

การติดตามปริมาณการไหลของน้ำ ผ่านลุ่มน้ำโขงตอนบน ภายใต้สภาพทางธรรมชาติ (โดยไร้การกีดขวาง)



LOWER MEKONG INITIATIVE



SUSTAINABLE
INFRASTRUCTURE
PARTNERSHIP



building
local
promise.

การติดตาม
ปริมาณการไหลของน้ำ
ผ่านลุ่มน้ำโขงตอนบน
ภายใต้สภาพทางธรรมชาติ
(โดยไร้การกีดขวาง)

อลัน แบชิสต์¹ และ คลีออด วิลเลียมส์²

10 เมษายน 2563

ในการอ้างอิงรายงานฉบับนี้ โปรดระบุแหล่งที่มาของข้อมูลดังนี้
Basist, A. and Williams, C. (2020); Monitoring the Quantity of Water Flowing Through the Mekong Basin Through Natural (Unimpeded) Conditions, Sustainable Infrastructure Partnership, Bangkok.

ข้อมูลพื้นฐาน/ข้อมูลได้รับความอนุเคราะห์จากคณะกรรมการแม่น้ำโขง และได้รับอนุญาตให้ทำซ้ำ

1. Eyes on Earth, Inc.
2. Global Environmental Satellite Applications, Inc.

รายงานฉบับนี้จัดทำขึ้นด้วยความอนุเคราะห์ของชาวอเมริกันผ่านกระทรวงการต่างประเทศสหรัฐอเมริกา เนื้อหาในรายงานฉบับนี้ก็เป็นความรับผิดชอบของผู้จัดทำรายงาน และไม่จำเป็นต้องสะท้อนมุมมองหรือความเห็นของ Pact หรือรัฐบาลสหรัฐอเมริกา



**SUSTAINABLE
INFRASTRUCTURE
PARTNERSHIP**

โครงการหุ้นส่วนเพื่อโครงสร้างพื้นฐานที่ยั่งยืน (Sustainable Infrastructure Partnership)

โครงการหุ้นส่วนเพื่อโครงสร้างพื้นฐานที่ยั่งยืน (SIP) เป็นโครงการเสริมสร้างขีดความสามารถและความร่วมมือซึ่งบริหารจัดการโดย Pact Thailand เพื่อรับมือกับความท้าทายด้านทรัพยากรน้ำที่ใช้ร่วมกันในภูมิภาคลุ่มน้ำโขง โครงการ SIP สนับสนุนการฝึกอบรมและการเสริมสร้างขีดความสามารถในการจัดการความสัมพันธ์ระหว่างระบบน้ำ ระบบพลังงาน และระบบอาหาร ตลอดจนส่งเสริมการแลกเปลี่ยนข้อมูลด้านทรัพยากรน้ำผ่านโครงการริเริ่มในการจัดการข้อมูลด้านทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำโขง (Mekong Water Data Initiative) ทั้งนี้โครงการ SIP ทำงานภายใต้กรอบความร่วมมือริเริ่มลุ่มน้ำโขงตอนล่าง (Lower Mekong Initiative)



ริเริ่มลุ่มน้ำโขงตอนล่าง (Lower Mekong Initiative)

ริเริ่มลุ่มน้ำโขงตอนล่าง (LMI) เป็นความร่วมมือระดับพหุภาคีระหว่างกัมพูชา สปป.ลาว เมียนมา ไทย เวียดนาม และสหรัฐอเมริกา ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี 2552 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีหารือว่าด้วยการพัฒนาข้ามชาติและปัญหาด้านนโยบายอันมีความซับซ้อนในอนุภูมิภาคลุ่มน้ำโขงตอนล่าง ประเทศสมาชิก LMI ทำงานร่วมกับกลุ่มผู้ให้ความช่วยเหลือในนามมิตรประเทศลุ่มน้ำโขงตอนล่าง (Friends of the Lower Mekong – FLM) อันประกอบด้วย ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น สาธารณรัฐเกาหลี นิวซีแลนด์ สหภาพยุโรป ธนาคารพัฒนาเอเชีย และธนาคารโลก

