

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบประสิทธิผลของแบบจำลอง FLEXL KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII
เพื่อการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำชี

Comparison the Effectiveness of FLEXL KU-FLEX-SD and KU-FLEX-SD-NDII Models
for Runoff Estimation in Chi River Basin

โดย

นางสาวสุนันท์ พุกเที่ยง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2563

สุวพันธ์ พุกเทียะ 2563: การเปรียบเทียบประสิทธิผลของแบบจำลอง FLEXL KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เพื่อการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำชี ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D. 123 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลการประเมินน้ำท่าของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII โดย FLEXL เป็นแบบจำลองประเภทลัมพ์ที่ให้ผลการประเมินน้ำท่าเฉพาะตำแหน่งที่สถานีวัดน้ำท่าที่สอบเทียบแบบจำลอง ในขณะที่ KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เป็นแบบจำลองประเภทกระจายตัวที่ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่จุดท้ายน้ำในทุกลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าที่ทำการสอบเทียบแบบจำลอง ในการศึกษาได้สอบเทียบทั้ง 3 แบบจำลอง ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำท่าท้ายน้ำสุดของลุ่มน้ำชีและมีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเท่ากับ 47,800 ตารางกิโลเมตร ผลการสอบเทียบแบบจำลองพบว่าแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง สามารถประเมินน้ำท่าและกราฟน้ำท่าสะสมได้ถูกต้องใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นแล้ว แบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ยังให้ผลพลอยได้ของการประเมินน้ำท่าในทุกลุ่มน้ำย่อยรวมทั้งที่สถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือน้ำของสถานีวัดน้ำท่า E.20A จำนวน 13 สถานี ในขณะที่แบบจำลอง FLEXL ต้องทำการสอบเทียบในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าดังกล่าว ผลการศึกษาในกรณีที่แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำของ E.20A ออกเป็น 49 ลุ่มน้ำย่อย พบว่า แบบจำลอง FLEXL ให้ค่า NSE เฉลี่ยของทั้ง 13 สถานี มากกว่าแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เท่ากับ 16% และ 21% ตามลำดับ แต่เมื่อแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็น 98 ลุ่มน้ำย่อย เป็นผลให้แบบจำลอง FLEXL ให้ค่า NSE เฉลี่ยดังกล่าวลดลงเหลือเพียง 3% และ 9% ตามลำดับ ในขณะที่ผลการประเมินกราฟน้ำท่าสะสมโดยแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII มีความถูกต้องเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้นแล้ว ในการศึกษาได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี NDII ที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถนำมาใช้เพื่อการติดตามสถานการณ์ภัยแล้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ กับผลการประเมินความชื้นในดิน (Su) ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ผลการศึกษาพบว่า Su ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL มีความเข้ากันได้กับดัชนี NDII ได้มากกว่าแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในกรณีการใช้ 49 ลุ่มน้ำย่อย แต่เมื่อเพิ่มเป็น 98 ลุ่มน้ำย่อย พบว่าให้ผลในทางตรงกันข้าม ทั้งนี้ ดัชนี NDII มีความเข้ากันได้กับ Su ที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง ในช่วงฤดูแล้งได้ดีกว่าในช่วงฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าจำนวนลุ่มน้ำย่อยที่มากขึ้นมีผลในการเพิ่มความถูกต้องของการประเมินน้ำท่าและปริมาณความชื้นในดินของแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII

Suwanan Puktiang 2020: Comparison the Effectiveness of FLEXL KU-FLEX-SD and KU-FLEX-SD-NDII Models for Runoff Estimation in Chi River Basin. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Professor Nuchanart Sriwongsitanon, Ph.D. 123 pages.

The objective of this study is to compare the efficiency of runoff estimation simulated by FLEXL, KU-FLEX-SD and KU-FLEX-SD-NDII models. FLEXL is a lumped model which provides runoff estimates only at a calibrated gauging station. KU-FLEX-SD and KU-FLEX-SD-NDII models are semi-distributed models which can provide runoff estimates at the outlet of any sub-catchments within a calibrated station. In this study, model calibrations were undertaken at E.20A which is the most downstream station of the Chi River Basin and has a catchment area of 47,800 km². These models show similar good performance in runoff estimates and their mass curves. Moreover, KU-FLEX-SD and KU-FLEX-SD-NDII can provide by-products of runoff estimates at all sub-catchments including other 13 gauging stations upstream of E.20A, while FLEXL has to be calibrated at each station individually. Results of dividing the catchment of E.20A into 49 sub-catchments show that FLEXL provides average NSE values for 13 gauging stations more than those provided by KU-FLEX-SD and KU-FLEX-SD-NDII of around 16% and 21%, respectively. Once 98 sub-catchments were used in model calibrations, those values reduce to 3% and 9%, respectively, and mass curves of runoff estimates simulated by KU-FLEX-SD and KU-FLEX-SD-NDII for all 13 stations are also significantly closer to the observed data. Additionally, this study also investigates the correlation between NDII, which is accepted index to be effectively used for drought monitoring, and soil moisture (Su) estimated by FLEXL, KU-FLEX-SD and KU-FLEX-SD-NDII. The results show that the values of Su estimated by FLEXL well correlates with NDII more than those provided by KU-FLEX-SD and KU-FLEX-SD-NDII for the case of using 49 sub-catchments but the results are opposite for the case of using 98 sub-catchments. NDII values significantly well correlate with Su simulated by these 3 models in the dry season than those in the wet season. The results from this study indicate that an increment number of sub-catchments can increase the accuracy of runoff and soil moisture estimations provided by KU-FLEX-SD and KU-FLEX-SD-NDII.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และสนับสนุนในการวางแผนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ลุล่วงไปได้ด้วยดี
และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณพิมพ์ พุทธิรักษา มะเปี่ยม อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะตลอดการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ และคณาจารย์ทุก ๆ ท่าน ทั้งภายใน
นอกและภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์
อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบพระคุณกรมชลประทาน ที่ให้การอนุเคราะห์
ข้อมูลน้ำท่ารายวัน และขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยการรับรู้จากระยะไกลเพื่อการบริหารจัดการ
ทรัพยากรน้ำ (SENSWAT) ที่ได้สนับสนุนข้อมูลฝนรายวันแบบกริด SENSWAT-GGR และข้อมูล
ปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิงรายวันแบบกริด เพื่อใช้ประกอบวิทยานิพนธ์นี้

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่บิดา มารดา และ
ครอบครัว ที่ได้อบรมสั่งสอน เป็นกำลังใจ รวมทั้งได้สนับสนุนด้านการศึกษากับผู้วิจัยตลอดมา

สุวพันธ์ พุกเทียง
กรกฎาคม 2563

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	53
สรุปและข้อเสนอแนะ	99
สรุป	99
ข้อเสนอแนะ	101
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	102
ภาคผนวก	104
ภาคผนวก ก ผลการประเมินความชื้น (Su) ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII	105
ภาคผนวก ข ผลของค่า KGE ของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII	119
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	123

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำชี	6
2	สัดส่วนการใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำชีในปี พ.ศ. 2553-2556	10
3	รายละเอียดข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำชีจากเริ่มตรวจวัดจนถึงปี พ.ศ. 2562	30
4	ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย รายปีเฉลี่ย และปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558	36
5	ข้อมูลความลึกฝนรายเดือนเฉลี่ยและรายปีเฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558 ที่ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา	38
6	ข้อมูลปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิงรายเดือนเฉลี่ยและรายปีเฉลี่ยในระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558 ที่ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา	40
7	ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความยาวลำน้ำสายหลักของ 49 ลุ่มน้ำย่อย	43
8	ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความยาวลำน้ำสายหลักของ 98 ลุ่มน้ำย่อย	46
9	เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่ทำการสอบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A	57
10	ค่าของชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่ได้จากการสอบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่า E.20	57
11	เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า 13 สถานี	75
12	ค่าของชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่าที่เหลือทั้ง 13 สถานี	76
13	ค่าทางสถิติที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII	85
14	ค่าของชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5	86
15	ค่าทางสถิติที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่าทั้ง 3 สถานี	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	ค่าของชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง KU-FLEL-SD และ KU-FLEL-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่าทั้ง 3 สถานี	93
17	ค่าทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII กับความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา	98
ตารางผนวกที่		
ข1	ผลของค่า KGE ที่เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ของทั้ง 14 สถานีวัดน้ำท่า	120

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สภาพภูมิประเทศของกลุ่มน้ำชี	6
2	ร่องความกดอากาศต่ำ ทิศทางลมมรสุม และทางเดินพายุหมุนเขตร้อน ที่พัดผ่านประเทศไทย	9
3	การใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553-2556 ของกลุ่มน้ำชี	11
4	วัฏจักรทางอุทกวิทยา	13
5	ลุ่มน้ำย่อยที่ถูกแบ่งโดยเครื่องมือ Watershed ในโปรแกรม ArcGIS 10	14
6	โครงสร้างของแบบจำลอง FLEXL	17
7	ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำชี	29
8	ความลึกฝนกริตรายปีเฉลี่ยและตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝน จำนวน 161 สถานีในกลุ่มน้ำชี	37
9	ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจอากาศจำนวน 8 สถานี ในกลุ่มน้ำชี	39
10	ระดับความสูงของแต่ละลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำชี	41
11	การแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยออกเป็น 49 ลุ่มน้ำย่อย	43
12	การแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยออกเป็น 98 ลุ่มน้ำย่อย	46
13	การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัด น้ำท่า E.20A	55
14	การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าสะสมที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับกราฟน้ำท่าสะสมที่ได้ จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A	56
15	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU- FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการ ตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.22B	62
16	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการ ตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.73	63

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.72	64
18	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.32A	65
19	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.5	66
20	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.6C	67
21	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.23	68
22	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.21	69
23	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.9	70
24	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.66A	71
25	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.18	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.54	73
27	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.70	74
28	ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า 14 สถานี	
29	ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า 5 สถานี	81
30	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 และที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A	82
31	การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่สะสมที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 และที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A	84
32	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า E.73 ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 และที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A	84
33	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า E.72 ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 และที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A	89
34	การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า E.32A ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 และที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A	90
35	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.20A	91
		97

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก1	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.22B	106
ก2	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.73	107
ก3	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.72	108
ก4	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.32A	109
ก5	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.5	110
ก6	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.6C	111
ก7	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.23	112
ก8	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.21	113
ก9	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.9	114
ก10	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.66A	115
ก11	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.18	116
ก12	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.54	117
ก13	การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.70	118

การเปรียบเทียบประสิทธิผลของแบบจำลอง FLEXL KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เพื่อการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำชี

Comparison the Effectiveness of FLEXL KU-FLEX-SD and KU-FLEX-SD-NDII Models for Runoff Estimation in Chi River Basin

คำนำ

ปริมาณน้ำท่าเป็นองค์ประกอบด้านอุทกวิทยาที่มีความสำคัญมากในการวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำไม่ว่าจะเป็นการจัดอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนการวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำ ทั้งนี้ การประเมินปริมาณน้ำท่ามีความซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงไปตามการใช้ที่ดิน (Land use) และประเภทของดิน (Soil type) เป็นสำคัญ รวมทั้งลักษณะทางอุทกนิยมนิยามวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ ปริมาณน้ำท่าสามารถประเมินได้โดยการติดตั้งสถานีวัดน้ำท่า อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดข้อมูลน้ำท่าไม่สามารถดำเนินการได้อย่างทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ เนื่องจากต้องใช้งบประมาณและทรัพยากรบุคคลจำนวนมาก ดังนั้น จึงได้มีการสร้างแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ขึ้นมาอย่างมากมาย อาทิเช่น แบบจำลอง SCS (Sharma and Surendra, 1992), TANK (Sugawara, 1974), NAM (Gan *et al.*, 1997) และ FLEXL (Fenicia *et al.*, 2008) เป็นต้น เพื่อนำมาใช้ประเมินน้ำท่าในสภาพอนาคตเพื่อประกอบการวางแผนพัฒนาทรัพยากรน้ำ หรือในสภาพปัจจุบันที่พื้นที่ลุ่มน้ำกำลังได้รับผลกระทบจากปัญหาอุทกภัยหรือภัยแล้ง รวมทั้งการนำผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีตรวจวัด (Gauged catchment) มาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินน้ำท่า ณ ตำแหน่งที่ไม่มีสถานีตรวจวัด (Ungauged catchment) โดยการสร้างความสัมพันธ์ต่าง ๆ อาทิเช่น ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน ซึ่งดำเนินการศึกษาโดย สุพรรณยา และ นุชนารถ (2550) ทั้งนี้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ส่วนใหญ่เป็นแบบจำลองประเภทลัมพ์ (Lumped model) ที่ให้ผลการประเมินเฉพาะจุดที่มีการตรวจวัดน้ำท่าเท่านั้น ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองประเภทกึ่งกระจายตัว (Semi-distributed model) ขึ้นมาเพื่อให้สามารถประเมินน้ำท่าได้ ณ ตำแหน่งใด ๆ ที่ต้องการในพื้นที่ลุ่มน้ำที่พิจารณา ทั้งนี้ แบบจำลอง URBS ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Queensland Department of Natural Resources and Mines เป็นหนึ่งในแบบจำลองประเภทกึ่งกระจายตัว ที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายและถูกนำมาใช้เป็นแบบจำลองหลักเพื่อการจำลองสถานะน้ำท่วมแบบตามเวลาจริง (Real time flood modelling) ในประเทศออสเตรเลีย (Malone, 1999) ต่อมา Sriwongsitanon *et al.* (2020) ได้พัฒนาแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ซึ่งเป็น

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าประเภทกิ่งกระจายตัวขึ้นมาจากพื้นฐานของแบบจำลอง FLEXL และแนวทางเคลื่อนที่ของน้ำท่าในระหว่างกลุ่มน้ำย่อยของแบบจำลอง URBS โดยแต่ละกลุ่มน้ำย่อยจะใช้แบบจำลอง FLEXL ในการประเมินปริมาณน้ำท่าที่จุดออกของแต่ละกลุ่มน้ำย่อย จากนั้นจะทำการเคลื่อนตัวน้ำท่าจากท้ายน้ำของกลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือน้ำมายังท้ายน้ำของกลุ่มน้ำย่อยด้านท้ายน้ำที่อยู่ถัดไปเพื่อนำมารวมกับน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากกลุ่มน้ำย่อยด้านท้ายน้ำที่กำลังพิจารณา โดยจะดำเนินต่อเนื่องกันไปจนถึงจุดสุดท้ายที่สถานีวัดน้ำท่าด้านท้ายน้ำ

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII มาประยุกต์ใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการประเมินน้ำท่าสำหรับสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณาในกลุ่มน้ำชี นอกจากนั้นแล้วแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII สามารถให้ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าทุกตำแหน่งที่ต้องการในพื้นที่กลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณาดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณามาเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่า อย่างไรก็ตาม เพื่อแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของผลการประเมินน้ำท่าของแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ให้ชัดเจนมากขึ้น จึงได้นำแบบจำลอง FLEXL ซึ่งเป็นแบบจำลองประเภทลัมพ์ที่สามารถประเมินพารามิเตอร์ของแบบจำลองได้โดยอัตโนมัติที่ดำเนินการโดยโปรแกรม MOSCEM เช่นกัน มาใช้เพื่อการประเมินน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณาในกลุ่มน้ำชี เพื่อนำผลของความถูกต้องในการประเมินน้ำท่าของสถานีเหล่านี้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เพื่อแสดงให้เห็นประสิทธิภาพของแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ได้อย่างชัดเจนมากขึ้น เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ประกอบการพัฒนาแบบจำลองเหล่านี้ ก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการประเมินน้ำท่าในกลุ่มน้ำอื่น ๆ ของประเทศต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในการประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำชี
2. เพื่อเปรียบเทียบผลของจำนวนลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำชีที่มีต่อความถูกต้องของการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII
3. เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดิน (S_u) ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับดัชนี NDII (Normalized Different Infrared Index)

ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่ลุ่มน้ำชีซึ่งมีขนาดเท่ากับ 49,131 ตารางกิโลเมตร
2. การประเมินกราฟน้ำท่าสำหรับสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำชีดำเนินการ โดยแบบจำลอง FLEXL KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่ทำการสอบเทียบแบบจำลองแบบอัตโนมัติโดยโปรแกรม MOSCEM ซึ่งเป็นกระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective function) โดยทำการสอบเทียบในช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2544 จนถึงปี พ.ศ. 2558 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มิข้อมูลความลึกฝน ข้อมูลน้ำท่า ข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิง และข้อมูลดัชนี NDII ครบถ้วนสมบูรณ์
3. ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง FLEXL และแบบจำลอง KU-FLEX-SD เพื่อการประเมินน้ำท่าได้พิจารณาใช้ข้อมูลความลึกฝน และข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิงรายวันแบบกริดที่ได้จากผลงานวิจัยของศูนย์วิจัยการรับรู้ระยะไกลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ (Remote Sensing Research Centre for Water Resources Management, SENSWAT) ซึ่งข้อมูลความลึกฝนผ่านการตรวจสอบความถูกต้องแบบรายเดือนด้วยวิธี Double Mass Curve และการคายระเหยของพืชอ้างอิงนั้นคำนวณด้วยวิธี Penman Monteith ที่ใช้ข้อมูลอุณหภูมิตามแบบรายวันเป็นข้อมูลด้านเข้า

4. ข้อมูลน้ำท่ารายวันจะใช้ข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดของกรมชลประทาน
5. การแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณาแบ่งตามขอบเขตลุ่มน้ำสาขาที่ทำการจัดแบ่งโดยคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ
6. นอกจากการใช้แบบจำลอง KU-FLEX-SD แล้ว ได้มีการนำแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII ที่มีการพัฒนาเพิ่มเติมโดย Sriwongsitanon *et al.* (2020) เพื่อการประเมินความจุเก็บกักสูงสุดของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Su_{max}) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในระดับลุ่มน้ำย่อย เพื่อเพิ่มความถูกต้องให้กับผลการประเมินน้ำท่า
7. ดัชนี NDII ถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Su) ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII

การตรวจเอกสาร

1. พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ใช้พื้นที่ลุ่มน้ำชีเป็นพื้นที่ศึกษา โดยได้แสดงลักษณะทั่วไป สภาพภูมิอากาศ และ การใช้ที่ดินของลุ่มน้ำชี ดังต่อไปนี้

1.1 ลักษณะทั่วไปของลุ่มน้ำชี

ลุ่มน้ำชีตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยมีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเท่ากับ 49,131.92 ตารางกิโลเมตร ลุ่มน้ำชีตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ $15^{\circ} 30'$ เหนือถึงเส้นรุ้งที่ $17^{\circ} 30'$ เหนือ และเส้นแวงที่ $101^{\circ} 30'$ ตะวันออก ถึงเส้นแวงที่ $104^{\circ} 30'$ ตะวันออก โดยสภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำชีประกอบไปด้วยเทือกเขาสูง ทิศเหนือติดกับลุ่มน้ำโขงทิศใต้ติดกับลุ่มน้ำมูล ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำโขงและลุ่มน้ำมูล และทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำป่าสัก พื้นที่ส่วนใหญ่ของลุ่มน้ำชีอยู่ในเขต 14 จังหวัด ซึ่งประกอบด้วย จังหวัดชัยภูมิ ขอนแก่น หนองบัวลำภู อุดรธานี มหาสารคาม นครราชสีมา เลย เพชรบูรณ์ กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี ศรีสะเกษ และ มุกดาหารดังแสดงในภาพที่ 1

แม่น้ำชีเป็นลำน้ำสายหลักในลุ่มน้ำชี โดยมีต้นกำเนิดมาจากยอดเขาในแนวเทือกเขาเพชรบูรณ์ ในเขตอำเภอเกษตรสมบูรณ์ จังหวัดชัยภูมิ ผ่านจังหวัดขอนแก่น มหาสารคาม กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด ยโสธร แล้วไหลไปบรรจบกับแม่น้ำมูลที่จังหวัดอุบลราชธานี มีความยาวประมาณ 830 กิโลเมตร แม่น้ำชีมีลำน้ำสาขาอยู่หลายสาขา ประกอบด้วย ลำน้ำพรม ลำน้ำพอง ลำปาว และลำน้ำยัง

ลุ่มน้ำชีประกอบด้วยลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด 20 ลุ่มน้ำย่อย ทั้งนี้ชื่อลุ่มน้ำย่อย รหัสของลุ่มน้ำย่อย และขนาดพื้นที่ของลุ่มน้ำย่อย แสดงดังในตารางที่ 1 จากตารางจะเห็นว่าลุ่มน้ำย่อยลำน้ำชีส่วนที่ 4 มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำที่ใหญ่ที่สุด โดยมีขนาดพื้นที่เท่ากับ 5,092.51 ตารางกิโลเมตร และลุ่มน้ำย่อยห้วยสายบาตรมีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเล็กที่สุด โดยมีขนาดเท่ากับ 677.63 ตารางกิโลเมตร

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำ	ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)
0411	ลำพะเนียง	1,890.42
0412	น้ำพรหม	2,211.46
0413	ลำน้ำเชิญ	2,903.55
0414	ลำน้ำพองตอนล่าง	2,316.23
0415	ห้วยสายบาตร	677.63
0416	ลำน้ำชีส่วนที่ 4	5,092.51
0417	ลำปาวตอนบน	3,265.25
0418	ลำพันชาด	697.53
0419	ลำปาวตอนล่าง	4,344.85
0420	ลำน้ำยัง	4,204.3
0421	ลำน้ำชีตอนล่าง	2,718.1
	ลุ่มน้ำชี	49,131.92

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2562)

1.2 สภาพภูมิอากาศ

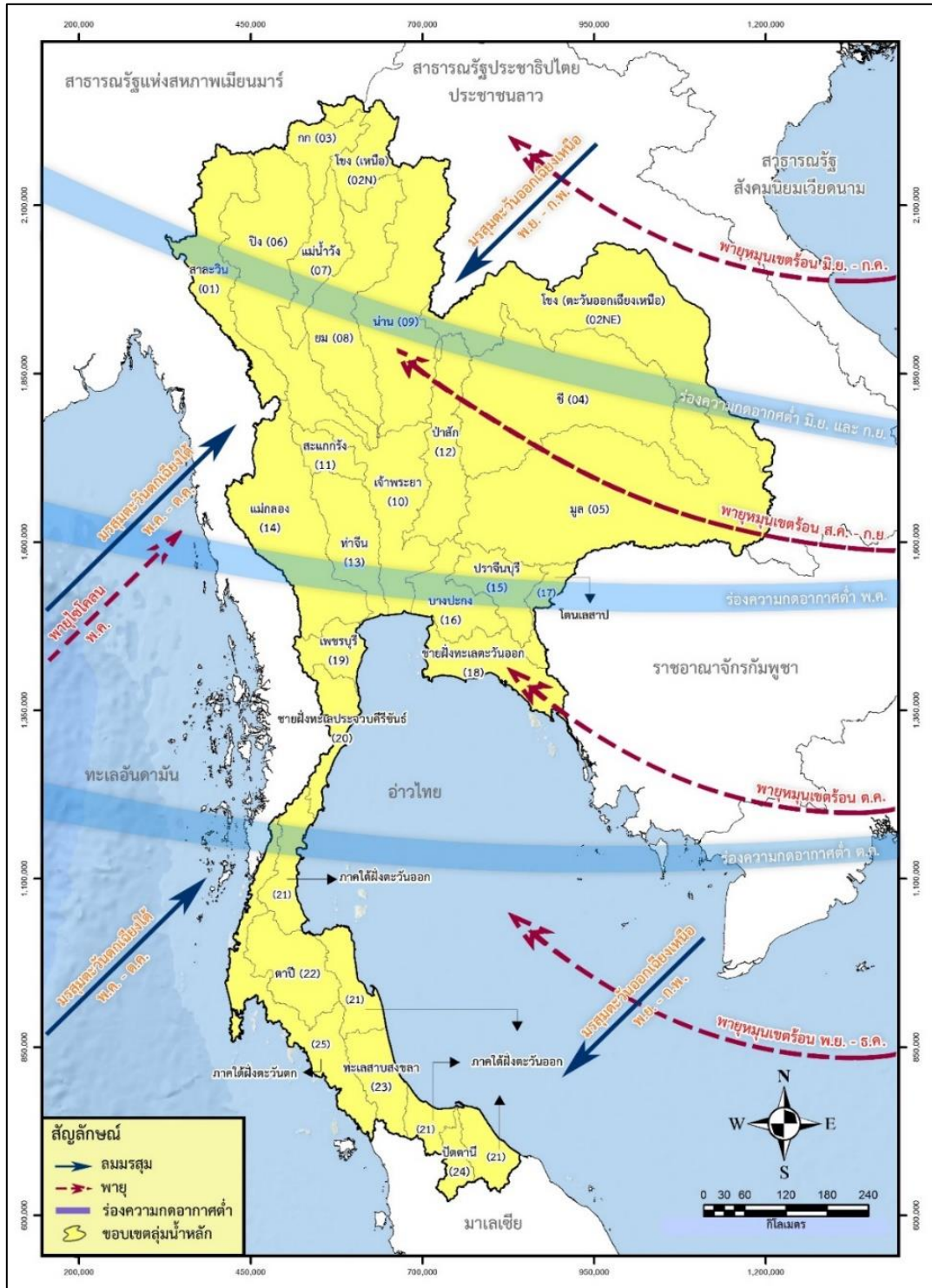
สภาพอากาศโดยทั่วไปของลุ่มน้ำชี จะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นแล้วในแต่ละปีจะได้รับอิทธิพลจากลมดีเปรสชันซึ่งพัดมาจากทะเลจีนใต้ ทำให้มีฝนตกหนักในฤดูฝน อิทธิพลของลมมรสุมดังกล่าวทำให้เกิดฤดูกาล 3 ฤดู โดยทิศทางของลมมรสุมที่พัดผ่านดังแสดงในภาพที่ 2 สำหรับสภาพภูมิอากาศแต่ละฤดูกาลสรุปได้ดังนี้

1.2.1 ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม มีระยะเวลาประมาณ 6 เดือน การกระจายของฝนในลุ่มน้ำชีจะมีลักษณะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน เป็นฝนที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และในช่วงสองระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม เป็นฝนที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

รวมกับฝนที่เกิดจากพายุหมุน (พายุดีเปรสชัน หรือพายุโซนร้อนหรือพายุไต้ฝุ่น) ที่เกิดจากทะเลจีนใต้แล้วพัดมาทางตะวันตกนำฝนเข้าสู่ประเทศไทย

1.2.2 ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านภาคพื้นทวีปเอเชียตอนบนซึ่งมีลักษณะอากาศที่แห้งและหนาวเย็น ในช่วงเริ่มต้นฤดูหนาวเมื่อลมมรสุมนี้เริ่มพัดเข้ามาสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในขณะที่อากาศยังคงมีความชื้นสูงอยู่ ลมมรสุมนี้อาจก่อให้เกิดฝนตกได้บ้างเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเกิดแนวปะทะอากาศหนาวหรือเกิดแนวปะทะอากาศอุ่น

1.2.3 ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงกลางเดือนพฤษภาคม เนื่องจากเป็นฤดูที่ต่อจากฤดูหนาว ดังนั้นอากาศจึงเริ่มอุ่นมากขึ้นเมื่อเริ่มฤดูและอุณหภูมิอากาศจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงร้อนที่สุดประมาณสัปดาห์สุดท้ายของเดือนเมษายน ในช่วงหลังของฤดูร้อนจะได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีอากาศร้อนและชื้นจึงทำให้เกิดฝนตกเนื่องจากการพาความร้อนของอากาศมีมากและหนาแน่นขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อฝนตกมากขึ้น จึงมีผลทำให้อากาศในช่วงหลังของฤดูร้อนไม่ร้อนเพิ่มขึ้นหลังผ่านช่วงเดือนเมษายน



ภาพที่ 2 ร่องความกดอากาศต่ำ ทิศทางลมมรสุม และทางเดินพายุหมุนเขตร้อนที่พัดผ่านประเทศไทย

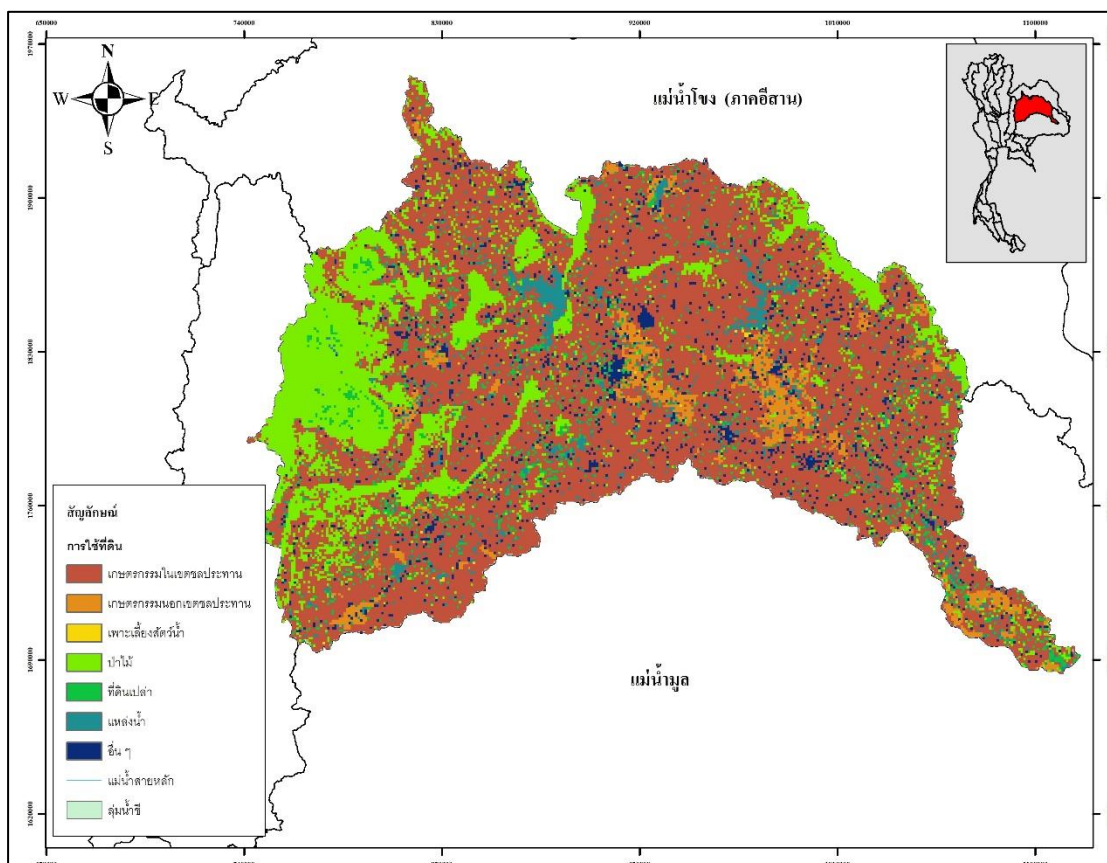
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ (2559)

1.3 การใช้ที่ดิน

กรมพัฒนาที่ดินได้สรุปการใช้ที่ดินประเภทต่าง ๆ จากข้อมูลที่ใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553–2556 ของลุ่มน้ำชีดังแสดงในตารางที่ 2 โดยลุ่มน้ำชีซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมด 49,131.92 ตารางกิโลเมตร โดยมีสภาพการใช้ที่ดินที่สำคัญแบ่งออกเป็น 7 ประเภทหลัก คือ (1) พื้นที่เกษตรกรรมในเขตชลประทาน 30,528.73 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็น 62.14% ของพื้นที่ลุ่มน้ำชี (2) พื้นที่เกษตรกรรมนอกเขตชลประทาน 2,066.89 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็น 4.21% ของพื้นที่ลุ่มน้ำชี (3) พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 51.02 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็น 0.10% ของพื้นที่ลุ่มน้ำชี (4) พื้นที่ป่า 9,792.21 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็น 19.93% ของพื้นที่ลุ่มน้ำชี และ (5) ที่ดินเปล่า 2,407.46 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็น 4.90% ของพื้นที่ลุ่มน้ำชี (6) พื้นที่แหล่งน้ำ 1,837.85 ซึ่งคิดเป็น 3.74% ของพื้นที่ลุ่มน้ำชี และ (7) พื้นที่ใช้ประโยชน์อื่น ๆ 2,447.76 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็น 4.98% ของพื้นที่ลุ่มน้ำชี โดยการใช้ที่ดินข้างต้นแสดงดังในภาพที่ 3

ตารางที่ 2 สัดส่วนการใช้ที่ดินของลุ่มน้ำชีในปี พ.ศ. 2553–2556

การใช้ที่ดิน	สัดส่วนการใช้ที่ดิน	
	พื้นที่ (ตร.กม.)	%
เกษตรกรรมในเขตชลประทาน	30,528.73	62.14
เกษตรกรรมนอกเขตชลประทาน	2,066.89	4.21
เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	51.02	0.10
ป่าไม้	9,792.21	19.93
ที่ดินเปล่า	2,407.46	4.90
แหล่งน้ำ	1,837.85	3.74
อื่น ๆ	2,447.76	4.98
รวม	49,131.92	100.00



ภาพที่ 3 การใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2553–2556 ของลุ่มน้ำชี

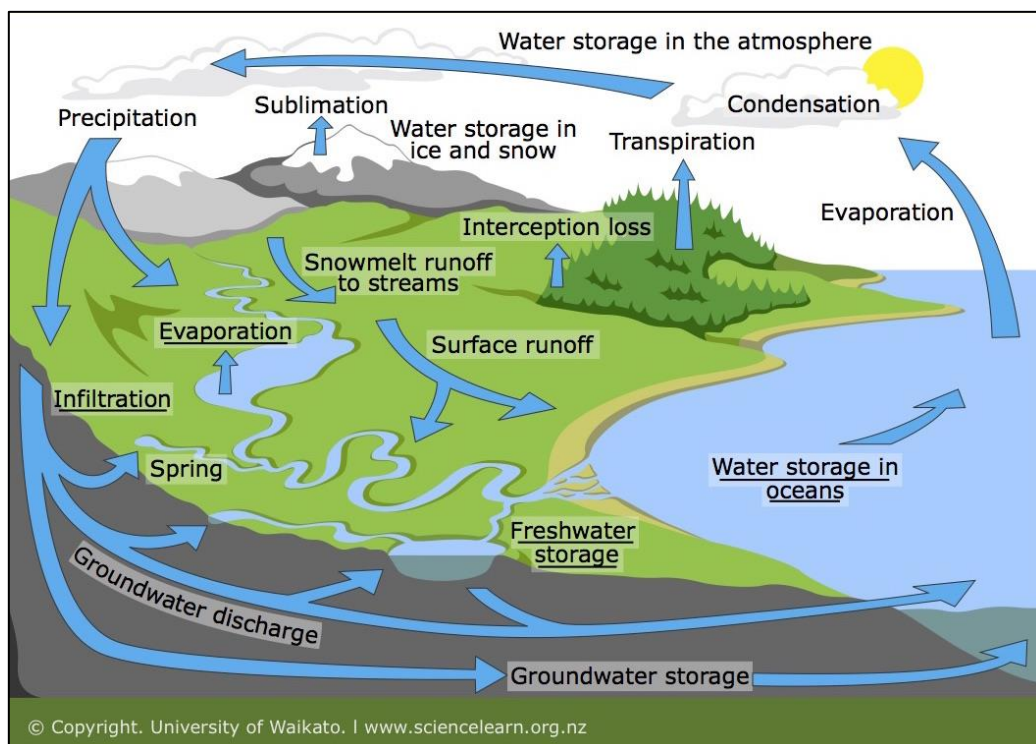
2. แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff model) คือแบบจำลองที่เปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า โดยมีแนวความคิดมาจากวัฏจักรทางอุทกวิทยา (Hydrologic cycle) ซึ่งเริ่มต้นมาจากการที่ไอน้ำในชั้นบรรยากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ เป็นน้ำจากฟ้า (Precipitation) หรือน้ำฝนที่ตกลงมาโดยน้ำฝนส่วนหนึ่งจะสูญหายไปกับการระเหย (Evaporation) ในอากาศ และถูกเก็บกักตามใบไม้หรือลำต้นของพืช (Interception) โดยพืชจะมีกระบวนการคายน้ำ (Transpiration) ออกทางปากใบ จากนั้นน้ำฝนที่เหลือจะตกลงสู่พื้นดินแล้วซึมลงดิน (Infiltration) ในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำไปเป็นน้ำใต้ผิวดิน (Interflow) และซึมผ่านดิน (Percolation) ลงสู่ชั้นใต้ดินเป็นน้ำใต้ดิน (Groundwater) ทั้งนี้ น้ำที่เหลือจากการซึมลงดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะเกิดเป็นน้ำท่าผิวดิน (Overland flow) และไหลไปตามแรงโน้มถ่วงของโลกคือไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ และถูกเก็บกักตามแอ่งน้ำ หรือบ่อน้ำ (Depression storage) และไหลลงสู่แม่น้ำลำธารคือ น้ำท่า (Surface runoff) โดยน้ำท่าจะไหลลงสู่ทะเลหรือมหาสมุทร ทั้งนี้ น้ำจากกระบวนการดังกล่าวจะเกิดการระเหยกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศเป็นไอน้ำ เมื่ออุณหภูมิเย็น

ลงจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำหรือน้ำฝนตกลงสู่พื้นดินอีกเป็นวัฏจักร ทั้งนี้วัฏจักรทางอุทกวิทยาแสดงดังในภาพที่ 4

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ขึ้นมาอย่างมากมาย อาทิเช่น แบบจำลอง NAM (Gan et al., 1997) โดยโครงสร้างของแบบจำลองแบ่งออกเป็น 4 ชั้นเก็บกัก ประกอบด้วย (1) การเก็บกักในชั้นหิมะ (snow storage) (2) การเก็บกักในชั้นดินส่วนบน (upper zone storage) (3) การเก็บกักในชั้นดินส่วนล่าง (lower zone storage) และ (4) การเก็บกักในชั้นใต้ดิน (groundwater storage)

แบบจำลอง SCS (Sharma and Surendra, 1992) มีกระบวนการคำนวณน้ำท่าโดยเริ่มจาก (1) การสูญเสียเริ่มต้น (Initial abstraction) คือ ปริมาณฝนส่วนที่สูญเสียไปทั้งหมดก่อนเริ่มมีการไหลโดยตรงซึ่งปริมาณฝนที่สูญเสียเริ่มต้นนี้จะประกอบไปด้วยการดัก การซึม การเก็บสะสมตามผิวดิน (Surface Storage) และการระเหย (2) การสูญเสียต่อเนื่อง (Continuing abstraction) คือ ปริมาณฝนที่ซึมลงดิน ส่วนที่เหลือจะเกิดเป็นปริมาณฝนส่วนเกิน (Rainfall excess) หรือน้ำท่าโดยตรง (Direct runoff) โดยจะขึ้นกับค่า CN (Curve number) ซึ่งค่า CN จะมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของดิน (Soil type) และ การใช้ที่ดิน (Land use)



ภาพที่ 4 วัฏจักรทางอุทกวิทยา

ที่มา: Science Learning Hub (2558)

