



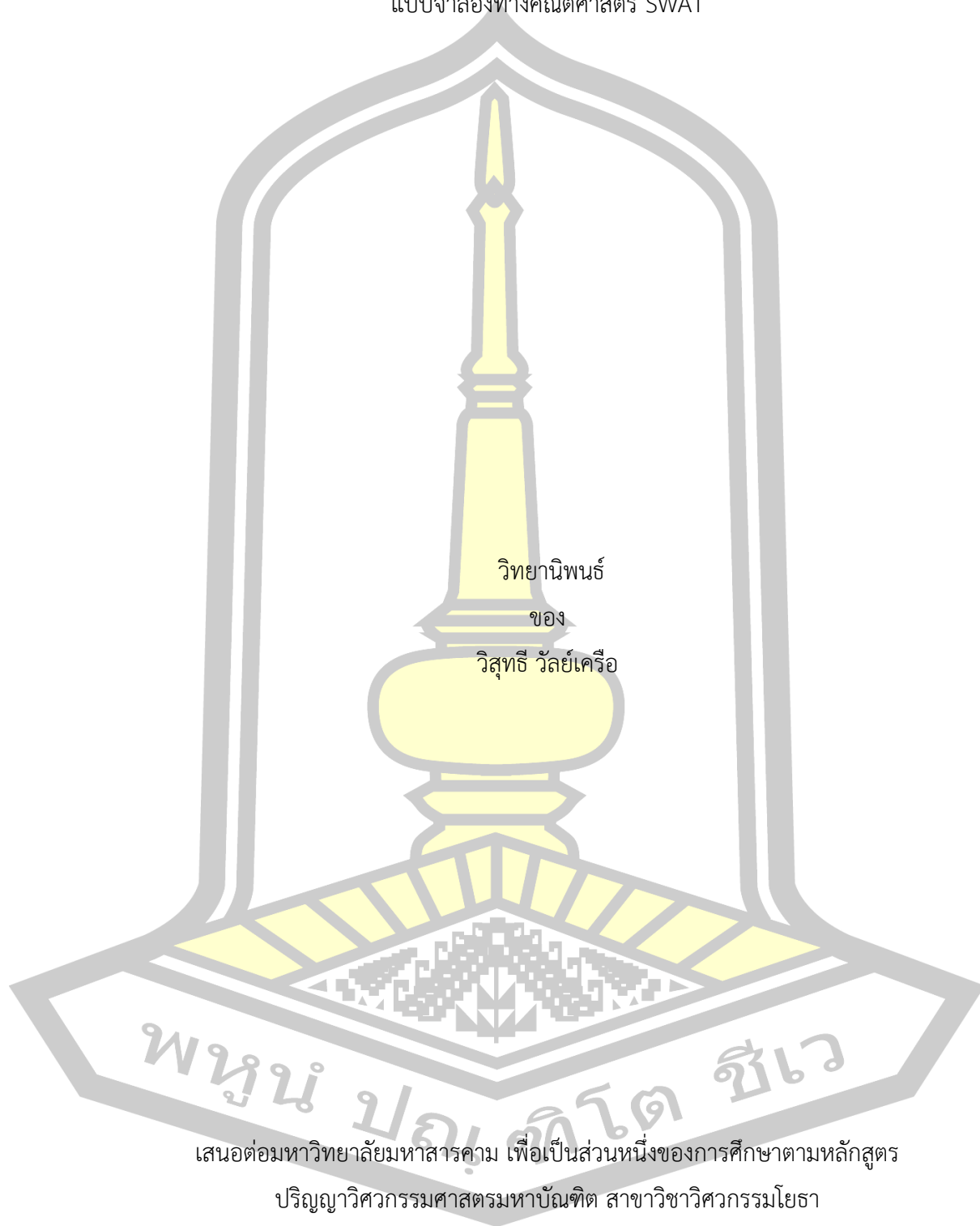
การประเมินปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนบนและลุ่มน้ำลำสะพุงด้วยวิธีการทางอุทกวิทยาและ
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ SWAT

วิทยานิพนธ์
ของ
วิสุทธิ์ วัลย์เครือ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ตุลาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การประเมินปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนบนและลุ่มน้ำลำสะพุงด้วยวิธีการทางอุทกวิทยาและ
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ SWAT



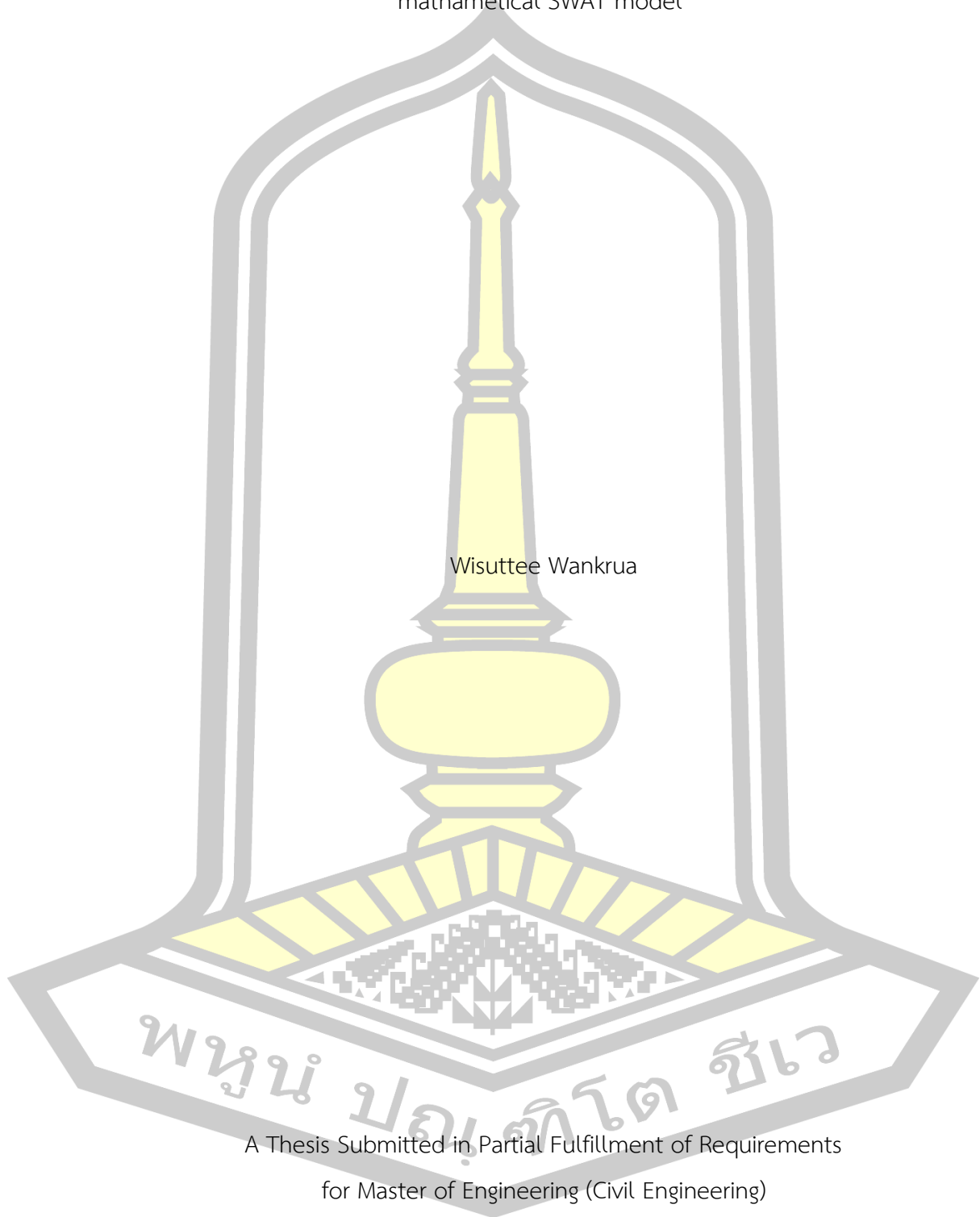
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ตุลาคม 2562

สงวนลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Evaluation of Runoff in upper-chi and Lumsapung basins using hydrologic model and
mathametical SWAT model



Wisuttee Wankrua

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Civil Engineering)

October 2019

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายวิสุทธิ วัลย์เครือ แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศ. ดร. ขวลิต ชาลีรักษ์ตระกูล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. รัตนา หอมวิเชียร)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. ศีวา แก้วปลั่ง)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การประเมินปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนบนและลุ่มน้ำลำสะพุงด้วยวิธีการทางอุทกวิทยาและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ SWAT		
ผู้วิจัย	วิสุทธิ วัลย์เครือ		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2562

บทคัดย่อ

การประเมินปริมาณน้ำท่าสามารถทำได้หลายวิธี ตั้งแต่วิธีพื้นฐานดั้งเดิมทางอุทกวิทยาจนถึงวิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์และประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่ละวิธีมีเงื่อนไขและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน เช่น วิธีทางอุทกวิทยามีข้อดีที่การคำนวณง่ายไม่ซับซ้อนใช้ตัวแปรเพียงไม่กี่ตัว แต่อาจให้ผลลัพธ์ที่ละเอียดน้อยกว่าวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ต้องใช้ข้อมูลนำเข้าเพิ่มขึ้นจำนวนมาก มีขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลนำเข้าที่ซับซ้อน รวมทั้งมีตัวแปรในการปรับแก้ที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำวิธีพื้นฐานทางอุทกวิทยามาประยุกต์ใช้ประเมินน้ำท่าเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ใกล้เคียงกับวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การประเมินปริมาณน้ำท่าในการศึกษานี้เลือกศึกษากับพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนบนและลุ่มน้ำลำสะพุง โดยการหาสัดส่วนหรือความสัมพันธ์ของตัวแปรใหม่คือ CN' และ C' ในวิธีพื้นฐาน SCS-CN และ Rational Method ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการประเมินน้ำท่ารวม (Total Run-off) ให้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (SWAT model) ผลการศึกษาพบว่าทั้ง 3 วิธีสามารถใช้ประเมินน้ำท่าของพื้นที่ศึกษาที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังพบว่าวิธี SCS-CN และ Rational Method สามารถหาค่า CN' และ C' ที่ใช้เป็นตัวแทนในการประเมินน้ำท่ารวมที่ยอมรับได้ ซึ่งแสดงในรูปแบบค่า CN' และ C' รายเดือน

คำสำคัญ : การประเมินปริมาณน้ำท่า, วิธี SCS-CN, วิธี Rational, แบบจำลอง SWAT

TITLE Evaluation of Runoff in upper-chi and Lumsapung basins using hydrologic model and mathametical SWAT model

AUTHOR Wisuttee Wankruea

ADVISORS Associate Professor Anongrit Kangrang , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Civil Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham **YEAR** 2019
University

ABSTRACT

Runoff evaluation can be done in several ways ranging from traditional basic hydrological methods to mathematical models with computer programs. Each method has different conditions and limitations, such as hydrological methods which using simple calculation process and only a few parameter, but may give less accuracy results than the mathematical model that requires more input data and more complex preparing parameters as well as more parameters for calibration step. Therefore, this study aimed to apply basic hydrological methods for evaluating total-runoff to provide acceptable results as close to the mathematical model. The study areas were in Upper-Chi River basin and Lamsapung basin, Thailand. The proportions or relationships in the new forms of CN' and C' from the basic SCS-CN and Rational methods respectively were created. The new forms could be used as representative variables for evaluating run-off and giving accepted results close to the results of mathematical model (SWAT model). The results showed that all 3 methods can be used to evaluate the total runoff with satisfaction. Furthermore, the new variables of CN' and C' which represented variables for evaluating total-runoff with SCS-CN and Rational methods respectively were accepted in the forms of monthly values.

Keyword : Runoff, SCS-CN Method, Rational Method, SWAT Model

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาเรื่องการประเมินปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำชีตอนบนและลุ่มน้ำลำนะพุงในจังหวัดชัยภูมิ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ SWAT และวิธีทางอุทกวิทยา SCS-CN และ Rational Method จะสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้หากขาดคำแนะนำอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง ให้ทิศทางและกำหนดกรอบเป้าหมายของงานศึกษาให้มีความชัดเจน รวมทั้งเพื่อนพี่น้องที่ร่วมศึกษา ที่สนับสนุนเติมแต่งส่วนข้อมูลที่บกพร่องขาดหายให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และช่วยแรงผลักดันให้ข้าพเจ้าได้ดำเนินวิจัยได้สำเร็จ ขอขอบคุณหน่วยงานที่ได้รับการสนับสนุนข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ คือ กรมชลประทาน ประกอบด้วย สำนักงานชลประทานที่ 6 จ.ขอนแก่น ,สำนักงานอุทกภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ,กรมพัฒนาที่ดิน ที่สนับสนุนข้อมูลในงานศึกษาครั้งนี้ ข้าพเจ้าหวังว่างานศึกษานี้จะก่อเกิดประโยชน์แก่ผู้อื่นได้ไม่มากนักน้อย เพื่อใช้พัฒนาต่อยอดให้เกิดประโยชน์ในการนำมาใช้งานจริงต่อไป

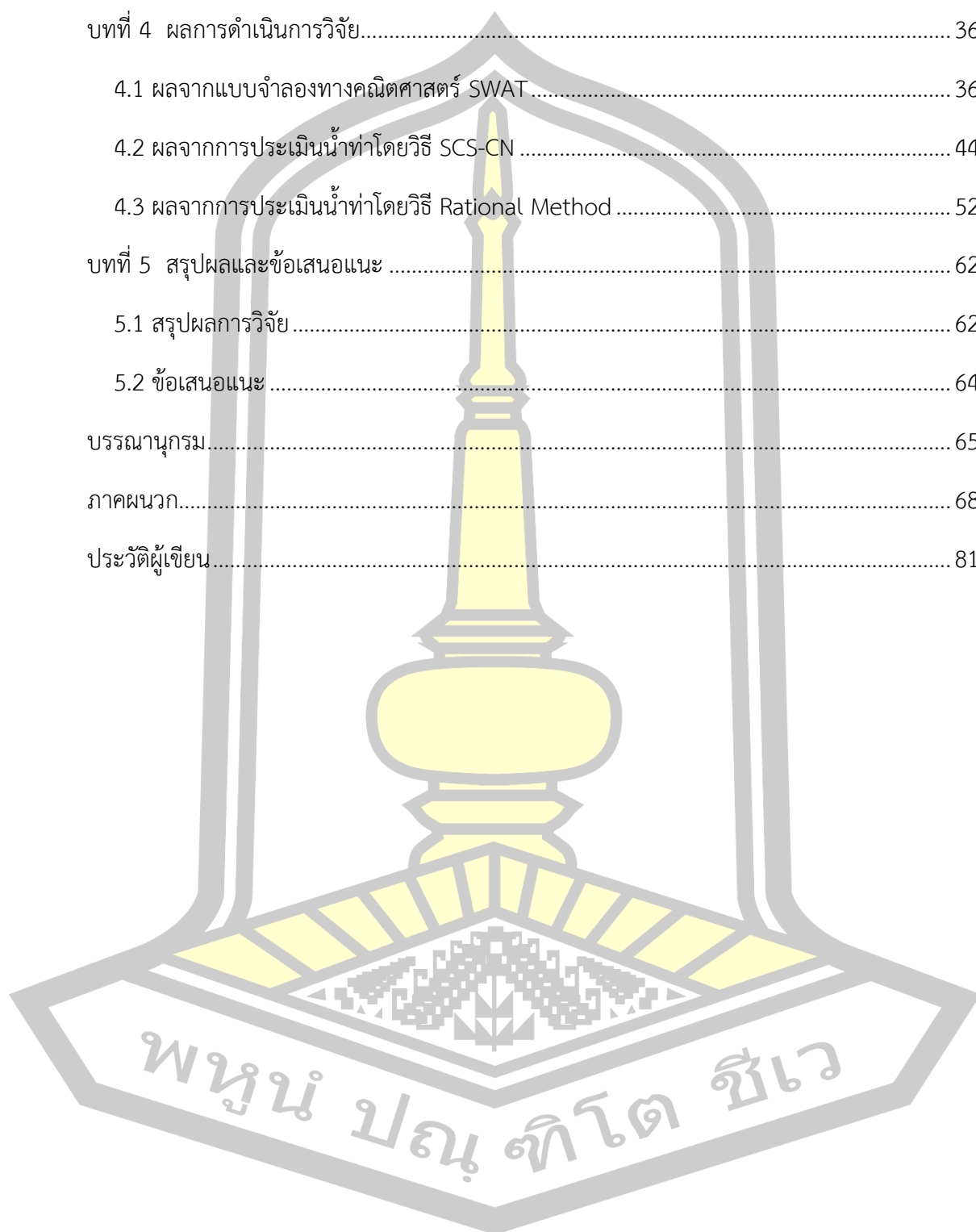
วิสุทธิ์ วัลย์เครือ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ปรัชศน์เอกสารข้อมูล.....	4
2.1 การเกิดน้ำท่า.....	4
2.3 วิธี SCS-CN (US Soil Conservation Service, Curve Number).....	6
2.4 แบบจำลอง SWAT.....	14
2.5 วิธีตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	25
3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาด้วยวิธี Rational Method.....	29
3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาด้วยวิธี SCS-CN.....	32

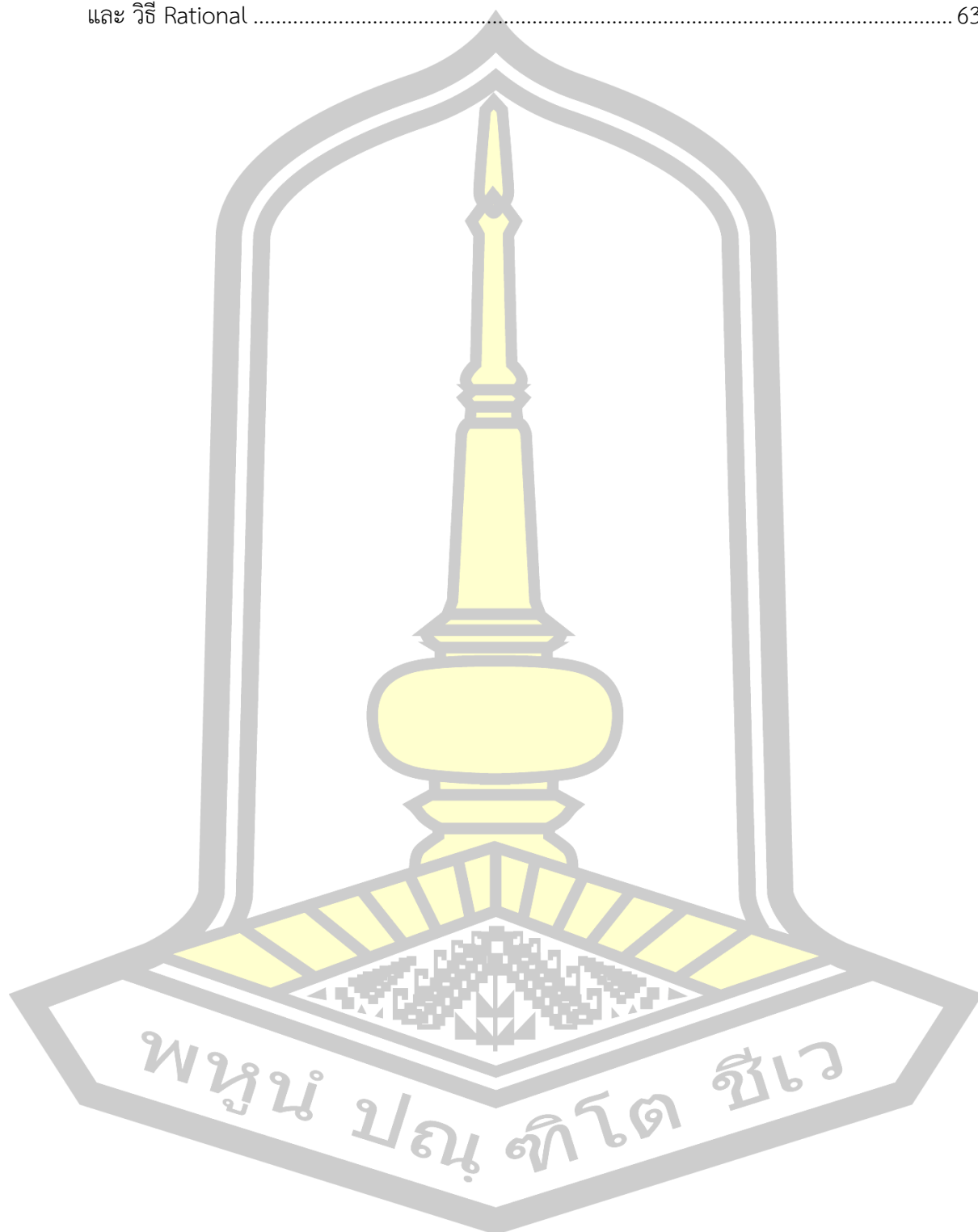
3.4 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาด้วยแบบจำลอง SWAT	34
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย.....	36
4.1 ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ SWAT	36
4.2 ผลจากการประเมินน้ำท่าโดยวิธี SCS-CN	44
4.3 ผลจากการประเมินน้ำท่าโดยวิธี Rational Method	52
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการวิจัย	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
บรรณานุกรม.....	65
ภาคผนวก.....	68
ประวัติผู้เขียน.....	81



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C ตามลักษณะพื้นที่รับน้ำฝน	6
ตารางที่ 2 การกำหนดค่า CN ของวิธี SCS-CN	8
ตารางที่ 3 Runoff curve number (CN) ของการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่าง ๆ	9
ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่ของเรือนยอด (CC,%) จำนวนชั้นเรือนยอด (CS) เปอร์เซ็นต์ที่หน้าตัดของลำ ต้นต่อหน่วยพื้นที่ (BA,%) และความลึกของชั้นดิน (SD,เมตร) ของป่า ต้นน้ำชนิดต่าง ๆ	10
ตารางที่ 5 ค่าCN ของป่าธรรมชาติ.....	10
ตารางที่ 6 ค่า CN ของสวนป่า	12
ตารางที่ 7 ค่า CN ของทุ่งหญ้า.....	12
ตารางที่ 8 ค่า CN ของพื้นที่เกษตรกรรม.....	13
ตารางที่ 9 ค่า runoff curve number ของพืชคลุมดิน (CNve) ชนิดต่าง ๆ สำหรับประเทศไทย	14
ตารางที่ 10 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง SWAT	34
ตารางที่ 11 แสดงลักษณะของพื้นที่ศึกษาจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง SWAT	37
ตารางที่ 12 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแก้สำหรับพื้นที่ศึกษา.....	38
ตารางที่ 13 แสดงผลการคำนวณโดยแบบจำลอง SWAT ผ่านดัชนีชี้วัดทางสถิติ.....	38
ตารางที่ 14 แสดงค่าถ่วงน้ำหนักจากวิธีไฮดรอลิกเพื่อหาฝนเฉลี่ย	44
ตารางที่ 15 แสดงค่าพารามิเตอร์ CN' ของพื้นที่ศึกษาในแต่ละเดือนใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำท่า	45
ตารางที่ 16 แสดงผลการคำนวณโดยวิธี SCS-CN ผ่านดัชนีชี้วัดทางสถิติในแต่ละลุ่มน้ำย่อย	46
ตารางที่ 17 แสดงปริมาณฝน จำนวนวันฝนตก และ ค่า C ในแต่ละเดือนของพื้นที่ศึกษา.....	52
ตารางที่ 18 แสดงผลการคำนวณโดยวิธี SCS-CN ผ่านดัชนีชี้วัดทางสถิติในแต่ละลุ่มน้ำย่อย	54
ตารางที่ 19 แสดงค่าดัชนีชี้วัดเปรียบเทียบการประเมินน้ำท่าทั้ง 3 วิธี	60

ตารางที่ 20 ค่าตัวแปร CN' และ C' แต่ละเดือน เพื่อใช้หาค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนโดยวิธี SCS-CN และ วิธี Rational 63



สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 กระบวนการเกิดน้ำท่า (โฆสิตสกุศลชัย, 2547).....	5
รูปที่ 2 แนวคิดการเกิดน้ำท่าในแบบจำลอง SWAT (Arnold et al. 1998).....	15
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินกับน้ำฝนรายวันและค่า CN.....	17
รูปที่ 4 ขั้นตอนการศึกษา.....	24
รูปที่ 5 พื้นที่ลุ่มน้ำชี.....	25
รูปที่ 6 พื้นที่ประยุกต์ใช้แบบจำลอง.....	26
รูปที่ 7 แผนที่เส้นลำน้ำ,อ่างเก็บน้ำ,ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่า.....	27
รูปที่ 8 แผนที่ความสูงเชิงเลข (DEM).....	28
รูปที่ 9 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use).....	28
รูปที่ 10 แผนที่ประเภทของดิน (Soil Type).....	29
รูปที่ 11 กระบวนการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าโดยวิธี Rational Method.....	31
รูปที่ 12 กระบวนการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าโดยวิธี SCS-CN.....	33
รูปที่ 13 กระบวนการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT.....	35
รูปที่ 14 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.83 โดยแบบจำลอง SWAT.....	39
รูปที่ 15 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.84 โดยแบบจำลอง SWAT.....	40
รูปที่ 16 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.72 โดยแบบจำลอง SWAT.....	41
รูปที่ 17 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.73 โดยแบบจำลอง SWAT.....	42
รูปที่ 18 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.32A โดยแบบจำลอง SWAT.....	43
รูปที่ 19 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.83 โดยวิธี SCS-CN.....	47
รูปที่ 20 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.84 โดยวิธี SCS-CN.....	48
รูปที่ 21 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.72 โดยวิธี SCS-CN.....	49

รูปที่ 22 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.73 โดยวิธี SCS-CN..... 50

รูปที่ 23 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.32A โดยวิธี SCS-CN..... 51

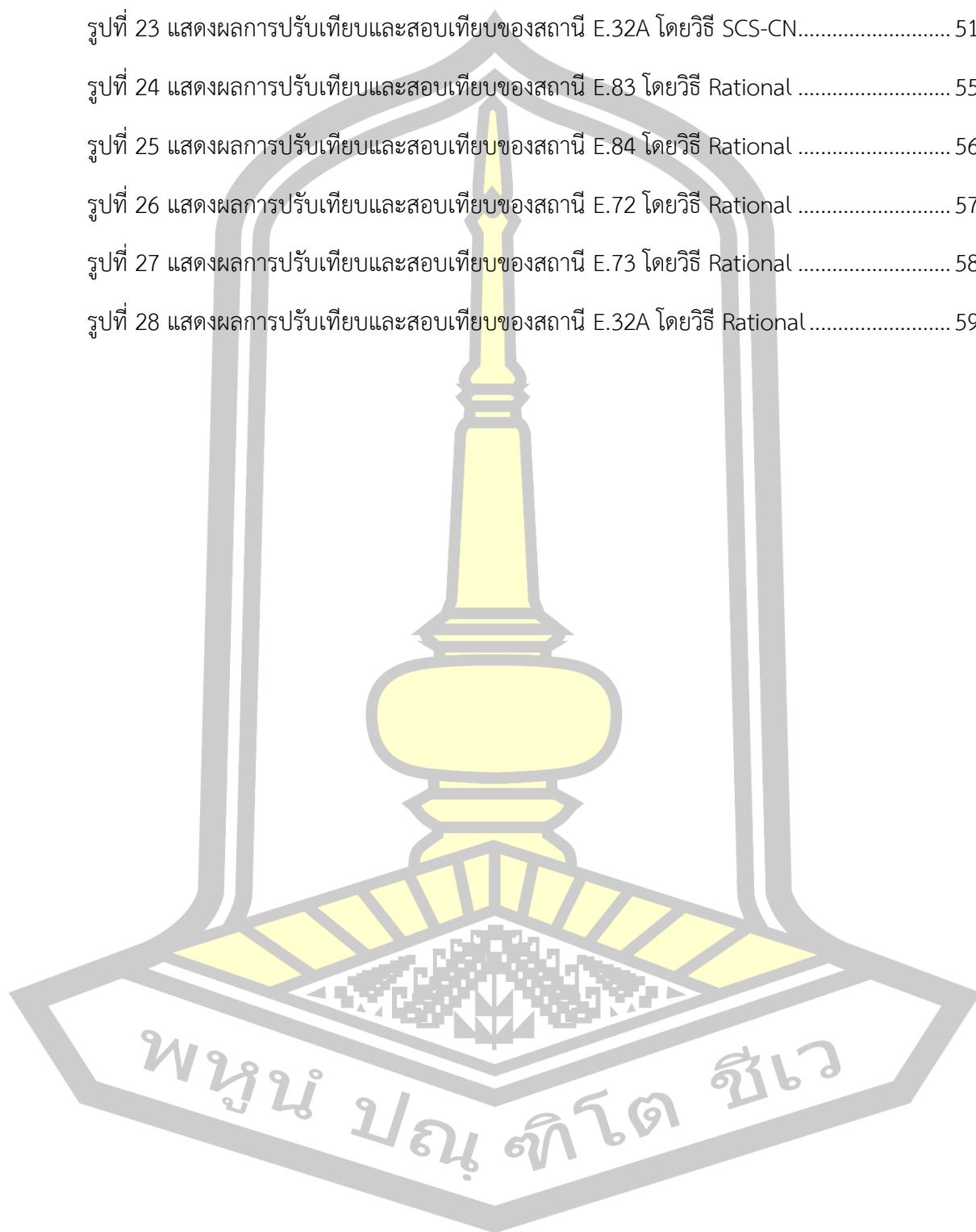
รูปที่ 24 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.83 โดยวิธี Rational 55

รูปที่ 25 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.84 โดยวิธี Rational 56

รูปที่ 26 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.72 โดยวิธี Rational 57

รูปที่ 27 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.73 โดยวิธี Rational 58

รูปที่ 28 แสดงผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบของสถานี E.32A โดยวิธี Rational..... 59



1.1 หลักการและเหตุผล

น้ำ เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่จำเป็นและมีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งสำหรับสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับมนุษย์ น้ำเป็นส่วนประกอบในทุกๆด้านทุกกิจกรรม ทั้งด้านอุปโภค-บริโภค น้ำใช้ในภาคอุตสาหกรรม ภาคการเกษตร พลังงาน และแม้กระทั่งการรักษาสมดุลในระบบนิเวศน์ หากน้ำไม่เพียงพอ จะส่งผลกระทบต่ออย่างกว้างขวางในการดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก

อย่างไรก็ดี ในอีกด้านหนึ่งน้ำอาจก่อให้เกิดปัญหาได้เช่นกัน ในกรณีที่มีฝนตกหนักก่อให้เกิดปริมาณน้ำหลากจำนวนมาก เกินความจุของลำน้ำ ทำให้เกิดปัญหาอุทกภัยต่อพื้นที่ที่อยู่อาศัย หรือพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งนั่นจะก่อให้เกิดความเสียหายเป็นมูลค่ามากมายได้ ในทางกลับกัน หากมีปริมาณน้ำน้อยกว่าปกติ(ฝนตกน้อย) ทำให้เกิดปัญหาขาดแคลนน้ำไม่เพียงพอกับความต้องการใช้น้ำ ก็จะทำให้เกิดความเสียหายได้ด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากเราสามารถประเมินและคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดขึ้นจากฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำได้ใกล้เคียงแม่นยำ จะทำให้บริหารจัดการปริมาณน้ำกับปัญหาน้ำท่วมน้ำแล้งดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดตามศักยภาพพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นๆ (Muangthong and Wangpimool, 2019)ยกตัวอย่าง ถ้าสามารถคาดการณ์น้ำท่าจากฝนที่ตกลูกหนึ่งได้ หากมีอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ก็สามารถบริหารจัดการได้ว่าควรจะเก็บน้ำได้เท่าไร หรือหากไม่มีอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำดังกล่าวจะก่อให้เกิดอุทกภัยได้หรือไม่ ซึ่งจะสามารถเตือนภัยและเตรียมพร้อมรับมือได้ เป็นต้น

การประเมินน้ำท่าจากน้ำฝนมีหลายวิธีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของพื้นที่ วัตถุประสงค์และความครบถ้วนของข้อมูลที่ต้องใช้ ในการศึกษาเลือกใช้ด้วยกัน 3 วิธีคือ วิธี Rational Method ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานที่ง่ายที่สุดในการประยุกต์ใช้ (Prasanchum et al. 2013) วิธี SCS-CN มีความละเอียดในการวิเคราะห์เพิ่มขึ้นโดยนำคุณสมบัติของสิ่งปกคลุมดินมาพิจารณาร่วมด้วย (Usda., Scs. 1986) และแบบจำลอง SWAT ซึ่งเป็นโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์หรือที่เรียกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้ข้อมูลนำเข้าที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น ทั้งข้อมูลทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ ชนิดของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลสภาพอากาศ เหล่านี้ทำให้เกิดความน่าเชื่อถือในผลลัพธ์ที่ได้มากยิ่งขึ้น (Neitsch et al. 2009; Arnold et al. 1998) อย่างไรก็ตามทั้ง 3 วิธีที่กล่าวมาต่างมีข้อดี ข้อด้อย และความเหมาะสมในการใช้แตกต่างกันออกไป ซึ่งในการศึกษานี้จะได้วิเคราะห์

เปรียบเทียบและสรุปผลออกมาให้เห็น

วิธี Rational Method ใช้ในการประเมินอัตราการไหลสูงสุด (Q_{peak}) ที่เกิดจากฝนลูกหนึ่งๆ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน(I) ขนาดของพื้นที่ (A) และ สัมประสิทธิ์ตัวแทนของพื้นที่ผิว (C) ทั้งนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำในพื้นที่ชุมชนหรือเมือง ป้องกันความเสียหายจากน้ำท่วมซึ่งระบายไม่ทัน อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่ไม่ใหญ่มากซึ่งถูกแนะนำไว้ที่ 25 ตร.กม.(Prasanchum et al. 2013) แต่สำหรับการประเมินน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ใหญ่ขึ้นจะให้ผลออกมาเป็นเช่นไร จะได้วิเคราะห์ในการศึกษานี้

วิธี SCS-CN หรือ พัฒนาโดย US Soil Conservation Service (SCS) โดยสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณฝนที่ตก กับ ปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดขึ้น ผ่านตัวเลข Curve Number (CN) ซึ่งเลข CN ถูกกำหนดจากการพิจารณาชนิดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และความลาดชันผิวดิน และแปรผันตามปริมาณความชื้นในดินของพื้นที่ (Mishra and Singh, 2003) ซึ่งในการคำนวณด้วยมือ (Manual) จะเลือกใช้เลข CN เพียงตัวเดียวเป็นตัวแทนในการจำลอง (Lump model , เช่นเดียวกับค่า C ในวิธี Rational Method) ดังนั้นในการคำนวณน้ำท่าของกลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ใหญ่และมีเลข CN ที่หลากหลาย จะมีความคลาดเคลื่อนในการคำนวณเกิดขึ้น แต่หากต้องการแบ่งแยกพื้นที่ตามเลข CN เพื่อคำนวณน้ำท่า (Distributed model) จะมีความยุ่งยากซับซ้อน ใช้เวลานานมาก ไม่สามารถคำนวณด้วยมือได้จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่มีความสำคัญและมีผลต่อการประเมินน้ำท่าด้วยวิธีนี้คือ ค่าเลข CN ดังนั้นวิธีการเลือกค่า CN ที่มีประสิทธิภาพจะให้ผลที่ดีขึ้น (วิทวัสชุตติกุล และ ธิติโรจนวัฒน์, 2551) ซึ่งในการศึกษานี้จะเฉลี่ยค่า CN จากการหาค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์แบบถ่วงน้ำหนักตามขนาดของพื้นที่

