน	12-20	12.36	6.65
เนินเขา	20-35	56.82	30.55
สูงชัน	35-50	66.40	35.70
สูงชันมาก	50-75	46.88	25.20
สูงชันมากที่สุด	>75	0.54	0.29
รวม		186.00	100.00

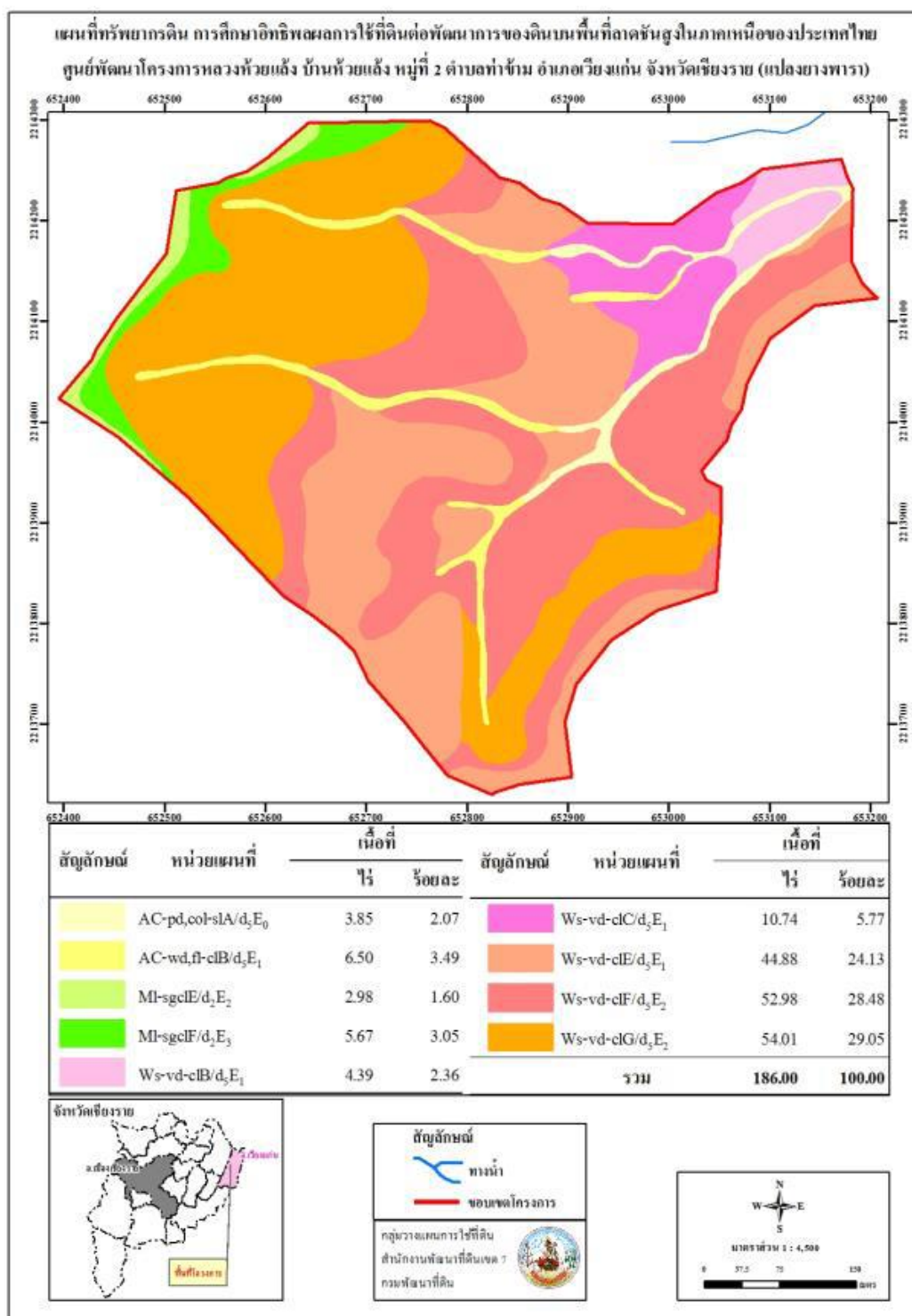


ภาพที่ 11 แผนที่ความลาดชันลุ่มน้ำ RTC

ที่มา : กัณตภณ และคณะ (2558)

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติดินที่พบในกลุ่มน้ำ RTC

หน่วยแผนที่	คำอธิบาย	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
AC-pd,col-sIA/d5E0	ดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนที่มีการระบายน้ำเลวและ ร่วนหยาบมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทรายความลาด ชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ลึกลงไปไม่มีการกร่อน	3.85	2.07
AC-wd,fl-clB/d5E1	ดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนที่มีการระบายน้ำดีและร่วน ละเอียดมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวความ ลาดชัน 2-5 เปอร์เซ็นต์ลึกลงไปกร่อนเล็กน้อย	6.50	3.49
ML-sgclE/d2E2	ชุดดินมวกเหล็กมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดิน เหนียวปนกรวดเล็กน้อยความลาดชัน 20-35 เปอร์เซ็นต์ตื้นกร่อนปานกลาง	2.98	1.60
ML-sgclF/d2E3	ชุดดินมวกเหล็กมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดิน เหนียวปนกรวดเล็กน้อยความลาดชัน 35-50 เปอร์เซ็นต์ตื้นกร่อนรุนแรง	5.67	3.05
Ws-vd-clB/d5E1	ดินวังสะพุงมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ความลาดชัน 2-5 เปอร์เซ็นต์ลึกลงไปกร่อนเล็กน้อย	4.39	2.36
Ws-vd-clC/d5E1	ดินวังสะพุงมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ความลาดชัน 5-12 เปอร์เซ็นต์ลึกลงไปกร่อนเล็กน้อย	10.74	5.77
Ws-vd-clE/d5E1	ดินวังสะพุงมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ความลาดชัน 20-35 เปอร์เซ็นต์ลึกลงไปกร่อน เล็กน้อย	44.88	24.13
Ws-vd-clF/d5E2	ดินวังสะพุงมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ความลาดชัน 35-50 เปอร์เซ็นต์ลึกลงไปกร่อนปาน กลาง	52.98	28.48
Ws-vd-clG/d5E2	ดินวังสะพุงมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ความลาดชัน 50-75 เปอร์เซ็นต์ลึกลงไปกร่อนปาน กลาง	54.01	29.05
รวม		186	100



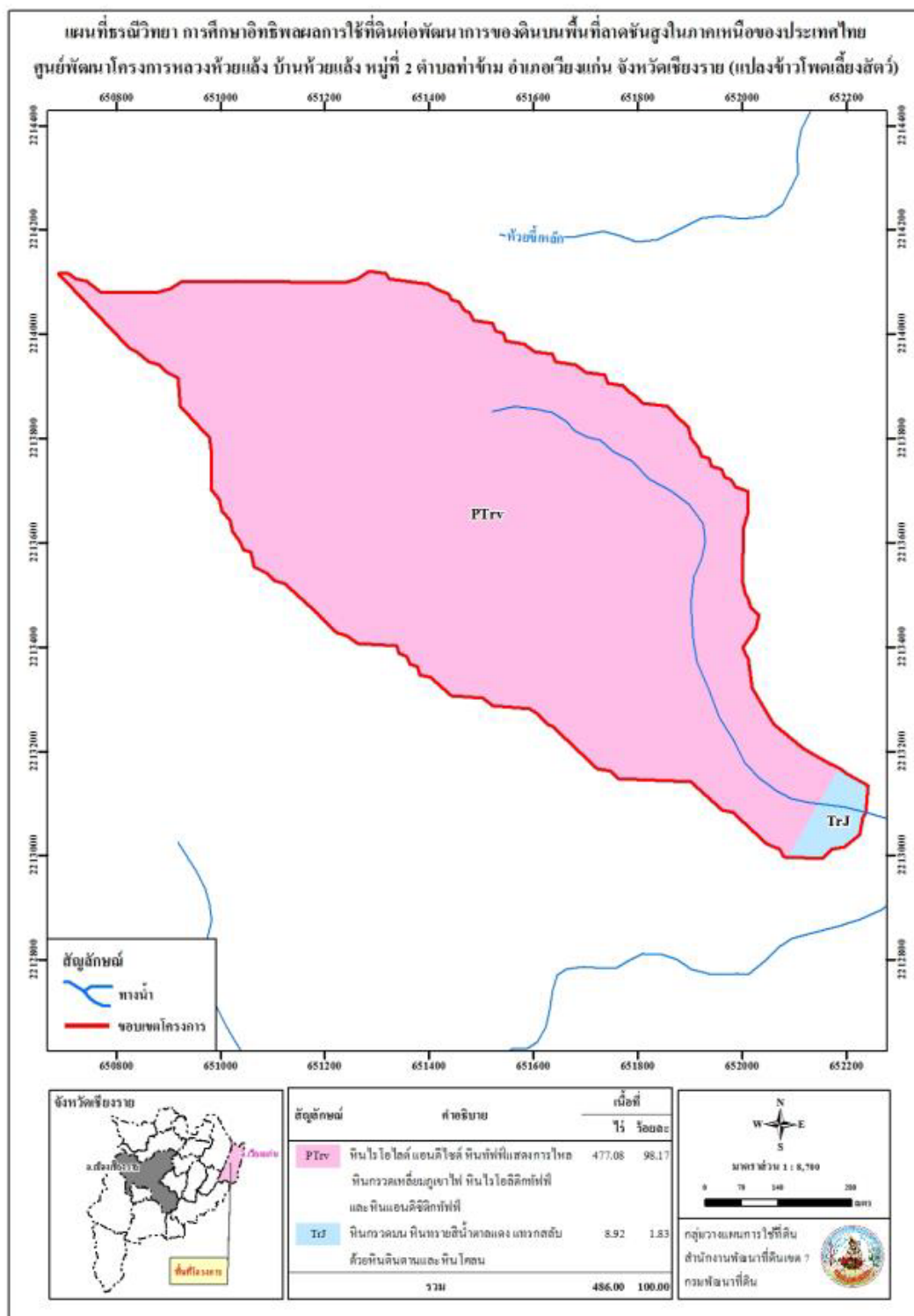
ภาพที่ 12 แผนที่ดิน ลุ่มน้ำ RTC
ที่มา : กัณตภณ และคณะ (2558)

ดินที่พบในพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในอันดับ Alfisols โดยพบชุดดินวังสะพุง 167.00 ไร่และดินชุดมวกเหล็ก 8.65 ไร่ ที่เหลือเป็นดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนที่จัดอยู่ในอันดับ Entisols

การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่เป็นเพื่อการปลูกยางพารา โดยมีพื้นที่ปลูกยางพาราอายุมากกว่า 7 ปี ขึ้นไปเป็นพืชเชิงเดี่ยว 112.12 ไร่ ยางพาราอายุ 1 - 2 ปี แซมด้วยพืชไร่ฤดูเดียว เช่น ข้าวไร่และข้าวโพด 21.02 ไร่ ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเชิงเดี่ยว 18.09 ไร่ ปลูกข้าวไร่เป็นพืชเชิงเดี่ยว 11.88 ไร่ ส่วนที่เหลือเป็นพื้นที่ปลูกไม้ผล ไม้ยืนต้นและไร่ร้าง

ลุ่มน้ำที่ 2 มีลักษณะเป็นรูปใบไม้ มีพื้นที่ 486 ไร่ พื้นที่มีการใช้ที่ดินส่วนใหญ่เพื่อการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และข้าวไร่ในการศึกษาได้ให้ชื่อรหัสลุ่มน้ำนี้ว่า ACC ซึ่งย่อมาจาก Annual Cash-crop Catchment

ลักษณะทางธรณีวิทยาพบชั้นหินในสองยุคเช่นเดียวกับลุ่มน้ำ RTC โดยชั้นหินยุคเพอร์เมียน - ไทรแอสซิก ครอบคลุมพื้นที่ 477.08 ไร่ ในขณะที่ชั้นหินยุคไทรแอสซิก - จูแรสซิก ครอบคลุมพื้นที่เพียง 8.92 ไร่ ตรงบริเวณตำแหน่งใกล้ Outlet ของลุ่มน้ำ



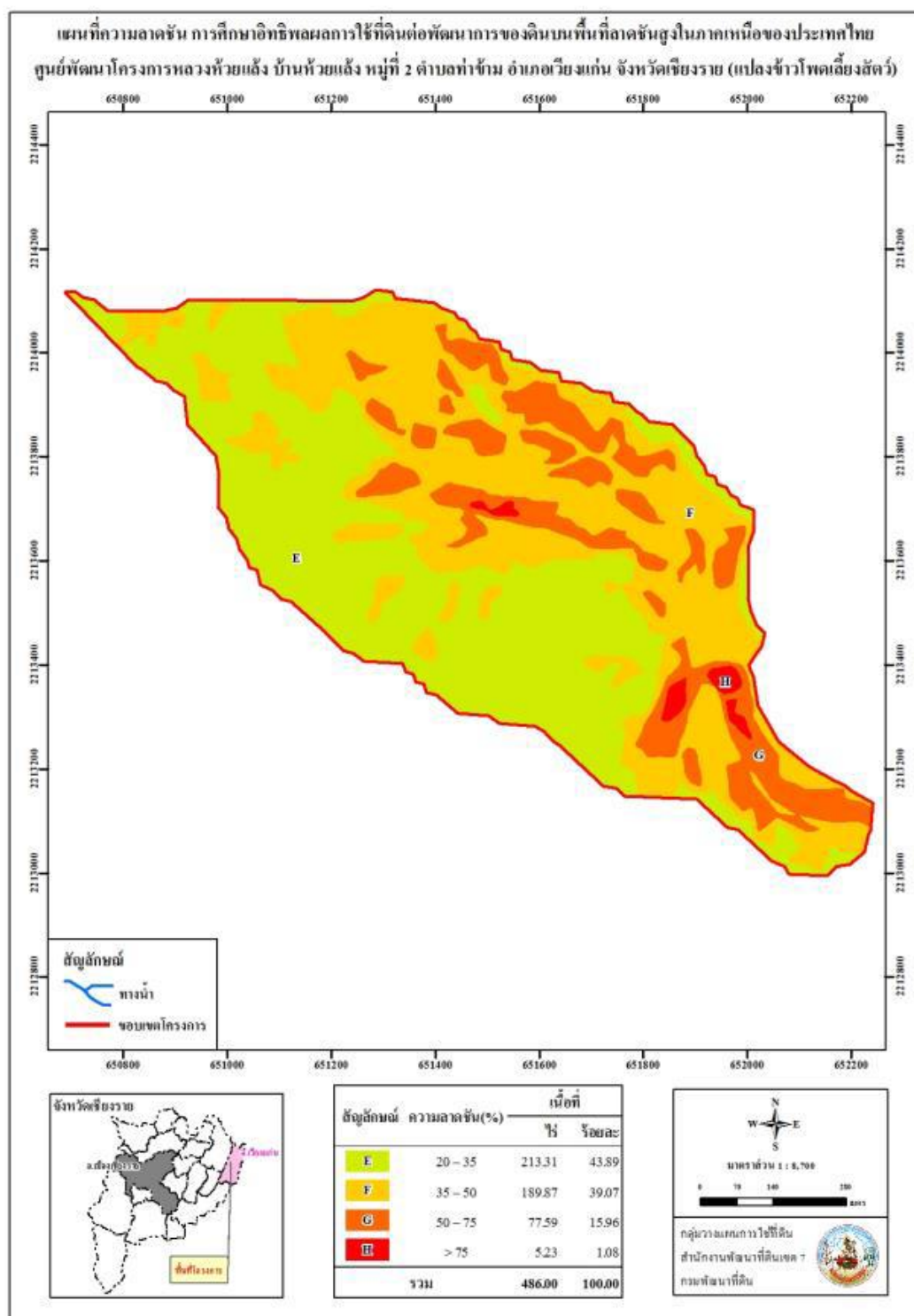
ภาพที่ 13 แผนที่ธรณีวิทยาลุ่มน้ำ ACC

ที่มา : กัณตภณ และคณะ (2558)

ในภาพรวมของภูมิประเทศ กลุ่มน้ำนี้ลาดเอียงไปยังทิศตะวันออกเฉียงใต้ ชั้นความลาดชันส่วนใหญ่เป็นเนินเขา รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการจำแนกความลาดชันของกลุ่มน้ำ ACC

ลักษณะภูมิประเทศ	ความลาดชัน (เปอร์เซ็นต์)	พื้นที่	
		ไร่	ร้อยละ
ลูกคลื่นลอนลาด	5-12	-	-
ลูกคลื่นลอนชัน	12-20	-	-
เนินเขา	20-35	213.31	43.89
สูงชัน	35-50	189.87	39.07
สูงชันมาก	50-75	77.59	15.96
สูงชันมากที่สุด	>75	5.23	1.09
รวม		486.00	100.00