ข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่หน้าเฟ

ชบุ๊ก

ของ SIP และเว็บไซต์ของ LMI





รายงานสรุป

การศึกษานี้สร้างแบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือและเข้าใจง่ายเพื่อคาดการณ์การไหลตามธรรมชาติของแม่น้ำโขงตอนบน และใช้การคาดการณ์ดังกล่าวประเมินวิถีทางที่ซุดเขื่อนแบบขั้นบันได (cascade of dams) ตามลำน้ำโขงตอนบนเปลี่ยนแปลงการไหลตามธรรมชาติ การศึกษานี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานข้อมูลดาวเทียมระหว่างปี 2535 ถึง 2562 และข้อมูลรายวันจากมาตรวัดระดับน้ำในแม่น้ำจากสถานีเชียงแสน ประเทศไทย Eyes on Earth, Inc. และ Global Environmental Satellite Observations, Inc. ได้พัฒนาซอฟต์แวร์กรรมสิทธิ์ขึ้นมาโดยใช้ อัลกอริทึมแปลงสัญญาณไมโครเวฟที่วัดได้จากเครื่องตรวจวัด Special Sensor Microwave Imager/Sounder (SSM/I/S) มาเป็นดัชนีค่าความชื้นของพื้นผิวดิน เมื่อใช้แบบจำลองคาดการณ์การไหลของน้ำตามธรรมชาติ ผู้จัดทำรายงานได้คำนวณปริมาณน้ำที่น้ำจะไหลมาตามธรรมชาติเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากมาตรวัดระดับน้ำที่สถานีเชียงแสน จากนั้นจึงสรุปผลต่างจากการเปรียบเทียบในช่วงเวลาต่าง ๆ ของข้อมูลที่บันทึกไว้ในระยะเวลา 28 ปีเพื่อหาปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำกักเก็บไว้หรือถูกผันออกจากต้นน้ำเหนือเชียงแสนด้วยวิธีการอื่นใด

ระดับน้ำในแม่น้ำ 126.44 เมตรหายไปจากมาตรวัดสถานีเชียงแสนในระยะเวลา 28 ปีที่มีการบันทึกข้อมูล ในช่วงเวลาดังกล่าว Huaneng Hydrolancang ซึ่งเป็นรัฐวิสาหกิจของจีนสร้างเขื่อนขึ้นหลายแห่งในลำน้ำโขงสายประธาน ข้อมูลจากมาตรวัดและข้อมูลประมาณการจากดาวเทียมโดยทั่วไปแสดงความสอดคล้องกันดีในช่วงปีแรก ๆ โดยระดับน้ำในแม่น้ำลดลงในช่วงที่มีการปล่อยน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำของเขื่อนมันวัน (Manwan) และเขื่อนต้าเฉาซาน (Dachaoshan) ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำจากมาตรวัดกับน้ำที่ไหลตามธรรมชาติลดลงหลังจากปี 2555 เมื่อมีการสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำหลักขึ้นอีก 2-3 แห่ง ซึ่งเป็นการจำกัดปริมาณและช่วงเวลาการปล่อยน้ำจากต้นน้ำอย่างมาก ทั้งนี้ รัฐบาลจีนให้คำมั่นว่าจะใช้เขื่อนเหล่านี้ควบคุมการไหลของน้ำเพื่อบังน้ำให้เท่าเทียมกันมากขึ้นในช่วงน้ำมากและช่วงน้ำน้อย การดำเนินการดังกล่าวยังสอดคล้องกับความต้องการของจีนที่จะกระจายการผลิตพลังงานในรอบปีเพื่อให้สามารถใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อย่างสมดุลมากขึ้นตลอดทั้งปี การควบคุมการไหลของน้ำเช่นนี้ส่งผลให้น้ำที่ปกติไหลมาในฤดูฝนถูกปล่อยมาในฤดูแล้ง



ผลที่ตามมาเห็นได้ชัดเจนจากระดับน้ำส่วนต่างในแต่ละรอบปีซึ่งมีค่าเป็นลบในฤดูฝนและมีค่าเป็นบวกในฤดูแล้ง เมื่อเขื่อนน่วจาตู้ (Nuozhadu) ซึ่งเป็นเขื่อนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและอ่างเก็บน้ำของเขื่อนสร้างแล้วเสร็จ การขาดแคลนน้ำในฤดูฝนปรากฏชัดเจนนที่สุดหลังจากที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สุดต่างเริ่มทำงาน