แบบจำลอง SWAT เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจำลองเพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าจากน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ โดยมีพื้นฐานการคำนวณจากวิธี SCS-CN ข้างต้น แต่การเตรียมข้อมูลนำเข้า (Input) ใช้เป็นรูปแบบแผนที่ GIS ผ่านโปรแกรม GIS (ArcGIS, QGIS เป็นต้น) ซึ่งประกอบด้วยแผนที่ความสูงดิจิทัล (Digital Elevation Map, DEM), แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use Map) แผนที่ชนิดของดิน (Soil -Type Map) ซึ่งเมื่อนำแผนที่ทั้ง 3 มาซ้อนกันและประมวลผลจะได้เป็นแผนที่ HRUs (Hydrologic Response Units) ซึ่งแผนที่ HRUs นี้จะมีค่าตัวเลขกำกับในแต่ละกริดเซลล์ (Grid Cell) เพื่อใช้จับคู่ค่าเลข CN ที่จะใช้คำนวณน้ำท่าต่อไป (Arnold and Fohrer 2005; Mishra and Singh 2003) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าบนพื้นที่ที่ต้องการศึกษาจะประกอบด้วย เลข CN แตกต่างกระจายกันออกไป (Distributed model) ซึ่งมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น จึงมีความน่าเชื่อถือในการคำนวณมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้แบบจำลอง SWAT จะต้องมีการปรับเทียบ (Calibration) จึงจำเป็นต้องมีข้อมูลจากสถานีตรวจวัดในลุ่มน้ำข้อมูลอ้างอิง ดังนั้นในกรณีลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีตรวจวัดแล้วแบบจำลองจะให้ความถูกต้องมากน้อยอย่างไร (สามสาตี และคณะ, 2559) จะได้

วิเคราะห์ในการศึกษานี้

วิธี SCS-CN และ Rational Method ซึ่งมีค่าตัวแปรที่สำคัญคือ CN และ C ตามลำดับ นั้นใช้เป็นสมการพื้นฐานในการประเมินน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ของแบบจำลอง SWAT อยู่แล้ว (วงษาศรี, 2555) เพื่อประเมินเฉพาะน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำท่าทั้งหมด (Total Runoff) อันประกอบด้วย Surface Run-off, Sub-Surface Run-off และ Base Flow แต่อย่างไรก็ดีปริมาณน้ำท่าจาก 2 ส่วนนอกเหนือจาก Surface Run-off ย่อมมีส่วนความสัมพันธ์กันอย่างใดอย่างหนึ่งกับฝนตกเดียวกันที่ทำให้เกิด Surface Run-off ดังนั้นหากสามารถหาสัดส่วนหรือความสัมพันธ์ดังกล่าว (โฆสิตสกุลชัย, 2547) แล้วรวมเป็นตัวแปรใหม่คือ CN' และ C' ใช้เป็นตัวแทนเพื่อประเมินน้ำท่า Total Run-off ได้จะทำให้การประเมินน้ำท่ามีความง่ายและสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นและสามารถนำมาใช้งานพร้อมให้ผลที่ยอมรับได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อประเมินน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และวิธีทางอุทกวิทยา
2. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้เป็นตัวแทนเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าโดยวิธี SCS-CN (ค่า CN') และวิธี Rational Method (ค่า C') ในพื้นที่ศึกษา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำชีตอนบนและลุ่มน้ำลำสะพุง
2. สร้างแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ด้วยโปรแกรม SWAT, วิธี SCS-CN และ วิธี Rational
3. แบ่งพื้นที่ในการเปรียบเทียบเป็น 4 ลุ่มน้ำย่อย และ 1 ลุ่มน้ำหลัก
4. ใช้ผลปริมาณน้ำท่ารายเดือนในการเปรียบเทียบแบบจำลอง
5. ใช้ช่วงข้อมูล พ.ศ. 2550-2559
6. วิธี Rational Method ใช้ความเข้มฝนเฉลี่ยรายเดือน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เปรียบเทียบผลการประเมินปริมาณน้ำท่า ข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัด ของทั้ง 3 วิธี
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินน้ำท่าในภาพรวมเพื่อใช้ในการบริหารจัดการน้ำได้
3. สามารถประเมินน้ำท่ารวมได้อย่างรวดเร็วโดยใช้วิธีทางอุทกวิทยาทั้งวิธี SCS-CN และ วิธี Rational Method

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

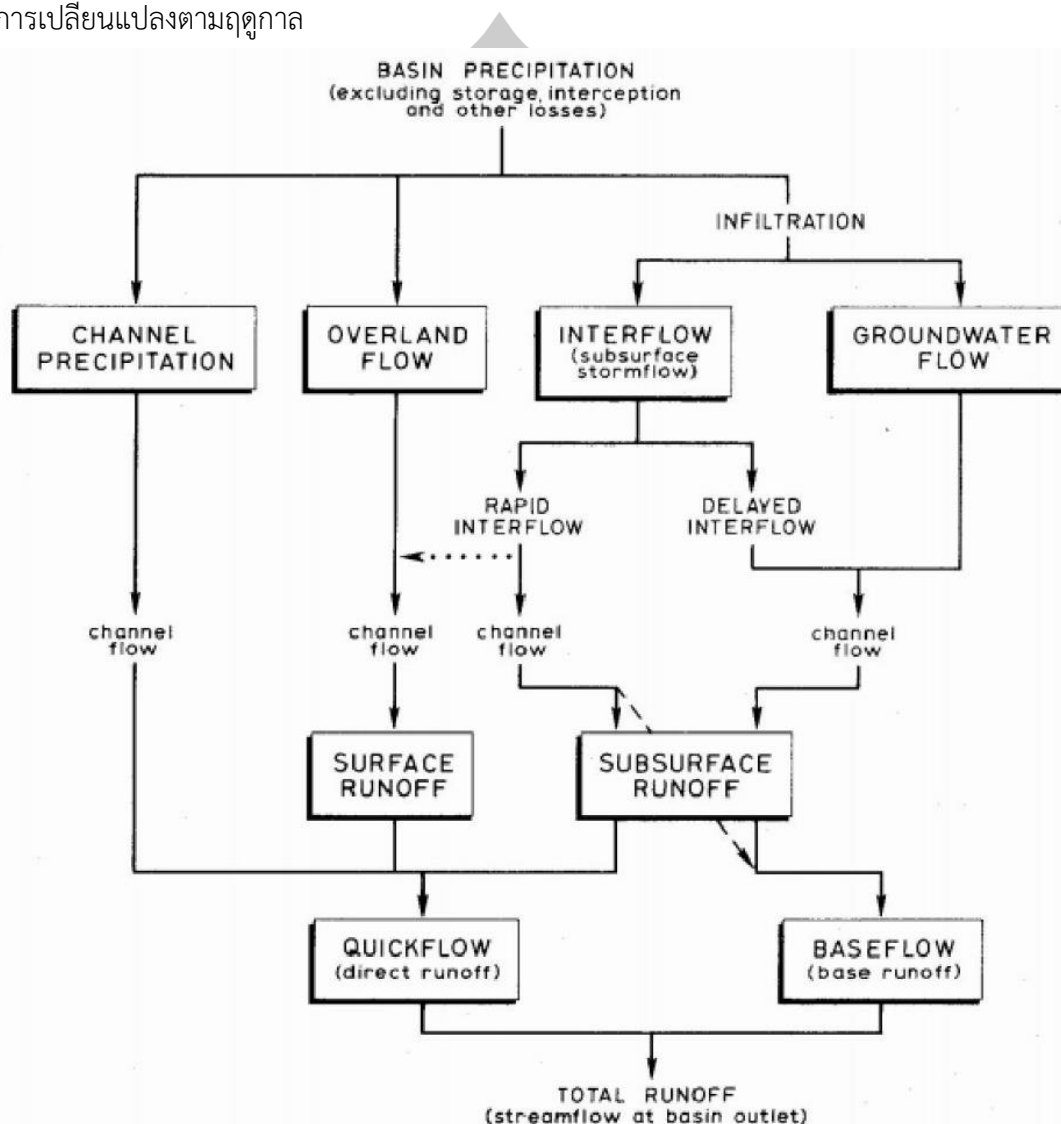
ในบทนี้เป็นการศึกษาถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดความเข้าใจในทฤษฎีต่างๆที่นำมาใช้อย่างเป็นลำดับ จึงขอแนะนำทฤษฎีต่างๆ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับหัวข้อต่อไปนี้

- 2.1 การเกิดน้ำท่า
- 2.2 วิธี Rational
- 2.3 วิธี SCS-CN (US Soil Conservation Service, Curve Number)
- 2.4 แบบจำลอง SWAT
- 2.5 วิธีตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเกิดน้ำท่า

(โฆสิตสกุลชัย, 2547) กล่าวว่า น้ำที่ไหลมารวมกันในแม่น้ำ (Total Runoff) นั้นประกอบไปด้วย 4 ส่วน ได้แก่ (1) ฝนที่ตกลงในลำน้ำโดยตรง (Channel Precipitation, Q_p), (2) น้ำผิวดิน (Overland Flow, Q_o หรือ Surface Runoff), (3) น้ำใต้ผิวดิน (Interflow, Q_t หรือ Subsurface Flow) และ (4) น้ำใต้ดิน (Groundwater Flow, Q_g) แต่เนื่องจากเส้นทางการไหลของน้ำฝนที่ตกลงมาในลุ่มน้ำมีความซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงไปมา การตรวจวัดปริมาณน้ำในแต่ละส่วนนั้นทำได้ยาก ในการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าจึงนิยมพิจารณาน้ำในแม่น้ำเป็น 2 ส่วน คือ น้ำที่ไหลมาอยู่ในลำน้ำเร็ว เรียกว่า Direct Runoff (หรือ quick flow) และน้ำที่ไหลมาอยู่ในลำน้ำช้า เรียกว่า Base flow ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 1 Direct Runoff นั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำฝนที่ตกลงมาและไหลไปตามผิวดิน (Surface Runoff) นอกจากนี้ ยังรวมถึงน้ำฝนที่ตกลงในลำน้ำโดยตรง และน้ำไหลใต้ผิวดินบางส่วนที่ไหลผิวดินขึ้นมา โดยการเกิดของ Direct runoff นี้ อาจเกิดขึ้นทันทีเมื่อฝนเริ่มตกหรือหลังจากฝนตกไม่นาน และเพิ่มปริมาณจนถึงจุดสูงสุด จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง โดยปริมาณน้ำสูงสุดนั้นอาจเกิดขณะฝนกำลังตกก็ได้หากฝนตกต่อเนื่องเป็นระยะเวลาสั้น แต่โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นหลังจากฝนหยุดตกไประยะหนึ่ง เนื่องจากน้ำตามจุดต่างๆ ในพื้นที่จะต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการไหลมารวมตัวกันที่ทางออก ซึ่งระยะเวลาขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ของลุ่มน้ำ Base flow เป็นน้ำที่ไหลมาทางใต้ดินซึ่งไหลได้ช้ากว่า เวลาในการเดินทางจากจุดที่ฝนตกลงมาจนกระทั่งถึงทางออกของ

ลุ่มน้ำอาจเป็นระยะเวลาหลายวัน จนกระทั่งเป็นปีปริมาณของน้ำส่วนนี้ในลำน้ำค่อนข้างจะคงที่โดยมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล



รูปที่ 1 กระบวนการเกิดน้ำท่า (ไขสิตสกุลชัย, 2547)

2.2 วิธี Rational

วิธี Rational ส่วนใหญ่นิยมใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดสำหรับออกแบบอาคารระบายน้ำซึ่งการคำนวณจำใช้สูตร Rational Formula แนะนำสำหรับพื้นที่รับน้ำฝนมีขนาดไม่เกิน 25 ตร.กม. สำหรับสูตร Rational Formula มีดังนี้

$$Q = 0.278 CIA$$

(2-1)

โดยที่

Q = ปริมาณน้ำนองสูงสุด หรืออัตราการไหลสูงสุด, ลบ.ม./วินาที

C = สัมประสิทธิ์น้ำท่า

I = ความเข้มข้น (มม./ชม.) สำหรับรอบปีและช่วงเวลาที่กำหนด

A = พื้นที่รับน้ำฝน, ตร.กม.

จากการศึกษาในรายงานต่างๆ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่รับน้ำฝนและในที่นี่ทางที่ปรึกษาขอเสนอค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าเบื้องต้นในตารางที่ 1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C ตามลักษณะพื้นที่รับน้ำฝน

ลักษณะพื้นที่	สัมประสิทธิ์น้ำท่า C
พื้นที่เกษตรกรรม	0.20-0.30
พื้นที่รกร้างว่างเปล่า	0.10-0.30
ที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย	0.40-0.45
ที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลาง	0.50-0.55
ที่อยู่อาศัยหนาแน่นสูง	0.55-0.60

2.3 วิธี SCS-CN (US Soil Conservation Service, Curve Number)

สำหรับแนวคิดและสมการของวิธี SCS-CN ได้แสดงไว้แล้วในส่วนของวิธีของแบบจำลอง SWAT ซึ่งมีวิธี SCS-CN เป็นพื้นฐาน โดยทั้งนี้ค่าตัวแปรสำคัญในสมการของ SCS คือเลข CN ดังนั้นในส่วนนี้จะกล่าวถึงตัวแปร CN ดังนี้

Mishra and Singh (2003) กล่าวว่า SCS-CN method ถูกสร้างขึ้นมาในปี ค.ศ.1954 โดย Soil Conservation Services (SCS) แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งปัจจุบันได้เปลี่ยนไปเป็น NRCS หรือ Natural Resources Conservation Services จุดประสงค์หลักของ SCS-CN method คือ การสร้างมาตรการหรือระเบียบต่างๆ เพื่อการป้องกันอุทกภัย โดยนำผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการซึมผ่านผิวดิน (Infiltration) ซึ่งเกิดขึ้นจากการทำฝนเทียมบนพื้นที่ 2 X 4 ตารางเมตร จำนวน 10,000 แปลงทั่วประเทศ ที่ทำการศึกษาดูต่อเนื่องมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1930 มาประยุกต์ใช้ ผลผลิต (output) ของ SCS-CN method คือ (1) ค่าคะแนนที่ใช้บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการให้น้ำท่าที่

ไหลในลำธารของพื้นที่ต้นน้ำ (ค่า runoff curve number หรือค่า CN) และ (2) วิธีการประเมินค่าที่ประกอบไปด้วย (2.1) ปริมาณน้ำไหลจากดินชั้นบน หรือ direct runoff volume ที่เกิดขึ้นจากการตกของฝนแต่ละครั้ง โดยมีการสร้างแบบจำลองเพื่อการเตือนภัยน้ำป่าไหลหลากเป็นผลลัพธ์ (outcome) ที่ตามมา กับ (2.2) ปริมาณและลักษณะการไหลของน้ำท่าในลำธารในระยะยาวโดยมีแนวทางการจัดการทรัพยากรธรรมชาติบนพื้นที่ต้นน้ำเพื่อให้ระบบนิเวศต้นน้ำให้บริการกับประชาชนอย่างยั่งยืนเป็นผลลัพธ์ที่ตามมา

พงษ์ศักดิ์วิทวัสสุติกุล และพิณทิพย์ ธิติโรจนวัฒน์ (2551) กล่าวว่า ค่า CN จะเป็นผลรวมของปัจจัยลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีบทบาทต่อการให้น้ำท่าที่ไหลในลำธาร หรือ runoff producing characteristics ที่ประกอบไปด้วย ลักษณะภูมิประเทศ (CNto) ชนิดของดิน (CNso) ชนิดกับปริมาณพืชคลุมดิน (CNve) และแอ่งน้ำที่ผิวดิน (CNss) โดยกำหนดให้สัดส่วนของน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยย่อยทั้ง 4 คือ CNto:CNso:CNve:CNss มีค่าเท่ากับ 40:20:20:20 ทั้งนี้ได้สร้างเกณฑ์ในการกำหนดค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยดังรายละเอียดในตารางที่ 2

สำหรับประเทศไทย Witthawatchutikul (1997) ได้นำค่า CN มาเป็นปัจจัยในการสร้างแบบจำลองสำหรับประเมินค่าสภาวะวิกฤตของลุ่มน้ำในประเทศไทย โดยใช้อัตราการไหลสูงสุดในรอบปีของน้ำท่าที่ไหลในลำธาร (Peak flow discharge) ต่อหน่วยพื้นที่ (Q_p/A , ลบ.ม./วินาที/ตร.กม.) ปริมาณน้ำน้อย หรือปริมาณน้ำท่าที่ไหลในช่วงฤดูแล้ง (Low flow amount) ต่อหน่วยพื้นที่ (QVA , ล้าน ลบ.ม./ตร.กม.) และผลผลิตปริมาณตะกอนในลำน้ำ (Sediment yield) ต่อหน่วยพื้นที่ (Sd/A , ตัน/ตร.กม.) เป็นตัวชี้วัด อย่างไรก็ตามการประเมินค่า CN ของปัจจัยย่อยต่างๆ เหล่านี้ด้วยตารางที่ 2 จำเป็นต้องอาศัยผู้ที่มีประสบการณ์อยู่บ้าง จึงจะประเมินค่าได้อย่างถูกต้อง ประกอบกับชนิดของพืชคลุมดินในเขตร้อนเช่นประเทศไทยมีความหลากหลายค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงควรมีการกำหนดค่า CN ของพืชคลุมดิน หรือ CNve ให้กับป่าต้นน้ำชนิดต่างๆ และการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละชนิด ทั้งนี้เพื่อให้การเตือนภัยน้ำป่าไหลหลากและแผ่นดินถล่มมีความแม่นยำ และแผนการใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติบริเวณพื้นที่ต้นน้ำเพื่อให้ระบบนิเวศป่าต้นน้ำให้บริการอย่างยั่งยืนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

พูน ปลูก ศึกโต ชีเว

ตารางที่ 2 การกำหนดค่า CN ของวิธี SCS-CN

Characteristics	Extreme CN (100)	High CN (75)	Normal CN (50)	Low CN (25)
Relief(CN _{to})	Mountainous area Slope >	Hilly with slope	Rolling terrain	Relatively flat slope
Soil Infiltrati	Rocky, thin soil mantle	Clay, slow infiltration	Prairie soil, loam, deep	Sand, deep soil, rapid
Vegetative cover (CN _{ve})	No effective cover, plant cover bare	Less than 10 % of area under good	50 % of area in good grassland,	90 % of area in good grassland,
Surface storage (CN _{ss})	No surface detention, no pond, no	Small drainage way (12-16)	Lakes, ponds and marshes less than 2%	Large number of lakes, ponds and

$$CN = CN_{to} + CN_{so} + CN_{ve} + CN_{ss}$$

ที่มา : พัฒนาจาก Schwab et al.(1971)

การกำหนดค่า CN ให้กับพืชคลุมดินในประเทศไทย

(แก้วอำพุท และคณะ, 2552) กล่าวว่า การวิเคราะห์ค่า CN ที่ SCS กำหนดให้กับพืชคลุมดินชนิดต่าง ๆ นั้น จะอยู่ภายใต้ 2 เงื่อนไข คือ

(1) เงื่อนไขความสามารถในการดูดซับและเก็บกักน้ำของดิน หรือ Hydrologic soil group ตั้งแต่ดินที่มีเนื้อดิน (soil texture) ทราย และมีชั้นดินที่ลึก สามารถดูดซับและเก็บกักน้ำฝนเอาไว้ได้มาก หรือ Hydrologic soil group A ไปจนถึงดินเหนียว ซึ่งมีเนื้อดินละเอียดที่ดูดซับน้ำฝนได้ช้า และมีชั้นดินตื้นที่เก็บกักน้ำได้น้อย หรือ Hydrologic soil group D และ

(2) เงื่อนไขของลักษณะอากาศ และสภาพภูมิประเทศที่ส่งเสริมให้มีการดูดซับและเก็บกักน้ำฝน ตั้งแต่พื้นที่ที่มีฝนตกอย่างแผ่วเบาบนพื้นที่ราบ สามารถดูดซับและเก็บกักน้ำฝนได้มาก หรือ Good hydrologic condition ไปจนถึงพื้นที่ที่มีฝนตกหนักบนพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง หรือ Poor hydrologic condition สำหรับชนิดพืชที่คัดเลือกมา ประกอบด้วยพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ผสมระหว่างป่าไม้กับทุ่งหญ้า หรือสวนป่า พื้นที่ที่เป็นทุ่งหญ้า พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ว่างเปล่าที่ปราศจากสิ่งปกคลุม ดังรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 Runoff curve number (CN) ของการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดต่าง ๆ

Landuse	Hydrolog ic	Hydrologic Soil Group			
		A	B	C	D
Wood and Forest land (พื้นที่ป่าไม้)	P	45	66	77	83
	F	36	60	73	79
	G	25	55	70	77
Wood-grass combination หรือ Orchard (พื้นที่ผสมระหว่างป่าไม้ กับทุ่งหญ้า หรือสวนป่า)	P	57	73	82	86
	F	43	65	76	82
	G	32	58	72	79
	O	-	-	-	-
Rangeland and Herbaceous (ทุ่งหญ้า)	P	-	80	87	93
	F	-	71	81	89
	G	-	62	74	85
Agriculture land....Bare soil	-	77	86	91	94
	P	76	85	90	93
Crop cover (พื้นที่เกษตรกรรม)	G	74	83	88	90
	7	81	88	91	93

ที่มา : ดัดแปลงจาก (Mishra and Singh 2003)

A เป็นดินที่มีเนื้อหยาบ และชั้นดินลึก ดูดซับน้ำได้ดี คือประมาณ 0.30-0.45 นิ้ว/ชม.

B เป็นดินที่มีเนื้อปานกลางถึงหยาบ แต่มีชั้นดินลึก ดูดซับน้ำได้ค่อนข้างดี คือ
ประมาณ 0.15-0.30 นิ้ว/ชม.

C เป็นดินที่มีเนื้อปานกลางถึงละเอียด และมีชั้นดินตื้น ดูดซับน้ำได้ไม่ค่อยดี คือ
ประมาณ 0.05-0.15 นิ้ว/ชม.

D เป็นดินที่มีเนื้อละเอียด และมักจะมีชั้นดินตื้น ดูดซับน้ำได้น้อยมาก คือ 0-0.05 นิ้ว/ชม.

แนวคิดในการกำหนดค่า CN ให้กับพืชคลุมดินบริเวณพื้นที่ต้นน้ำของประเทศไทยนั้น มีหลักการดังนี้ คือ ใช้ค่า CN ที่คัดเลือกมาจาก SCS เป็นฐาน แล้วนำข้อมูลของปัจจัยทั้งทางด้านโครงสร้าง (structure) และด้านการทำงานตามหน้าที่ (function) ของระบบนิเวศป่าต้นน้ำชนิดต่าง ๆ ที่ใช้สร้างแบบจำลองความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศป่าต้นน้ำมาเป็นเหตุผลในการกำหนดค่า CN ให้กับพืชคลุมดินชนิดต่าง ๆ สำหรับปัจจัยทางด้านโครงสร้างประกอบไปด้วย เปอร์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่โดยเรือนยอด (Canopy cover percentage, CC:%) กับจำนวนชั้นเรือนยอด (Canopy strata, CS) ส่วนปัจจัยทางด้านการทำงานตามหน้าที่ประกอบด้วย เปอร์เซ็นต์พื้นที่หน้าตัดลำต้นของต้นไม้ต่อ

หน่วยพื้นที่ (Basal area percentage, BA : %) ที่เชื่อมโยงไปถึงความสามารถในการดูดซับน้ำฝนของดิน กับความลึกของชั้นดิน (Soil depth, SD:เมตร) ที่เชื่อมโยงไปถึงความสามารถในการเก็บกักน้ำของดิน ดังรายละเอียดในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การปกคลุมพื้นที่ของเรือนยอด (CC,%) จำนวนชั้นเรือนยอด (CS) เปอร์เซ็นต์ต้นที่หน้าตัดของลำ ต้นต่อหน่วยพื้นที่ (BA,%) และความลึกของชั้นดิน (SD,เมตร) ของป่าต้นน้ำชนิดต่าง ๆ

ชนิดป่าชนิดป่า	CC(%)	CS	BA(SD(เมตร)
ป่าดิบเขา	80	5	0.32	1.2
ป่าดิบชื้น	90	5	0.60	1.2
ป่าดิบแล้ง	81	4	0.29	1.0
ป่าเบญจพรรณ	73	3	0.24	0.7
ป่าเต็งรัง	69	2	0.14	0.4

ที่มา : พัฒนาจาก (แก้วอำพุท และคณะ, 2547)

ค่า CN ของป่าธรรมชาติ

(แก้วอำพุท และคณะ, 2552) กล่าวว่า จากตารางที่ 5 กำหนดให้ ค่า CN ของพื้นที่ป่า (Woody and forest land) ภายใต้ Hydrologic condition ที่ระดับดี (Good) และ Hydrologic soil group ที่ A และ B ที่ระดับปานกลาง (Fair) และ Hydrologic soil group ที่ B และ C และที่ระดับต่ำ (Poor) และ Hydrologic soil group ที่ C และ D เป็นตัวแทนของค่า CN ของป่าดงดิบ ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ค่าCN ของป่าธรรมชาติ

Landuse	Hydrologic condition	Hydrologic Soil Group			
		A	B	C	D
Wood and Forest land (พื้นที่ป่าไม)	Poor	45	6	77	83
	Fair	3	6	73	79
	Good	2	5	70	77

ที่มา : พัฒนาจาก (แก้วอำพุท และคณะ, 2547)

ที่ Hydrologic condition ระดับ good เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 3 จะพบว่า ป่าดิบชื้นกับป่าดิบเขา มีความแตกต่างของปัจจัยความหลากหลายทางชีวภาพ 2 ปัจจัย คือ ค่า CC กับค่า BA ในขณะที่เดียวกันป่าดิบแล้งมีปัจจัยความหลากหลายทางชีวภาพแตกต่างไปจากป่าดิบเขา 3 ปัจจัย คือ ค่า CS ค่า BA และค่าSD ในทำนองเดียวกันป่าดิบแล้งจะมีปัจจัยความหลากหลายทางชีวภาพแตกต่างไปจากป่าดิบชื้นทั้ง 4 ปัจจัย ดังนั้นจึงกำหนดให้ป่าดิบเขา และป่าดิบชื้นอยู่ในสถานะของ Hydrologic condition ระดับ good และมี Hydrologic soil group อยู่ในระดับ A ทั้งคู่ จึงมีผลทำให้ค่า CN ของป่าทั้งสองชนิดมีค่าเท่ากัน คือ 25 ส่วนป่าดิบแล้ง ซึ่งมีปัจจัยความหลากหลายทางชีวภาพน้อยกว่า จึงกำหนดให้มี Hydrologic condition อยู่ในระดับ good และมี Hydrologic soil group ในระดับ B ส่งผลทำให้ค่า CN ของป่าดิบแล้งมีค่าเท่ากับ 55 ที่ Hydrologic condition ระดับปานกลางหรือ fair นั้น พบว่ามีป่า 2 ชนิดที่มีลักษณะของการปกคลุมพื้นที่คล้ายคลึงกัน คือป่าเบญจพรรณ กับป่าไผ่ เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยทั้ง 4 ที่เป็นองค์ประกอบของความหลากหลายทางชีวภาพ กับป่าดิบแล้ง จะพบว่ามีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้นจึงกำหนดให้ป่าเบญจพรรณมี Hydrologic soil group ในระดับ B ซึ่งมีผลทำให้ค่า CN ของป่าเบญจพรรณมีค่าเท่ากับ 60 อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบสภาพแวดล้อมของป่าเบญจพรรณกับป่าไผ่ พบว่าป่าไผ่มีต้นไม้ขนาดใหญ่้น้อยมาก ระบบรากที่ตื้นของต้นไม้ทำให้น้ำฝนซึมลงมาในส่วนลึกของชั้นดินได้น้อยกว่า จึงกำหนดให้ป่าไผ่มี Hydrologic soil group ในระดับ C ซึ่งมีผลทำให้ค่า CN ของป่าไผ่มีค่าเท่ากับ 73 ที่ Hydrologic condition ระดับต่ำ หรือ poor นั้น จะมีป่า 2 ชนิดที่มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งความบางของชั้นดิน นั่นคือป่าเต็งรังกับป่าสนเขา เนื่องจากปัจจัยที่เป็นองค์ประกอบของความหลากหลายทางชีวภาพทั้ง 4 ของป่าเต็งรังจะแตกต่างไปจากป่าเบญจพรรณมาก จึงกำหนดให้ป่าเต็งรังมี Hydrologic soil group ในระดับ C ซึ่งมีผลทำให้ค่า CN ของป่าเต็งรังมีค่าเท่ากับ 77 อย่างไรก็ตาม Lasco and Pulhin (2003) พบว่าปริมาณมวลชีวภาพเหนือผิวดิน ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับเปอร์เซ็นต์พื้นที่หน้าตัดของลำต้นของต้นไม้ในป่าสนเขา (184.6 ตัน/เฮกแตร์) มีมากกว่าค่าเฉลี่ยของป่าเต็งรัง (69 ตัน/เฮกแตร์) ที่ Ogawa et al. (1965) ได้ศึกษาไว้ ส่งผลทำให้ป่าสนเขามีความสามารถในการดูดซับและเก็บกักน้ำฝนได้ดีกว่าป่าเต็งรัง ดังนั้นจึงกำหนดให้ป่าสนเขามี Hydrologic soil group ในระดับ B ทำให้ค่า CN ของป่าสนเขามีค่าเท่ากับ 66

ค่า CN ของสวนป่า

(แก้วอำพุท และคณะ, 2552) กล่าวว่า ปัจจุบันชนิดของสวนป่าที่ภาพถ่ายดาวเทียมสามารถแปลออกมาได้อย่างชัดเจนคือ สวนสัก และสวนยูคาลิปตัส สวนป่าทั้งสองนี้จัดอยู่ในประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ SCS กำหนดไว้คือ Woodgrass combination หรือ orchard คือเป็นการปลูกไม้เศรษฐกิจยืนต้น แต่เนื่องจากสวนป่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งสวนสักมักจะปลูกบนพื้นที่ที่เคย

เป็นป่าเบญจพรรณมาก่อน ดังนั้นจึงกำหนดให้มี hydrologic condition ในระดับปานกลาง หรือ fair และมี Hydrologic soil group ในระดับเดียวกับป่าเบญจพรรณคือ ระดับ B ทำให้ค่า CN ของสวนสักมีค่าเท่ากับ 65 ในทำนองเดียวกันสวนยูคาลิปตัส ซึ่งมักจะนิยมปลูกในบริเวณที่มีความสมบูรณ์ต่ำทั้งธาตุอาหารและน้ำในดิน จนกระทั่งไม่สามารถปลูกพืชเกษตรชนิดอื่น ๆ ที่ให้ผลผลิตที่ดีได้จึงกำหนดให้มี Hydrologic condition ในระดับปานกลางหรือ fair และมี hydrologic soil group ในระดับ C ส่งผลทำให้ค่า CN ของสวนยูคาลิปตัสมีค่าเท่ากับ 76 ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่า CN ของสวนป่า

Land-use	Hydrologic condition	Hydrologic Soil Group			
		A	B	C	D
Wood-grass combination หรือ Orchard (พื้นที่ผสม ระหว่าง ป่าไม้และสวนป่า)	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79

ที่มา : พัฒนาจาก (แก้วอำพุท และคณะ, 2547)

ค่า CN ของทุ่งหญ้าและพื้นที่เกษตรกรรม

(แก้วอำพุท และคณะ, 2552) กล่าวว่า สำหรับทุ่งหญ้าจัดอยู่ในประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ SCS กำหนดไว้คือ Rangeland and Herbaceous จะกำหนดให้มี Hydrologic condition ในระดับปานกลาง หรือ fair แต่เนื่องจากต้นหญ้ามักรับบรกกที่ตื้น และมีการสานกันแน่นบริเวณผิวดิน ทำให้น้ำฝนมีโอกาสซึมลงไปดินได้ยาก) ดังนั้นจึงกำหนดให้มี Hydrologic soil group ในระดับ C ทำให้ค่า CN ของทุ่งหญ้ามามีค่าเท่ากับ 81 ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่า CN ของทุ่งหญ้า

Landuse	Hydrologic condition	Hydrologic Soil Group			
		A	B	C	D
Rangeland and Herbaceous (ทุ่งหญ้า)	Poor	-	80	87	93
	Fair	-	71	81	89
	Go	-	62	74	85

ที่มา : พัฒนาจาก (แก้วอำพุท และคณะ, 2547)

ในกรณีของที่รกร้างและพื้นที่เกษตรกรรมนั้น จัดอยู่ในประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ SCS กำหนดไว้คือ Agricultural land, bare soil และ crop land แต่เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ต้นน้ำที่เปราะบาง ง่ายต่อการกัดเซาะพังทลายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ ดังนั้นจึงกำหนดให้มี Hydrologic condition ในระดับต่ำ หรือ poor อย่างไรก็ตามพื้นที่ไร่ร้างจะเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่ถูกปล่อยทิ้งให้มีการฟื้นตัวเองตามธรรมชาติ (natural succession) ทำให้มีการพัฒนาตัวต้นโครงสร้างของพืชทั้งในส่วนของที่อยู่เหนือผิวดินและในส่วนของที่อยู่ใต้ผิวดิน และมีการเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้กับดิน (พงษ์ศักดิ์ ลาภอุดมเลิศ และคณะ, 2517) ทำให้พื้นที่มีความสามารถในการดูดซับและเก็บกักน้ำฝนได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นที่เกษตรกรรมจึงกำหนดให้มี hydrologic soil group ในระดับ B ส่งผลทำให้ค่า CN ของพื้นที่ไร่ร้างมีค่าเท่ากับ 85 ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่า CN ของพื้นที่เกษตรกรรม

Landuse	Hydrologic condition	Hydrologic Soil Group			
		A	B	C	D
พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ว่างเปล่า	-	77	86	91	94
	Poo	76	85	90	93
	Good	74	83	88	90

ที่มา : พัฒนาจาก (แก้วอำพุท และคณะ, 2547)

สำหรับในส่วนของพื้นที่เกษตรกรรม การรบกวนดินด้วยการไถพรวน ถึงแม้จะเพิ่มความพรุนให้กับผิวน้ำดินและช่วยให้น้ำฝนซึมลงไปในดินได้มาก แต่ก็ทำให้เกิดการชะล้างเอาอนุภาคดินเหนียวลงมาสะสมเป็นชั้นดาน (hardpan) ใต้ชั้นไถพรวนได้เช่นกัน ทำให้น้ำฝนไม่สามารถซึมลงไปในส่วนลึกของชั้นดินได้ (Shin-Kai et al, 2008) จึงกำหนดให้มี Hydrologic soil group ในระดับ C ทำให้ค่า CN ของพื้นที่เกษตรกรรมมีค่าเท่ากับ 90