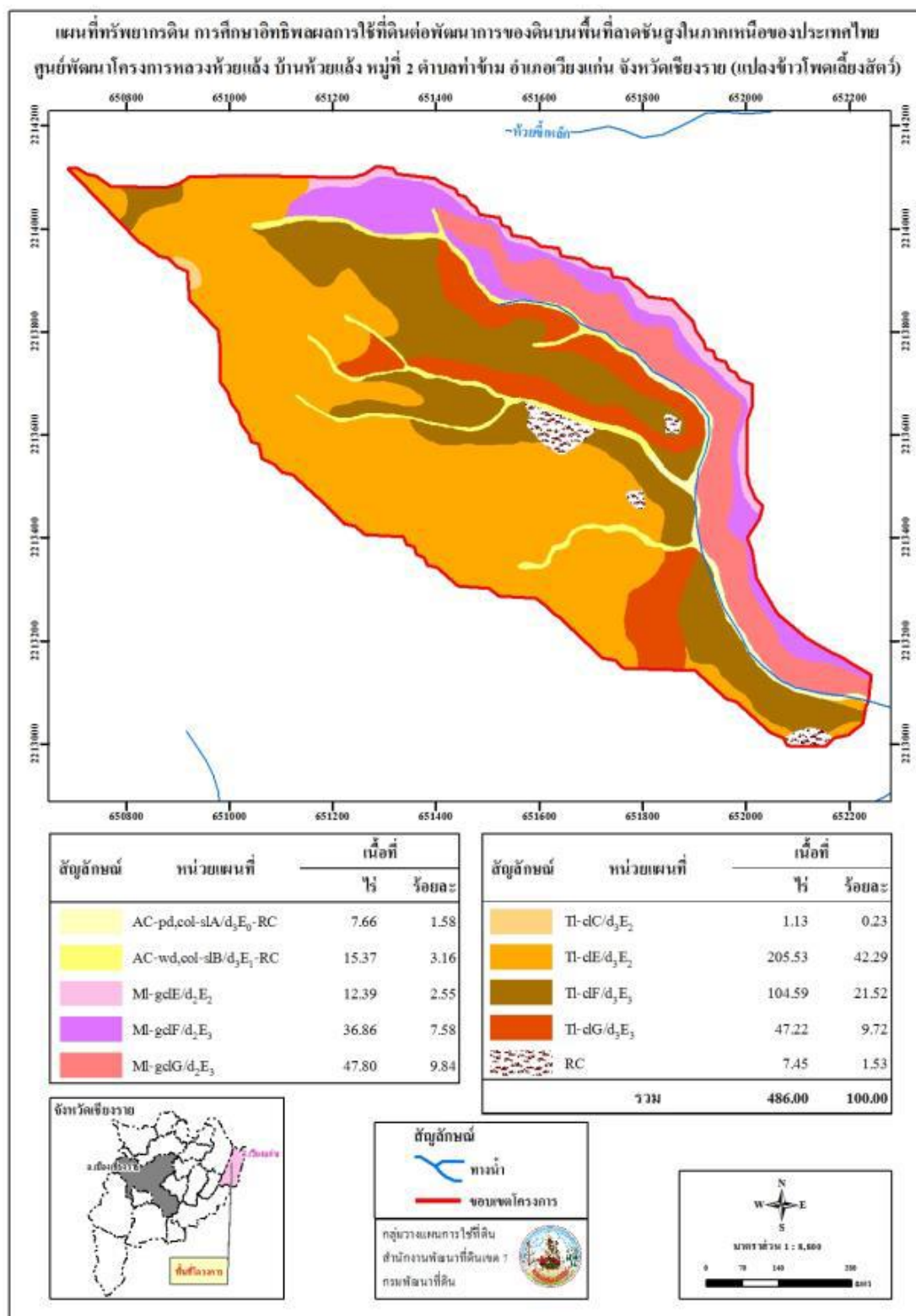


ภาพที่ 14 แผนที่ความลาดชันลุ่มน้ำ ACC
ที่มา : กัณตภณ และคณะ (2558)

ในกลุ่มน้ำ ACC พบดิน 10 หน่วยแผนที่ แบ่งได้ 4 กลุ่ม ได้แก่ ดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนกับดินหินพื้น
โผล่ ดินชุดมวกเหล็ก ดินชุดท่าลี่ รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงสมบัติดินที่พบในกลุ่มน้ำ ACC

หน่วยแผนที่	คำอธิบาย	เนื้อที่	
		ไร่	ร้อยละ
AC-pd,col-slA/d3E0-RC	ดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนที่มีการระบายน้ำเลวและร่วน หยาบมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทรายความลาดชัน 0-2 เปอร์เซ็นต์ลิกปานกลางไม่มีการกร่อน – ดินที่เต็มไปด้วย ก้อนหิน	7.66	1.58
AC-wd,col-slB/d3E1-RC	ดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนที่มีการระบายน้ำดีและร่วน ละเอียดมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวความลาด ชัน 2-5 เปอร์เซ็นต์ลิกปานกลางกร่อนเล็กน้อย – ดินที่ เต็มไปด้วยก้อนหิน	15.37	3.16
ML-gclE/d2E2	ชุดดินมวกเหล็กมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวปน กรวดความลาดชัน 20-35 เปอร์เซ็นต์ต้นกร่อนปานกลาง	12.39	2.55
ML-gclF/d2E3	ชุดดินมวกเหล็กมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวปน กรวดความลาดชัน 20-35 เปอร์เซ็นต์ต้นกร่อนรุนแรง	38.86	7.58
ML-gclG/d2E3	ชุดดินมวกเหล็กมีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวปน กรวดความลาดชัน 20-35 เปอร์เซ็นต์ต้นกร่อนรุนแรง	47.80	9.84
TL-clC/d3E2	ชุดดินท่าลี่มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวความ ลาดชัน 5-12 เปอร์เซ็นต์ลิกปานกลางกร่อนปานกลาง	1.13	0.23
TL-clE/d3E2	ชุดดินท่าลี่มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวความ ลาดชัน 20-35 เปอร์เซ็นต์ลิกปานกลางกร่อนปานกลาง	205.53	42.29
TL-clF/d3E3	ชุดดินท่าลี่มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวความ ลาดชัน 35-50 เปอร์เซ็นต์ลิกปานกลางกร่อนรุนแรง	104.59	21.52
TL-clG/d3E3	ดินท่าลี่มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียวความลาด ชัน 50-75 เปอร์เซ็นต์ลิกปานกลางกร่อนรุนแรง	47.22	9.72
RC	ที่ดินหินโผล่	7.45	1.53
รวม		486.00	100.00



ภาพที่ 15 แผนที่ดินลุ่มน้ำ ACC
ที่มา : กัณตภณ และคณะ (2558)

สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีการปลูกข้าวโพด 282.68 ไร่ ข้าวไร่ 83.77 ไร่ ยางพารา 11.85 ไร่ ป่าผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู 28.71 ไร่ ที่เหลือเป็นไม้ผล ไม้ยืนต้นอื่นๆ และไร่ร้าง (กัณตภณ และคณะ, 2558)

ความยาวของลำน้ำสายหลักในกลุ่มน้ำ RTC เท่ากับ 0.829 กิโลเมตร ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายนี้เท่ากับ 0.144 เมตร : เมตร ความยาวของลำน้ำสายหลักในกลุ่มน้ำ ACC เท่ากับ 1.817 กิโลเมตร และมีความลาดชันเฉลี่ย 0.166 เมตร : เมตร

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ปริมาณน้ำฝนรายเดือน

การติดตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยาอัตโนมัติแล้วเสร็จและเริ่มทำการบันทึกข้อมูลได้ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 จากสถิติข้อมูลเท่าที่มีพบว่า ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,574 ม.ม. /ปี มีฝนตกกระจายทุกเดือนปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุดในเดือนสิงหาคม วัดได้ 350 ม.ม. และต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งในรอบที่ทำการวัดมีฝนตกเพียงวันเดียววัดได้ 6 ม.ม.

ตารางที่ 5 สถิติข้อมูลน้ำฝนรายเดือนในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา (มิลลิเมตร)

ปี/เดือน	2558	2559	2560	เฉลี่ย
ม.ค.		66	79	72
ก.พ.		6	0	3
มี.ค.	34	1	19	18
เม.ย.	194	32	91	105
พ.ค.	111	171	279	187
มิ.ย.	48	216	217	160
ก.ค.	198	221	446	288
ส.ค.	277	413	358	350
ก.ย.	191	70	184	148
ต.ค.	147	172	125	148
พ.ย.	40	137	17	65
ธ.ค.	33	1	52	29
รวมรายปี	1274	1506	1866	1574

ในการคัดเลือกกลุ่มน้ำและตำแหน่งที่ตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยา คณะผู้วิจัยอันประกอบด้วยนักวิชาการจากสถาบัน IRD ประเทศฝรั่งเศส และกรมพัฒนาที่ดิน มีความเห็นพ้องกันว่า แม้พายุฝนในเขตพื้นที่มรสุมเช่นประเทศไทยจะมีลักษณะการกระจายครอบคลุมพื้นที่ไม่สม่ำเสมอ แต่ด้วยเหตุที่ลุ่มน้ำศึกษามีขนาดเล็ก และจุดศูนย์กลางของกลุ่มน้ำอยู่ห่างกันเพียงประมาณ 1.2 กิโลเมตร พายุฝนที่มีขนาดใหญ่พอจะทำให้เกิดกราฟน้ำท่าอย่างชัดเจนควรจะมีการกระจายครอบคลุมพื้นที่ทั้งสองลุ่มน้ำอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้สามารถเปรียบเทียบการตอบสนองของกลุ่มน้ำต่อพายุฝนลูกหนึ่งๆ ได้โดยง่าย ประกอบกับข้อจำกัดด้านงบประมาณ จึงได้ติดตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยาเพียงจุดเดียวที่กึ่งกลางระหว่างลุ่มน้ำศึกษา แต่จากการบันทึกข้อมูลเป็นเวลา 3 ฤดูฝนพบว่า พายุฝนไม่ได้กระจายตัวครอบคลุมพื้นที่อย่างสม่ำเสมอตามที่คาดการณ์ไว้อันจะเห็นได้จากข้อมูล

กราฟน้ำท่าที่อธิบายไว้ข้างล่าง ปรากฏการณ์นี้เป็นผลมาจากอิทธิพลของภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงชันและหุบเขา ที่มีต่อการหมุนเวียนของกระแสอากาศเหนือพื้นที่ ทำให้เกิดศูนย์กลางพายุฝนที่มีขนาดเล็กและเคลื่อนตัวในทิศทางต่างๆ โดยไม่มีรูปแบบแน่นอน ซึ่ง Austin and Dirks (2005) ได้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า เกิดจากการหมุนเวียนของกระแสอากาศซึ่งส่งผลให้การกระจายตัวในพื้นที่และปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่แตกต่างกันไปจากพื้นที่ราบและยากต่อการคาดคะเน โดยสาเหตุที่ก่อให้เกิดฝนตกอาจมาจากการลอยตัวของอากาศเย็นจากยอดเขาขึ้นสมทบกับกลุ่มเมฆฝน การที่กระแสลมถูกบังคับให้ไหลขึ้นตามลาดเขาและเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศเหนือยอดเขาเมื่ออากาศร้อนลอยตัวขึ้น หรือแม้แต่การที่เกิดฝนตกในด้านอัฒมเนื่องจากการเคลื่อนที่ขึ้นสูงของกระแสอากาศในด้านรับลมก่อให้เกิดการอิทธิพลทางอากาศพลศาสตร์ที่ดึงกลุ่มเมฆให้ลอยต่ำลง นอกจากนี้เมื่อเกิดฝนตกขึ้นแล้ว การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นเฉพาะที่ยังอาจทำให้เกิดกระแสลมพายุศูนย์กลางของพายุฝนให้เคลื่อนที่ไปด้วย

กราฟน้ำท่า

ตามปกติแล้วการวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน Parhall Flume จะทำการวัดใน 2 ตำแหน่งคือที่ ha และ hb ในภาพที่ 4 แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านเครื่องมือด้านเครื่องมือตรวจวัดซึ่งสถาบัน IRD เป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการจัดหาและติดตั้ง ในการวิจัยนี้จึงอนุโลมทำการวัดระดับน้ำเฉพาะที่ตำแหน่ง ha เท่านั้น โดยทำการบันทึกข้อมูลอัตโนมัติทุก 3 นาที ตัวอย่างข้อมูลดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 1

กราฟน้ำท่าที่มีความเหมาะสมสำหรับนำมาสังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจะต้องเป็นกราฟน้ำท่าที่เกิดจากพายุฝนเพียงลูกเดียว และฝนตกโดยสม่ำเสมอทั่วกันทั้งลุ่มน้ำโดยสามารถดูได้จากการที่เส้นโค้งด้านขึ้นและด้านลดเปลี่ยนแปลงขึ้นลงโดยสม่ำเสมอ มีอัตราการไหลสูงสุดเพียงตำแหน่งเดียวดังแสดงในภาพที่ 1 ในภาคผนวก ซึ่งเมื่อทำการคัดกรองข้อมูลที่มีแล้วพบว่า มีกราฟน้ำท่าที่สามารถใช้ได้ในกลุ่มน้ำ RTC 25 เส้น ส่วนกลุ่มน้ำ ACC มีเพียง 13 เส้นเท่านั้นโดยสาเหตุที่กลุ่มน้ำ ACC ให้กราฟน้ำท่าที่ใช้การได้จำนวนน้อยเส้นกว่ามาจากการที่พายุฝนไม่ได้กระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำอย่างสม่ำเสมอ อันจะสังเกตได้จากการที่ระดับน้ำในกลุ่มน้ำใดกลุ่มน้ำหนึ่งสูงขึ้นก่อนที่จะมีการบันทึกปริมาณน้ำฝนได้ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา หรือระยะเวลาการตอบสนองของกลุ่มน้ำสั้นหรือยาวผิดปกติด้วยเหตุที่กลุ่มน้ำ ACC มีขนาดใหญ่กว่า RTC 2.6 เท่า ทำให้มีโอกาสน้อยกว่าที่พายุฝนลูกหนึ่งๆ จะมีการกระจายตัวสม่ำเสมอครอบคลุมได้ทั้งลุ่มน้ำ และศูนย์กลางพายุฝนอาจเคลื่อนตัวไปยังตำแหน่งต่างๆ ในลุ่มน้ำได้ ทำให้ได้กราฟน้ำท่าที่แสดงการกระจายตัวของฝนไม่สม่ำเสมอ ในขณะที่กลุ่มน้ำ RTC มีขนาดเพียง 186 ไร่ หากศูนย์กลางของพายุฝนมีการเคลื่อนตัว จะมีโอกาสมากกว่าที่จะเคลื่อนพ้นขอบเขตลุ่มน้ำไป ทำให้ได้กราฟน้ำท่าที่เกิดจากพายุฝนลูกเดียวที่มีการกระจายตัวสม่ำเสมอในพื้นที่

ในกลุ่มข้อมูลที่กราฟน้ำท่ามีพื้นฐานซึ่งเกิดจากพายุฝนเพียงลูกเดียว พบว่าตลอดระยะเวลาที่ทำการบันทึกข้อมูล มีกราฟน้ำท่าลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นในทั้งสองกลุ่มน้ำในวันเดียวกันเพียง 2 ครั้ง ครั้งแรกใน

วันที่ 17 สิงหาคม 2558 โดยในกลุ่มน้ำ RTC น้ำเริ่มไหลเวลา 23 นาฬิกา 36 นาที และมีความลึกของฝนส่วนเกิน 33.1 มิลลิเมตร ในกลุ่มน้ำ ACC น้ำเริ่มไหลเวลา 22 นาฬิกา 29 นาที และมีความลึกของฝนส่วนเกิน 3.6 มิลลิเมตร ข้อมูลน้ำฝนที่วัดได้ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาในเวลาใกล้เคียงกันมีปริมาณทั้งสิ้น 31.7 มิลลิเมตร ซึ่งขัดแย้งกับความลึกฝนส่วนเกินที่เกิดขึ้นในกลุ่มน้ำ RTC ครั้งที่สองคือวันที่ 13 กรกฎาคม 2560 โดยในกลุ่มน้ำ RTC น้ำเริ่มไหลเวลา 2 นาฬิกา 57 นาที มีความลึกของฝนส่วนเกิน 4.4 มิลลิเมตร กลุ่มน้ำ ACC น้ำเริ่มไหลเวลา 2 นาฬิกา 42 นาที มีความลึกของฝนส่วนเกิน 1.56 มิลลิเมตร ข้อมูลน้ำฝนที่วัดได้ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาในเวลาใกล้เคียงกันมีปริมาณทั้งสิ้น 21.5 มิลลิเมตร โดยเริ่มบันทึกปริมาณน้ำฝนได้ในเวลาเดียวกับที่น้ำเริ่มไหลในกลุ่มน้ำ ACC ซึ่งทั้งสองกรณีชี้ให้เห็นว่า ไม่สามารถใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยามาใช้ในการวิเคราะห์ระยะเวลาในการตอบสนองต่อพายุฝนของกลุ่มน้ำ (lag time) ได้อย่างน่าเชื่อถือ เนื่องจากการกระจายตัวของพายุฝนในพื้นที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอไม่ครอบคลุมทั้งสองกลุ่มน้ำในเวลาเดียวกัน

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

พารามิเตอร์ที่ควบคุมรูปทรงของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