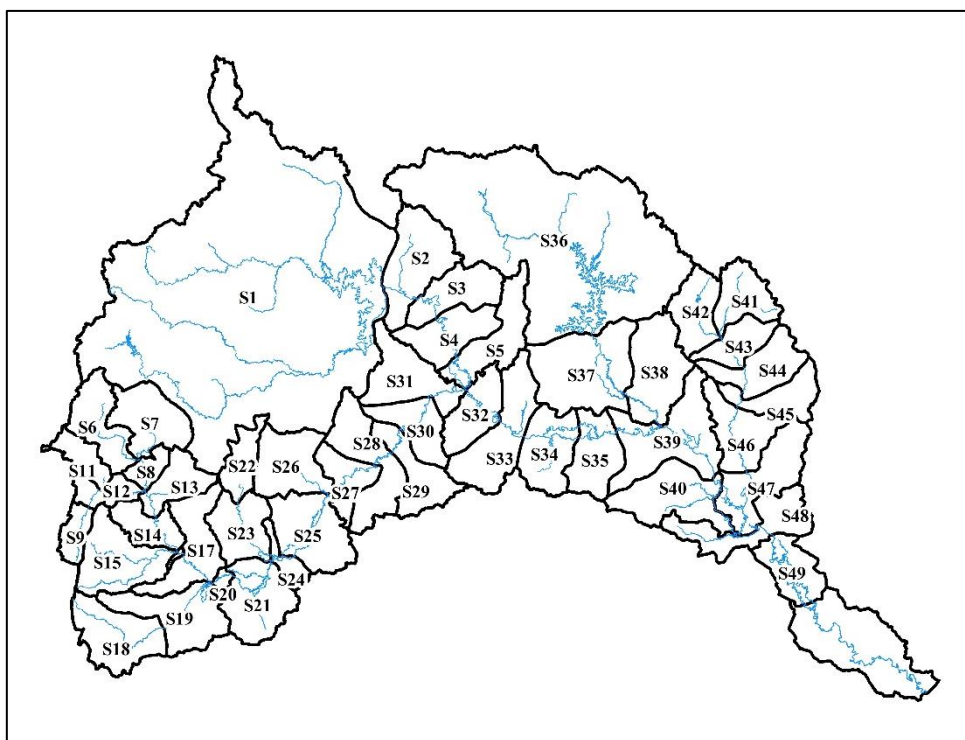
3. แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM)

แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข เป็นข้อมูลที่แสดงถึงลักษณะภูมิประเทศของโลก หรือพื้นผิวอื่น ๆ ในรูปแบบดิจิทัล โดยมีค่าพิกัดและการแสดงค่าความสูง โดยส่วนมากจะถูกใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ DEM อาจสามารถใช้งานร่วมกับภาพแสดงพื้นผิวได้ ซึ่ง DEM มักถูกจัดเก็บในลักษณะของ Raster หรือจุดภาพที่เป็นสี่เหลี่ยม โดยแต่ละช่องจะจัดเก็บค่าความสูงเอาไว้ ประโยชน์ของ DEM ใช้ในงานจำลองสภาพภูมิประเทศ การจำลองการบิน หรือการจำลองการไหลของน้ำ เป็นต้น

การสร้าง DEM ทำได้หลายวิธี แต่ส่วนใหญ่่มักใช้เทคนิคการรับรู้จากระยะไกล หรือวิธีการโฟโตแกรมเมตรีมากกว่าการสำรวจจากภาคสนามโดยตรง แต่ในปัจจุบันมีวิธีการที่ทันสมัยยิ่งขึ้นอีก เช่น การใช้เทคนิคการสำรวจด้วย Interferometric Synthetic Aperture Radar (IFSAR) การสำรวจด้วยภาพคู่ซ้อนจากภาพถ่ายดาวเทียม ส่วนวิธีการดั้งเดิม คือ การสร้างจากเส้นชั้นความสูง

4. การแบ่งลุ่มน้ำย่อย

ในการศึกษานี้ได้ทำการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเพื่อประกอบการประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEXL-SD และ KU-FLEXL-SD-NDII โดยการแบ่งลุ่มน้ำย่อยจะใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) เป็นตัวแบ่งขอบเขตของลุ่มน้ำย่อย ซึ่งการแบ่งลุ่มน้ำย่อยจะเริ่มต้นจากการกำหนดจุดออก (Outlet) ของลุ่มน้ำซึ่งเป็นจุดต่ำที่สุดของลุ่มน้ำ โดยในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ SRTM-30 จากหน่วยงาน The U.S. Geological Survey's (USGS) สำหรับตัวอย่างการแบ่งลุ่มน้ำย่อยโดยใช้เครื่องมือ Watershed ในโปรแกรม ArcGIS 10 แสดงดังในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ลุ่มน้ำย่อยที่ถูกแบ่งโดยเครื่องมือ Watershed ใน โปรแกรม ArcGIS 10

5. กระบวนการเฉลี่ยเชิงพื้นที่

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลฝนและข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิงเชิงพื้นที่แบบกริด (Raster) จึงต้องคำนวณปริมาณฝนและปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิงให้อยู่ในรูปแบบค่าเฉลี่ยค่าเดียวของทุกกริดในทุกกลุ่มน้ำย่อยโดยคำนวณได้จากเครื่องมือ Zonal Statistic as Table ที่มีอยู่ในโปรแกรม ArcGIS 10 มาใช้ในการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ (Areal Average) โดยใช้คำสั่ง Zonal Statistic as Table ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับหาค่าทางสถิติเชิงพื้นที่ซึ่งต้องใช้ข้อมูล 2 ชนิด คือ (1) ข้อมูลแบบกริด (Raster) และ (2) ข้อมูลขอบเขตที่ต้องการหาค่าเฉลี่ย (Zone Layer) โดยนำข้อมูลทั้งสองนี้มาซ้อนทับกันเพื่อให้โปรแกรมคำนวณหาค่าเฉลี่ยเฉพาะขอบเขตพื้นที่ที่ต้องการคำนวณ

6. ทฤษฎีของแบบจำลอง FLEXL

แบบจำลอง FLEXL เป็นแบบจำลองแบบลัมพ์ (Lumped model) โดยแนวความคิดหลักของแบบจำลองคือการแบ่งปริมาณการเก็บกักของพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็น 5 ชั้นเก็บกัก (Reservoirs) ดังแสดงในภาพที่ 6 สำหรับรายละเอียดของปริมาณการเก็บกักในแต่ละส่วนแสดงดังต่อไปนี้

6.1 การเก็บกักในชั้นหิมะเกิดจากหิมะ (Snow reservoir) ตกลงสู่พื้นที่ลุ่มน้ำในช่วงฤดูหนาว และจะเริ่มละลายในช่วงฤดูใบไม้ผลิ ซึ่งปริมาณน้ำที่เกิดจากการละลายของหิมะจะถูกสมมติว่าซึมลงสู่ดินโดยไม่ผ่านกระบวนการ Interception เนื่องจากในการศึกษานี้ใช้แบบจำลอง FLEXL มาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ลุ่มน้ำของประเทศไทยซึ่งไม่มีหิมะตกจึงไม่พิจารณาการเก็บกักในชั้นหิมะ ทั้งนี้ สมการสมดุลน้ำของการเก็บกักในชั้นหิมะแสดงดังสมการที่ (1) และปริมาณน้ำที่เกิดจากการละลายของหิมะคำนวณได้จากสมการที่ (2) โดยที่ $S_w(t)$ คือ ปริมาณเก็บกักในชั้นหิมะ (มิลลิเมตร), $P_s(t)$ คือ ปริมาณหิมะที่ตกลงสู่พื้นดิน (มิลลิเมตร), $M(t)$ คือ ปริมาณน้ำที่เกิดจากการละลายของหิมะ (มิลลิเมตร), FDD คือ อัตราการละลายของหิมะ (มิลลิเมตรต่อวันต่อองศา), $T(t)$ คือ อุณหภูมิของอากาศ (องศาเซลเซียส) และ T_t คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่เกิดการละลาย (องศาเซลเซียส)

$$\frac{dS_w}{dt} = P_s^{(t)} - M^{(t)} \quad (1)$$

$$M^{(t)} = \begin{cases} F_{DD}(T^{(t)} - T_t); & T^{(t)} > T_t \\ 0 & ; T^{(t)} \leq T_t \end{cases} \quad (2)$$

6.2 การเก็บกักโดยกระบวนการ Interception (Interception reservoir) ปริมาณการเก็บกักโดยกระบวนการ Interception ($S_{i(t)}$) เกิดขึ้นจากปริมาณการเก็บกักโดยกระบวนการ Interception ที่เวลาก่อนหน้า ($S_{i(t-1)}$) รวมกับปริมาณฝนที่ตกลงมา ($P_{r(t)}$) และหากผลรวมดังกล่าวมีค่าเกินจากปริมาณการเก็บกักสูงสุดของชั้น Interception (I_{max}) จะกลายเป็นปริมาณฝนส่วนเกิน ($P_{e(t)}$) ดังแสดงในสมการที่ (3) แต่เนื่องจากประเทศไทยไม่มีการเกิดหิมะจึงทำให้ปริมาณฝนส่วนเกินมีค่าเท่ากับปริมาณฝนส่วนเกินจากการสูญเสียโดยกระบวนการ Interception ($P_{iu(t)}$) โดยฝนส่วนเกินจะไหลลงสู่การเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil reservoir) จากนั้นเมื่อสิ้นสุดวัน การเก็บกักโดยกระบวนการ Interception ($S_{i(t)}$) จะระเหยกลับคืนสู่บรรยากาศ โดยปริมาณการระเหยคำนวณจากค่าต่ำสุดระหว่าง 3 ตัวแปรควบคุม คือ ปริมาณการเก็บกักโดยกระบวนการ Interception เมื่อสิ้นสุดวัน ($S_{i(t)}$), ปริมาณการเก็บกักสูงสุดในชั้น Interception (I_{max}) และศักย์การคายระเหย (E_p) ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$P_{e(t)} = \begin{cases} P_{r(t)} + S_{i(t-1)} - I_{max}, & P_{r(t)} + S_{i(t-1)} > I_{max} \\ 0, & P_{r(t)} + S_{i(t-1)} \leq I_{max} \end{cases} \quad (3)$$

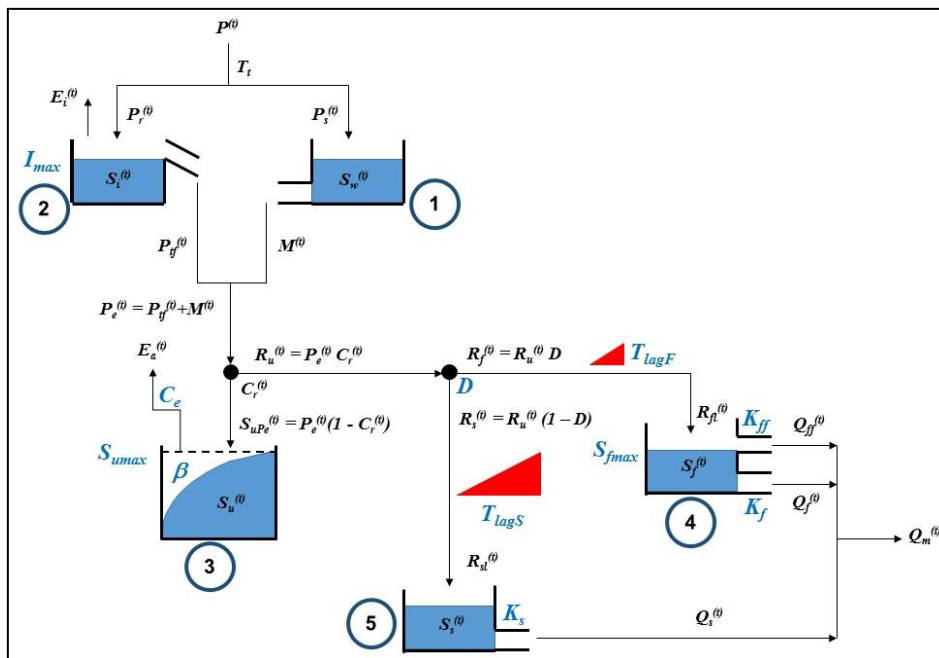
โดยที่ $P_{e(t)}$	คือ	ฝนส่วนเกิน (Effective rainfall) จากการสูญเสียโดยกระบวนการ Interception (มิลลิเมตร)
$P_{r(t)}$	คือ	ปริมาณฝนที่ตก ณ วันที่พิจารณา (มิลลิเมตร)
$S_{i(t)}$	คือ	ปริมาณการเก็บกักโดยกระบวนการ Interception ณ เวลาที่พิจารณา (มิลลิเมตร)

$$E_i = \min (P, E_p, I_{max}) \quad (4)$$

โดยที่ $E_{i(t)}$	คือ	ปริมาณการระเหยจากการเก็บกักของกระบวนการ Interception (มิลลิเมตร)
$P_{r(t)}$	คือ	ปริมาณฝนที่ตก ณ วันที่พิจารณา (มิลลิเมตร)
I_{max}	คือ	ปริมาณการเก็บกักสูงสุดของชั้น Interception (มิลลิเมตร)
$E_p(t)$	คือ	ศักย์การคายระเหย (มิลลิเมตร)

สมการน้ำในส่วนของการเก็บกักโดยกระบวนการ Interception คำนวณได้ดังในสมการที่ (5)

$$\frac{dS_i}{dt} = P - E_i - P_e \tag{5}$$



ภาพที่ 6 โครงสร้างของแบบจำลอง FLEXL

ที่มา: วาสนา และ นุชนารถ (2562)

6.3 การเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil reservoir) ปริมาณฝนส่วนเกิน ($P_e(t)$) ที่ไหลลงสู่การเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil reservoir) จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff coefficient, C_r) ที่คำนวณได้โดยสมการที่ (6) ซึ่งส่วนหนึ่งจะถูกเก็บไว้ในดินในรูปของความชื้นในดิน (Soil moisture) และส่วนที่เหลือจะไหลออกนอกถึงเก็บกัก จากสมการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าแสดงให้เห็นว่า สัมประสิทธิ์น้ำท่าขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างปริมาณการเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ณ เวลาก่อนหน้า ($S_{u,t-1}$) กับความจุเก็บกักสูงสุดของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ($S_{u,max}$) รวมทั้งค่าคงที่ β ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่มีค่าแนะนำระหว่าง 0.1 ถึง 3 และสำหรับ $S_{u,max}$ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองเช่นกันมีค่าแนะนำระหว่าง 20 ถึง 800 มิลลิเมตร

$$C_r = 1 - \left(1 - \frac{S_{u,t-1}}{S_{u,max}}\right)^\beta \tag{6}$$

ปริมาณการเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (S_{upe}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) โดยเมื่อปริมาณการเก็บกักดังกล่าวรวมกับปริมาณการเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ณ เวลาก่อนหน้า ($S_{u(t-1)}$) จะได้เป็นปริมาณการเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ณ เวลาที่พิจารณา ($S_{u(t)}$) โดยน้ำบางส่วนจะสูญเสียไปโดยกระบวนการระเหยรวมการคายน้ำ ดังนั้น $S_{u(t)}$ สุทธิที่ผ่านทุกกระบวนการแล้วคือ $S_{u(t)}$ ที่คำนวณได้จากขั้นตอนดังกล่าวด้วย E_a ที่คำนวณได้จากสมการที่ (8) ซึ่งจะกลายเป็นค่า $S_{u(t-1)}$ ที่จะนำไปใช้ในการคำนวณในช่วงเวลาถัดไป

$$S_{upe} = P_{e(t)}(1 - C_r) \quad (7)$$

$$E_a = \min \left((E_p - E_i), \frac{S_{u,t}}{C_e S_{u \max}} (E_p - E_i) \right) \quad (8)$$

ปริมาณฝนส่วนเกิน ($P_{e(t)}$) ที่เหลือจากปริมาณการเก็บกักในชั้นดินที่ยังไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (S_{upe}) จะไหลออกจากชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำกลายเป็นปริมาณน้ำท่า (*Generated flow, R_u*) ซึ่งมีเงื่อนไขการคำนวณ 2 เงื่อนไข คือ 1) ปริมาณการเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ($S_{u(t)}$) มีค่ามากกว่าเท่ากับความจุเก็บกักสูงสุดของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ($S_{u \max}$) และ 2) ปริมาณการเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ($S_{u(t)}$) มีค่าน้อยกว่าความจุเก็บกักสูงสุดของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ($S_{u \max}$) ดังแสดงแนวทางคำนวณในสมการที่ (9)

$$\frac{R}{P_e} = 1 - \left(1 - \frac{S_u}{(1+\beta)S_{u \max}} \right)^\beta \quad (9)$$

จากนั้น ปริมาณน้ำท่า (R_u) จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) ปริมาณท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (*Flow into fast respond, R_f*) และ 2) ปริมาณน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชื่องช้า (*Groundwater recharge, R_s*) ทั้งนี้ ปริมาณน้ำทั้ง 2 ส่วนจะถูกแบ่งโดยค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งปริมาณท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (*Splitter coefficient, D*) ซึ่งมีค่าที่แนะนำระหว่าง 0.1 ถึง 0.9 และปริมาณน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชื่องช้าจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตอบสนองอย่างเชื่องช้า ($1 - D$)

6.4 การเก็บกักในชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (*Fast respond reservoir*) ปริมาณน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (*Flow into fast respond, R_f*) เกิดขึ้นจากผลคูณระหว่าง

ปริมาณน้ำท่า R_u ที่เหลือจากการเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำคูณกับค่าสัมประสิทธิ์ของการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (*Splitter coefficient, D*) ดังแสดงในสมการที่ (10)

$$R_f = R_u \quad (10)$$

ปริมาณน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (R_f) ที่ถูกหน่วงเวลาเพื่อให้การไหลเกิดช้ากว่าปริมาณฝนโดยเป็นไปตามฟังก์ชันหน่วงเวลา (*Lag function*) คือ ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากการตอบสนองอย่างรวดเร็วที่เป็นผลจากการหน่วงเวลา ณ วันที่พิจารณา ซึ่งฟังก์ชันหน่วงเวลา ให้ค่าถ่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามเวลาแบบเส้นตรง (*Linearly increase weight*) ดังแสดงในสมการที่ (9) และการคำนวณปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากการตอบสนองอย่างรวดเร็วที่เป็นผลจากการหน่วงเวลาสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (12)

$$C(i) = \frac{i}{\sum_{u=1}^{T_{lag}} u} \quad (11)$$

โดยที่ C_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของ R_f ในวันที่ $(t - i + 1)$ ในเมื่อ i มีค่าตั้งแต่ 1 จนถึง T_{lag}
 T_{lag} คือ จำนวนวันที่น้ำท่ามีการหน่วงตามเวลา โดยเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่มีค่าแนะนำระหว่าง 0.8 ถึง 3 วัน

$$R_{fl}(t) = \sum_{i=1}^{T_{lag}} C(i) \cdot R_f(t - i + 1) \quad (12)$$

เมื่อ $R_{fl}(t)$ คือ ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากการตอบสนองอย่างรวดเร็วที่เป็นผลจากการหน่วงเวลา ณ วันที่พิจารณา ($t = 1, 2, 3, \dots$)

จากนั้น ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากการตอบสนองอย่างรวดเร็วที่เป็นผลจากการหน่วงเวลา ณ วันที่พิจารณา ($R_{fl}(t)$) จะไหลมารวมกับปริมาณการเก็บกักของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาก่อนหน้า ($S_{f(t-1)}$) รวมเป็นปริมาณการเก็บกักของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ณ เวลาที่พิจารณา ($S_f(t)$) ซึ่งหากปริมาณการเก็บกักดังกล่าวมีค่าเกินความจุเก็บกักสูงสุดของชั้นน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (S_{fmax}) จะทำให้เกิดการไหลเหนือผิวดิน ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (13) ทั้งนี้ อัตราการไหลเหนือผิวดิน ($Q_{ff}(t)$) ที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับค่าคงที่ K_{ff}

$$Q_{ff}(t) = \max\left(0, \frac{S_f(t) - S_{fmax}}{K_{ff}}\right) * \Delta t \quad (13)$$

- โดยที่ $Q_{ff}(t)$ คือ อัตราการไหลเหนือผิวดินที่เกิดจากการเก็บกักในชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (มิลลิเมตร)
- K_{ff} คือ Residence time ของการไหลเหนือผิวดินซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่มีค่าแนะนำระหว่าง 1 ถึง 20 วัน

ส่วนปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในชั้นเก็บกักที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ($S_f(t)$) จะมีการไหลใต้ผิวดินโดยคำนวณได้จากสมการที่ (14) ทั้งนี้ อัตราการไหลใต้ผิวดินที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับค่าคงที่ K_f

$$Q_{f,t} = \frac{S_{f,t}}{K_f} * \Delta t \quad (14)$$

- โดยที่ $Q_f(t)$ คือ อัตราการไหลใต้ผิวดินที่เกิดจากการเก็บกักในชั้นที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (มิลลิเมตร)
- $S_f(t)$ คือ ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในชั้นเก็บกักที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ณ วันที่พิจารณา (มิลลิเมตร), K_f คือ Residence time ของการไหลใต้ผิวดินซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่มีค่าแนะนำระหว่าง 1 ถึง 20 วัน

สมดุลน้ำของการเก็บกักในชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วสามารถคำนวณได้ดังในสมการที่ (15)

$$\frac{dS_f}{dt} = R_{fl} - Q_{ff} - Q_f \quad (15)$$

6.5 การเก็บกักในชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชื่องช้า (Slow reacting reservoir) ปริมาณน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชื่องช้า (Groundwater recharge, R_s เกิดขึ้นจากผลคูณระหว่างปริมาณน้ำท่า R_u ที่เหลือจากการเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำคูณกับค่าสัมประสิทธิ์ของการตอบสนองอย่างเชื่องช้า $(1 - D)$ ดังแสดงในสมการที่ (16)

$$R_s = R_u(1 - D) \quad (16)$$

ปริมาณน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชิงซ้ำ (R_s) ที่ถูกหน่วงเวลาเพื่อให้การไหลเกิดล่าช้ากว่าการเกิดฝน โดยเป็นไปตามฟังก์ชันหน่วงเวลา (Lag function) ที่ให้ค่าถ่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามเวลาแบบเส้นตรงโดย T_{lags} มีค่าแนะนำระหว่าง 2 ถึง 50 วัน และปริมาณน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชิงซ้ำ (R_{sl}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (16) โดยเปลี่ยนตัวแปรจาก f เป็น s เท่านั้น ต่อจากนั้น R_{sl} ที่คำนวณได้จะถูกนำมารวมกับปริมาณการเก็บกักของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชิงซ้ำในช่วงเวลาก่อนหน้า ($S_{s(t-1)}$) กลายเป็น ($S_{s(t)}$) จากนั้นปริมาณการเก็บกักในส่วนนี้จะไหลไปรวมกับน้ำใต้ดินและไหลออกสู่ทางน้ำอย่างช้า ๆ โดยคำนวณได้ดังในสมการที่ (17) ทั้งนี้ อัตราการไหลที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ นี้จะมีลักษณะของการตอบสนองแบบเส้นตรงที่ขึ้นกับค่าคงที่ K_s

$$Q_{s,t} = \frac{S_{s,t}}{K_s} * \Delta t \quad (17)$$

- โดยที่ $Q_{s(t)}$ คือ อัตราการไหลของน้ำใต้ดิน (มิลลิเมตร)
 $S_{s(t)}$ คือ ปริมาณน้ำในชั้นเก็บกักที่มีการตอบสนองอย่างเชิงซ้ำ ณ วันที่พิจารณา (มิลลิเมตร)
 K_s คือ Residence time ของการไหลของน้ำใต้ดินซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่มีค่าแนะนำระหว่าง 10 ถึง 400 วัน

สมมูลน้ำในเก็บกักของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชิงซ้ำคำนวณได้ดังในสมการที่ (18)

$$\frac{dS_s}{dt} = R_{sl} - Q_s \quad (18)$$

7. แบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII

แบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ได้รับการพัฒนาตามหลักการของแบบจำลอง FLEXL เพื่อการประเมินกราฟน้ำท่าที่จุดออกของกลุ่มน้ำย่อยที่พิจารณา โดยพื้นฐานของแบบจำลอง KU-FLEX-SD คือการใช้แบบจำลองแบบลัมป์สำหรับแต่ละกลุ่มน้ำย่อย และใช้แบบจำลองแบบกระจายตัวระหว่างกลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าใด ๆ ที่ทำการสอบเทียบแบบจำลอง ดังนั้น พื้นที่รับน้ำฝนของสถานีวัดน้ำท่าดังกล่าวจึงต้องถูกแบ่งเป็นกลุ่มน้ำย่อย ทั้งนี้ ปริมาณน้ำท่าในแต่ละกลุ่มน้ำย่อยสามารถประเมินได้ด้วยแบบจำลอง FLEXL โดยการคำนวณปริมาณฝนส่วนเกินที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าที่ทำการสอบเทียบแบบจำลอง ปริมาณฝนส่วนเกินข้างต้นของแต่ละกลุ่มน้ำย่อยจะเคลื่อนตัวไปยังจุดออกของกลุ่มน้ำโดยใช้การหน่วงเวลาของการเกิดฝนจนถึงเวลาที่เกิดปริมาณการไหลสูงสุด (T_{lagF}) และการหน่วงเวลาของปริมาณการไหลจากชั้นรากพืชไปยังชั้นน้ำใต้ดิน (T_{lagS}) ทั้งนี้ ในการศึกษาแนะนำให้ T_{lagF} และ T_{lagS} เป็นแบบรายชั่วโมงแทนที่จะเป็นแบบรายวัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยการคำนวณ T_{lagF} และ T_{lagS} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (19) และ สมการที่ (20) ตามลำดับ

$$T_{lagF-sub} = T_{lagF} \sqrt{A_{sub}/A} \quad (19)$$

$$T_{lagS-sub} = T_{lagS} \sqrt{A_{sub}/A} \quad (20)$$

โดยที่	T_{lagF}	คือ เวลาที่เกิดปริมาณการไหลสูงสุด
	T_{lagS}	คือ การหน่วงเวลาของปริมาณการไหลจากชั้นรากพืชไปยังชั้นน้ำใต้ดิน
	$T_{lagF-sub}$	คือ เวลาที่เกิดปริมาณการไหลสูงสุดของแต่ละกลุ่มน้ำย่อย
	$T_{lagS-sub}$	คือ การหน่วงเวลาของปริมาณการไหลจากชั้นรากพืชไปยังชั้นน้ำใต้ดินของแต่ละกลุ่มน้ำย่อย
	A_{sub}	คือ พื้นที่กลุ่มน้ำของแต่ละกลุ่มน้ำย่อย
	A	คือ พื้นที่กลุ่มน้ำทั้งหมด

ทั้งนี้เมื่อประเมินปริมาณน้ำท่าจากลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือมาแล้วจึงเคลื่อนตัวน้ำท่าผ่านลำน้ำจากจุดออกของแต่ละลุ่มน้ำย่อยดังกล่าวไปยังจุดออกของลุ่มน้ำย่อยด้านท้ายน้ำโดยใช้แบบจำลอง Muskingum เพื่อนำไปรวมกับปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ของลุ่มน้ำย่อยด้านท้ายน้ำต่อไป การเคลื่อนตัวของกราฟน้ำท่าจากแบบจำลอง Muskingum ที่ใช้ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยคำนวณได้จากสมการที่ (21)

$$S_{chnl-sub} = K_{sub} (XQ_{up} + (1-X)Q_{down}) \quad (21)$$

$$K_{sub} = KL_{sub} \quad (22)$$

โดยที่ S_{chnl} คือ ปริมาตรเก็บกักในลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตร ชั่วโมงต่อวินาที)
 K คือ พารามิเตอร์หน่วงเวลาของลำน้ำ, X คือ พารามิเตอร์ของการเคลื่อนตัวในลำน้ำ
 K_{sub} สามารถคำนวณได้จากผลคูณของค่า K และความยาวลำน้ำในแต่ละลุ่มน้ำย่อยที่มีการเคลื่อนตัวในลำน้ำ (L_{sub}) ดังสมการที่ (22)

8. ดัชนี NDII (Normalized Difference Infrared Index)

ดัชนี NDII เป็นดัชนีความแตกต่างจากค่าปกติของรังสีอินฟราเรด ซึ่งประเมินจากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Hardisky et al. (1983) โดยสามารถคำนวณได้จากการนำช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น (SWIR) ที่มีความยาวช่วงคลื่นบริเวณศูนย์กลางที่ 1.64 ไมโครเมตร มาใช้งานร่วมกับคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) ที่มีความยาวช่วงคลื่นบริเวณศูนย์กลางที่ 0.86 ไมโครเมตร มาใช้คำนวณหาดัชนีความแตกต่างจากค่าปกติของรังสีอินฟราเรด (NDII) เพื่อตรวจสอบสภาพภัยแล้ง หรือความชุ่มชื้นของพืชพรรณ โดยคำนวณได้จากสมการที่ (23)

$$NDII = \left(\frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR} \right) \quad (23)$$

โดยที่ NIR คือ ค่าการสะท้อนกลับจากพื้นผิวในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
 SWIR คือ ค่าการสะท้อนกลับจากพื้นผิวในช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น

ดัชนี NDII มีการประยุกต์ใช้ค่าการสะท้อนกลับของพื้นผิว 2 ช่วงคลื่น ได้แก่ (1) ช่วงคลื่นที่มีความไว (sensitive) และ (2) ช่วงคลื่นที่ไม่มีความไว (insensitive) ในการอธิบายความจุของน้ำ

ในใบพืช ซึ่งประกอบด้วย (1) ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) และ (2) ช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น (SWIR) ค่า NDII ที่คำนวณได้จะมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 แบ่งเป็น บริเวณพืชที่สมบูรณ์ ค่า NDII ที่คำนวณได้จะมีค่าใกล้เคียง 1 คือยังมีค่าใกล้เคียง 1 เท่าไรพืชยังมีความสมบูรณ์สูง ส่วนบริเวณพืชไม่สมบูรณ์หรือบริเวณที่เกิดความแห้งแล้ง ค่า NDII ที่คำนวณได้จะมีค่าใกล้เคียง -1 คือ ยิ่งใกล้เคียง -1 มากเท่าไรหมายถึงแห้งแล้งมาก พืชทิ้งใบไม้ หรือเป็นพื้นที่ที่ไม่มีต้นไม้อเลย

9. Kling-Gupta Efficiency (KGE)

ดัชนีประสิทธิภาพ Kling-Gupta Efficiency (KGE) คือ ค่าทางสถิติระหว่างผลการประเมินปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าและข้อมูลจากสถานีตรวจวัด ซึ่งเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (24) โดยที่ค่า KGE มีค่าอยู่ระหว่าง $-\infty$ ถึง 1 ในกรณีที่ KGE มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคโดยตรงที่ดีมากและปริมาณทั้งสองสำหรับทุกค่า มีค่าใกล้เคียงกันมาก และในกรณีที่ KGE มีค่าเข้าใกล้ $-\infty$ แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์ทั้งในเชิงปฏิภาคและเชิงปริมาณ

$$KGE_E = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + \left(\frac{STD_{Mod}}{STD_{Obs}} - 1\right)^2 + \left(\frac{Avg_{Mod}}{Avg_{Obs}} - 1\right)^2} \quad (24)$$

โดยที่ r	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
STD_{Mod}	คือ	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลประเมินปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง
STD_{Obs}	คือ	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลน้ำท่าจากสถานีวัดน้ำท่า
Avg_{Mod}	คือ	ค่าเฉลี่ยของผลประเมินปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
Avg_{Obs}	คือ	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลน้ำท่าจากสถานีวัดน้ำท่า (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

ในการศึกษานี้ได้นำ KGE มาประยุกต์ใช้สำหรับการประเมินฟังก์ชันวัตถุประสงค์โดยแบ่งออกเป็น 3 ฟังก์ชันดังนี้

1. KGE คือการประเมิน KGE ระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัด โดยพิจารณาจากข้อมูลอัตราการไหล

2. KGE_{LF} คือการประเมิน KGE ระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัด คำนวณได้จากสมการที่ (24) โดยใช้ค่าลอการิทึมของการไหลในการคำนวณ เพื่อให้มีความสำคัญกับ อัตราการไหลในช่วงหน้าแล้งหรือช่วงเวลาที่ม้ออัตราการไหลต่ำ (Low Flow)

3. KGE_{FDC} คือการประเมิน KGE ระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัด คำนวณโดยใช้ค่าปริมาณการไหลที่ถูกเรียงลำดับจากค่ามากไปยังค่าน้อย นั่นคือ โค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow Duration Curve) ก่อนนำไปแทนค่าในสมการที่ (24) เพื่อให้มีความสำคัญกับสมดุลน้ำ (Water Balance) โดยที่ปริมาตรที่ทุกช่วงเวลาต้องมีปริมาตรที่ไม่ต่างกันมาก

10. Nash-Sutcliffe's Efficiency (NSE)

ดัชนี NSE เป็นค่าตัวแปรทางสถิติที่ใช้ในการบอกความแม่นยำของแบบจำลอง (Model Accuracy) หรือประสิทธิภาพของแบบจำลองระหว่างผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (25) โดยที่ค่า NSE มีค่าอยู่ระหว่าง $-\infty$ ถึง 1 ในกรณีที่ NSE มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคโดยตรงที่ดีมากและปริมาณทั้งสองสำหรับทุกค่า มีค่าใกล้เคียงกันมาก และในกรณีที่ NSE มีค่าเข้าใกล้ $-\infty$ แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์ทั้งในเชิงปฏิภาคและเชิงปริมาณ

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_i^N (O_i - M_i)^2}{\sum_i^N (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (25)$$

โดยที่	M_i	คือ	ผลการคำนวณจากแบบจำลอง
	O	คือ	ข้อมูลการตรวจวัด
	\bar{O}	คือ	ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด
	N	คือ	จำนวนข้อมูล
	i	คือ	แสดงถึงลำดับของอนุกรมข้อมูล

11. MOSCEM (Multi Objective Shuffle Complex Evolution Matropolis)

โปรแกรม MOSCEM (Multiobjective Shuffled Complex Evolution Matropolis) ถูกพัฒนาขึ้นโดย (Vrugt et al. 2003) เพื่อใช้ในการหาค่าชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (multi-objectives optimization) โดยเป็นกระบวนการค้นหาชุดคำตอบจากคำตอบที่เป็นไปได้ โดยจะได้ค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์พร้อม ๆ กัน โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหา เรียกว่า ชุดคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งชุดคำตอบจะอยู่บนเส้นโค้งที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตของคำตอบ (pareto front)

ขั้นนี้ เริ่มจากการสุ่มประชากรชุดแรกจากวิธี Latin Hyper Cube เพื่อสร้างประชากรชุดเริ่มต้นที่มีการกระจายตัวอย่างทั่วทั้งมิติ และเริ่มทำการคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับประชากรทุกตัวที่สุ่มมา จากนั้นจะจัดลำดับของประชากรแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยกระบวนการ Pareto Ranking แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการสุ่มซ้ำ โดยใช้วิธีการ Markov Chain Monte Carlo Sample เพื่อให้ได้ประชากรชุดถัดไป สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาโดย MOSCEM จะเป็นชุดคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ที่เรียกว่า Pareto Front ซึ่งก็คือ ชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ในลำดับที่ 1 กล่าวคือ Pareto Front เป็นชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ไม่แพ้พารามิเตอร์ชุดอื่น ๆ ซึ่งในกรณีการแก้ปัญหาแบบ Minimize จะไม่มีพารามิเตอร์ชุดไหนที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่น้อยกว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ Pareto Front

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งประกอบด้วยโปรแกรม ArcGIS 10, MATLAB 2017 และ Python 2.7
2. ข้อมูลความลึกฝน และข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิงรายวันแบบกริดที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยศูนย์วิจัยการรับรู้จากระยะไกลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ (SENSWAT) และข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน ซึ่งทำการตรวจวัดโดยกรมชลประทาน
3. ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ที่ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำชี โดยเลือกใช้ผลิตภัณฑ์จากหน่วยงาน Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)
4. ข้อมูลดัชนี Normalized Different Infrared Index (NDII) ที่ได้จากงานวิจัยที่ดำเนินการโดย Sriwongsitanon et al. (2016)
5. ห้องดำเนินงานวิจัยและสาธารณูปโภค

วิธีการ

วิทยานิพนธ์เรื่อง “การเปรียบเทียบประสิทธิผลของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เพื่อการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำชี” มีขั้นตอนในการดำเนินงานสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ในลุ่มน้ำชีในช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558 เพื่อประกอบการศึกษาซึ่งประกอบด้วย (1) ข้อมูลความลึกฝนและข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิงรายวันแบบกริด (2) ข้อมูลน้ำท่ารายวัน (3) ข้อมูลดัชนี NDII และ (4) ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM)

2. แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่เลือกใช้เพื่อการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII
3. คำนวณปริมาณความลึกฝนและปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิงแบบรายวันเชิงพื้นที่ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา ในช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558
4. วิเคราะห์ดัชนี NDII เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII
5. ประยุกต์ใช้แบบจำลอง FLEXL โดยสอบเทียบแบบจำลองในทุกสถานีที่พิจารณา ในช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558
6. ประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII โดยการสอบเทียบแบบจำลองแบบอัตโนมัติที่ดำเนินการด้วยโปรแกรม MOSCEM ซึ่งเป็นการสอบเทียบแบบจำลองโดยใช้ฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objectives function) ในช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2544 ถึง 2558 ที่สถานีวัดน้ำท่าท้ายน้ำสุดของกลุ่มน้ำชี
7. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี NDII (Normalized Different Infrared Index) กับความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

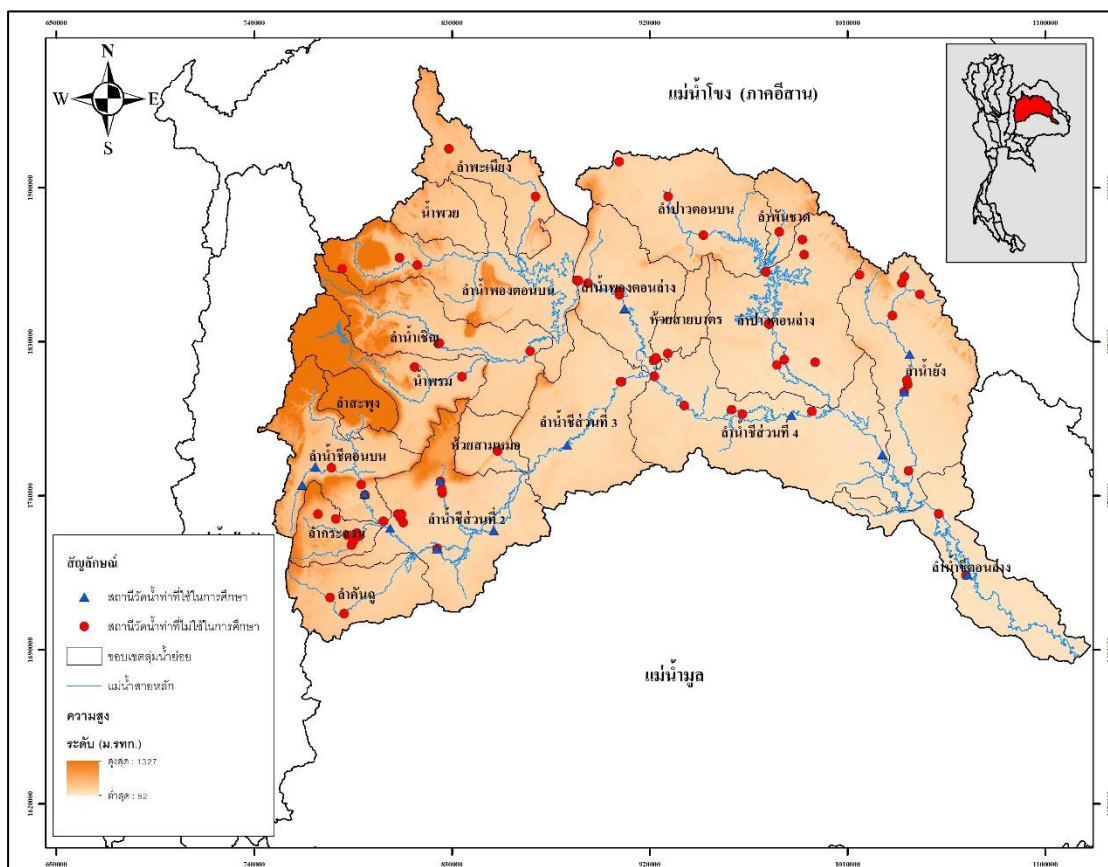
จากการสรุปขั้นตอนในการดำเนินงานดังกล่าว สามารถอธิบายรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังต่อไปนี้