ค่า CN ของพื้นที่อื่น

(แก้วอำพุท และคณะ, 2552) กล่าวว่า นอกเหนือไปจากพื้นที่ป่าธรรมชาติ สวนป่า ทุ่งหญ้า และพื้นที่เกษตรกรรมแล้ว ผลของการแปลสภาพ่ายดาวเทียมยังพบอีกว่าในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ มีลานหินธรรมชาติ และพื้นที่ทำเหมืองแร่อีกด้วย ซึ่งตรงกับการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ SCS กำหนดให้เป็น Industrial districts โดยมีข้อกำหนดของ Hydrologic condition ไว้ว่า จะต้องเป็นพื้นที่ที่เป็นอาคารที่ไม่ดูดซับน้ำฝน ซึ่งในที่นี้เทียบได้กับพื้นที่ทำเหมืองแร่ นั้น จะต้องไม่น้อยไปกว่าร้อยละ 72 ของพื้นที่ทั้งหมด เนื่องจากการทำเหมืองในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเหมืองเปิด หรือ Open

pit หรือเป็นเหมือนที่มีการขุดลึกลงไปชั้นหิน ประกอบกับหินมีการดูดซับน้ำฝนได้น้อยมาก ดังนั้น จึงกำหนดให้พื้นที่ทำเหมืองมี Hydrologic soil group ในระดับ D ทำให้ค่า CN ของพื้นที่ทำเหมืองแร่ และลานหินธรรมชาติมีค่าเท่ากัน คือ 93 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า runoff coefficient หรือสัดส่วนระหว่าง ปริมาณน้ำท่า กับปริมาณน้ำฝนที่ Viessman et al.(1989) กำหนดไว้คือ 90 เปอร์เซ็นต์

ค่า CN ของการใช้ประโยชน์ที่ดินบนพื้นที่ต้นน้ำ

(แก้วอำพุท และคณะ, 2552) กล่าวว่า การกำหนดค่า CN หรือค่า runoff curve number ให้กับพืชคลุมดินชนิดต่าง ๆ เพียงหนึ่งของ 4 ปัจจัยของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีบทบาทต่อการให้น้ำท่าที่ไหลในลำธารคือ ลักษณะภูมิประเทศ ชนิดดิน พืชคลุมดิน และแอ่งน้ำที่ผิวดิน ซึ่ง Schwab et al. (1971) ได้กำหนดให้มีสัดส่วนของน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 40:20:20:20 ดังนั้นในการนำค่า CN ของปัจจัย พืชคลุมดินไปประยุกต์ใช้ร่วมกับปัจจัยทั้งสามที่เหลือ จำเป็นต้องมีการปรับค่าให้เป็นสัดส่วนโดยรวมทั้งหมดเสียก่อน (ดังรายละเอียดในตารางที่ 9) แล้วจึงนำไปใช้ประโยชน์ได้

ตารางที่ 9 ค่า runoff curve number ของพืชคลุมดิน (CNve) ชนิดต่าง ๆ สำหรับประเทศไทย

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ค่า CNve	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ค่า CNve
ป่าดิบเขา	5	สวนสัก	13
ป่าดิบชื้น	5	สวนยูคาลิปตัส	15
ป่าดิบแล้ง	11	ทุ่งหญ้า	16
ป่าเบญจพรรณ	12	ไรร้าง	17
ป่าไผ่	15	พื้นที่เกษตรกรรม	18
ป่าเต็งรัง	15	เหมืองแร่	19
ป่าสนเขา	13	ลานหิน	19

ที่มา : พัฒนาจาก (แก้วอำพุท และคณะ, 2547)

2.4 แบบจำลอง SWAT

SWAT ย่อมาจาก Soil and Water Assessment Tool พัฒนาโดย Arnold et al. ในปี ค.ศ. 1983 ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่า และปริมาณตะกอนภายในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่โดยสามารถคำนวณเป็นรายวันต่อเนื่องตามระยะเวลาที่ยาวนานได้ แบบจำลอง SWAT อาศัยข้อมูลเชิงกายภาพ โดยมีส่วนประกอบหลัก ๆ ได้แก่ ข้อมูลด้านภูมิอากาศ ด้านอุทกวิทยา ด้านอุทกภูมิ คุณสมบัติดิน และด้านการจัดการที่ดินโดยการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (Arnold et al. 2005) และภายในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยก็จะถูกแบ่งเป็น หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units, HRUs) ซึ่งเป็นการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การจัดการที่ดิน และคุณสมบัติที่ดิน การประมาณค่าทางอุทกวิทยาจะใช้หลักการทางด้านสมดุลของน้ำ โดยปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในดินจะเท่ากับปริมาณน้ำที่ดินได้รับมาซึ่งประกอบด้วยปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำชลประทาน ลบกับปริมาณน้ำที่ดินสูญเสียไปซึ่งประกอบด้วย ปริมาณการคายระเหย ปริมาณการซึมลึกลงไปได้ดินของน้ำและปริมาณการไหลลงแม่น้ำดังสมการที่ (2-2) และรูปที่ 2

$$SW_t = SW + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i) \quad (2-2)$$

โดยที่

SW_t = ปริมาณน้ำที่กักเก็บไว้ในดิน (มม.)

t = ช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ

i = ลำดับของเวลาในแต่ละขั้นของการคำนวณ

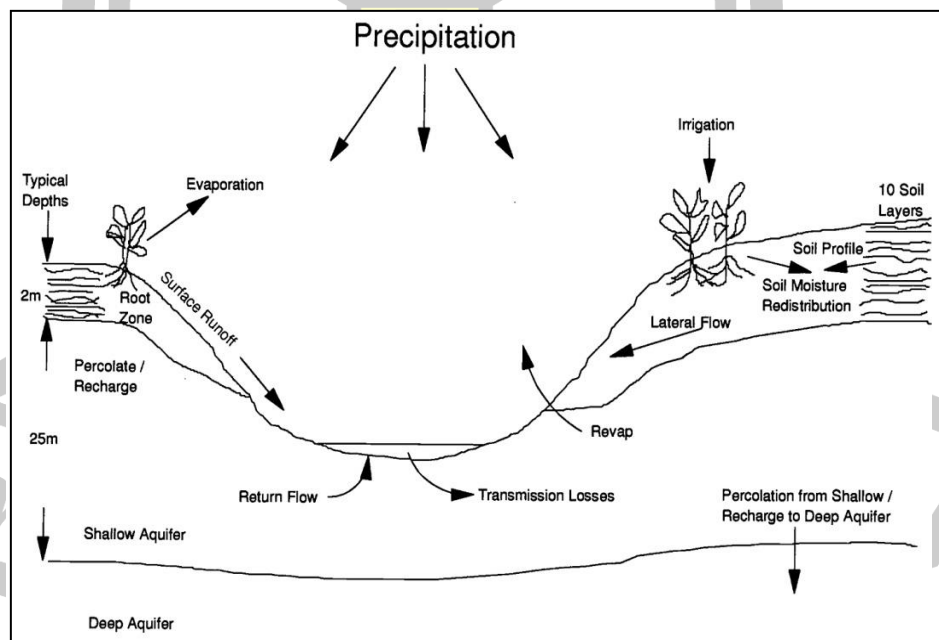
R_i = ปริมาณน้ำฝน (มม.)

Q_i = ปริมาณน้ำไหลบ่า (มม.)

ET_i = ปริมาณการคายระเหย (มม.)

P_i = ปริมาณน้ำที่ซึมลึกลงดิน (มม.)

QR_i = ปริมาณน้ำที่ไหลลงแม่น้ำ (มม.)



รูปที่ 2 แนวคิดการเกิดน้ำท่าในแบบจำลอง SWAT (Arnold et al. 1998)

ข้อมูลที่ต้องการสำหรับสมการสมดุลของน้ำ ในแบบจำลอง SWAT ได้แก่ ข้อมูลภูมิอากาศ (ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลเกี่ยวกับพืชที่ทำการเพาะปลูก และ ข้อมูลดิน (ประกอบด้วยคุณสมบัติของดินในแต่ละชั้นดิน) หลักการประเมินน้ำท่าในแบบจำลอง SWAT แบบจำลอง SWAT วิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าโดยวิธี SCS curve number พัฒนาโดย U.S. Department of Agriculture ซึ่งเป็นทฤษฎีการหาปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน (Rainfall Excess) โดยจะทำการแบ่งปริมาณน้ำฝน (Precipitation, P) ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ปริมาณการไหลโดยตรง (Direct Runoff, Pe) ปริมาณการไหลซึมลงดิน (Infiltration, Fa) และ ปริมาณการสูญเสียเริ่มต้น (Initial Abstraction, Ia) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ ดังสมการ (2-3)

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (2-3)$$

การคำนวณปริมาณการสูญเสียของปริมาณฝน เพื่อประเมินปริมาณการไหลโดยตรง ทำได้โดยการพัฒนา Curve Number (CN) ซึ่งได้จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนและข้อมูลปริมาณการไหลโดยตรงโดยการพล็อตค่าสะสมของข้อมูลจะเห็นว่าปริมาณการไหลโดยตรง จะเกิดหลังจากฝนตกแล้วช่วงเวลาหนึ่ง จึงได้ความสัมพันธ์ดังสมการ (2-4)

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \quad (2-4)$$

โดยที่

Q_{surf} = ปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดิน (มม.)

R_{day} = ปริมาณน้ำฝนรายวัน (มม.)

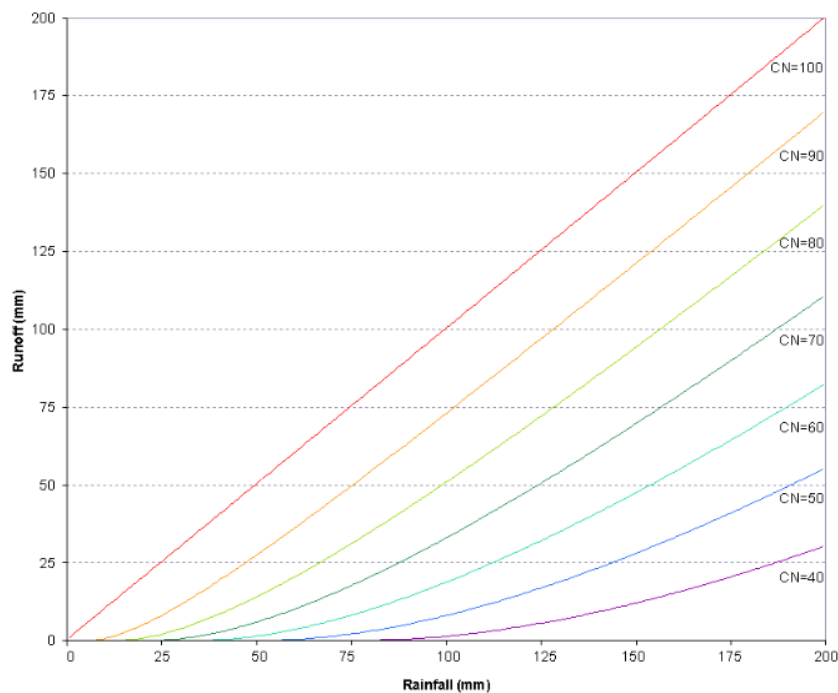
I_a = การตักและการแทรกซึมก่อนการไหลบ่า (มม.)

S = ตัวแปรการกักเก็บ (มม.) หรือค่า Retention Parameter แปรผันตามลักษณะพื้นที่ ได้แก่ ชนิดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน การจัดการและความลาดชันผิวดิน และแปรผันตามปริมาณความชื้นในดิน ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งถูกรวมอยู่ในตัวแปรเพียงตัวเดียว เรียกว่า Curve Number โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ (2-5)

$$S = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (2-5)$$

โดยที่ CN คือ Curve Number เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างความยากง่ายของน้ำในการซึมผ่านชั้นดิน (Soil's Permeability) CN จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 100 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินกับปริมาณน้ำฝนรายวัน (มม.) ที่ระดับค่า CN ต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 3

โดยในปี ค.ศ. 1996 The U.S. Natural Resource Conservation Service (NRCS) Soil Survey Staff ได้แบ่งกลุ่มดินทางอุทกวิทยา (Hydrologic Soil Group) ตามคุณลักษณะการซึมน้ำ (Infiltration) ของดินออกเป็น 4 กลุ่มได้แก่



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลบ่าบนผิวดินกับน้ำฝนรายวันและค่า CN
(Neitsch et al. 2009)

กลุ่ม A: ดินมีศักยภาพของการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินต่ำดินมีอัตราการซึมน้ำสูงเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วลักษณะที่สำคัญของกลุ่มดินนี้ คือ ดินมีความลึกมากเนื้อดินเป็นดินทรายหรือกรวด และดินมีการระบายน้ำดีถึงดีมากมีอัตราการซึมน้ำต่อเนื่องในดินสูง

กลุ่ม B: ดินมีอัตราการซึมน้ำปานกลางเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วลักษณะที่สำคัญของกลุ่มดินนี้ คือดินมีความลึกปานกลางถึงลึกมากดินมีการระบายน้ำปานกลางถึงระบายน้ำดีเนื้อดินค่อนข้างละเอียดถึงค่อนข้างหยาบมีอัตราการซึมน้ำต่อเนื่องในดินปานกลาง

กลุ่ม C: ดินมีอัตราการซึมน้ำช้าเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้วลักษณะที่สำคัญของกลุ่มดินนี้ คือ มีชั้นดินที่ชะลอการไหลของน้ำลงไปดินเนื้อดินค่อนข้างละเอียดถึงละเอียดมีอัตราการซึมน้ำต่อเนื่องในดินช้า

กลุ่ม D: ดินมีศักยภาพการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินสูงดินมีอัตราการซึมน้ำช้ามากเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำลักษณะที่สำคัญของกลุ่มดินนี้ คือ เนื้อดินเป็นดินเหนียวที่มีศักยภาพในการขยายตัวสูงเมื่อดินชื้นทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านลงไปใต้ระดับน้ำในดินคงที่มีชั้นดินต้นอยู่บนชั้นดินเหนียวที่น้ำซึมผ่านได้ยากและอยู่ใกล้กับผิวดินมีอัตราการซึมน้ำต่อเนื่องช้ามาก

2.5 วิธีตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เพื่อให้มั่นใจได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการทรัพยากรน้ำได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือตามหลักวิชาการ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างการใช่แบบจำลองกับข้อมูลที่ตรวจวัด โดยใช้ดัชนีในการเปรียบเทียบ ดังนี้

2.5.1 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) คือ ตัวแปรทางสถิติที่ใช้อธิบายความผันแปรของปัจจัยที่เกิดจากความสัมพันธ์กับอีกปัจจัยเชิงเส้นตรง R^2 จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่ามากกว่า 0.50 แสดงว่าปัจจัยทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในระดับที่มีความน่าเชื่อถือ ค่า R^2 สามารถคำนวณได้จากสมการ (2-6)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (2-6)$$

โดยที่

i = ลำดับที่

n = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

O_i = ค่าจากการตรวจวัด

\bar{O} = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัดทั้งหมด

P_i = ค่าจากแบบจำลอง

P = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากแบบจำลองทั้งหมด

2.5.2 Nash-Sutcliffe Efficiency (E)

ในปี ค.ศ. 1970 Nash and Sutcliffe ได้พัฒนาวิธีการหาประสิทธิภาพของแบบจำลองทางอุทกวิทยา ผ่านตัวแปรที่เรียกว่า Nash-Sutcliffe Efficiency (E) โดยที่ E จะมีค่าอยู่ระหว่าง $-\infty$ ถึง 1 Moraisi et al. ได้แนะนำว่าถ้าค่า E เท่ากับ 1 หมายความว่า ค่าที่ได้จากแบบจำลองตรงกับค่าที่ได้จากการวัดค่าในสนาม หรือ แบบจำลองมีประสิทธิภาพสูงสุด ปกติถ้าค่า E อยู่ระหว่าง 0 - 1 ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ แต่ถ้าค่า E น้อยกว่า 0 จะถือว่าแบบจำลองไม่มีประสิทธิภาพ ดังสมการ (2-7)

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2-7)$$

โดยที่

E = Nash-Sutcliffe Efficiency

O_i = ค่าที่ได้จากการวัด

\bar{O} = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการวัดทั้งหมด

P_i = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

2.5.3 Percent Bias (PBIAS)

PBIAS คือ เปอร์เซนต์แตกต่างระหว่างค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ถ้าค่าของ PBIAS เข้าใกล้ 0 หมายความว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือสามารถคำนวณได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ถ้าค่า PBIAS เป็นบวกหมายความว่าแบบจำลองคำนวณค่าได้ต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งหาได้จากสมการ (2-8)

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i) * 100}{\sum_{i=1}^n (O_i)} \quad (2-8)$$

โดยที่ O_i และ P_i คือ ค่าที่ได้จากการตรวจวัด และค่าที่ได้จากแบบจำลอง ตามลำดับ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กัมปนาท ภักดีกุล, ราชภัทร รัตนวราห และคณะ (2554) ได้ศึกษาการจัดการน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำในจังหวัดขอนแก่น กรณีศึกษา : ตำบลโคกสี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น เพื่อศึกษาความเพียงพอสำหรับปริมาณน้ำท่า (Inflow) ที่มีในพื้นที่เทียบกับปริมาณการใช้น้ำในทุกกิจกรรมเพื่อตรวจสอบว่าในพื้นที่ตำบลโคกสี มีปริมาณน้ำต้นทุนเพียงพอสำหรับใช้ในกิจการต่างๆ หรือไม่ โดยพิจารณารายละเอียดในแต่ละช่วงเวลาเป็นรายเดือน และวิเคราะห์ถึงในระดับหมู่บ้าน แนวทางการศึกษาจะทำการคำนวณหาปริมาณน้ำท่ารายเดือน (Inflow) โดยจะใช้วิธีการหาน้ำท่าโดยวิธี Rational Formula สูตร $Q = C.I.A$ คำนวณปริมาณน้ำท่าเป็นรายเดือนในแต่ละหมู่บ้าน สำหรับกิจกรรมการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค ความต้องการใช้น้ำของพืชโดยใช้โปรแกรม Cropwat Version 4 ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค ความต้องการใช้น้ำเพื่อการเลี้ยงสัตว์ และบ่อปลา แต่เนื่องจากพื้นที่การเกษตรในตำบลโคกสีส่วนใหญ่อยู่ในเขตพื้นที่ชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาหนองหวาย ดังนั้นจะมีปริมาณน้ำใช้เพื่อการเกษตรส่วนหนึ่งได้รับน้ำเพิ่มเติมจากภายนอกคือน้ำชลประทานการวิเคราะห์ความเพียงพอของการจัดการน้ำในการศึกษาคั้งนี้จึงกำหนดไว้เป็น 2 กรณีคือ

กรณีที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ากับปริมาณการใช้น้ำในทุกกิจกรรมในพื้นที่ทั้งตำบลโคกสี

กรณีที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่ากับปริมาณการใช้น้ำในทุกกิจกรรมในพื้นที่ทั้งตำบลโคกสี ยกเว้นปริมาณการใช้น้ำเพื่อการเกษตรคำนวณเฉพาะพื้นที่นอกเขตชลประทาน

โดยกำหนดดัชนีเป็นค่าความเพียงพอของการจัดการน้ำ ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า (Inflow) ต่อปริมาณความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ตามข้อกำหนดการวิเคราะห์ความเพียงพอของการจัดการน้ำในพื้นที่ตำบลโคกสีระดับหมู่บ้านพบว่า

กรณีศึกษาที่ 1 ค่าความเพียงพอของการจัดการน้ำในระดับหมู่บ้าน พบว่ามีจำนวนหมู่บ้านที่มีปริมาณน้ำท่าน้อยกว่าปริมาณความต้องการใช้น้ำในทุกกิจกรรม โดยมีค่าความเพียงพอน้อยกว่า 1.00 ซึ่งแสดงว่าหมู่บ้านจำนวน 9 หมู่บ้าน จะเกิดการขาดแคลนน้ำทั้ง 9 หมู่บ้าน

กรณีศึกษาที่ 2 ค่าความเพียงพอของการจัดการน้ำในระดับหมู่บ้าน พบว่ามีหมู่บ้านที่มีปริมาณน้ำท่า

มากกว่าปริมาณความต้องการใช้น้ำในทุกกิจกรรม ยกเว้นปริมาณการใช้น้ำเพื่อการเกษตรคำนวณ เฉพาะพื้นที่นอกเขตชลประทาน โดยมีค่าความเพียงพอมากกว่า 1.00 ทุกหมู่บ้านซึ่งแสดงว่าไม่มี หมู่บ้านใดเกิดการขาดแคลนน้ำเลยทั้ง 14 หมู่บ้าน

พงษ์ศักดิ์ วิทวัสชุตินกุล, ธรรมบุญ แก้วอำพุท และพิณทิพย์ ธิติโรจนะวัฒน์ (2552) การ ประยุกต์ใช้ SCS-CN methodology ประเมินการเปลี่ยนแปลงน้ำท่าหลังการทำลายป่าต้นน้ำและใช้ ประโยชน์ที่ดินทำการเกษตรโดยมีพื้นที่ศึกษาคือลุ่มน้ำทดลองจำนวน 5 ลุ่มน้ำย่อย บริเวณดอยเชียง ดาว อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่เพื่อให้ประชาชนตระหนักถึงความสำคัญของป่าต้นน้ำในการ ใช้อำนวยน้ำให้กับลำธาร กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณและลักษณะการไหลของน้ำท่าเมื่อป่าต้นน้ำ ถูกทำลาย และมีการใช้ประโยชน์ที่ดินทำการเกษตรอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่าจากพื้นที่ต้น น้ำป่าดิบเขา ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรังสวนสัก และสวนสนสามใบ ที่ถูกเก็บวัดอย่างต่อเนื่องบริเวณ ดอยเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ มาตั้งแต่ปี.ศ.2547 ถึง 2550 ถูกนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับ SCS-CN methodology เพื่อการจำลองเหตุการณ์การเกิดน้ำท่าในพื้นที่ทำการเกษตรผลการศึกษพบว่าในแต่ละ ปี ป่าต้นน้ำจะผลิตน้ำในรูปของน้ำท่าที่ไหลในลำธารให้กับพื้นที่ท้ายน้ำตลอดทั้งปีเท่ากับ 283.10 มม.หรือร้อยละ 16.10 ของฝนที่ตกลงมาทั้งหมด หลังจากการทำลายป่าต้นน้ำและใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำการเกษตรอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ปี ทำให้น้ำท่าที่ไหลในลำธารเพิ่มมากขึ้น 2.03เท่า แต่ช่วง ระยะเวลาในการไหลของน้ำท่าจะลดลงเหลือเพียง 7 เดือนเท่านั้น

ดวงทิพย์ ฤกษ์ และทรงวุฒิ แสงจันทร์ (2556) การศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบ ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสภาพอากาศที่มีต่อปริมาณน้ำท่าผิวดินของลุ่มน้ำฝาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ที่ดิน และสภาพอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำช่วงปี พ.ศ. 2544-2553 ทำการประเมินปริมาณน้ำท่าผิวดินโดยใช้วิธี scs-cn method จากแผนที่การใช้ที่ดินได้ ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในช่วงปี พ.ศ.2544-2548 และช่วงปี พ.ศ.2548-2553 พบว่า ในช่วงปีดังกล่าวมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน คือจาก พื้นที่ป่าไม้เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ทำ การเกษตร และจากพื้นที่ทำการเกษตรเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่อยู่อาศัยของชุมชน จากการคำนวณ ปริมาณน้ำท่าผิวดินพบว่าในปี พ.ศ.2544 มีปริมาณ 987.80 มิลลิเมตร โดยพบว่ามีปริมาณลดลงเป็น 595.95 มิลลิเมตร ในปี พ.ศ.2548 และมีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น 901.42 มิลลิเมตร ในปี พ.ศ.2553 จาก ผลการประเมินน้ำท่าผิวดินโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณฝนกับน้ำท่า พบว่าปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำท่าผิวดินโดยที่พบว่าไม่มี ความสัมพันธ์กันระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณน้ำท่าผิวดินในการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นการจัดการอนุรักษ์ ดินและน้ำจึงมีความจำเป็นที่จะดำเนินการกับปัญหาทรัพยากรธรรมชาติในลุ่มน้ำ อันได้แก่ ปริมาณ น้ำท่าผิวดิน และปัญหาการขาดแคลนน้ำ

โอฬาร เวศุโร (2548) ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบน โดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT โดยใช้สถานี N.1 เป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ โดยใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2517 - พ.ศ. 2545 และใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินในปี พ.ศ. 2520, พ.ศ. 2537 และ พ.ศ. 2544 วิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยเลือกศึกษาใน 2 กรณี คือ 1. ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ในปัจจุบันกับอดีตที่ผ่านมา (ในปี พ.ศ. 2544 เทียบกับพ.ศ. 2520) 2. ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ในปัจจุบันกับกรณีสมมุติต่าง ๆ ในอนาคต แบ่งเป็น 3 เหตุการณ์ 1) มีการฟื้นฟูป่าไม้จนเกือบเต็มพื้นที่ 2) เพิ่มพื้นที่ทางการเกษตรกรรม พื้นที่ทางการอยู่อาศัย และพื้นที่เกษตรกรรม 3) มีการตัดไม้ทำลายป่าจนเกือบหมดพื้นที่ และเปลี่ยนมาเป็นที่อยู่อาศัย ได้ผลของการวิเคราะห์ใน กรณีที่ 1 ปริมาณน้ำที่ลดลงจากปัจจุบัน 13.97% กรณีที่ 2 ค่าปริมาณน้ำมากกว่าปัจจุบัน 1% ซึ่งถือได้ว่ามีค่าเท่าเดิม เนื่องจากการกำหนดให้มีการปลูกพืชในลักษณะลดหลั่นตามชั้นความสูงของพื้นที่และปลูกเป็นขั้นบันไดมีการวางตัวของพืชอย่างเป็นระเบียบและมีพื้นที่ปกคลุมของดินไม่มาก และกรณีที่ 3 จะได้ค่าปริมาณน้ำมากกว่าปัจจุบัน 11.5%

เทวินทร์ แก้วเมืองมูล (2552) ได้ศึกษาการประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ทา จังหวัดลำพูน โดยใช้แบบจำลอง SWAT ในการประเมินปริมาณน้ำท่าโดยมีการตรวจสอบมาตรฐานแบบจำลองโดยใช้ค่าทางสถิติ R² และ E เพื่อทำการเปรียบเทียบแบบจำลองในช่วงเวลาปี พ.ศ. 2542 ถึงปี พ.ศ. 2551 กับจุดวัดน้ำ P.77 ของศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคเหนือตอนบน ผลการศึกษาพบว่า 1) การประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT จะแปรผันตามปริมาณฝน โดยจะมีปริมาณน้ำท่าสูงขึ้นในช่วงฤดูฝน 2) การประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตร สามารถใช้เป็นดัชนีประสิทธิภาพใช้น้ำเพื่อการเกษตรของกลุ่มน้ำย่อย เพื่อใช้ในการวางแผนจัดการกลุ่มน้ำ 3) ผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางเกษตร ทั้งระบบพืชใหม่และดัชนีประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตร สามารถนำไปสร้างเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ร่วมกับฐานข้อมูลทางด้านเศรษฐกิจด้านสังคม และด้านการอนุรักษ์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกปลูกพืชของเกษตรกรให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ศรายุทธ วงษาศรี (2554) ได้ศึกษาถึงการประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำพอง จังหวัดหนองบัวลำภู โดยใช้แบบจำลอง SWAT ในช่วงปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2553 ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองมีค่าพารามิเตอร์ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงในพื้นที่ และแบบจำลองที่ได้ มีความน่าเชื่อถือ ค่า R² เท่ากับ 0.85 สามารถนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต อันส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำ เช่น การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การสร้างอ่างเก็บน้ำ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น เพื่อเป็นแนวทางเลือกในการจัดการน้ำต่อไป

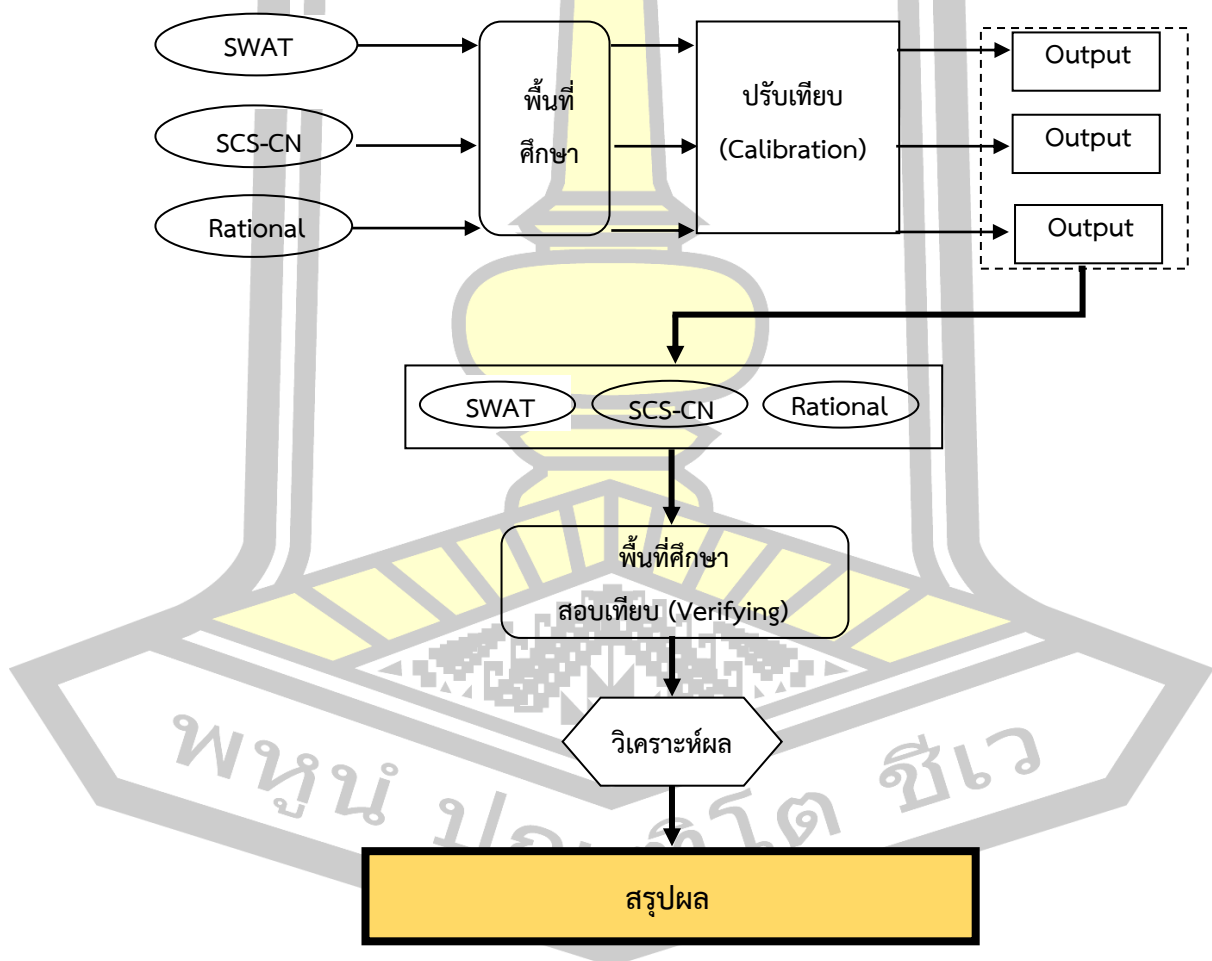
แพรววดี หงซาวง, เรวดี สามสาลี และเกศวรา สิทธิโชค (2559) ได้ทำการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตั้งค่าแบบจำลอง SWAT และประเมินค่าความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT สำหรับใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง ข้อมูลหลัก ได้แก่ ข้อมูลความสูงเชิงพื้นที่ แผนที่ดิน แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะการใช้ที่ดิน และลักษณะสภาพอากาศ ในพื้นที่ศึกษา ได้ถูกนำเข้าสู่แบบจำลองและประเมินปริมาณน้ำท่าเบื้องต้น จากนั้นผลที่ได้จากแบบจำลอง SWAT จะถูกนำเข้าสู่โปรแกรม SWAT-CUP ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบค่าความอ่อนไหวและปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT ผลการศึกษาพบว่า พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวมากที่สุด 5 อันดับแรกอยู่ในกลุ่มของตัวแปรน้ำใต้ดิน และกลุ่มของตัวแปรของหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาได้แก่ ระยะเวลาการไหลของน้ำใต้ผิวดิน (GW_DELAY.gw), ค่าความลาดเทของระดับน้ำใต้ผิวดิน (SLSOIL.hru) , เวลาการไหลซึมออกของน้ำในแนวระนาบชั้นใต้ผิวดิน (LAT_TTIME.hru), ค่าระดับความลึกของน้ำในชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น (GWQMN.gw) และค่าความลาดชันในแต่ละหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU_SLP.hru) , ตามลำดับ โดยพารามิเตอร์ทั้งหมดนี้แสดง ค่า P-Value ที่มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และค่า T-Stat ที่สูงที่สุด ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองได้ต่อไปในอนาคต



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้เป็นการอธิบายถึงวิธีดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยการสร้างแบบจำลองและแบบคำนวณโดยวิธีการทางอุทกวิทยา ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรนำเข้า (Input) ที่ต้องการในแต่ละวิธีให้ครบถ้วน ทำการคำนวณหาค่า แล้วนำมาเปรียบเทียบจนได้แบบจำลองและแบบวิธีที่ใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณหาค่าของพื้นที่ แล้วจึงนำมาสอบเทียบกับปีข้อมูลต้องการ เมื่อได้ผลลัพธ์จะนำมาวิเคราะห์ความถูกต้องแม่นยำวิธีทางสถิติแล้วจึงสรุปผล รายละเอียดวิธีดำเนินการวิจัยสรุปได้ดังรูปที่ 4 และเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ต่อเนื่องจึงจะอธิบายถึงขั้นตอนและวิธีการศึกษาดังหัวข้อต่อไป



รูปที่ 4 ขั้นตอนการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา

3.1.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษานี้มีขอบเขตพื้นที่ศึกษาครอบคลุมลุ่มน้ำลำสะพุงและลุ่มน้ำชีตอนบนซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำชีในจังหวัดชัยภูมิ ซึ่งมีขนาดของพื้นที่ดังนี้

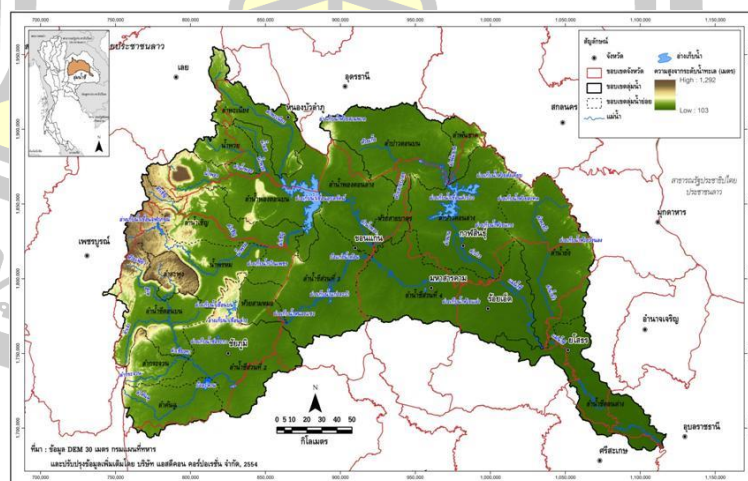
ลุ่มน้ำลำสะพุง	พื้นที่รับน้ำ	729 ตร.กม.
ลุ่มน้ำชีตอนบน	พื้นที่รับน้ำ	3,392 ตร.กม.