ตารางภาคผนวกที่ 2 แสดงมิติ (dimension) สำคัญ 4 ประการของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าทั้ง 25 เส้นที่ได้จากกลุ่มน้ำ RTC ซึ่งมิติสำคัญทั้ง 4 ได้แก่ 1) อัตราการไหลสูงสุดในที่นี้มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/ฝนส่วนเกิน 1 เซนติเมตร 2) ระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดมีหน่วยเป็น นาที 3) ฐานเวลามีหน่วยเป็นนาที และ 4) ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่เกิดจากฝนส่วนเกิน 1 เซนติเมตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรซึ่งคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟทั้งหมด มิติสำคัญอย่างเดียวกันของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากกลุ่มน้ำ ACC แสดงไว้ในตารางภาคผนวกที่ 3

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่ได้จากกลุ่มน้ำ RTC มีค่าอัตราการไหลสูงสุดเฉลี่ย 2.66 ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เซนติเมตร โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.7407 ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เซนติเมตร มีค่าระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดเฉลี่ย 24.36 นาที มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 11.0675 นาที มีฐานเวลาเฉลี่ย 59.96 นาที มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 16.1645 นาที

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่ได้จากกลุ่มน้ำ ACC มีค่าอัตราการไหลสูงสุดเฉลี่ย 3.99 ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เซนติเมตร โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.8787 ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เซนติเมตร มีค่าระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดเฉลี่ย 53.23 นาที มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 22.6206 นาที มีฐานเวลาเฉลี่ย 129.23 นาที มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน 51.2415 นาที

เมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดและระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดในกลุ่มน้ำทั้งสองพบว่า กลุ่มน้ำ RTC มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ -0.6119 ส่วนกลุ่มน้ำ ACC มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ -0.6631 ซึ่งแสดงแนวโน้มว่าเมื่ออัตราการไหลสูงสุดเพิ่มขึ้นระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดจะลดลง

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดและฐานเวลาของกลุ่มน้ำ RTC มีค่าเท่ากับ -0.8215 และของกลุ่มน้ำ ACC มีค่าเท่ากับ -0.8153 ซึ่งแสดงว่าเมื่อระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดเพิ่มขึ้นฐานเวลาจะลดลง ซึ่งทั้งสองกรณีแสดงว่า แม้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่สร้างขึ้นแต่ละเส้นจะมีค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมรูปทรงแตกต่างกันออกไป แต่มีแนวโน้มว่าพื้นที่ใต้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าทั้งหมดในแต่ละลุ่มน้ำจะมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่ง โดยจะเห็นได้จากการที่โค้งด้านขึ้นจะมีความชันมากขึ้น (ระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุดลดลง) เมื่ออัตราการไหลสูงสุดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฐานเวลาทั้งหมดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่ระบุว่า ลุ่มน้ำมีการตอบสนองต่อพายุฝนเป็นฟังก์ชันเส้นตรง กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ฝนส่วนเกินจำนวนหนึ่งจะให้ปริมาณน้ำท่าออกมาจำนวนเท่าเดิมเสมอไม่ว่าสภาพความชื้นตั้งต้นจะเป็นอย่างไร ในขณะที่เดียวกันรูปทรงที่แปรผันไปของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแต่ละเส้นก็เป็นไปตามข้อสังเกตของ Linsley *et al.* (1988) และวิชวัณก์ (2555) ที่ว่าสมบัติของของพายุฝนยังอาจจะก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อรูปร่างของกราฟน้ำท่าได้หลากหลาย และข้อกำหนดที่ว่าความชื้นตั้งต้นของกลุ่มน้ำเมื่อก่อนเกิดพายุฝนไม่มีอิทธิพลต่อฐานเวลาของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่านั้นไม่ถูกต้อง Rodriguez-Iturbe *et al.* (1982) ยังชี้ให้เห็นด้วยว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดและระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด อยู่ภายใต้อิทธิพลของลักษณะทางธรณีสัณฐาน ความเข้มและความยาวนานของพายุฝน ซึ่งสองปัจจัยหลังจะแปรผันไปตามปรากฏการณ์ในธรรมชาติและทำให้รูปทรงของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเปลี่ยนแปลงดังที่พบในข้อมูลชุดนี้

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของมิติสำคัญสามประการแรกจากกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่สังเคราะห์ได้

ลุ่มน้ำ	RTC			ACC		
	Qp (Cu m/s/cm)	Tp (min)	Tb (min)	Qp (Cu m/s/cm)	Tp (min)	Tb (min)
Mean	2.66	24.36	59.96	3.72	53.23	129.23
Std	0.7407	11.0675	16.1645	1.6453	22.6206	51.2415

หมายเหตุ Qp : อัตราการไหลสูงสุด Tp : ระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด Tb : ฐานเวลา และ Total Q : ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่เกิดจากฝนส่วนเกิน 1 เซนติเมตร

ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่คำนวณได้จากกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

ปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมดที่เกิดจากฝนส่วนเกิน 1 เซนติเมตร ในลุ่มน้ำ RTC ในทางทฤษฎีคือ 2,976.0 ลูกบาศก์เมตร (พื้นที่ลุ่มน้ำ 186 ไร่ × ฝนส่วนเกิน 1 เซนติเมตร) ซึ่งในการสังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าพบว่าค่าที่คำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟเบี่ยงเบนอยู่ในช่วง 2,953.5 – 3,997.2 ลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตามค่าฐานนิยม (mode) ของผลการคำนวณยังมีค่าเท่ากับ 2,976.0 ลูกบาศก์เมตร

ในทำนองเดียวกัน ปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมดที่เกิดจากฝนส่วนเกิน 1 เซนติเมตร ในลุ่มน้ำ ACC ในทางทฤษฎีคือ 7,776.0 ลูกบาศก์เมตร (พื้นที่ลุ่มน้ำ 486 ไร่ × ฝนส่วนเกิน 1 เซนติเมตร) ซึ่งในการสังเคราะห์กราฟ

หนึ่งหน่วยน้ำท่าพบว่าค่าที่คำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟเบี่ยงเบนอยู่ในช่วง 7,770.5 – 7,776.0 ลูกบาศก์เมตร
ค่าฐานนิยมของผลการคำนวณมีค่าเท่ากับ 7,776.0 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น แม้จะพบว่าการกระจายตัวของพายุฝนจะไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งลุ่มน้ำตามสมมุติฐานในอุดมคติของ
กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า แต่กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่สร้างขึ้นยังมีคุณภาพดีพอที่จะนำไปสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า
เฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำต่อไปได้

ตัวอย่างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแสดงไว้ในภาพภาคผนวกที่ 3

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ย

ในที่นี้ได้ใช้หลักการของ Johnson and Clement (n.d.) และวิธีการของ de Laine (1970) ที่อ้างถึง
โดย Seong (2017) ในการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยจากกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่สังเคราะห์ขึ้นได้เพื่อใช้
เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำ เนื่องจากเป็นวิธีการที่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับเวลาโดยตรงเป็น
ฟังก์ชันสมการพหุนามและไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลน้ำฝน ทั้งยังไม่ได้อ้างอิงรูปสมการ empirical ซึ่งสัมพันธ์กับ
ลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำที่มีผู้วิจัยอื่นๆ ศึกษาไว้ก่อน ซึ่งการศึกษาเหล่านั้นมักดำเนินการในกลุ่มน้ำที่มีขนาด
ใหญ่หลายสิบหรือหลายร้อยตารางกิโลเมตร ทำให้ไม่มีความน่าเชื่อถือที่จะนำมาใช้ในกลุ่มน้ำวิจัยทั้งสองที่มีขนาด
เพียง 0.3 และ 0.7 ตารางกิโลเมตรได้ อนึ่งการหาสัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามในลำดับต่างๆ สามารถทำได้
โดยสะดวกด้วยฟังก์ชันสำเร็จรูปชื่อ LINEST ในโปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel ทำให้เป็นวิธีการที่สามารถ
ทำซ้ำได้โดยง่ายกับชุดข้อมูลใดๆ จากกลุ่มน้ำใดๆ ได้

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ RTC

สำหรับกลุ่มน้ำ RTC หลังจากที่ได้สุ่มเลือกเส้นกราฟออกร้อยละ 30 แล้ว ได้คัดเลือกกราฟหนึ่งหน่วย
น้ำท่าที่มีระยะเวลาการไหลทั้งหมดอยู่ในช่วง 45 – 75 นาที ทั้งหมด 13 เส้นมาทำการปรับเส้นโค้ง โดย
ทั้งหมดเป็นกราฟที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินเท่ากับ 2976.0 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งพบว่าสมการพหุนามลำดับที่
8 และ 16 ให้เส้นกราฟที่มีฐานสอดคล้องกับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่นำมาวิเคราะห์ ผลลัพธ์มีสัมประสิทธิ์
การตัดสินใจ (R^2) ใกล้เคียงกันคือ 0.6374 และ 0.6430 ตามลำดับ ที่ลำดับ (Order) ที่ 8 มีผลรวมของ
ปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมดเท่ากับ 2,989.9 ลูกบาศก์เมตร และที่ลำดับที่ 16 มีผลรวมปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมด
เท่ากับ 3,006.5 ลูกบาศก์เมตรสัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 8 ที่คำนวณได้เป็นดังนี้

ตารางที่ 7 สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 8 ที่คำนวณได้จากกลุ่มน้ำ RTC

สัมประสิทธิ์	t ยกกำลัง
-2.13615E-12	8
6.03214E-10	7
-6.58786E-08	6
3.34895E-06	5
-6.65702E-05	4
-0.000417525	3
0.027580361	2
-0.111882468	1
0.041864794	*Constant

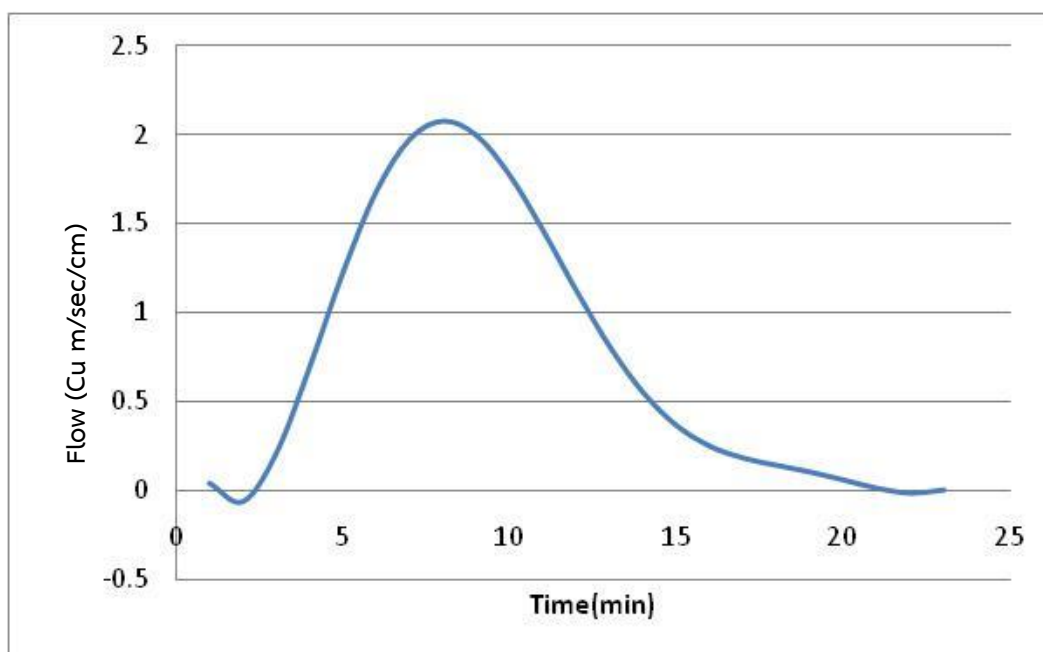
ซึ่งสามารถนำมาเขียนสมการพหุนามได้ในรูป

$$q_t = 0.014865 - 0.111882t + 0.027580t^2 - 0.000418t^3 - 0.000065t^4 + (3.34895 \times 10^{-6})t^5 - (6.58786 \times 10^{-8})t^6 + (6.03214 \times 10^{-10})t^7 - (2.1361 \times 10^{-12})t^8$$

q_t : อัตราการไหล ณ เวลา t บนฐานเวลา มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/วินาที/ 1 เซนติเมตร

t : คือช่วงเวลาบนฐานเวลา มีหน่วยเป็นนาที

จากสมการดังกล่าวสามารถสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำดังแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ RTC จากสมการพหุนามลำดับที่ 8

สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 16 ที่คำนวณได้เป็นดังนี้

ตารางที่ 8 สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 16 ที่คำนวณได้จากกลุ่มน้ำ RTC

สัมประสิทธิ์	t ยกกำลัง
-1.2489E-22	16
7.47006E-20	15
-2.0266E-17	14
3.29809E-15	13
-3.5883E-13	12
2.75304E-11	11
-1.5311E-09	10
6.24675E-08	9
-1.8714E-06	8
4.07972E-05	7
-0.00063524	6
0.006858022	5
-0.04917904	4
0.219597811	3
-0.53470117	2
0.540857893	1
0.003875094	*Constant

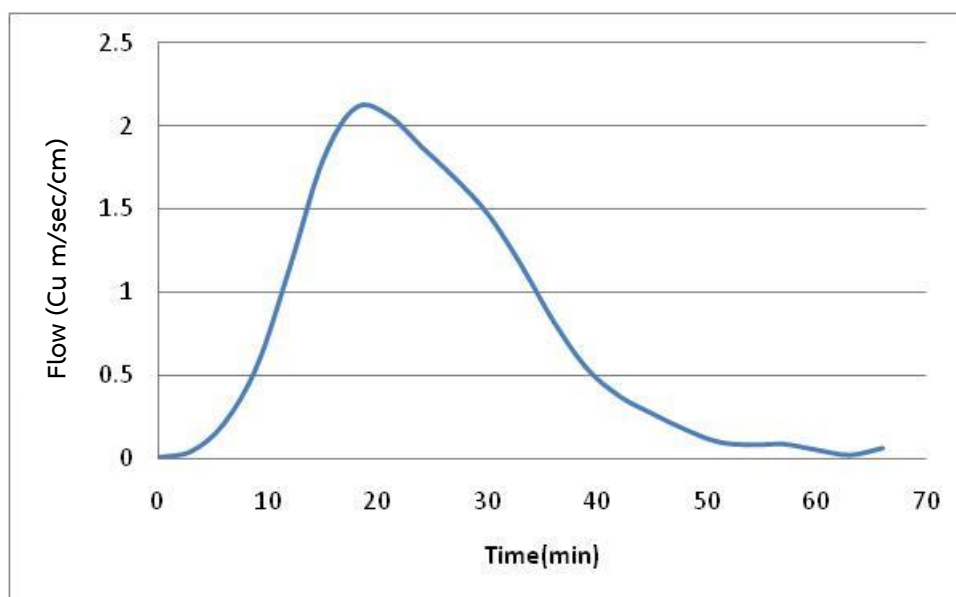
ซึ่งสามารถนำมาเขียนสมการพหุนามได้ในรูป

$$\begin{aligned}
 q_t = & 0.003875 + 0.540858t - 0.534701t^2 + 0.219598t^3 - 0.049179t^4 + 0.006858t^5 \\
 & - 0.000635t^6 + 0.00004t^7 - (1.8714 \times 10^{-6})t^8 + (6.24675 \times 10^{-8})t^9 \\
 & - (1.5311 \times 10^{-9})t^{10} + (2.75304 \times 10^{-11})t^{11} - (3.5883 \times 10^{-13})t^{12} \\
 & + (3.29809 \times 10^{-15})t^{13} - (2.2066 \times 10^{-17})t^{14} + (7.47006 \times 10^{-20})t^{15} \\
 & - (1.2489 \times 10^{-22})t^{16}
 \end{aligned}$$

q_t : อัตราการไหล ณ เวลา t บนฐานเวลา มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/วินาที/1 เซนติเมตร

t : คือช่วงเวลาบนฐานเวลา มีหน่วยเป็นนาทีก่อน

จากสมการดังกล่าวสามารถสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำดังแสดงในภาพที่ 17



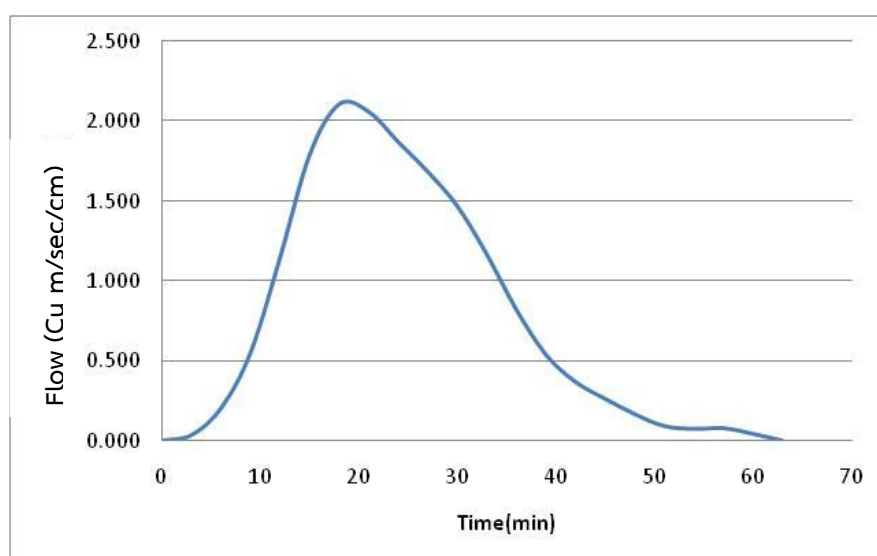
ภาพที่ 17 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ RTC จากสมการพหุนามลำดับที่ 16