1. รวบรวมข้อมูล

1.1 ข้อมูลน้ำท่า

ในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลน้ำท่ารายวันที่ได้จากสถานีตรวจวัดของกรมชลประทานที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำชีจากเริ่มตรวจวัดจนถึงปี พ.ศ. 2562 ซึ่งจากการตรวจสอบข้อมูลพบว่ามีสถานีวัดน้ำท่าจำนวนทั้งสิ้น 68 สถานี สำหรับตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำชีแสดงดังภาพที่ 7 ทั้งนี้ ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำชีแสดงดังในตารางที่ 3 อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้จะเลือกใช้

สถานีวัดน้ำท่าที่มีข้อมูลในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558 และเป็นสถานีวัดน้ำท่าที่มีเปอร์เซ็นต์ของข้อมูลมากกว่า 50% นอกจากนี้ต้องเป็นสถานีที่ไม่ได้รับผลกระทบจากโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่และขนาดกลาง ดังนั้น จึงเลือกสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษาได้จำนวนทั้งสิ้น 14 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.18, E.20A, E.21, E.22B, E.23, E.32A, E.5, E.54, E.66A, E.6C, E.70, E.72, E.73 และ E.9 โดยข้อมูลน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย รายปีเฉลี่ย และปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ของทั้ง 14 สถานี ที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังในตารางที่ 4



ภาพที่ 7 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำจี่

ตารางที่ 3 รายละเอียดข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าในกลุ่มน้ำชีจากเริ่มตรวจวัดจนถึงปี พ.ศ. 2562

รหัส สถานีวัด น้ำท่า	ชื่อสถานี	ลุ่มน้ำย่อย	จังหวัด	พิกัด		พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร. กม.)	ช่วงปีสถิติข้อมูล (พ.ศ.)		เปอร์เซ็นต์ของจำนวน ปีสถิติข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2544-2558	หมายเหตุ
				ละติจูด	ลองจิจูด		เริ่มต้น	สิ้นสุด		
E.1	บ้านคำวัดใต้โกสุม	ลำน้ำชีส่วนที่ 4	มหาสารคาม	16.25	103.07	29,400	2543	2549	28.57	
E.15	บ้านหนองบึง	ลำน้ำชี	ขอนแก่น	16.49	102.42	4,942	2498	2500	0.00	
E.16	บ้านท่าพระ	ลำน้ำชีส่วนที่ 3	ขอนแก่น	16.35	102.81	13,172	2506	2549	0.00	
E.16A	บ้านท่าพระ	ลำน้ำชีส่วนที่ 3	ขอนแก่น	16.35	102.80	13,572	2536	2556	29.76	
E.17	บ้านท่าหิน	ลำน้ำพองตอนล่าง	ขอนแก่น	16.44	102.95	14,426	2519	2540	0.00	
E.18	บ้านท่าสะแบง	ลำน้ำชีส่วนที่ 4	ร้อยเอ็ด	16.03	103.91	41,187	2517	2562	92.86	
E.2	วัดศรีธรรมาราม	ลำน้ำชีตอนล่าง	ยโสธร	15.79	104.14	47,391	2495	2540	0.00	
E.20	มหาชนะชัย	ลำน้ำชีตอนล่าง	ยโสธร	15.53	104.25	47,818	2505	2547	0.00	
E.20A	บ้านฟ้าหยาด	ลำน้ำชีตอนล่าง	ยโสธร	15.52	104.25	47,800	2517	2562	100.00	
E.21	บ้านแก่งโก	ลำน้ำชีส่วนที่ 2	ชัยภูมิ	15.75	102.25	8,777	2511	2562	92.86	
E.22	บ้านน้ำพอง	ลำน้ำชีตอนล่าง	ขอนแก่น	16.71	102.81	13,168	2498	2508	0.00	
E.22A	บ้านหินกอง	ลำน้ำพองตอนล่าง	ขอนแก่น	16.72	102.81	13,183	2510	2545	14.29	
E.22B	บ้านท่าเฒ่า	ลำน้ำพองตอนล่าง	ขอนแก่น	16.65	102.83	13,685	2546	2562	78.57	
E.23	บ้านค่าย	ลำน้ำชีส่วนที่ 2	ชัยภูมิ	15.68	102.01	6,282	2511	2562	92.86	

ตารางที่ 3 (ต่อ)

รหัส สถานีวัด น้ำท่า	ชื่อสถานี	ลุ่มน้ำย่อย	จังหวัด	พิกัด		พื้นที่ ลุ่มน้ำ (ตร. กม.)	ช่วงปีสถิติข้อมูล (พ.ศ.)		เปอร์เซ็นต์ของ จำนวนปีสถิติ ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2544-2558	หมายเหตุ
				ละติจูด	ลองจิจูด		เริ่มต้น	สิ้นสุด		
E.26	บ้านหัวกล้วย	ลำปาวตอนล่าง	กาฬสินธุ์	16.41	103.47	6,383	2534	2546	21.43	
E.29	บ้านผานกเขา	ลำน้ำพองตอนบน	เลย	16.85	101.95	949	2521	2556	92.86	
E.30	บ้านนาเขียว	ลำปาวตอนล่าง	กาฬสินธุ์	16.79	103.43	3,955	2501	2508	0.00	
E.31	เขื่อนอุบลรัตน์	ลำน้ำพองตอนล่าง	ขอนแก่น	16.77	102.63	12,109	2500	2508	0.00	
E.31A	บ้านหัวไส	ลำน้ำพองตอนล่าง	ชัยภูมิ	16.77	102.63	12,094	2507	2508	0.00	
E.32	บ้านหนองโอ	ลำน้ำชีตอนบน	ชัยภูมิ	15.91	101.71	2,906	2504	2517	0.00	
E.32A	บ้านหนองอ้อ	ลำน้ำชีตอนบน	ชัยภูมิ	15.91	101.71	2,906	2510	2562	92.86	
E.33A	บ้านหนองแสงทุ่ง	ลำน้ำซ่ง	ร้อยเอ็ด	16.33	104.02	2,599	2505	2536	0.00	
E.34	บ้านหนองสองห้อง	ลำปาวตอนล่าง	กาฬสินธุ์	16.50	104.43	5,542	2511	2524	0.00	
E.36	บ้านแก่งจั่นก	ลำกระเจวน	ชัยภูมิ	15.74	101.68	296	2512	2540	0.00	
E.36A	บ้านท่าบอน	ลำกระเจวน	ชัยภูมิ	15.70	101.65	290	2514	2541	0.00	
E.35	บ้านหนองบัวน้อย	ลำกระเจวน	ชัยภูมิ	15.75	101.68	457	2512	2515	0.00	
E.35A	บ้านเทพไ	ลำกระเจวน	ชัยภูมิ	15.74	101.64	422	2516	2535	0.00	

ตารางที่ 3 (ต่อ)

รหัส สถานีวัด น้ำท่า	ชื่อสถานี	ลุ่มน้ำย่อย	จังหวัด	พิกัด		พื้นที่ ลุ่มน้ำ (ตร. กม.)	ช่วงปีสถิติข้อมูล (พ.ศ.)		เปอร์เซ็นต์ของ จำนวนปีสถิติ ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2544-2558	หมายเหตุ
				ละติจูด	ลองจิจูด		เริ่มต้น	สิ้นสุด		
E.38	บ้านดอนหาน	ลำน้ำเชิญ	ขอนแก่น	16.52	102.03	50	2518	2543	0.00	
E.38A	บ้านดอนหาน	ลำน้ำเชิญ	ขอนแก่น	16.52	102.04	53	2518	2520	0.00	
E.46	บ้านชมธง	ลำน้ำยัง	กาฬสินธุ์	16.60	103.97	502	2513	2546	0.00	
E.49	บ้านกุดยาง	ลำน้ำชีส่วนที่ 2	ชัยภูมิ	15.83	101.85	265	2512	2540	0.00	
E.49A	บ้านกุดยาง	ลำน้ำชีส่วนที่ 2	ชัยภูมิ	15.81	101.86	266	2532	2536	0.00	
E.49B	บ้านลัดโพธิ์	ลำน้ำชีส่วนที่ 2	ชัยภูมิ	15.79	101.87	327	2531	2546	21.43	
E.5	บ้านโนนเปลือย	ลำน้ำชีส่วนที่ 2	ชัยภูมิ	15.77	101.81	4,207	2501	2562	92.86	
E.50	บ้านยางไก่อ	ลำน้ำชีส่วนที่ 2	ชัยภูมิ	15.83	101.87	41	2511	2514	0.00	
E.52	บ้านแก่งเขา	ลำสะทต	กาฬสินธุ์	15.83	101.87	20	2512	2512	0.00	
E.54	บ้านแก่งยาว	ลำน้ำยัง	กาฬสินธุ์	16.44	104.03	1,548	2512	2562	92.86	
E.55	บ้านนาตุ	ลำน้ำยัง	กาฬสินธุ์	16.76	104.02	58	2512	2513	0.00	
E.56	บ้านนาตุ	ลำน้ำยัง	กาฬสินธุ์	16.73	104.01	60	2512	2513	0.00	
E.57	บ้านกุดสิมคุ้มใหม่	ลำน้ำยัง	กาฬสินธุ์	16.68	104.09	103	2514	2546	10.25	

ตารางที่ 3 (ต่อ)

รหัส สถานีวัด น้ำท่า	ชื่อสถานี	ลุ่มน้ำย่อย	จังหวัด	พิกัด		พื้นที่ ลุ่มน้ำ (ตร. กม.)	ช่วงปีสถิติข้อมูล (พ.ศ.)		เปอร์เซ็นต์ของ จำนวนปีสถิติ ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2544-2558	หมายเหตุ
				ละติจูด	ลองจิจูด		เริ่มต้น	สิ้นสุด		
E.60	บ้านคอกปลากัด	ลำคันทู	ชัยภูมิ	15.49	101.56	205	2532	2540	0.00	
E.64	บ้านนากลาง	ลำพะเนียง	หนองบัวลำภู	17.32	102.09	362	2523	2556	92.86	ตั้งอยู่ในพื้นที่รับน้ำของเขื่อน อุบลรัตน์
E.65	บ้านท่าไทร	ลำปาวตอนบน	อุดรธานี	16.95	103.17	2,149	2526	2556	91.82	ตั้งอยู่ในพื้นที่รับน้ำของเขื่อน ลำปาว
E.66	บ้านท่ากลาง	ลำน้ำชีส่วนที่ 4	กาฬสินธุ์	16.22	103.62	32,190	2540	2542	0.00	
E.66A	บ้านม่วงลาด	ลำน้ำชีส่วนที่ 4	ร้อยเอ็ด	16.20	103.53	31,879	2526	2562	92.86	
E.67	บ้านท่างาม	ลำพันชาด	กาฬสินธุ์	16.95	103.49	476	2530	2546	21.43	
E.68A	บ้านตกลองโพธิ์	ลำพะเนียง	หนองบัวลำภู	17.04	102.27	1,364	2540	2556	92.86	ตั้งอยู่ในพื้นที่รับน้ำของเขื่อน อุบลรัตน์
E.6A	บ้านหัวหนองบัว	ลำน้ำชีส่วนที่ 2	ชัยภูมิ	15.92	102.04	498	2511	2515	0.00	
E.6C	บ้านตาตโตน	ลำน้ำชีส่วนที่ 2	ชัยภูมิ	15.96	102.03	378	2516	2562	92.86	ตั้งอยู่ในพื้นที่รับน้ำของเขื่อน ลำปาว
E.70	บ้านกุดกว้าง	ลำน้ำยัง	ร้อยเอ็ด	16.29	104.00	2,647	2527	2562	92.86	

ตารางที่ 3 (ต่อ)

รหัส สถานีวัด น้ำท่า	ชื่อสถานี	ลุ่มน้ำย่อย	จังหวัด	พิกัด		พื้นที่ ลุ่มน้ำ (ตร. กม.)	ช่วงปีสถิติข้อมูล (พ.ศ.)		เปอร์เซ็นต์ของ จำนวนปีสถิติ ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2544-2558	หมายเหตุ
				ละติจูด	ลองจิจูด		เริ่มต้น	สิ้นสุด		
E.72	บ้านเจียง	ลำน้ำชีตอนบน	ชัยภูมิ	16.02	101.50	323	2531	2562	92.86	
E.73	บ้านวังตะกู	ลำน้ำชีตอนบน	ชัยภูมิ	15.95	101.45	251	2531	2562	92.86	
E.75	บ้านหนองเมือง	ลำปาวตอนล่าง	กาฬสินธุ์	16.58	103.44	6,013	2531	2556	92.86	
E.76	บ้านคำพิมูล	ลำปาวตอนล่าง	กาฬสินธุ์	16.75	103.55	163	2530	2541	0.00	
E.76A	บ้านโพน	ลำปาวตอนล่าง	กาฬสินธุ์	16.86	103.60	195	2542	2556	78.57	ตั้งอยู่ในพื้นที่รับน้ำของเขื่อน ลำปาว
E.77	บ้านเทพศิลา	ลำกระเจวน	ชัยภูมิ	15.83	101.51	84	2539	2546	21.43	
E.82	บ้านท่าคู	ห้วยสามหมอก	ชัยภูมิ	16.08	102.28	1,742	2545	2548	23.45	
E.86	บ้านคำไห	ลำพันชาด	อุดรธานี	17.05	103.20	93	2548	2556	49.12	
E.87	บ้านวังหิน	ลำปาวตอนล่าง	กาฬสินธุ์	16.20	103.34	7,068	2554	2556	21.43	
E.88	บ้านดงสวรรค์	ลำน้ำชีส่วนที่ 4	กาฬสินธุ์	16.49	103.22	81	2547	2553	49.14	
E.89	บ้านหนองเหล่านาง	ลำน้ำชีส่วนที่ 4	กาฬสินธุ์	16.40	103.18	167	2547	2554	48.59	
E.89	บ้านหนองเหล่านาง	ลำน้ำชีส่วนที่ 4	กาฬสินธุ์	16.40	103.18	167	2547	2554	48.59	
E.8A	บ้านดินดำ	ลำน้ำชีส่วนที่ 4	มหาสารคาม	16.23	103.27	30,477	2549	2556	1.19	

ตารางที่ 3 (ต่อ)

รหัส สถานีวัด น้ำท่า	ชื่อสถานี	ลุ่มน้ำย่อย	จังหวัด	พิกัด		พื้นที่ ลุ่มน้ำ (ตร. กม.)	ช่วงปีสถิติข้อมูล (พ.ศ.)		เปอร์เซ็นต์ของ จำนวนปีสถิติ ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2544-2558	หมายเหตุ
				ละติจูด	ลองจิจูด		เริ่มต้น	สิ้นสุด		
E.9	บ้านโจด	ลำน้ำชีส่วนที่ 3	ขอนแก่น	16.10	102.57	10,878	2510	2562	92.86	
E.90	บ้านหนองยางเหนือ	ห้วยสังเคียบ	กาฬสินธุ์	16.46	103.38	321	2548	2554	15.68	
E.94	เขื่อนวังยาง	ลำน้ำชีส่วนที่ 3	กาฬสินธุ์	16.58	103.61	31,227	2556	2557	1.69	
E.95	ร้อยเอ็ด	ลำน้ำชีตอนล่าง	ร้อยเอ็ด	15.25	104.10	40,781	2556	2558	28.79	
E.97	ยโสธร	ลำชีตอนล่าง	ยโสธร	15.68	104.78	46,776	2556	2558	27.34	
E.98	เขื่อนหัตถอน	ลำชีตอนล่าง	อุบลราชธานี	15.87	104.25	48,254	2556	2557	1.68	

ตารางที่ 4 ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย รายปีเฉลี่ย และปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษาในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558

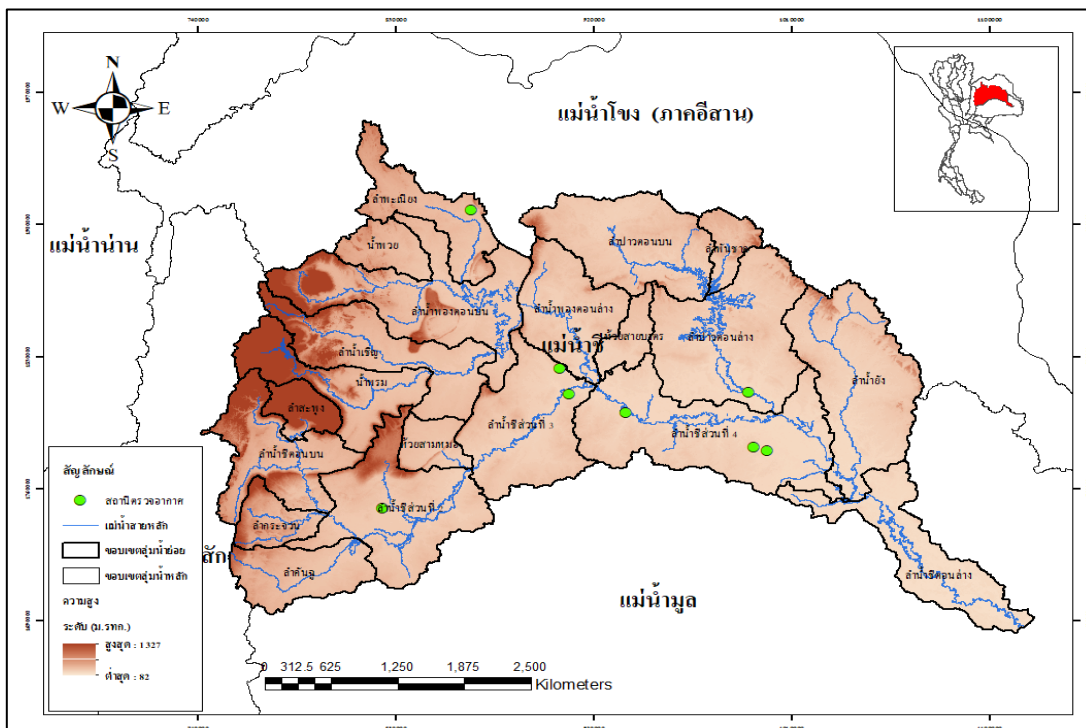
รหัสสถานี	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)														ปริมาณน้ำท่ารายปี เฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ (ลิตร/วินาที/ตร.กม.)			
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รายปี	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
E.73	251	2.0	5.0	7.6	6.4	13.8	25.8	16.4	6.0	3.8	3.1	2.2	1.8	75.0	23.9	93.9	25.3	4.7	11.9
E.72	323	1.3	2.9	4.0	5.2	10.7	23.7	12.9	4.8	2.4	2.0	1.5	1.3	59.4	16.3	72.8	16.5	4.4	7.1
E.6C	378	2.1	2.4	3.0	2.5	8.6	34.0	28.8	8.6	2.7	1.8	1.7	1.9	79.4	21.1	98.1	26.0	2.0	8.2
E.54	1,548	1.6	9.8	41.5	84.9	202.6	207.4	70.0	11.2	3.1	2.0	2.3	1.9	616.1	31.9	638.2	24.7	3.3	13.1
E.70	2,647	1.6	11.7	56.1	141.7	364.2	401.3	137.2	21.0	4.4	3.4	1.6	0.7	1112.2	44.5	1144.9	26.4	3.8	13.7
E.32A	2906	9.4	24.6	37.1	42.6	122.6	356.5	203.1	58.4	14.1	8.8	6.3	5.7	786.6	127.2	889.2	23.1	2.8	9.7
E.5	4,207	4.8	31.6	49.1	49.4	131.0	418.1	286.4	77.5	16.2	9.8	5.2	3.5	965.6	148.5	1082.5	17.4	2.6	8.2
E.23	6,282	5.7	21.3	40.2	32.8	98.4	373.5	400.6	108.5	15.8	7.3	3.7	4.6	966.9	166.8	1112.5	19.4	1.7	5.6
E.21	8,777	4.6	26.1	45.7	34.1	104.0	430.5	677.1	203.5	25.5	15.9	4.5	1.9	1317.6	282.0	1573.4	13.7	1.2	5.7
E.22B	13,685	55.8	91.0	132.4	107.6	191.9	264.4	339.7	224.0	92.1	67.8	57.8	50.7	1317.6	282.0	1675.1	11.1	0.9	3.9
E.9	10,878	3.4	21.6	39.7	23.3	90.4	361.4	729.8	311.6	33.2	4.4	1.7	2.1	1266.1	378.0	1622.5	14.0	0.8	4.7
E.66A	31,879	111.8	168.8	235.9	212.1	523.2	1058.5	1430.5	985.7	225.2	91.9	67.1	79.1	3629.1	1729.7	5189.9	12.2	1.8	5.2
E.18	41,187	160.4	225.0	323.1	395.5	947.2	1647.8	1745.6	1145.3	319.9	148.6	116.6	117.1	5284.2	2232.8	7292.0	11.5	1.3	5.6
E.20A	47,800	179.3	261.2	381.6	552.1	1432.5	2411.7	2318.8	1415.0	458.0	152.6	113.5	122.9	7357.9	2702.6	9799.3	12.7	1.7	6.5

ตารางที่ 5 ข้อมูลความลึกฝนรายเดือนเฉลี่ยและรายปีเฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558 ที่ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา

รหัสสถานี วัดน้ำท่า	ความลึกฝน (มิลลิเมตร)														
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รายปี
E.73	134.2	198.4	148.0	180.5	248.2	300.0	160.3	25.4	2.8	19.9	18.2	37.8	1,235.4	238.4	1,473.8
E.72	104.0	154.7	140.8	159.4	257.0	280.3	127.0	18.1	5.7	18.6	10.9	41.4	1,119.3	198.6	1,317.9
E.6C	105.7	150.9	104.3	130.9	220.4	303.8	170.4	11.7	1.9	19.8	3.0	31.8	1,080.7	174.0	1,254.7
E.54	46.5	204.6	190.5	327.0	417.5	277.0	82.5	3.6	1.5	12.1	4.1	8.4	1,499.0	76.1	1,575.1
E.70	39.2	192.0	180.0	327.4	441.5	340.9	91.3	4.4	1.0	8.5	3.0	8.5	1,573.1	64.6	1,637.7
E.32A	102.2	164.2	121.5	141.6	237.3	302.0	143.3	21.5	5.7	16.0	13.1	43.7	1,109.9	202.1	1,312.0
E.5	106.1	165.4	122.0	137.7	236.2	297.1	147.1	21.3	5.7	16.5	12.6	40.2	1,105.4	202.4	1,307.8
E.23	104.6	156.7	115.4	124.6	224.0	264.5	155.0	19.8	4.7	16.9	10.2	40.3	1,040.1	196.5	1,236.6
E.21	105.9	157.7	113.3	123.6	224.0	264.7	155.2	18.7	4.2	17.2	10.0	38.6	1,038.5	194.6	1,233.0
E.22B	82.1	166.9	112.2	147.8	253.1	317.2	131.9	15.5	3.6	12.9	8.4	32.5	1,129.1	155.0	1,284.1
E.9	99.7	160.7	109.5	127.0	229.4	276.4	154.4	17.3	3.7	17.3	9.3	36.4	1,057.4	183.7	1,241.1
E.66A	86.1	162.5	110.6	145.8	251.1	312.5	135.0	15.2	3.0	15.8	8.3	29.9	1,117.5	158.2	1,275.7
E.18	78.2	164.1	125.3	162.0	267.9	307.9	122.6	14.3	2.9	14.9	8.5	26.5	1,149.7	145.4	1,295.1
E.20A	73.8	164.4	128.3	176.2	282.9	311.6	119.1	14.2	2.7	14.4	7.9	25.1	1,182.5	138.2	1,320.7

1.3 ข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิงรายวันแบบกริด

ข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Reference crop evapotranspiration) แบบกริดที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากข้อมูลที่พัฒนาขึ้นภายใต้ศูนย์วิจัย SENSWAT โดยสร้างมาจากข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยารายวันจากสถานีตรวจอากาศ 103 สถานี ทั่วประเทศ เพื่อคำนวณหาค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงด้วยวิธี Penman-Monteith โดยมีข้อมูลด้านเข้า คือ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ชั่วโมงแสงแดด เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิงที่คำนวณได้มาสร้างเป็นข้อมูลแบบกริดโดยการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ที่ด้วยวิธี Inverse Distance Square (IDS) ทั้งนี้ ในการศึกษาได้พิจารณาใช้ข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิงแบบกริดในช่วงปี 2544 ถึงปี พ.ศ. 2558 โดยตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจอากาศที่อยู่ในลุ่มน้ำชี จำนวน 8 สถานีแสดงในภาพที่ 9 และข้อมูลปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิงรายวันแบบกริดรายเดือนเฉลี่ยและรายปีเฉลี่ยที่ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษาที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Zonal Statistic as Table ที่มีอยู่ในโปรแกรม Arc GIS 10 แสดงดังในตารางที่ 6



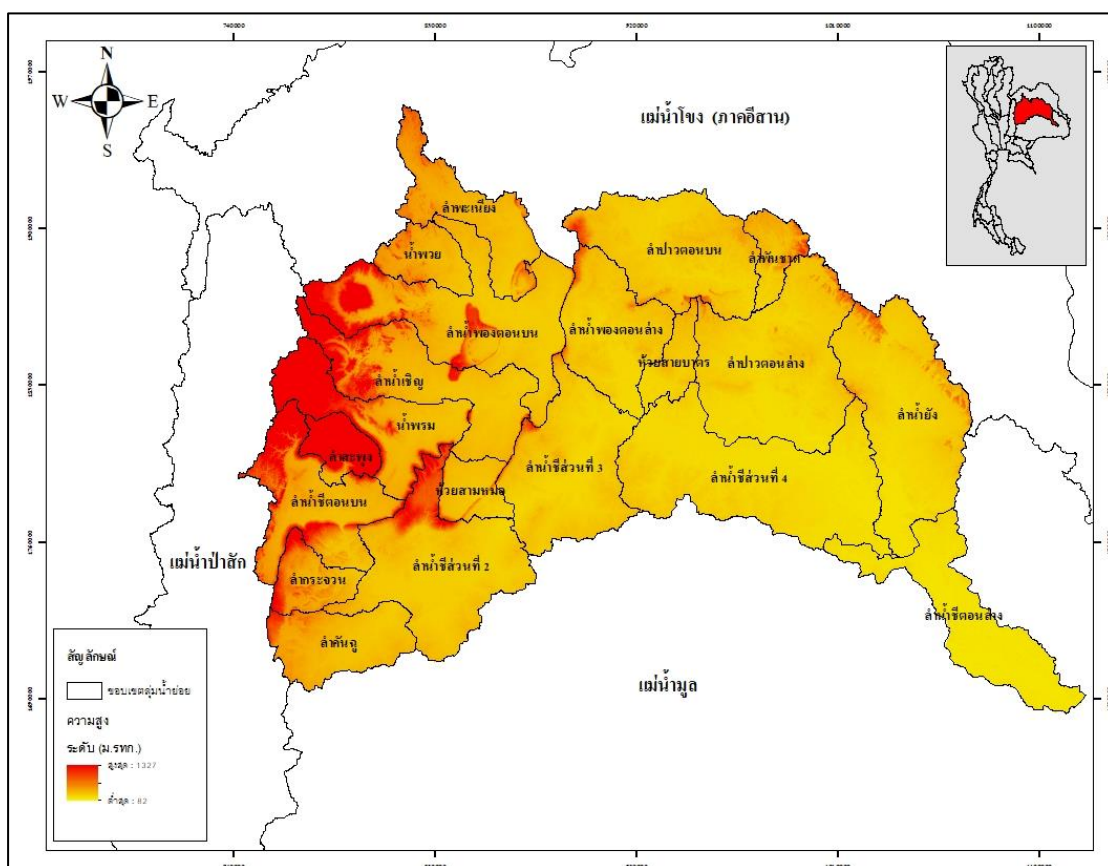
ภาพที่ 9 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจอากาศจำนวน 8 สถานี ในลุ่มน้ำชี

ตารางที่ 6 ข้อมูลปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิงรายเดือนเฉลี่ยและรายปีเฉลี่ยในระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558 ที่ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา

รหัสสถานี วัดน้ำท่า	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	ปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตร)														
		เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รายปี
E.73	251	137.8	124.4	111.4	104.5	96.6	91.7	109.4	104.1	97.9	101.8	110.2	138.4	638.0	690.3	1,328.3
E.72	323	140.6	127.3	112.6	105.0	97.7	95.4	110.2	103.6	93.8	99.5	109.1	137.1	648.3	683.7	1,332.0
E.6C	378	137.3	122.4	111.2	107.7	99.7	94.0	111.7	104.4	98.6	102.2	110.7	140.6	646.8	693.6	1,340.4
E.54	1,548	147.4	135.5	119.7	115.2	107.2	103.5	116.9	103.3	96.0	100.7	111.6	143.3	697.9	702.5	1,400.4
E.70	2,647	148.8	136.7	121.0	115.7	107.6	103.1	118.4	106.4	99.8	104.2	114.2	146.0	702.5	719.4	1,421.9
E.32A	2906	139.2	125.2	111.4	105.0	97.4	94.4	110.3	103.7	95.1	100.2	109.3	138.2	643.7	685.7	1,329.3
E.5	4,207	138.5	124.3	111.0	104.8	97.1	93.4	110.2	103.9	96.4	101.1	110.0	139.0	640.8	688.8	1,329.6
E.23	6,282	137.9	123.1	110.5	104.8	97.0	92.4	110.1	104.2	98.0	102.4	111.1	140.2	637.8	693.8	1,331.6
E.21	8,777	137.4	122.6	110.4	105.2	97.3	92.4	110.1	104.2	98.1	102.3	110.8	140.1	638.0	692.8	1,330.8
E.22B	13,685	141.7	127.8	115.6	110.0	104.6	100.1	111.2	102.1	95.1	99.6	110.7	140.4	669.2	689.5	1,358.7
E.9	10,878	137.5	122.8	110.8	105.9	98.1	93.0	110.5	104.2	98.2	102.2	110.8	140.1	641.1	693.0	1,334.2
E.66A	31,879	140.7	127.0	115.2	109.9	103.2	97.9	112.2	104.1	97.7	101.9	111.6	141.1	665.4	697.2	1,362.6
E.18	41,187	142.7	129.0	116.5	111.3	104.3	99.0	113.7	105.1	98.7	102.9	112.7	142.8	673.8	704.8	1,378.6
E.20A	47,800	143.6	130.4	117.7	112.3	105.2	99.6	114.5	105.7	99.4	103.6	113.2	143.4	679.7	708.9	1,388.6

1.4 ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM)

ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขถูกนำมาใช้ในการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำชีจำนวน 14 สถานี เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในการประเมินน้ำท่าระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2544-2558 โดยในการศึกษานี้ใช้ผลิตภัณฑ์ SRTM-30 ของหน่วยงาน The U.S. Geological Survey's (USGS) ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ SRTM-30 มีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) เท่ากับ 30 เมตร โดยระดับความสูงของลุ่มน้ำชีแสดงดังในภาพที่ 10 โดยระดับความสูงที่สุดอยู่ที่ 1,327 ม.รทก. ในบริเวณลุ่มน้ำย่อยลำสะพุงและระดับต่ำสุด 82 ม.รทก. ในบริเวณลุ่มน้ำย่อยลำน้ำชีตอนล่าง



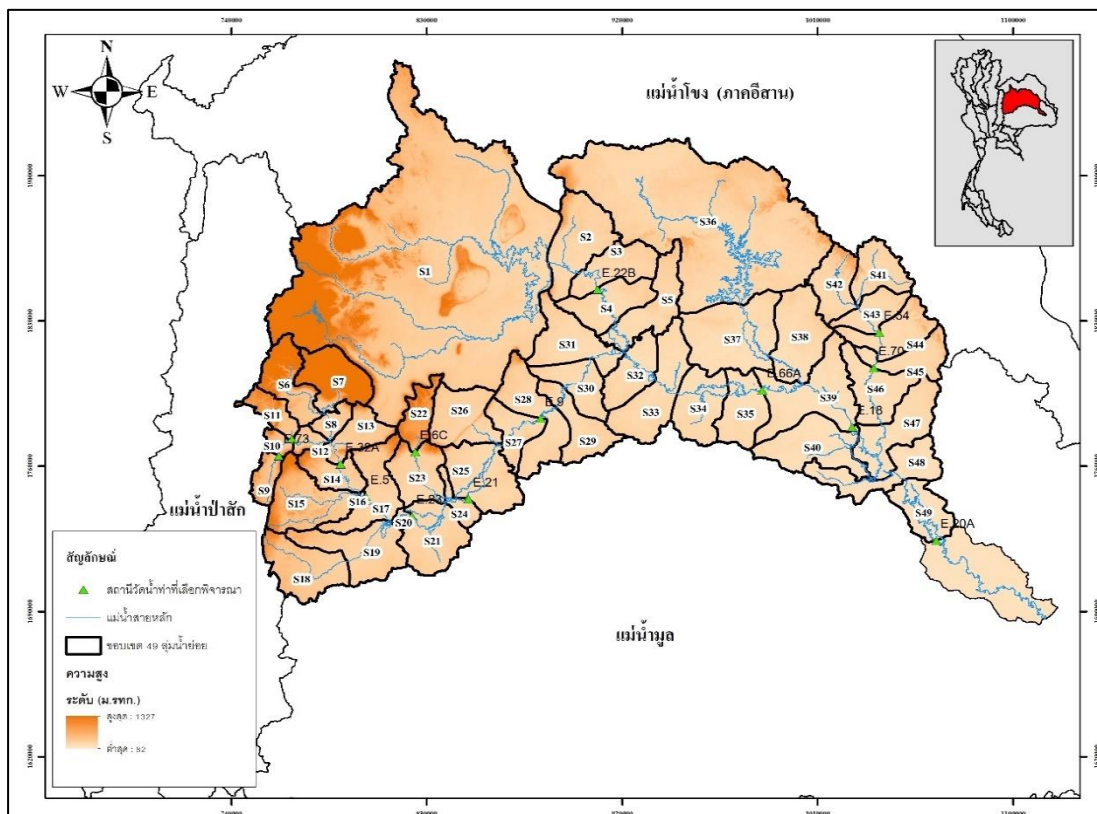
ภาพที่ 10 ระดับความสูงของแต่ละลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำชี

2. การแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่เลือกใช้เพื่อการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของจำนวนลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำที่มีต่อความถูกต้องของการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ดังนั้นจึงได้ดำเนินการแบ่งลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่า E.20A ที่ทำการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ออกเป็น 2 กรณี คือ 1) จำนวนลุ่มน้ำย่อยเท่ากับ 49 ลุ่มน้ำย่อย และ 2) จำนวนลุ่มน้ำย่อยเท่ากับ 98 ลุ่มน้ำย่อย

กรณีที่ 1 : จำนวนลุ่มน้ำย่อยเท่ากับ 49 ลุ่มน้ำย่อย

การแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่า E.20A แบ่งออกเป็น 49 ลุ่มน้ำย่อย แสดงดังในภาพที่ 11 สำหรับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความยาวลำน้ำจากจุดไกลสุดบนสันปันน้ำจนถึงจุดออกที่เป็นความยาวลำน้ำสายหลักของแต่ละลุ่มน้ำย่อยแสดงดังในตารางที่ 7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำของลุ่มน้ำย่อย S.1 และ S.36 มีขนาดใหญ่กว่าลุ่มน้ำอื่น ๆ โดยมีค่าเท่ากับ 12,057.52 และ 6,019.57 ตารางกิโลเมตร ทั้งนี้เนื่องจากจุดออกของลุ่มน้ำย่อยทั้งสองเป็นที่ตั้งของเขื่อนอุบลรัตน์และเขื่อนลำปาวตามลำดับ ในขณะที่ลุ่มน้ำย่อยที่เหลือมีขนาดระหว่าง 20.53 ถึง 1352.60 ตารางกิโลเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 631.16 ตารางกิโลเมตร ส่วนความยาวลำน้ำสายหลักของพื้นที่ลุ่มน้ำมีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 44.09 กิโลเมตร โดยมีความยาวที่สั้นที่สุดเท่ากับ 4.80 กิโลเมตร และยาวที่สุดเท่ากับ 96.91 กิโลเมตร นอกจากนั้นแล้ว ในกรณีที่ท้ายน้ำของลุ่มน้ำย่อยใดมีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ก็ได้แสดงรหัสของสถานีวัดน้ำท่าเหล่านั้นประกอบ



ภาพที่ 11 การแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยออกเป็น 49 ลุ่มน้ำย่อย

ตารางที่ 7 ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความยาวลำน้ำสายหลักของ 49 ลุ่มน้ำย่อย

รหัสลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	จุดออก	ความยาวลำน้ำจากสันปันน้ำถึงจุดออก (กม.)
S1	12057.52	เขื่อนอุบลรัตน์	317.68
S2	973.44		22.44
S3	628.06	E.22B	30.32
S4	651.61		40.06
S5	740.75		40.33
S6	650.88		86.21
S7	742.31		72.26
S8	198.57		26.54
S9	251.62	E.73	38.17
S10	127.78		14.27

ตารางที่ 7 (ต่อ)