เขื่อนเหล่านี้ขยายขีดความสามารถของหน่วยงานบริหารจัดการในการควบคุมการไหลของน้ำในแม่น้ำอย่างมาก ยังผลกระทบต่อท้ายน้ำซึ่งจำเป็นต้องได้รับการแก้ไขด้วยวิธีแบบองค์รวม เขื่อนทั้ง 6 แห่งที่สร้างขึ้นนับตั้งแต่เปิดใช้เขื่อนน่วจาตู้เมื่อปี 2555 ยิ่งส่งผลเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำตามธรรมชาติจากการกักเก็บและการปล่อยระบายน้ำในอ่างเก็บน้ำ หนึ่งในผลกระทบที่รุนแรงที่สุดเกิดขึ้นในปี 2562 เมื่อระดับน้ำในแม่น้ำโขงตอนล่างลดลงอยู่ในช่วงระดับน้ำต่ำสุดเป็นประวัติการณ์หลายครั้งเกือบตลอดทั้งปี เมื่อใช้ดัชนีค่าความขึ้นคาคัดการไหลของน้ำตามธรรมชาติ ผลปรากฏชัดเจนว่าน้ำตามธรรมชาติที่ไหลจากแม่น้ำโขงตอนบนมีปริมาณสูงกว่าค่าเฉลี่ย ค่าระดับน้ำส่วนต่างแสดงให้เห็นว่ามีน้ำไหลส่วนเกินในฤดูแล้งซึ่งคาดว่าใช้รองรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วงต้นปี 2562 ในขณะที่น้ำที่ไหลในฤดูฝนถูกจำกัดอย่างมากประกอบกับแม่น้ำโขงตอนล่างมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าระดับต่ำสุดที่เคยบันทึกไว้ การขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรงในแม่น้ำโขงตอนล่างช่วงฤดูฝนปี 2562 ส่วนใหญ่เป็นผลพวงจากการจำกัดการไหลของน้ำจากแม่น้ำโขงตอนบนในช่วงดังกล่าว หากจีนและประเทศในกลุ่มน้ำโขงตอนล่างได้ร่วมมือกันจำลองรูปแบบวัฏจักรการไหลตามธรรมชาติของน้ำในแม่น้ำโขง อาจช่วยคลี่คลายภาวะน้ำไหลน้อยช่วงปลายน้ำที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน 2562 ได้ หากนำดัชนีค่าความขึ้นไปใช้เป็นแนวทางจำลองรูปแบบการไหลของน้ำตามธรรมชาติแล้ว ทุกชุมชนตลอดลุ่มน้ำโขงย่อมได้ประโยชน์จากการรักษาไว้ซึ่งบูรณภาพแห่งลุ่มน้ำโขง





สารบัญ

รายงานสรุป	4
บทนำ	7
ระเบียบวิธีวิจัย	8
การพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์การไหลของน้ำ	13
ผลการศึกษา	14

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1:	11
เชื่อม อ่างเก็บน้ำ และการผลิตกระแสไฟฟ้าในแม่น้ำโขงตอนบน	
ตารางที่ 2:	14
ผลลัพธ์ของสมการถดถอยในการติดตามการไหลตามธรรมชาติของแม่น้ำโขงตอนบน	

สารบัญภาพ

รูปที่ 1:	8
พื้นที่ลุ่มน้ำโขงที่มีผลต่อการไหลของน้ำที่วัดได้จากมาตรวัดสถานีเชียงแสนซึ่งตั้งอยู่บริเวณจุดบรรจบกันของชายแดนเมียนมา สปป.ลาว และไทย	
รูปที่ 2:	15
การไหลของน้ำในแม่น้ำโขง ระยะเวลาที่บันทึกข้อมูล มีนาคม 2535 - มีนาคม 2562	
รูปที่ 3:	16
การไหลของน้ำในแม่น้ำโขง ระยะเวลาที่บันทึกข้อมูล มีนาคม 2535 - ธันวาคม 2543	
รูปที่ 4:	17
การไหลของน้ำในแม่น้ำโขง ระยะเวลาที่บันทึกข้อมูล มกราคม 2544 - ธันวาคม 2552	
รูปที่ 5:	18
การไหลของน้ำในแม่น้ำโขง ระยะเวลาที่บันทึกข้อมูล มกราคม 2553 - กันยายน 2562	



1. บทนำ



การศึกษานี้ติดตามดูระดับน้ำในแม่น้ำโขงตอนบนและบ่งชี้วิถีทางที่เชื่อมต่อน้ำเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำตามธรรมชาติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือและเข้าใจง่ายเพื่อคาดการณ์การไหลของน้ำตามธรรมชาติในแม่น้ำโขงตอนบน และใช้การคาดการณ์ดังกล่าวประเมินวิถีทางที่เชื่อมแบบขั้นบันได (cascade of dams) ตามลำน้ำโขงตอนบนเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำตามธรรมชาติ บทความหลายชิ้นก่อนหน้านี้อภิปรายถึงผลกระทบและการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศและทรัพยากรทางธรรมชาติในลุ่มน้ำโขงตอนล่างที่เกิดจากเขื่อนที่จีนสร้างขึ้น (Lu et al. 2006, Baran and Myschowoda 2009, Plinston and He Daming 2000) การศึกษานี้จะวัดปริมาณน้ำที่ไหลจากที่ราบสูงที่เบตลงมาที่สถานีวัดน้ำเชียงแสนในประเทศไทย