โดยพื้นที่ศึกษา จะดำเนินการแบ่งออกเป็นลุ่มน้ำย่อยตามตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่า ซึ่งจะใช้เป็นจุดไหลออกรวมของน้ำท่า (Outlet) และใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง จากพื้นที่ศึกษาและสถานีวัดน้ำท่าจะสามารถแบ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยได้เป็น 4 ลุ่มน้ำย่อยประกอบด้วย

ลุ่มน้ำสถานี E.72	พื้นที่รับน้ำ	247.4	ตร.กม.
ลุ่มน้ำสถานี E.73	พื้นที่รับน้ำ	241.0	ตร.กม.
ลุ่มน้ำสถานี E.83	พื้นที่รับน้ำ	654.6	ตร.กม.
ลุ่มน้ำสถานี E.84	พื้นที่รับน้ำ	522.0	ตร.กม.

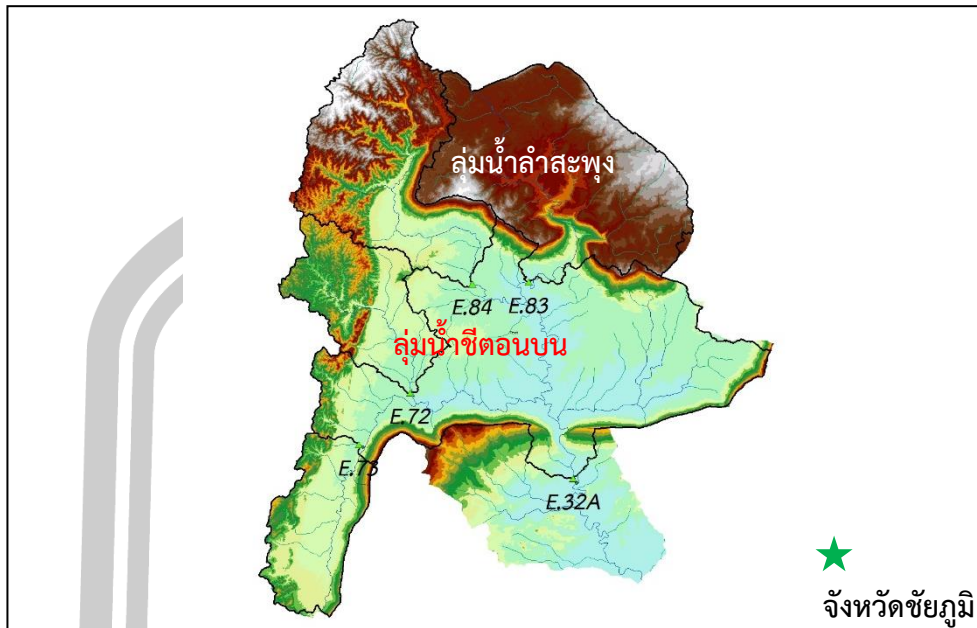
และ ลุ่มน้ำรวมของพื้นที่ศึกษาคือ **ลุ่มน้ำสถานี E.32A** พื้นที่รับน้ำ 2,733.8 ตร.กม.

ทั้งนี้การปรับเทียบและสอบเทียบแบบจำลองจะเป็นไปดังนี้ ปรับเทียบแบบจำลองใช้ข้อมูลในช่วงปี 2550-2556 สอบเทียบแบบจำลอง ใช้ข้อมูลในช่วงปี 2557-2559 แสดงในรูปที่ 5,6



รูปที่ 5 พื้นที่ลุ่มน้ำชี

ที่มา : ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน



รูปที่ 6 พื้นที่ประยุกต์ใช้แบบจำลอง
ที่มา : ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน

3.1.2 รวบรวมข้อมูล

ข้อมูลน้ำฝน

สถานีตรวจวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาที่ได้รวบรวมมามีดังต่อไปนี้

สถานี E.32A	ปีที่ใช้ข้อมูล	2550-2559
สถานี E.73	ปีที่ใช้ข้อมูล	2550-2559
สถานี E.84	ปีที่ใช้ข้อมูล	2550-2559
สถานี อ.หนองบัวแดง จ.ชัยภูมิ	ปีที่ใช้ข้อมูล	2550-2559
สถานี อ.เกษตรสมบูรณ์ จ.ชัยภูมิ	ปีที่ใช้ข้อมูล	2550-2559

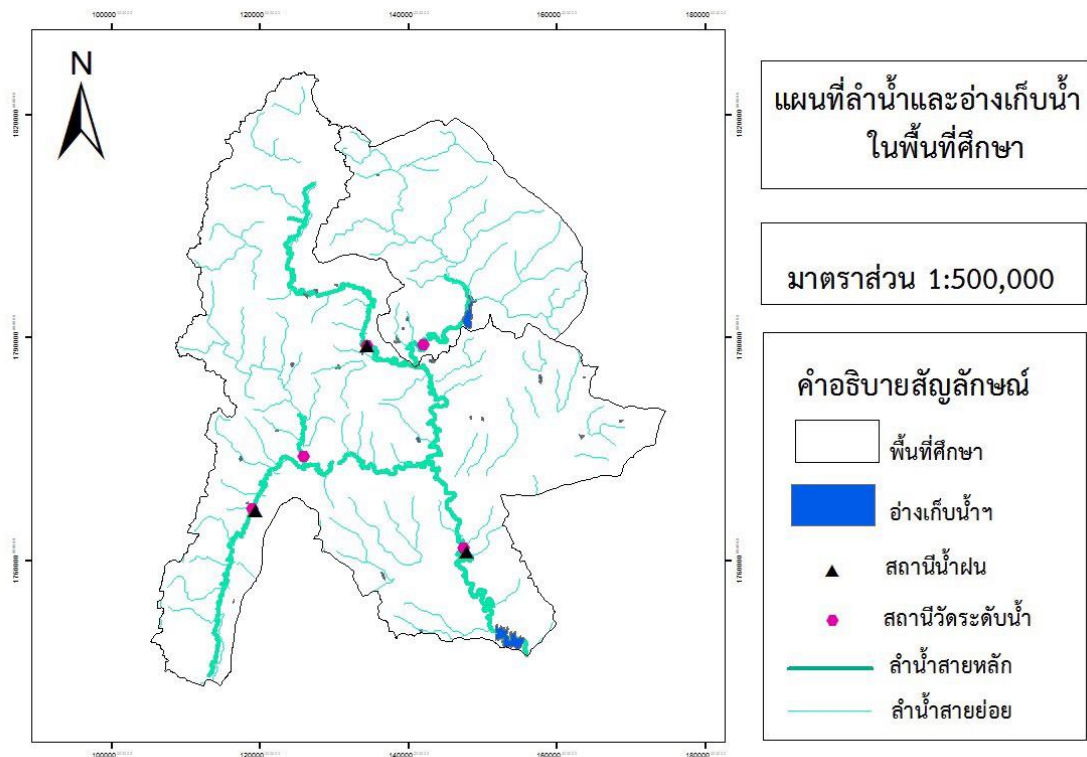
ข้อมูลน้ำท่า

สถานี E.32A	ปีที่ใช้ข้อมูล	2550-2559
สถานี E.72	ปีที่ใช้ข้อมูล	2550-2559
สถานี E.73	ปีที่ใช้ข้อมูล	2550-2559
สถานี E.83	ปีที่ใช้ข้อมูล	2550-2559
สถานี E.84	ปีที่ใช้ข้อมูล	2550-2559

ข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS)

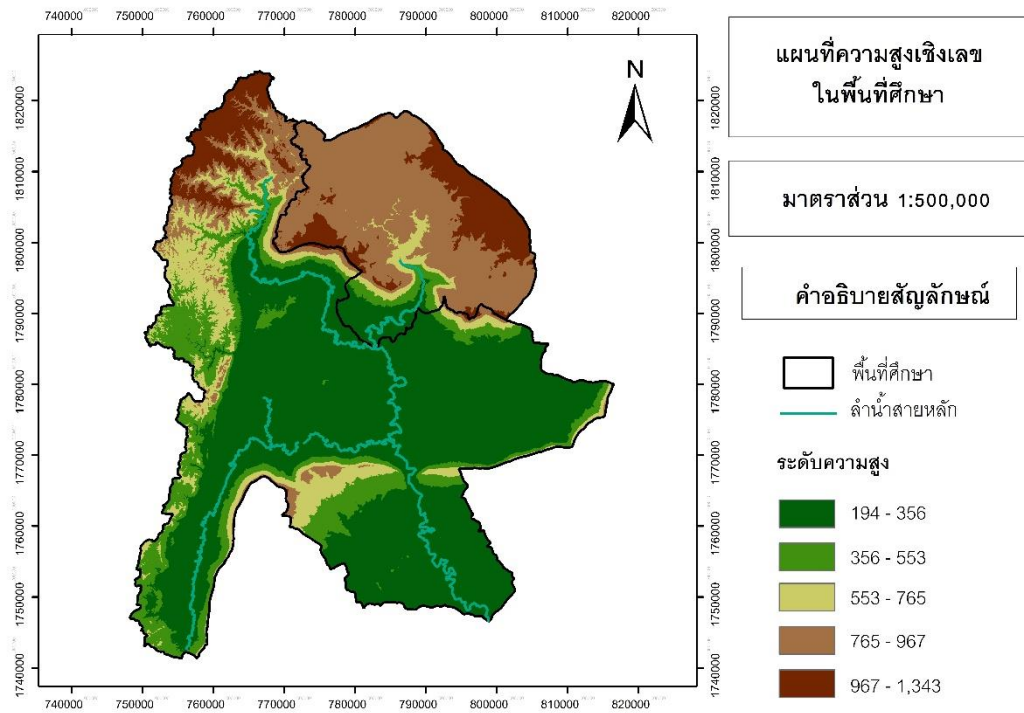
ข้อมูลแผนที่GIS ที่ต้องใช้ประกอบไปด้วย (ดังแสดงในรูปที่ 7-10)

- แผนที่ความสูงเชิงเลข (DEM)
- แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use)
- แผนที่ประเภทของดิน (Soil Type)
- แผนที่เส้นลำน้ำ
- แผนที่ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝน น้ำท่า และสถานีตรวจอากาศ



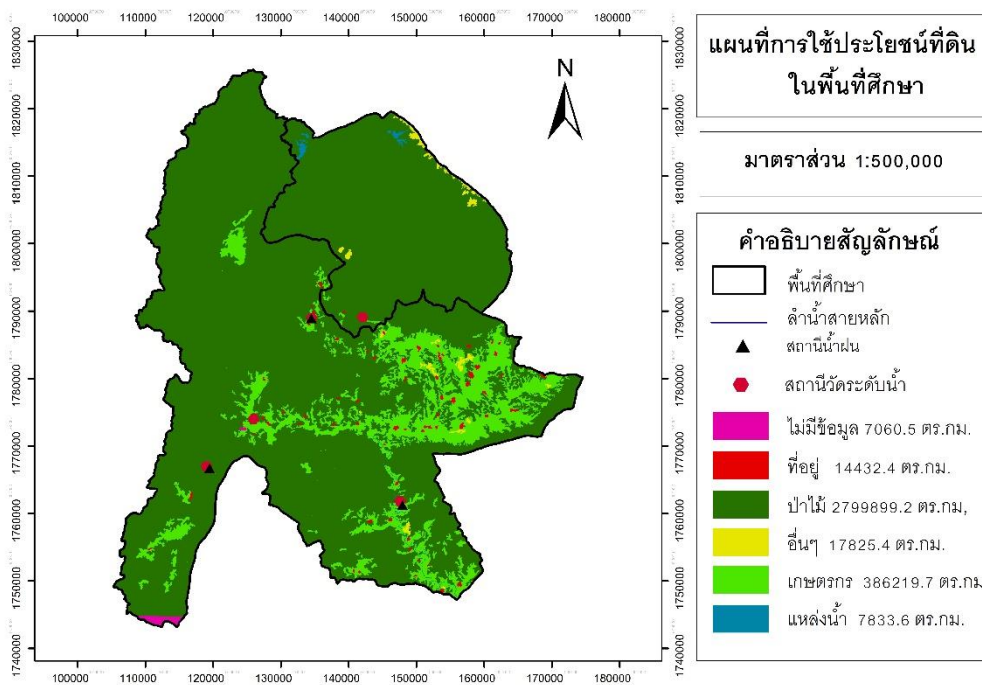
รูปที่ 7 แผนที่เส้นลำน้ำ, อ่างเก็บน้ำ, ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนและน้ำท่า

ที่มา : ข้อมูลจากกรมชลประทาน



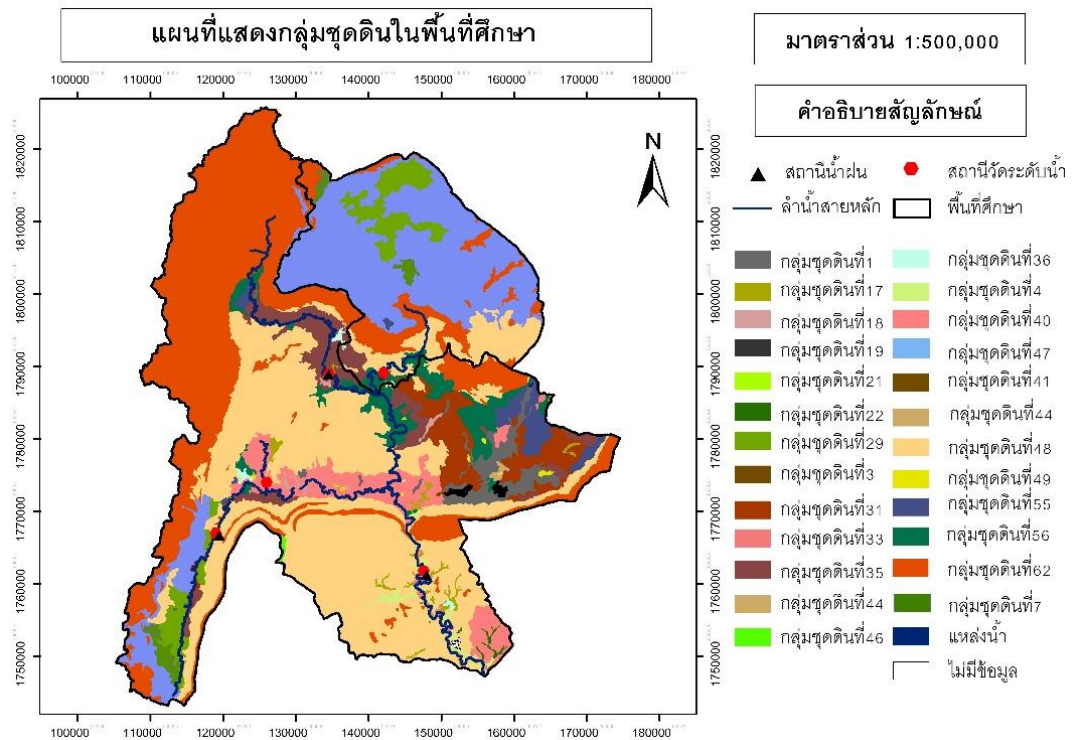
รูปที่ 8 แผนที่ความสูงเชิงเลข (DEM)

ที่มา : ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน



รูปที่ 9 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use)

ที่มา : ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน



รูปที่ 10 แผนที่ประเภทของดิน (Soil Type)

ที่มา : ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน

3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาด้วยวิธี Rational Method

3.2.1 การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย ข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ย ข้อมูลน้ำท่าที่จุดไหลออกกลุ่มน้ำ (Outlets) ข้อมูลขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ย : หน่วยเป็น มม. ดำเนินการหาโดยใช้วิธีถ่วงน้ำหนักแบบรูปเหลี่ยมธีเอสเซนโพลีกอน (Thiessen Polygon) ค่าฝนเฉลี่ยที่ได้เป็นตัวแทนฝนของกลุ่มน้ำที่เสมือนตกสม่ำเสมอทั่วพื้นที่

ข้อมูลน้ำท่า : ใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนในการปรับเทียบแบบจำลอง

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน, ชนิดของดิน และข้อมูล DEM : ใช้สำหรับระบุค่าสัมประสิทธิ์ C ในการคำนวณน้ำท่า

ข้อมูลขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ : หน่วยเป็น ตร.กม. ใช้เป็นข้อมูลวิเคราะห์หาระยะเวลาที่จะเกิดน้ำท่า ณ จุดไหลออก โดยใช้สมการที่ (2-2)

ในการประเมินน้ำท่ามีกระบวนการดังนี้ รายละเอียดแสดงในรูปที่ 11

- การจำลองปริมาณน้ำท่า
- เปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่าตรวจวัดโดยใช้การตรวจสอบทางสถิติเป็นตัวชี้วัด
- สอบเทียบแบบจำลอง
- สรุปผล

3.2.2 การหาค่า C'

จากสมการ (2-1), $Q = 0.287CIA$ ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่า มีอยู่ 2 ตัวแปรคือ ค่า C (ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวภูมิประเทศ) และ ค่า I (ความเข้มข้น มม./ชม.) ซึ่งค่า I จะคำนวณมาจาก

ค่าปริมาณฝนตก(มม)/ช่วงเวลาที่ตก(ชม.)

สำหรับค่าปริมาณฝนนำเข้าของแต่ละลุ่มน้ำย่อยใช้ค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนด้วยวิธีเอสเซนโพลีกอน และต้องแปลงเป็นค่าความเข้มข้นฝนตามนิยาม ดังนั้นจากข้อมูลฝนที่ตรวจวัดมีค่าเป็นฝน 24 ชั่วโมงรวมเป็นฝนรายเดือน ค่าความเข้มข้นจึงเป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือน ซึ่งในงานศึกษานี้ประมาณได้จาก 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 $I_{1m} = \text{ค่าปริมาณฝนตกรายเดือน (มม.)} / (\text{จำนวนวันใน 1 เดือน} \times 24\text{ชม.})$

วิธีที่ 2 $I_{2m} = \text{ค่าปริมาณฝนตกรายเดือน (มม.)} / (\text{จำนวนวันที่ฝนตกใน 1 เดือน} \times 24\text{ชม.})$

สำหรับค่า C กำหนดให้แปรผันตามจำนวนวันฝนตกกับปริมาณฝน กล่าวคือ หากมีฝนตกต่อเนื่องกัน ย่อมทำให้ความสามารถเก็บกักน้ำในดินน้อยลง ฝนที่ตกจะกลายเป็นน้ำท่าผิวดินมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่า C ที่ได้ในพื้นที่เดียวกันแต่ละเดือนจะไม่เท่ากัน ซึ่งจะเรียกค่า C รายเดือนนี้ว่า C'

ดังนั้น สมการ (2-1) จะเปลี่ยนเป็น (3-1) ดังนี้

$$Q = 0.278 C'IA \quad (3-1)$$

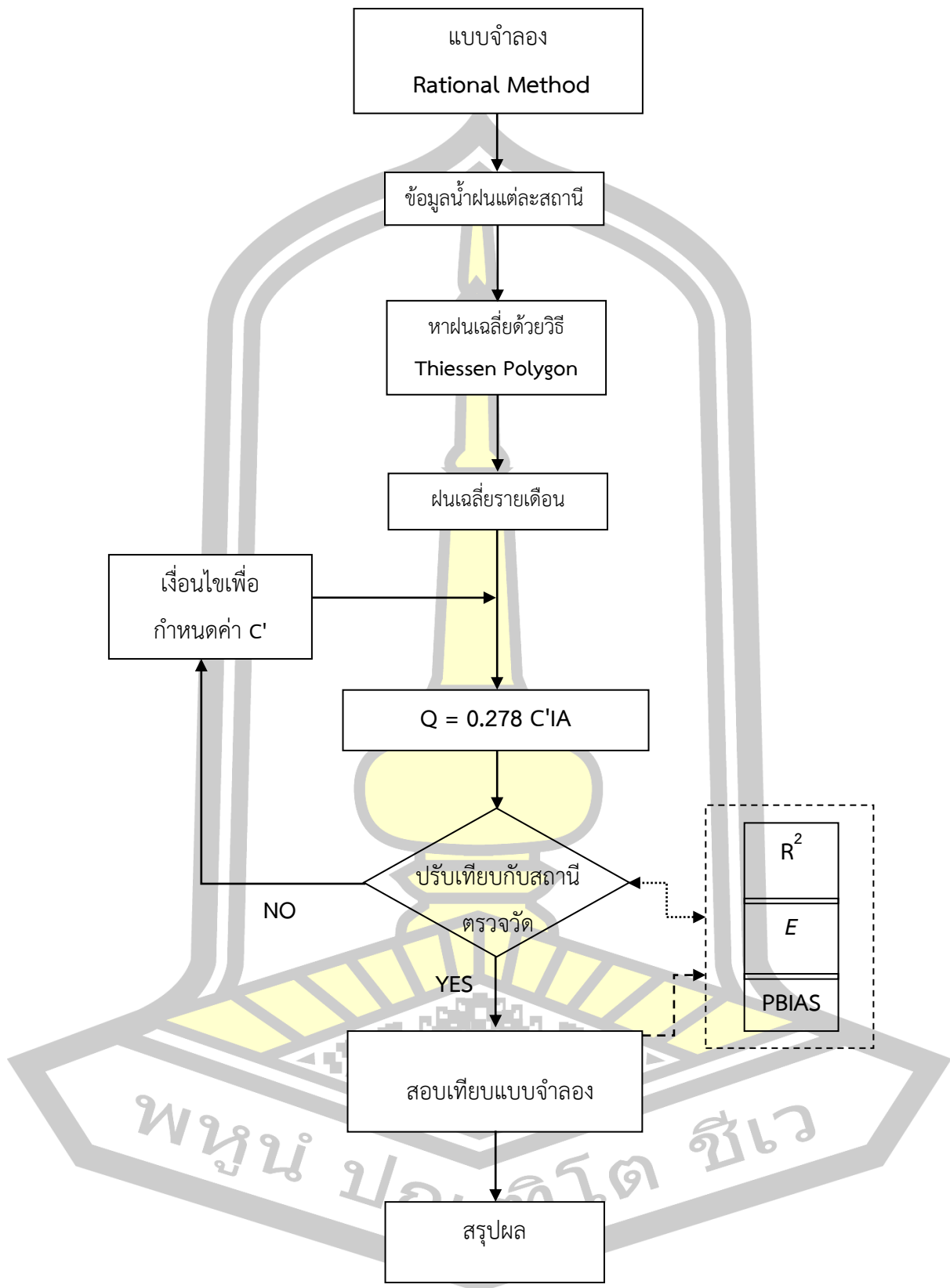
โดยที่

Q = ปริมาณการไหลเฉลี่ยรายเดือน ล้าน ลบ.ม.

C' = สัมประสิทธิ์น้ำท่ารายเดือน

I = ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือน (มม./ชม.)

A = พื้นที่รับน้ำฝน, ตร.กม.



รูปที่ 11 กระบวนการวิเคราะห์หปริมาณน้ำท่าโดยวิธี Rational Method

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาด้วยวิธี SCS-CN

3.3.1 การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย ข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ย ข้อมูลน้ำท่าที่จุดไหลออกกลุ่มน้ำ (Outlets) ข้อมูลขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ , ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน , ข้อมูลชนิดของดิน และข้อมูลระดับความสูงพื้นดินดิจิทัล (DEM)

ข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ย : ดำเนินการหาโดยใช้วิธีถ่วงน้ำหนักแบบรูปเหลี่ยมทริแอสโงน (Thiessen Polygon) โดยค่าฝนเฉลี่ยที่ได้เป็นตัวแทนฝนของกลุ่มน้ำที่เสมือนตกสม่ำเสมอทั่วพื้นที่

ข้อมูลน้ำท่า : ใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนในการปรับเทียบแบบจำลอง

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน, ชนิดของดิน และข้อมูลDEM : ใช้ในการกำหนดค่า Curve Number ,CN

รายละเอียดกระบวนการวิเคราะห์ด้วยวิธี SCS-CN แสดงในรูปที่ 12

3.3.2 การหาค่า CN'

จากสมการ (2-4) มาประยุกต์หาค่า Total runoff รายเดือนเป็นสมการ (3-2) ดังนี้

$$Q_{total} = \frac{(R_m - I_a)^2}{(R_m - I_a + S)} \times Area \quad (3-2)$$

และจากสมการ (2-5) เป็น สมการ (3-3) ดังนี้

$$S = \left(\frac{25400}{CN'} \right) - 254 \quad (3-3)$$

โดยที่

Q_{total} = ปริมาณน้ำท่าทั้งหมด (ล้าน ลบ.ม.)

R_m = ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มม.)

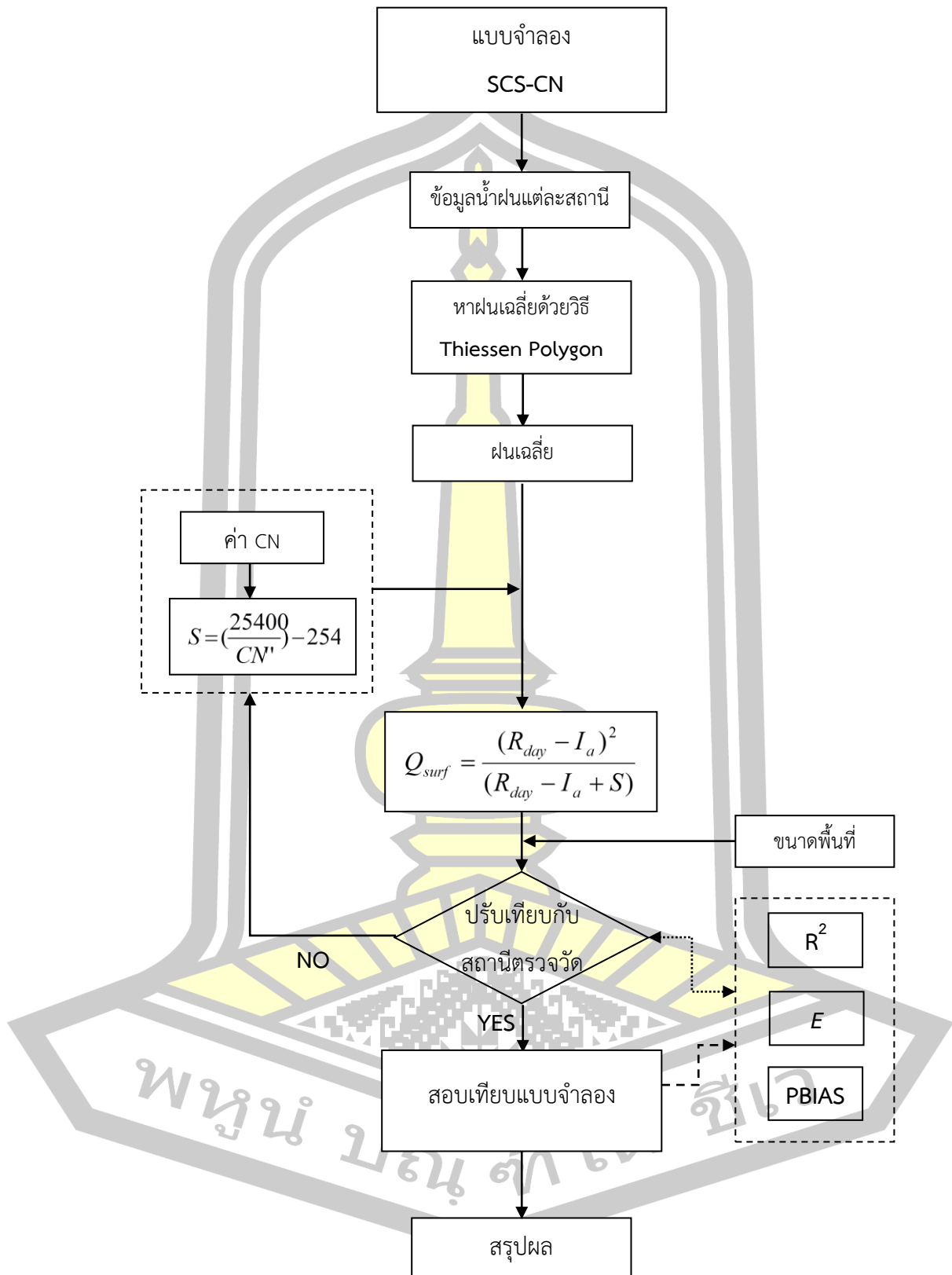
I_a = การดักและการซึมก่อนการไหลบ่า (มม.)

S = ตัวแปรการกักเก็บ (มม.)

Area = พื้นที่ (ตร.กม.)

CN' = Modified Curve Number

ซึ่งวิธีที่ใช้หาค่า CN' ใช้วิธี Trial and Errors ค่า CN' ในแต่ละเดือนของแต่ละปี แทนค่าในสมการให้ได้ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดแล้วจึงนำค่า CN' ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็น CN' ตัวแทนของแต่ละเดือนในการหาค่าปริมาณน้ำท่าทั้งหมดจากปริมาณฝน



รูปที่ 12 กระบวนการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าโดยวิธี SCS-CN

3.4 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาด้วยแบบจำลอง SWAT

3.4.1 การเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลแผนที่ภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS) โดยมีข้อมูลที่ต้องนำเข้ามาประกอบด้วย

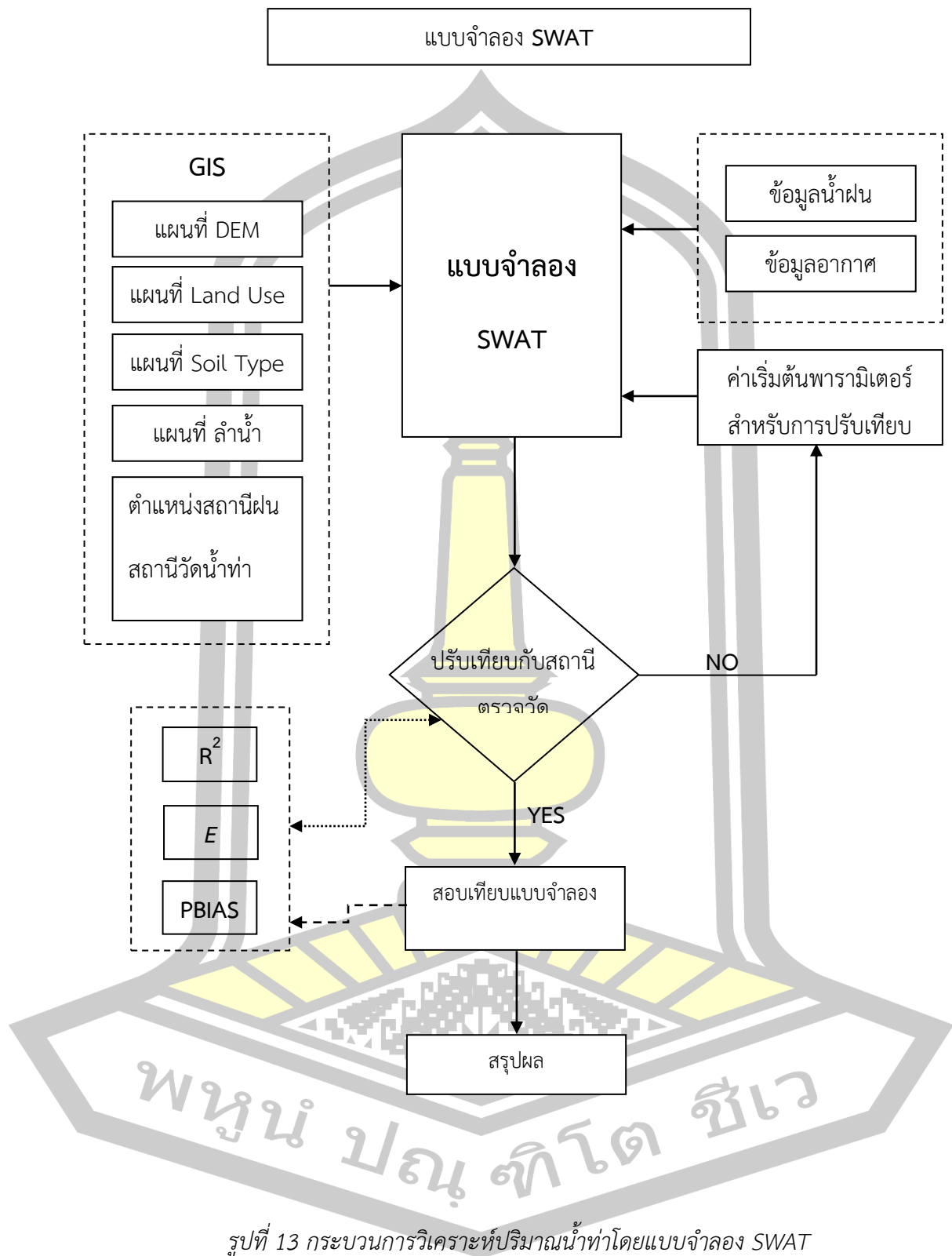
- แผนที่ความสูงเชิงเลข (DEM)
- แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use)
- แผนที่ประเภทของดิน (Soil Type)
- แผนที่เส้นลำน้ำ
- แผนที่ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝน น้ำท่า และสถานีตรวจอากาศ

แบบจำลอง SWAT จะสร้างแผนที่หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units ,HRUs) โดยหนึ่งหน่วยจะมีขนาดขึ้นอยู่กับขนาดของ Grid cells ของแผนที่นำเข้า

เมื่อได้แผนที่ HRUs แล้วจึงวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลน้ำฝนออกมาเป็นปริมาณน้ำท่าที่จุดออกที่กำหนด (ตามสถานีตรวจวัดข้อมูลจริงที่ต้องการเปรียบเทียบ) ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง ใช้พารามิเตอร์จำนวน 8 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินปริมาณน้ำท่า ดังแสดงในตารางที่ 10 และรายละเอียดกระบวนการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองSWAT แสดงในรูปที่ 13