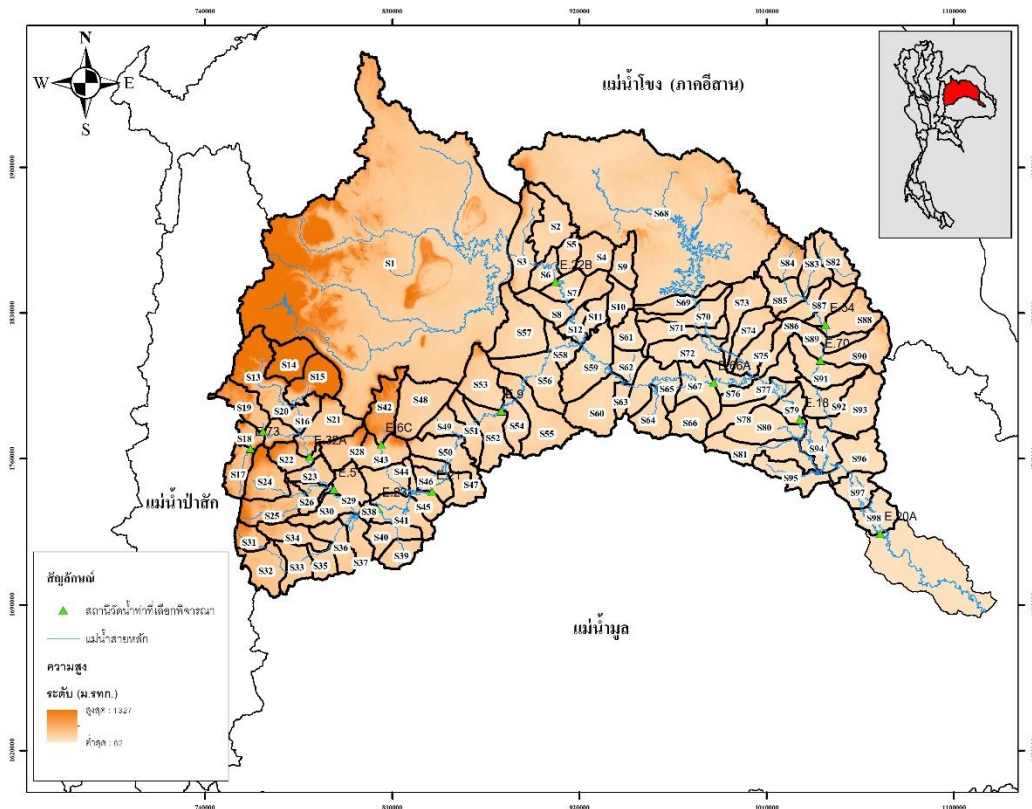
รหัสลุ่ม น้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	จุดออก	ความยาวลำนํ้าจากสันปันน้ำ ถึงจุดออก (กม.)
S11	306.63	E.72	59.52
S12	149.16		31.01
S13	450.39	E.32A	17.16
S14	415.77		36.53
S15	893.69		83.72
S16	20.53	E.5	4.80
S17	795.10		34.30
S18	845.11		96.91
S19	887.54		67.72
S20	56.93	E.23	22.00
S21	827.27		60.26
S22	380.75	E.6C	64.77
S23	625.18		59.56
S24	201.13	E.21	21.13
S25	909.01		62.53
S26	764.89		59.99
S27	438.40	E.9	50.24
S28	895.91		23.59
S29	591.09		25.76
S30	535.57		36.94
S31	815.27		30.95
S32	578.46		34.60
S33	995.72		20.19
S34	720.26		40.86
S35	656.37	E.66A	40.46
S36	6019.57	เขื่อนลำปาว	460.00
S37	1352.60		58.13
S38	935.46		40.92
S39	1211.90	E.18	90.10
S40	929.80		54.51
S41	536.00		60.08

ตารางที่ 7 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	จุดออก	ความยาวลำน้ำจากสันปันน้ำถึงจุดออก (กม.)
S42	567.87		60.85
S43	419.79	E.54	23.25
S44	628.20		17.23
S45	477.94	E.70	9.44
S46	700.09		47.48
S47	874.41		65.15
S48	754.12		21.09
S49	555.01	E.20A	68.12

กรณีที่ 2 : จำนวนลุ่มน้ำย่อยเท่ากับ 98 ลุ่มน้ำย่อย

การแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่า E.20A แบ่งออกเป็น 98 ลุ่มน้ำย่อย แสดงดังในภาพที่ 12 สำหรับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความยาวลำน้ำจากจุดไกลสุดบนสันปันน้ำจนถึงจุดออกที่เป็นความยาวลำน้ำสายหลักของแต่ละลุ่มน้ำย่อยแสดงดังในตารางที่ 8 โดยขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยมีขนาดระหว่าง 20.53 ถึง 650.88 ตารางกิโลเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 305.09 ตารางกิโลเมตร ส่วนความยาวลำน้ำสายหลักของพื้นที่ลุ่มน้ำมีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 27.90 กิโลเมตร โดยมีความยาวที่สั้นที่สุดเท่ากับ 4.80 กิโลเมตร และยาวที่สุดเท่ากับ 86.21 กิโลเมตร นอกจากนั้นแล้ว ในกรณีที่ท้ายน้ำของลุ่มน้ำย่อยใดมีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ก็ได้แสดงรหัสของสถานีวัดน้ำท่าเหล่านั้นประกอบ



ภาพที่ 12 การแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยออกเป็น 98 ลุ่มน้ำย่อย

ตารางที่ 8 ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความยาวลำน้ำสายหลักของ 98 ลุ่มน้ำย่อย

รหัสลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	จุดออก	ความยาวลำน้ำจากต้นบ้นน้ำถึงจุดออก (กม.)
S1	12057.52	เขื่อนอุบลรัตน์	317.68
S2	478.66		74.61
S3	494.79		22.44
S4	285.15		24.50
S5	157.40		19.49
S6	185.51	E.22B	30.32
S7	200.21		25.13
S8	451.40		14.82
S9	226.69		33.68
S10	212.00		21.59

ตารางที่ 8 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	จุดออก	ความยาวลำน้ำจากสันปันน้ำถึงจุดออก (กม.)
S11	149.78		18.64
S12	152.28		40.33
S13	650.88		86.21
S14	336.43		42.20
S15	405.88		29.48
S16	198.57		26.54
S17	251.62	E.73	38.17
S18	127.78		14.27
S19	306.63	E.72	59.52
S20	149.16		31.01
S21	450.39	E.32A	17.16
S22	225.80		10.60
S23	189.96		25.70
S24	382.64		47.25
S25	377.05		12.95
S27	20.53	E.5	4.80
S28	256.85		33.54
S29	237.31		20.80
S30	280.40		34.30
S31	164.52		32.87
S32	372.43		29.88
S33	264.06		29.13
S34	257.01		65.73
S35	169.59		21.95
S36	281.47		15.29
S37	223.57		35.45
S38	56.93	E.23	22.00
S39	203.39		13.44
S40	255.52		14.77
S41	368.36		60.26
S42	380.75	E.6C	64.77

ตารางที่ 8 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	จุดออก	ความยาวลำน้ำจากสันปันน้ำถึงจุดออก (กม.)
S43	333.07		25.35
S44	292.11		34.06
S45	201.13	E.21	21.13
S46	199.93		23.38
S47	316.36		8.53
S48	560.00		30.40
S49	204.89		28.47
S50	392.72		30.40
S51	255.68		22.89
S52	393.53	E.9	26.54
S53	429.32		48.46
S54	255.78		21.44
S55	591.09		25.76
S56	535.57		36.94
S57	606.70		55.98
S58	208.58		30.95
S59	588.43		46.37
S60	475.48		25.95
S61	204.81		22.38
S62	197.51		25.21
S63	107.94		8.56
S64	278.35		37.70
S65	441.91		40.86
S66	306.94		27.56
S67	349.43	E.66A	69.37
S68	6019.57	เขื่อนลำปาว	329.92
S69	265.79		7.21
S70	0.00	S70	15.94
S71	337.66		5.42
S72	423.28		28.93
S73	381.16		9.53

ตารางที่ 8 (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	จุดออก	ความยาวลำน้ำจากสันปันน้ำถึงจุดออก (กม.)
S74	280.83		9.65
S75	273.47		21.72
S76	339.60		53.62
S77	364.86		8.48
S78	325.92		11.95
S79	181.52	E.18	16.01
S80	421.21		22.02
S81	468.37		32.47
S82	300.69		25.92
S83	235.31		34.16
S84	285.50		30.04
S85	282.36		30.79
S86	186.74		11.60
S87	233.05	E.54	11.64
S88	380.46		8.55
S89	247.74		8.67
S90	477.94	E.70	9.44
S91	394.91		20.31
S92	305.18		27.15
S93	537.08		14.18
S94	337.33		50.91
S95	327.57		4.85
S96	426.54		16.13
S97	269.93		35.55
S98	295.57	E.20A	32.49

3. การคำนวณปริมาณความลึกฝนและปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิงแบบรายวันเชิงพื้นที่แต่ละลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา ในช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เพื่อการประเมินน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณานั้น ต้องใช้ข้อมูลความลึกฝนและปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิงรายวันเชิงพื้นที่ ในช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2544 ถึง ปี พ.ศ. 2558 เป็นข้อมูลด้านเข้าให้กับแบบจำลอง โดยทำการประเมินความลึกฝนรายวันและปริมาณการคายระเหยของพืชอ้างอิงรายวันเชิงพื้นที่ในช่วงเวลาดังกล่าวด้วยเครื่องมือ Zonal Statistic as Table ที่มีอยู่ในโปรแกรม ArcGIS 10

4. การวิเคราะห์ดัชนี NDII (Normalized Different Infrared Index) เพื่อนำมาเป็นข้อมูลด้านเข้าของแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII

ในการศึกษานี้ได้นำค่าดัชนี NDII (Normalized Different Infrared Index) ที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลชุดผลิตภัณฑ์ MOD09A1 ซึ่งดัชนี NDII มีการคำนวณโดยใช้ค่าการสะท้อนกลับจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near infrared, NIR) และช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น (Shortwave infrared, SWIR) ตามสมการที่ (26) โดยข้อมูลภาพมีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) เท่ากับ 500 เมตร และมีความละเอียดเชิงเวลา (Temporal Resolution) เท่ากับ 8 วัน ทั้งนี้ข้อมูลของผลิตภัณฑ์ MOD09A1 ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้คือ ข้อมูล NIR Band และ SWIR Band ซึ่งมีความยาวคลื่นที่ศูนย์กลางเท่ากับ 859 และ 1,640 นาโนเมตร ตามลำดับ ในช่วงเวลาระหว่าง ปี พ.ศ. 2545-2561 ที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย เพื่อนำมาเป็นข้อมูลด้านเข้าให้กับแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII

$$NDII = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (26)$$

5. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง FLEXL โดยการสอบเทียบแบบจำลองแบบอัตโนมัติด้วยโปรแกรม MOSCEM

แบบจำลอง FLEXL เป็นแบบจำลองประเภทลัมพ์ซึ่งจะให้ผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าที่ทำการสอบเทียบแบบจำลอง โดยในการศึกษานี้ได้ทำการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL ที่สถานีวัดน้ำท่าจำนวน 14 สถานี ซึ่งประกอบด้วยสถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72, E.32A, E.5, E.23, E.6C, E.21, E.22B, E.9, E.66C, E.18, E.54 E.70 และ E.20A ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558 โดย

ผลการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง FLEXL จะนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ทั้งนี้ การสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL จะให้ผลค่า KGE เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการสอบเทียบแบบจำลองซึ่งประกอบด้วย 3 ฟังก์ชันคือ 1) KGE_E 2) KGE_{LF} และ 3) KGE_{FDC} ทั้งนี้ค่า KGE นั้นมีหลายฟังก์ชันซึ่งอาจเกิดความยุ่งยากในการนำมาเป็นดัชนีที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง ดังนั้น ในการศึกษาจึงนำดัชนี NSE มาใช้ในการเปรียบเทียบจำลอง

6. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII โดยการสอบเทียบแบบจำลองแบบอัตโนมัติด้วยโปรแกรม MOSCEM

แบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เป็นแบบจำลองประเภทกึ่งกระจายตัวซึ่งจะให้ผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าที่ทำการสอบเทียบแบบจำลองและผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือน้ำที่เป็นผลพลอยได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง โดยในการศึกษานี้ได้ทำการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ในช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2544-2558 โดยผลการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII จะนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง รวมทั้งเปรียบเทียบกับผลการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง FLEXL ทั้งนี้ การสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII จะให้ผลค่า KGE เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการสอบเทียบแบบจำลองซึ่งประกอบด้วย 3 ฟังก์ชันคือ 1) KGE_E 2) KGE_{LF} และ 3) KGE_{FDC} ทั้งนี้ค่า KGE นั้นมีหลายฟังก์ชันซึ่งอาจเกิดความยุ่งยากในการนำมาเป็นดัชนีที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง ดังนั้น ในการศึกษาจึงนำดัชนี NSE มาใช้ในการเปรียบเทียบจำลอง

7. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี NDII (Normalized Different Infrared Index) กับความชื้นในดิน (S_p) ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณา

ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี NDII กับความชื้นในดิน (S_p) ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณาโดยใช้ดัชนี NSE ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ อย่างไรก็ตาม ดัชนี NDII และความชื้นในดิน (S_p) มีหน่วยที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงต้องปรับหน่วยให้เหมือนกันโดยปรับหน่วยของค่าดัชนี NDII ให้มีหน่วยเหมือนกับค่าความชื้นในดิน (S_p) ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ด้วยวิธี Linear Scaling ดังแสดงในสมการที่ (27)

$$Y_i = \left(\frac{X_i - X_{avg}}{SD_X} \right) SD_Y + Y_{avg} \quad (27)$$

โดยที่ X_{avg}, SD_X คือ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของดัชนี NDII
 Y_{avg}, SD_Y คือ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความชื้นในดินที่ได้จาก
แบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII

ผลและวิจารณ์

การศึกษางานวิจัยเรื่อง “การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เพื่อการประเมินน้ำท่าในกลุ่มน้ำชี” สามารถสรุปผลการศึกษาได้ 2 หัวข้อดังนี้

1. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา รวมถึงการเปรียบเทียบจำนวนลุ่มน้ำย่อยที่มีผลต่อความถูกต้องของการประเมินน้ำท่า

2. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี NDII (Normalized Different Infrared Index) กับความชื้นในดิน (S_u) ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา

สำหรับรายละเอียดในแต่ละหัวข้อแสดงได้ดังต่อไปนี้

1. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา รวมถึงการเปรียบเทียบจำนวนลุ่มน้ำย่อยที่มีผลต่อความถูกต้องของการประเมินน้ำท่า

ในการศึกษานี้ได้ดำเนินการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา ทั้งนี้ ในการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL จะทำการสอบเทียบแบบจำลองในช่วงเวลาระหว่าง ปี พ.ศ. 2544-2558 ที่ทุกสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษาซึ่งมีทั้งหมด 14 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.22B, E.73, E.72, E.32A, E.5, E.6C, E.23, E.21, E.9, E.66A, E.18, E.54, E.70 และ E.20A และดำเนินการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในช่วงเวลาระหว่าง ปี พ.ศ. 2544-2558 ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ซึ่งให้ผลพลอยได้ของสถานีวัดน้ำท่าทางด้านเหนือจำนวน 13 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.22B, E.73, E.72, E.32A, E.5, E.6C, E.23, E.21, E.9, E.66A, E.18, E.54 และ E.70

ดังนั้น ผลการศึกษาในส่วนนี้จะแยกอธิบายเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A และ กรณีที่ 2 เปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL ที่สถานีวัดน้ำท่าอีก 13 สถานี ที่เหลือกับผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A และให้ผลพลอยได้คือกราฟน้ำท่าในอีก 13 สถานีวัดน้ำท่าที่เหลือ

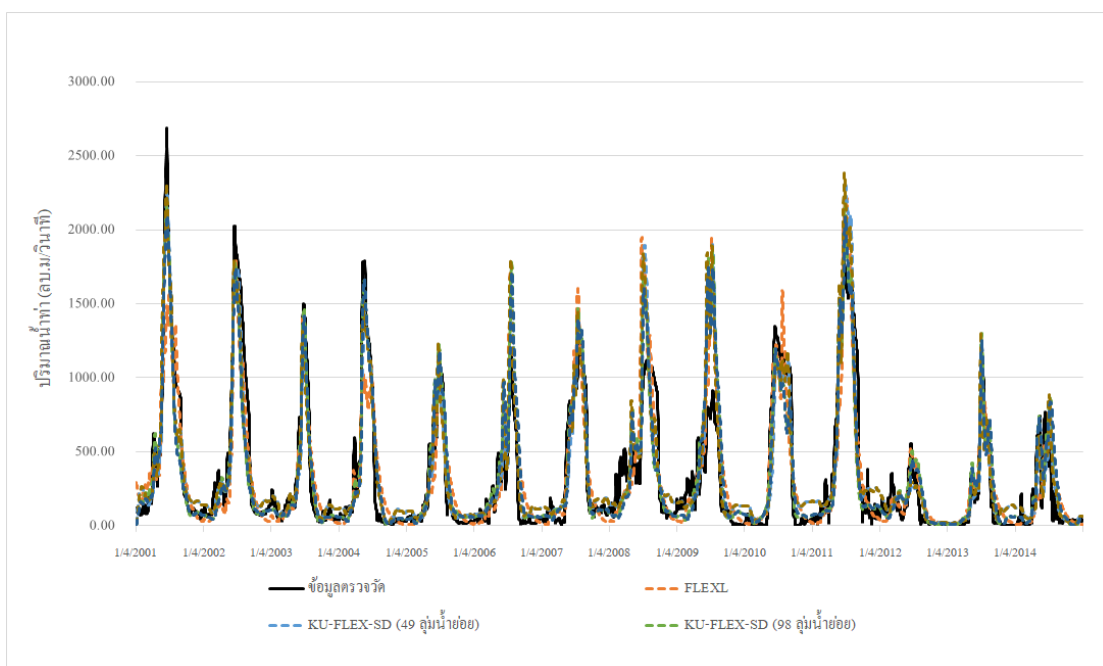
กรณีที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A

ผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A แสดงดังในภาพที่ 13 และผลการเปรียบเทียบกราฟท่าสะสมที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII และจากการตรวจวัด แสดงดังในภาพที่ 14 และเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจจึงได้แสดงค่าของดัชนี NSE เพื่อแสดงการเปรียบเทียบผลการสอบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ดังในตารางที่ 9 ทั้งนี้ ค่าของชุดพารามิเตอร์ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่ทำการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A แสดงดังในตารางที่ 10 อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้ได้แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่า E.20A ออกเป็น 2 กรณี คือ 1) จำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย และ 2) จำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย โดยจากตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนี NSE ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย มีค่าเท่ากับ 0.79, 0.81 และ 0.82 ตามลำดับ โดยมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าดัชนี NSE ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย มีค่าเท่ากับ 0.79, 0.81 และ 0.81 ตามลำดับ โดยมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

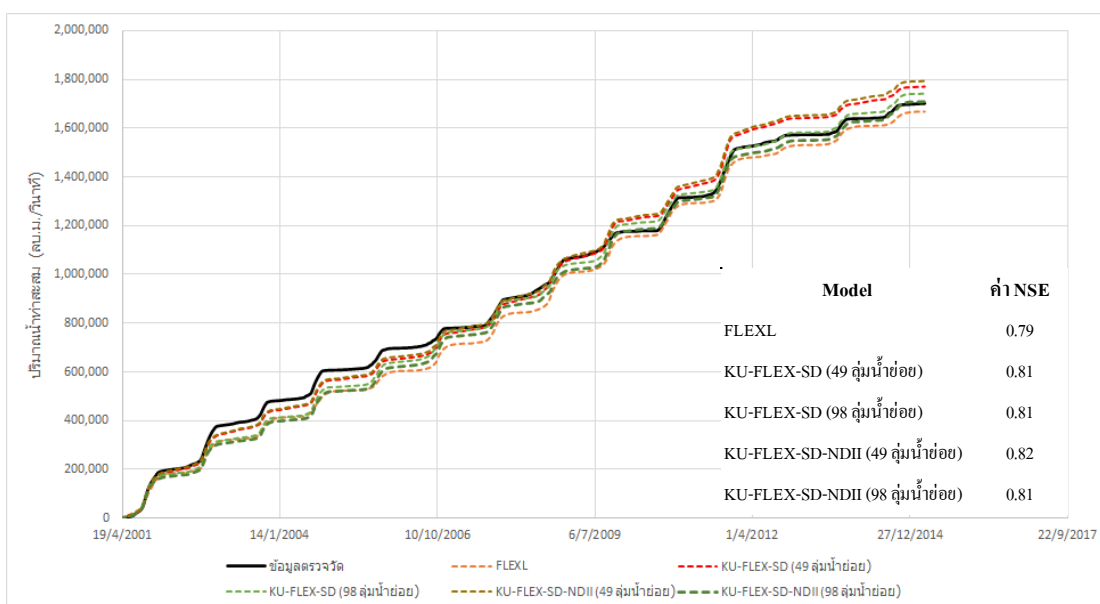
สำหรับในส่วนของกราฟน้ำท่าสะสมที่แสดงดังในภาพที่ 14 โดยแสดงให้เห็นว่ากราฟน้ำท่าสะสมที่ได้จากทั้ง 3 แบบจำลอง สำหรับในกรณีที่มีจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย และ 98 ลุ่มน้ำย่อย มีความใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้จากภาพที่ 14 แสดงให้เห็นว่าผลการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำ ให้ผลการประเมินน้ำท่ามากกว่า

ปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด ในขณะที่ผลการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL และแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำ ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่น้อยกว่าปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด

จากผลการเปรียบเทียบดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง มีความสามารถในการสอบเทียบแบบจำลองที่ใกล้เคียงกัน รวมถึงจำนวนลุ่มน้ำไม่มีผลต่อความถูกต้องในการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง



ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A



ภาพที่ 14 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าสะสมที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับกราฟน้ำท่าสะสมที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่ทำการสอบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลอง FLEXL	แบบจำลอง KU-FLEX-SD					แบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII				
			49 กลุ่มน้ำย่อย		98 กลุ่มน้ำย่อย		ความแตกต่าง (%)	49 กลุ่มน้ำย่อย		98 กลุ่มน้ำย่อย		ความแตกต่าง (%)
E.20A	47,800	0.79	0.81	(2.39%)	0.81	(2.81%)	-0.43	0.82	(3.50%)	0.81	(2.50%)	1.03

- หมายเหตุ 1) ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ความแตกต่าง (%) ของค่า NSE ของแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เทียบกับกับ FLEXL
 2) ความแตกต่าง (%) ที่หัวตาราง หมายถึง ความแตกต่าง (%) ของค่า NSE ระหว่างจำนวนกลุ่มน้ำย่อย 98 กลุ่มน้ำย่อย เทียบกับ 49 กลุ่มน้ำย่อย

ตารางที่ 10 ค่าของชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่ได้จากการสอบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลอง	I_{max} (mm)	$S_{u,max}$ (mm)	Ce	Beta	D	K_f	K_s	T_{lagF} (hr)	T_{lagS} (hr)	$S_{f,max}$ (mm)	K_{ff}	K	x
E.20A	47,721	FLEXL	4.29	673.80	0.79	0.53	0.09	0.74	34.54	1.26	68.11	13.38	0.61	-	-
		KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	7.44	61.46	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	4.18	317.46	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	6.02	32.48	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	3.60	17.17	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.66	315.86	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	4.31	38.01	10.35	0.48	1.45	0.23

กรณีที่ 2 การเปรียบเทียบการประเมินน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL ที่สถานีวัดน้ำท่าอีก 13 สถานี กับผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A และให้ผลพลอยได้คือกราฟน้ำท่าในอีก 13 สถานีวัดน้ำท่า

ผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่าและผลการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าสะสมที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับกราฟน้ำท่าสะสมจากการตรวจวัดทั้ง 13 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.22B, E.73, E.72, E.32A, E.5, E.6C, E.23, E.21, E.9, E.66A, E.18, E.54 และ E.70 แสดงดังในภาพที่ 15 ถึง ภาพที่ 27 ทั้งนี้ ค่าของดัชนี NSE ที่แสดงการเปรียบเทียบผลการสอบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่ทำการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A สำหรับสถานีวัดน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จำนวน 13 สถานี กับผลการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL สำหรับทุกสถานี แสดงดังในตารางที่ 11 ทั้งนี้ ค่าของชุดพารามิเตอร์ของสถานีวัดน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A และจากการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL ในทุกสถานี แสดงดังในตารางที่ 12 อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาได้แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่า E.20A ออกเป็น 2 กรณี คือ 1) จำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย และ 2) จำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย ดังนั้นในการเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าของแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII สำหรับสถานีวัดน้ำท่าที่เหลือจึงต้องแยกอธิบายในแต่ละกรณีดังนี้

1. จำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย

ตารางที่ 11 แสดงให้เห็นว่าค่า NSE ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL ให้ค่าสูงกว่าการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD ใน 9 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72, E.32A, E.5, E.23, E.6C, E.21, E.54 และ E.70 โดยให้ค่า NSE สูงกว่าเท่ากับ 36.61%, 35.16%, 40.62%, 32.98%, 11.09%, 31.92%, 10.20%, 33.55% และ 25.95% ตามลำดับ ซึ่งสถานีเหล่านี้มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเท่ากับ 251, 323, 2,906, 4,207, 6,282, 378, 8,777, 1,548 และ 2,647 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ค่า NSE ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD ให้ค่าสูงกว่าการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL ใน 4 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.22B, E.9, E.66A และ E.18 โดยให้ค่า NSE สูงกว่าเท่ากับ 3.21%, 1.11%, 5.35% และ 0.72% ตามลำดับ และมีขนาดพื้นที่เท่า 13,659,

10,878, 31,879 และ 41,187 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ ค่า NSE ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL ให้ค่า NSE สูงกว่าการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII ใน 10 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72, E.32A, E.5, E.23, E.6C, E.21, E.9, E.54 และ E.70 โดยให้ค่า NSE สูงกว่าเท่ากับ 31.08%, 40.22%, 60.85%, 38.68%, 11.11%, 54.08%, 13.23%, 4.31%, 36.52% และ 23.16% ตามลำดับ ซึ่งสถานีเหล่านี้มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเท่ากับ 251, 323, 2,906, 4,207, 6,282, 378, 8,777, 10,878, 1,548 และ 2,647 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่แบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII ให้ค่า NSE สูงกว่าแบบจำลอง FLEXL ใน 3 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.22B, E.66A และ E.18 โดยให้ค่า NSE สูงกว่าเท่ากับ 3.23%, 4.00% และ 1.93% ตามลำดับ และมีขนาดพื้นที่ท่า 13,659, 31,879 และ 41,187 ตารางกิโลเมตร

2. จำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย

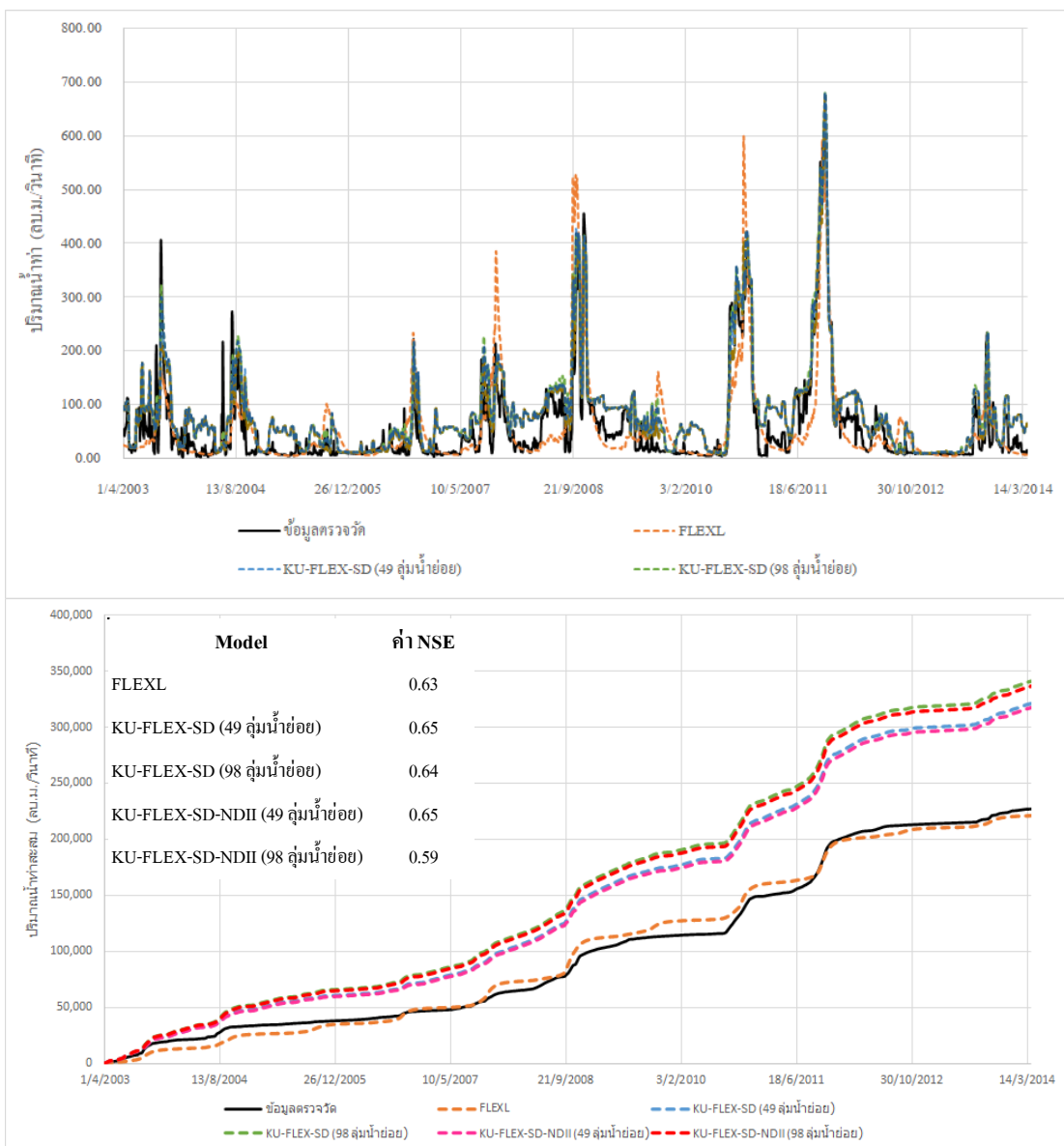
ตารางที่ 11 แสดงให้เห็นว่าค่า NSE ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL ให้ค่า NSE สูงกว่าแบบจำลอง KU-FLEX-SD ใน 8 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72, E.32A, E.5, E.6C, E.66A, E.54 และ E.70 โดยให้ค่า NSE สูงกว่าเท่ากับ 17.34%, 13.08%, 13.47%, 4.94%, 0.01%, 6.91%, 26.56% และ 20.90% ตามลำดับ ซึ่งสถานีเหล่านี้มีขนาดเท่ากับ 251, 323, 2,906, 4,207, 378, 31,879, 1,548 และ 2,647 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่แบบจำลอง KU-FLEX-SD ให้ค่า NSE สูงกว่าแบบจำลอง FLEXL ใน 5 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.22B, E.23, E.21, E.9 และ E.18 โดยให้ค่า NSE สูงกว่าเท่ากับ 1.62%, 9.34%, 11.21%, 8.39% และ 2.22% ตามลำดับ และมีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเท่ากับ 13,659, 6,282, 8,777, 10,878 และ 41,187 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ ค่า NSE ที่ได้จากแบบจำลอง ค่า NSE ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL ให้ค่า NSE สูงกว่าแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII ใน 8 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72, E.32A, E.5, E.6C, E.66A, E.54 และ E.70 โดยให้ค่า NSE สูงกว่าเท่ากับ 27.97%, 20.83%, 35.67%, 18.06%, 18.30%, 9.77%, 31.45% และ 23.87% ตามลำดับ ซึ่งสถานีเหล่านี้มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเท่ากับ 251, 323, 2,906, 4,207, 378, 31,879, 1,548 และ 2,647 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ในขณะที่แบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII ให้ค่า NSE สูงกว่าแบบจำลอง FLEXL ใน 5 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.22B, E.23, E.21, E.9 และ E.18 โดยให้ค่า NSE สูงกว่าเท่ากับ 5.77%, 4.87%, 10.27%, 12.22% และ 1.71% ตามลำดับ และมีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเท่ากับ 13,659, 6,282, 8,777, 10,878 และ 41,187 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบดังกล่าวจะเห็นว่าในภาพรวมของผลการสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL นั้นพบว่าให้ผลการประเมินน้ำท่าที่ดีกว่าแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ทั้งในกรณีที่มีจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย และ 98 ลุ่มน้ำย่อยสำหรับสถานีวัดน้ำท่าที่มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำไม่เกิน 10,878 ตารางกิโลเมตร

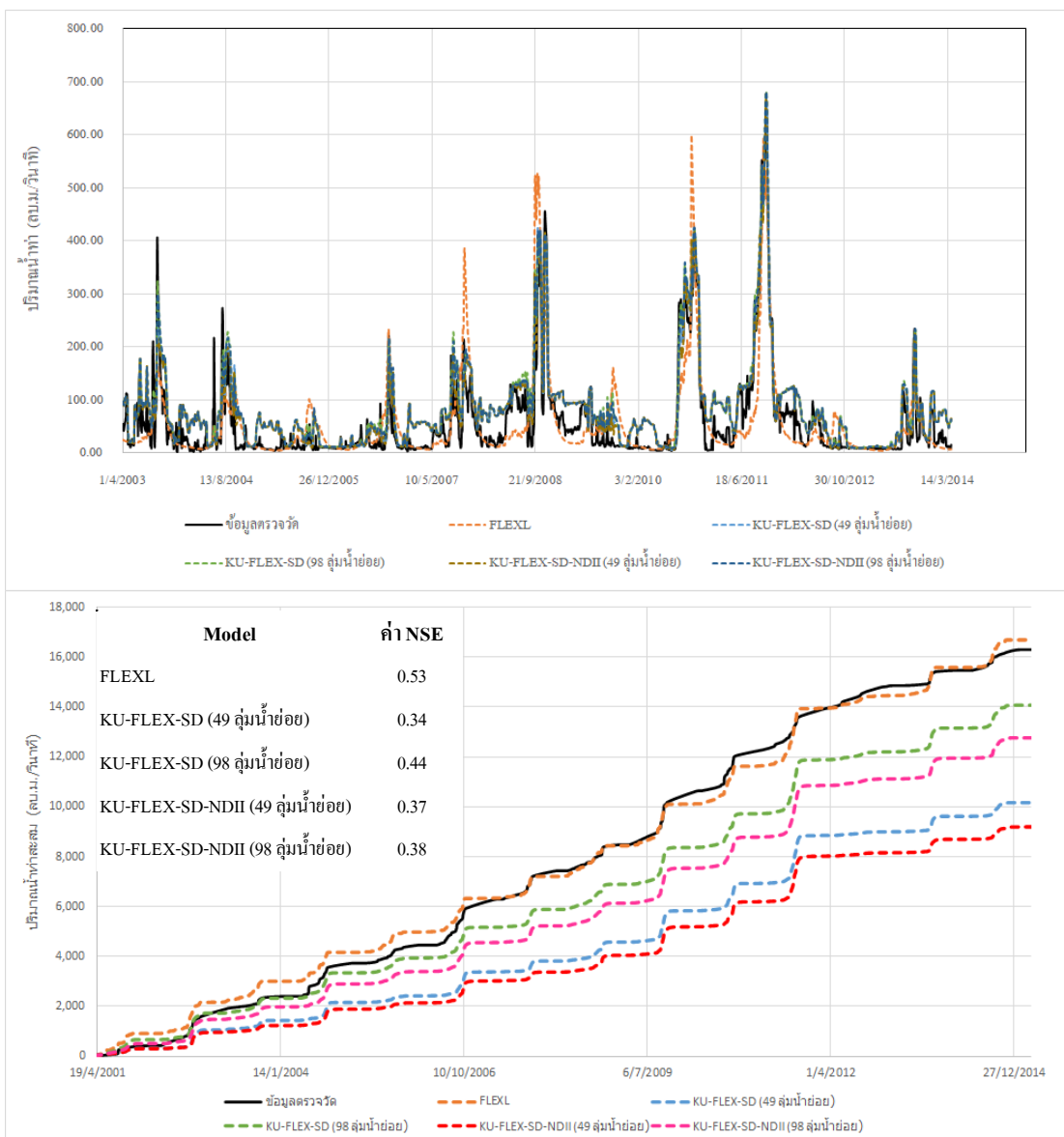
ทั้งนี้ จากตารางที่ 11 พบว่าค่า NSE ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย ให้ค่าสูงกว่าจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย ใน 11 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72, E.32A, E.5, E.23, E.6C, E.21, E.9, E.18, E.54 และ E.70 โดยให้ค่า NSE สูงกว่าเท่ากับ 23.32%, 25.41%, 31.38%, 29.50%, 18.69%, 31.92%, 19.26%, 6.72%, 1.46%, 9.53% และ 6.38% ตามลำดับ ในขณะที่ค่า NSE ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย ให้ค่าสูงกว่าจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อยใน 2 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.22B และ E.66A โดยให้ค่า NSE มากกว่าเท่ากับ 1.56% และ 13.19% นอกจากนี้ ค่า NSE ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย ให้ค่าสูงกว่าจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อยใน 9 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72, E.32A, E.5, E.23, E.6C, E.21, E.9, และ E.54 โดยให้ค่า NSE สูงกว่าเท่ากับ 4.32%, 24.49%, 39.14%, 25.17%, 15.25%, 43.79%, 21.32% และ 7.40% ตามลำดับ ในขณะที่ค่า NSE ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย ให้ค่าสูงกว่าจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อยใน 4 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.22B, E.66A, E.18 และ E.70 โดยให้ค่า NSE สูงกว่าเท่ากับ 9.55%, 15.27%, 0.22% และ 0.93% ตามลำดับ สำหรับผลของค่า KGE ที่เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII แสดงดังในตารางที่ ข1 ในภาคผนวก ข

สำหรับในส่วนของกราฟน้ำท่าสะสมที่แสดงดังในภาพที่ 15 ถึงภาพที่ 27 แสดงให้เห็นว่า ผลการประเมินน้ำท่าสำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดมากกว่าจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ใน 8 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72, E.32A, E.5, E.6C, E.23, E.21 และ E.9 E.22B, E.66A, E.18, E.54 และ E.70 ในขณะที่ผลการประเมินน้ำท่าสำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดมากกว่าจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ใน 5 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.22B, E.66A, E.18, E.54 และ E.70

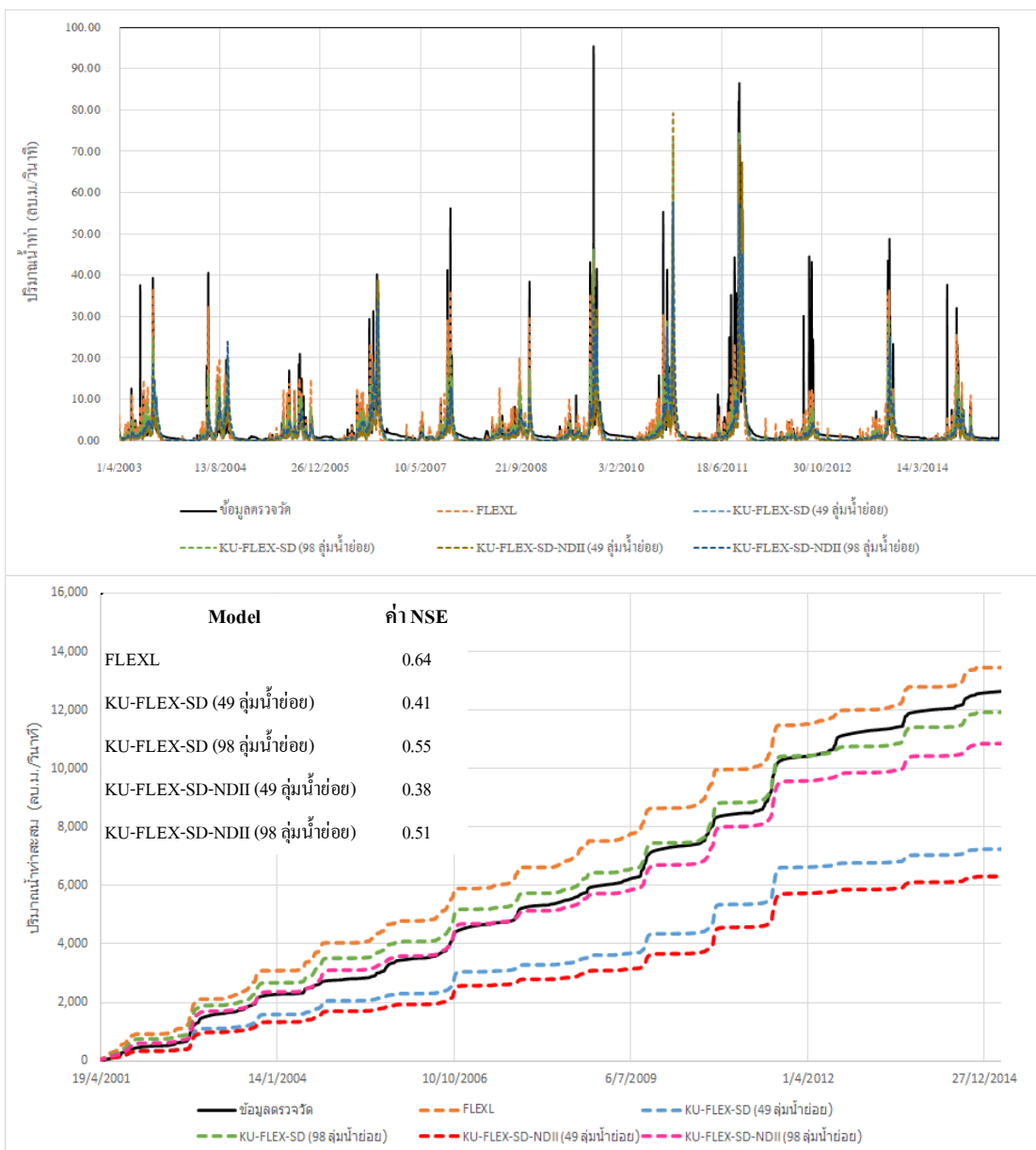
ทั้งนี้ จากการเปรียบเทียบค่า NSE ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD สำหรับจำนวน
ลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย และจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย ในภาพรวมพบว่ามีค่า NSE เท่ากับ
0.71 และ 0.61 ตามลำดับ รวมถึงการเปรียบเทียบค่า NSE ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII
สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย และจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย ในภาพรวมมีค่า NSE
เท่ากับ 0.58 และ 0.66 ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าสะสมของแบบจำลองดังกล่าว
แสดงให้เห็นว่าจำนวนลุ่มน้ำมีผลต่อความถูกต้องในการประเมินน้ำท่าสำหรับสถานีวัดน้ำท่าที่เป็น
ผลพลอยได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัด
น้ำท่า E.20A โดยจากค่า NSE ภาพรวมพบว่าจำนวนลุ่มน้ำย่อยมากให้ผลการประเมินน้ำท่าที่ต้องกว่า
จำนวนลุ่มน้ำน้อย