วิธีการที่ใช้ในการติดตามปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่มแม่น้ำมีหลากหลายวิธีด้วยกัน ในจำนวนนี้มีหลายวิธีที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวัดค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำสะสมในลุ่มน้ำ (Smakhtin 2001, Kollet and Maxwell 2006, Kurtz et al. 2016) วิธีการอื่นนอกเหนือจากนี้คือการใช้ข้อมูลจากการสำรวจทางดาวเทียม และการใช้แบบจำลองทางสถิติเพื่อแปลงสัญญาณการสำรวจระยะไกลให้เป็นแบบจำลองการคาดการณ์การไหลของน้ำในทางสถิติ (Blankenspoor et al. 2012, Meier et al. 2011, Scipal et al. 2005)

การศึกษานี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานข้อมูลดาวเทียมระหว่างปี 2535 ถึง 2562 และข้อมูลรายวันจากมาตรวัดระดับน้ำในแม่น้ำที่สถานีเชียงแสน จากนั้นใช้สมการถดถอยเพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งสองชุด เมื่อสร้างแบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือขึ้นมาแล้ว เราจึงใช้แบบจำลองนั้นคาดการณ์การไหลของน้ำตามธรรมชาติในช่วง 28 ปีที่บันทึกข้อมูลนี้ ค่าส่วนต่างระหว่างการไหลของน้ำตามธรรมชาติและระดับน้ำที่ไหลเข้าสู่ประเทศไทยที่วัดค่าไว้จะบ่งชี้วิถีทางที่เชื่อมเปลี่ยนแปลงปริมาณของน้ำที่ไหลมาจากลุ่มน้ำโขงตอนบน

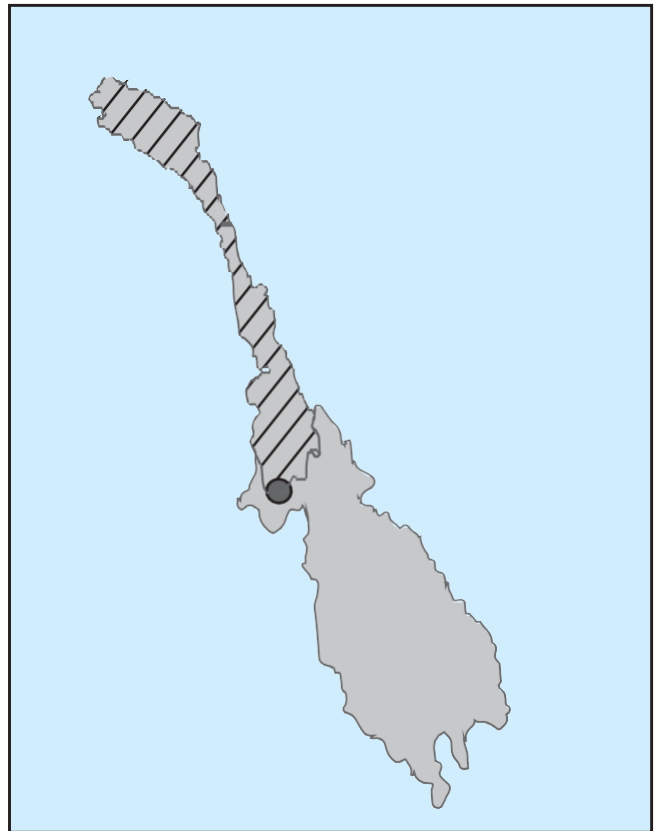
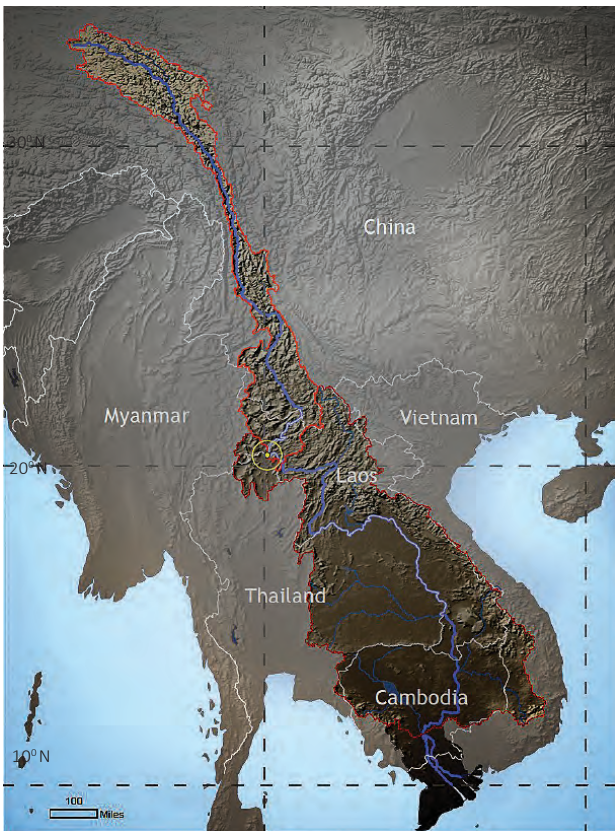