ด้วยเหตุที่กราฟที่ได้จากสมการพหุนามลำดับที่ 16 มีพื้นฐานสอดคล้องกับข้อมูลกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากกลุ่มน้ำ RTC มากกว่า จึงเลือกกราฟเส้นนี้มาทำการปรับค่า ordinate เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดิน (พื้นที่ใต้กราฟ) เท่ากับ 2976.0 ลูกบาศก์เมตร โดยการเฉลี่ยปริมาณน้ำส่วนเกินทอนค่าออกจากทุก ordinate ซึ่งได้ค่า ordinate ใหม่ดังนี้

ตารางที่ 9 ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยจากกลุ่มน้ำ RTC

เวลา (นาท)	อัตราการไหล ลบ.ม./วินาที/ซ.ม.
0	0.000
3	0.035
6	0.205
9	0.554
12	1.151
15	1.794
18	2.109
21	2.060
24	1.870
27	1.684
30	1.468
33	1.165
36	0.819
39	0.538
42	0.368
45	0.262
48	0.166
51	0.092
54	0.073
57	0.078
60	0.043
63	0.000

เมื่อนำ co-ordinate ชุดข้างบนมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจะได้ผลดังภาพที่ 18 มีอัตราการไหลสูงสุด 2.109 ลูกบาศก์เมตร/วินาที/1 เซนติเมตร และมีค่าระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด 18 นาที



ภาพที่ 18 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ RTC ภายหลังปรับค่า ordinate

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC ที่มีฐานเวลา 90 นาที

สำหรับกลุ่มน้ำ ACC เนื่องจากค่าฐานเวลามีความแตกต่างกันมากจึงได้คัดเลือกกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเพื่อมาวิเคราะห์หากราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ย 2 ชุด โดยชุดแรกมีฐานเวลาอยู่ในช่วง 66-93 นาที จำนวน 4 เส้น และชุดที่ 2 มีฐานเวลาอยู่ในช่วง 159 - 183 นาที จำนวน 4 เส้น โดยทั้งหมดเป็นกราฟที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าเท่ากับ 7,760.0 ลูกบาศก์เมตร

จากกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าชุดแรกพบว่าสมการพหุนามลำดับที่ 8 และ 16 ให้เส้นกราฟที่มีสัณฐานสอดคล้องกับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่นำมาวิเคราะห์ ผลลัพธ์มีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ใกล้เคียงกันคือ 0.6604 และ 0.6648 ตามลำดับ ที่ลำดับที่ 8 มีผลรวมของปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมดเท่ากับ 7,857.83 ลูกบาศก์เมตร และที่ลำดับที่ 16 มีผลรวมปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมดเท่ากับ 7,856.4 ลูกบาศก์เมตร

สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 8 จากเส้นกราฟชุดแรกแสดงไว้ในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 8 ที่คำนวณได้จากกลุ่มน้ำ ACC

สัมประสิทธิ์	t ยกกำลัง
-3.4727E-13	8
1.71943E-10	7
-3.40313E-08	6
3.4438E-06	5
-0.000187117	4
0.005159485	3
-0.059811135	2
0.235809776	1
-0.089655629	*Constant

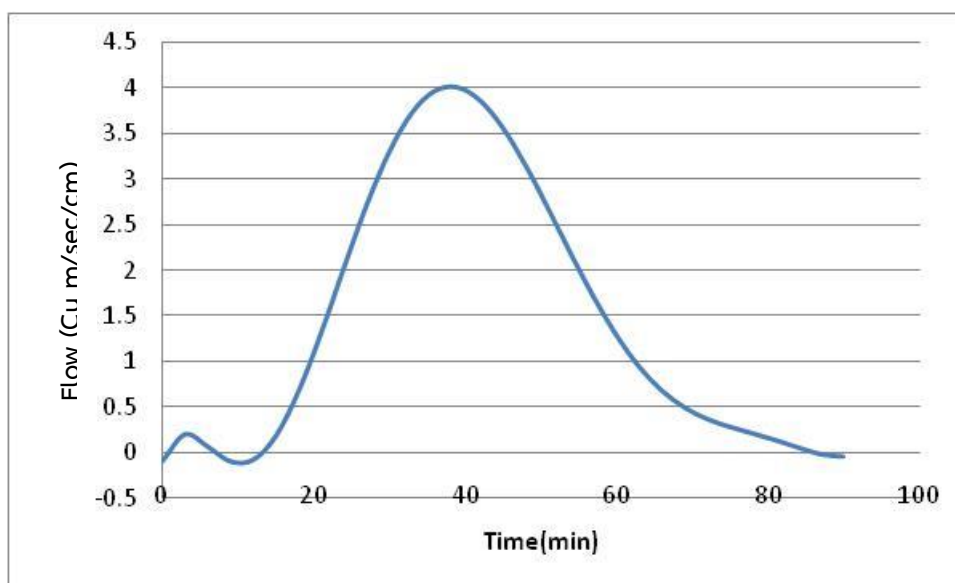
ซึ่งสามารถนำมาเขียนสมการพหุนามได้ในรูป

$$q_t = -0.089656 + 0.23581t - 0.059811t^2 + 0.005159t^3 - 0.000187t^4 \\ + (3.4438 \times 10^{-6})t^5 - (3.40313 \times 10^{-8})t^6 + (1.71943 \times 10^{-10})t^7 \\ - (3.47271 \times 10^{-12})t^8$$

q_t : อัตราการไหล ณ เวลา t บนฐานเวลา มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/วินาที/ 1 เซนติเมตร

t : คือช่วงเวลาบนฐานเวลา มีหน่วยเป็นนาที

จากสมการดังกล่าวสามารถสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าได้ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC จากสมการพหุนามลำดับที่ 8

สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 16 จากเส้นกราฟชุดแรกแสดงไว้ในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 16 ที่คำนวณได้จากกลุ่มน้ำ ACC

สัมประสิทธิ์	t ยกกำลัง
3.73226E-24	16
-2.85925E-21	15
9.93174E-19	14
-2.06829E-16	13
2.87701E-14	12
-2.81876E-12	11
1.99868E-10	10
-1.03761E-08	9
3.94512E-07	8
-1.08817E-05	7
0.000213549	6
-0.002891109	5
0.025777695	4
-0.14057342	3
0.41164203	2
-0.475665461	1
0.004910917	*Constant

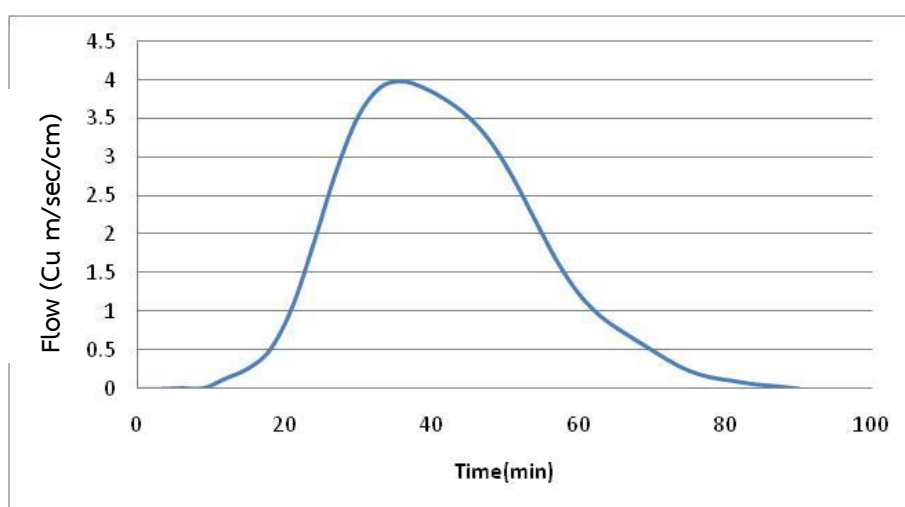
ซึ่งสามารถนำมาเขียนสมการพหุนามได้ในรูป

$$q_t = 0.004911 - 0.475665t + 0.411642t^2 - 0.140573t^3 + 0.025778t^4 - 0.002891t^5 \\ + 0.000213t^6 - 0.000011t^7 + (3.94512 \times 10^{-7})t^8 - (1.30761 \times 10^{-8})t^9 \\ + (1.9986 \times 10^{-10})t^{10} - (2.81876 \times 10^{-12})t^{11} + (2.88701 \times 10^{-14})t^{12} \\ - (2.06829 \times 10^{-16})t^{13} + (9.3174 \times 10^{-19})t^{14} - (2.85925 \times 10^{-21})t^{15} \\ + (3.73226 \times 10^{-24})t^{16}$$

q_t : อัตราการไหล ณ เวลา t บนฐานเวลา มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/วินาที/1 เซนติเมตร

t : คือช่วงเวลาบนฐานเวลา มีหน่วยเป็นนาที

จากสมการดังกล่าวสามารถสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำดังแสดงในภาพที่ 20



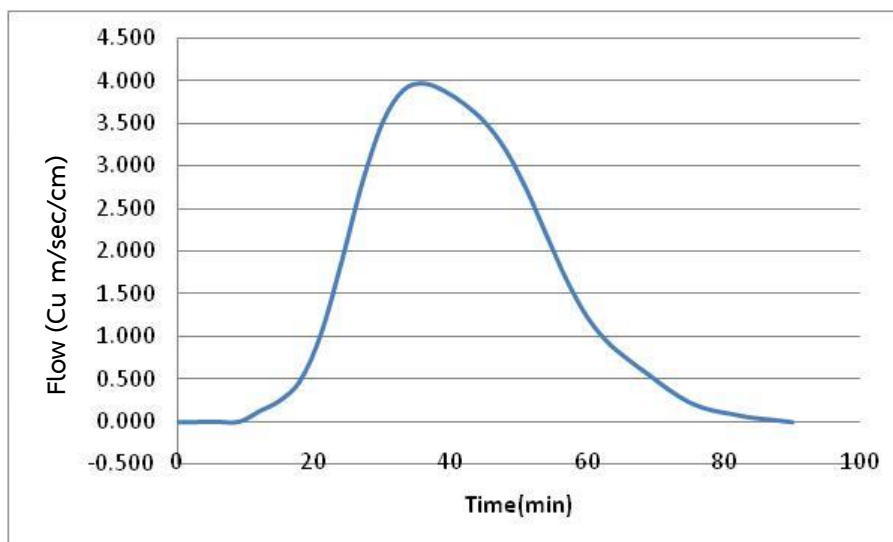
ภาพที่ 20 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC จากสมการพหุนามลำดับที่ 16

ด้วยเหตุที่กราฟที่ได้จากสมการพหุนามลำดับที่ 16 มีสัญญาณที่สอดคล้องกับการข้อมูลกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำจากกลุ่มน้ำ ACC ในชุดนี้มากกว่า จึงเลือกกราฟเส้นนี้มาปรับค่า ordinate เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำไหลบ่าเท่ากับ 7,760.0 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งได้ค่า ordinate ใหม่ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยจากลุ่มน้ำ ACC ที่มีฐานเวลา 90 นาที

เวลา (นาที)	อัตราการไหล ลบ.ม./วินาที/ซ.ม.
0	0.000
3	0.002
6	0.004
9	0.005
12	0.130
15	0.256
18	0.495
21	1.040
24	1.884
27	2.798
30	3.510
33	3.885
36	3.965
39	3.878
42	3.722
45	3.507
48	3.187
51	2.733
54	2.188
57	1.654
60	1.225
63	0.932
66	0.730
69	0.552
72	0.374
75	0.227
78	0.142
81	0.097
84	0.053
87	0.028
90	0.000

เมื่อนำ co-ordinate ชุดข้างบนมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจะได้ผลดังภาพที่ 21 โดยมีค่าอัตราการไหลสูงสุด 3.965 ลูกบาศก์เมตร/วินาที/1 เซนติเมตร และมีค่าระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด 36 นาที



ภาพที่ 21 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC ภายหลังปรับค่า ordinate

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC ที่มีฐานเวลา 180 นาที

สำหรับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าในชุดที่ 2 ซึ่งมีฐานเวลายาวกว่า พบว่าสมการพหุนามลำดับที่ 8 และ 16 ให้เส้นกราฟที่มีสัณฐานสอดคล้องกับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่นำมาวิเคราะห์เช่นกัน ผลลัพธ์มีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ใกล้เคียงกันคือ 0.7171 และ 0.7259 ตามลำดับ ที่ลำดับที่ 8 มีผลรวมของปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมดเท่ากับ ลูกบาศก์เมตร 7,785.12 ลูกบาศก์เมตร และที่ลำดับที่ 16 มีผลรวมปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมดเท่ากับ 7,797.75 ลูกบาศก์เมตร สัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้ของสมการพหุนามลำดับที่ 8 แสดงไว้ในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สัมประสิทธิ์สมการพหุนามลำดับที่ 8 จากกลุ่มน้ำ ACC

สัมประสิทธิ์	t ยกกำลัง
4.33384E-16	8
-1.37389E-13	7
-2.65415E-11	6
1.70957E-08	5
-2.77938E-06	4
0.000190185	3
-0.005074968	2
0.049808096	1
-0.058645284	*Constant

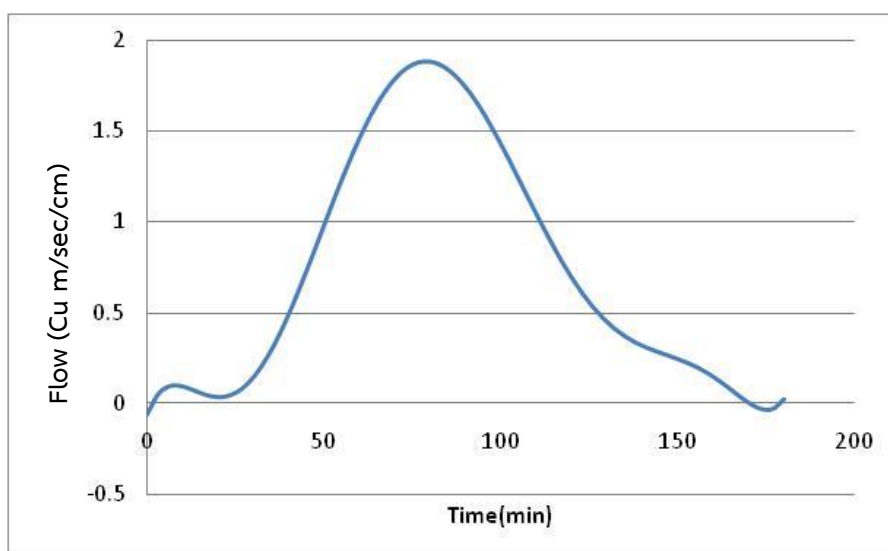
ซึ่งสามารถนำมาเขียนสมการพหุนามได้ในรูป

$$q_t = -0.058645 + 0.049808t - 0.005075t^2 + 0.000190t^3 - 0.000003t^4 \\ + (1.70957 \times 10^{-8})t^5 - (2.65415 \times 10^{-11})t^6 - (1.37839 \times 10^{-13})t^7 \\ + (4.33841 \times 10^{-16})t^8$$

q_t : อัตราการไหล ณ เวลา t บนฐานเวลา มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/วินาที/ 1 เซนติเมตร

t : คือช่วงเวลาบนฐานเวลา มีหน่วยเป็นนาที

จากสมการดังกล่าวสามารถสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำได้ดังแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC จากสมการพหุนามลำดับที่ 8

สัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามลำดับที่ 16 ที่คำนวณได้จากเส้นกราฟชุดที่ 2 แสดงไว้ในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 สัมประสิทธิ์ของสมการพหุนามลำดับที่ 16 จากกลุ่มน้ำ ACC

สัมประสิทธิ์	t ยกกำลัง
-1.69769E-29	16
2.36757E-26	15
-1.48116E-23	14
5.47922E-21	13
-1.32911E-18	12
2.2133E-16	11
-2.56886E-14	10
2.05679E-12	9
-1.08422E-10	8
3.25092E-09	7
-1.81123E-08	6
-2.46889E-06	5
9.39335E-05	4
-0.001472777	3
0.010293744	2
-0.024525343	1
0.029935149	*Constant