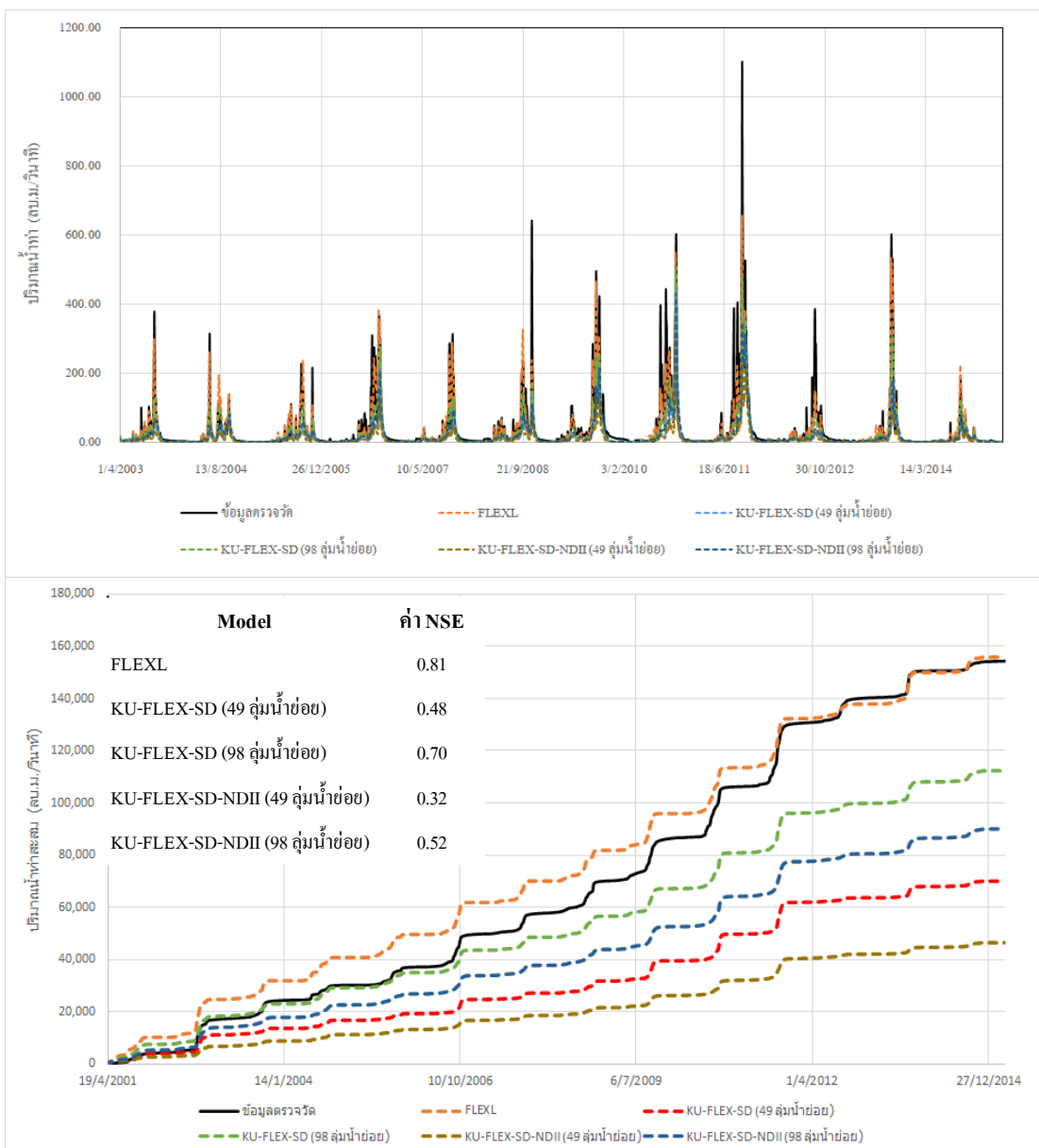
ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.22B



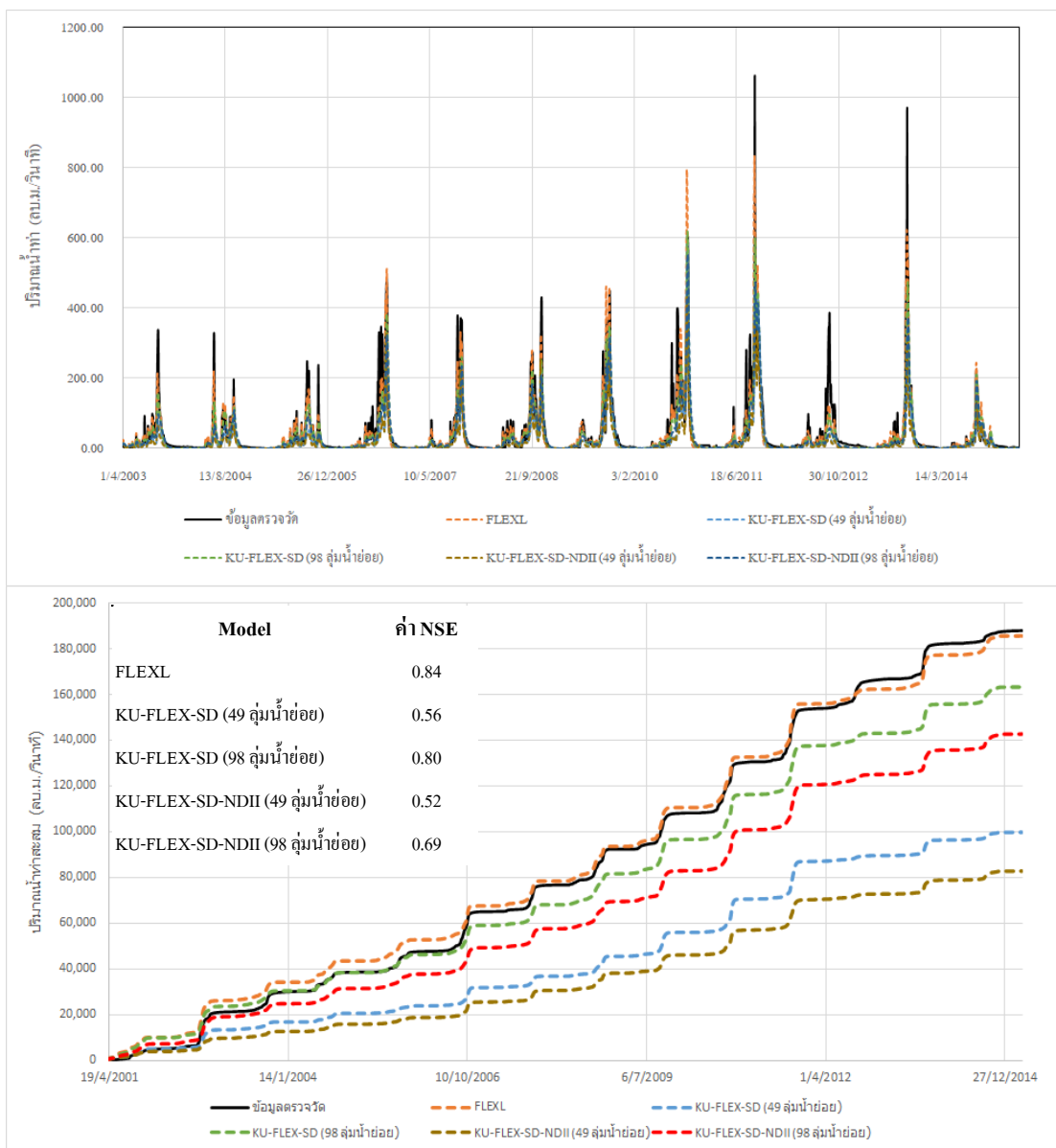
ภาพที่ 16 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.73



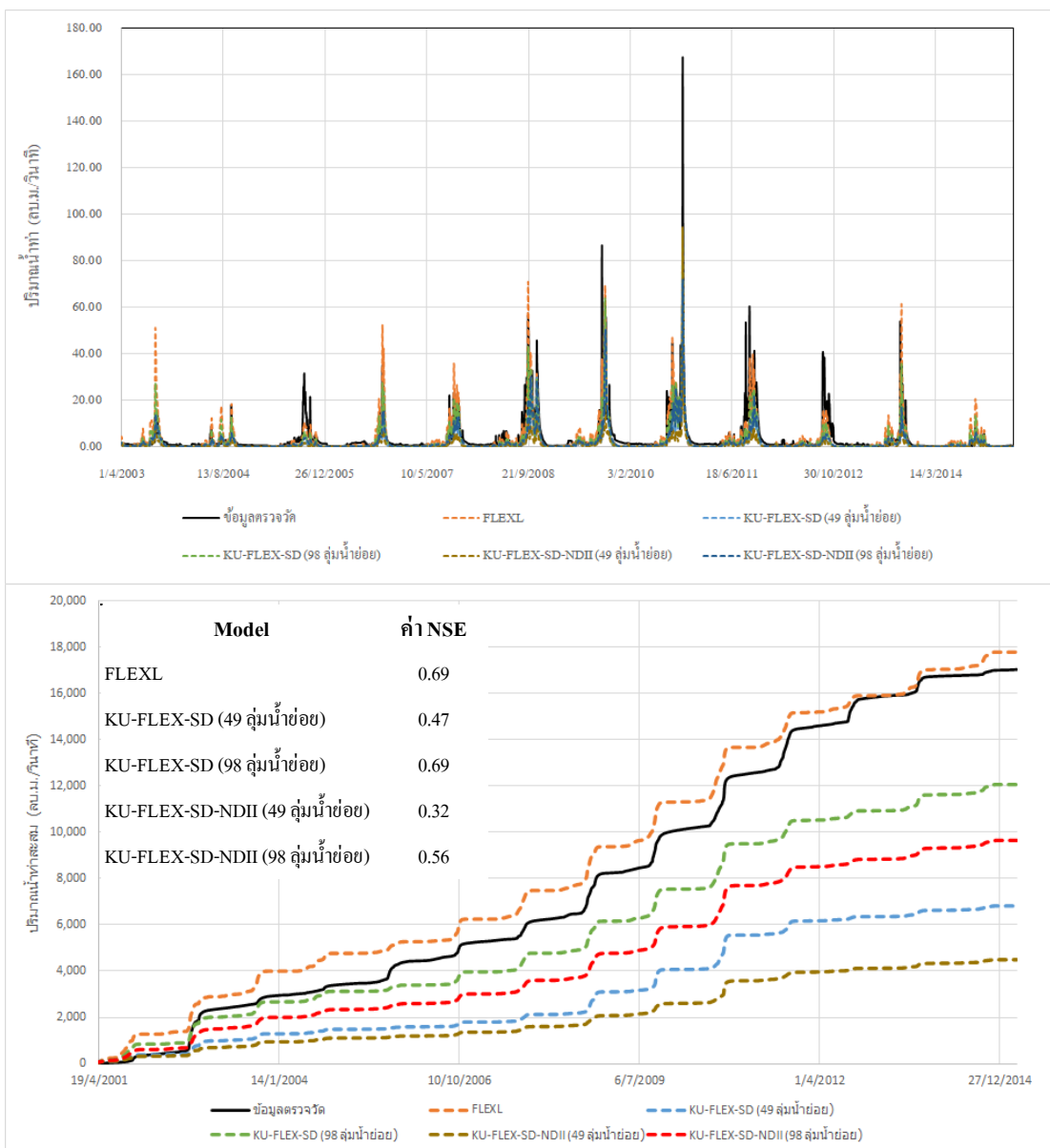
ภาพที่ 17 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.72



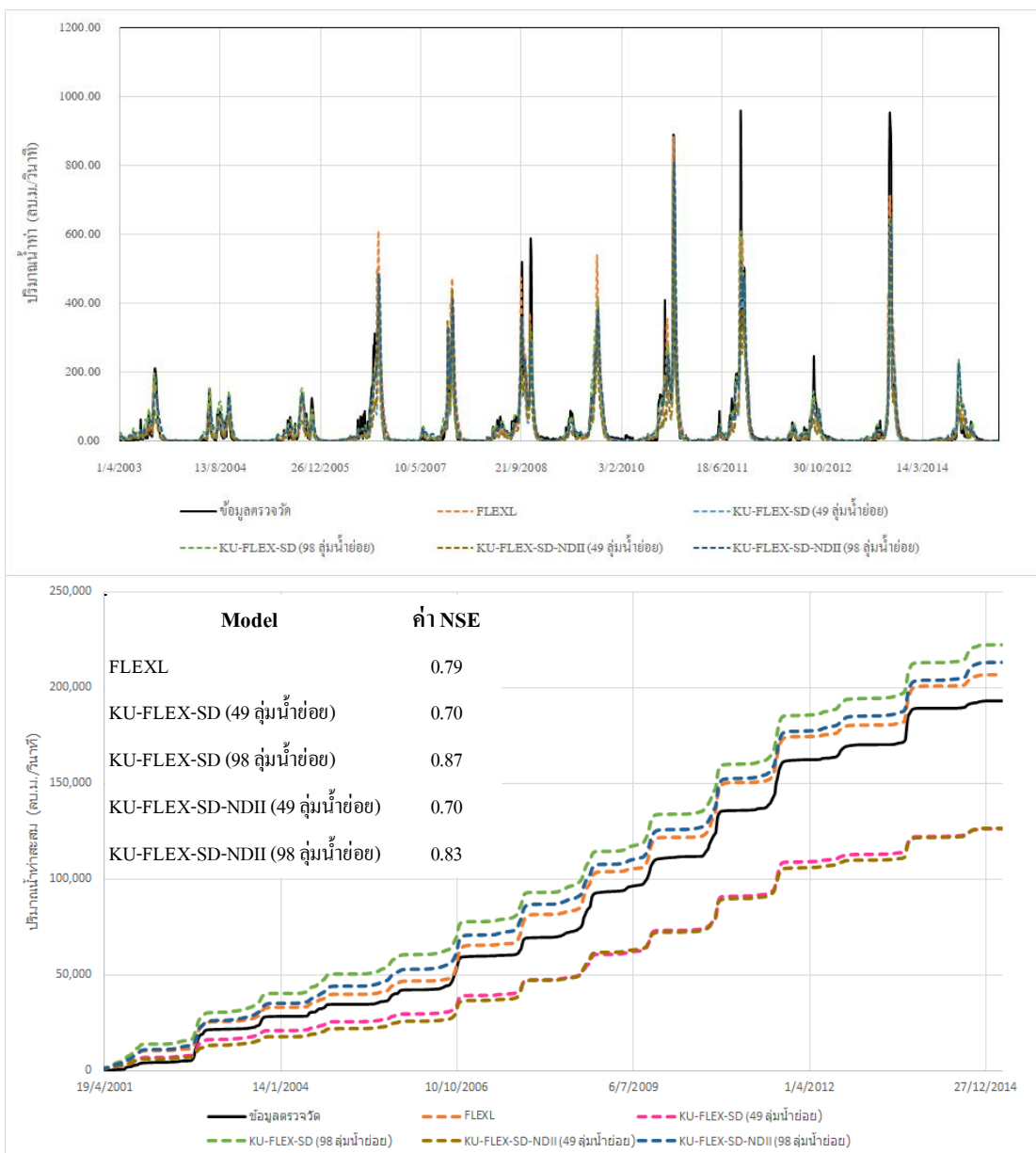
ภาพที่ 18 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.32A



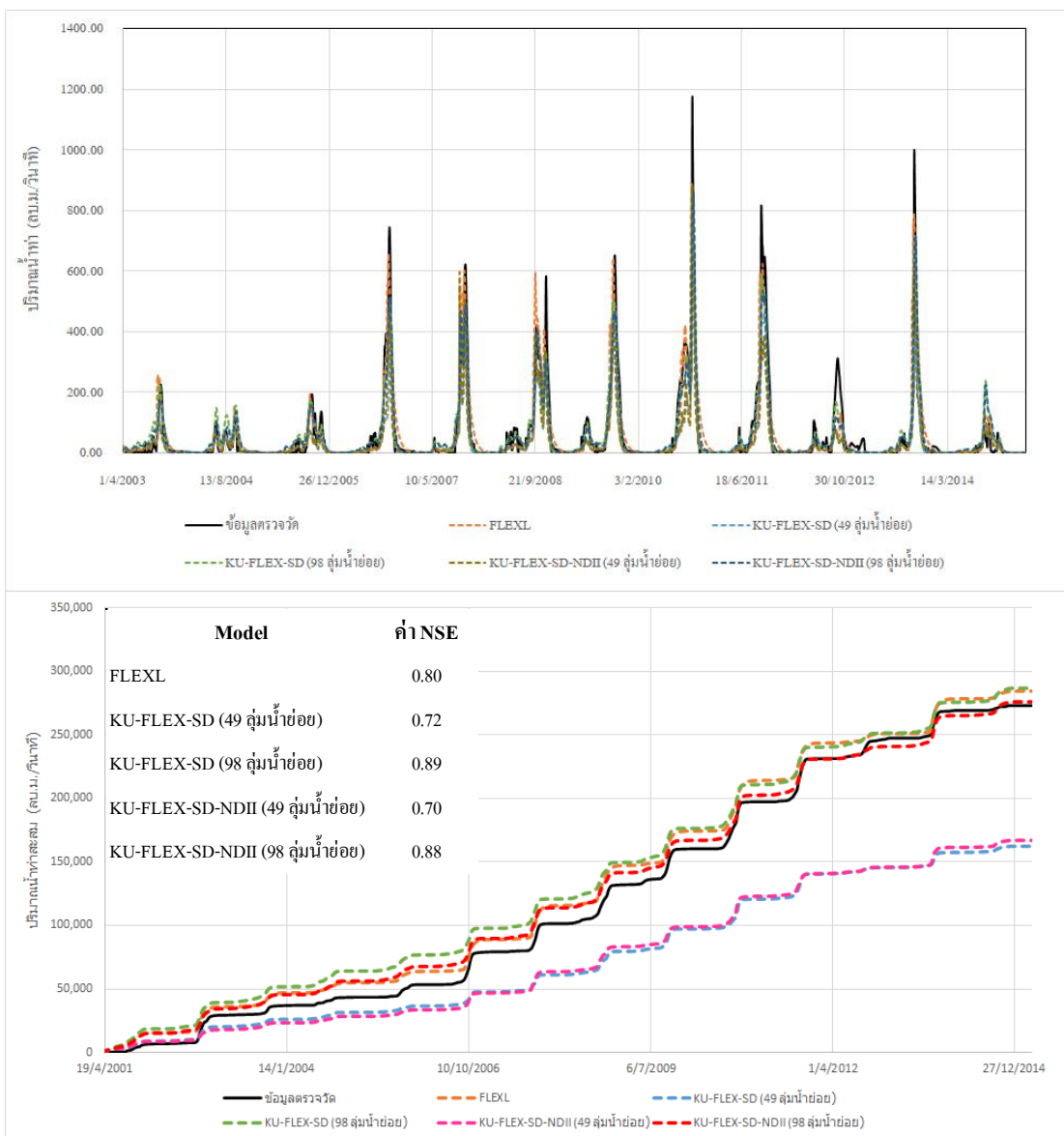
ภาพที่ 19 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.5



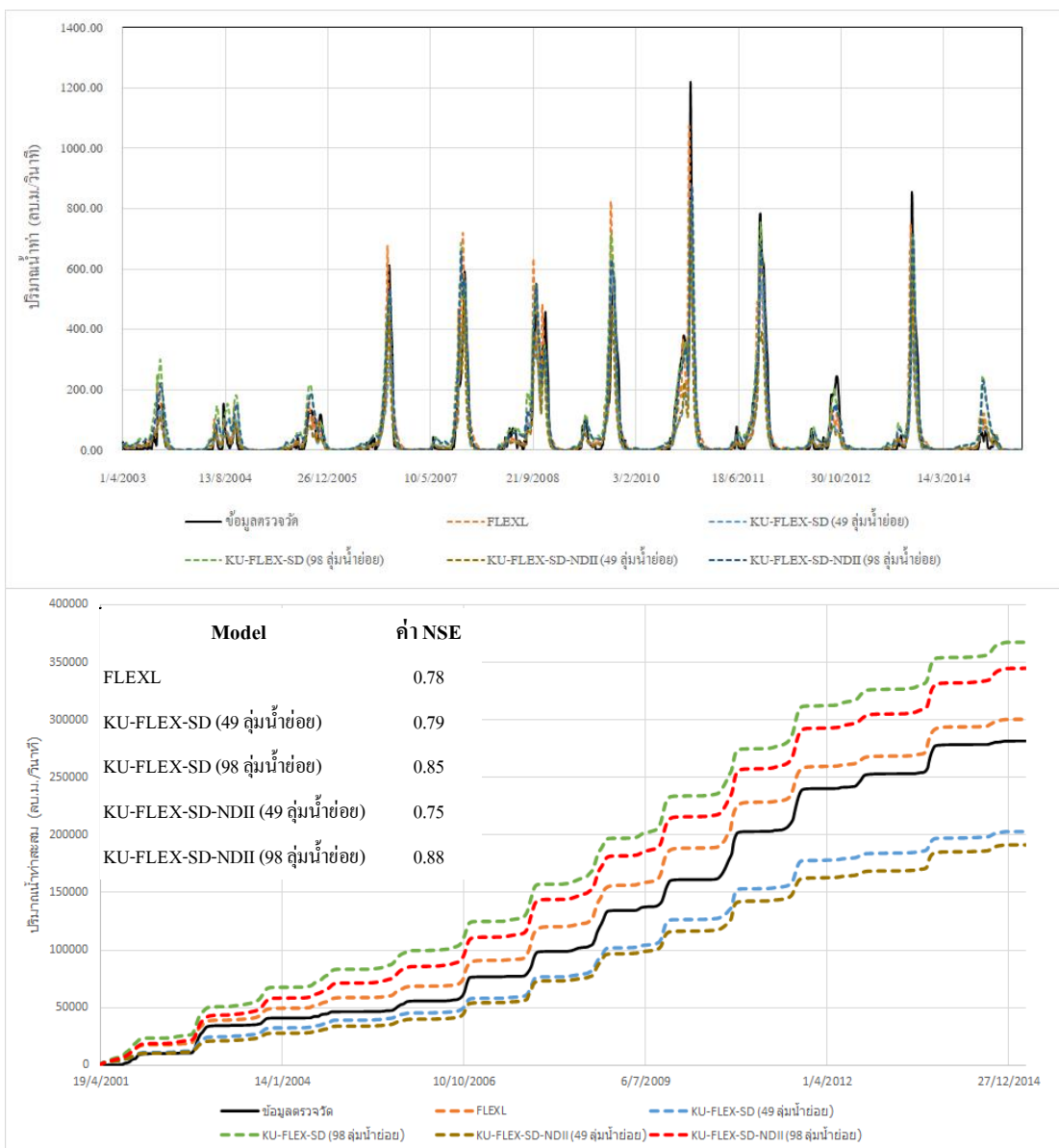
ภาพที่ 20 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.6C



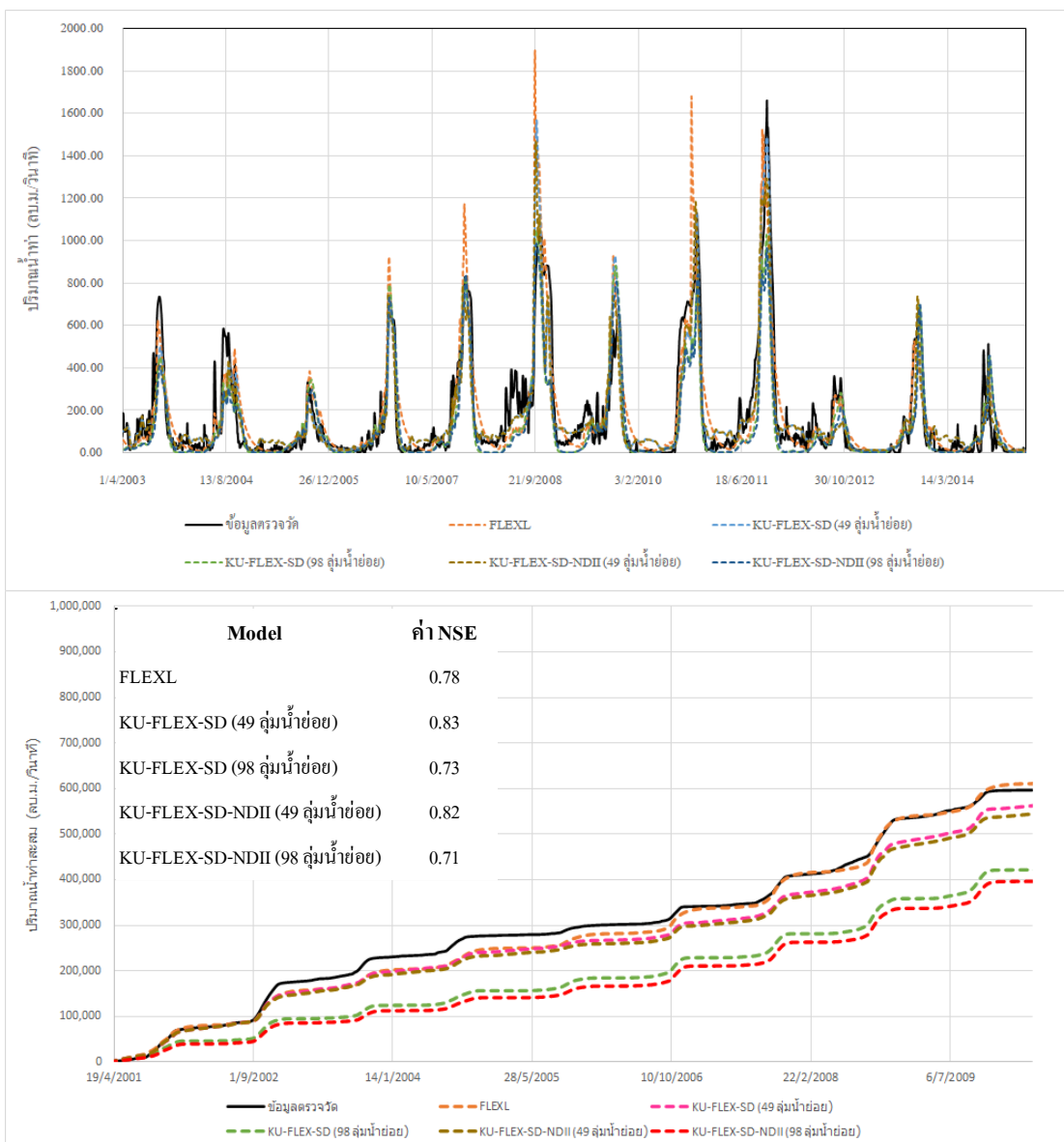
ภาพที่ 21 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.23



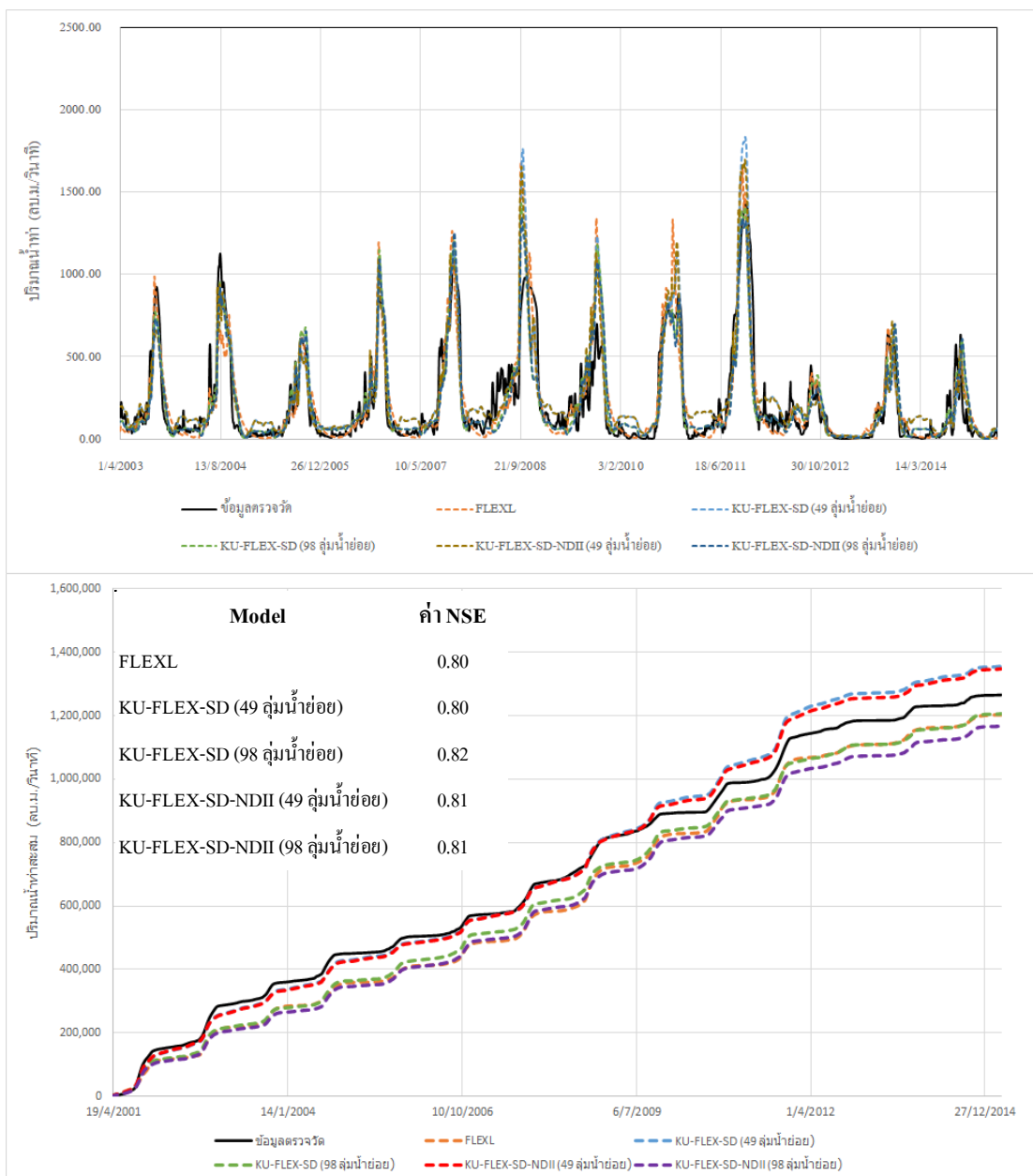
ภาพที่ 22 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.21



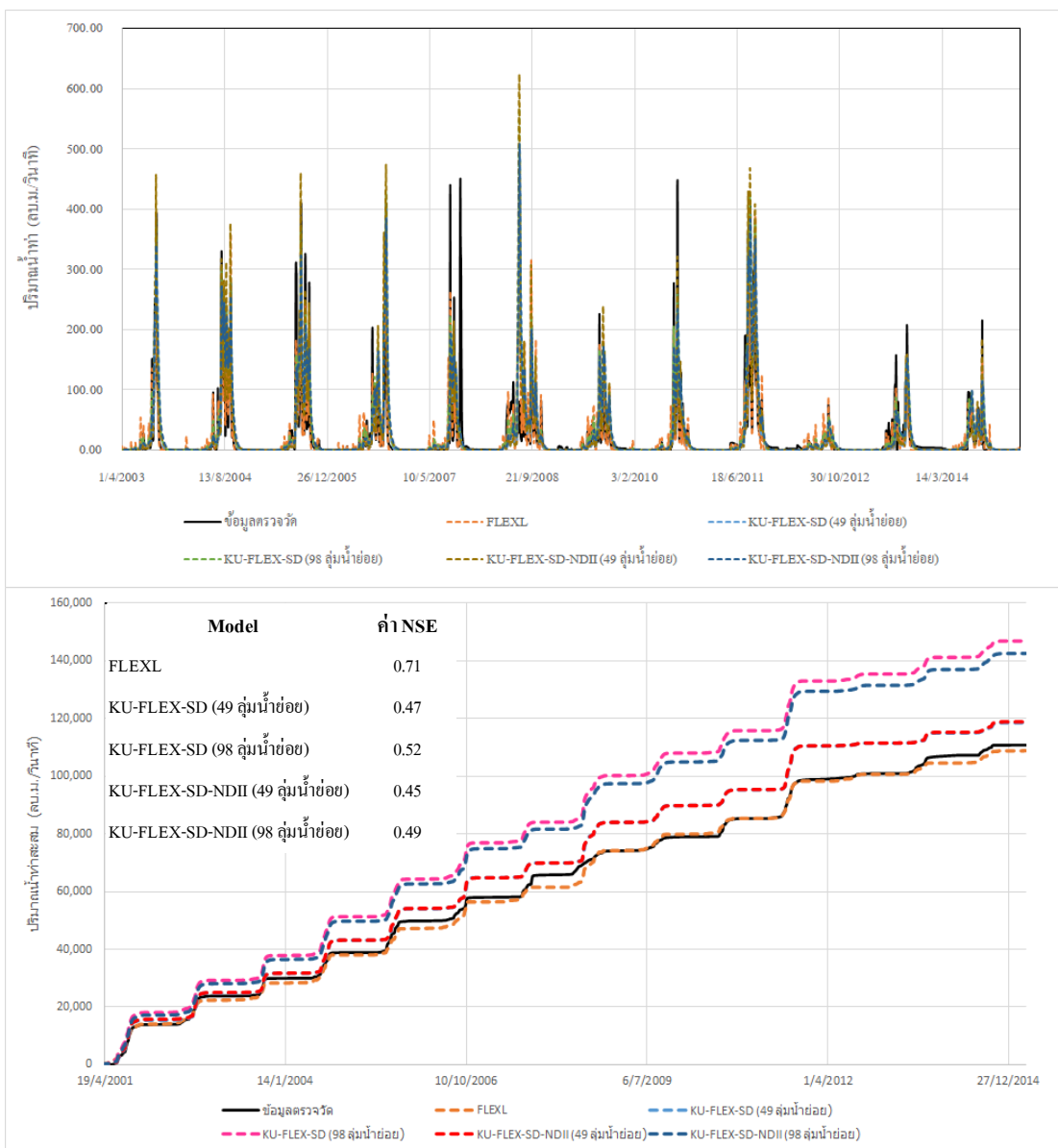
ภาพที่ 23 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.9



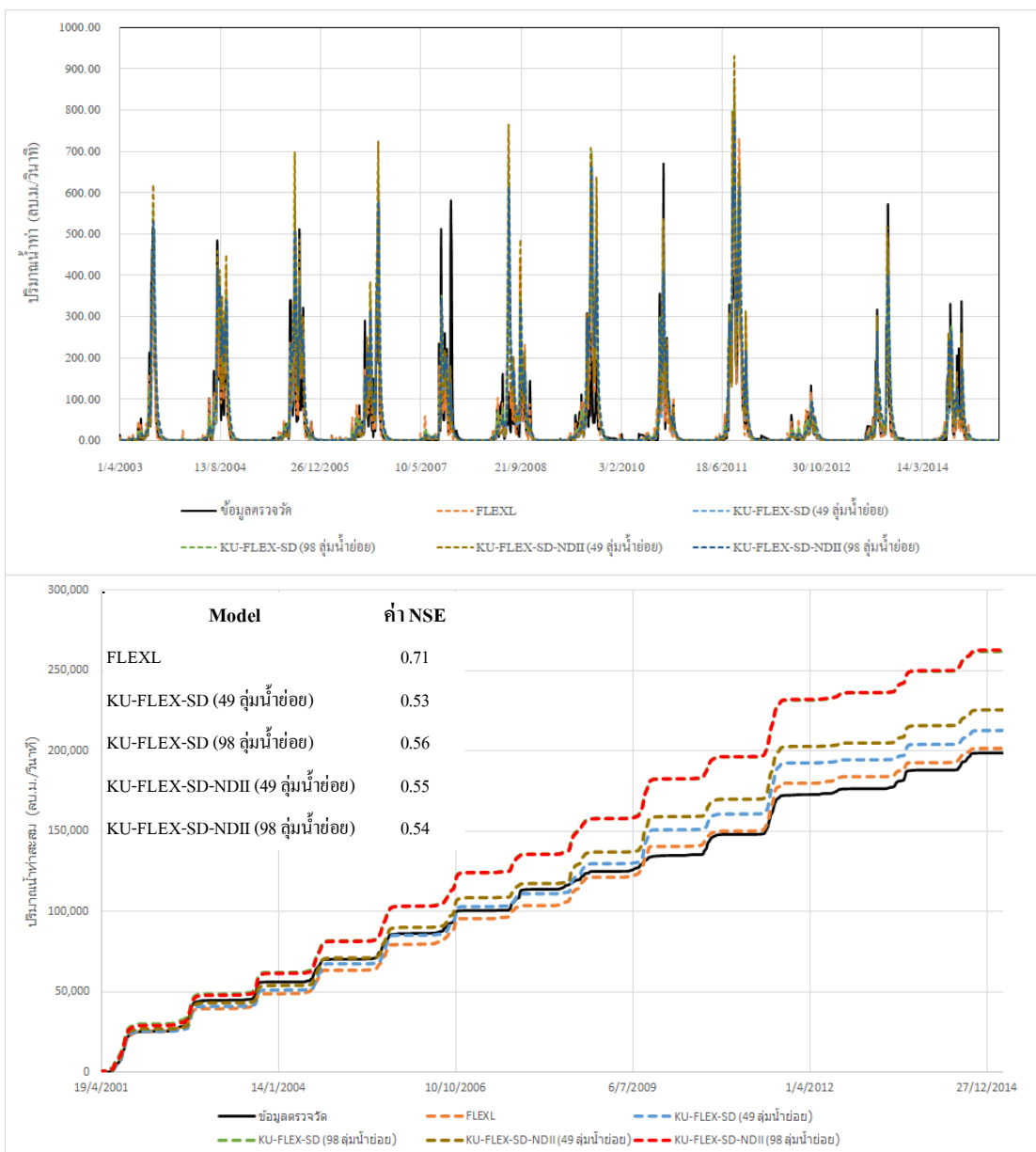
ภาพที่ 24 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.66A