2. ระเบียบวิธีวิจัย



การศึกษานี้นำเอาข้อมูลรายวันจากมาตรวัดระดับน้ำที่สถานีเชียงแสนตั้งแต่เดือนมกราคม 2535 ถึงกันยายน 2562 มาหาค่าเฉลี่ยต่อเดือน ข้อมูลดังกล่าวเก็บรวบรวมโดยคณะกรรมการธิการแม่น้ำโขง (Mekong River Commission) และส่งต่อให้แก่ Eyes on Earth, Inc. ขอบเขตของแม่น้ำที่เป็นต้นน้ำของเชียงแสนครอบคลุมความยาวของแม่น้ำทั้งสายในจีนซึ่งมีต้นกำเนิดจากที่ราบสูงทิเบต ขอบเขตนี้อยู่รวมถึงช่วงสั้น ๆ ของแม่น้ำที่ไหลผ่านเมียนมาและสปป.ลาวด้วย (ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่มีลำน้ำสาขาไหลเข้ามาเพิ่มปริมาณน้ำในแม่น้ำสายประธาน) ก่อนที่จะไหลเข้ามาสู่ชายแดนประเทศไทยที่สถานีเชียงแสนซึ่งมีมาตรวัดน้ำติดตั้งอยู่ (รูปที่ 1) ข้อมูลระดับน้ำในช่วงเวลาที่มีการไหลของน้ำตามธรรมชาติเป็นค่าที่นำมาใช้ในการสอบเทียบของแบบจำลอง ส่วนค่าความขึ้นน้ำมาใช้คาดการณ์การไหลของน้ำตามธรรมชาติในลุ่มน้ำโขงตอนบน



100° E 110° E

รูปที่ 1: แผนที่ทางด้านซ้ายแสดงพื้นที่ลุ่มน้ำโขงที่มีผลต่อการไหลของน้ำที่วัดได้จากมาตรวัดสถานีเชียงแสนซึ่งตั้งอยู่บริเวณจุดบรรจบกันของชายแดนเมียนมา สปป.ลาว และไทย วงกลมในรูปคือจุดที่มีมาตรวัดน้ำติดตั้งอยู่ แผนที่ทางด้านขวาแสดงพื้นที่ลุ่มน้ำโขงทั้งหมดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ในการสอบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากดาวเทียมกับข้อมูลจากมาตรวัดนั้น ข้อมูลจากดาวเทียมตั้งอยู่บนพื้นฐานของการสำรวจด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบแพสซีฟ คลื่นไมโครเวฟนี้วัดโดยเครื่อง Special Sensor Microwave Imager/Sounder (SSM/I) ข้อมูลที่วัดโดยเครื่อง SSM/I เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวม 2 ครั้งต่อวันจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในทางการทหาร (Defense Meteorological Satellite Program - DMSP) ที่โคจรรอบขั้วโลก ดาวเทียมดังกล่าวโคจรจากขั้วโลกเหนือไปยังขั้วโลกใต้และโคจรกลับมา 14 ครั้งต่อวัน กล่าวคือดาวเทียมเหล่านี้โคจรรอบโลก 14 รอบต่อวัน (Neale et al. 1990) ดาวเทียมได้รับการออกแบบให้โคจรสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์โดยจะโคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรในเวลาประมาณ 6 โมงเช้าและ 6 โมงเย็นในทุกรอบวงโคจรรอบโลก เครื่อง SSM/I ตรวจวัดการปล่อยคลื่นไมโครเวฟจากพื้นผิวโลกที่คลื่นความถี่ 4 ช่วงในสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในช่วงความถี่ดังกล่าว มีคลื่นความถี่ 3 ช่วงที่วัดด้วยการกระจายคลื่น 2 แนว (dual polarization) (แนวตั้งและแนวระดับ) พลังงานที่เครื่องเซ็นเซอร์ตรวจวัดได้เป็นพลังงานแบบแพสซีฟ ซึ่งหมายความว่า เป็นพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาตามธรรมชาติจากพื้นผิวโลก ก่อนเมฆโดยทั่วไปแล้วมีความโปร่งใสเมื่อตรวจวัดด้วยคลื่นความถี่ที่เครื่อง SSM/I ใช้ จึงทำให้สามารถตรวจวัดค่าสภาพพื้นผิวโลก (ความชื้น พื้นผิวที่หิมะปกคลุม และอุณหภูมิ) ได้ในเกือบทุกสภาพอากาศในท้องฟ้า (Basist et al. 1998) Eyes on Earth, Inc. และ Global Environmental Satellite Observations, Inc. ได้พัฒนาซอฟต์แวร์กรรมสิทธิ์ขึ้นมาโดยใช้อัลกอริทึมแปลงสัญญาณไมโครเวฟมาเป็นดัชนีค่าความชื้นของพื้นผิวดิน สูตรการคำนวณด้านล่างนี้แสดงให้เห็นการพัฒนาของความสัมพันธ์ดังกล่าว ดัชนีค่าความชื้นของพื้นผิวโลกมีค่าตั้งแต่ศูนย์ซึ่งหมายความว่าตรวจไม่พบน้ำบริเวณใกล้พื้นผิวเลย ไปจนถึงค่าของส่วนของพื้นผิวที่มีน้ำอยู่ ดังนั้นระยะของค่าดัชนีดังกล่าวจึงเริ่มตั้งแต่ 0.0 ไปจนถึง 100.0 โดยค่าที่วัดได้ 100 หมายความว่าพื้นผิวทั้งหมดเป็นน้ำ (Basist et al. 2001) ค่าดัชนีนี้มาจากความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างค่าวัดช่องสัญญาณทุกช่อง (สมการที่ 1) โดยที่ค่าวัดช่องสัญญาณ 1 ช่องคือค่าที่ตรวจวัดได้ที่ความถี่ช่วงใดช่วงหนึ่งและที่การกระจายคลื่นแนวใดแนวหนึ่ง (กล่าวคือ เครื่อง SSM/I ตรวจวัดทั้งหมด 7 ช่องสัญญาณ)