ตารางที่ 10 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง SWAT

ที่	พารามิเตอร์	ความหมาย
1	ALPHA_BF	ค่าคงที่พื้นฐานการไหลถดถอย
2	GWQMN	ค่าความลึกของน้ำในชั้นน้ำใต้ดินตื้น
3	GW_REVAP	ค่าสัมประสิทธิ์น้ำใต้ดินที่ไหลจาก shallow aquifer ไปสู่ชั้นดินเขตรากพืช
4	CN2	ค่าความชื้นในดินเงื่อนไขความชื้นในดินเฉลี่ย
5	SOL_AWC	ค่าความสามารถในการรับน้ำของชั้นดิน
6	EPCO	ค่าสัมประสิทธิ์ปัจจัยการชดเชยการใช้พืช
7	ESCO	ค่าสัมประสิทธิ์การชดเชยการระเหยของดิน
8	CH_N2	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของ Manning's



บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

บทนี้เป็นารอธิบายถึงผลที่ได้จากการวิจัย คือผลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากจำลอง SWAT และวิธีทางอุทกวิทยาอีก 2 วิธี คือ SCS-CN และ Rational Method และนำผลที่ได้จากทั้ง 3 วิธี มาเปรียบกับค่าตรวจวัดจริงเพื่อจะปรับแก้ค่าตัวแปรที่สำคัญในแต่ละวิธีให้มีความสอดคล้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยใช้ค่าทางสถิติเป็นค่าดัชนีชี้วัดความถูกต้อง ประกอบด้วย ค่า R^2 ค่า E (ดัชนี Nash) และ PBIAS ผลที่ได้แสดงแยกตามแต่ละวิธีดังนี้

4.1 ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ SWAT

แบบจำลอง SWAT สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติทางอุทกศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาจากข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองได้ดังนี้

4.1.1 ความลาดชันพื้นที่

ความลาดชันของพื้นที่ศึกษาโดยรวมมีความชันค่อนข้างมากทางด้านตะวันตกและทิศเหนือ และค่อยราบลงมาทางตอนกลางและตอนใต้ของพื้นที่ โดยมีสัดส่วนประมาณครึ่งต่อครึ่ง ทั้งนี้ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยทั้ง 4 ส่วนใหญ่เป็นที่ลาดชันเนื่องจากมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาและที่ลาดเชิงเขา โดยได้แสดงรายละเอียดแยกตามลุ่มน้ำย่อย ในตารางที่ 4-1

4.1.2 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ ทั้งป่าดงดิบ ดิบแล้ง ป่าผลัดใบ ป่าเต็งรัง ส่วนที่เหลือรองลงมาเป็นพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

4.1.3 ชนิดของดิน

ลักษณะดินของพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งชนิดได้ตามการจำแนกจากกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยดินที่จำแนกออกได้ ทั้งหมด 7 ชนิด ประกอบด้วยดินชนิด soil-17 ,soil-39 ,soil-42 ,soil-50 ,soil-9 ,soil-37 และ soil-29 ดังแสดงรายละเอียดแยกตามลุ่มน้ำย่อย ในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงลักษณะของพื้นที่ศึกษาจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง SWAT

ลุ่มน้ำย่อย	สถานีตรวจวัด	ความลาดชันของพื้นที่ (%)		การใช้ประโยชน์ที่ดิน		ชนิดของดิน	
1	สถานี E.83 654.6 ตร.กม.	0-10%	45.2%	พื้นที่ป่าไม้	98.3%	soil-17	0.1%
		10-20%	33.5%	เกษตรกรรม	1.4%	soil-42	0.6%
		20-40%	19.1%	ที่อยู่อาศัย	0.0%	soil-50	98.1%
		40-70%	2.1%	แหล่งน้ำ	0.3%	soil-9	1.2%
		>70%	0.2%				
2	สถานี E.84 522.0 ตร.กม.	0-10%	20.6%	พื้นที่ป่าไม้	96.9%	soil-17	0.1%
		10-20%	8.8%	เกษตรกรรม	3.0%	soil-42	13.4%
		20-40%	18.7%	ที่อยู่อาศัย	0.1%	soil-50	85.7%
		40-70%	35.9%	แหล่งน้ำ	0.0%	soil-9	0.9%
		>70%	16.0%				
3	สถานี E.72 247.4 ตร.กม.	0-10%	45.3%	พื้นที่ป่าไม้	95.1%	soil-17	4.4%
		10-20%	6.6%	เกษตรกรรม	4.8%	soil-42	48.3%
		20-40%	13.2%	ที่อยู่อาศัย	0.1%	soil-50	47.3%
		40-70%	27.1%	แหล่งน้ำ	0.0%		
		>70%	7.7%				
4	สถานี E.73 241.0 ตร.กม.	0-10%	53.1%	พื้นที่ป่าไม้	89.6%	soil-42	73.9%
		10-20%	16.0%	เกษตรกรรม	10.1%	soil-50	26.1%
		20-40%	16.9%	ที่อยู่อาศัย	0.3%		
		40-70%	11.9%	แหล่งน้ำ	0.0%		
		>70%	2.1%				
ลุ่มน้ำหลัก	สถานี E.32A 2,733.8 ตร.กม.	0-10%	53.4%	พื้นที่ป่าไม้	86.5%	soil-17	7.3%
		10-20%	15.3%	เกษตรกรรม	13.0%	soil-39	10.8%
		20-40%	14.2%	ที่อยู่อาศัย	0.4%	soil-42	26.4%
		40-70%	12.6%	แหล่งน้ำ	0.1%	soil-50	54.2%
		>70%	4.5%			soil-9	0.6%
						soil-37	0.004
				soil-29	0.0039		

4.1.4 ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากแบบจำลอง SWAT

การปรับเทียบและสอบเทียบค่าในแบบจำลอง SWAT มีการปรับค่าพารามิเตอร์ 8 ตัวแปรซึ่งแสดงไว้ในบทก่อนหน้านี โดยค่าของพารามิเตอร์ที่ปรับแล้วแสดงไว้ในตารางที่ 12

ผลลัพธ์จากแบบจำลองที่ได้ให้ผลมีผลค่อนข้างดี ดังแสดงในตารางที่ 13 ให้ค่าความสัมพันธ์ R^2 ช่วงปรับเทียบอยู่ระหว่าง 0.75-0.81 ,ช่วงสอบเทียบอยู่ระหว่าง 0.68-0.82 ยกเว้นในลุ่มน้ำย่อยที่ 4 ที่สถานี E.73 ที่ให้ค่า $R^2 = 0.65-0.68$ ทั้งนี้เนื่องมาจากมีฝายลำเจ๊กกั้นอยู่ด้านท้ายน้ำ ทำให้มีผลกระทบจาก Back water effect ย้อนขึ้นมาด้านเหนือน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูแล้ง

ตารางที่ 12 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแก้สำหรับพื้นที่ศึกษา

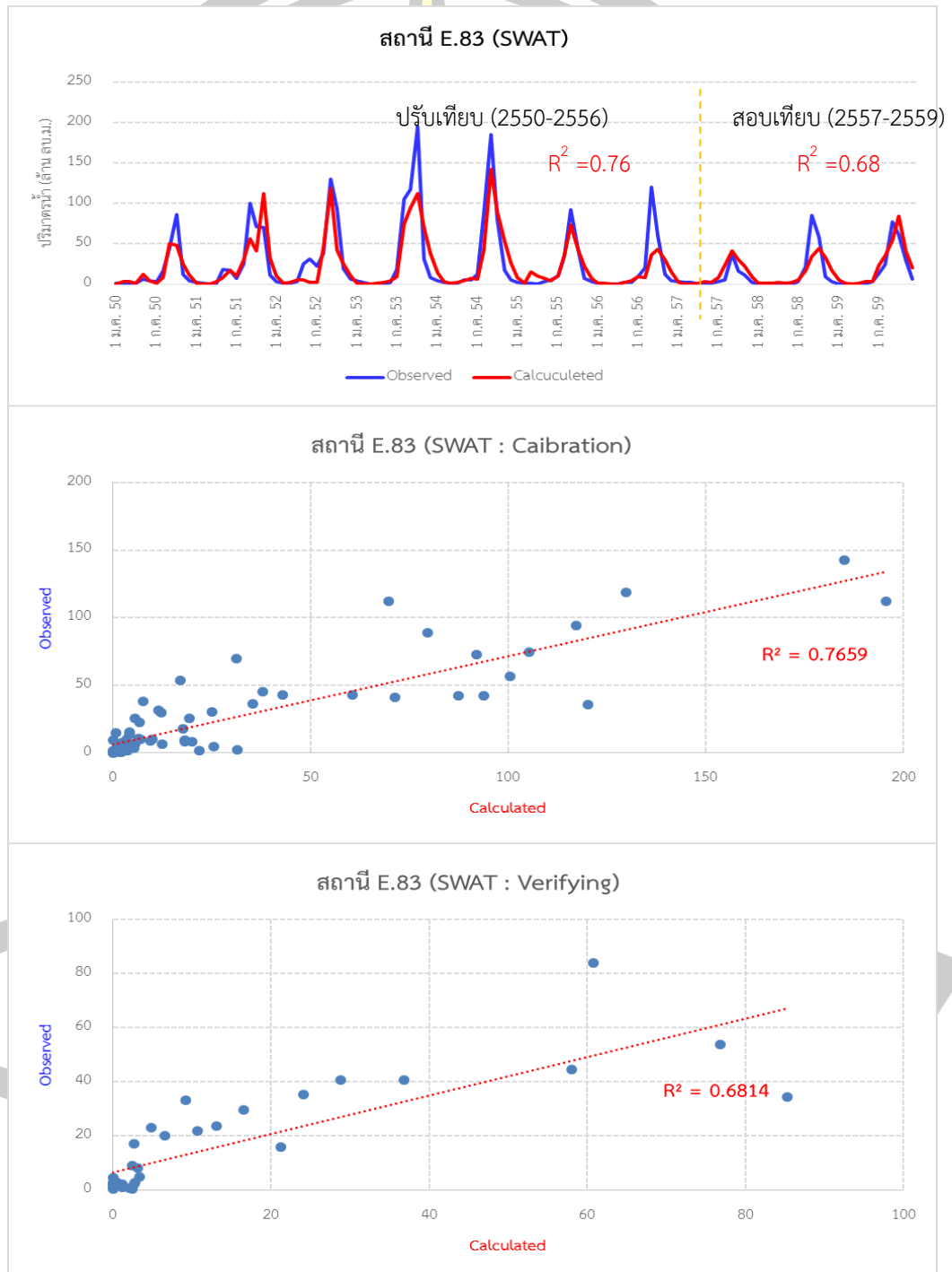
ที่	ชื่อพารามิเตอร์	ช่วงปรับค่า	ค่าที่ปรับแก้แล้ว
1	ALPHA_BF	0 - 1	0.048
2	GWQMN	0 - 500	500
3	GW_REVAP	0 - 500	0.02
4	CN2	0 - 100	65
5	SOL_AWC	0 - 1	0.14
6	EPCO	0 - 1	1
7	ESCO	0 - 1	0.95
8	CN2	0 - 100	65

ตารางที่ 13 แสดงผลการคำนวณโดยแบบจำลอง SWAT ผ่านดัชนีชี้วัดทางสถิติ

ลุ่มน้ำย่อย	สถานีตรวจวัด	ดัชนีชี้วัด	SWAT	
			ปรับเทียบ	สอบเทียบ
1	สถานี E.83 654.6 ตร.กม.	R^2	0.76	0.68
		E	0.75	0.71
		PBIAS	12.34	-1.71
2	สถานี E.84 522.0 ตร.กม.	R^2	0.79	0.82
		E	0.59	0.81
		PBIAS	-32.45	-30.74
3	สถานี E.72 247.4 ตร.กม.	R^2	0.75	0.79
		E	0.89	0.97
		PBIAS	-20.01	-31.97
4	สถานี E.73 241.0 ตร.กม.	R^2	0.65	0.68
		E	0.80	0.80
		PBIAS	-20.77	-91.48
ลุ่มน้ำหลัก	สถานี E.32A 2,733.8 ตร.กม.	R^2	0.81	0.79
		E	0.82	0.51
		PBIAS	3.18	-72.96

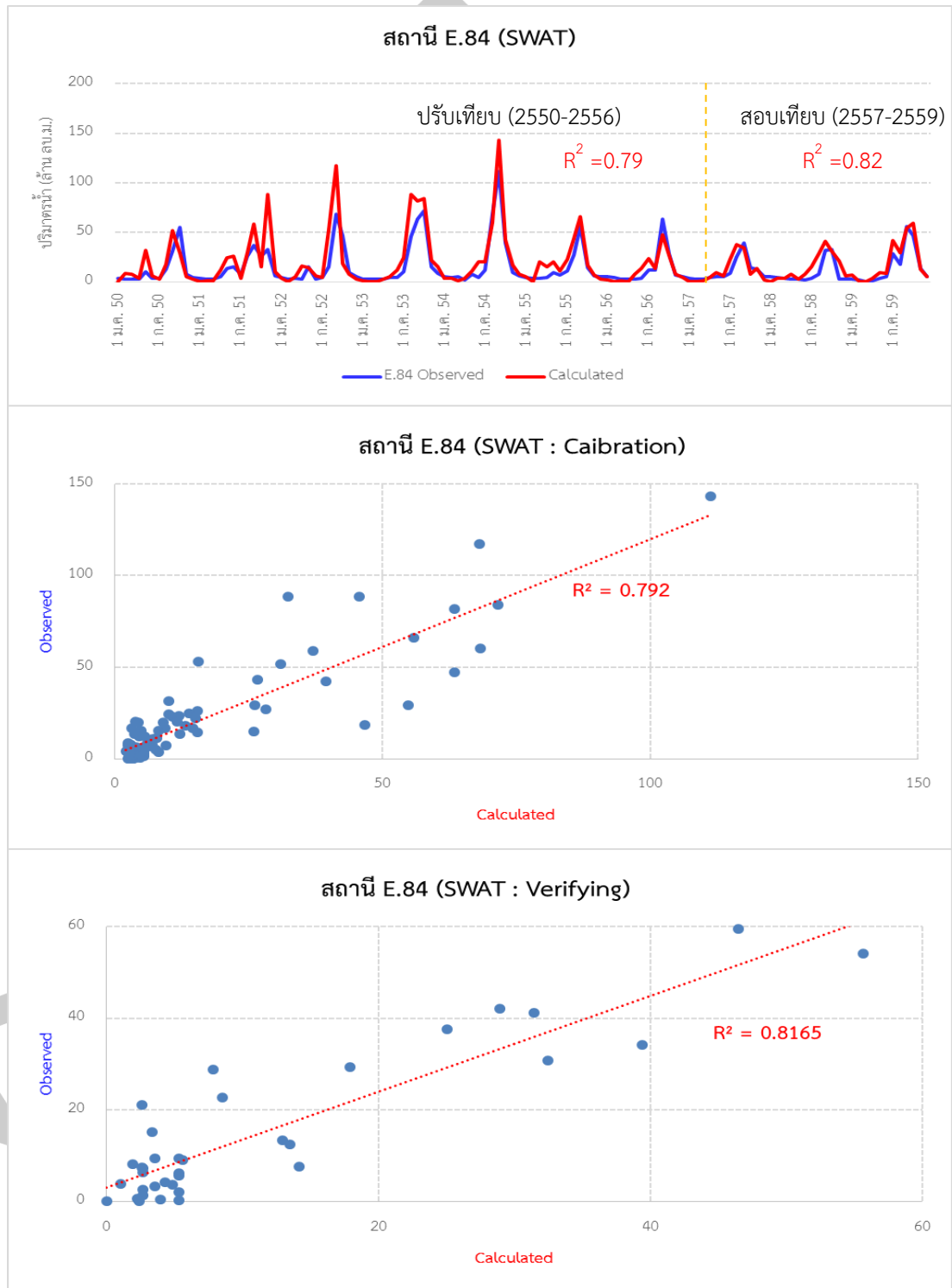
สำหรับกราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากการคำนวณและตรวจวัดของแต่ละสถานี โดยแบบจำลอง SWAT แสดงไว้ในรูปที่ 14 ถึง รูปที่ 18

ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 พื้นที่ 654.6 ตร.กม. เปรียบเทียบสอบเทียบที่สถานี **E.83**



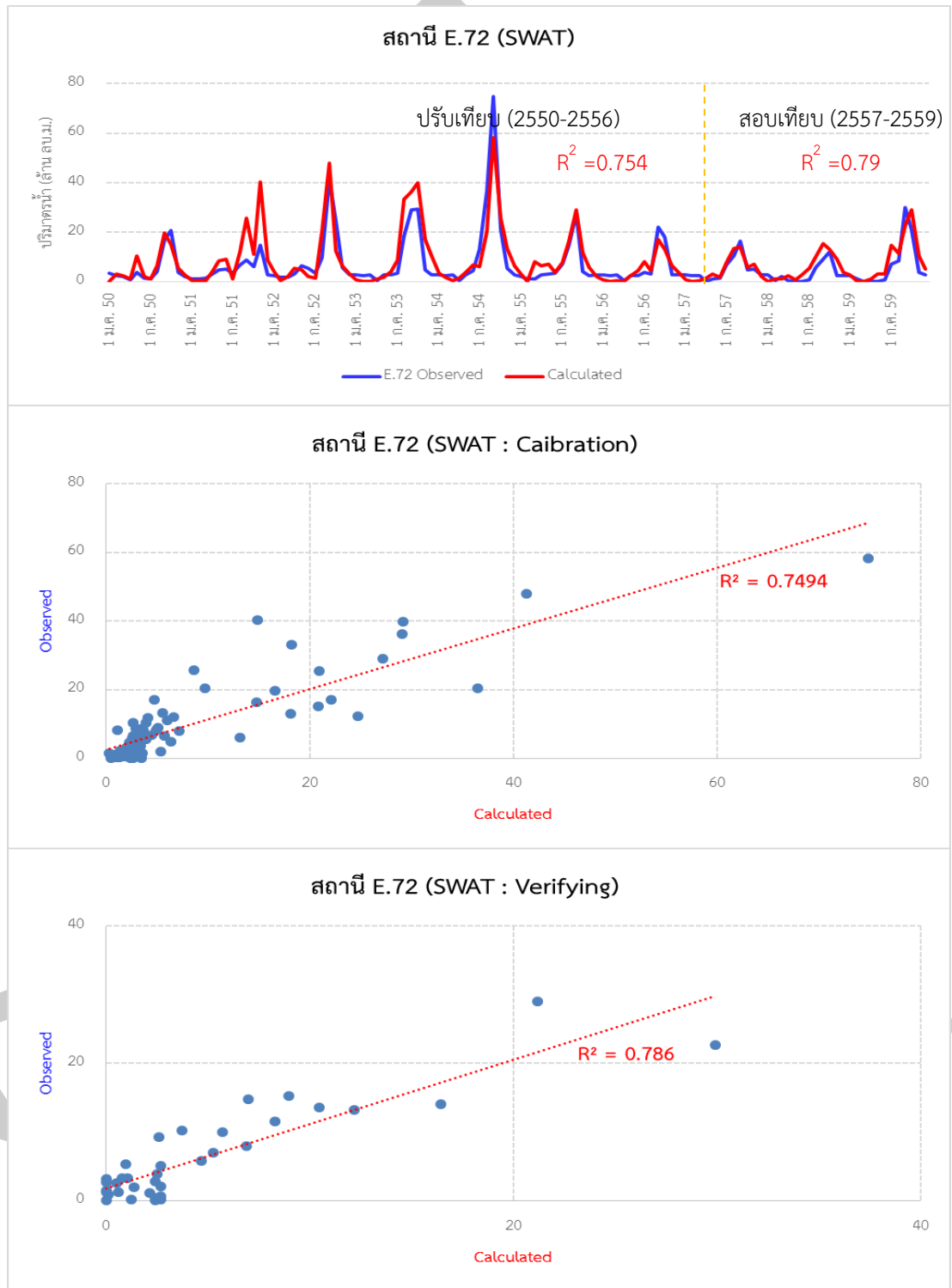
รูปที่ 14 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.83 โดยแบบจำลอง SWAT

ลุ่มน้ำย่อยที่ 2 พื้นที่ 522.0 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.84



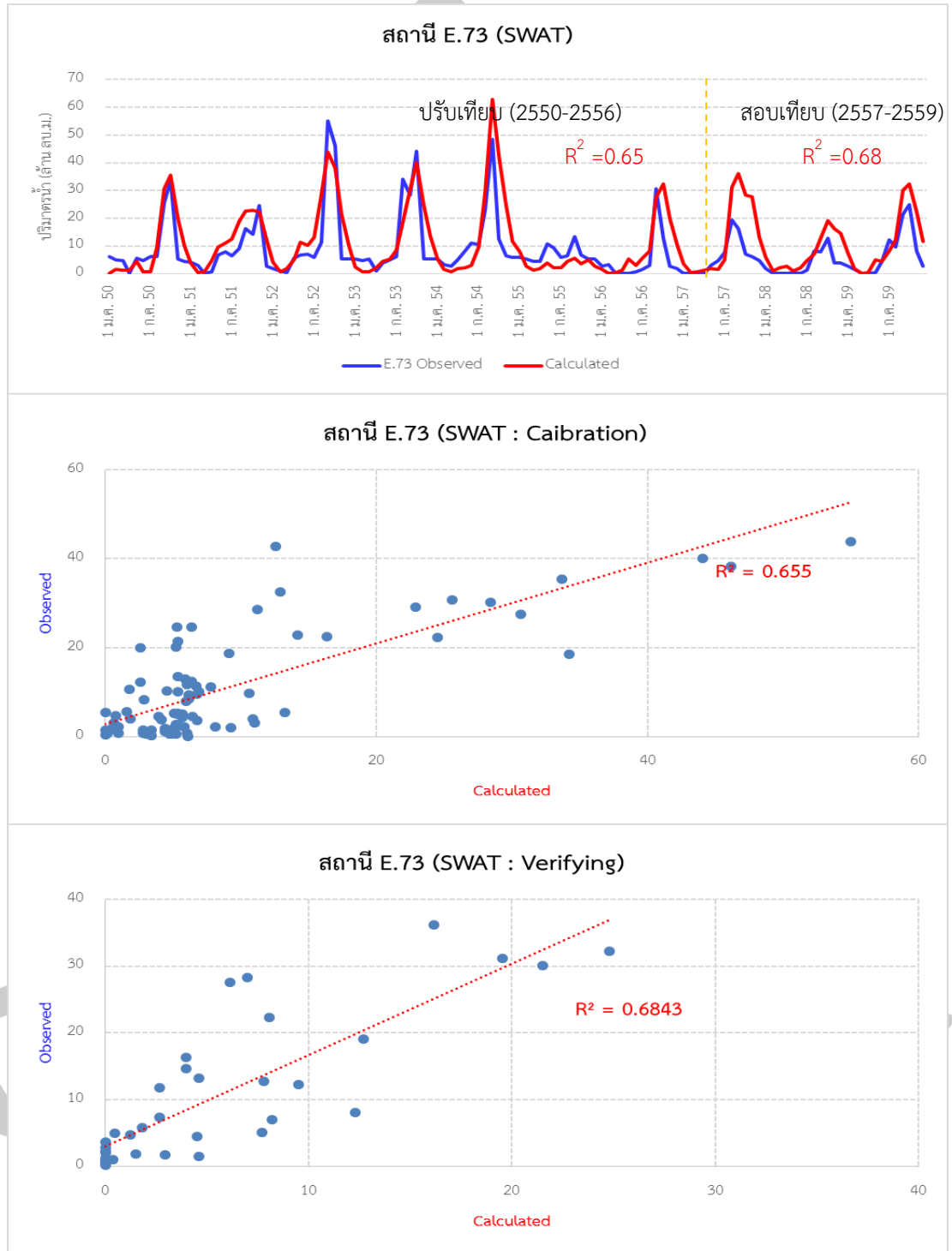
รูปที่ 15 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.84 โดยแบบจำลอง SWAT

ลุ่มน้ำย่อยที่ 3 พื้นที่ 247.4 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.72



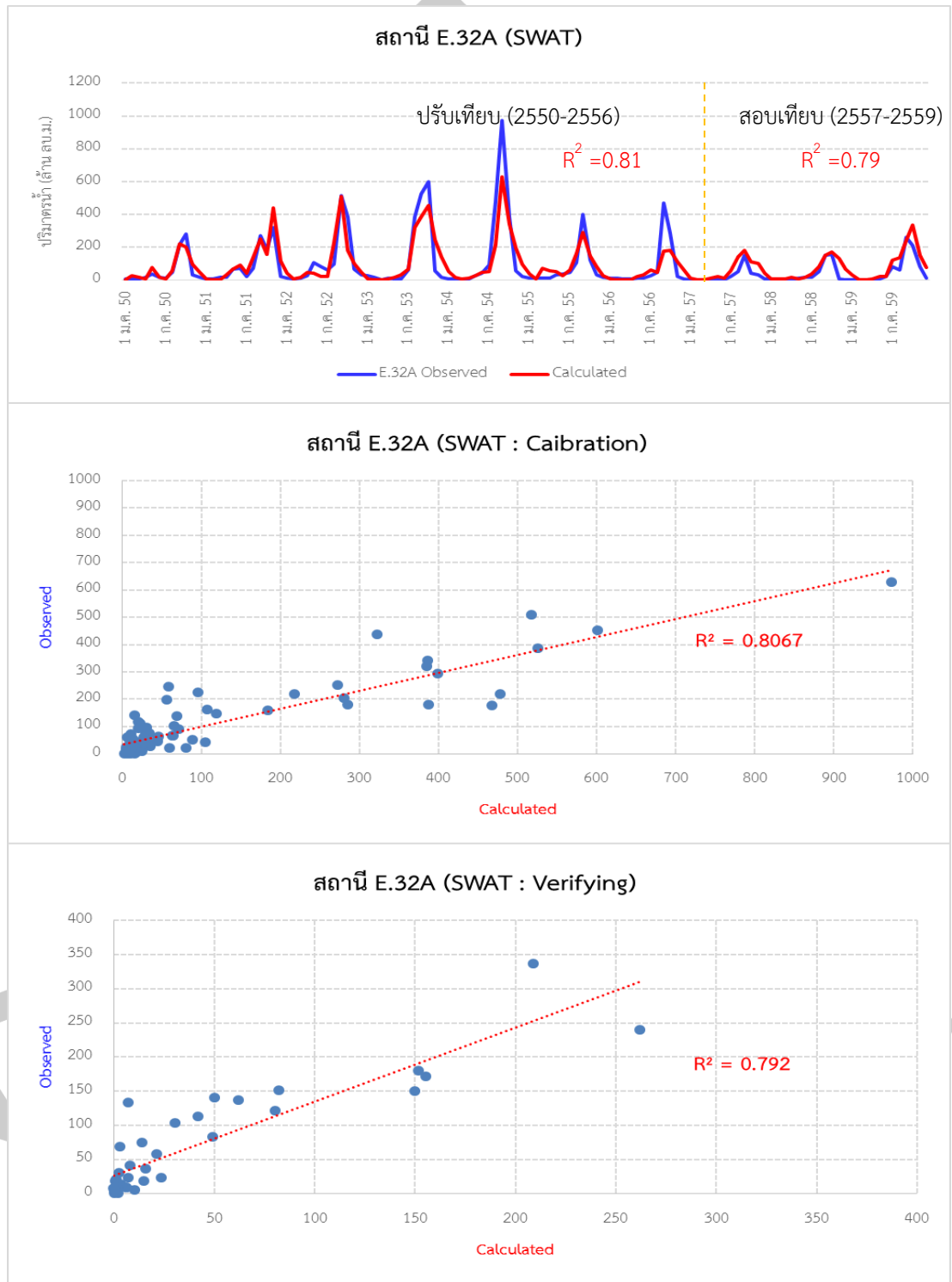
รูปที่ 16 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.72 โดยแบบจำลอง SWAT

ลุ่มน้ำย่อยที่ 4 พื้นที่ 241.0 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.73



รูปที่ 17 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.73 โดยแบบจำลอง SWAT

ลุ่มน้ำรวม พื้นที่ 2,733.8 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.32A



รูปที่ 18 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.32A โดยแบบจำลอง SWAT

4.2 ผลจากการประเมินน้ำท่าโดยวิธี SCS-CN

ฝนตัวแทนที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าคือ ฝนเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักโดยรูปเหลี่ยมธีเอสเซนโพลีกอน (Thiessen Polygon) ซึ่งได้จากข้อมูลฝนจำนวน 5 สถานีมาถ่วงน้ำหนักซึ่งมีค่าแฟคเตอร์ถ่วงน้ำหนัก ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดงค่าถ่วงน้ำหนักจากวิธีธีเอสเซนโพลีกอนเพื่อหาฝนเฉลี่ย

สถานีวัดน้ำฝน	พื้นที่ (ตร.กม.)	Factor
หนองบัวแดง	518	0.1895
เกษตรสมบูรณ์	149	0.0545
E.84	1435	0.5249
E.32A	145	0.0530
E.73	487	0.1781
รวม		1.0000

ทั้งนี้ข้อมูลฝนเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักจะใช้เป็นข้อมูลฝนนำเข้าสำหรับพื้นที่ลุ่มหลักทั้งลุ่ม สำหรับ 4 ลุ่มน้ำย่อย ใช้ข้อมูลฝนตรวจวัดจากสถานี ดังนี้

ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 ใช้ฝนตรวจวัดของสถานี E.84 เนื่องจากมีตำแหน่งใกล้เคียงกัน

ลุ่มน้ำย่อยที่ 2 ใช้ฝนตรวจวัดของสถานี E.84 ซึ่งเป็นจุด outlet ของลุ่มเอง

ลุ่มน้ำย่อยที่ 3 ใช้ฝนเฉลี่ยของสถานี E.84 และ E.73 เนื่องจากมีตำแหน่งอยู่ระหว่างกลาง

ลุ่มน้ำย่อยที่ 4 ใช้ฝนตรวจวัดของสถานี E.73 ซึ่งเป็นจุด outlet ของลุ่มเอง

4.2.1 ค่า CN'

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับเทียบโดยวิธีนี้ คือค่า CN' โดยผู้วิจัยได้ทำการหาค่า CN' โดยการใช้โปรแกรม Microsoft Excel ช่วยคำนวณ โดยสุ่มเลือกค่าป้อนเข้าโปรแกรมที่กำหนดตามสมการของวิธี SCS-CN แล้วดูผลที่ได้เปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดให้ได้ค่าใกล้เคียงมากที่สุด ของแต่ละเดือนในแต่ละปี แล้วนำค่า CN' ที่ได้ในแต่ละเดือนของทุกปีมาเฉลี่ย เพื่อเป็นค่า CN' ตัวแทนของเดือนนั้นๆ เพื่อใช้ในการปรับเทียบและสอบเทียบการจำลอง ซึ่งพบว่า CN' ที่ได้และมีความสอดคล้องกับทฤษฎี จะ

เป็นค่า CN' ในช่วงเดือนในฤดูฝนคือ เมษายน – กันยายน มีค่า CN' อยู่ในช่วง 40-60 สำหรับเดือนที่เหลือซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้งพบว่า ค่า CN' ที่ได้มีค่ามากกว่าค่าที่ควรจะเป็น คืออยู่ในช่วง 65-80 ทั้งนี้เนื่องจากว่าในช่วงฤดูแล้งปริมาณน้ำท่าจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำใต้ดินเป็นหลัก (Base Flow) ซึ่งการคำนวณโดยวิธี SCS-CN เป็นการหาปริมาณน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ที่เกิดจากฝน ดังนั้นจึงทำให้ค่า CN' ที่ได้จึงสูงกว่าที่ควรจะเป็นเพื่อชดเชยปริมาณน้ำจาก Base Flow ในฤดูแล้ง ทั้งนี้ได้แสดงค่า CN' ที่ใช้ในการในการคำนวณปริมาณน้ำท่าโดยวิธี SCS-CN สรุปไว้ในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แสดงค่าพารามิเตอร์ CN' ของพื้นที่ศึกษาในแต่ละเดือนใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำท่า

ลุ่มน้ำย่อย	สถานีตรวจวัด	พารามิเตอร์	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	สถานี E.83 654.6 ตร.กม.	CN'	69	67	67	48	48	52	53	50	68	89	65	69
2	สถานี E.84 522.0 ตร.กม.	CN'	71	74	80	60	55	54	55	49	57	84	69	76
3	สถานี E.72 247.4 ตร.กม.	CN'	76	75	78	49	45	46	48	45	53	74	73	82
4	สถานี E.73 241.0 ตร.กม.	CN'	70	74	68	53	45	53	45	43	49	76	78	79
ลุ่มน้ำหลัก	สถานี E.32A 2,733.8 ตร. กม.	CN'	72	75	69	53	47	52	51	46	61	86	66	73

จากตารางที่ 15 สังเกตเห็นได้ว่า ค่า CN' เริ่มลดลงเมื่อเปลี่ยนเข้าฤดูฝนในเดือน เมษายน เนื่องจากมีปริมาณฝนตกในพื้นที่จากอิทธิพลพายุฤดูร้อนของทุกปีทำให้ปริมาณน้ำท่าผิวดินเริ่มมีและเข้ามามีอิทธิพลเหนือกว่าปริมาณน้ำใต้ดิน ส่วนในช่วงเปลี่ยนจากฤดูฝนเข้าสู่ฤดูแล้งในเดือนตุลาคม ปริมาณฝนเริ่มลดลงมาก และเป็นช่วงที่น้ำใต้ดินเก็บกักไว้มากและ discharge เป็นน้ำท่าในปริมาณที่เริ่มมีอิทธิพลในอัตราส่วนมากขึ้นกว่าปริมาณน้ำใต้ดินในที่สุด