ภาพที่ 25 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.18



ภาพที่ 26 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.54



ภาพที่ 27 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำท่า E.70

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า 13 สถานี

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลอง FLEXL	แบบจำลอง KU-FLEX-SD					แบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII				
			49 ลุ่มน้ำย่อย		98 ลุ่มน้ำย่อย		ความแตกต่าง (%)	49 ลุ่มน้ำย่อย		98 ลุ่มน้ำย่อย		ความแตกต่าง (%)
E.22B	13,659	0.63	0.65	(-3.21%)	0.64	(-1.62%)	-1.56	0.65	(-3.23%)	0.59	(-5.77%)	-9.55
E.73	251	0.53	0.34	(36.61%)	0.44	(17.34%)	23.31	0.37	(31.08%)	0.38	(27.97%)	4.32
E.72	323	0.64	0.41	(35.16%)	0.55	(13.08%)	25.41	0.38	(40.22%)	0.51	(20.83%)	24.49
E.32A	2,906	0.81	0.48	(40.62%)	0.70	(13.47%)	31.38	0.32	(60.85%)	0.52	(35.67%)	39.14
E.5	4,207	0.84	0.56	(32.98%)	0.80	(4.94%)	29.50	0.52	(38.68%)	0.69	(18.06%)	25.17
E.23	6,282	0.79	0.70	(11.09%)	0.87	(-9.34%)	18.69	0.70	(11.11%)	0.83	(-4.87%)	15.25
E.6C	378	0.69	0.47	(31.92%)	0.69	(0.01%)	31.92	0.32	(54.08%)	0.56	(18.30%)	43.79
E.21	8,777	0.80	0.72	(10.20%)	0.89	(-11.21%)	19.26	0.70	(13.23%)	0.88	(-10.27%)	21.32
E.9	10,878	0.78	0.79	(-1.11%)	0.85	(-8.39%)	6.72	0.75	(4.31%)	0.88	(-12.22%)	14.74
E.66A	31,879	0.78	0.83	(-5.35%)	0.73	(6.91%)	11.65	0.82	(-4.00%)	0.71	(9.77%)	13.25
E.18	41,187	0.80	0.80	(-0.72%)	0.82	(-2.22%)	-1.48	0.81	(-1.93%)	0.81	(-1.71%)	0.22
E.54	1,548	0.71	0.47	(33.55%)	0.52	(26.56%)	-10.53	0.45	(36.52%)	0.49	(31.45%)	-7.99
E.70	2,647	0.71	0.53	(25.95%)	0.56	(20.90%)	-6.81	0.55	(23.16%)	0.54	(23.87%)	0.92
เฉลี่ย	12,337	0.74	0.61	(16.91%)	0.71	(4.25%)	13.22	0.58	(0.21%)	0.66	(10.72%)	11.56

หมายเหตุ 1) ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ความแตกต่าง (%) ของค่า NSE ของแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เทียบกับกับ FLEXL

2) ความแตกต่าง (%) ที่หัวตาราง หมายถึง ความแตกต่าง (%) ของค่า NSE ระหว่างจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย เทียบกับ 49 ลุ่มน้ำย่อย

ตารางที่ 12 ค่าของชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่าที่เหลือทั้ง 13 สถานี

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลอง	I_{max} (mm)	$S_{u_{max}}$ (mm)	Ce	Beta	D	K_f	K_s	T_{lagF} (hr)	T_{lagS} (hr)	$S_{f_{max}}$ (mm)	K_{ff}	K	x
E.22B	13,659	FLEXL	1.19	681.68	0.62	0.11	0.85	0.59	128.50	2.88	27.53	3.85	0.55	*	*
		KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	6.00	49.55	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	4.18	523.93	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	4.86	26.18	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.42	11.54	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.66	439.11	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.90	25.56	10.35	0.48	1.45	0.23
E.73	252	FLEXL	4.76	326.24	0.84	0.51	0.27	0.35	1.05	2.51	33.36	6.03	0.16	*	*
		KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	3.30	27.30	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	4.18	510.32	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	2.68	14.42	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.00	9.52	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.66	438.78	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.39	21.08	10.35	0.48	1.45	0.23
E.72	328	FLEXL	3.15	443.62	0.67	0.50	0.32	1.00	1.95	2.03	40.14	4.94	0.93	*	*
		KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	3.65	30.13	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	4.18	517.75	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	2.95	15.92	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.20	7.35	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.66	434.98	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.64	16.27	10.35	0.48	1.45	0.23

ตารางที่ 12 (ต่อ)

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลอง	I_{max} (mm)	$S_{u,max}$ (mm)	Ce	Beta	D	K_f	K_s	T_{lagF} (hr)	T_{lagS} (hr)	$S_{f,max}$ (mm)	K_{ff}	K	x
E.32A	2,877	FLEXL	4.03	203.43	0.88	0.39	0.17	0.31	5.47	2.72	55.57	2.68	0.96	*	*
		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	4.48	36.97	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.18	706.25	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	3.62	19.54	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.45	11.67	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.66	503.82	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.93	25.84	10.35	0.48	1.45	0.23
E.5	4,207	FLEXL	0.92	289.72	0.55	0.25	0.24	0.92	4.92	3.38	68.85	15.27	0.26	*	*
		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	4.81	39.71	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.18	607.49	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	3.89	20.99	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.34	10.72	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.66	455.27	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.81	23.74	10.35	0.48	1.45	0.23
E.23	6,771	FLEXL	4.72	257.56	0.63	0.22	0.13	1.00	13.50	1.67	49.23	10.86	0.34	*	*
		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	5.24	43.31	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.18	498.20	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	4.25	22.89	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.22	10.57	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.66	389.35	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.66	23.41	10.35	0.48	1.45	0.23

ตารางที่ 12 (ต่อ)

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลอง	I_{max} (mm)	$S_{u,max}$ (mm)	Ce	Beta	D	K_f	K_s	T_{lagF} (hr)	T_{lagS} (hr)	$S_{f,max}$ (mm)	K_{ff}	K	x
E.6C	381	FLEXL	2.95	306.64	0.98	0.35	0.43	0.70	6.68	4.17	53.07	11.33	0.39	*	*
		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	4.07	33.58	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.18	660.41	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	3.29	17.74	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.46	11.71	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.66	479.25	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.94	25.93	10.35	0.48	1.45	0.23
E.21	8,806	FLEXL	3.44	278.83	0.78	0.15	0.04	0.78	17.90	2.52	21.81	2.43	0.82	*	*
		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	5.21	43.02	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.18	485.51	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	4.22	22.74	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.21	10.54	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.66	386.22	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.65	23.35	10.35	0.48	1.45	0.23
E.9	10,918	FLEXL	4.93	305.77	0.69	0.23	0.07	0.78	17.85	3.29	62.02	17.63	0.51	*	*
		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	5.30	43.80	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.18	531.90	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	4.29	23.15	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.25	10.73	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.66	399.47	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.70	23.77	10.35	0.48	1.45	0.23

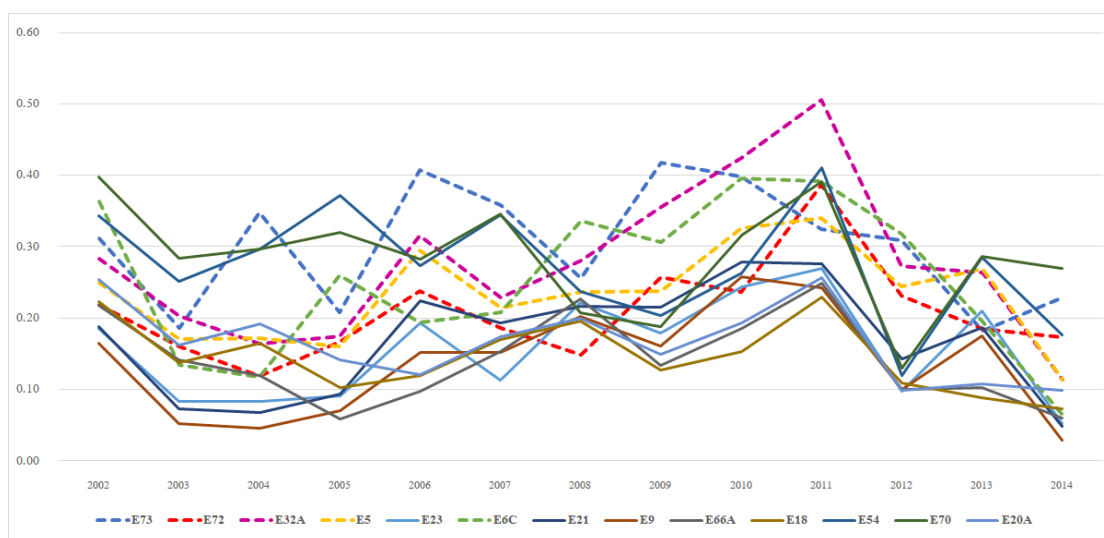
ตารางที่ 12 (ต่อ)

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลอง	I_{max} (mm)	$S_{u,max}$ (mm)	Ce	Beta	D	K_f	K_s	T_{lagF} (hr)	T_{lagS} (hr)	$S_{f,max}$ (mm)	K_{ff}	K	x
E.66A	31,758	FLEXL	3.29	450.32	0.76	0.26	0.16	0.50	40.25	3.29	87.80	12.38	0.12	*	*
		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	5.49	45.34	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.18	521.17	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	4.44	23.96	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.35	11.19	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.66	399.85	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.81	24.79	10.35	0.48	1.45	0.23
E.18	41,278	FLEXL	3.85	744.64	0.51	0.66	0.08	0.74	36.00	3.15	61.79	4.76	0.53	*	*
		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	7.89	65.16	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.18	460.23	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	6.39	34.43	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	3.87	18.44	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.66	379.90	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	4.63	40.84	10.35	0.48	1.45	0.23
E.54	1,524	FLEXL	3.22	711.53	0.76	0.36	0.02	0.28	1.30	2.27	77.20	17.07	0.45	*	*
		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	4.72	39.01	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.18	480.84	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	3.82	20.62	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.02	9.65	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.66	410.35	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.42	21.37	10.35	0.48	1.45	0.23

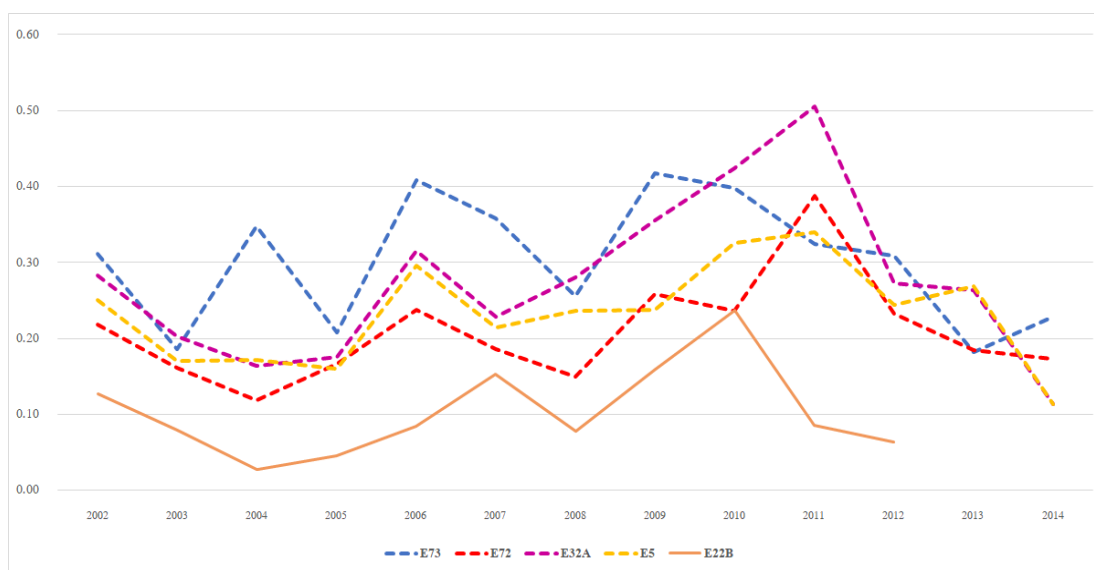
ตารางที่ 12 (ต่อ)

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลอง	I_{max} (mm)	$S_{u_{max}}$ (mm)	Ce	Beta	D	K_f	K_s	T_{lagF} (hr)	T_{lagS} (hr)	$S_{f_{max}}$ (mm)	K_{ff}	K	x
E.70	2,630	FLEXL	2.76	592.50	0.64	0.40	0.11	0.75	1.61	2.93	86.83	11.38	0.94	*	*
		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	4.81	39.74	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.18	441.24	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	3.90	21.00	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.21	10.56	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.66	384.81	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.65	23.39	10.35	0.48	1.45	0.23
E.20A	47,721	FLEXL	4.29	673.80	0.79	0.53	0.09	0.74	34.54	1.26	68.11	13.38	0.61	-	-
		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	7.44	61.46	2.20	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.18	317.46	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	6.02	32.48	13.14	0.56	1.13	0.19
		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	3.60	17.17	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.66	315.86	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	4.31	38.01	10.35	0.48	1.45	0.23

จากผลการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในช่วงเวลาระหว่าง ปี พ.ศ. 2544-2558 ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยมีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเท่ากับ 47,800 ตารางกิโลเมตร จะเห็นว่ามีบางสถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือน้ำมีค่า NSE ก่อนข้างต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสถานีวัดน้ำท่า E.20A มีลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำที่แตกต่างจากสถานีวัดน้ำท่าทางด้านเหนือน้ำค่อนข้างมาก รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของแต่ละสถานีมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้กราฟสัมประสิทธิ์น้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าทั้ง 14 สถานี แสดงดังในภาพที่ 28 โดยพบว่าสถานีวัดน้ำท่า E.22B, E.73, E.72, E.32A และ E.5 มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างจากสถานีอื่น ๆ โดยเฉพาะในปี 2011 ซึ่งแสดงดังในภาพที่ 29 จากภาพดังกล่าวจึงส่งผลให้ค่า NSE มีค่าต่ำกว่าสถานีอื่นเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ของสถานีเหล่านี้มีความแตกต่างจากสถานี E.20A ที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองค่อนข้างมาก และสำหรับค่า NSE ที่ดีค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของแต่ละสถานีจะมีแนวโน้มใกล้เคียงกันกับสถานี E.20A ที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยได้ดำเนินการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในช่วงเวลาระหว่าง ปี พ.ศ. 2544-2558 ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 โดยมีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเท่ากับ 4,207 ตารางกิโลเมตร ซึ่งมีสถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือน้ำจำนวน 3 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72 และ E.32A



ภาพที่ 28 ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า 14 สถานี



ภาพที่ 29 ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า 5 สถานี

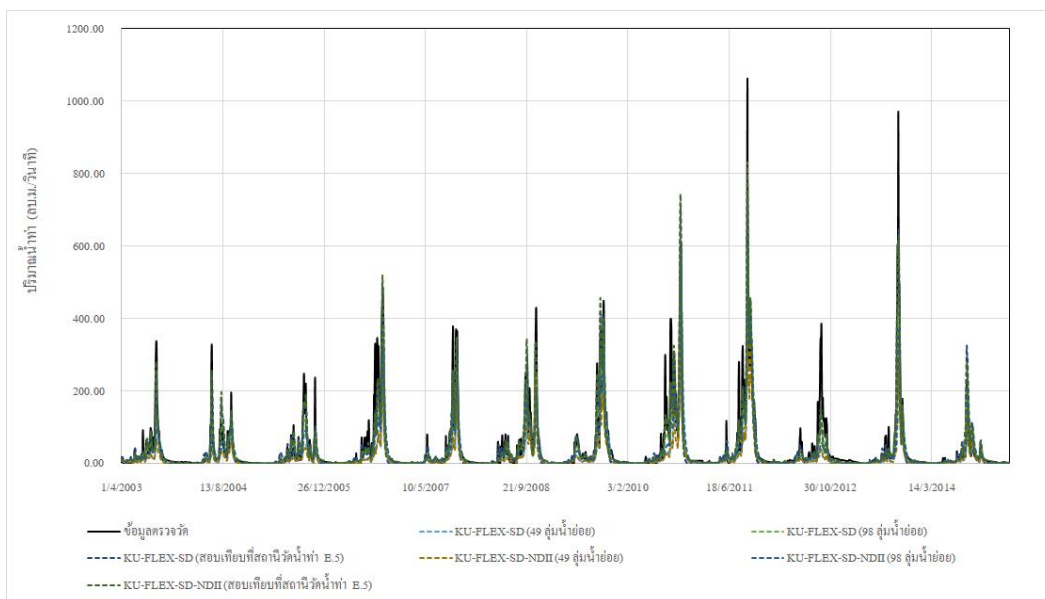
ดังนั้น ผลการศึกษาในส่วนนี้จะแยกอธิบายเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 เปรียบเทียบกับผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ที่เป็นผลพลอยได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด และ กรณีที่ 2 เปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 จำนวน 3 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72 และ E.32A กับผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า 3 สถานี ดังกล่าว ที่เป็นผลพลอยได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด

กรณีที่ 1 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 เปรียบเทียบกับการสอบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A

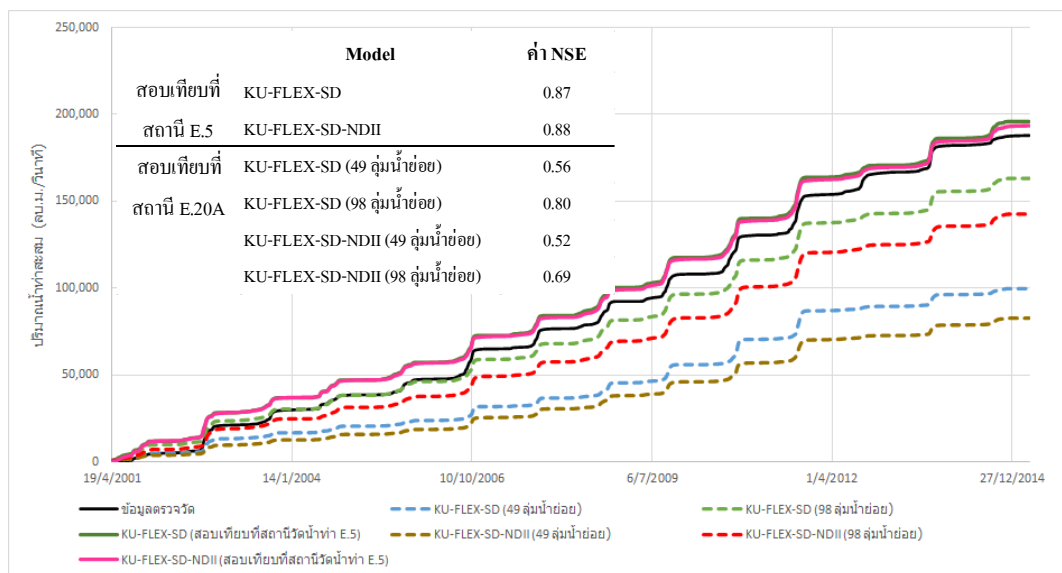
ผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 และจากการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A กับกราฟน้ำท่าจากการตรวจวัด แสดงดังในภาพที่ 30 และผลการเปรียบเทียบกราฟท่าสะสม แสดงดังในภาพที่ 31 สำหรับผลการเปรียบเทียบค่า NSE

แสดงดังในตารางที่ 13 จากตารางดังกล่าวพบว่าค่า NSE ของสถานีวัดน้ำท่า E.5 ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 โดยตรงให้ค่าสูงกว่าการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A สำหรับทั้งในกรณีจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย และจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย โดยสูงกว่าเท่ากับ 35.55% และ 8.57% ตามลำดับ ในขณะที่ ค่า NSE ของสถานีวัดน้ำท่า E.5 ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 โดยตรงให้ค่าสูงกว่าการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A สำหรับทั้งในกรณีจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย และจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย โดยสูงกว่าเท่ากับ 41.17% และ 21.39% ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองแสดงดังในตารางที่ 14

สำหรับกราฟน้ำท่าสะสมที่แสดงในภาพที่ 30 แสดงให้เห็นว่าผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สอบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่ใกล้เคียงปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด มากกว่าผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A สำหรับทั้งในกรณีจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย และ 98 ลุ่มน้ำย่อย



ภาพที่ 30 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 และที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A



ภาพที่ 31 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่สะสมที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 และที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A

ตารางที่ 13 ค่าทางสถิติที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	ค่า NSE ที่สอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.5		ค่า NSE ที่สอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A			
		KU-FLEX-SD	KU-FLEX-SD-NDII	KU-FLEX-SD		KU-FLEX-SD-NDII	
				49 กลุ่มน้ำย่อย	98 กลุ่มน้ำย่อย	49 กลุ่มน้ำย่อย	98 กลุ่มน้ำย่อย
E.5	4,207	0.87	0.88	0.56 (35.55%)	0.80 (8.57%)	0.52 (41.17%)	0.69 (21.39%)

- หมายเหตุ 1) ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง ความแตกต่าง (%) ของค่า NSE ที่สอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 เทียบกับที่สอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A
- 2) ความแตกต่าง (%) ที่หัวตาราง หมายถึง ความแตกต่าง (%) ของค่า NSE ระหว่างจำนวนกลุ่มน้ำย่อย 98 กลุ่มน้ำย่อย เทียบกับ 49 กลุ่มน้ำย่อย

ตารางที่ 14 ค่าของชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลอง	I_{max} (mm)	$S_{u\ max}$ (mm)	Ce	Beta	D	K_f	K_s	T_{lagF} (hr)	T_{lagS} (hr)	$S_{f\ max}$ (mm)	K_{ff}	K	x
E.5	4,207														
		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	6.65	4.81	39.71	2.20	0.23	1.19	0.12
สอบเทียบที่		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	4.18	607.49	0.58	0.13	0.70	0.29	15.22	3.89	20.99	13.14	0.56	1.13	0.19
สถานี E.20A		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	9.20	2.34	10.72	19.70	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.66	455.27	0.62	0.14	0.51	0.92	11.57	2.81	23.74	10.35	0.48	1.45	0.23
สอบเทียบที่		KU-FLEX-SD	4.06	257.95	0.58	0.43	0.54	0.75	4.59	1.71	27.36	14.98	0.76	1.13	0.29
สถานี E.5		KU-FLEX-SD-NDII	3.48	258.56	0.76	0.32	0.99	0.54	73.56	1.08	18.64	15.18	0.09	1.05	0.26

กรณีที่ 2 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 จำนวน 3 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72 และ E.32A กับผลการประเมินน้ำท่าที่ทำการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด

ผลการประเมินน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 จำนวน 3 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72 และ E.32A กับผลการประเมินน้ำท่าที่สอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A กับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด และกราฟน้ำท่าสะสม แสดงดังในภาพที่ 32 ถึง ภาพที่ 34 ทั้งนี้ ค่าของดัชนี NSE ที่แสดงการเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า จำนวน 3 สถานี ที่สอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 กับที่สอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A แสดงดังในตารางที่ 15 ใดๆก็ตาม ในการศึกษานี้ได้แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่า E.20A ออกเป็น 2 กรณี คือ 1) จำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย และ 2) จำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย ดังนั้นในการเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าของแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII สำหรับสถานีวัดน้ำท่าที่เหลือจึงต้องแยกอธิบายในแต่ละกรณีดังนี้

1. จำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย

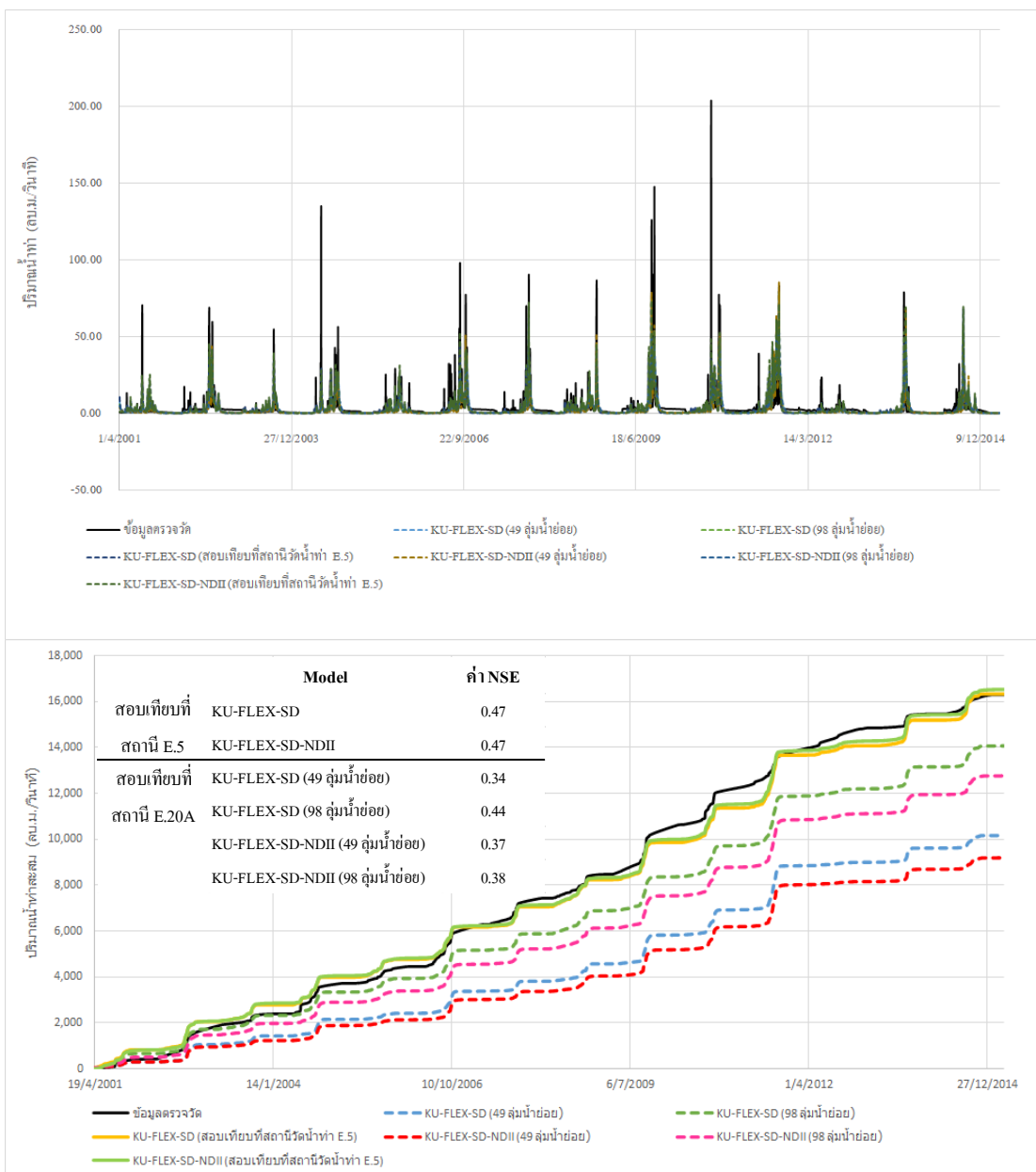
ตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่าผลการประเมินน้ำท่าสำหรับสถานีวัดน้ำท่าทั้ง 3 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73, E.72 และ E.32A ที่เป็นผลพลอยได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ให้ค่า NSE สูงกว่าที่ทำการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ทั้ง 3 สถานี โดยให้ค่าสูงกว่าเท่ากับ 28.38%, 18.14% และ 41.48% ตามลำดับ ในขณะที่ ผลการประเมินน้ำท่าสำหรับสถานีวัดน้ำท่าทั้ง 3 สถานี ที่สอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ให้ค่า NSE สูงกว่าที่ทำการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ทั้ง 3 สถานี โดยให้ค่าสูงกว่าเท่ากับ 21.38%, 14.32% และ 62.56% ตามลำดับ

2. จำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย

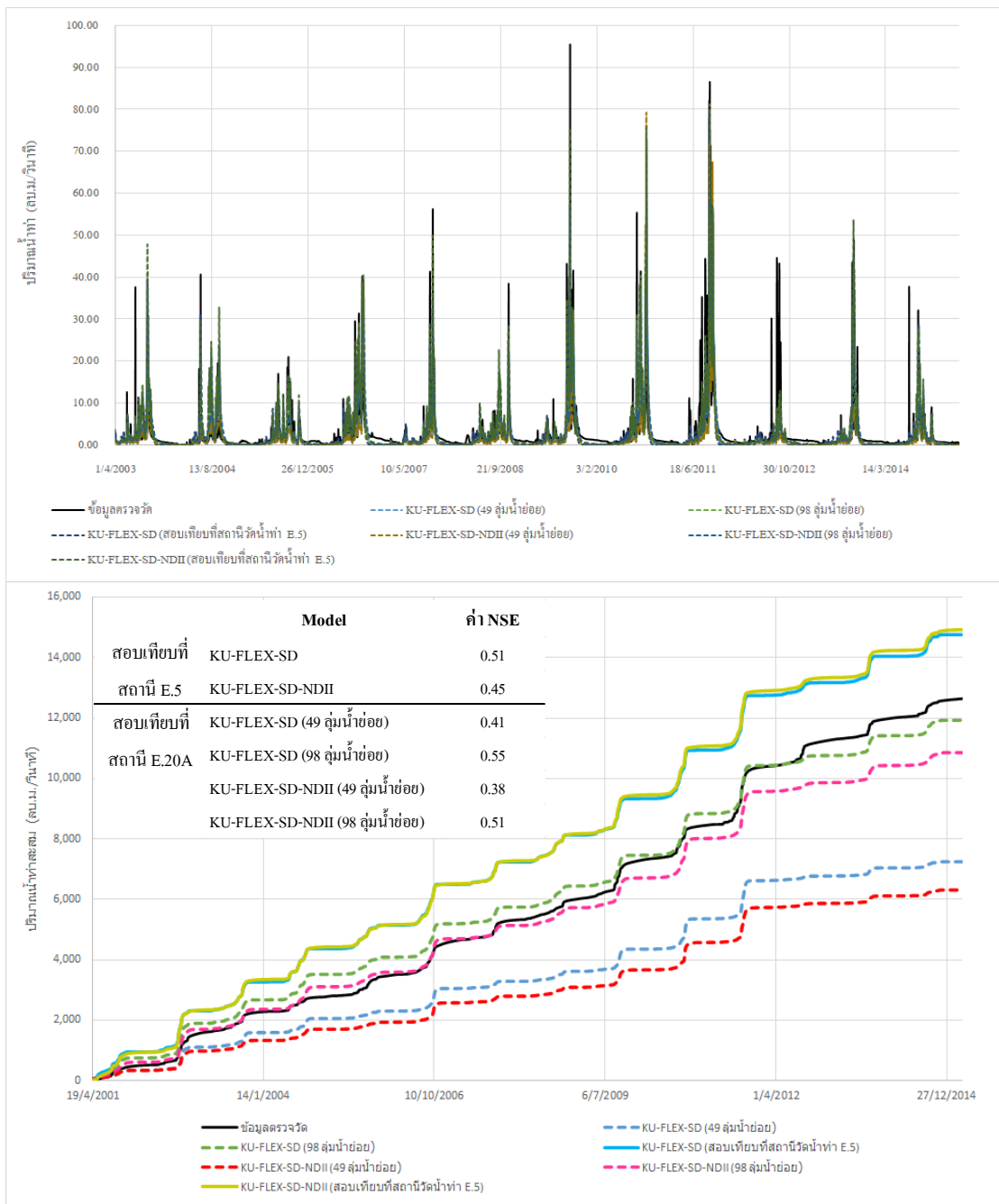
ตารางที่ 15 แสดงให้เห็นว่าผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ให้ค่า NSE สูงกว่าที่ทำการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ใน 2 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73 และ E.32A โดยให้ค่าสูงกว่าเท่ากับ 6.61% และ 14.70% ตามลำดับ ในขณะที่ผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ให้ค่า NSE สูงกว่าที่ทำการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ใน 1 สถานี คือ E.72 โดยสูงกว่าเท่ากับ 9.75% ทั้งนี้ ผลการประเมินน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ให้ค่า NSE สูงกว่าที่ทำการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ใน 2 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า E.73 และ E.32A โดยให้ค่าสูงกว่าเท่ากับ 17.83% และ 38.48% ตามลำดับ ในขณะที่ผลการประเมินน้ำท่าที่สอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ให้ค่า NSE สูงกว่าที่ทำการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ใน 1 สถานี คือ E.72 โดยสูงกว่าเท่ากับ 13.46%

ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบค่า NSE ภาพรวมของทั้ง 3 สถานีที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ให้ค่า NSE สูงกว่าที่สอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ทั้งในกรณีจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย และ 98 ลุ่มน้ำย่อย ซึ่งสูงกว่า เท่ากับ 31.49% และ 5.72% ตามลำดับ รวมทั้งค่า NSE ภาพรวมที่สอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ให้ค่า NSE สูงกว่าที่สอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ทั้งในกรณีจำนวนลุ่มน้ำ 49 ลุ่มน้ำย่อย และ 98 ลุ่มน้ำย่อย ซึ่งสูงกว่า เท่ากับ 39.43% และ 19.86% ตามลำดับ

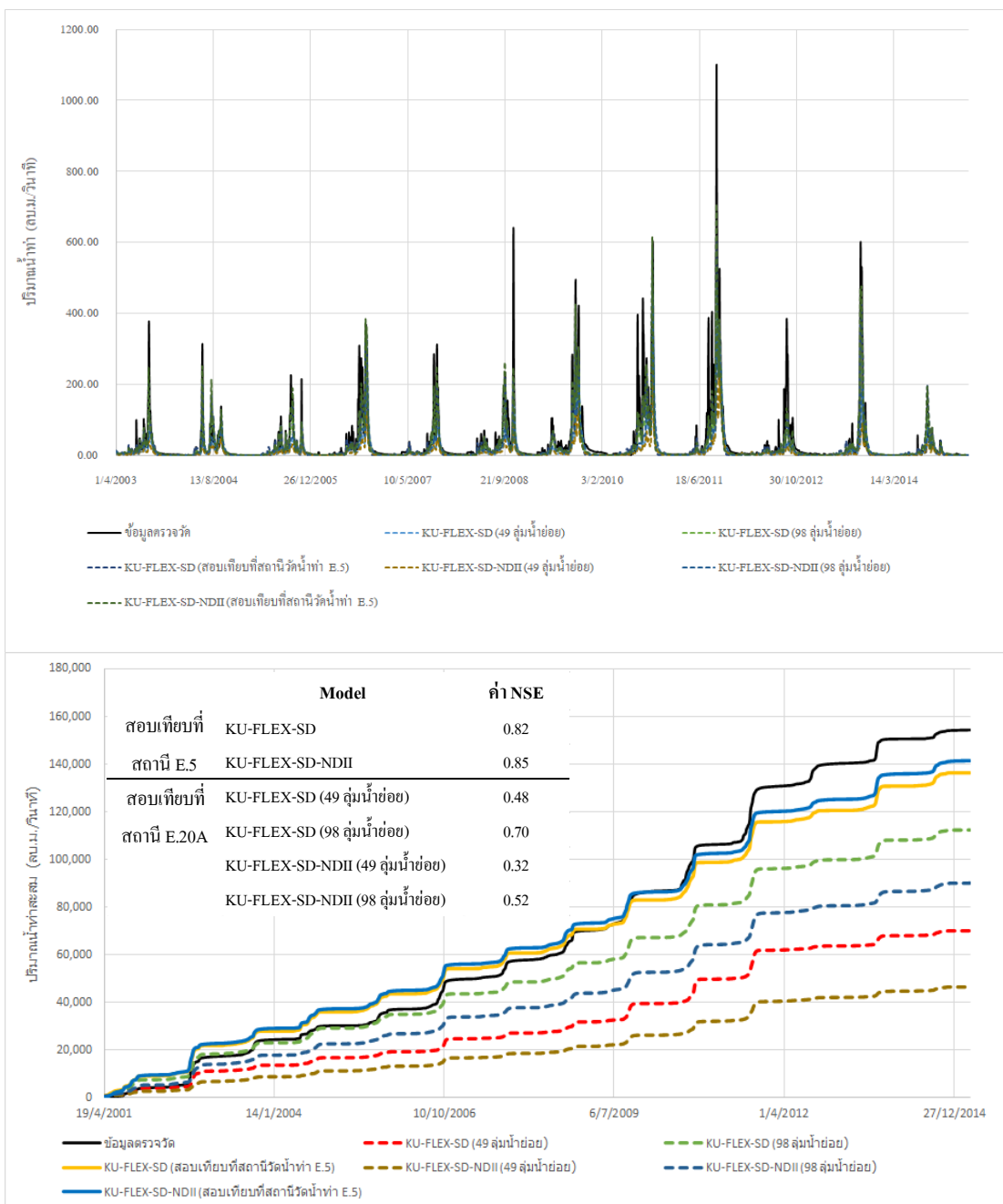
จากกราฟน้ำท่าสะสมแสดงให้เห็นว่าผลการประเมินน้ำท่าที่ทำการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่ใกล้เคียงจากการตรวจวัดมากกว่าที่สอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ทั้งนี้จึงสรุปได้ว่าลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำของสถานีที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองรวมถึงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (C) มีผลต่อการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือน้ำ โดยหากพื้นที่ลุ่มน้ำของแต่ละสถานีมีลักษณะทางการยกของลุ่มน้ำและสัมประสิทธิ์น้ำท่าที่ใกล้เคียงกันจะส่งผลให้การประเมินน้ำท่ามีความถูกต้องใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 32 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า E.73 ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 และที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A



ภาพที่ 33 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า E.72 ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 และที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A



ภาพที่ 34 การเปรียบเทียบผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า E.32A ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5 และที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A

ตารางที่ 15 ค่าทางสถิติที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่าทั้ง 3 สถานี

สถานี วัดน้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	ค่า NSE ที่สอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานีวัดน้ำท่า E.5		ค่า NSE ของสถานีวัดน้ำท่าที่ E.5 เป็นผลพลอย ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX- SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A				ค่า NSE ของสถานีวัดน้ำท่าที่ E.5 เป็นผลพลอยได้ จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A			
		KU-FLEX-SD	KU-FLEX-SD-NDII	49 กลุ่มน้ำย่อย		98 กลุ่มน้ำย่อย		49 กลุ่มน้ำย่อย		98 กลุ่มน้ำย่อย	
E.73	251	0.47	0.47	0.34	(28.38%)	0.44	(6.61%)	0.37	(21.38%)	0.38	(17.83%)
E.72	323	0.51	0.45	0.41	(18.14%)	0.55	(-9.75%)	0.38	(14.32%)	0.51	(-13.46%)
E.32A	2,906	0.82	0.85	0.48	(41.48%)	0.70	(14.7%)	0.32	(62.56%)	0.52	(38.48%)
เฉลี่ย	1,160	0.60	0.59	0.41	(31.49%)	0.57	(5.72%)	0.36	(39.43%)	0.47	(19.86%)

ตารางที่ 16 ค่าของชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง KU-FLEL-SD และ KU-FLEL-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่าทั้ง 3 สถานี