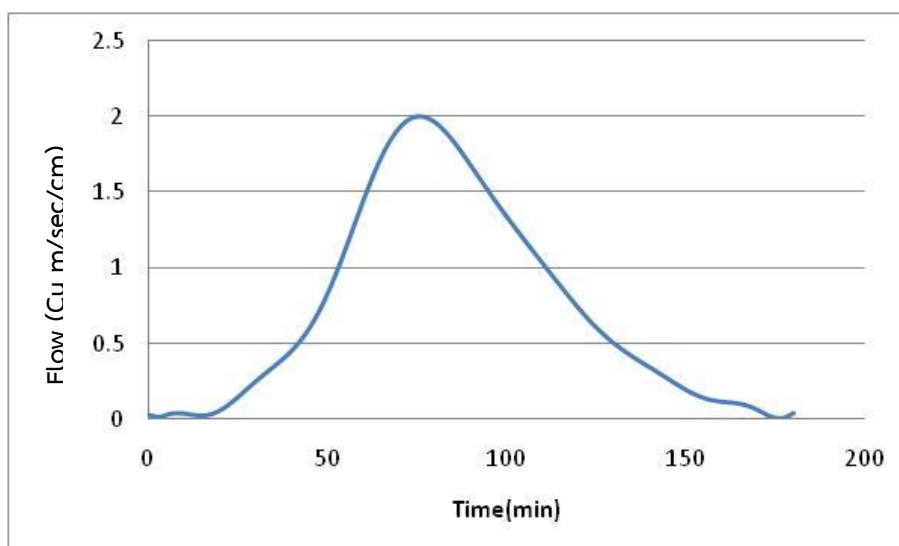
ซึ่งสามารถนำมาเขียนสมการพหุนามได้ในรูป

$$\begin{aligned}
 q_t = & 0.029935 - 0.024525t + 0.010293t^2 - 0.001472t^3 + 0.000094t^4 - 0.000002t^5 \\
 & - (1.81123 \times 10^{-8})t^6 + (3.25092 \times 10^{-9})t^7 - (1.08422 \times 10^{-10})t^8 \\
 & + (2.05679 \times 10^{-12})t^9 - (2.56886 \times 10^{-14})t^{10} + (2.2133 \times 10^{-16})t^{11} \\
 & - (1.32911 \times 10^{-18})t^{12} + (5.47922 \times 10^{-21})t^{13} - (1.48116 \times 10^{-23})t^{14} \\
 & + (2.36757 \times 10^{-26})t^{15} - (1.69769 \times 10^{-29})t^{16}
 \end{aligned}$$

qt : อัตราการไหล ณ เวลา t บนฐานเวลา มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร/วินาที/1 เซนติเมตร

t : คือช่วงเวลาบนฐานเวลา มีหน่วยเป็นนาฬิกา

จากสมการดังกล่าวสามารถสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC จากสมการพหุนามลำดับที่ 16

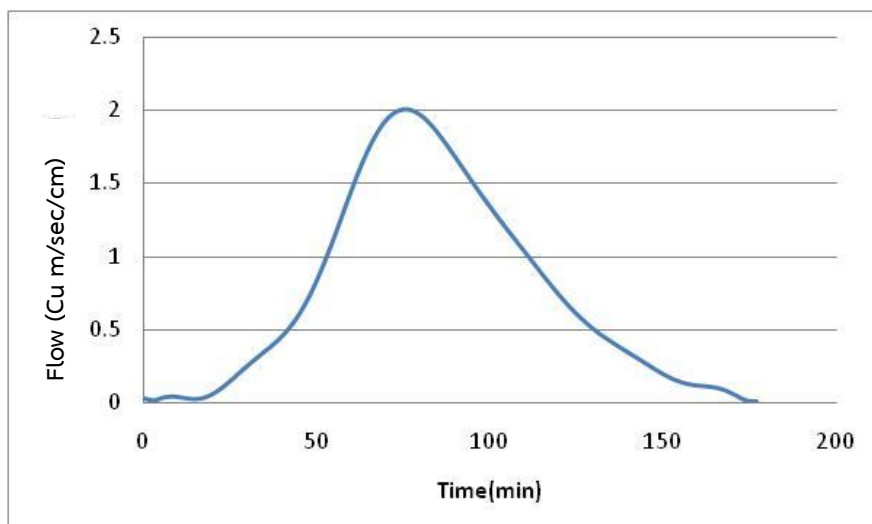
ด้วยเหตุที่กราฟที่ได้จากสมการพหุนามลำดับที่ 16 มีสัญญาณที่สอดคล้องกับการข้อมูลกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากกลุ่มน้ำ ACC ในชุดนี้มากกว่า จึงเลือกกราฟเส้นนี้มาปรับค่า ordinate เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำไหลบ่าเท่ากับ 7760.0 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งได้ค่า ordinate ใหม่ดังนี้

เวลา (นาท.)	อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที/ช.ม.)
0	0.027
3	0.014
6	0.035
9	0.039
12	0.029
15	0.023
18	0.036
21	0.072
24	0.126
27	0.189
30	0.252
33	0.310
36	0.368
39	0.430
42	0.507
45	0.606
48	0.732
51	0.887
54	1.066
57	1.257
60	1.450

เวลา (นาท.)	อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที/ช.ม.)
63	1.629
66	1.782
69	1.898
72	1.972
75	2.001
78	1.989
81	1.941
84	1.867
87	1.774
90	1.673
93	1.568
96	1.466
99	1.367
102	1.272
105	1.179
108	1.088
111	0.997
114	0.907
117	0.817
120	0.732

เวลา (นาท.)	อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที/ช.ม.)
123	0.652
126	0.580
129	0.516
132	0.462
135	0.413
138	0.368
141	0.324
144	0.280
147	0.235
150	0.192
153	0.157
156	0.131
159	0.117
162	0.110
165	0.101
168	0.081
171	0.047
174	0.012
177	0.006
180	0.040

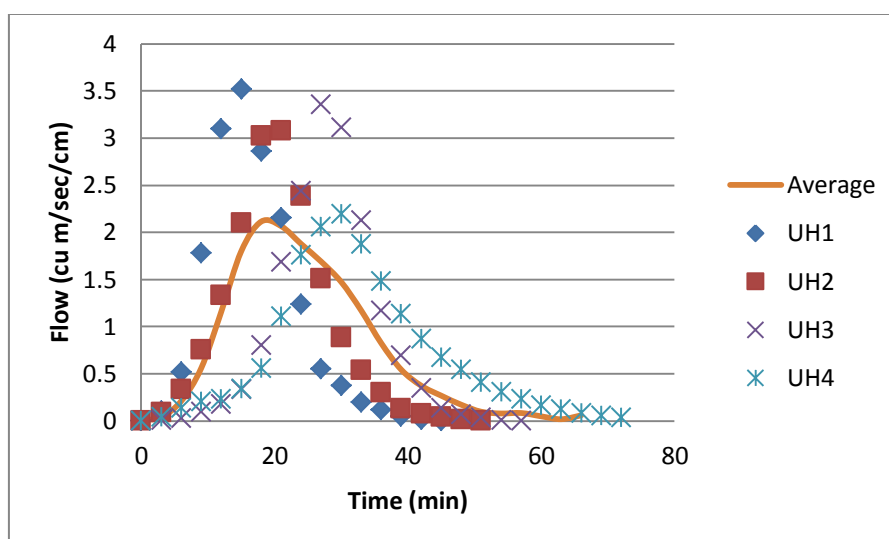
เมื่อนำ co-ordinate ชุดข้างบนมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจะได้ผลดังภาพที่ 24 โดยมีค่าอัตราการไหลสูงสุด 2.001 ลูกบาศก์เมตร/วินาที/ 1 เซนติเมตร และมีค่าระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด 75 นาที



ภาพที่ 24 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ ACC ภายหลังปรับค่า Ordinate

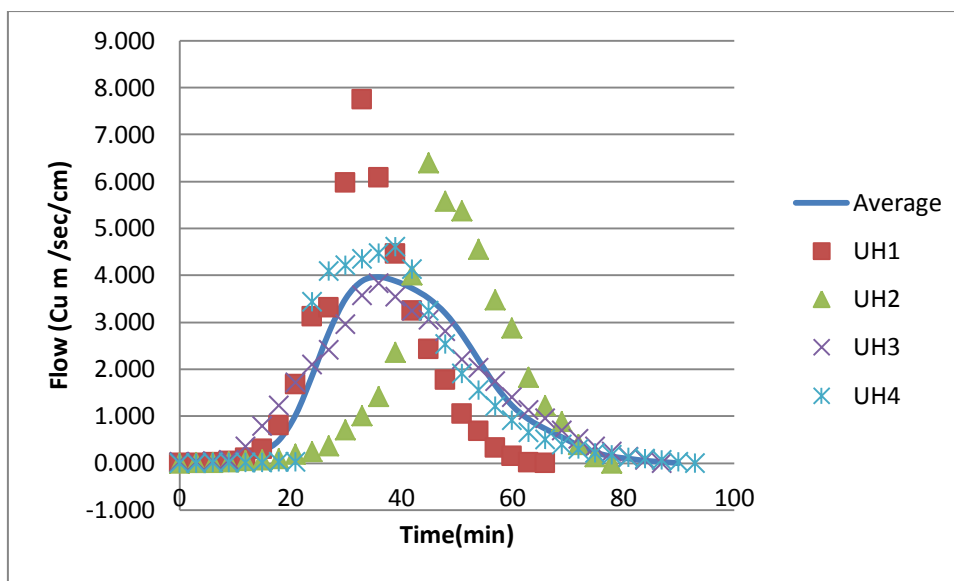
ภาพที่ 25-27 แสดงความเข้ากันได้ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยจากกลุ่มน้ำ RTC และ ACC กับบางส่วนของชุดข้อมูลที่นำมาปรับเส้นโค้ง อันได้แก่ UH (unit hydrograph) 1-4 ในแต่ละภาพ โดยในกลุ่มน้ำ RTC ได้เลือกเส้นกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า 4 เส้นที่มีฐานเวลาต่างๆ กันมาพลอตเปรียบเทียบ เนื่องจากการแสดงข้อมูลทั้งหมดจะทำให้ยากแก่การแยกแยะชุดข้อมูล

จากเส้นกราฟจะเห็นว่าสมการพหุนามที่สร้างขึ้นสามารถจำลองโค้งด้านเพิ่มและด้านลดได้ดี แต่ยังให้ผลลัพธ์อัตราน้ำไหลบ่าสูงสุดต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งกรณีนี้สอดคล้องกับที่ Bhunya *et al.* (2011) ทำการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยด้วยฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น และพบว่าได้ค่าอัตราการไหลสูงสุดต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำในขณะที่สามารถจำลองโค้งด้านเพิ่มและด้านลดได้ดีเช่นกัน



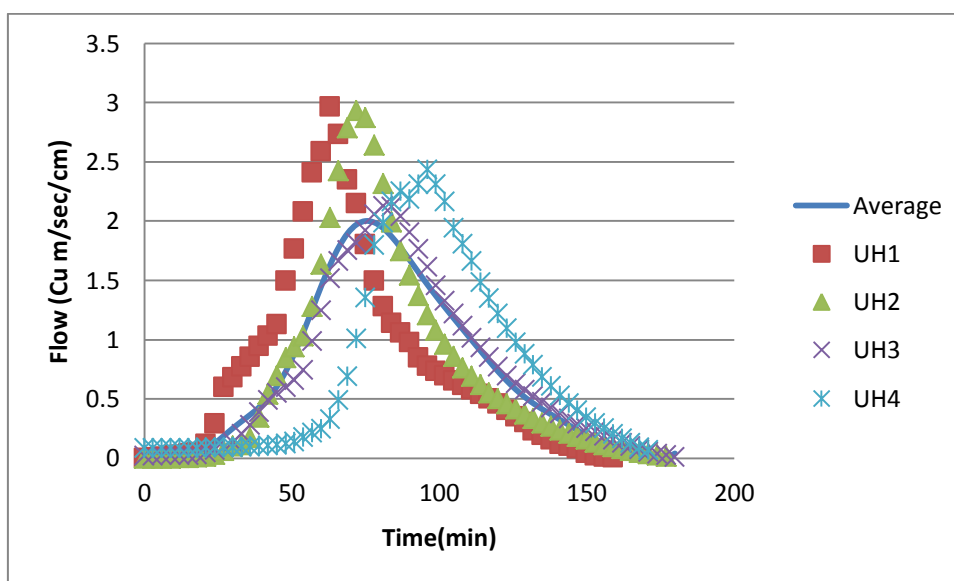
ภาพที่ 25 เส้นกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยจากกลุ่มน้ำ RTC พล็อต เทียบกับ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่นำมาหาค่าเฉลี่ย

หมายเหตุ : UH1-4 คือชุดข้อมูลของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า



ภาพที่ 26 เส้นกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยที่มีฐานเวลา 90 นาทีจากกลุ่มน้ำ ACC พล็อต เทียบกับ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่นำมาหาค่าเฉลี่ย

หมายเหตุ : UH1-4 คือชุดข้อมูลของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า



ภาพที่ 27 เส้นกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยที่มีฐานเวลา 180 นาทีจากกลุ่มน้ำ ACC พล็อต เทียบกับ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่นำมาหาค่าเฉลี่ย

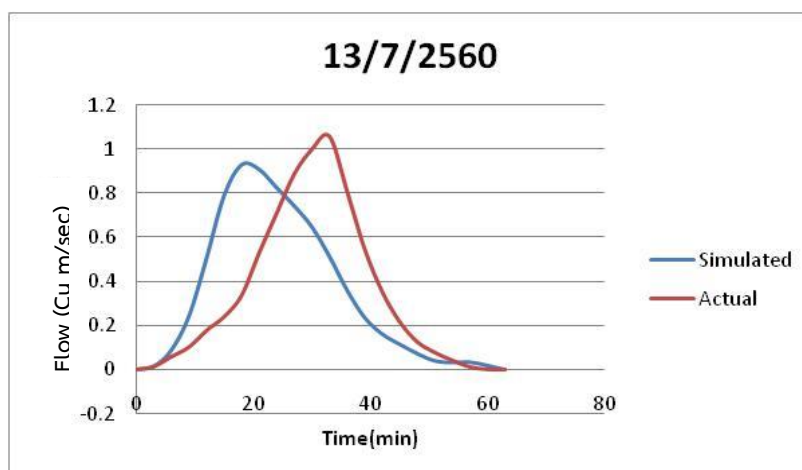
หมายเหตุ : UH1-4 คือชุดข้อมูลของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

การทดสอบสร้างกราฟน้ำท่าจากกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ย

ด้วยเหตุที่พบว่าปริมาณน้ำฝนและเวลาการเกิดพายุฝนที่วัดได้ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอัตโนมัติ ไม่สอดคล้องกับเวลาการเกิดน้ำไหลบ่าและปริมาณน้ำไหลบ่าที่เกิดขึ้นดังได้อธิบายแล้วข้างต้น ทำให้ไม่มีความเชื่อมั่นที่จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่บันทึกได้โดยเครื่องวัดน้ำฝนอัตโนมัติเพื่อสร้างกราฟน้ำท่าจากกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้อง แต่ได้ใช้วิธีใช้ฝนส่วนเกินเพื่อสร้างกราฟน้ำท่าตามที่สูงวนและคณะ (2552) เสนอ ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีเป้าประสงค์หลักในการหาปริมาณน้ำไหลบ่าที่เกิดขึ้นทั้งหมดต่อพายุฝนออกแบบ (design storm) และอัตราการไหลสูงสุดเพื่อใช้ในการออกแบบทางชลศาสตร์เป็นสำคัญ โดยในการนี้ได้สุ่มเลือกกราฟน้ำท่าจากชุดข้อมูลที่นำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ย 1 เส้น และกราฟน้ำท่าที่ถูกสุ่มออกไว้ก่อนเพื่อการทดสอบอีก 1 เส้นวิธีการสุ่มยังคงใช้วิธี simple random sampling