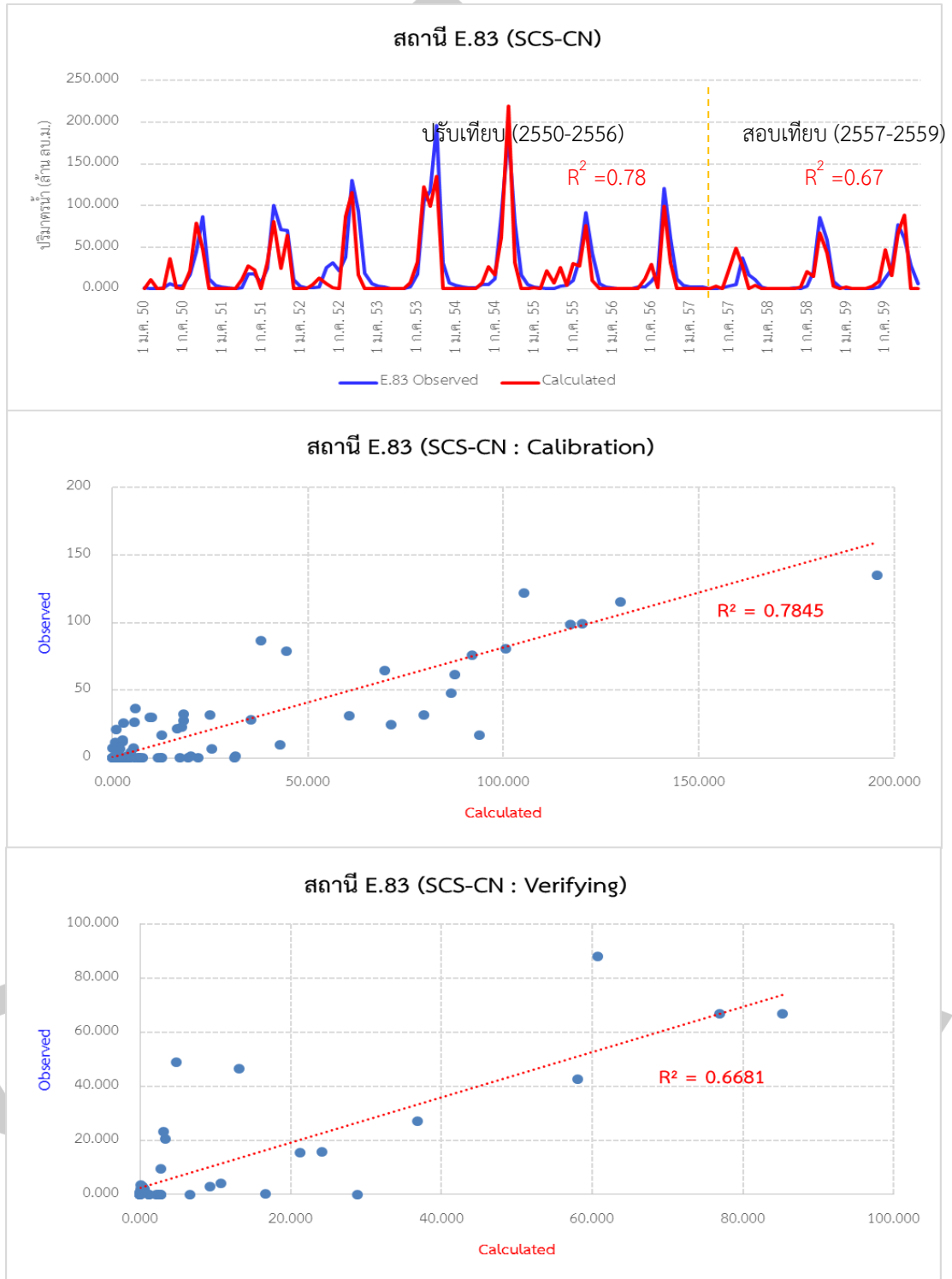
4.2.2 ปริมาณน้ำท่าและการประเมินผลโดยค่าทางสถิติ

ผลจากการคำนวณปริมาณน้ำท่าโดยวิธี SCS-CN โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ CN' ตามตารางที่ 15 พบว่า ผลที่ได้มีค่ายอมรับได้ทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำย่อย ยกเว้นลุ่มน้ำย่อยที่ 4 ที่สถานี E.73 ที่ค่าความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำ คือ $R^2 = 0.59-0.63$ แต่ค่าดัชนีชี้วัดตัวอื่นมีค่ายอมรับได้ ซึ่งเป็นผลกระทบจากฝายกั้นลำน้ำด้านท้ายตามที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ ผลการคำนวณแสดงไว้ในตารางที่ 16 และ รูปที่ 19 ถึง รูปที่ 23

ตารางที่ 16 แสดงผลการคำนวณโดยวิธี SCS-CN ผ่านดัชนีชี้วัดทางสถิติในแต่ละลุ่มน้ำย่อย

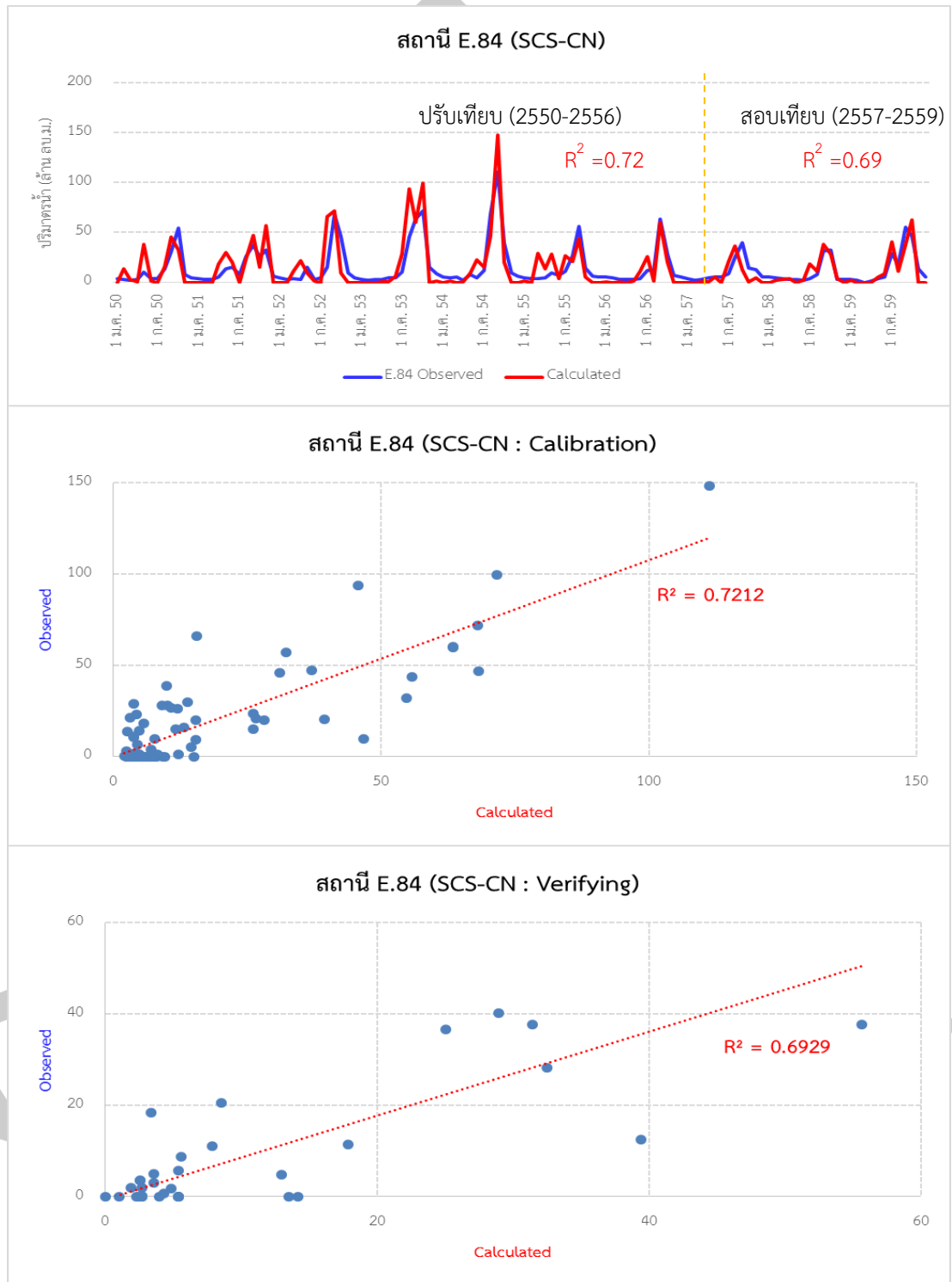
ลุ่มน้ำย่อย	สถานีตรวจวัด	ดัชนีชี้วัด	SCS-CN	
			ปรับเทียบ	สอบเทียบ
1	สถานี E.83 654.6 ตร.กม.	R^2	0.77	0.67
		E	0.77	0.68
		PBIAS	16.63	-0.23
2	สถานี E.84 522.0 ตร.กม.	R^2	0.72	0.69
		E	0.59	0.76
		PBIAS	-6.27	13.44
3	สถานี E.72 247.4 ตร.กม.	R^2	0.73	0.63
		E	0.88	0.93
		PBIAS	3.57	-15.25
4	สถานี E.73 241.0 ตร.กม.	R^2	0.59	0.63
		E	0.75	0.83
		PBIAS	8.03	-42.63
ลุ่มน้ำหลัก	สถานี E.32A 2,733.8 ตร.กม.	R^2	0.81	0.79
		E	0.83	0.59
		PBIAS	16.99	-27.71

ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 พื้นที่ 654.6 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.83



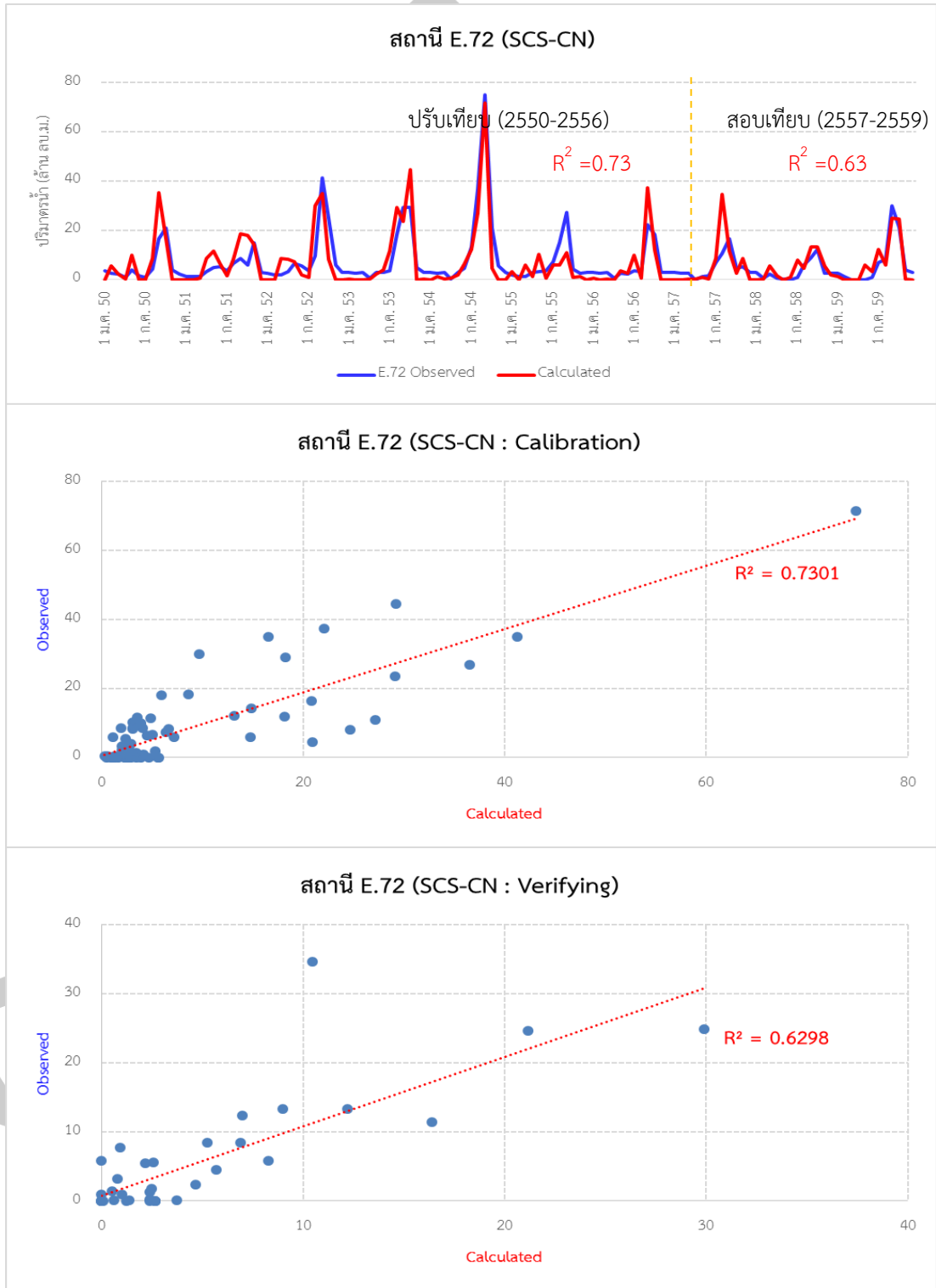
รูปที่ 19 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.83 โดยวิธี SCS-CN

ลุ่มน้ำย่อยที่ 2 พื้นที่ 522.0 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.84



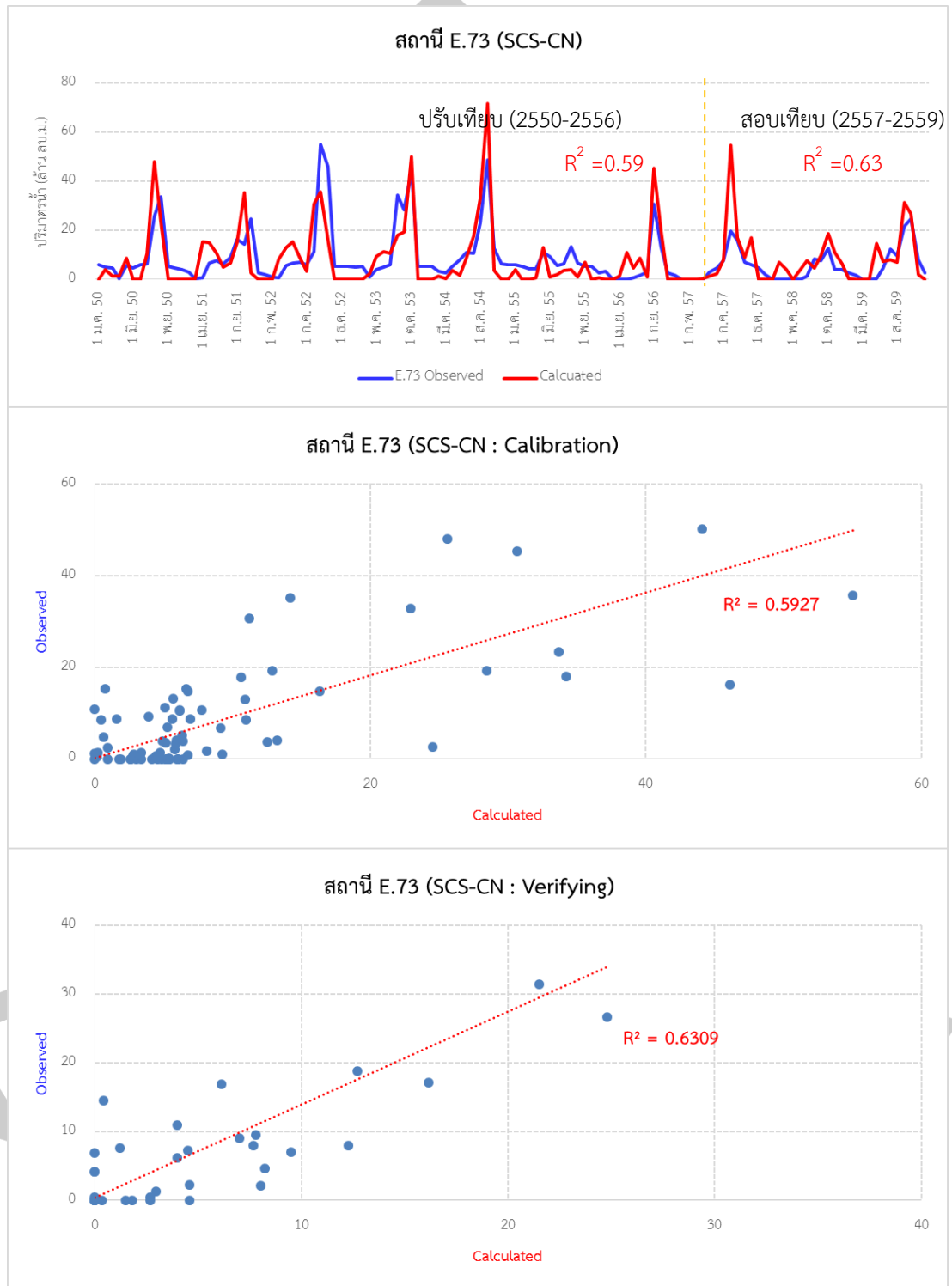
รูปที่ 20 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.84 โดยวิธี SCS-CN

ลุ่มน้ำย่อยที่ 3 พื้นที่ 247.4 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.72



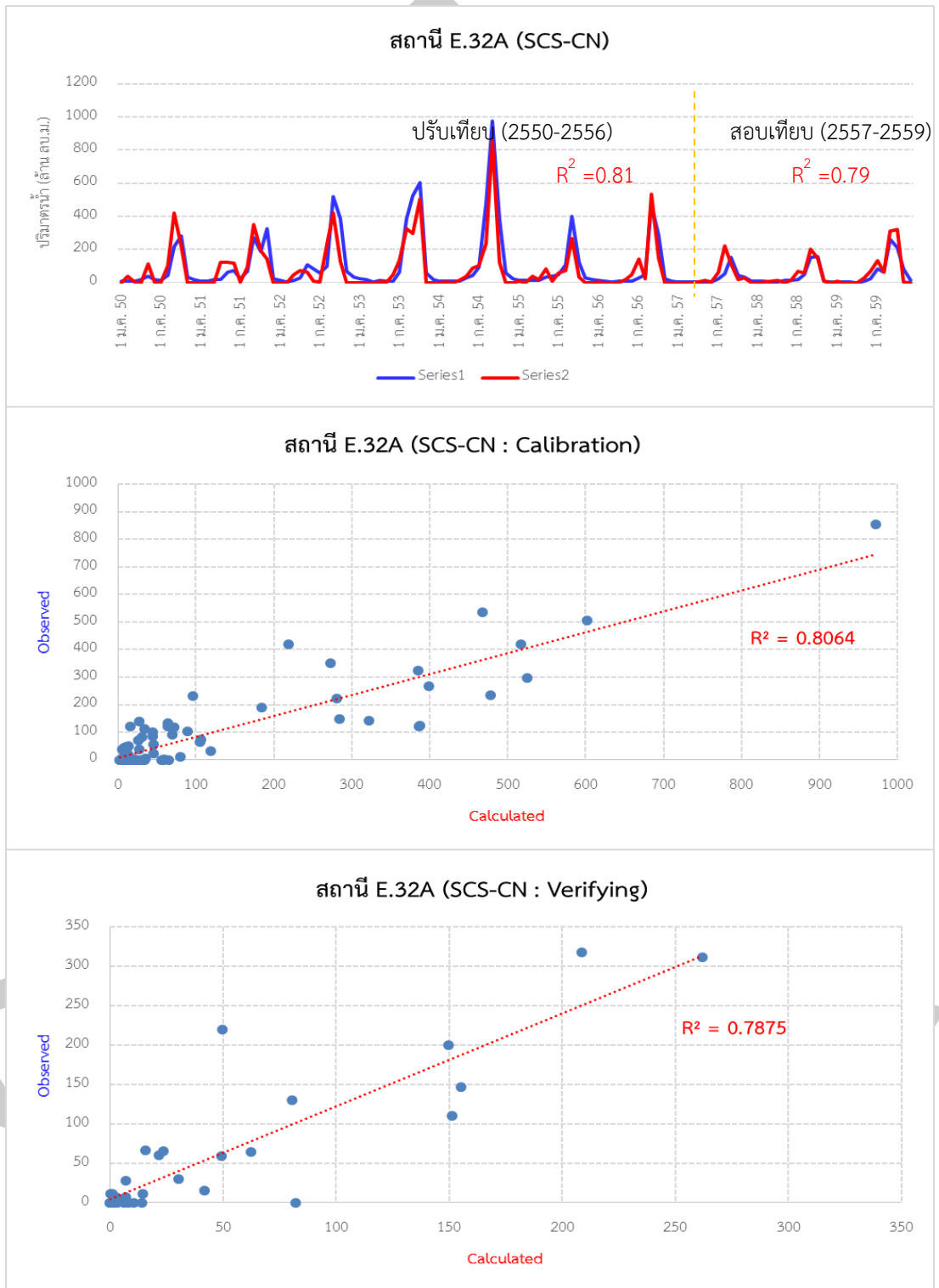
รูปที่ 21 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.72 โดยวิธี SCS-CN

ลุ่มน้ำย่อยที่ 4 พื้นที่ 241.0 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.73



รูปที่ 22 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.73 โดยวิธี SCS-CN

ลุ่มน้ำรวม พื้นที่ 2,733.8 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.32A



รูปที่ 23 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.32A โดยวิธี SCS-CN

4.3 ผลจากการประเมินน้ำท่าโดยวิธี Rational Method

จากหัวข้อ 3.2.2 และ สมการ (3-1) พบว่า ค่าความเข้มข้นจึงเป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือน ซึ่งประมาณได้จาก 2 วิธี คือ I_{1m} และ I_{2m} นั้น

ค่า I_{2m} ให้ค่าที่มากกว่าอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง และให้ค่าคำนวณน้ำท่าที่สูงเกินไปไม่สามารถนำมาใช้ได้สำหรับฤดูแล้ง แต่ใช้ได้ดีในช่วงฤดูฝนแต่ต้องมีปริมาณฝนตกไม่ต่ำกว่าค่าหนึ่ง ในทางกลับกัน ค่า I_{1m} สามารถใช้ได้ดีในช่วงฤดูแล้ง แต่ให้น้ำท่าที่น้อยเกินไปในช่วงฤดูฝนไม่สามารถปรับเทียบให้ใกล้เคียงได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จากการวิเคราะห์และทดลองสุ่มพบเงื่อนไขของค่า I เพื่อการคำนวณปริมาณน้ำท่ารายเดือนดังนี้

เงื่อนไขการเลือกใช้ค่า I

1 ค่า I_{1m} ถูกเลือกใช้ในเดือนฤดูแล้ง คือ พฤษภาคม - พฤษภาคม

2 ค่า I_{2m} ถูกเลือกใช้ในเดือนฤดูฝน คือ มิถุนายน - ตุลาคม

อย่างไรก็ดีจากการทดลองพบว่า เงื่อนไขที่ 2 สามารถใช้ได้ดีเฉพาะเดือน กันยายน - ตุลาคม และต้องมีปริมาณฝนไม่ต่ำกว่า 200 มม. ต่อเดือน

4.3.1 ค่า C'

สำหรับค่า C' ในงานวิจัยได้ศึกษาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่เลือกใช้ C' ค่าเดียวเป็นตัวแทนของแต่ละลุ่มน้ำย่อย ซึ่งพบว่าไม่สามารถหาค่าที่เหมาะสมได้ ดังนั้นจึงได้แบ่งวิเคราะห์ออกเป็นช่วงฤดู เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ค่า I โดยแต่ละเดือนของฤดู พบความสัมพันธ์ว่า ค่า C' มีค่าแปรผันตามจำนวนวันที่ฝนตกในแต่ละเดือน โดยหากมีจำนวนวันที่ฝนตกมากค่า C' มีแนวโน้มมากขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าเดือนไหนมีจำนวนวันที่ฝนตกน้อยค่า C' มีค่าลดลงไปด้วย จากการศึกษาพบว่าจำนวนวันที่ฝนตกเกณฑ์คือ 6 วัน ดังแสดงในตารางที่ 17

จากตารางที่ 17 พบว่า ค่า C' ในช่วงฤดูแล้งมีค่าน้อยอยู่ระหว่าง 0.12- 0.35 ขึ้นอยู่จำนวนวันฝนตกหากมีฝนตกบ่อยจะยิ่งทำให้น้ำสะสมในชั้นใต้ผิวดินและสิ่งกักเก็บปริมาณฝนมากขึ้น ซึ่งจะทำให้เมื่อมีฝนตกรอบใหม่ ปริมาณน้ำฝนจะเปลี่ยนน้ำผิวดินมากขึ้นเช่นกัน หรือมี ค่า C' เพิ่มขึ้น ในช่วงหน้าฝนมีฝนตกติดต่อกันเนื่องดังนั้นค่า C' ค่อยเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากส่วนที่เก็บกักน้ำฝน เก็บกักสะสมมากขึ้นตามลำดับ ลุ่มน้ำย่อยมีค่า C' ระหว่าง 0.5-0.7 เนื่องจากพื้นที่เป็นป่าเขามีความลาดชัน แต่เมื่อรวมในลุ่มน้ำหลักค่า C' อยู่ระหว่าง 0.3-0.4 เนื่องจากมีพื้นที่ราบลุ่มเพิ่มเข้ามาเป็นสัดส่วนใหญ่ของพื้นที่ มีส่วนที่ทำให้ค่า C' ลดลง ในช่วงเปลี่ยนเข้าฤดูแล้ง เช่นเดียวกันกับวิธี SCS-CN ค่า C' มีค่ามากกว่าปกติเนื่องจากอิทธิพลของ Base Flow ต่อปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัด ดังนั้นวิธีการคำนวณปริมาณน้ำท่าโดยวิธี Rational Method จึงเหมาะสมที่จะใช้ประเมินน้ำท่าในช่วงฤดูฝน

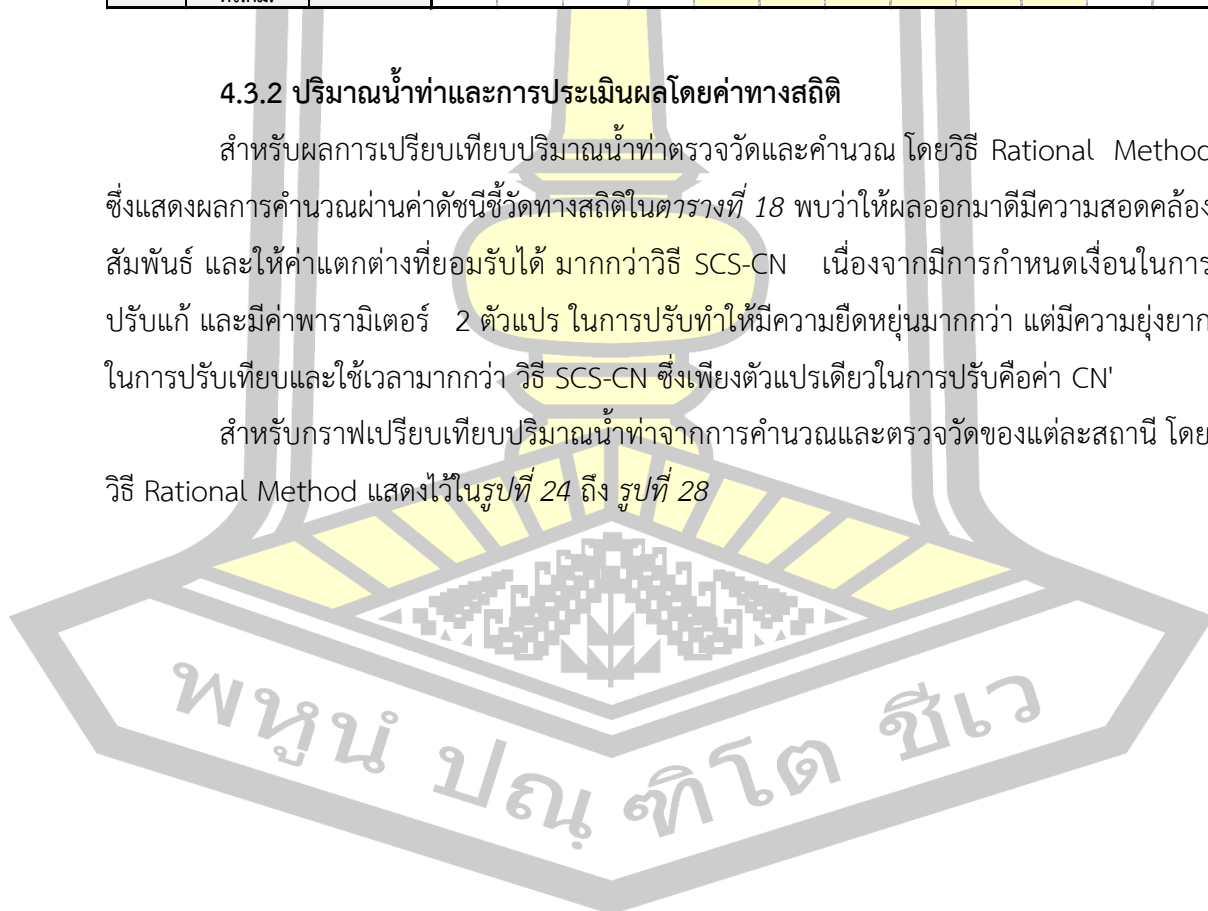
ตารางที่ 17 แสดงปริมาณฝน จำนวนวันฝนตก และ ค่า C ในแต่ละเดือนของพื้นที่ศึกษา

กลุ่ม น้ำย่อย	สถานีตรวจวัด	ข้อมูล/ พารามิเตอร์	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	สถานี E.83 654.6 ตร.กม.	ฝน (มม.) วันฝนตก C'	10.1	16.4	36.9	62.8	112.5	110.8	139.6	195.1	241.0	91.9	44.4	4.3
			1	1	2	3	7	7	9	9	11	5	2	0
			0.13	0.13	0.20	0.28	0.57	0.60	0.63	0.70	0.76	0.45	0.16	0.11
2	สถานี E.84 522.0 ตร.กม.	ฝน (มม.) วันฝนตก C'	10.1	16.4	36.9	62.8	112.5	110.8	139.6	195.1	241.0	91.9	44.4	4.3
			1	1	2	3	7	7	9	9	11	5	2	0
			0.33	0.33	0.37	0.42	0.50	0.49	0.53	0.53	0.61	0.42	0.36	0.31
3	สถานี E.72 247.4 ตร.กม.	ฝน (มม.) วันฝนตก C'	13.1	15.6	42.2	85.7	145.9	123.1	156.6	218.2	262.4	118.2	42.3	6.3
			1	1	4	6	11	11	14	14	16	8	3	1
			0.23	0.23	0.27	0.37	0.50	0.51	0.55	0.59	0.65	0.45	0.25	0.22
4	สถานี E.73 241.0 ตร.กม.	ฝน (มม.) วันฝนตก C'	16.0	14.9	47.5	108.5	179.2	135.4	173.5	241.4	283.8	144.5	40.2	8.4
			2	2	6	9	15	15	19	19	20	12	4	1
			0.37	0.36	0.39	0.47	0.54	0.56	0.58	0.60	0.62	0.53	0.38	0.36
ลุ่มน้ำ หลัก	สถานี E.32A 2,733.8 ตร.กม.	ฝน (มม.) วันฝนตก C'	9.4	11.1	37.6	72.4	122.7	101.2	122.0	185.5	262.7	108.9	33.0	5.0
			1	1	3	5	9	8	10	12	14	7	2	0
			0.12	0.12	0.17	0.22	0.32	0.31	0.35	0.39	0.89	0.69	0.52	0.48

4.3.2 ปริมาณน้ำท่าและการประเมินผลโดยค่าทางสถิติ

สำหรับผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าตรวจวัดและคำนวณ โดยวิธี Rational Method ซึ่งแสดงผลการคำนวณผ่านค่าดัชนีชี้วัดทางสถิติในตารางที่ 18 พบว่าให้ผลออกมาดีมีความสอดคล้องสัมพันธ์ และให้ค่าแตกต่างที่ยอมรับได้ มากกว่าวิธี SCS-CN เนื่องจากมีการกำหนดเงื่อนไขในการปรับแก้ และมีค่าพารามิเตอร์ 2 ตัวแปร ในการปรับทำให้มีความยืดหยุ่นมากกว่า แต่มีความยุ่งยากในการปรับเทียบและใช้เวลามากกว่า วิธี SCS-CN ซึ่งเพียงตัวแปรเดียวในการปรับคือค่า CN'

สำหรับกราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากการคำนวณและตรวจวัดของแต่ละสถานี โดยวิธี Rational Method แสดงไว้ในรูปที่ 24 ถึง รูปที่ 28

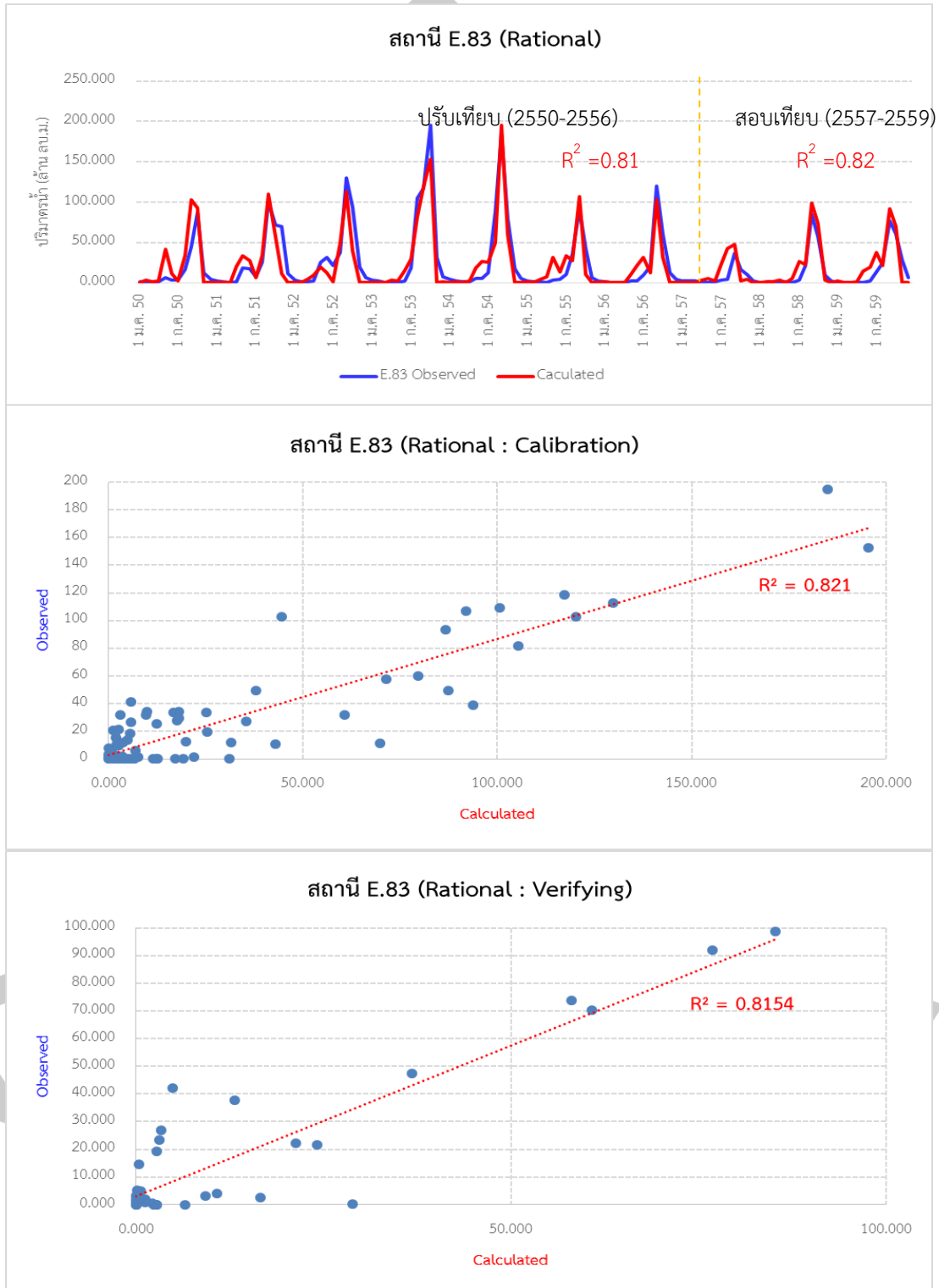


ตารางที่ 18 แสดงผลการคำนวณโดยวิธี SCS-CN ผ่านดัชนีชี้วัดทางสถิติในแต่ละลุ่มน้ำย่อย