สถานีวัดน้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลอง	I_{max} (mm)	$S_{u\ max}$ (mm)	Ce	Beta	D	K_f	K_s	T_{lagF} (hr)	T_{lagS} (hr)	$S_{f\ max}$ (mm)	K_{ff}	K	x			
E.73	252	สอบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A	KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	0.34	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	0.72	3.30	27.30	0.23	1.19	0.12		
			KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	0.37	4.18	510.32	0.58	0.13	0.70	0.29	0.58	2.68	14.42	0.56	1.13	0.19		
			KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.44	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	0.66	2.00	9.52	0.49	1.38	0.15		
			KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.38	0.66	438.78	0.62	0.14	0.51	0.92	0.62	2.39	21.08	0.48	1.45	0.23		
		สอบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่า E.5	KU-FLEX-SD	0.47	4.06	257.95	0.58	0.43	0.75	4.59	18.81	1.17	14.98	0.76	1.13	0.29		
			KU-FLEX-SD-NDII	0.47	3.48	295.88	0.76	0.32	0.54	73.56	12.81	0.74	15.18	0.09	1.05	0.26		
		E.72	328	สอบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A	KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	0.41	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	0.72	3.65	30.13	0.23	1.19	0.12
					KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	0.38	4.18	517.75	0.58	0.13	0.70	0.29	0.58	2.95	15.92	0.56	1.13	0.19
KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.55				4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	0.66	2.20	7.35	0.49	1.38	0.15		
KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.51				0.66	434.98	0.62	0.14	0.51	0.92	0.62	2.64	16.27	0.48	1.45	0.23		
สอบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่า E.5	KU-FLEX-SD			0.51	4.06	257.95	0.58	0.43	0.75	4.59	20.76	1.29	14.98	0.76	1.13	0.29		
	KU-FLEX-SD-NDII			0.45	3.48	292.29	0.76	0.32	0.54	73.56	14.14	0.82	15.18	0.09	1.05	0.26		

ตารางที่ 16 (ต่อ)

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ (ตร.กม.)	แบบจำลอง	I_{max} (mm)	$S_{u\ max}$ (mm)	Ce	Beta	D	K_f	K_s	T_{lagF} (hr)	T_{lagS} (hr)	$S_{f\ max}$ (mm)	K_{ff}	K	x
E.32A	2,877														
สอบเทียบที่ สถานีวัด น้ำท่า E.20A		KU-FLEX-SD (49 ลุ่มน้ำย่อย)	0.48	4.04	527.74	0.72	0.11	0.09	0.49	0.72	4.48	36.97	0.23	1.19	0.12
		KU-FLEX-SD-NDII (49 ลุ่มน้ำย่อย)	0.32	4.18	706.25	0.58	0.13	0.70	0.29	0.58	3.62	19.54	0.56	1.13	0.19
สอบเทียบที่ สถานีวัด น้ำท่า E.5		KU-FLEX-SD (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.70	4.44	351.40	0.66	0.31	0.50	0.48	0.66	2.45	11.67	0.49	1.38	0.15
		KU-FLEX-SD-NDII (98 ลุ่มน้ำย่อย)	0.52	0.66	503.82	0.62	0.14	0.51	0.92	0.62	2.93	25.84	0.48	1.45	0.23
สถานีวัด น้ำท่า E.5		KU-FLEX-SD	0.82	4.06	257.95	0.58	0.43	0.75	4.59	25.47	1.59	14.98	0.76	1.13	0.29
		KU-FLEX-SD-NDII	0.85	3.48	280.12	0.76	0.32	0.54	73.56	17.35	1.01	15.18	0.09	1.05	0.26

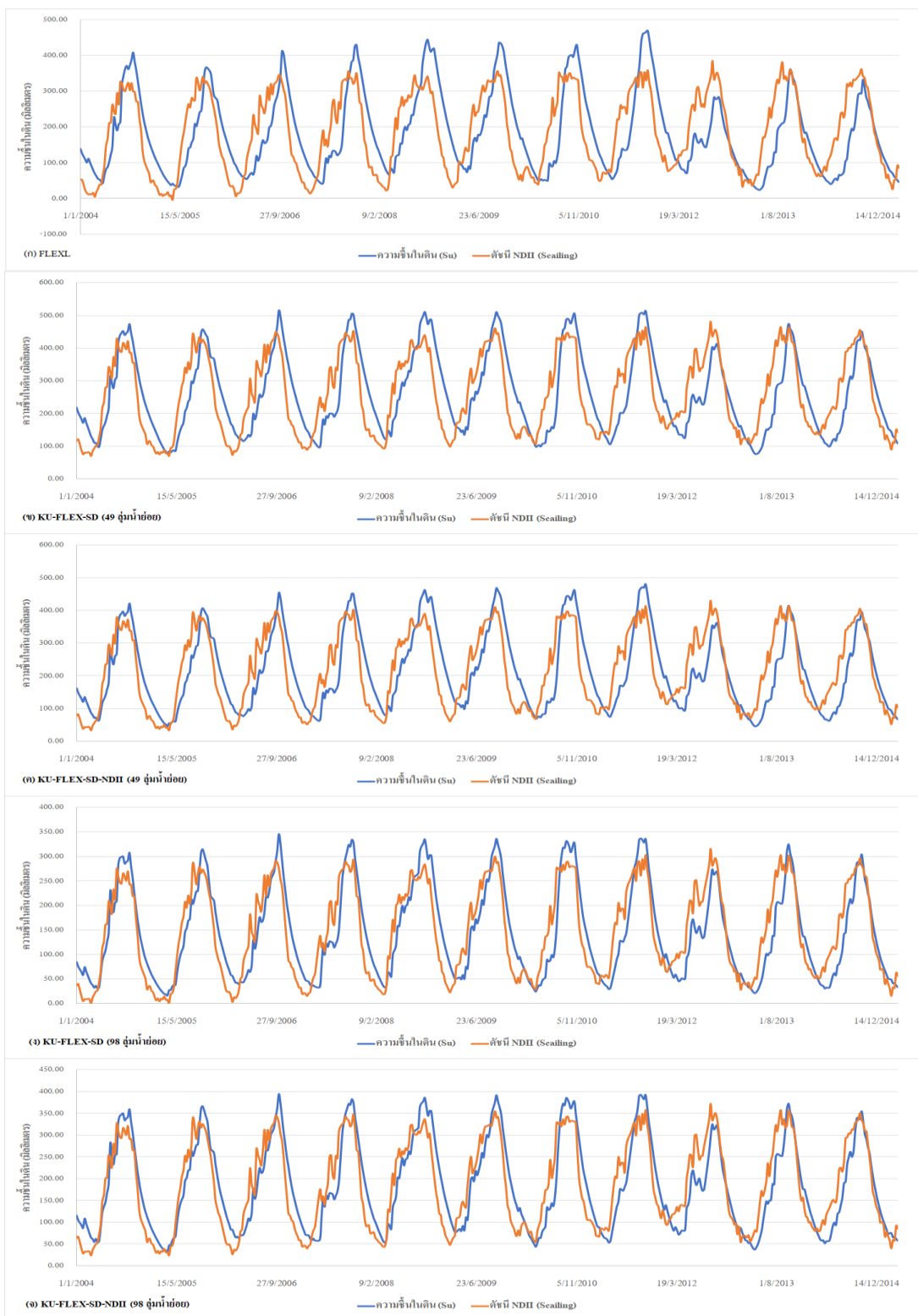
2. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี NDII (Normalized Different Infrared Index) กับ ความชื้นในดิน (S_u) ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในแต่ละ สถานีวัดน้ำท่าของกลุ่มน้ำชี

แบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII นั้น นอกจากสามารถใช้เพื่อ ประเมินน้ำท่าแล้วยังสามารถประเมินความชื้นในดิน (Unsaturated Soil Moisture, S_u) สำหรับใน ทุกกลุ่มน้ำย่อยรวมทั้งที่สถานีวัดน้ำท่าที่ทำการศึกษา โดยแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่ทำการสอบเทียบเฉพาะที่สถานีวัดน้ำท่าด้านท้ายน้ำสุดของแม่น้ำชีคือที่สถานีวัดท่า E.20A จะได้กราฟน้ำท่ารวมทั้งความชื้นในดิน (S_u) ที่สถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือน้ำของสถานีวัด น้ำท่า E.20A จำนวน 13 สถานี ซึ่งประกอบด้วยสถานีวัดน้ำท่า E.22B, E.73, E.72, E.32A, E.5, E.23, E.6C, E.21, E.9, E.66C, E.18, E.54 และ E.70 แต่สำหรับแบบจำลอง FLEXL ต้องทำการสอบ เทียบแบบจำลองที่ทุกสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา เพื่อให้ได้กราฟน้ำท่าและความชื้นในดิน (S_u) ที่แต่ละสถานีวัดน้ำท่าของทั้ง 14 สถานี จากนั้นจึงนำค่าความชื้นในดิน (S_u) ที่ได้จากแบบจำลอง ทั้ง 3 แบบจำลอง ในระหว่างปี พ.ศ. 2545 – 2558 ไปเปรียบเทียบกับค่าดัชนี NDII ในช่วงเวลา เดียวกัน ที่สถานีวัดน้ำท่าทั้ง 14 สถานี

การเปรียบเทียบความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง กับค่าของดัชนี NDII พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) และค่า NSE ดังแสดง ในตารางที่ 17 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ผลการเปรียบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่าด้านท้ายน้ำ E.20A ซึ่งเป็นสถานีที่ทำการสอบเทียบโดยทั้ง 3 แบบจำลอง พบว่า แบบจำลอง FLEXL ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.47 โดยแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่แบ่งจำนวนลุ่มน้ำเท่ากับ 49 ลุ่มน้ำย่อย ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.56 และ 0.60 ตามลำดับ และค่า NSE ของแบบจำลอง FLEXL เท่ากับ 0.37 โดยค่า NSE ของแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่แบ่งจำนวน ลุ่มน้ำเท่ากับ 98 ลุ่มน้ำย่อย 0.50 และ 0.55 ตามลำดับ ในขณะที่แบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่แบ่งจำนวนลุ่มน้ำเท่ากับ 98 ลุ่มน้ำ ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.76 และ 0.78 ตามลำดับ และค่า NSE เท่ากับ 0.74 และ 0.76 ตามลำดับ ทั้งนี้จากตารางที่ 17 พบว่าภาพรวมของ ค่า R^2 ของ สถานีวัดน้ำท่าทั้ง 13 สถานี ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL มีค่าเท่ากับ 0.57 ในขณะที่แบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.48 และ 0.48 ตามลำดับ ทั้งนี้ ภาพรวมของ ค่า R^2 ของสถานีวัดน้ำท่าทั้ง 13 สถานี ที่ได้จาก แบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.66 และ 0.66 ตามลำดับ

จากที่กล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าผลการประเมินความชื้นในดินที่ได้แบบจำลอง FLEXL มีความสัมพันธ์ที่ดีกับค่าดัชนี NDII มากกว่าแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 49 ลุ่มน้ำย่อย ในขณะที่ผลการประเมินความชื้นในดินที่ได้แบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII มีความสัมพันธ์ที่ดีกับค่าดัชนี NDII มากกว่าแบบจำลอง FLEXL และ KU-FKEX-SD สำหรับจำนวนลุ่มน้ำย่อย 98 ลุ่มน้ำย่อย อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง เข้ากันได้ดีกับดัชนี NDII ในช่วงฤดูแล้งมากกว่าในช่วงฤดูฝนโดยพิจารณาจาก R^2 ที่มีค่าในช่วงฤดูแล้งที่สูงกว่าในช่วงฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องมาจากในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณฝนน้อย ดังนั้น ความชื้นในดินจึงค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องในการทำงานเกี่ยวกับการลดลงของดัชนี NDII ในขณะที่ค่า NDII ในช่วงฤดูฝนมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องจากปริมาณฝนที่ตกลงมา

สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FKEX-SD และ KU-FKEX-SD-NDII ที่สถานี E.20A แสดงดังในภาพที่ 35 ซึ่งในภาพดังกล่าวได้แสดง (ก) ความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL และค่าดัชนี NDII หลังการปรับสเกล (ข) ความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD จำนวนลุ่มน้ำ 49 ลุ่มน้ำย่อย และค่าดัชนี NDII หลังการปรับสเกล (ค) ความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD จำนวนลุ่มน้ำ 98 ลุ่มน้ำย่อย และค่าดัชนี NDII หลังการปรับสเกล (ง) ความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII จำนวนลุ่มน้ำ 49 ลุ่มน้ำย่อย และค่าดัชนี NDII หลังการปรับสเกล และ (จ) ความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII จำนวนลุ่มน้ำ 98 ลุ่มน้ำย่อย และค่าดัชนี NDII หลังการปรับสเกล ทั้งนี้ การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FKEX-SD และ KU-FKEX-SD-NDII สำหรับสถานีวัดน้ำทำอีก 13 สถานี แสดงดังในภาพที่ ก1 ถึง ก13 ในภาคผนวก ก



ภาพที่ 35 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความขึ้นในคืนที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.20A

ตารางที่ 17 ค่าทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII กับความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา

สถานีวัด น้ำท่า	พื้นที่ ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	FLEXL			KU-FLEX-SD						KU-FLEX-SD-NDII										
		สัมประสิทธิ์			จำนวน 49 ลุ่มน้ำย่อย			จำนวน 98 ลุ่มน้ำย่อย			จำนวน 49 ลุ่มน้ำย่อย			จำนวน 98 ลุ่มน้ำย่อย							
		การตัดสินใจ (R ²)			การตัดสินใจ (R ²)			การตัดสินใจ (R ²)			การตัดสินใจ (R ²)			การตัดสินใจ (R ²)							
		NSE	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	รายปี	NSE	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	รายปี	NSE	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	รายปี	NSE	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	รายปี	NSE	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	รายปี
E.22B	13,659	0.17	0.59	0.45	0.34	0.21	0.50	0.32	0.36	0.52	0.63	0.39	0.58	0.19	0.49	0.30	0.35	0.51	0.61	0.40	0.57
E.73	251	0.61	0.73	0.34	0.65	0.38	0.67	0.31	0.48	0.59	0.73	0.32	0.63	0.35	0.66	0.29	0.45	0.57	0.73	0.32	0.62
E.72	323	0.47	0.68	0.23	0.54	0.34	0.64	0.23	0.45	0.49	0.70	0.23	0.55	0.32	0.63	0.22	0.44	0.51	0.70	0.23	0.57
E.32A	2,906	0.69	0.78	0.31	0.71	0.32	0.64	0.28	0.44	0.54	0.72	0.29	0.59	0.14	0.57	0.24	0.32	0.47	0.68	0.28	0.54
E.5	4,207	0.69	0.79	0.34	0.71	0.32	0.65	0.35	0.44	0.56	0.73	0.37	0.61	0.25	0.62	0.32	0.39	0.55	0.72	0.36	0.60
E.23	6,282	0.67	0.80	0.54	0.70	0.35	0.67	0.50	0.46	0.62	0.76	0.54	0.65	0.41	0.69	0.50	0.50	0.67	0.77	0.55	0.70
E.6C	378	0.58	0.70	0.44	0.62	0.21	0.57	0.35	0.36	0.45	0.65	0.39	0.53	0.04	0.46	0.32	0.27	0.42	0.62	0.39	0.51
E.21	8,777	0.75	0.83	0.64	0.77	0.38	0.68	0.56	0.48	0.64	0.77	0.60	0.67	0.45	0.71	0.56	0.53	0.69	0.79	0.61	0.72
E.9	10,878	0.62	0.79	0.64	0.66	0.40	0.69	0.61	0.49	0.67	0.78	0.66	0.69	0.41	0.68	0.59	0.50	0.70	0.79	0.67	0.72
E.66A	31,879	0.38	0.65	0.57	0.47	0.42	0.64	0.63	0.50	0.69	0.74	0.68	0.71	0.43	0.64	0.61	0.51	0.70	0.73	0.69	0.72
E.18	41,187	0.27	0.57	0.53	0.40	0.45	0.61	0.66	0.52	0.70	0.72	0.71	0.73	0.47	0.63	0.65	0.54	0.72	0.71	0.72	0.74
E.54	1,548	0.31	0.42	0.44	0.43	0.52	0.54	0.58	0.58	0.73	0.64	0.65	0.75	0.57	0.58	0.58	0.61	0.74	0.63	0.66	0.76
E.70	2,647	0.37	0.50	0.50	0.47	0.51	0.55	0.59	0.57	0.72	0.64	0.66	0.74	0.61	0.61	0.61	0.65	0.76	0.65	0.69	0.78
E.20A	47,800	0.37	0.61	0.57	0.47	0.50	0.61	0.71	0.56	0.74	0.72	0.76	0.76	0.55	0.64	0.71	0.60	0.76	0.71	0.78	0.78
เฉลี่ย	12,337	0.50	0.67	0.47	0.57	0.38	0.62	0.48	0.48	0.62	0.71	0.52	0.66	0.37	0.62	0.46	0.48	0.63	0.70	0.52	0.66

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาเรื่อง “การเปรียบเทียบประสิทธิผลของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII เพื่อการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำชี” มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในการประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำชี (2) เพื่อเปรียบเทียบผลของจำนวนลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำชีที่มีต่อความถูกต้องของการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII และ (3) เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดิน (S_w) ที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII กับดัชนี NDII ดังนั้น ในการสรุปผลการศึกษาคงจะแสดงในแต่ละวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของการประเมินน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำท่าด้านท้ายน้ำสุดของลุ่มน้ำชี พบว่า แบบจำลอง FLEXL ซึ่งเป็นแบบจำลองประเภทลัมพ์มีความสามารถในการประเมินน้ำท่าใกล้เคียงกับแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ซึ่งเป็นแบบจำลองประเภทกึ่งกระจายตัว อย่างไรก็ตาม ผลการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ยังให้ผลพลอยได้คือการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือน้ำของสถานี E.20A ในอีก 13 สถานีวัดน้ำท่า ในขณะที่แบบจำลอง FLEXL ต้องทำการสอบเทียบแบบจำลองของทั้ง 13 สถานีวัดน้ำท่า โดยผลการเปรียบเทียบพบว่า แบบจำลอง FLEXL สามารถประเมินน้ำท่าได้ถูกต้องใกล้เคียงกว่าแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในเกือบทุกสถานีวัดน้ำท่า ยกเว้นสถานีวัดน้ำท่าที่มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำมาก ๆ ความแตกต่างก็จะน้อยลงจนบางสถานีด้านท้ายน้ำนั้นแบบจำลอง FLEXL ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่ดีกว่าแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งที่เกินความคาดหมายเพราะแบบจำลองกึ่งกระจายตัวได้ทำการสอบเทียบที่สถานีวัดน้ำท่าด้านท้ายน้ำสุดเพียงสถานีเดียว อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ยังมีปัญหาในการประเมินน้ำท่าที่ดีกว่าแบบจำลอง FLEXL ในหลายสถานีวัดน้ำท่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำท่าสะสมของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าซึ่งมีค่าที่แตกต่างจากข้อมูลตรวจวัดอย่างมีนัยสำคัญในหลายสถานีวัดน้ำท่า สำหรับในส่วนของการเปรียบเทียบความสามารถในการประเมินน้ำท่าระหว่างแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII พบว่า แบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลอง มีความสามารถในการ

การประเมินน้ำท่าด้วยความถูกต้องที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง KU-FLEX-SD-NDII มีความสมเหตุสมผลมากกว่าในด้านที่สามารถประเมินพารามิเตอร์ T_{lagF} , T_{lagS} และ Su_{max} ให้แตกต่างกันไปในแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของความจุเก็บกักสูงสุดของความชื้นในดิน (Su_{max})

เนื่องจากแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII มีปัญหาในด้านความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่าและปริมาณน้ำท่าสะสมเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง FLEXL ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงทำการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยออกเป็น 49 และ 98 ลุ่มน้ำย่อย เพื่อตรวจสอบว่าการเพิ่มจำนวนลุ่มน้ำย่อยจะมีอิทธิพลต่อผลการประเมินน้ำท่าหรือไม่ จากผลการศึกษา พบว่าการเพิ่มจำนวนลุ่มน้ำย่อยสามารถเพิ่มความถูกต้องให้กับผลการประเมินน้ำท่าในเกือบทุกสถานีวัดน้ำท่าทั้งในส่วนของแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเพิ่มความถูกต้องให้กับผลการประเมินน้ำท่าสะสม

ในส่วนสุดท้ายของการวิจัยเป็นการศึกษาศักยภาพของดัชนี NDII ว่า สามารถนำมาใช้ประเมินความชื้นในดินได้หรือไม่ ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงได้นำผลการประเมินความชื้นในดิน (Su) ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII มาเปรียบเทียบกับดัชนี NDII ซึ่งผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง FLEXL มีความเข้ากันได้กับ Su มากกว่าแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ในกรณีของการใช้จำนวนลุ่มน้ำย่อย เท่ากับ 49 ลุ่มน้ำย่อย แต่เมื่อเพิ่มพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยเป็น 98 ลุ่มน้ำย่อย พบว่าให้ผลในทางตรงกันข้าม ดังนั้น จำนวนลุ่มน้ำย่อยที่เพิ่มมากขึ้นส่งอิทธิพลทำให้ Su มีความใกล้เคียงกับดัชนี NDII ได้มากขึ้น ในขณะที่ทั้งแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ให้ผลการประเมิน Su ที่ใกล้เคียงกับดัชนี NDII ที่ไม่แตกต่างกันทั้งในกรณีจำนวนลุ่มน้ำย่อยเท่ากับ 49 และ 98 ลุ่มน้ำย่อย นอกจากนั้นแล้ว ผลการศึกษาพบว่า ดัชนี NDII มีความเข้ากันได้กับ Su ที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง ในช่วงฤดูแล้งได้ดีกว่าในช่วงฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณฝนน้อยจึงทำให้ดัชนี NDII มีการลดลงอย่างต่อเนื่องในทำนองเดียวกับการลดลงของปริมาณความชื้นในดิน ดังนั้น ดัชนี NDII จึงสามารถนำมาใช้เพื่อการติดตามสถานการณ์ภัยแล้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII มีปัญหาในด้านความถูกต้องของการประเมินน้ำท่าและปริมาณน้ำท่าสะสม ดังนั้น ศูนย์วิจัย SENSWAT จึงได้ทำการพัฒนาแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII โดยผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD มีความสามารถในการประเมินน้ำท่าและประเมินปริมาณน้ำท่าสะสมที่ถูกต้องใกล้เคียงกว่าแบบจำลอง KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้มีข้อเสนอแนะให้มีการนำแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD, KU-FLEX-SD-NDII และ KU-FLEX-TOPO-SD มาประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำอื่น ๆ ในประเทศไทย เพื่อนำไปสู่การสรุปผลที่เป็นภาพรวมของทั้งประเทศว่าแบบจำลองใดมีความเหมาะสมมากที่สุด รวมทั้งอาจนำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองเหล่านี้เพิ่มเติมเพื่อสร้างแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า แบบกึ่งกระจายตัวที่มีประสิทธิภาพเพื่อนำมาใช้สนับสนุนการบริหารจัดการน้ำของประเทศต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมทรัพยากรน้ำ. 2552. แผนที่มีมาตรฐานการแบ่งลุ่มน้ำหลัก และลุ่มน้ำสาขาของประเทศไทย. สำนักวิจัยพัฒนาและอุทกวิทยา, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- _____. 2559. โครงการศึกษาความมั่นคงของลุ่มน้ำอย่างยั่งยืนทั้ง 25 ลุ่มน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.
- สุพรรณยา บำรุงพงศ์, นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ และ สุรัชย์ ลิปิวัฒนาการ. 2550. ความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวมระหว่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM และลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำปิงตอนบน. การประชุมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12. โรงแรมอมรินทร์ลากูน, จ.พิษณุโลก. 2-4 พฤษภาคม.
- นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. 2556. อุทกวิทยาขั้นสูง. พิมพ์ครั้งที่ 2. วีรวรรณ พรินท์ติ้ง แอนด์แพ็คเกจจิง, นนทบุรี.
- Fenicia, F., H. H. G. Savenije, P. Matgen and L. Pfister. 2008. Understanding catchment behavior through stepwise model concept improvement. **Water Resources Research** 44 (1): 1-13.
- Gan, T. Y., E. M. Dlamini and G. F. Biftu. 1997. Effects of model complexity and structure, data quality, and objective functions on hydrologic modeling. **Journal of Hydrology** 192 (1-4): 81-103.
- Malone, T. **Using URBS for Real Time Flood Modeling**. 2nd international Conference on Water Resources & Environment Research, Brisbane, Qld.
- Sharma, K. D. and S. Singh. 1992. Runoff estimation using landsat thematic mapper data and the SCS model. **Hydrological Sciences Journal** 37 (1): 39-52.

Sriwongsitanon, N., W. Jandang, T. Suwawong, and H. H. G. Savenije. 2020. Development of Semi-distributed FLEX-SD Model for runoff estimation in tropical nested catchments.

Hydrology and Earth System Sciences 192 (1-4): 81-103.

Sriwongsitanon, N., K. Tantisuvanichkul, C. Kaprom, S. Archavakijgosol, J. Williams and

W. G. M. Bastiaanssen. 2019a. **An Advanced Gridded Monthly Rainfall Product for**

Thailand Based on Rain Gauges. Double Mass Curves, and Remote Sensing Rainfall

Products.

Sugawara, M. 1974. **Tank model and its application to Bird Creek, Wollombi Brook,**

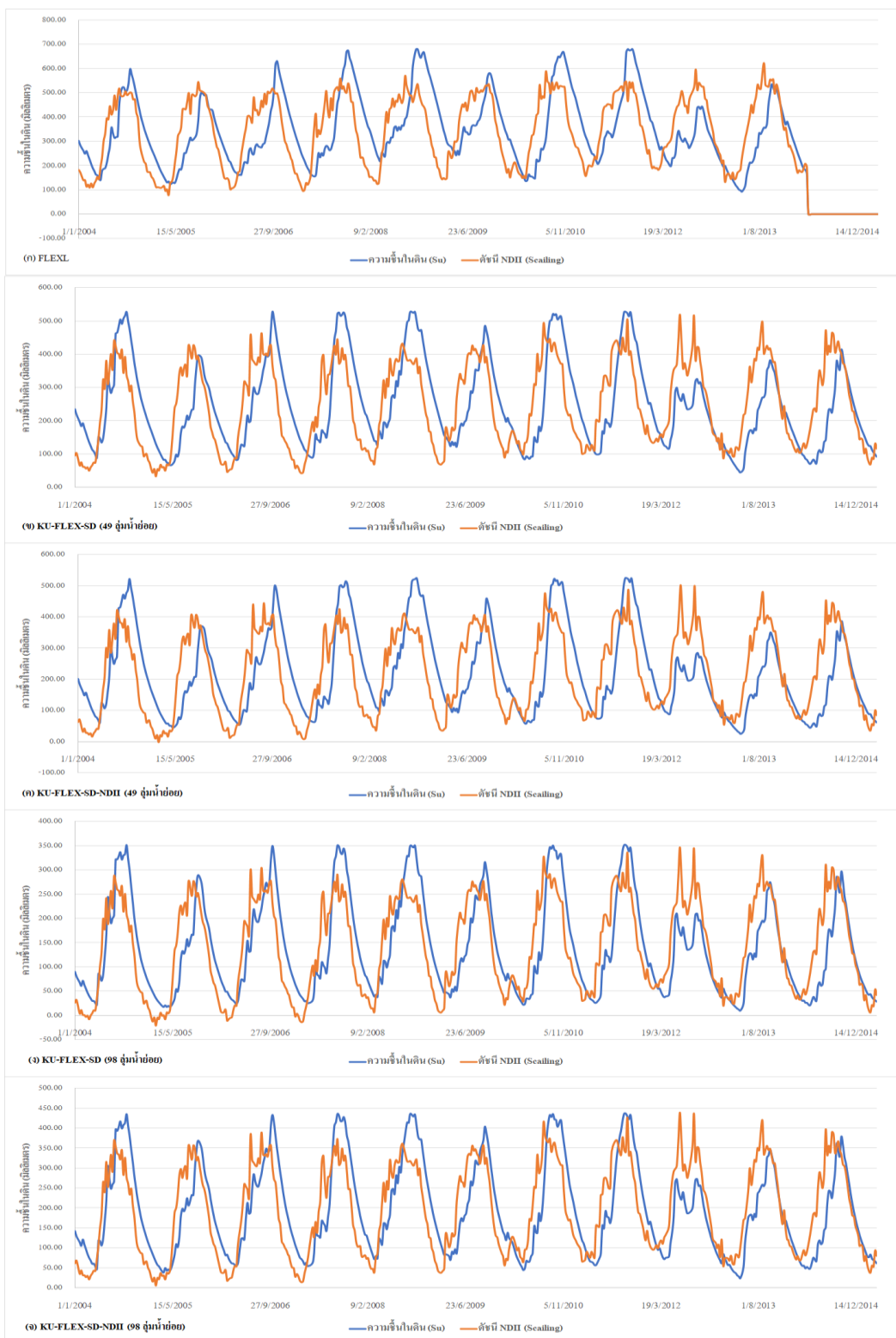
In Bikin River, Kitsu River, Sanaga River and Nam Mune. National Research Center

for Disaster Prevention, Tokyo.

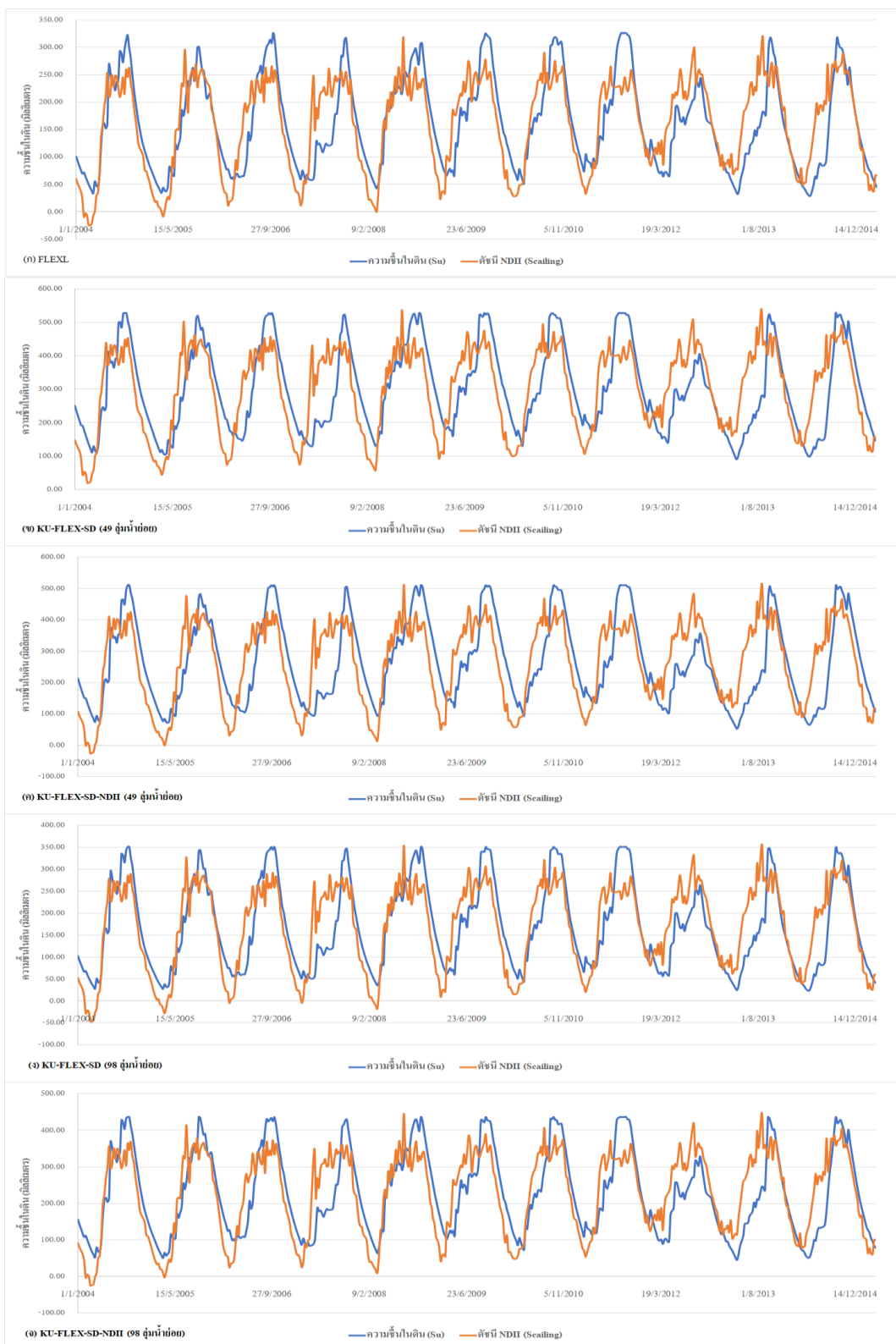
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

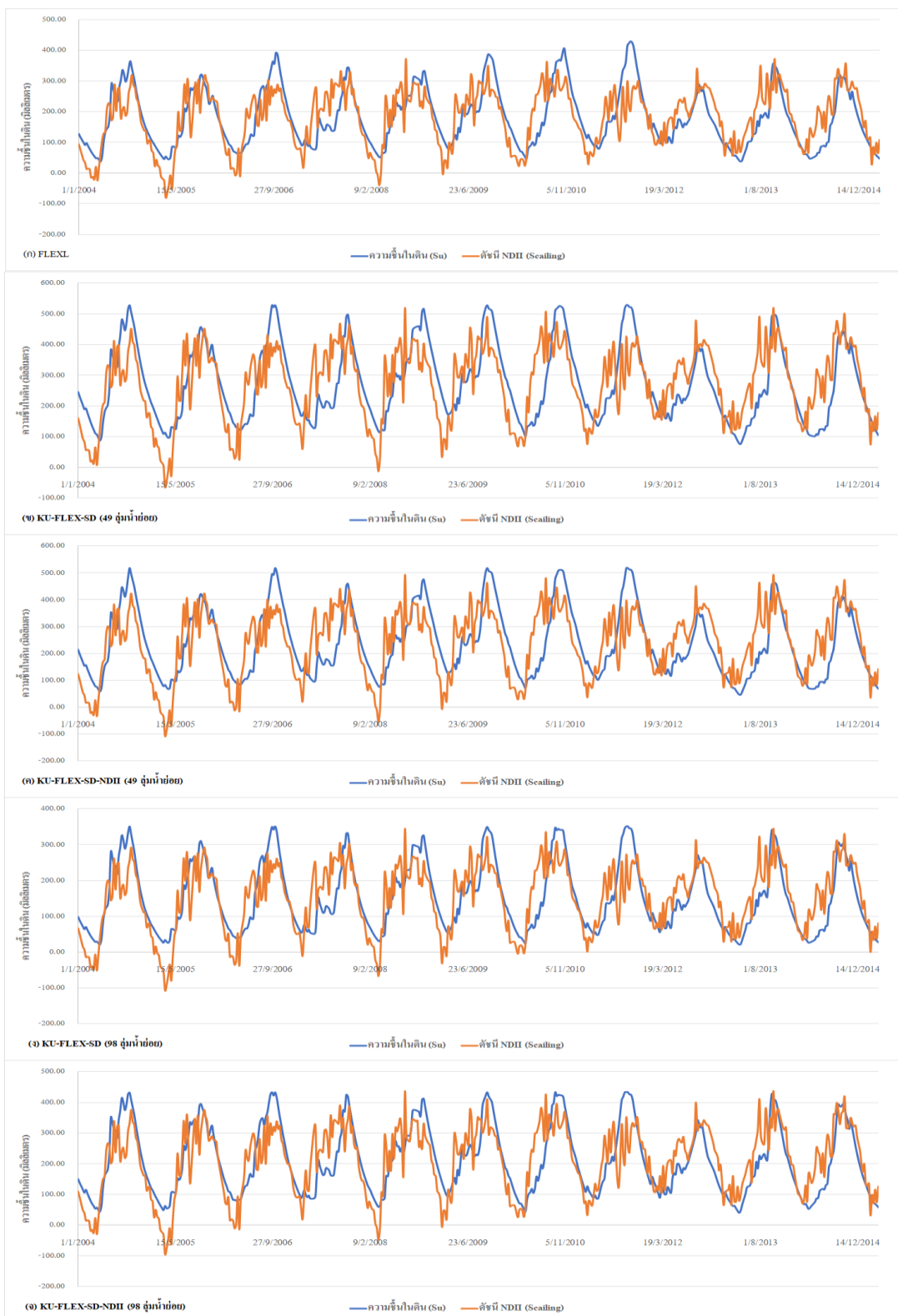
ผลการประเมินความชื้น (Su) ที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL KU-FLEX-SD และ
KU-FLEX-SD-NDII



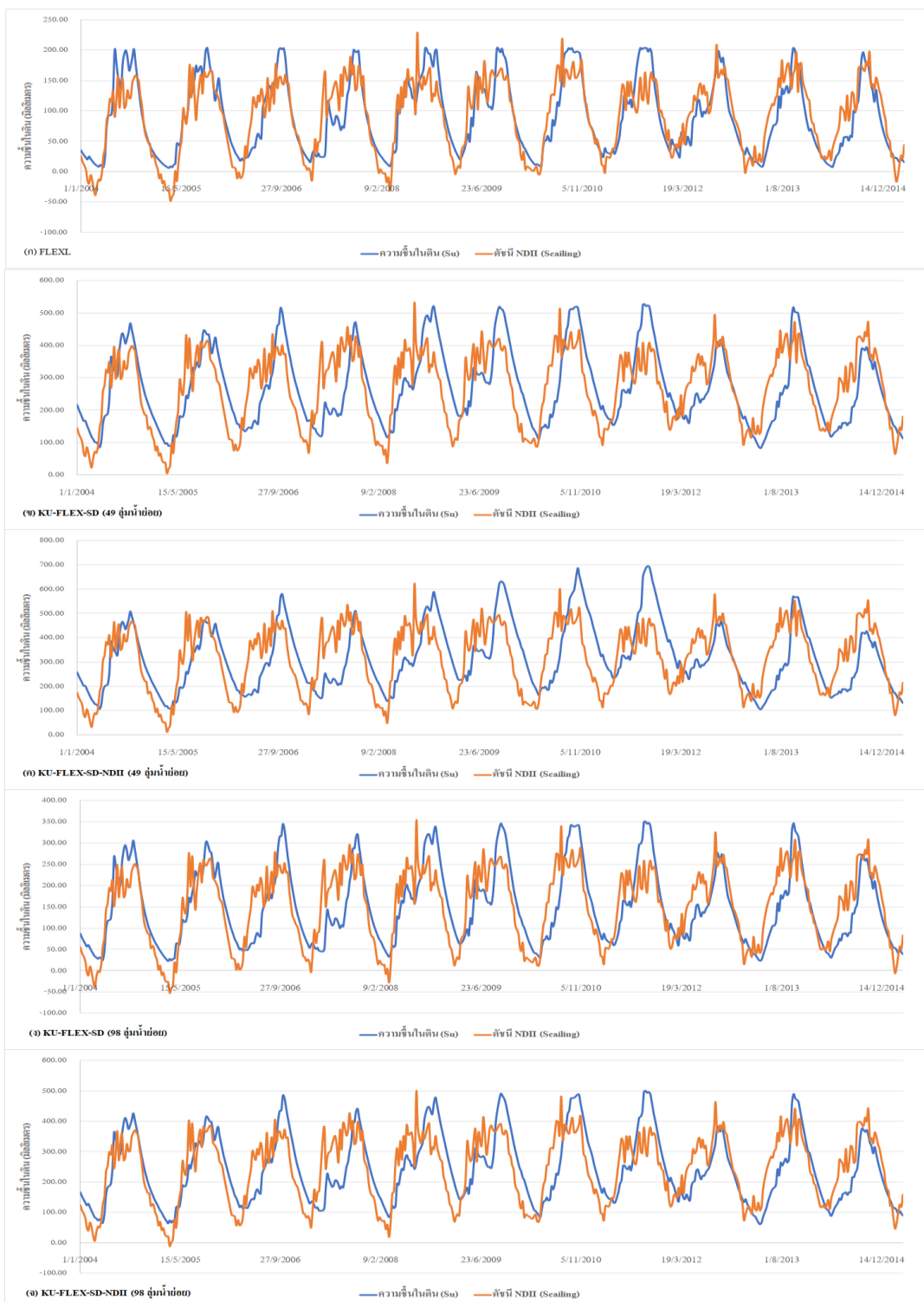
ภาพผนวกที่ ก1 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.22B