สมการที่ 1

$$BWI = \Delta\varepsilon \cdot T_s = \beta_0 [T_b(v_2) - T_b(v_1)] + \beta_1 [T_b(v_3) - T_b(v_2)]$$

ในสมการนี้การเปลี่ยนแปลงของการคายรังสีความร้อน (emissivity) หรือ $\Delta\varepsilon$ ถูกกำหนดเชิงประจักษ์ด้วยข้อมูลที่ตรวจวัดทั่วโลกจากเครื่อง SSM/I โดย T_s คืออุณหภูมิพื้นผิวทั้งที่เป็นพื้นดินชื้นและพื้นดินแห้ง, T_b คืออุณหภูมิความสว่างจากดาวเทียมที่ความถี่ช่วงใดช่วงหนึ่ง (GHz), v_n ($n=1, 2, 3$) คือความถี่ที่วัดได้จากเครื่อง SSM/I ส่วน β_0 และ β_1 คือค่าสัมประสิทธิ์ประมาณการซึ่งเทียบเคียงความสัมพันธ์ของค่าวัดช่องสัญญาณต่าง ๆ กับอุณหภูมิพื้นผิวที่วัดได้ในขณะที่ดาวเทียมโคจรผ่าน ยิ่งมีความชื้นสูง ค่าความต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวที่วัดได้กับค่าวัดช่องสัญญาณก็จะยิ่งสูง (Williams et al. 2000)

โดยสรุปคือ ดัชนีค่าความชื้นถูกสอบเทียบจากค่าที่ลดลงของการคายรังสีความร้อนในสเปกตรัมไมโครเวฟเนื่องจากอิทธิพลของน้ำบนพื้นผิว ดังนั้นค่าสุดท้ายที่ได้คือค่าที่ลดลงของการคายรังสีความร้อนที่ความถี่ 19 GHz ซึ่งสอดคล้องกับน้ำที่ตรวจวัดได้จากสัญญาณไมโครเวฟ ทั้งนี้มีการนำค่าต่าง ๆ เหล่านี้มาใช้ตั้งแต่ปี 2541 เป็นต้นมาโดยหน่วยงานภาครัฐในสหรัฐอเมริกาและแคนาดา ราชอาณาจักร และองค์การนอกภาครัฐที่สนับสนุน “การเกษตรกรรมที่เท่าทันต่อภูมิอากาศ” (climate-smart agriculture) (Lipper et al. 2012) ตลอดจนอุตสาหกรรมประกันภัยและภาคธุรกิจอื่น ๆ

ดัชนีค่าความชื้นมีความเฉพาะตัวในแง่ที่ว่า เป็นค่าที่วัดเฉพาะน้ำที่อยู่ในสถานะ

ของเหลว (Willams et al. 2000) กล่าวคือ น้ำที่มีสถานะเป็นไอจะโปร่งใสและจะไม่แสดงผลว่า