ลุ่มน้ำย่อย	สถานีตรวจวัด	ดัชนีชี้วัด	Rational	
			ปรับเทียบ	สอบเทียบ
1	สถานี E.83 654.6 ตร.กม.	R^2	0.81	0.82
		E	0.82	0.73
		PBIAS	6.14	-2.68
2	สถานี E.84 522.0 ตร.กม.	R^2	0.86	0.71
		E	0.83	0.81
		PBIAS	1.89	17.69
3	สถานี E.72 247.4 ตร.กม.	R^2	0.78	0.76
		E	0.92	0.96
		PBIAS	4.40	-18.70
4	สถานี E.73 241.0 ตร.กม.	R^2	0.71	0.70
		E	0.87	0.96
		PBIAS	16.77	-10.70
ลุ่มน้ำหลัก	สถานี E.32A 2,733.8 ตร.กม.	R^2	0.86	0.78
		E	0.87	0.79
		PBIAS	19.35	1.63

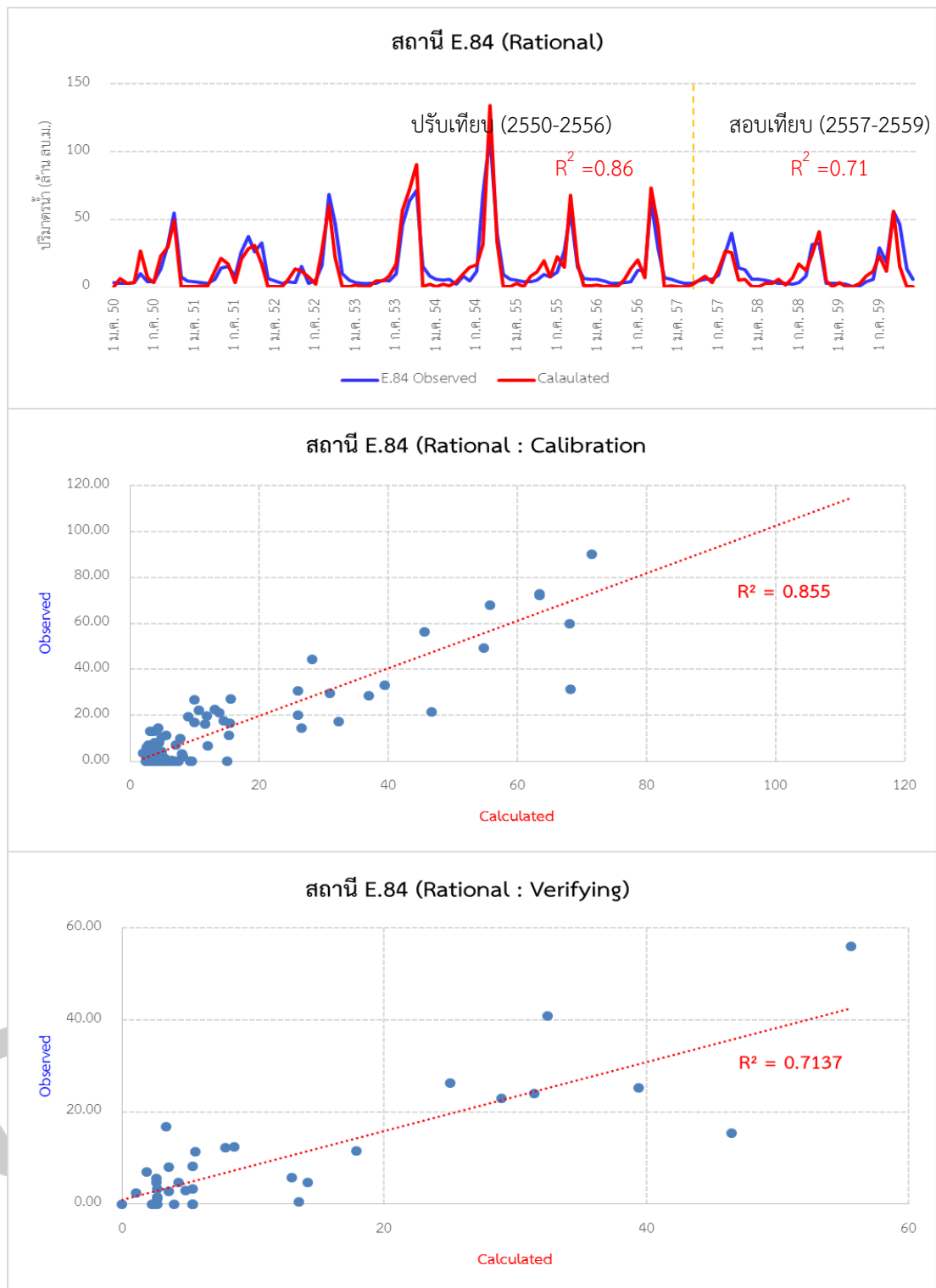


ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 พื้นที่ 654.6 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.83



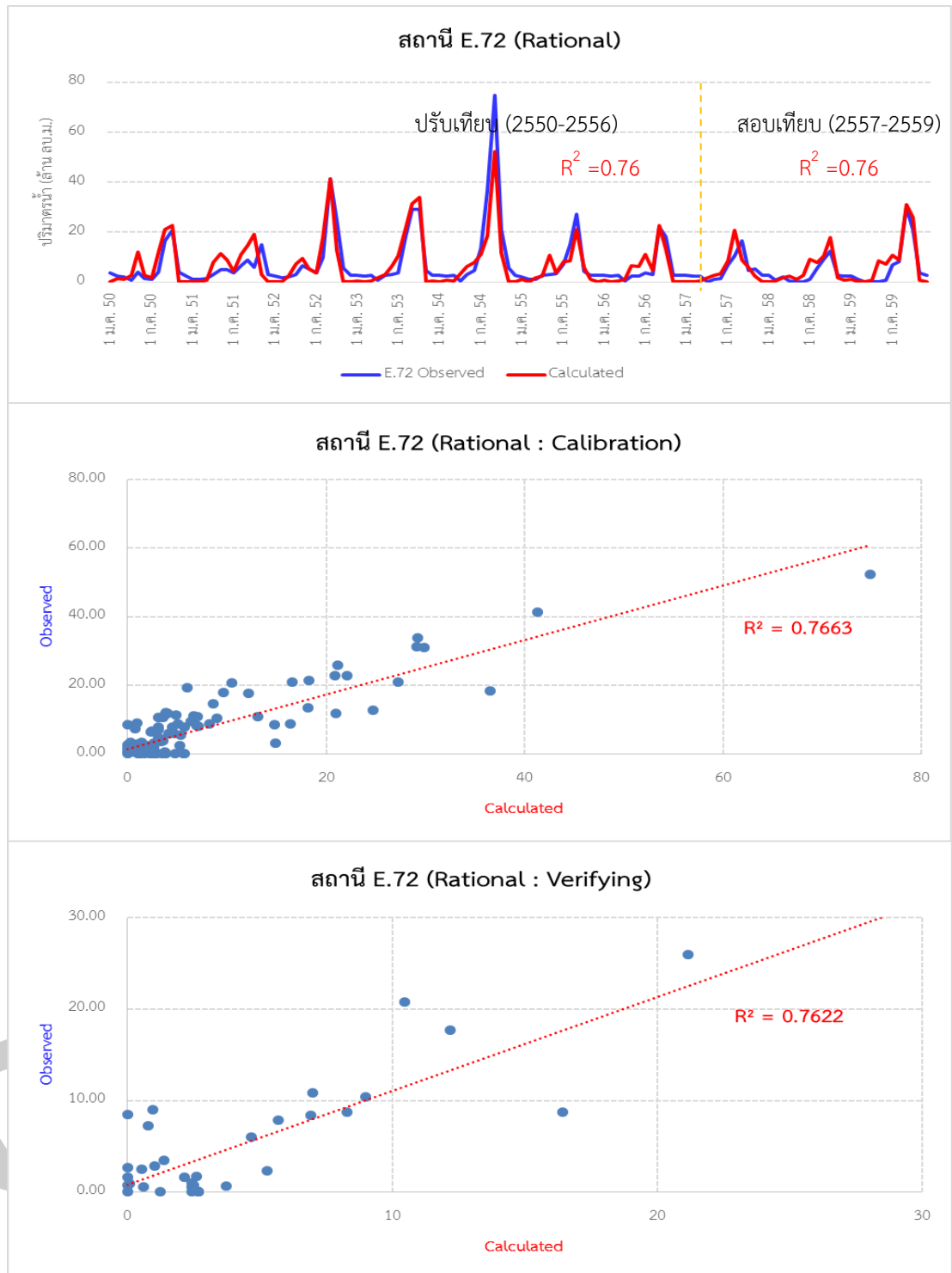
รูปที่ 24 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.83 โดยวิธี Rational

ลุ่มน้ำย่อยที่ 2 พื้นที่ 522.0 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.84



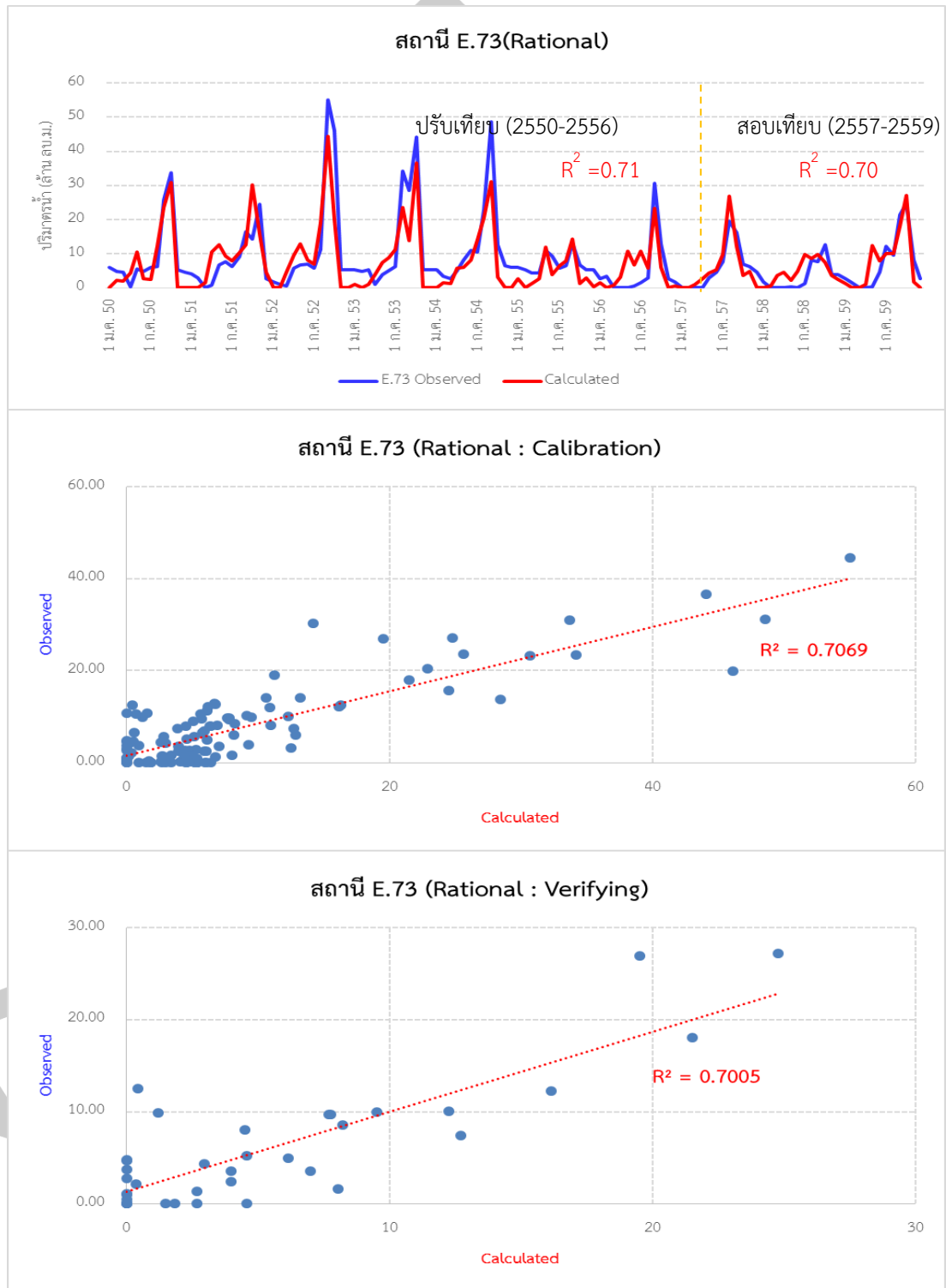
รูปที่ 25 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.84 โดยวิธี Rational

ลุ่มน้ำย่อยที่ 3 พื้นที่ 247.4 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.72



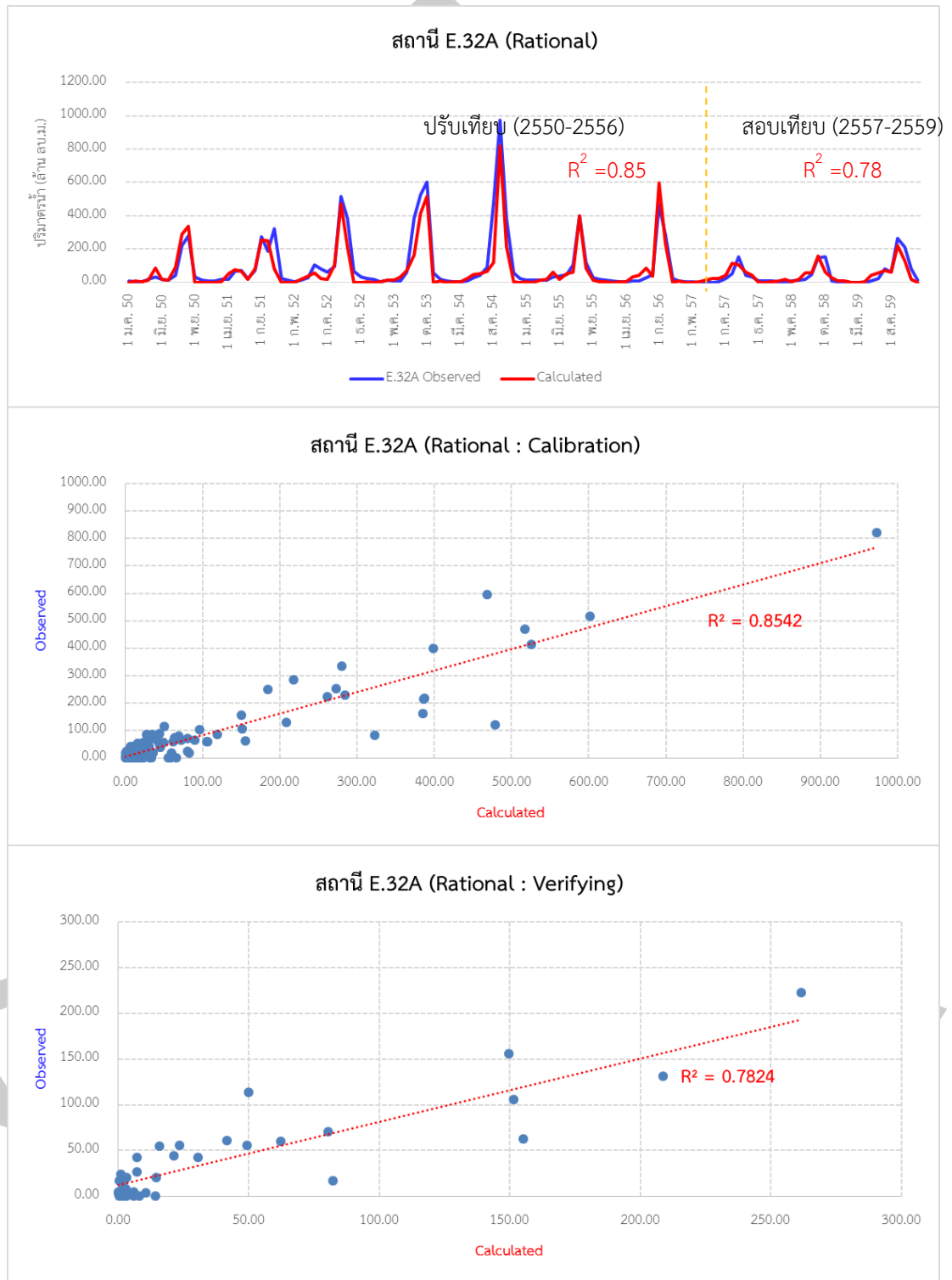
รูปที่ 26 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.72 โดยวิธี Rational

ลุ่มน้ำย่อยที่ 4 พื้นที่ 241.0 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.73



รูปที่ 27 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.73 โดยวิธี Rational

ลุ่มน้ำรวม พื้นที่ 2,733.8 ตร.กม. ปรับเทียบที่สถานี E.32A



รูปที่ 28 แสดงผลการปรับเทียบและสอบเทียบของสถานี E.32A โดยวิธี Rational

4.4 การเปรียบเทียบผลจากการประเมินน้ำท่าทั้ง 3 วิธี : แบบจำลอง SWAT ,SCS-CN และ Rational Method

ในหัวข้อนี้ต้องการให้ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าที่ได้จากทั้ง 3 วิธี เพื่อจะให้เห็นภาพในเชิงเปรียบเทียบ และข้อสังเกต ผลเปรียบเทียบค่าดัชนีชี้วัดของทั้ง 3 สรุปไว้ในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 แสดงค่าดัชนีชี้วัดเปรียบเทียบการประเมินน้ำท่าทั้ง 3 วิธี

ลุ่มน้ำย่อย	สถานีตรวจวัด	ดัชนีชี้วัด	ปรับเทียบ(2550-2556)			สอบเทียบ (2557-2559)		
			SWAT	SCS-CN	Rational	SWAT	SCS-CN	Rational
1	สถานี E.83 654.6 ตร.กม.	R^2	0.76	0.77	0.81	0.68	0.67	0.82
		E	0.75	0.77	0.82	0.71	0.68	0.73
		PBIAS	12.34	16.63	6.14	-1.71	-0.23	-2.68
2	สถานี E.84 522.0 ตร.กม.	R^2	0.79	0.72	0.86	0.82	0.69	0.71
		E	0.59	0.59	0.83	0.81	0.76	0.81
		PBIAS	-32.45	-6.27	1.89	-30.74	13.44	17.69
3	สถานี E.72 247.4 ตร.กม.	R^2	0.75	0.73	0.78	0.79	0.63	0.76
		E	0.89	0.88	0.92	0.97	0.93	0.96
		PBIAS	-20.01	3.57	4.40	-31.97	-15.25	-18.70
4	สถานี E.73 241.0 ตร.กม.	R^2	0.65	0.59	0.71	0.68	0.63	0.70
		E	0.80	0.75	0.87	0.80	0.83	0.96
		PBIAS	-20.77	8.03	16.77	-91.48	-42.63	-10.70
ลุ่มน้ำหลัก	สถานี E.32A 2,733.8 ตร.กม.	R^2	0.81	0.81	0.86	0.79	0.79	0.78
		E	0.82	0.83	0.87	0.51	0.59	0.79
		PBIAS	3.18	16.99	19.35	-72.96	-27.71	1.63

จากตารางที่ 19 สรุปได้ตามลุ่มน้ำย่อยดังนี้

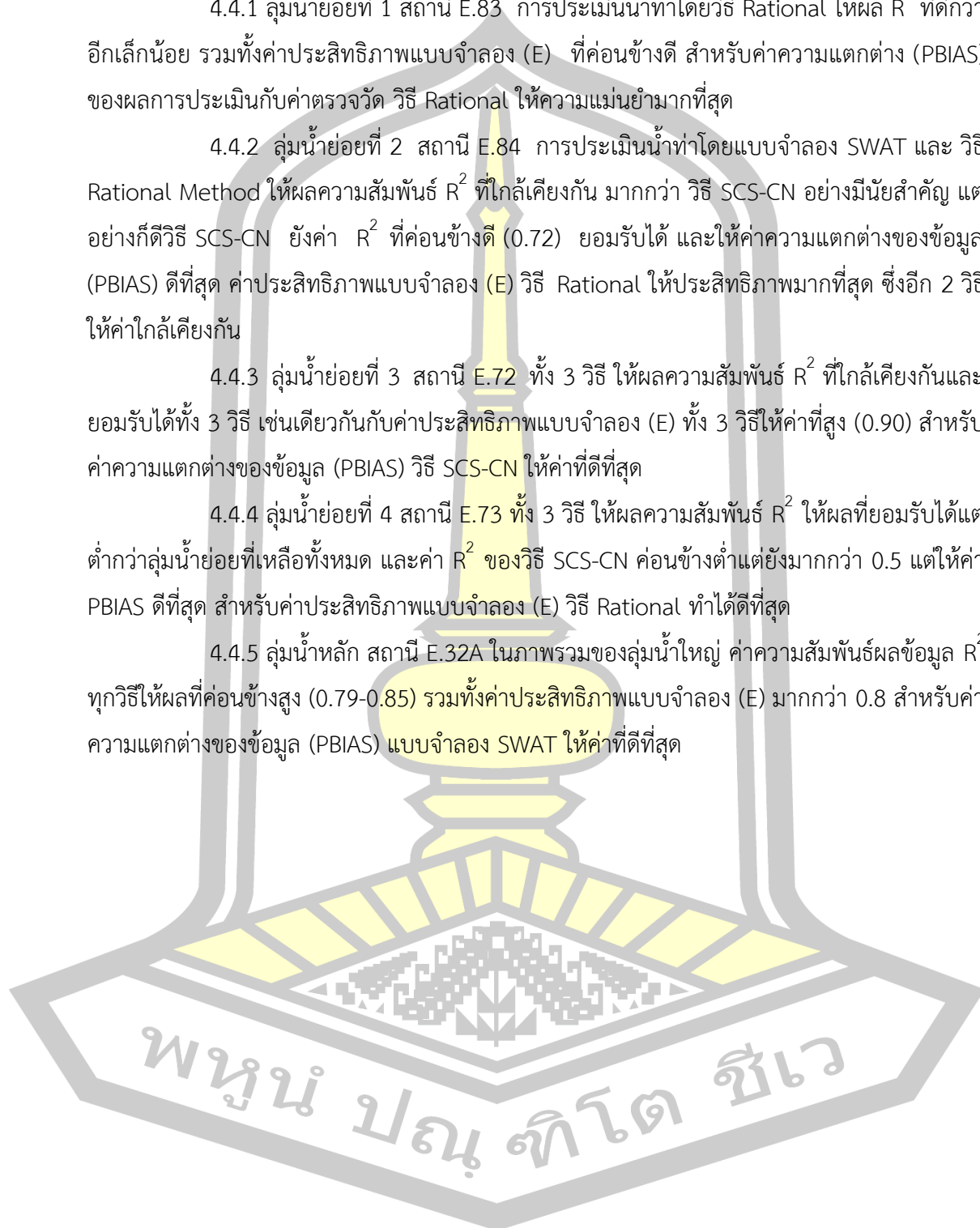
4.4.1 ลุ่มน้ำย่อยที่ 1 สถานี E.83 การประเมินน้ำท่าโดยวิธี Rational ให้ผล R^2 ที่ดีกว่าอีกเล็กน้อย รวมทั้งค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง (E) ที่ค่อนข้างดี สำหรับค่าความแตกต่าง (PBIAS) ของผลการประเมินกับค่าตรวจวัด วิธี Rational ให้ความแม่นยำมากที่สุด

4.4.2 ลุ่มน้ำย่อยที่ 2 สถานี E.84 การประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT และ วิธี Rational Method ให้ผลความสัมพันธ์ R^2 ที่ใกล้เคียงกัน มากกว่า วิธี SCS-CN อย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ดีวิธี SCS-CN ยังค่า R^2 ที่ค่อนข้างดี (0.72) ยอมรับได้ และให้ค่าความแตกต่างของข้อมูล (PBIAS) ดีที่สุด ค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง (E) วิธี Rational ให้ประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งอีก 2 วิธี ให้ค่าใกล้เคียงกัน

4.4.3 ลุ่มน้ำย่อยที่ 3 สถานี E.72 ทั้ง 3 วิธี ให้ผลความสัมพันธ์ R^2 ที่ใกล้เคียงกันและยอมรับได้ทั้ง 3 วิธี เช่นเดียวกับกับค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง (E) ทั้ง 3 วิธีให้ค่าที่สูง (0.90) สำหรับค่าความแตกต่างของข้อมูล (PBIAS) วิธี SCS-CN ให้ค่าที่ดีที่สุด

4.4.4 ลุ่มน้ำย่อยที่ 4 สถานี E.73 ทั้ง 3 วิธี ให้ผลความสัมพันธ์ R^2 ให้ผลที่ยอมรับได้แต่ต่ำกว่าลุ่มน้ำย่อยที่เหลือทั้งหมด และค่า R^2 ของวิธี SCS-CN ค่อนข้างต่ำแต่ยังมากกว่า 0.5 แต่ให้ค่า PBIAS ดีที่สุด สำหรับค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง (E) วิธี Rational ทำได้ดีที่สุด

4.4.5 ลุ่มน้ำหลัก สถานี E.32A ในภาพรวมของลุ่มน้ำใหญ่ ค่าความสัมพันธ์ผลข้อมูล R^2 ทุกวิธีให้ผลที่ค่อนข้างสูง (0.79-0.85) รวมทั้งค่าประสิทธิภาพแบบจำลอง (E) มากกว่า 0.8 สำหรับค่าความแตกต่างของข้อมูล (PBIAS) แบบจำลอง SWAT ให้ค่าที่ดีที่สุด



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการนำเสนอการสรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และแสดงข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปศึกษาต่อยอดในอนาคต รายละเอียดของการสรุปผลและข้อเสนอแนะสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อทำการศึกษาใน 2 วัตถุประสงค์หลัก ลำดับแรกคือประเมินปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีทางอุทกวิทยา และเพื่อได้มาซึ่งตัวแปร CN' และ C' สำหรับประยุกต์ใช้หาหน้าท่ารวม (Total-runoff) ในวิธี SCS-CN และ Rational Method ตามลำดับ โดยได้สรุปเป็นหัวข้อดังนี้

เปรียบเทียบผลที่ได้จากทั้ง 3 วิธี ว่ามีข้อดี ข้อเสีย หรือขอบเขตข้อจำกัดเป็นอย่างไร และสุดท้ายเพื่อได้มาซึ่งตัวแปร CN' และ C' ของวิธี SCS-CN และ Rational Method ตามลำดับ โดยได้สรุปเป็นหัวข้อดังนี้

5.1.1 ประเมินปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีทางอุทกวิทยา

- แบบจำลอง SWAT และวิธีการทางอุทกวิทยาอีก 2 วิธี คือ SCS-CN และ Rational Method สามารถนำมาใช้ประเมินน้ำท่าของพื้นที่ลุ่มน้ำและให้ผลที่ยอมรับได้ โดยมีข้อดี ข้อเสียหรือข้อจำกัดของแต่ละวิธีดังต่อไปนี้

1. แบบจำลอง SWAT ให้ความความละเอียดในเรื่องข้อมูลนำเข้าการเปรียบเทียบและทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากกว่าอีก 2 วิธี และสามารถจำลองสถานการณ์ได้ตลอดปีทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง เนื่องจากแบบจำลองมีการคำนวณการไหลน้ำใต้ดินหรือ Base-Flow ด้วย อย่างไรก็ตามแบบจำลอง SWAT มีความยุ่งยากและซับซ้อนในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลนำเข้าและการดำเนินการจำลอง ซึ่งต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปด้าน GIS เป็นหลัก ผู้ใช้ต้องมีพื้นฐานความเข้าใจและการใช้โปรแกรม GIS เป็นสำคัญระดับหนึ่ง ถึงสามารถดำเนินการจำลองได้

2. วิธีทางอุทกวิทยา SCS-CN มีความคล่องตัวในการใช้งานดี สามารถทำการประเมินน้ำท่าโดยใช้โปรแกรมช่วยคำนวณอย่างง่าย เช่น Excel ได้ ค่าปรับแก้เพื่อเปรียบเทียบมีเพียง 1 ค่าคือค่า CN ทำให้ง่ายเปรียบเทียบ อย่างไรก็ตามค่า CN ที่ได้ไม่ใช่ค่าเดียว แต่เป็น CN ของแต่ละเดือนหรือช่วงข้อมูล ซึ่งได้มาจากวิเคราะห์ค่าทางสถิติของปริมาณน้ำท่าที่สถานีตรวจวัด

ประกอบ ข้อจำกัดของวิธี SCS-CN ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการประเมินน้ำท่าในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงที่มีปริมาณฝนน้อยเนื่องจากอิทธิพลที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าเป็นหลักคือปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน หรือ Base-Flow รวมทั้งผลลัพธ์ที่ได้สามารถยอมรับได้ระดับหนึ่ง ซึ่งผู้วิจัยแนะนำวิธีนี้ในการใช้ประเมินน้ำท่า

3. วิธีทางอุทกวิทยา Rational Method มีข้อดีคือใช้ประเมินปริมาณการไหลน้ำท่าสูงสุดได้ง่าย แต่มีความเหมาะสมที่จะใช้สำหรับเหตุการณ์ฝนที่รู้ช่วงเวลาที่เกิดฝนตกที่แน่นอน ซึ่งจะทำให้ตัวแปรที่ต้องปรับแก้มีเพียงตัวแปรเดียวคือค่า C ในส่วนข้อจำกัดขนาดพื้นที่ศึกษาที่แนะนำไว้ไม่เกิน 25 ตารางกิโลเมตร พบว่าสามารถใช้ประเมินน้ำท่าของพื้นที่ขนาดใหญ่กว่าและให้ผลที่ยอมรับได้ แต่ทั้งนี้ต้องวิเคราะห์และกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเลือกใช้ค่า C

5.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้เป็นตัวแทนเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าโดยวิธี SCS-CN (ค่า CN') , Rational Method (ค่า C') ของพื้นที่ศึกษา

จากการศึกษาพบว่าค่าตัวแปร CN' และ C' ที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นค่าตัวแปรเฉพาะแต่ละเดือน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนโดยวิธีทางอุทกศาสตร์ทั้งวิธี SCS-CN และ วิธี Rational ตามลำดับ ซึ่งให้ผลที่ยอมรับได้และมีความใกล้เคียงกับประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ซึ่งในตารางที่ 20 ได้แสดงค่าตัวแปร CN' และ C' ของพื้นที่ศึกษาไว้ในแต่ละเดือน

ตารางที่ 20 ค่าตัวแปร CN' และ C' แต่ละเดือน เพื่อใช้หาค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนโดยวิธี SCS-CN และ วิธี Rational

ลุ่มน้ำย่อย	สถานีตรวจวัด	พารามิเตอร์	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	สถานี E.83 654.6 ตร.กม.	CN'	69	67	67	48	48	52	53	50	68	89	65	69
		C'	0.13	0.13	0.20	0.28	0.57	0.60	0.63	0.70	0.76	0.45	0.16	0.11
2	สถานี E.84 522.0 ตร.กม.	CN'	71	74	80	60	55	54	55	49	57	84	69	76
		C'	0.33	0.33	0.37	0.42	0.50	0.49	0.53	0.53	0.61	0.42	0.36	0.31
3	สถานี E.72 247.4 ตร.กม.	CN'	76	75	78	49	45	46	48	45	53	74	73	82
		C'	0.23	0.23	0.27	0.37	0.50	0.51	0.55	0.59	0.65	0.45	0.25	0.22
4	สถานี E.73 241.0 ตร.กม.	CN'	70	74	68	53	45	53	45	43	49	76	78	79
		C'	0.37	0.36	0.39	0.47	0.54	0.56	0.58	0.60	0.62	0.53	0.38	0.36
ลุ่มน้ำหลัก	สถานี E.32A 2,733.8 ตร.กม.	CN'	72	75	69	53	47	52	51	46	61	86	66	73
		C'	0.12	0.12	0.17	0.22	0.32	0.31	0.35	0.39	0.89	0.69	0.52	0.48

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ค่า CN' และ C' ที่ได้ สามารถศึกษาเพิ่มเติม เพื่อหาสัดส่วนความสัมพันธ์กับ ค่า Surface ,Sub-surface และ Base Flow ยกตัวอย่าง เช่น $CN' = CN_{sur} + CN_{sub} + CN_{Base}$

5.2.2 สามารถศึกษาเพิ่มเติม การนำไปประยุกต์ใช้ค่า CN' และ C' ที่ได้กับพื้นที่ที่มี ภูมิประเทศคล้ายคลึงกัน

5.2.3 สามารถศึกษาเพิ่มเติมโดยนำค่า CN' และ C' ไปใช้ สำหรับการประเมินน้ำท่ารายวัน ว่ามีความสัมพันธ์ สอดคล้องหรือไม่อย่างไร

5.2.4 วิธี Rational Method สามารถนำไปวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อประเมินน้ำท่าจาก ค่าความเข้มฝนที่ Return Period ต่างๆ เพื่อใช้วางแผนการบริหารจัดการน้ำได้

5.2.5 ควรมีการตรวจสอบหรือปรับเทียบใหม่ทุก รอบ 5 ปี หรือ มีการเปลี่ยนแปลง การใช้ประโยชน์ที่ดินไปมาก

5.2.6 ความครอบคลุมของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ จะทำให้ผลการประเมินน้ำท่ามีความ ถูกต้องมากยิ่งขึ้น (กรมชลประทาน, 2555) (กรมชลประทาน, 2556)

(กรมชลประทาน, 2548) (กรมชลประทาน, 2548) (กรมชลประทาน, 2548)



บรรณานุกรม

- แก้วเมืองมูล, เทวินทร์. 2552. “การประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ทา จังหวัดลำพูน โดยใช้แบบจำลอง SWAT. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) ปฐพีศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.”
- โฆสิตสกุลชัย, เอกสิทธิ์. 2547. *อุทกวิทยา 1 (เอกสารประกอบการสอน) ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.*
- แต่สมบัติ, วิษุวัตม์. 2555. *อุทกวิทยาทางวิศวกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.*
- พงษ์ศักดิ์, วิทวัสฤทธิกุล, ธรรมบุญ แก้วอำพุก, and พิณทิพย์ ธิติโรจนะวัฒน์. 2552. “การประยุกต์ใช้ SCS-CN Methodology ประเมินการเปลี่ยนแปลงน้ำท่า หลังการทำลายป่าต้นน้ำและใช้ประโยชน์ที่ดินทำการเกษตร.” *ส่วนวิจัยต้นน้ำ สำนักอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.*
- ภักดีกุล, กัมปนาท, and และคณะ. 2554. “การจัดการน้ำในพื้นที่ชุ่มน้ำ กรณีศึกษา : ตำบลโคกสี อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น. โครงการพัฒนาและส่งเสริมความร่วมมือเครือข่ายนักวิจัยสิ่งแวดล้อม ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.”
- ฤกษ์ชัย, ดวงทิพย์, and ทรงวุฒิ แสงจันทร์. 2556. “ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสภาพอากาศต่อปริมาณน้ำท่าผิวดิน (กรณีศึกษาลุ่มน้ำฝาง จังหวัดเชียงใหม่).” *ประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6, 708-12.*
- วงษาศรี, ศรายุทธ. 2555. “การประเมินปริมาณและคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำพองตอนล่างโดยใช้แบบจำลอง Swat วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น .”