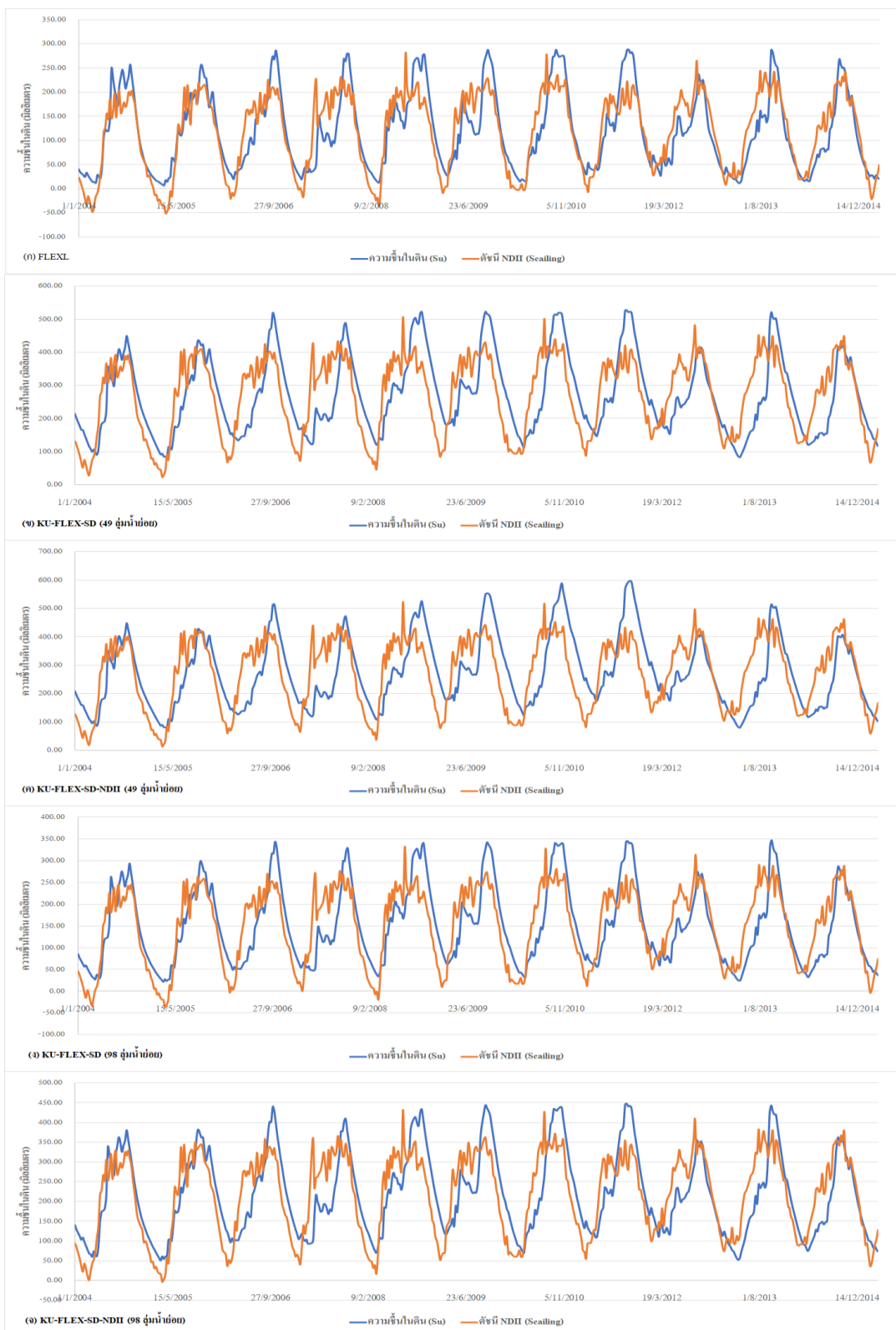
ภาพผนวกที่ ก2 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.73



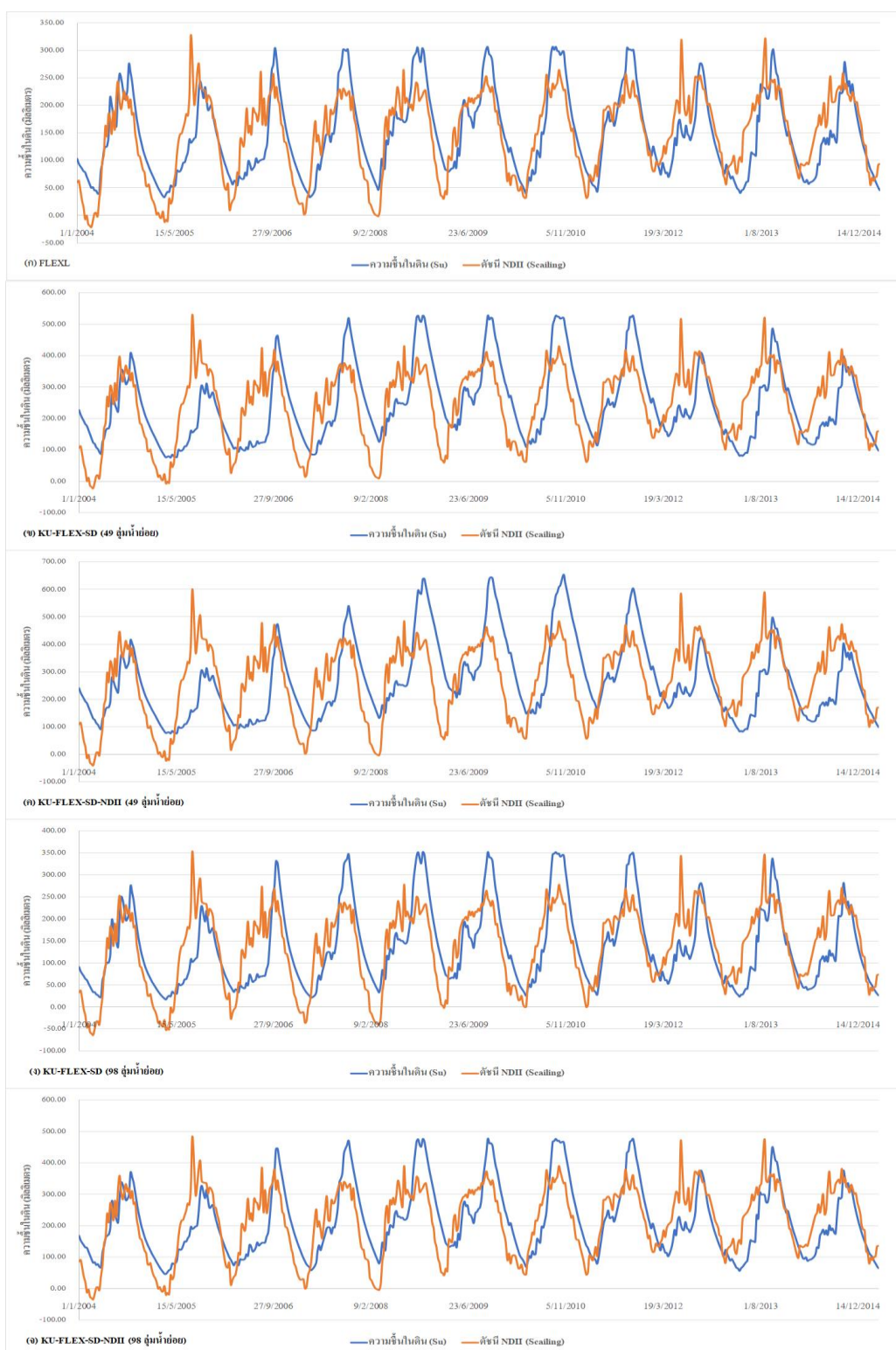
ภาพผนวกที่ ก3 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.72



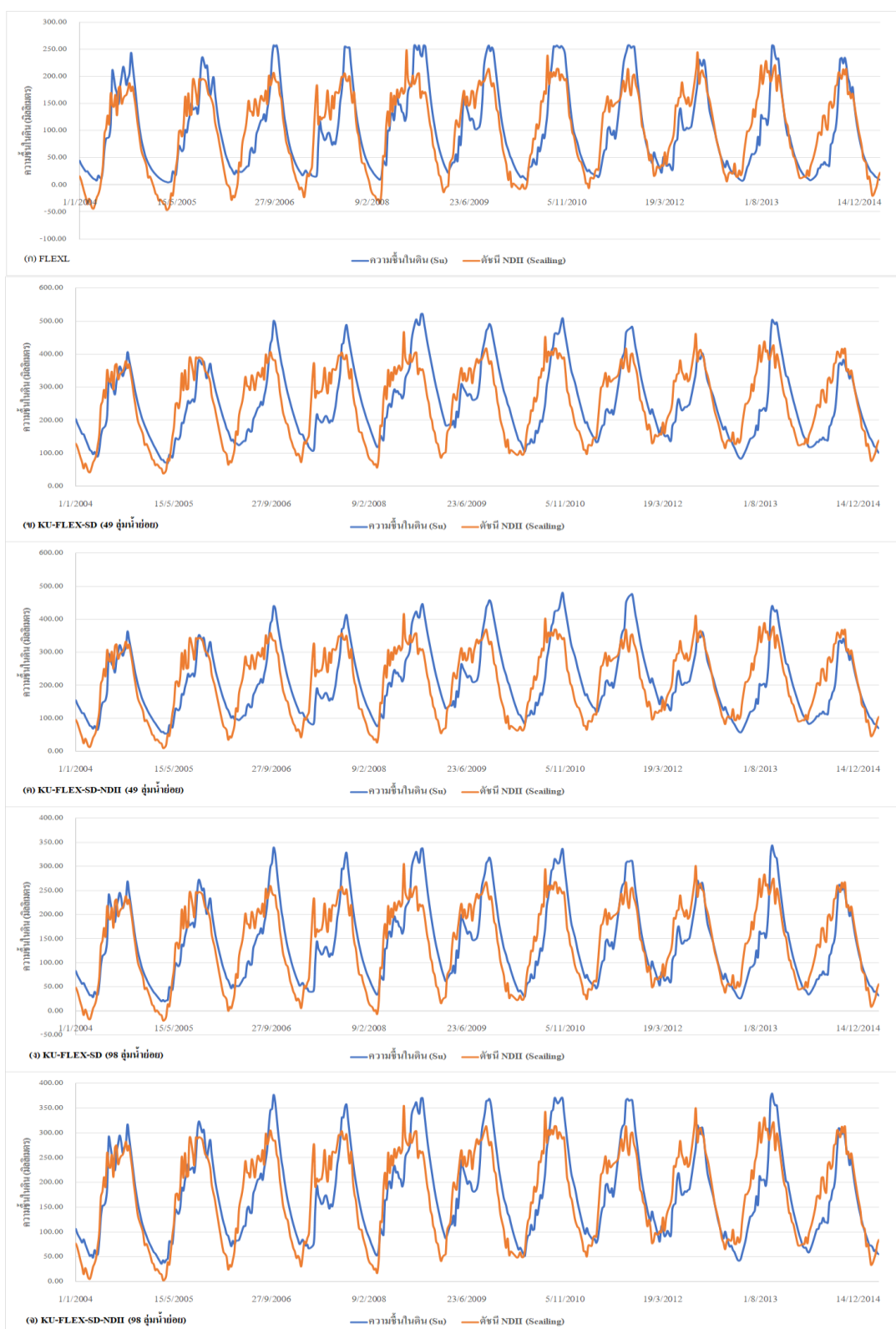
ภาพผนวกที่ ก4 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความขึ้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.32A



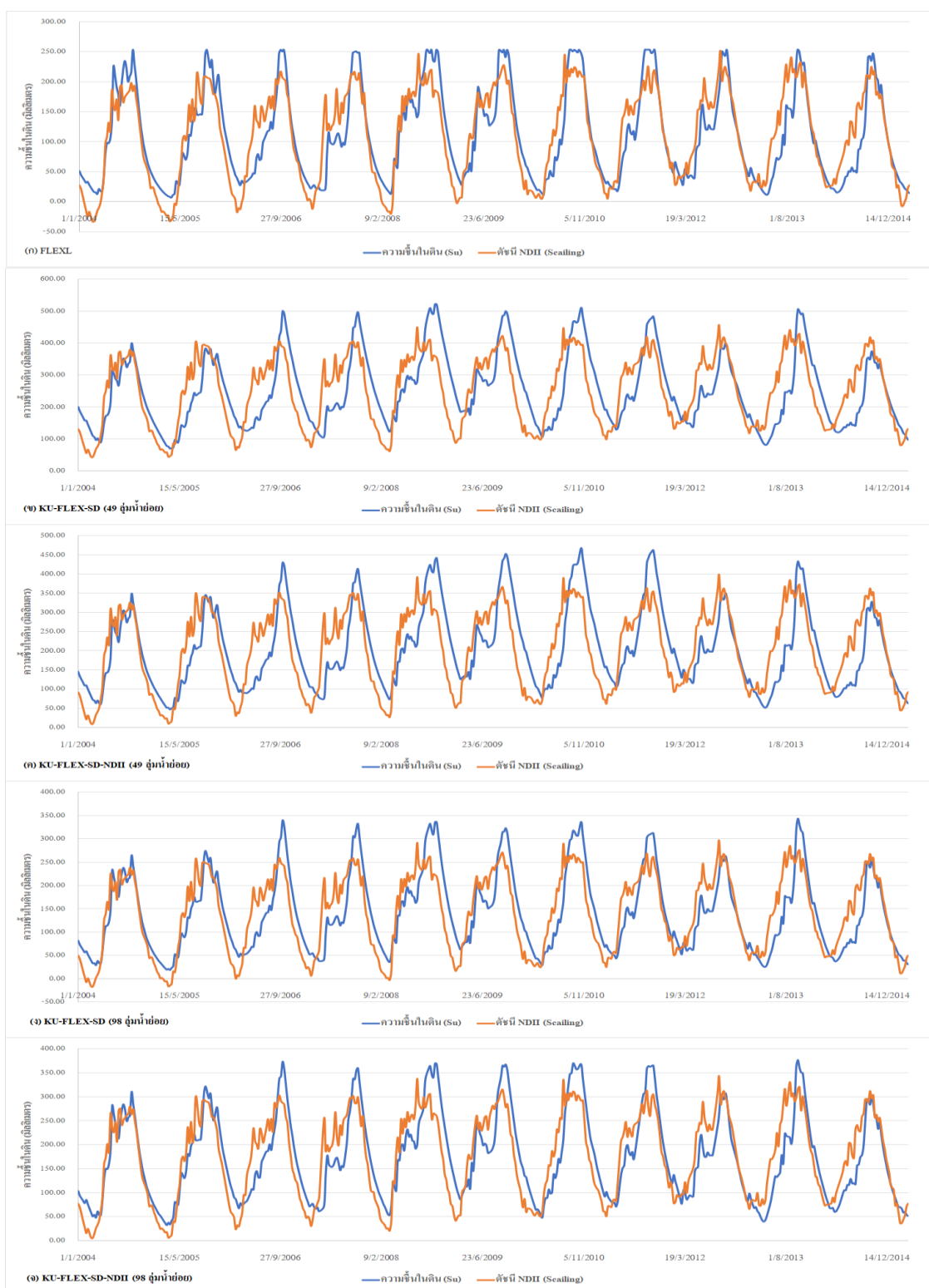
ภาพผนวกที่ ก5 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.5



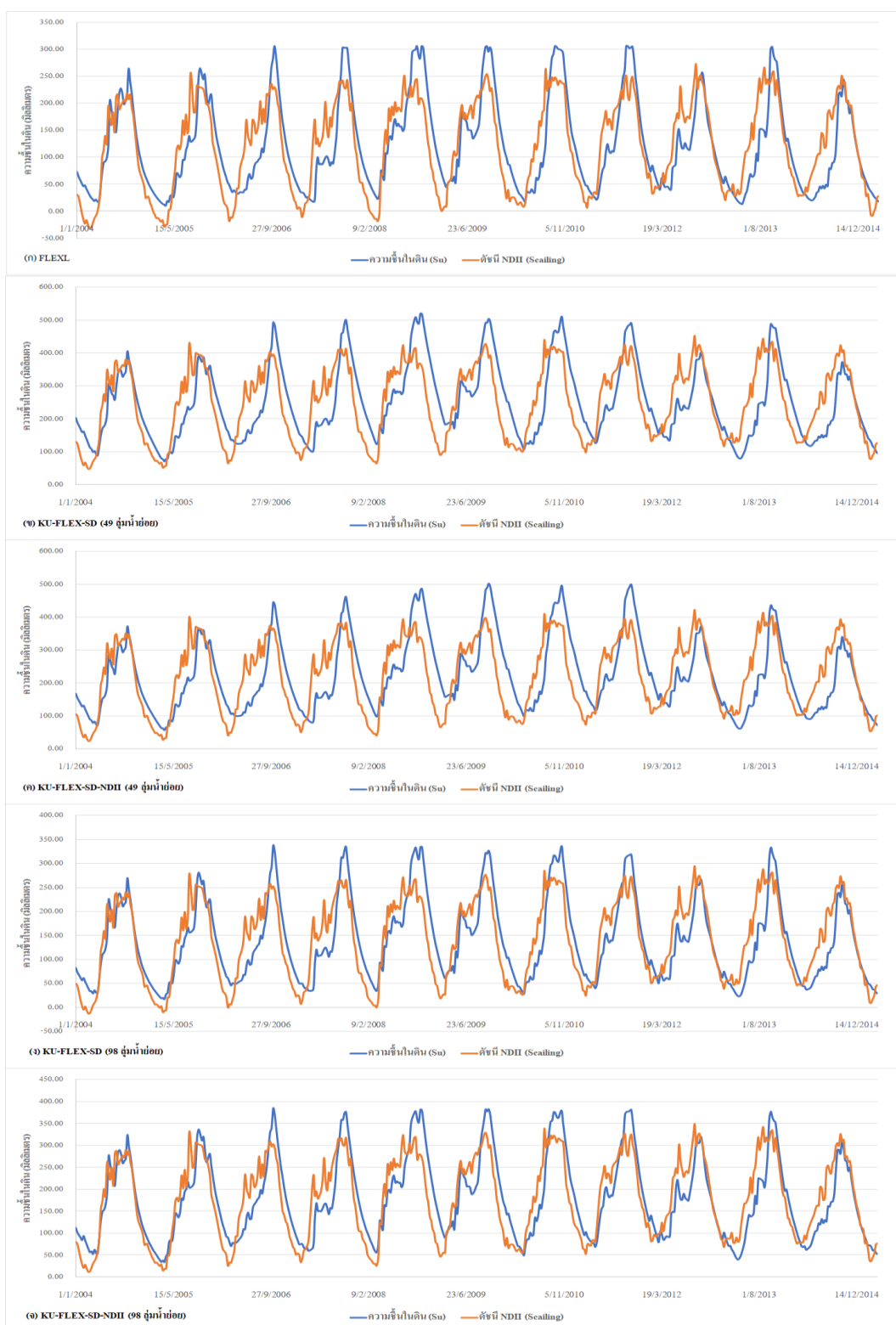
ภาพผนวกที่ 6 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.6C



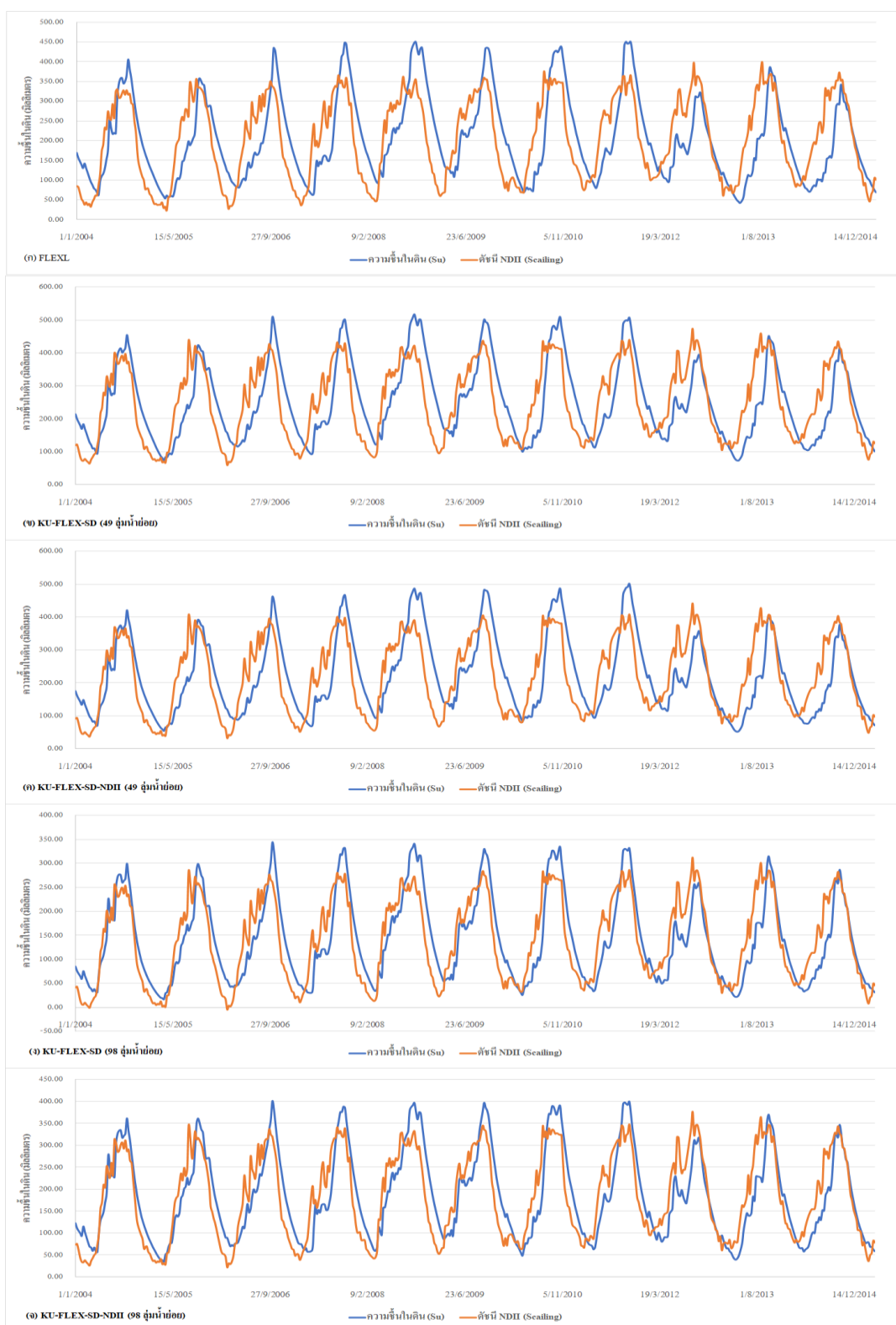
ภาพผนวกที่ ก7 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.23



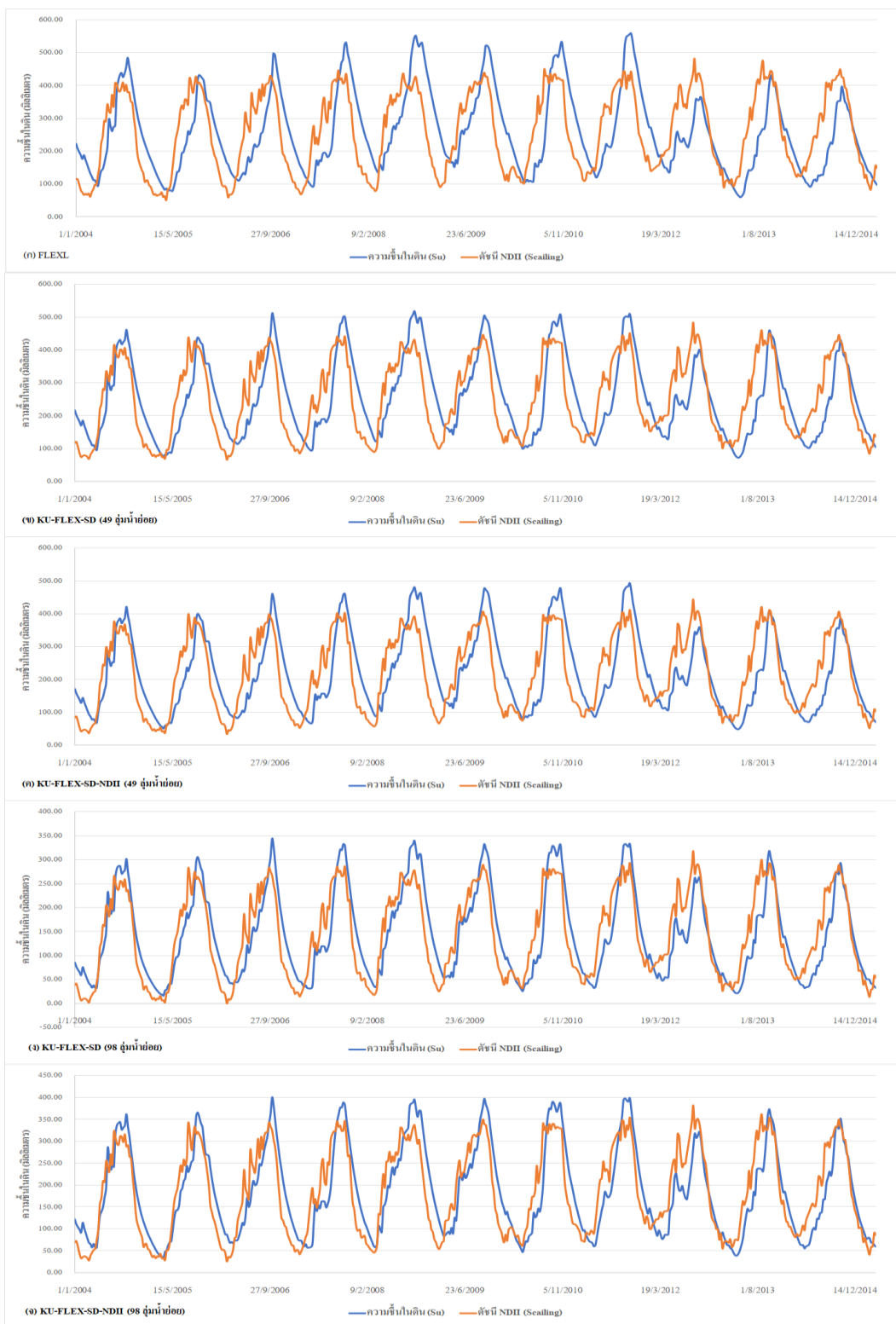
ภาพผนวกที่ 8 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความขึ้นในคืนที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.21



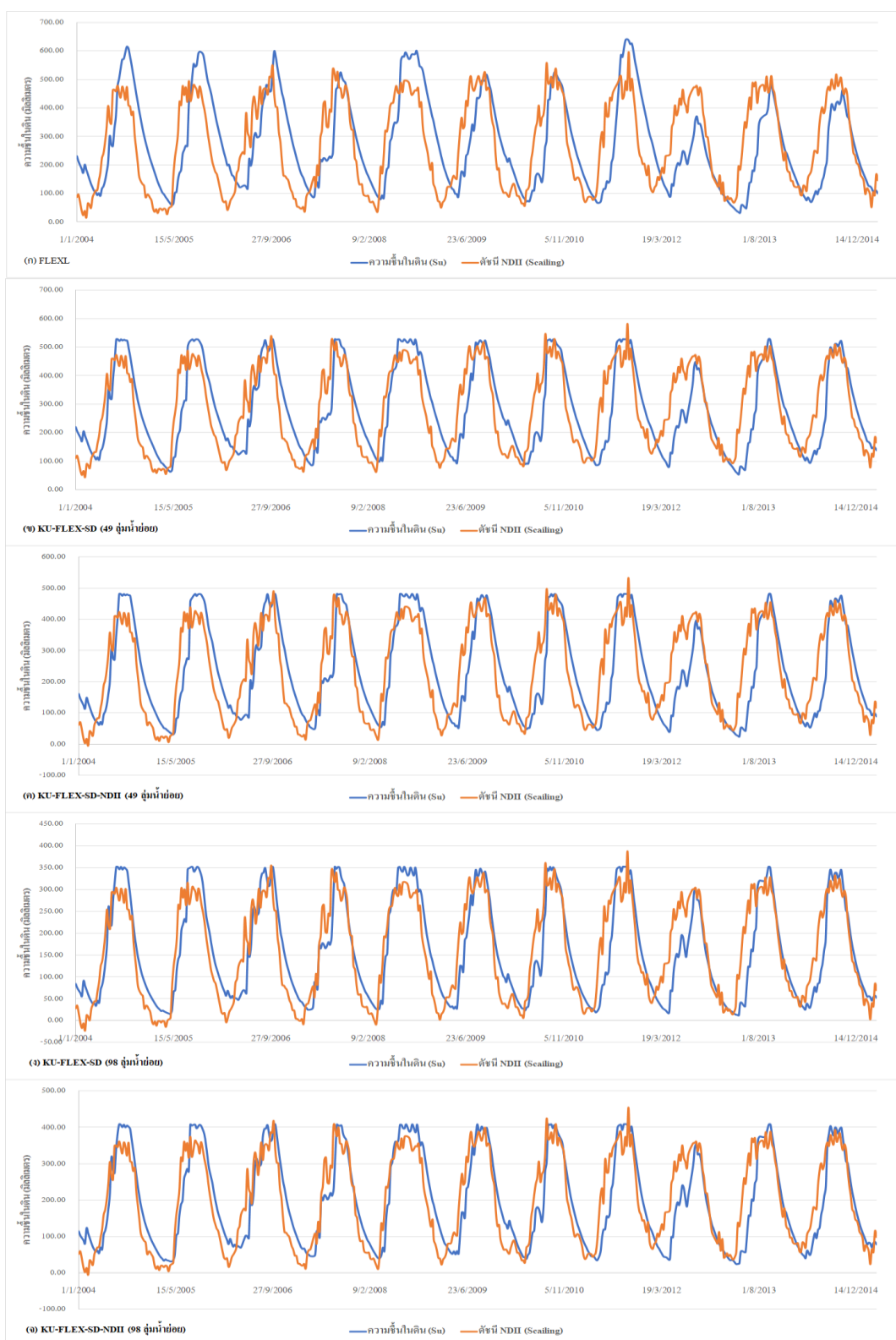
ภาพผนวกที่ ก9 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.9



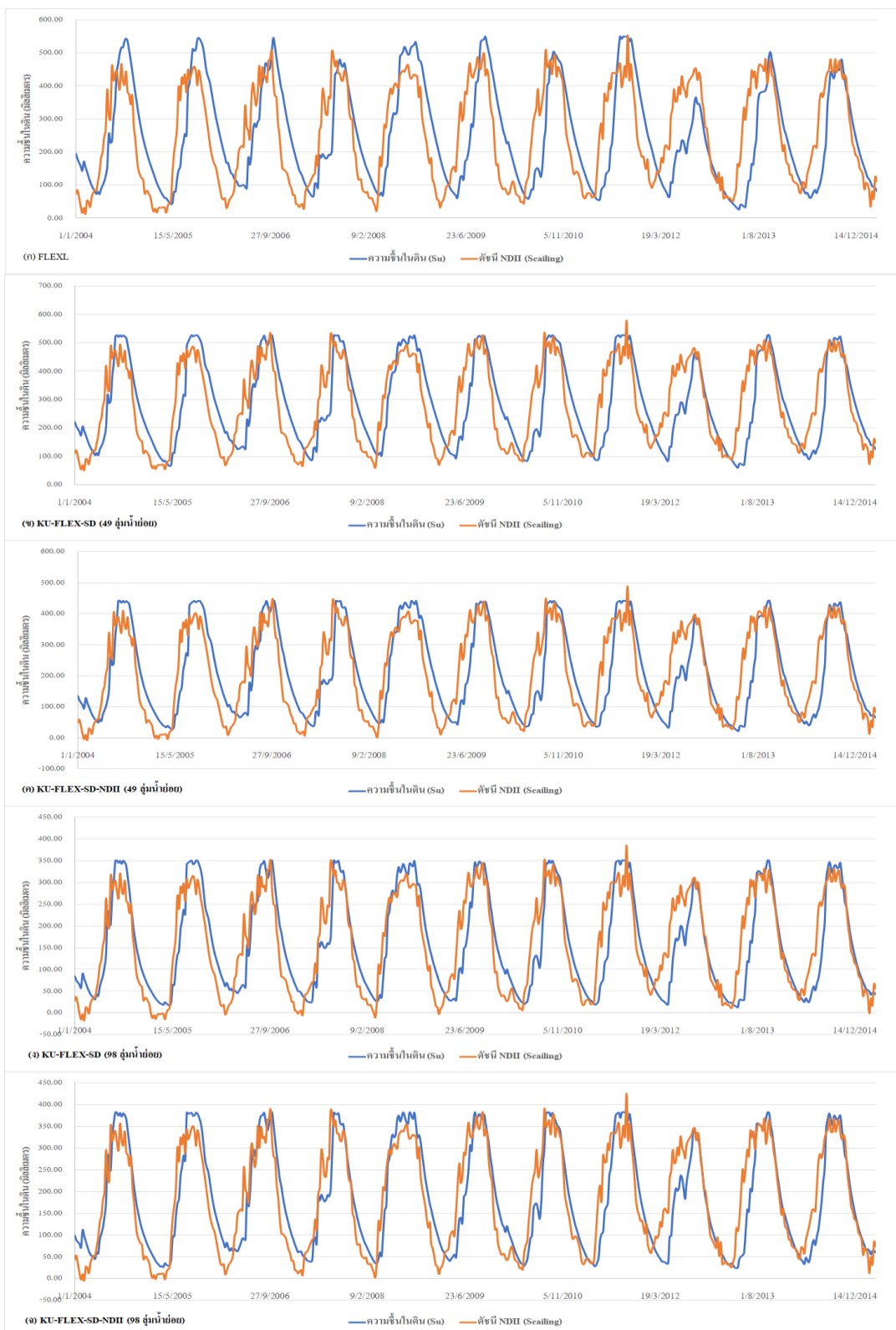
ภาพผนวกที่ 10 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.66A



ภาพผนวกที่ ก11 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.18



ภาพผนวกที่ ก12 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความถี่ในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.54



ภาพผนวกที่ ก13 การเปรียบเทียบระหว่างดัชนี NDII และความชื้นในดินที่ได้จากแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ที่สถานี E.70

ภาคผนวก ข

ผลของค่า KGE ของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII

ตารางผนวกที่ ข1 ผลของค่า KGE ที่เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง FLEXL, KU-FLEX-SD และ KU-FLEX-SD-NDII ของทั้ง 14 สถานีวัดน้ำท่า

สถานี	แบบจำลอง	NSE	KGE _E	KGE _{LF}	KGE _{FDC}
E.22B	FLEXL	0.63	0.82	0.71	0.98
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.81	0.56	0.61	0.68
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.81	0.48	0.60	0.61
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.78	0.58	0.61	0.69
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.78	0.56	0.65	0.68
E.73	FLEXL	0.53	0.75	0.42	0.93
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.34	0.36	-0.12	0.49
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.37	0.57	0.23	0.71
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.44	0.34	-0.25	0.45
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.38	0.47	0.16	0.61
E.72	FLEXL	0.64	0.79	0.54	0.91
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.41	0.40	-0.34	0.49
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.38	0.74	0.45	0.88
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.55	0.32	-0.53	0.41
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.51	0.64	0.33	0.77
E.32A	FLEXL	0.81	0.91	0.53	0.97
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.48	0.23	0.53	0.26
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.32	0.52	0.62	0.53
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.70	-0.02	0.46	0.00
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.52	0.31	0.65	0.34
E.5	FLEXL	0.84	0.91	0.62	0.96
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.56	0.36	0.60	0.40
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.52	0.73	0.66	0.75
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.80	0.21	0.56	0.23
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.69	0.57	0.71	0.60

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

สถานี	แบบจำลอง	NSE	KGE _E	KGE _{LF}	KGE _{FDC}
E.23	FLEXL	0.79	0.88	0.79	0.98
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.70	0.48	0.76	0.49
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.70	0.84	0.75	0.85
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.87	0.49	0.75	0.50
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.83	0.83	0.77	0.86
E.6C	FLEXL	0.69	0.85	0.46	0.97
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.47	0.20	-0.34	0.23
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.32	0.55	0.22	0.58
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.69	-0.01	-0.58	0.01
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.56	0.35	0.03	0.37
E.21	FLEXL	0.80	0.89	0.61	0.94
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.72	0.41	0.72	0.42
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.70	0.84	0.81	0.84
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.89	0.45	0.73	0.46
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.88	0.83	0.75	0.84
E.9	FLEXL	0.78	0.87	0.35	0.97
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.79	0.41	0.72	0.42
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.75	0.72	0.53	0.73
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.85	0.51	0.75	0.52
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.88	0.79	0.47	0.80
E.66A	FLEXL	0.78	0.88	0.75	0.97
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.83	0.84	0.61	0.87
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.82	0.60	0.46	0.62
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.73	0.79	0.61	0.81
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.71	0.55	0.53	0.57

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

สถานี	แบบจำลอง	NSE	KGE _E	KGE _{LF}	KGE _{FDC}
E.18	FLEXL	0.80	0.88	0.79	0.99
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.80	0.87	0.60	0.91
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.81	0.87	0.76	0.92
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.82	0.87	0.60	0.90
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.81			
E.54	FLEXL	0.71	0.80	0.73	0.95
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.47	0.74	0.79	0.89
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.45	0.58	0.76	0.63
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.52	0.72	0.81	0.84
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.49	0.61	0.77	0.67
E.70	FLEXL	0.71	0.82	0.73	0.95
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.53	0.75	0.80	0.86
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.55	0.57	0.78	0.60
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.56	0.70	0.82	0.75
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.54	0.57	0.79	0.60
E.20A	FLEXL	0.79	0.88	0.74	0.97
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.81	0.89	0.57	0.95
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.82	0.90	0.71	0.97
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.81	0.89	0.58	0.94
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.81	0.90	0.69	0.98
Average	FLEXL	0.74	0.86	0.62	0.96
	KU-FLEX-SD (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.61	0.53	0.45	0.59
	KU-FLEX-SD (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.58	0.70	0.59	0.74
	KU-FLEX-SD-NDII (49 กลุ่มน้ำย่อย)	0.71	0.48	0.41	0.52
	KU-FLEX-SD-NDII (98 กลุ่มน้ำย่อย)	0.66	0.62	0.55	0.67

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวสุวนันท์ พุกเที่ยง
เกิดวันที่	30 ตุลาคม 2534
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมชลประทาน
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-