ลุ่มน้ำ RTC

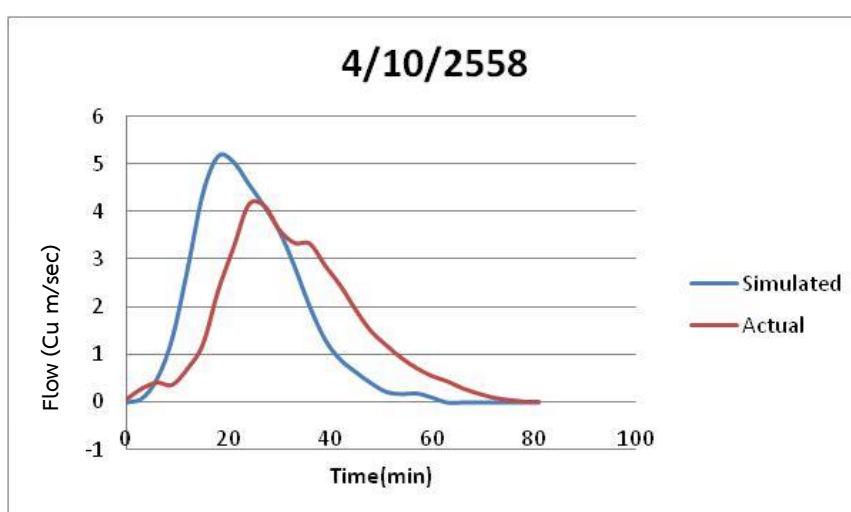
ในลุ่มน้ำ RTC ชุดข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มที่ถูกนำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าได้แก่กราฟน้ำท่าในวันที่ 13 กรกฎาคม 2560 โดยในเหตุการณ์ดังกล่าวมีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่คำนวณได้จากข้อมูลที่บันทึกไว้ทั้งหมด 1,312.88 ลูกบาศก์เมตร มีความลึกของฝนส่วนเกินเหนือพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 4.4 มิลลิเมตร มีอัตราการไหลสูงสุด 1.059 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เมื่อนำค่าฝนส่วนเกินมาคูณค่า ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยทั้งหมด จะได้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินทั้งหมด 1,309.44 ลูกบาศก์เมตร มีอัตราการไหลสูงสุด 0.928 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ดังแสดงในภาพ 28 เมื่อทดสอบความสอดคล้องกันระหว่าง ordinate ของกราฟน้ำท่าทั้ง 2 เส้น ได้ค่า RMSE เท่ากับ 0.281 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่สังเคราะห์ได้คิดเป็นร้อยละ 99.8 ของปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่เกิดขึ้นจริง และอัตราการไหลสูงสุดที่สังเคราะห์ได้ต่ำกว่าอัตราที่เกิดขึ้นจริงร้อยละ 12.3



ภาพที่ 28 เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่วัดได้จริงและที่สังเคราะห์ขึ้น วันที่ 13 กรกฎาคม 2560

หมายเหตุ : Simulate คือ เส้นกราฟที่ได้จากคูณ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยด้วยฝนส่วนเกิน
Actual คือเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณอัตราการไหลจากระดับน้ำที่วัดได้

ชุดข้อมูลที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มที่นำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยได้แก่กราฟน้ำท่าของวันที่ 4 ตุลาคม 2558 โดยในเหตุการณ์ดังกล่าวมีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่คำนวณได้จากข้อมูลที่บันทึกไว้ทั้งหมด 7,181.22 ลูกบาศก์เมตร มีความลึกของฝนส่วนเกินเหนือพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 2.45 มิลลิเมตร มีอัตราการไหลสูงสุด 4.160 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เมื่อนำค่าฝนส่วนเกินมาคูณค่า ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยทั้งหมด จะได้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินทั้งหมด 7,291.20 ลูกบาศก์เมตร มีค่าอัตราการไหลสูงสุด 5.167 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ดังแสดงในภาพ 29 เมื่อทดสอบความสอดคล้องกันระหว่าง ordinate ของกราฟน้ำท่าทั้ง 2 เส้นได้ค่า RMSE เท่ากับ 1.178 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่สังเคราะห์ได้คิดเป็นร้อยละ 100.01 ของปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่เกิดขึ้นจริง และอัตราการไหลสูงสุดที่สังเคราะห์ได้สูงกว่าอัตราการไหลสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงร้อยละ 24.2



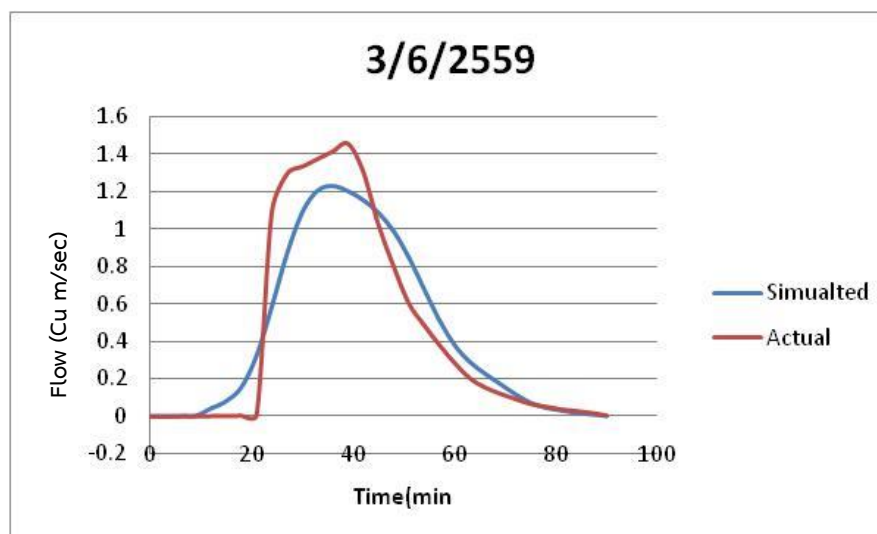
ภาพที่ 29 เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่วัดได้จริงและที่สังเคราะห์ขึ้น วันที่ 4 ตุลาคม 2558

หมายเหตุ : Simulate คือ เส้นกราฟที่ได้จากคูณ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยด้วยฝนส่วนเกิน Actual คือเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณอัตราการไหลจากระดับน้ำที่วัดได้

ลุ่มน้ำ ACC

ในกลุ่มน้ำ ACC มีการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ย 2 เส้นที่มีฐานเวลาต่างกัน คือ 90 นาทีและ 180 นาที สำหรับกราฟที่มีฐานเวลา 90 นาที ชุดข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มที่ถูกนำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยได้แก่กราฟน้ำท่าในวันที่ 3 มิถุนายน 2559 โดยในเหตุการณ์ดังกล่าวมีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่คำนวณได้จากข้อมูลที่บันทึกไว้ทั้งหมด 2,461.90 ลูกบาศก์เมตร มีความลึกของฝนส่วนเกินเหนือพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 3.1 มม. มีอัตราการไหลสูงสุด 1.456 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เมื่อนำค่าฝนส่วนเกินมาคูณค่า ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยทั้งหมด จะได้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินทั้งหมด 2,410.56 ลูกบาศก์เมตร มีอัตราการไหลสูงสุด 1.15 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ดังแสดงในภาพที่ 30 เมื่อทดสอบความสอดคล้องกันระหว่าง ordinate ของกราฟน้ำท่าทั้ง 2 เส้น ได้ค่า RMSE เท่ากับ 0.172

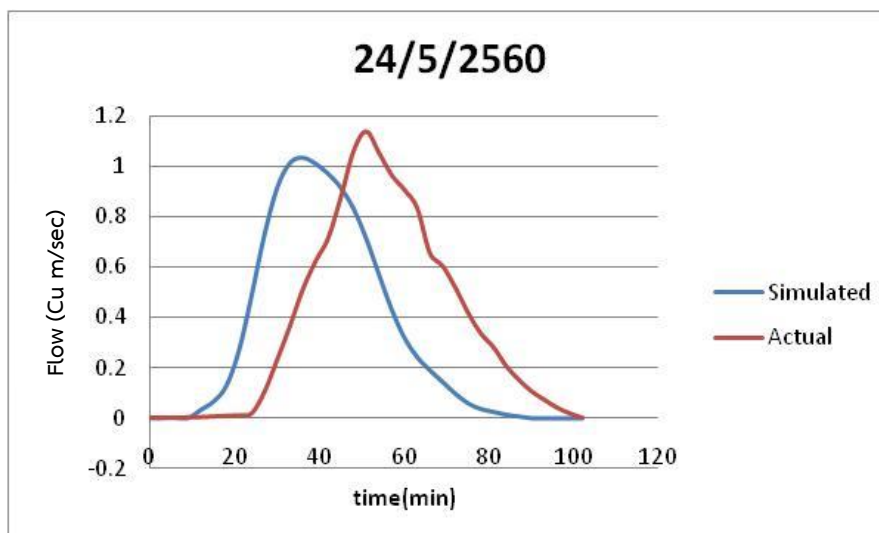
ลูกบาศก์เมตร/วินาที ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่สังเคราะห์ได้คิดเป็นร้อยละ 97.9 ของปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่เกิดขึ้นจริง และอัตราการไหลสูงสุดที่สังเคราะห์ได้ต่ำกว่าอัตราการไหลสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงร้อยละ 12.7



ภาพที่ 30 เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่วัดได้จริงและที่สังเคราะห์ขึ้น วันที่ 3 มิถุนายน 2559

หมายเหตุ : Simulate คือ เส้นกราฟที่ได้จากคุณ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยด้วยฝนส่วนเกิน Actual คือเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณอัตราการไหลจากระดับน้ำที่วัดได้

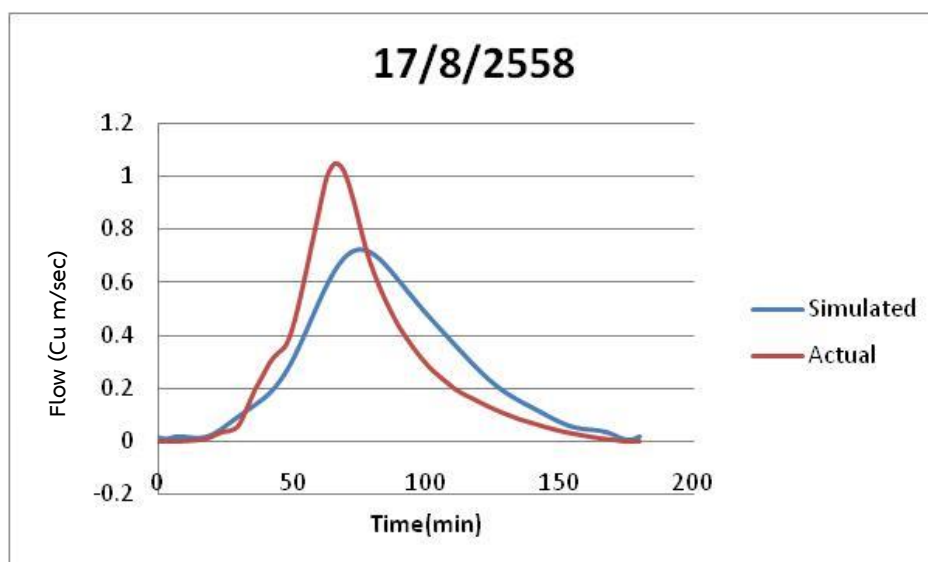
ชุดข้อมูลที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มที่นำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยได้แก่เหตุการณ์เมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม 2560 โดยในเหตุการณ์ดังกล่าวมีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่คำนวณได้จากข้อมูลที่บันทึกไว้ทั้งหมด 2,307.84 ลูกบาศก์เมตร มีความลึกของฝนส่วนเกินเหนือพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 2.6 มม. มีอัตราการไหลสูงสุด 1.137 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เมื่อนำค่าฝนส่วนเกินมาคูณค่า ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยทั้งหมด จะได้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินทั้งหมด 2,021.76 ลูกบาศก์เมตร มีอัตราการไหลสูงสุด 1.030 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ดังแสดงในภาพที่ 31 เมื่อทดสอบความสอดคล้องกันระหว่าง ordinate ของกราฟน้ำท่าทั้ง 2 เส้น ได้ค่า RMSE เท่ากับ 0.357 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ปริมาณน้ำไหลบ่าที่สังเคราะห์ได้คิดเป็นร้อยละ 87.6 ของปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่เกิดขึ้นจริง และอัตราการไหลสูงสุดที่สังเคราะห์ได้ต่ำกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริงร้อยละ 11.2



ภาพที่ 31 เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่วัดได้จริงและที่สังเคราะห์ขึ้น วันที่ 24 พฤษภาคม 2560

หมายเหตุ : Simulate คือ เส้นกราฟที่ได้จากคุณ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยด้วยฝนส่วนเกิน
Actual คือเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณอัตราการไหลจากระดับน้ำที่วัดได้

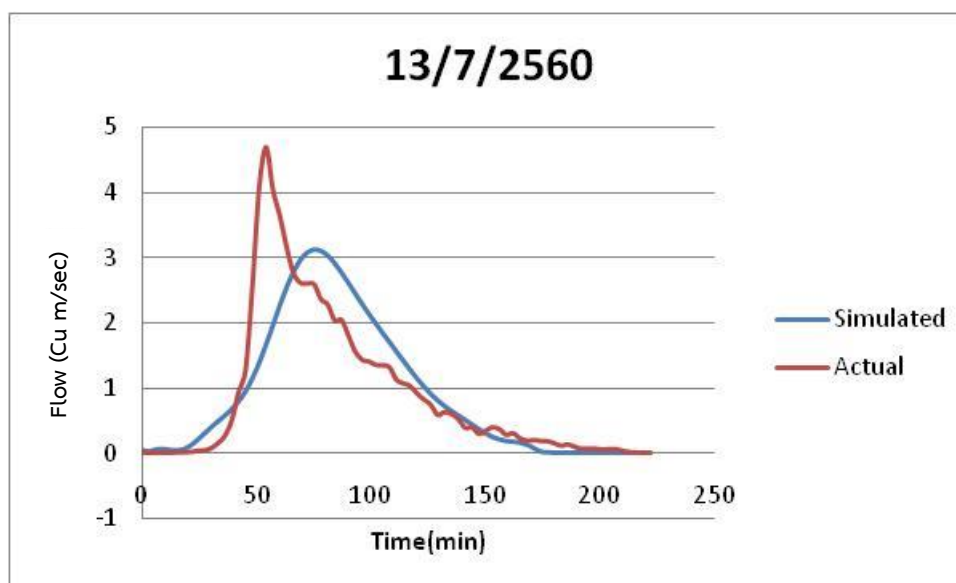
สำหรับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยที่มีฐานเวลา 180 นาที ชุดข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มที่ถูกนำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยได้แก่กราฟน้ำท่าในวันที่ 17 สิงหาคม 2558 โดยในเหตุการณ์ดังกล่าวมีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่คำนวณได้จากข้อมูลที่บันทึกไว้ทั้งหมด 2,782.47 ลูกบาศก์เมตร มีความลึกของฝนส่วนเกินเหนือพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 3.6 มม. มีอัตราการไหลสูงสุด 0.720 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เมื่อนำค่าฝนส่วนเกินมาคูณค่า ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยทั้งหมด จะได้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินทั้งหมด 2,795.88 ลูกบาศก์เมตร มีอัตราการไหลสูงสุด 1.048 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ดังแสดงในภาพที่ 32 เมื่อทดสอบความสอดคล้องกันระหว่าง ordinate ของกราฟน้ำท่าทั้ง 2 เส้น ได้ค่า RMSE เท่ากับ 0.141 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่สังเคราะห์ได้คิดเป็นร้อยละ 100.5 ของปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่เกิดขึ้นจริง และอัตราการไหลสูงสุดที่สังเคราะห์ได้ต่ำกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริงร้อยละ 31.3



ภาพที่ 32 เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่วัดได้จริงและที่สังเคราะห์ขึ้น วันที่ 17 สิงหาคม 2558

หมายเหตุ : Simulate คือ เส้นกราฟที่ได้จากคุณ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยด้วยฝนส่วนเกิน
Actual คือเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณอัตราการไหลจากระดับน้ำที่วัดได้

ชุดข้อมูลที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มที่นำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยได้แก่เหตุการณ์เมื่อวันที่ 13 กรกฎาคม 2560 โดยในเหตุการณ์ดังกล่าวมีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่คำนวณได้จากข้อมูลที่บันทึกไว้ทั้งหมด 12,149.84 ลูกบาศก์เมตร มีความลึกของฝนส่วนเกินเหนือพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 15.6 มม. มี อัตราการไหลสูงสุด 4.689 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เมื่อนำค่าฝนส่วนเกินมาคูณค่า ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ย จะได้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่มีปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินทั้งหมด 12,115.50 ลูกบาศก์เมตร มีอัตราการไหลสูงสุด 3.121 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ดังแสดงในภาพที่ 33 เมื่อทดสอบความสอดคล้องกันระหว่าง ordinate ของกราฟน้ำท่าทั้ง 2 ลูก ได้ค่า RMSE เท่ากับ 0.662 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่สังเคราะห์ได้คิดเป็นร้อยละ 99.7 ของปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่เกิดขึ้นจริง และอัตราการไหลสูงสุดที่สังเคราะห์ได้ต่ำกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริงร้อยละ 33.4



ภาพที่ 33 เปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่วัดได้จริงและที่สังเคราะห์ขึ้น วันที่ 13 กรกฎาคม 2560

หมายเหตุ : Simulate คือ เส้นกราฟที่ได้จากคุณ ordinate ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยด้วยฝนส่วนเกิน Actual คือเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณอัตราการไหลจากระดับน้ำที่วัดได้