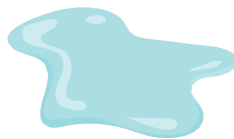
มีความชื้น การตรวจวัดโดยใช้สัญญาณไมโครเวฟตอบสนองของรวดเร็วอย่างต่อเนื่องที่อยู่ที่ใกล้พื้นผิว (Basist et al. 1998) และเป็นหนึ่งในสัญญาณที่ตรวจวัดได้ชัดเจนที่สุดที่ความถี่ที่เครื่อง SSM/I/S ใช้ ในสเปกตรัมไมโครเวฟนั้น ไอน้ำจะมีลักษณะโปร่งใสเหนือพื้นดินและจะไม่แสดงผลว่ามีความชื้น ผลึกหิมะและน้ำแข็งมีสัญญาณไมโครเวฟที่แตกต่างเฉพาะตัว (Hollinger et al. 1987) สัญญาณไมโครเวฟลักษณะนี้ใช้กับค่าหิมะที่ปกคลุมพื้นผิวโดยสามารถตรวจวัดน้ำแข็งบนพื้นผิวโลกได้อย่างแม่นยำ สิ่งที่สำคัญประการหนึ่งของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำแข็งกับน้ำคือ เมื่อหิมะเริ่มละลาย ปริมาณน้ำในหิมะก็จะถูกตรวจวัดอย่างแม่นยำและนำไปรวมในแบบจำลองการไหลของน้ำได้

ลักษณะดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งในกลุ่มน้ำโขงตอนบนที่ซึ่งหยาดน้ำฟ้า (precipitation) ปริมาณมากตกลงมาในสถานะผลึกและคงตัวอยู่ในสถานะน้ำแข็งเกือบตลอดทั้งปีจนกว่าหิมะและธารน้ำแข็งจะเริ่มละลายช่วงปลายฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อน ความล่าช้าที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างการวัดความชื้นของพื้นผิวดินกับการตอบสนองของมาตรวัดระดับน้ำนั้นส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากกระบวนการละลายของน้ำแข็ง เมื่อหิมะเริ่มละลาย น้ำส่วนใหญ่จะยังคงอยู่ในหิมะและเปลี่ยนสัญญาณไมโครเวฟจากเดิมที่เป็นน้ำแข็งไปเป็นความชื้น อย่างไรก็ตามน้ำส่วนใหญ่จะกลับมาแข็งตัวอีกครั้งในตอนกลางคืนและจะปรากฏผลว่ามีสถานะเป็นน้ำแข็งในการตรวจวัดของดาวเทียมในช่วงเช้า กระบวนการที่หิมะละลายในตอนกลางวันและกลายเป็นน้ำแข็งในตอนกลางคืนเช่นนี้จะดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหิมะชุ่มไปด้วยน้ำและอุณหภูมิในตอนกลางคืนยังคงสูงกว่าจุดเยือกแข็ง (Hardy et al. 1999) เมื่อถึงสภาวะนั้น หิมะจะอยู่ในสถานะ “อิมตัวไปด้วยน้ำ” (ripe) และจะเริ่มคลายน้ำปริมาณมากลงสู่พื้นดิน ขณะที่น้ำอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านพื้นผิวไปยังลำธารในพื้นที่ใกล้เคียง งานวิจัยบางชิ้นระบุว่ากระบวนการนี้อาจใช้เวลาหลายสัปดาห์จนกว่าหิมะจะอิมน้ำเต็มที่และปล่อยน้ำปริมาณมากลงสู่ลุ่มน้ำ นอกจากนี้ น้ำส่วนที่ซึมลงพื้นดินจะใช้เวลาไหลลงสู่ลำธารนานกว่าน้ำที่ไหลผ่านพื้นผิว งานวิจัยก่อนหน้านี้ (Demirel et al. 2013, Sattar and Kim 2019) แสดงให้เห็นว่ากว่าที่น้ำจากต้นน้ำจะไหลมาถึงมาตรวัดซึ่งอยู่ถัดลงมาหลายร้อยกิโลเมตรนั้นมีความล่าช้าอย่างมีนัยสำคัญ

สถานะของสสาร



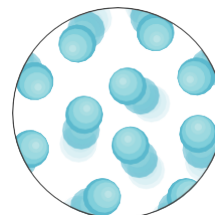
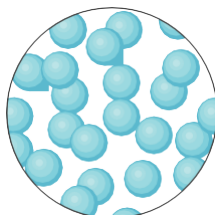
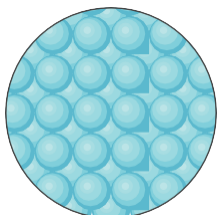
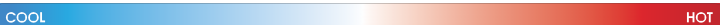
ของแข็ง



ของเหลว



ก๊าซ



ระยะเวลาของข้อมูลในการศึกษานี้เริ่มต้นในปี 2535 จนถึงเดือนกันยายน ปี 2562 ในช่วงเวลานี้รัฐบาลจีนสร้างเขื่อนขึ้นหลายแห่งดังที่ได้กล่าวถึงข้างต้นดังนี้

เขื่อนแรกคือ **เขื่อนมันวัน (Manwan)** ที่เริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องแรกในปี 2536 (Lu et al. 2006) อ่างเก็บน้ำของเขื่อนมีขนาดปานกลางและมีความจุ 920,000,000 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจึงมีขีดความสามารถจำกัดในการจำกัดและควบคุมการไหลของน้ำ