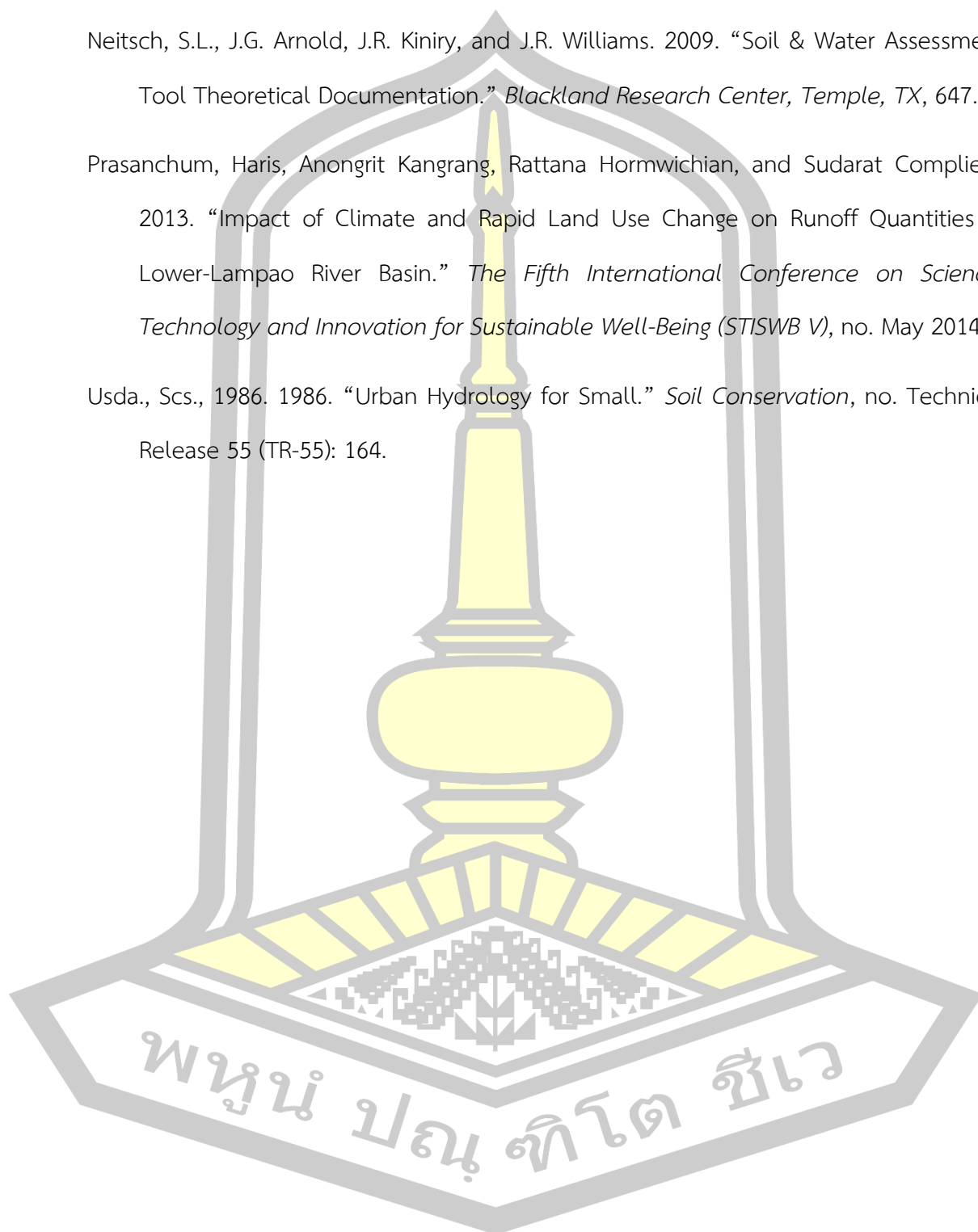
- วิวัฒน์ชุตikul, พงษ์ศักดิ์, and พิณทิพย์ ธิติโรจนวัฒน์. 2551. “การกำหนดค่า SCS-CN ของพืชคลุมดิน เพื่อการจัดการพื้นที่ต้นน้ำ.” *ส่วนวิจัยต้นน้ำ สำนักอนุรักษ์และจัดการต้นน้ำ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช*, no. 1: 1–10.
- วุฒิชัยกิจเจริญ, ปิยะวัฒน์. 2556. “การทำนายปริมาณตะกอนในลุ่มน้ำภายใต้การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยใช้โปรแกรม Swat.” *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่*.
- เวศอุไร, โอฬาร. 2548. “ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบน โดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา.” *Major Water Resource Engineering*.
- หงษาวง, แพรววดี, เรวดี สามสาลี, and เกศวรา สิทธิโชค. 2559. “การศึกษาค่าความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง SWAT เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าลุ่มน้ำแม่กลอง. โครงการงานวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.” 51 (Supplement): S-92.
- Arnold, J. G., and N. Fohrer. 2005. “SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modelling.” *Hydrological Processes* 19 (3): 563–72.
- Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, and J. R. Williams. 1998. “Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development.” *Journal of the American Water Resources Association*.
- Chutikul, Witthawat. 1997. “Modelling for Evaluation of Critical Condition of Watershed in Thailand. Ph.D.Thesis. Kasetsart University. Bangkok.”
- Mishra, S.K., and Vijay P. Singh. 2003. “Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology.” *Water Science and Technology Library* 42 (0): 513.
- Muangthong, Somphinith, and Winai Wangpimool. 2019. “Flood Decision Support System with Emerged Multiple Data Resources and Flood Decision Support System with Emerged Multiple Data Resources and Technologies.” *International Journal*

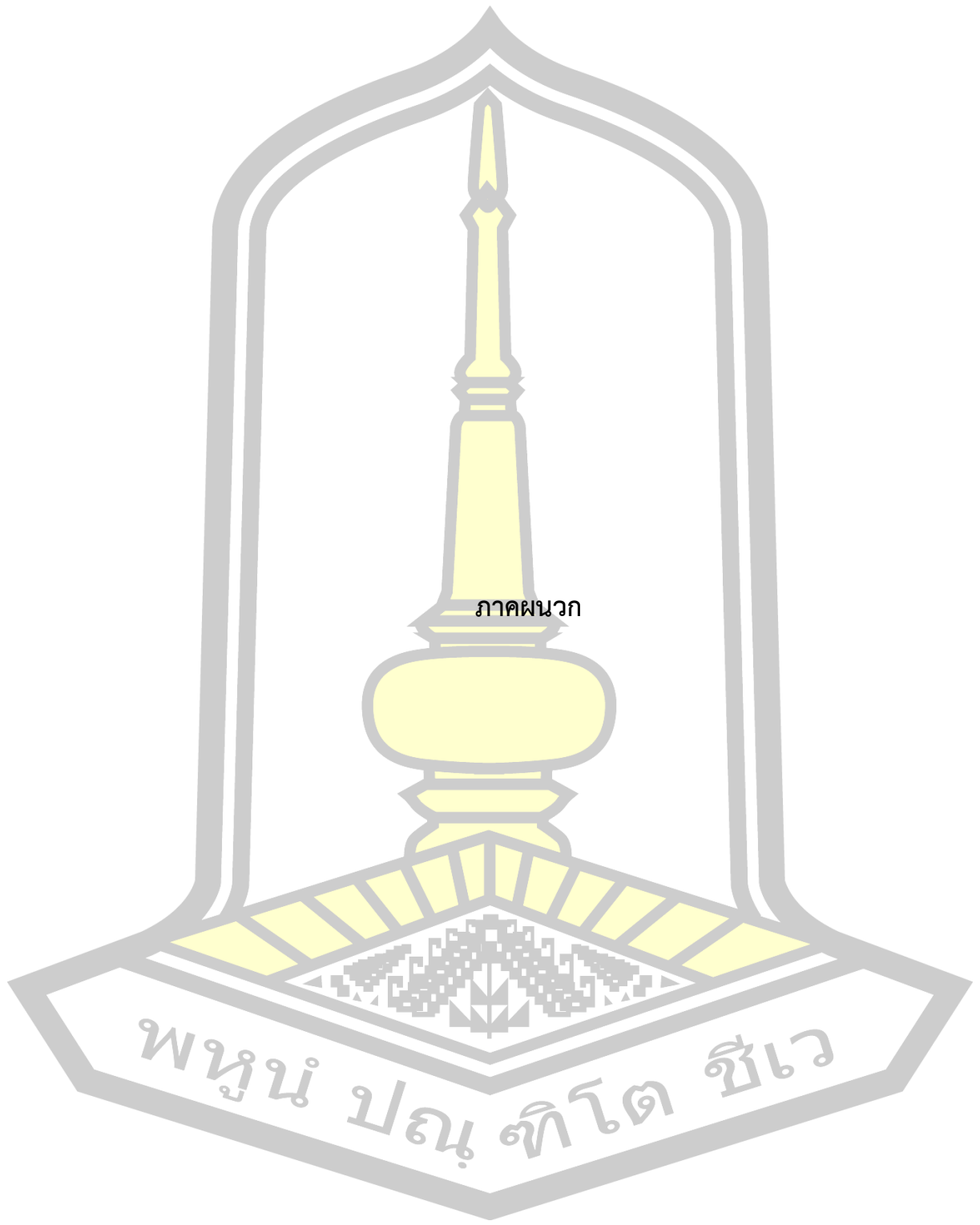
of Engineering & Technology Sciences, no. January.

Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, and J.R. Williams. 2009. "Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation." *Blackland Research Center, Temple, TX*, 647.

Prasanchum, Haris, Anongrit Kangrang, Rattana Hormwichian, and Sudarat Compliew. 2013. "Impact of Climate and Rapid Land Use Change on Runoff Quantities in Lower-Lampao River Basin." *The Fifth International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB V)*, no. May 2014.

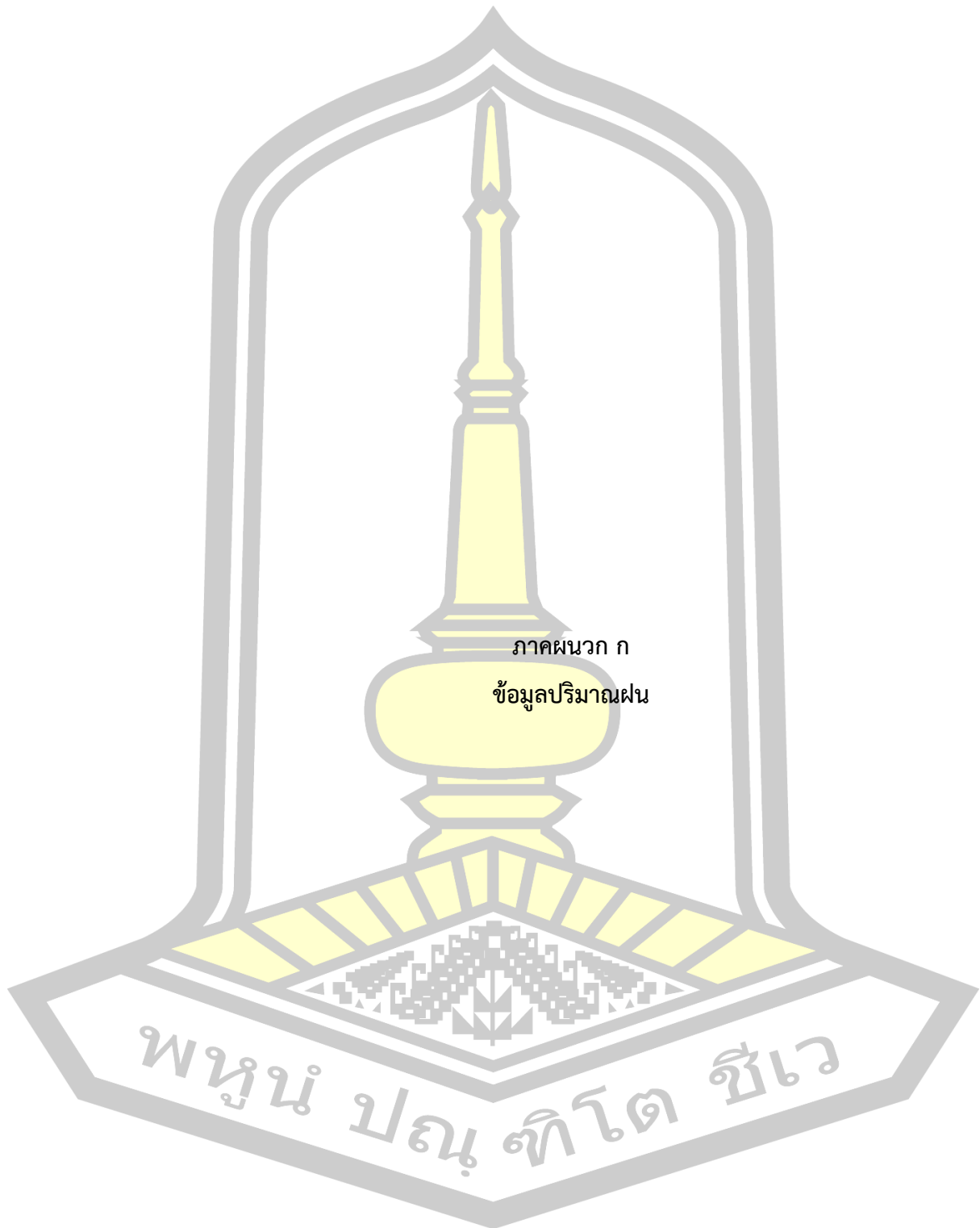
Usda., Scs., 1986. 1986. "Urban Hydrology for Small." *Soil Conservation*, no. Technical Release 55 (TR-55): 164.





ภาคนวก

พหูนํ ปณ ทิโต ชีเว



ตารางผนวกปริมาณฝนรายเดือน

ปริมาณฝนรายเดือน (มม.)	E32A	E73	E84	หนองบัวแดง	เกษตรสมบูรณ์
1 ม.ค. 50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 ก.พ. 50	91.600	64.600	80.800	0.000	0.000
1 มี.ค. 50	48.300	53.700	34.700	5.000	5.800
1 เม.ย. 50	68.700	84.700	36.800	18.000	93.200
1 พ.ค. 50	273.000	185.400	209.700	110.500	165.700
1 มิ.ย. 50	110.300	50.900	69.300	35.000	33.200
1 ก.ค. 50	107.600	48.100	31.400	19.900	82.100
1 ส.ค. 50	155.600	211.500	160.500	233.700	199.500
1 ก.ย. 50	354.700	400.300	219.500	359.400	183.000
1 ต.ค. 50	188.700	166.100	102.300	110.200	91.100
1 พ.ย. 50	0.000	0.200	0.000	0.000	33.200
1 ธ.ค. 50	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 ม.ค. 51	2.900	4.700	0.000	0.000	0.000
1 ก.พ. 51	1.600	3.200	10.300	0.000	0.000
1 มี.ค. 51	55.700	40.300	13.900	67.700	13.500
1 เม.ย. 51	109.200	202.800	131.300	276.600	69.100
1 พ.ค. 51	115.800	232.500	185.000	210.800	154.000
1 มิ.ย. 51	238.200	169.500	156.100	223.200	47.500
1 ก.ค. 51	47.600	155.000	37.700	27.500	16.100
1 ส.ค. 51	222.300	180.000	188.800	144.700	160.500
1 ก.ย. 51	324.900	213.000	223.500	347.400	273.800
1 ต.ค. 51	218.900	220.900	63.100	66.000	184.300
1 พ.ย. 51	162.000	48.800	203.400	62.900	50.500
1 ธ.ค. 51	0.000	4.500	0.000	0.000	0.000
1 ม.ค. 52	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

1 ก.พ. 52	0.000	0.000	0.000	0.000	44.600
1 มี.ค. 52	23.000	108.900	61.800	91.600	126.500
1 เม.ย. 52	71.000	187.900	141.100	99.500	63.500
ปริมาณฝนรายเดือน (มม.)	E32A	E73	E84	หนองบัวแดง	เกษตรสมบูรณ์
1 พ.ค. 52	167.100	236.100	112.900	164.700	169.800
1 มิ.ย. 52	34.300	155.500	67.600	45.000	60.300
1 ก.ค. 52	88.500	135.000	30.700	79.400	84.900
1 ส.ค. 52	264.200	347.200	311.500	131.000	76.400
1 ก.ย. 52	505.200	335.500	283.400	215.300	122.000
1 ต.ค. 52	86.500	131.400	49.500	109.800	91.200
1 พ.ย. 52	0.000	0.000	0.000	7.000	0.000
1 ธ.ค. 52	3.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 ม.ค. 53	7.600	26.800	15.500	1.500	23.600
1 ก.พ. 53	8.700	3.900	0.000	15.000	0.000
1 มี.ค. 53	14.000	26.600	0.000	36.000	0.000
1 เม.ย. 53	147.600	98.900	45.700	35.000	48.900
1 พ.ค. 53	71.000	190.200	51.100	24.000	12.600
1 มิ.ย. 53	186.300	173.100	102.000	93.000	91.700
1 ก.ค. 53	128.600	205.300	178.600	218.500	82.700
1 ส.ค. 53	378.900	267.200	380.800	203.000	238.800
1 ก.ย. 53	223.900	241.700	255.200	165.800	161.800
1 ต.ค. 53	326.800	287.300	238.800	101.600	253.100
1 พ.ย. 53	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 ธ.ค. 53	0.000	3.800	31.800	8.000	18.900
1 ม.ค. 54	0.000	0.800	1.500	0.000	0.000
1 ก.พ. 54	32.000	43.200	32.900	0.000	3.500
1 มี.ค. 54	11.500	34.000	9.100	12.500	53.400

1 เม.ย. 54	170.500	111.400	42.000	123.900	81.400
1 พ.ค. 54	155.300	111.100	114.800	167.400	144.400
1 มิ.ย. 54	144.600	153.900	166.100	136.700	18.900
1 ก.ค. 54	141.100	256.200	135.100	190.500	62.800
1 ส.ค. 54	175.800	360.700	259.700	293.400	103.900
1 ก.ย. 54	350.900	516.000	453.800	489.700	367.600
1 ต.ค. 54	67.900	60.100	75.500	81.900	153.800
ปริมาณฝนรายเดือน (มม.)	E32A	E73	E84	หนองบัวแดง	เกษตรสมบูรณ์
1 พ.ย. 54	6.000	2.500	0.000	15.000	0.000
1 ธ.ค. 54	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 ม.ค. 55	38.300	74.500	37.000	8.600	0.000
1 ก.พ. 55	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 มี.ค. 55	37.300	32.100	106.400	0.000	110.300
1 เม.ย. 55	19.700	70.100	116.400	44.900	0.000
1 พ.ค. 55	245.500	218.900	179.800	83.000	79.000
1 มิ.ย. 55	49.400	76.700	88.100	28.700	20.800
1 ก.ค. 55	96.900	119.000	173.600	36.000	107.900
1 ส.ค. 55	120.500	148.400	178.700	173.400	94.200
1 ก.ย. 55	233.200	127.100	214.100	269.100	301.700
1 ต.ค. 55	15.900	35.100	36.100	28.100	84.500
1 พ.ย. 55	5.000	77.500	8.500	4.500	13.000
1 ธ.ค. 55	0.000	7.700	9.000	0.000	0.000
1 ม.ค. 56	33.700	39.800	24.200	33.000	30.700
1 ก.พ. 56	0.000	3.000	0.000	0.000	0.000
1 มี.ค. 56	0.000	25.300	15.000	20.000	17.800
1 เม.ย. 56	31.000	82.600	3.700	6.700	18.900
1 พ.ค. 56	117.700	202.800	69.700	114.000	35.000

1 มี.ย. 56	97.800	122.200	121.700	130.400	50.600
1 ก.ค. 56	303.500	189.400	172.200	209.100	144.000
1 ส.ค. 56	48.400	107.600	77.000	260.500	81.600
1 ก.ย. 56	618.700	386.200	256.100	403.800	353.300
1 ต.ค. 56	143.900	145.900	74.700	73.900	46.500
1 พ.ย. 56	0.500	3.900	0.000	0.000	0.000
1 ธ.ค. 56	65.100	13.300	10.400	18.000	0.000
1 ม.ค. 57	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 ก.พ. 57	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 มี.ค. 57	41.100	30.800	16.100	2.000	29.900
1 เม.ย. 57	46.500	66.900	49.700	81.400	52.600
ปริมาณฝนรายเดือน (มม.)	E32A	E73	E84	หนองบัวแดง	เกษตรสมบูรณ์
1 พ.ค. 57	23.700	104.300	95.800	90.100	122.000
1 มี.ย. 57	49.300	96.400	38.000	67.800	105.500
1 ก.ค. 57	62.000	182.700	154.500	72.000	46.400
1 ส.ค. 57	156.700	479.900	230.600	199.200	180.000
1 ก.ย. 57	145.800	228.100	119.100	98.700	99.400
1 ต.ค. 57	2.200	93.300	10.700	5.000	53.400
1 พ.ย. 57	142.400	129.600	61.000	32.000	28.200
1 ธ.ค. 57	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 ม.ค. 58	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 ก.พ. 58	10.500	12.200	37.000	12.000	10.000
1 มี.ค. 58	10.300	98.800	35.500	5.000	38.600
1 เม.ย. 58	114.000	117.400	71.700	38.700	76.700
1 พ.ค. 58	0.000	59.600	21.200	0.000	0.000
1 มี.ย. 58	109.500	116.300	74.500	53.200	63.300
1 ก.ค. 58	92.600	179.700	146.900	79.900	154.100

1 ส.ค. 58	105.800	158.300	140.800	219.400	73.400
1 ก.ย. 58	80.300	175.500	198.000	194.300	124.800
1 ต.ค. 58	130.900	143.900	93.500	19.300	61.300
1 พ.ย. 58	0.000	99.400	54.900	3.000	0.000
1 ธ.ค. 58	32.000	70.300	0.000	5.700	0.000
1 ม.ค. 59	13.000	37.100	43.100	34.000	19.000
1 ก.พ. 59	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 มี.ค. 59	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 เม.ย. 59	41.000	26.900	35.300	13.000	0.000
1 พ.ค. 59	87.600	230.400	92.600	88.000	97.800
1 มิ.ย. 59	202.300	143.800	113.200	184.500	65.600
1 ก.ค. 59	100.900	182.700	213.000	148.000	71.500
1 ส.ค. 59	217.700	181.700	142.400	157.800	167.000
1 ก.ย. 59	265.800	313.100	198.000	235.300	316.300
1 ต.ค. 59	81.500	181.700	166.000	128.200	149.000
ปริมาณฝนรายเดือน (มม.)	E32A	E73	E84	หนองบัวแดง	เกษตรสมบูรณ์
1 พ.ย. 59	20.000	44.500	6.500	71.000	53.500
1 ธ.ค. 59	0.000	0.200	0.000	0.000	0.000
1 ม.ค. 60	0.000	8.500	0.000	0.000	5.000
1 ก.พ. 60	0.000	14.400	0.000	0.000	0.000
1 มี.ค. 60	27.400	67.500	97.300	28.700	88.500

ตารางผนวกจำนวนวันฝนตก

จำนวนวันฝนตก รายเดือน (วัน)	E32A	E73	E84	หนองบัวแดง	เกษตรสมบูรณ์	จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนของ พื้นที่ศึกษา(วัน)
Apr-2005	9	14	0	0	0	5
May-2005	11	15	11	0	0	7
Jun-2005	13	18	11	0	0	8
Jul-2005	16	18	13	0	0	9
Aug-2005	14	15	9	4	6	10
Sep-2005	19	20	14	11	8	14
Oct-2005	6	5	2	3	1	3
Nov-2005	6	9	4	1	1	4
Dec-2005	0	2	0	0	0	0
Jan-2006	0	0	0	0	0	0
Feb-2006	5	5	2	0	0	2
Mar-2006	8	8	5	1	1	5
Apr-2006	8	12	7	2	2	6
May-2006	13	14	14	5	6	10
Jun-2006	13	16	10	4	4	9
Jul-2006	17	22	14	7	9	14
Aug-2006	15	19	12	8	7	12
Sep-2006	15	19	16	7	10	13
Oct-2006	9	8	7	5	5	7
Nov-2006	1	3	3	0	0	1
Dec-2006	0	0	0	0	0	0
Jan-2007	0	0	0	0	0	0
Feb-2007	3	2	2	0	0	1
Mar-2007	2	4	2	1	2	2
Apr-2007	7	11	4	1	7	6
May-2007	18	21	12	7	10	14

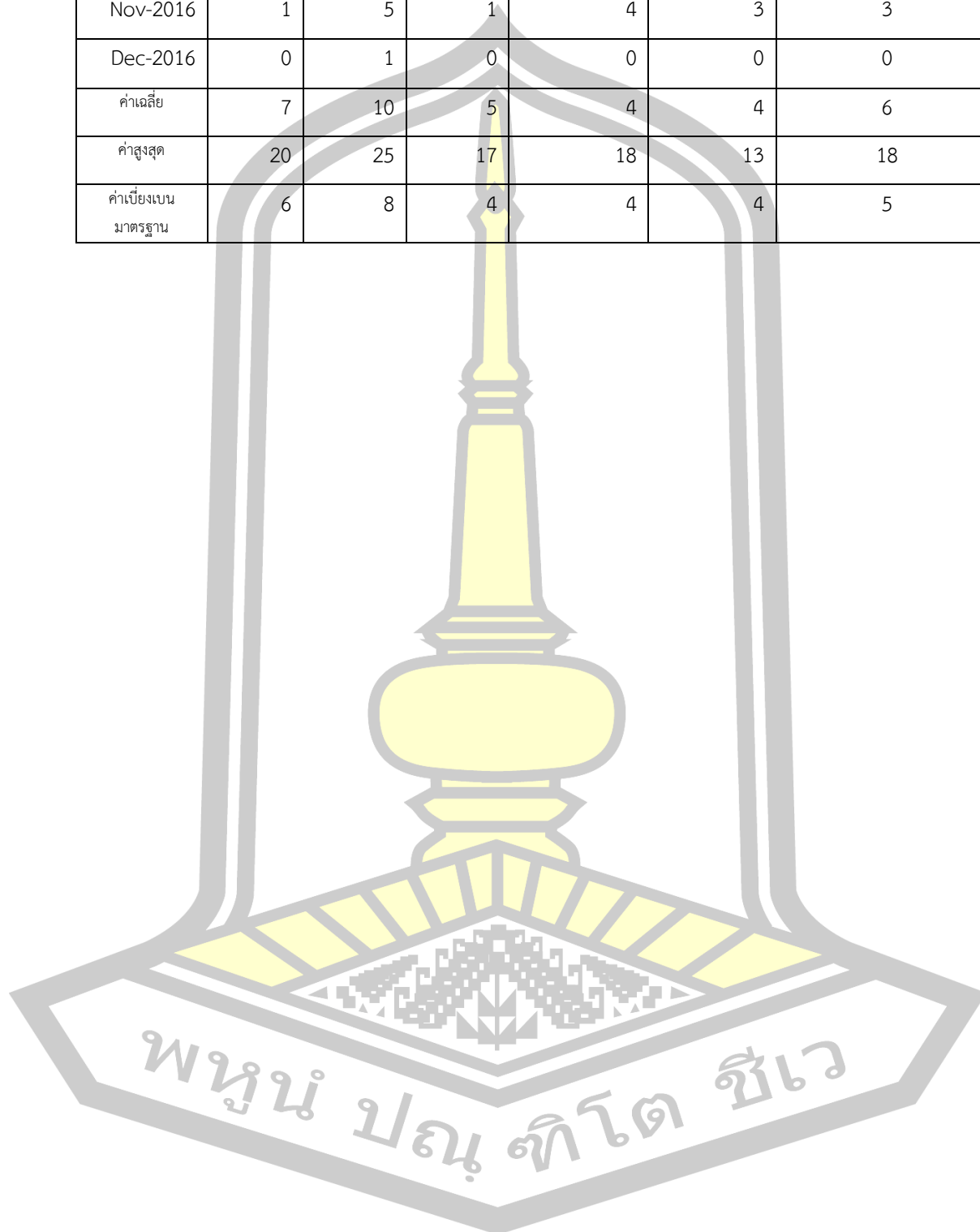
Jun-2007	11	12	8	3	3	7
Jul-2007	9	12	4	4	6	7
Aug-2007	15	17	14	14	12	14
Sep-2007	19	19	13	17	13	16
จำนวนวันฝนตก รายเดือน (วัน)	E32A	E73	E84	หนองบัวแดง	เกษตรสมบูรณ์	จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนของ พื้นที่ศึกษา(วัน)
Oct-2007	9	12	5	7	7	8
Nov-2007	0	1	0	0	1	0
Dec-2007	0	0	0	0	0	0
Jan-2008	2	2	0	0	0	1
Feb-2008	2	2	2	0	0	1
Mar-2008	3	6	2	3	1	3
Apr-2008	7	12	6	8	4	7
May-2008	11	16	10	9	7	11
Jun-2008	12	15	9	10	7	11
Jul-2008	6	17	6	2	2	7
Aug-2008	17	20	9	9	11	13
Sep-2008	17	23	12	15	13	16
Oct-2008	14	19	5	5	10	11
Nov-2008	4	4	3	3	2	3
Dec-2008	0	2	0	0	0	0
Jan-2009	0	0	0	0	0	0
Feb-2009	0	0	0	0	1	0
Mar-2009	3	12	4	5	5	6
Apr-2009	4	10	4	7	5	6
May-2009	14	15	8	8	8	11
Jun-2009	9	14	9	3	5	8
Jul-2009	5	17	1	4	6	7
Aug-2009	16	17	6	7	7	11
Sep-2009	13	20	5	9	9	11

Oct-2009	9	15	6	5	7	8
Nov-2009	0	0	0	1	0	0
Dec-2009	1	0	0	0	0	0
Jan-2010	3	5	2	1	2	3
Feb-2010	1	1	0	1	0	1
Mar-2010	1	4	0	2	0	1
Apr-2010	6	5	4	2	1	4
May-2010	6	8	3	2	1	4
จำนวนวันฝนตก รายเดือน (วัน)	E32A	E73	E84	หนองบัวแดง	เกษตรสมบูรณ์	จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนของ พื้นที่ศึกษา(วัน)
Jun-2010	9	12	5	3	4	7
Jul-2010	14	19	7	6	8	11
Aug-2010	16	25	15	9	12	15
Sep-2010	15	20	9	11	12	13
Oct-2010	12	18	8	8	10	11
Nov-2010	0	0	0	0	0	0
Dec-2010	0	2	1	1	1	1
Jan-2011	0	1	1	0	0	0
Feb-2011	2	6	1	0	1	2
Mar-2011	2	9	2	2	4	4
Apr-2011	6	10	3	5	6	6
May-2011	9	19	6	8	10	10
Jun-2011	10	18	6	7	2	9
Jul-2011	12	19	11	8	6	11
Aug-2011	12	23	11	9	9	13
Sep-2011	19	25	15	18	13	18
Oct-2011	6	10	6	6	8	7
Nov-2011	1	1	0	1	0	1
Dec-2011	0	0	0	0	0	0
Jan-2012	2	2	2	1	0	1

Feb-2012	0	0	0	0	0	0
Mar-2012	2	5	2	0	2	2
Apr-2012	4	7	4	3	0	4
May-2012	13	19	9	6	5	10
Jun-2012	6	15	5	4	2	6
Jul-2012	11	21	12	5	6	11
Aug-2012	9	19	5	10	5	10
Sep-2012	15	20	11	15	11	14
Oct-2012	4	7	2	3	3	4
Nov-2012	1	7	1	2	1	2
Dec-2012	0	2	1	0	0	1
Jan-2013	2	2	1	1	2	2
จำนวนวันฝนตก รายเดือน (วัน)	E32A	E73	E84	หนองบัวแดง	เกษตรสมบูรณ์	จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนของ พื้นที่ศึกษา(วัน)
Feb-2013	0	1	0	0	0	0
Mar-2013	0	2	1	1	1	1
Apr-2013	1	9	1	2	2	3
May-2013	9	15	5	8	4	8
Jun-2013	12	13	9	10	5	10
Jul-2013	17	20	10	10	10	13
Aug-2013	8	14	6	11	4	9
Sep-2013	20	21	17	18	12	18
Oct-2013	5	10	4	5	4	6
Nov-2013	1	2	0	0	0	1
Dec-2013	2	2	1	1	0	1
Jan-2014	0	0	0	0	0	0
Feb-2014	0	0	0	0	0	0
Mar-2014	2	3	1	1	2	2
Apr-2014	4	9	4	6	3	5
May-2014	2	13	3	6	4	6

Jun-2014	13	14	3	10	7	9
Jul-2014	11	20	5	4	3	9
Aug-2014	10	21	10	12	9	12
Sep-2014	8	17	5	9	6	9
Oct-2014	1	12	1	1	3	4
Nov-2014	3	5	4	3	2	3
Dec-2014	0	0	0	0	0	0
Jan-2015	0	0	0	0	0	0
Feb-2015	3	5	2	1	2	3
Mar-2015	1	7	2	1	4	3
Apr-2015	6	7	2	4	4	5
May-2015	0	10	1	0	0	2
Jun-2015	4	11	4	4	5	6
Jul-2015	9	18	10	7	11	11
Aug-2015	7	17	6	11	8	10
Sep-2015	7	17	11	12	9	11
จำนวนวันฝนตก รายเดือน (วัน)	E32A	E73	E84	หนองบัวแดง	เกษตรสมบูรณ์	จำนวนวันฝนตกเฉลี่ยรายเดือนของ พื้นที่ศึกษา(วัน)
Oct-2015	7	12	6	3	5	7
Nov-2015	0	6	3	1	0	2
Dec-2015	1	3	0	2	0	1
Jan-2016	3	5	2	2	2	3
Feb-2016	0	0	0	0	0	0
Mar-2016	0	0	0	0	0	0
Apr-2016	5	3	1	1	0	2
May-2016	9	16	6	11	7	10
Jun-2016	13	20	8	10	7	12
Jul-2016	8	19	9	12	6	11
Aug-2016	13	17	5	9	8	10
Sep-2016	17	22	9	12	11	14

Oct-2016	12	18	4	12	8	11
Nov-2016	1	5	1	4	3	3
Dec-2016	0	1	0	0	0	0
ค่าเฉลี่ย	7	10	5	4	4	6
ค่าสูงสุด	20	25	17	18	13	18
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	6	8	4	4	4	5



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายวิสุทธิ วัลย์เครือ
วันเกิด	9 มิถุนายน 2520
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	215 สำนักงานชลประทานที่ 6 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40000
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	215 สำนักงานชลประทานที่ 6 ส่วนบริหารจัดการน้ำและบำรุงรักษา ถนน ศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2543 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรม ทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูน ปณ ทิโต ชีเว