อิทธิพลของการใช้ที่ดินต่อการเกิดน้ำไหลบ่าผิวดิน

ด้วยเหตุที่ไม่สามารถสร้างสัมประสิทธิ์น้ำไหลบ่าได้จากการหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำไหลบ่าต่อหนึ่งพายุฝนและปริมาณน้ำฝนของพายุฝนนั้น เนื่องจากไม่ทราบปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำแน่นอน จึงทำการเปรียบเทียบอิทธิพลของการใช้ที่ดินด้วยการหาปริมาณน้ำไหลบ่าต่อหน่วยพื้นที่เมื่อเกิดอัตราการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยแทน หลักการทางอุทกวิทยากำหนดว่าอัตราการไหลสูงสุดเกิดขึ้นจากน้ำทุกส่วนในลุ่มน้ำไหลมาถึงจุดปลายสุดของลุ่มน้ำพร้อมๆ ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลสูงสุดและพื้นที่ลุ่มน้ำจึงสามารถบอกได้ว่ามีปริมาณน้ำไหลบ่าเกิดขึ้นต่อหน่วยพื้นที่เท่าไร ซึ่งพบว่าลุ่มน้ำ RCT มีน้ำไหลบ่าเกิดขึ้น 0.0113 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ ในขณะที่ลุ่มน้ำ ACC มีน้ำไหลบ่าเกิดขึ้น 0.0041 และ 0.0081 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ สำหรับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยที่มีฐานเวลา 90 และ 180 นาทีตามลำดับ

สภาพภูมิประเทศโดยรวมของลุ่มน้ำศึกษา นอกจากรูปทรงที่ต่างกันแล้ว พบว่าลุ่มน้ำทั้งสองมีสัดส่วนของลักษณะภูมิประเทศไปในการทำงานเดียวกัน กล่าวคือภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นเนินเขา ภูเขาสูงชันหรือสูงชันมากดังแสดงในตารางที่ 1 และ 3 ความลาดชันของลำน้ำสายหลักใกล้เคียงกัน คือ 0.144 เมตร : เมตรในลุ่มน้ำ RTC และ 0.166 เมตร : เมตรในลุ่มน้ำ ACC ซึ่งปัจจัยทั้ง 2 ประการทำให้ความเร็วในการไหลของน้ำไหลบ่าผิวดินและความเร็วในการไหลของน้ำในลำน้ำที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำทั้งสองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ แต่รูปร่างของลุ่มน้ำ RTC ที่ลักษณะเป็นรูปพัดและขนาดที่เล็กกว่าลุ่มน้ำ ACC ทำให้มีระยะทางในการไหลที่สั้นกว่าลุ่มน้ำมีการตอบสนองที่เร็วกว่า มีค่าระยะเวลาก่อเกิดอัตราการไหลสูงสุดและฐานเวลาที่สั้นกว่า

เนื้อดินที่พบในกลุ่มน้ำ RTC และ ACC ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนดินเหนียวเช่นเดียวกันดังแสดงในตารางที่ 2 และ 4 เอกสารวิชาการของ Natural Resource Conservation Service (2007) อธิบายถึงคุณสมบัติของดินตามลักษณะการตอบสนองทางอุทกวิทยาโดยแบ่งเป็น 4 กลุ่ม เรียกว่า Hydrologic Soil Group A, B, C และ D ตามลักษณะการซึมผ่านดินและโอกาสที่จะเกิดน้ำไหลบ่าผิวดิน โดย Group A คือกลุ่มที่มีการซึมน้ำได้ดีที่สุด มีโอกาสที่จะเกิดน้ำไหลบ่าได้น้อยที่สุดในขณะที่ Group D มีการซึมผ่านดินได้น้อยที่สุดและมีโอกาสเกิดน้ำไหลบ่าผิวดินได้มากที่สุด เมื่อเทียบเคียงจากข้อมูลชุดดินในตารางที่ 2 และ 4 แล้วพบว่าในกลุ่มน้ำ RTC มีสัดส่วนของดินที่อยู่ใน Hydrologic Soil Group A ร้อยละ 89.8 ส่วนในกลุ่มน้ำ ACC มีสัดส่วนของดินที่อยู่ใน Hydrologic Soil Group A ร้อยละ 95.3 แสดงว่าดินส่วนใหญ่ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งสองมีสมบัติทางอุทกวิทยาที่คล้ายคลึงกัน คือ มีการซึมผ่านดินได้ดี และมีโอกาสเกิดน้ำไหลบ่าได้น้อยเช่นเดียวกัน ซึ่งทำให้ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดน้ำไหลบ่าที่แตกต่างกันคือการจัดการที่ดินเพื่อปลูกพืช

ในแง่ของการจัดการที่ดิน Recha *et al.* (2012) ชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ป่าเขตร้อนมาเป็นพื้นที่ปลูกข้าวโพดจะทำให้มีสัมประสิทธิ์น้ำไหลบ่าเพิ่มขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์น้ำไหลบ่านี้จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการใช้พื้นที่เพื่อการปลูกข้าวโพดอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้คณะผู้วิจัยให้เหตุผลว่าเกิดจากการที่ค่าความหนาแน่นรวมของดินเพิ่มขึ้น ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินลดลงและความพรุนรวมของดินลดลง ทั้งยังให้คำแนะนำว่าควรลดสัมประสิทธิ์การเกิดน้ำไหลบ่าลงด้วยการส่งเสริมให้เกษตรกรได้ใช้วิธีการอนุรักษ์ดินและน้ำอย่างง่าย อาทิ การปลูกพืชโดยไม่ไถพรวน การใช้วัสดุคลุมดิน การปลูกพืชหมุนเวียนและการปลูกพืชล้มลุกร่วมกับไม้ยืนต้น ในทางตรงกันข้าม Lacombe *et al.* (2016) ได้ชี้ให้เห็นว่าการปลูกสักเป็นไม้ยืนต้นเศรษฐกิจชนิดเดียวเป็นแปลงใหญ่ในประเทศลาว โดยทยอยปลูกทดแทนการใช้ที่ดินแบบไร่หมุนเวียนที่สลับระหว่างการปลูกข้าวไร่และทิ้งร้าง ทำให้ปริมาณน้ำไหลบ่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ที่ดินเพื่อปลูกพืชไร่โดยอาศัยน้ำฝนเป็นพืชเชิงเดี่ยว ในขณะที่ในประเทศเวียดนามเกษตรกรได้เลิกการทำไร่หมุนเวียนและทยอยปลูกไม้ยืนต้นหลากหลายชนิดทดแทน ทำให้เกิดการฟื้นฟูสภาพป่าธรรมชาติขึ้นและส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลบ่าลดลง โดยคณะผู้วิจัยให้เหตุผลว่า ในพื้นที่ปลูกสักมีทรงพุ่มของพืชเพียงชั้นเดียว แรงกระแทกของเม็ดฝนที่ตกจากทรงพุ่มสักโดยตรง (through fall) ที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไป จะมีพลังงานจลน์เท่ากับเม็ดฝนที่ตกกระทบหน้าดินตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถทำลายโครงสร้างของชั้นหน้าดินทำให้เกิดลักษณะที่บีบน้ำบางส่วนขึ้น ลักษณะเช่นนี้เทียบเคียงได้กับพื้นที่ปลูกยางพาราในโครงการวิจัยนี้ที่พื้นที่ใต้ทรงพุ่มของยางพารามีแสงส่องถึงได้น้อย เกษตรกรทำการกำจัดวัชพืชหมดจด นอกจากนี้ในช่วงฤดูแล้งเกษตรกรยังเคลื่อนย้ายใบยางที่ร่วงหล่นออกจากพื้นที่จนหมดเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดไฟไหม้ ทำให้พื้นดินใต้ทรงพุ่มยางพาราไม่มีสิ่งปกคลุมเช่นเดียวกับกรณีของแปลงปลูกสักในประเทศลาว เม็ดฝนที่ตกจากทรงพุ่มของยางพารากระทบหน้าดินโดยตรงเช่นกัน อันเป็นเหตุให้พื้นที่ปลูกยางพาราเกิดน้ำไหลบ่าผิวดินมากกว่าพื้นที่ปลูกข้าวโพดแม้ว่าจะมีการจัดระบบอนุรักษ์ดินและน้ำแล้วก็ตาม

สรุป

การตอบสนองต่อพายุฝนของกลุ่มน้ำศึกษาที่มีขนาดพื้นที่เล็กกว่าหนึ่งตารางกิโลเมตรสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเช่นเดียวกับกลุ่มน้ำขนาดใหญ่ ด้วยเหตุที่การศึกษานี้ทำในกลุ่มน้ำขนาดเล็กและในการคัดเลือกกลุ่มน้ำเพื่อทำการศึกษาได้พยายามคัดเลือกให้ได้กลุ่มน้ำที่มีรูปแบบการใช้ที่ดินที่สนใจศึกษาครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เป็นไปไม่ได้ในกลุ่มน้ำขนาดใหญ่ ดังนั้นในกรณีนี้จึงอาจกล่าวได้ว่ากลุ่มน้ำศึกษาทั้งสองเป็นตัวแทนของพื้นที่สูงที่มีการปลูกยางพาราและปลูกพืชไร่ ซึ่งเป็นรูปแบบการใช้ที่ดินที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อการอำานวยน้ำและการชะล้างพังทลายของดินทั้งด้านบวกและลบมากที่สุด

มิติสำคัญ 4 ประการของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามหลักการของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า คือ กลุ่มน้ำมีการตอบสนองต่อพายุฝนส่วนเกินหนึ่งหน่วย (ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ 1 หน่วยเท่ากับ 1 เซนติเมตร) อย่างค่อนข้างสม่ำเสมอ กล่าวคือ ได้ปริมาณน้ำไหลบ่าที่เข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งคำนวณได้จากความลึกของฝนส่วนเกินเหนือพื้นที่กลุ่มน้ำทั้งหมด ซึ่งแสดงโดยค่าฐานนิยมของปริมาณน้ำไหลบ่าในแต่ละกลุ่มน้ำ ส่วนพารามิเตอร์ที่ควบคุมรูปทรงอื่นๆ อันได้แก่ ฐานเวลา ระยะเวลาการเกิดน้ำไหลบ่าสูงสุด และอัตราการน้ำไหลบ่าสูงสุดจะผันแปรไปตามตำแหน่งศูนย์กลางของพายุฝนในกลุ่มน้ำและการเคลื่อนตัวของพายุฝน ซึ่งจะทำให้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของแต่ละกลุ่มน้ำมีลักษณะต่างกันโดยที่มีพื้นที่ใต้กราฟหรือปริมาณน้ำไหลบ่าทั้งหมดเท่ากันเกือบทั้งหมด ค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic mean) ของพารามิเตอร์ที่ควบคุมรูปทรงทั้ง 3 ประการ จึงไม่ใช่ตัวแทนที่ดีที่จะนำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ย

ข้อดีของการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยด้วยสมการพหุนามคือ การปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ทำด้วยวิธี least square adjustment สามารถหาค่าความลาดชันของเส้นกราฟในช่วงเวลาเดียวกัน (หรือในแต่ละคู่ ordinate ที่อยู่ติดกัน) ที่เป็นตัวแทนของชุดข้อมูลที่นำมาเฉลี่ยได้ อันจะทำให้ได้เส้นโค้งด้านเพิ่มและด้านลดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่ใกล้เคียงกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งความลาดชันของเส้นโค้งด้านเพิ่มจะทำให้ค่าระยะเวลาการเกิดน้ำไหลบ่าสูงสุดเคลื่อนไปอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมบนฐานเวลาด้วย อย่างไรก็ตามค่าอัตราการเกิดน้ำไหลบ่าสูงสุดที่คำนวณได้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในทั้งสองกลุ่มน้ำ

ผลทดสอบการนำกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยมาสร้างกราฟน้ำท่าชี้ให้เห็นว่า สามารถคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าต่อพายุฝนที่เกิดขึ้นได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงอย่างน่าพอใจ ซึ่งทำให้มีความเชื่อมั่นที่จะนำผลการศึกษานี้ไปใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายสภาพอำานวยน้ำของกลุ่มน้ำขนาดเล็กบนพื้นที่สูง อันเป็นวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยหลักต่อไปได้ ในส่วนของค่าอัตราการเกิดน้ำไหลบ่าสูงสุดยังคงมีความคลาดเคลื่อนในระดับหนึ่ง ซึ่งหากจะนำกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าดังกล่าวไปใช้ทำการคำนวณอัตราการน้ำไหลบ่าสูงสุดในกลุ่มน้ำอื่นๆ เพื่อการออกแบบอาคารทางชลศาสตร์ ผู้ใช้จำเป็นต้องมีความเข้าใจหลักการทางอุทกวิทยาและมีข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการตอบสนองของกลุ่มน้ำนั้นๆ ต่อพายุฝนตามสมควร

การเปรียบเทียบอัตราการเกิดน้ำไหลบ่าสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่เพื่อศึกษาอิทธิพลของการใช้ที่ดินชี้ให้เห็นว่าการทำการเกษตรโดยปลูกพืชเชิงเดี่ยวที่เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่มีทรงพุ่มเบียดชิดกันบนพื้นที่ลาดชัน ไม่ได้ทำให้อัตราการเกิดน้ำไหลบ่าลดลงตามที่คาดการณ์ แม้ว่าจะเป็น การปลูกภายใต้มาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมก็ตาม ในทางตรงกันข้ามปริมาณน้ำไหลบ่าต่อหน่วยพื้นที่ที่เกิดขึ้นกลับมีปริมาณมากกว่าการปลูกพืชไร่เป็นพืชเชิงเดี่ยว ซึ่งปริมาณน้ำไหลบ่าต่อหน่วยพื้นที่ที่มากขึ้นจะทำให้เกิดการชะล้างหน้าดินและการพัดพาตะกอนออกจากพื้นที่ได้มากขึ้น ในทางหนึ่งทำให้ดินในพื้นที่สูญเสียความอุดมสมบูรณ์ ในอีกทางหนึ่งปริมาณตะกอนยังอาจส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำและระบบนิเวศในลำน้ำที่อยู่ต่ำลงไปด้วย

การนำไปใช้ประโยชน์

1. ข้อค้นพบที่ปรากฏว่าการปลูกยางพาราแบบพืชเชิงเดี่ยวบนพื้นที่ลาดชันสูงไม่ได้ช่วยลดอัตราการเกิดน้ำไหลบ่าสูงสุดของพื้นที่ได้ดีกว่าการปลูกพืชไร่เป็นพืชเชิงเดี่ยว ชี้ให้เห็นว่าระบบการปลูกพืชที่มีไม้ยืนต้นบนพื้นที่สูงที่เป็นต้นน้ำลำธารควรจะเป็นการปลูกพืชแบบผสมผสาน มีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ ความสูงของชั้นเรือนยอดและลักษณะทรงต้นเลียนแบบสภาพพื้นที่ป่า ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดซับน้ำฝนและชะลอการเกิดน้ำไหลบ่า การจัดให้มีมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำควบคู่ไปกับการปลูกไม้ยืนต้นเชิงเดี่ยวไม่สามารถทดแทนความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชในแง่ของการอำวน้ำ ได้วิธีการที่เหมาะสมคือการปลูกไม้ยืนต้นผสมผสานกับการเปิดโอกาสให้ไม้พื้นถิ่นได้ฟื้นตัวเอง เกิดเป็นชั้นของทรงพุ่มที่มีผลลดกันหลายชั้นสอดคล้องกับที่ Lacombe *et al.* (2016) เสนอ อันจะเป็นแนวทางสำหรับการกำหนดวิธีการปลูกไม้ยืนต้นผสมผสานในมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่สูงต่อไป

2. ด้วยเหตุที่ขนาดพื้นที่ศึกษาอยู่ในย่านที่เป็นเกณฑ์เฉลี่ยของการจัดทำมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำบนพื้นที่สูง จึงสามารถใช้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยที่สร้างขึ้นสำหรับคำนวณปริมาณน้ำไหลบ่าและอัตราน้ำไหลบ่าสูงสุดที่เกิดจากพายุฝนออกแบบ (design storm) ใดๆ ได้ เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ในการคำนวณเพื่อกำหนดแบบทางชลศาสตร์สำหรับอาคารบังคับน้ำแบบต่างๆ อาทิ ขนาดทางระบายน้ำของบ่อตกตะกอน อัตราที่น้ำไหลข้ามสันฝายของอาคารชะลอความเร็วของน้ำ ขนาดของท่อลอดถนนในทางลำเลียงในไร่นา ฯลฯ อันเป็นมาตรการเพิ่มเติมในระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ ทั้งนี้ผู้ใช้จำเป็นต้องมีความเข้าใจหลักการทางอุทกวิทยาและมีข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการตอบสนองของกลุ่มน้ำนั้นๆ ต่อพายุฝนตามสมควรดังกล่าวแล้วข้างต้น

3. การสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าเฉลี่ยด้วยวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมของสมการพหุนามมักไม่เป็นที่นิยมของนักวิจัย เนื่องจากเป็นวิธีที่มีการคำนวณซับซ้อน และแต่เดิมหากไม่ใช่ว่าต้องจัดซื้อโปรแกรมสำเร็จรูปชั้นสูงทางคณิตศาสตร์หรืออุทกวิทยาซึ่งมีราคาแพงเพื่อใช้ในการทำงาน นักวิจัยก็ต้องอาศัยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำการคำนวณด้วยตัวเอง อันเป็นเรื่องที่ยุ่งยากสิ้นเปลืองเวลา และมักจะถูกท้วงติงเรื่องความถูกต้องของรายการคำนวณหรือการนำไปใช้ได้กับชุดข้อมูลอื่น แต่การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าสามารถใช้ฟังก์ชัน LINEST บนโปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel ช่วยทำการคำนวณได้โดยสะดวกในเวลาอันสั้น โดยที่วิธีการ

สร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำด้วยสมการพหุนามนี้เป็นวิธีที่ไม่ขึ้นกับขนาดของกลุ่มน้ำ ต่างจากวิธีการอื่นๆ ที่อาศัยสมการ empirical จึงสามารถใช้การได้ทั่วไปกับกลุ่มน้ำทุกขนาด ซึ่งจะเปิดโอกาสให้มีการศึกษาวิจัยทำนองเดียวกันนี้สำหรับกลุ่มน้ำที่มีขนาดใกล้เคียงกับกลุ่มน้ำศึกษาที่ไม่เหมาะจะทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางอุทกวิทยาทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

- กัณตถณ แก้วดวง, สุภาพร สิ้นศิริพัฒนาม และนิลภัทร คงพ่วง. 2558. **การศึกษาอิทธิพลของการใช้ที่ดิน ต่อพัฒนาการของดินบนพื้นที่ลาดชันสูงในภาคเหนือของประเทศไทย**. เอกสารวิชาการ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 7 กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 31 หน้า
- ส่วนบริหารจัดการน้ำ สำนักงานชลประทานที่ 5. 2560. **คู่มือปฏิบัติงาน การคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าราย 15 นาที จากเรดาร์ฝนกรมอุตุนิยมวิทยา**. กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 19 หน้า
- ปราโมท พลพณะนาวิ. 2554. **หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน**. สำนักงานชลประทานที่ 8 กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 580 หน้า
- วิษุวัตม์ แต่สมบัติ. 2555. **เอกสารประกอบการสอนวิชา อุทกวิทยาทางวิศวกรรม**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 403 หน้า
- สงวน กันทะวงศ์ และคณะ. 2552. **กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) ของลุ่มน้ำต่างๆ ในประเทศไทย**. เอกสารทางวิชาการ Hydrology No. 1502/08 ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ. 58 หน้า
- Austin, G L. and Kim, N. D. 2005. Topographic Effect on Precipitation In M. G. Anderson (ed.). **Encyclopedia of Hydrology and Science**. John Wiley & Sons, Ltd., 1-7
- Barszcz, M., Banasik K. and Tönsmann, F. 2006. **Estimation of Lag Times of Rainfall Events for Three Small River Basins**. (Online) <http://www.ejpau.media.pl/volume9/issue2/art-30.html>, October 10, 2017
- Bhunya, P.K., Panda, S.N., and Goel,M.K. 2011. Synthetic Unit Hydrograph Method : A Critical Review. **The Open Hydrology Journal**. 2011(5): 1-8.
- Brodie R.S. and Hostetler, S. 2009. **A review of techniques for analyzing baseflow from stream hydrographs**. (Online) <https://pdfs.semanticscholar.org/53e7/0d6591eb10f468d9c27929fb9945f3f29f>, March 14, 2019

- Devi, D. and Taparanjan, D. 2016. Derivation of Synthetic Unit Hydrograph for Ranganadi Basin and Dikrong River Basin in Assam-Arunachal. **International Journal of Innovative Research and Engineering**. 2 (4) : 145 – 153.
- DHI Water and Environment. 2009. **Mike 11 Modeling System for Rivers and Channels Reference Manual**. (Online)
http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Water_Resources/Mike_11_ref.pdf, March 15, 2019
- FLO 2D Software Inc. 2009. **FLO 2D Reference Manual 2009**. (Online) <https://www.flo-2d.com/download>, March 15, 2019
- Ghorbani, M. A., et al. 2017. Probability Distribution Functions for Unit Hydrographs with Optimization Using Genetic Algorithm. **Applied Water Science**. 7 (2): 663-676.
- Grimaldi, S., PeTroselli, A., and Nardi, F. 2012. A Parsimonious Geomorphological Unit Hydrograph for Rainfall-runoff Modeling in Small Ungauged Basin. **Hydrological Sciences Journal**. 57(1): 73-83.
- Hydrologic Engineering Center. 2013. **HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension User's Manual**. (Online) <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Reference%20Manual.pdf>, March 15, 2019
- Inman, E. j. 1987. **Simulation of flood hydrographs for Georgia Streams**. Denver: U.S. Geological Survey Water Supply. (Online) <https://pubs.usgs.gov/wsp/2317/report.pdf>, January 3, 2018
- Johnson, P. and Clement, M. n.d. **Determination of Instantaneous Unit Hydrograph by Least Square Polynomial**. (Online) <http://hydrologie.org/redbooks/a100/101006.pdf>, January 3, 2018

- Lacombe, Pierret, A. *et al.* 2016. Contradictory Hydrological Impacts of Aforestation in the Humid Tropic Evidenced by Long-term Field Monitoring and Simulation Modelling. **Hydrology and Earth System Sciences**. 20: 2691-2704.
- Linsley, R. K., Max, A., Kohler, J., and Paulhus, L.H. 1988. **Hydrology for Engineers**: McGraw-Hill Book Company. London
- McCuen, R. H. 1998. **Hydrologic Analysis and Design**. 2nd ed. Upper Saddle River.
- Natural Resource Conservation Service. 2007. **Hydrologic Soil Group in National Engineering Handbook**. (Online)
https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSCconsumption/download?cid=stelprdb1262857&ext=pdf, December 6, 2018
- Parmentier, B., James, C.I. D., and Michael, B. 2003. Root Selection Method in Flood Analysis. **Hydrology and Earth System Sciences**. 7 (2) : 151–161.
- Pradhan, N.R. and Loney, D. 2017. **Nonlinear Scaling of Unit Hydrograph Peaking Factor for Dam safety**. (Online) <http://adsabs.harvard.edu/abs/2017AGUFMNH33B0259P>, January 3, 2018
- Ramírez, J. A. 2000. Prediction and Modeling of Flood Hydrology and Hydraulics. Chapter 11 In Ellen Wohl (ed.). **Inland Flood Hazards: Human, Riparian and Aquatic Communities**. Colorado: Cambridge University Press. 1-52
- Ignacio, R. I. and Marcelo, G. S. 1982. A Geomorphoclimatic Theory of the Instantaneous Unit Hydrograph. **Water Resources Research**. 18 (4) : 877-886.
- Recha, J. W. et al. 2012. Stream Discharge in Tropical Headwater Catchments as a Result of Forest Clearing and Soil Degradation. **Earth Interaction**. 16 (13): 1-18.
- Seong, K. W. 2017. A Practical Approach Deriving Optimal Unit Hydrograph from Noisy Runoff in Absence of Rainfall Data. **Civil Engineering**. DOI :10.20944/preprint201710.0158.v1.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลระดับน้ำจากกลุ่มน้ำ RTC เมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2559

วันที่	เวลา	ระดับน้ำ
1/7/2559	15:27:00	0.007
	15:30:00	0.01
	15:33:00	0.01
	15:36:00	0.015
	15:39:00	0.015
	15:42:00	0.015
	15:45:00	0.015
	15:48:00	0.031
	15:51:00	0.083
	15:54:00	0.12
	15:57:00	0.172
	16:00:00	0.184
	16:03:00	0.184
	16:06:00	0.172
	16:09:00	0.15
	16:12:00	0.14
	16:15:00	0.13
	16:18:00	0.11
	16:21:00	0.1
	16:24:00	0.091

วันที่	เวลา	ระดับน้ำ
	16:27:00	0.074
	16:30:00	0.066
	16:33:00	0.066
	16:36:00	0.058
	16:39:00	0.051
	16:42:00	0.051
	16:45:00	0.044
	16:48:00	0.037
	16:51:00	0.037
	16:54:00	0.037
	16:57:00	0.037
	17:00:00	0.031
	17:03:00	0.031
	17:06:00	0.031
	17:09:00	0.031
	17:12:00	0.031
	17:15:00	0.031
	17:18:00	0.025
	17:21:00	0.025
	17:24:00	0.025

ตารางภาคผนวกที่ 2 มิติสำคัญของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากลุ่มน้ำ RTC เรียงลำดับตามอัตราการไหลสูงสุด

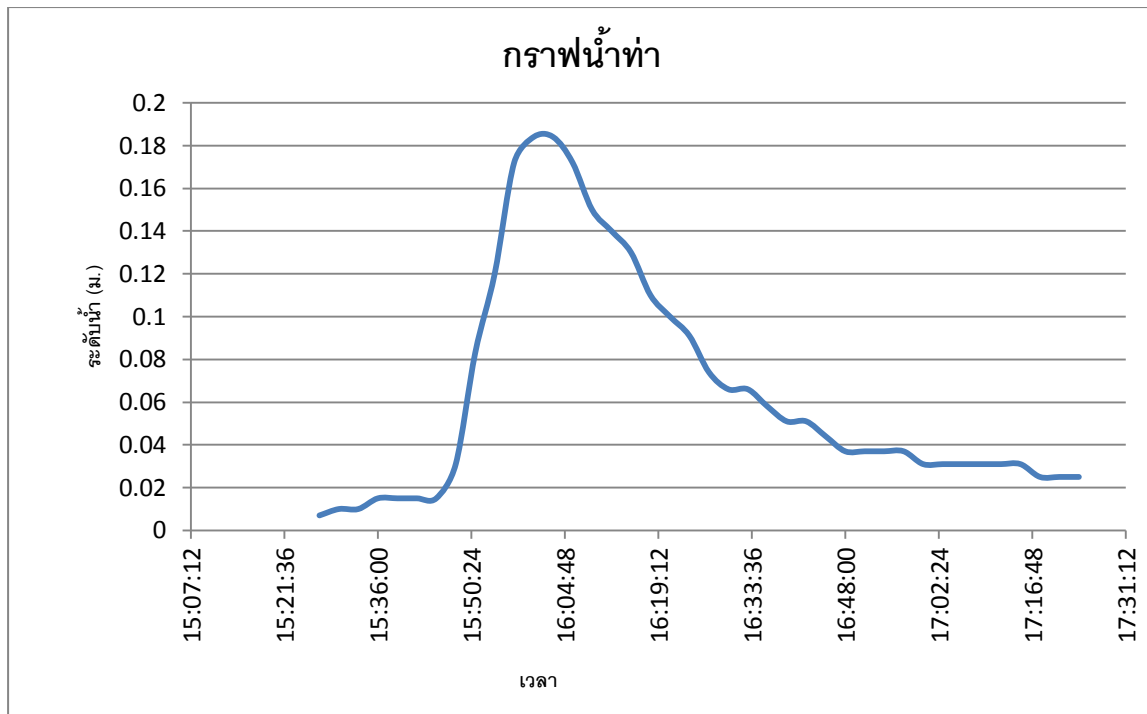
Qp (Cu m/s/cm)	Tp (min)	Tb (min)	Total Q (cu m)
1.481	54	93	2976.00
1.518	45	90	2975.00
1.699	27	84	2975.85
1.789	27	66	2997.20
1.953	27	75	2976.00
2.000	21	69	2976.00
2.058	15	75	2971.00
2.189	27	69	2971.44
2.256	21	57	2976.00
2.390	18	54	2976.00
2.400	33	60	2976.00
2.573	24	42	2976.00
2.622	24	69	2976.00
2.631	30	57	2976.00
2.718	48	78	2976.00
2.892	15	45	2976.00
3.075	21	51	2976.00
3.165	15	42	2953.52
3.231	21	51	2976.00
3.333	15	45	2976.00
3.352	27	57	2976.00
3.517	15	45	2976.00
3.814	9	33	2976.00
3.819	15	42	2976.04
4.004	15	51	2976.00

หมายเหตุ Qp : อัตราการไหลสูงสุด Tp : ระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด Tb : ฐานเวลา และ Total Q : ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่เกิดจากฝนส่วนเกิน 1 เซนติเมตร

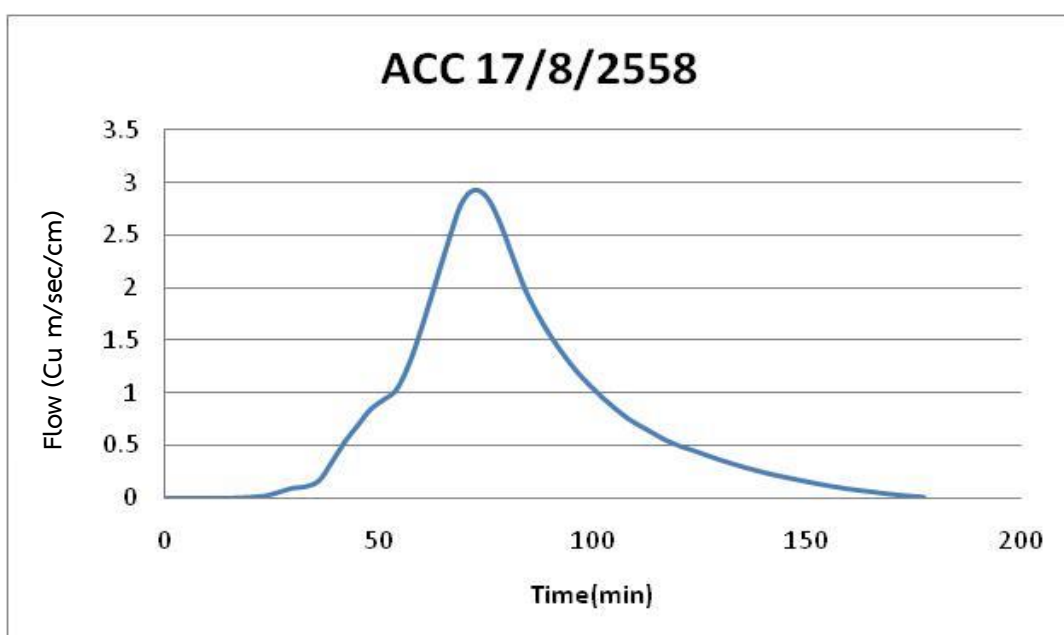
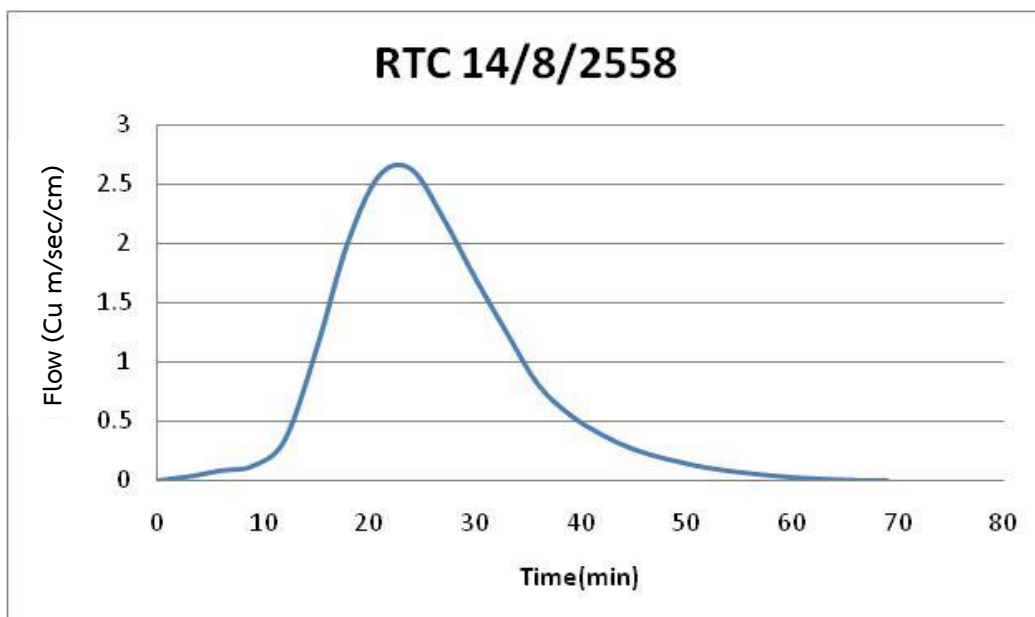
ตารางภาคผนวกที่ 3 มิติสำคัญของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากลุ่มน้ำ ACC เรียงลำดับตามอัตราการไหลสูงสุด

Qp (Cu m/s/cm)	Tp (min)	Tb (min)	Total Q (cu m)
2.124	81	183	7776.0
2.349	54	138	7776.0
2.436	96	171	7776.0
2.930	72	177	7776.0
2.963	63	159	7776.0
3.001	54	222	7776.0
3.122	27	129	7776.0
3.380	72	120	7776.0
3.832	35	87	7770.5
4.600	39	93	7776.0
6.396	45	78	7776.0
7.018	21	57	7774.7
7.749	33	66	7776.0

หมายเหตุ Qp : อัตราการไหลสูงสุด Tp : ระยะเวลาการเกิดอัตราการไหลสูงสุด Tb : ฐานเวลา และ Total Q : ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินที่เกิดจากฝนส่วนเกิน 1 เซนติเมตร



ภาพภาคผนวกที่ 1 ตัวอย่างกราฟน้ำท่าในหน่วยวัดที่เป็นระดับน้ำของกลุ่มน้ำ RTC จากข้อมูลในตารางภาคผนวกที่ 1



ภาพภาคผนวกที่ 2 ตัวอย่างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากลุ่มน้ำ RTC และ ACC