เขื่อนแห่งที่สองที่ดำเนินการในลำน้ำโขงสายประธานคือ **เขื่อนต้าเฉาซาน (Dachaoshan)** ซึ่งมีขีดความสามารถระดับปานกลางในการจำกัดการไหลของน้ำเช่นกัน โดยอ่างเก็บน้ำของเขื่อนมีความจุ 940,000,000 ลูกบาศก์เมตร เขื่อนนี้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงปี 2545 ถึงปี 2546

เขื่อนแห่งที่สามที่เปิดดำเนินการคือ **เขื่อนจิ่งหง (Jinghong)** ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเขื่อน 2 แห่งแรกเล็กน้อย มีขีดความสามารถระดับปานกลางในการกักเก็บน้ำ โดยมีอ่างเก็บน้ำความจุ 249,000,000 ลูกบาศก์เมตร เขื่อนนี้เริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องแรกในปี 2551

ตารางที่ 1: เขื่อน อ่างเก็บน้ำ และการผลิตกระแสไฟฟ้าในแม่น้ำโขงตอนบน

เขื่อน เรียงลำดับตามวันที่ก่อสร้าง	ขนาดของอ่างเก็บน้ำ หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร	การผลิตกระแสไฟฟ้า ตามปีที่เริ่มเดินเครื่องกังหันกำเนิดไฟฟ้า
มันวัน (Manwan)	920,000,000	2536
ต้าเฉาซาน (Dachaoshan)	940,000,000	2545
จิ่งหง (Jinghong)	249,000,000	2551
เสี่ยววัน (Xiaowan)	15,130,000,000	2552
นัวจาดู (Nuozhadu)	27,490,000,000	2555
กงกัวเจียว (Gongguoqiao)	120,000,000	2555
เหมียวเว่ย (Miaowei)	660,000,000	2560
หวงเติง (Huangdeng)	1,613,000,000	2560
ต้าหว่าเจียว (Dahuaqiao)	293,000,000	2561
หลิดี้ (Lidi)	75,000,000	2561
อู๋นงหลง (Wunonglong)	284,000,000	2561

เขื่อนที่สี่ในลำน้ำโขงสายประธานคือ **เขื่อนเสี่ยววัน (Xiaowan)** เขื่อนนี้มีขีดความสามารถในการจำกัดการไหลของน้ำตามธรรมชาติมากกว่าเขื่อน 3 แห่งก่อนหน้าราว 10 เท่าเนื่องจากอ่างเก็บน้ำของเขื่อนสามารถกักเก็บน้ำได้มากถึง 15,130,000,000 ลูกบาศก์เมตร เขื่อนเสี่ยววันสามารถจำกัดการไหลของน้ำได้มากกว่าเขื่อนทั้ง 3 แห่งรวมกันเกือบ 7 เท่า เขื่อนนี้เริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวแรกในปี 2552

เขื่อนที่ห้าที่เปิดดำเนินการคือ **เขื่อนน่วจาดู (Nuozhadu)**

เขื่อนนี้มีอ่างเก็บน้ำที่ใหญ่ที่สุดในแม่น้ำโขง โดยมีความจุถึง 27,490,000,000 ลูกบาศก์เมตร

ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอ่างเก็บน้ำทั้ง 4 แห่งก่อนหน้านี้รวมกัน เขื่อนนี้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวแรกในปี 2555

เขื่อนกงกัวเจียว (Gongguoqiao) เป็นเขื่อนแห่งที่หก ซึ่งมีอ่างเก็บน้ำความจุ 120,000,000 ลูกบาศก์เมตรและเริ่มใช้งานในช่วงปลายปี 2555 ตามด้วย **เขื่อนเหมียวเหว่ย (Miaowei)** ในเดือนมกราคม 2560 ซึ่งมีความจุ 660,000,000 ลูกบาศก์เมตร เขื่อนที่แปดคือ **เขื่อนหวงเต็ง (Huangdeng)** ซึ่งมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่ความจุ 1,613,300,000 ลูกบาศก์เมตร ในเดือนพฤศจิกายน 2560 ตามด้วยเขื่อนที่เก้า **เขื่อนต้าหวาเจียว (Dahuaqiao)** ในเดือนกุมภาพันธ์ 2561 ซึ่งมีความจุ 293,000,000 ลูกบาศก์เมตร เขื่อนที่สิบคือ **เขื่อนหลิดี้ (Lidi)** ซึ่งสร้างเสร็จในเดือนมิถุนายน 2561 และมีความจุ 75,000,000 ลูกบาศก์เมตร และสุดท้ายเขื่อนที่สิบเอ็ดในเดือนธันวาคม 2561 คือ **เขื่อนอู๋นงหลง (Wunonglong)** มีความจุ 284,000,000 ลูกบาศก์เมตร

ในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อ่างเก็บน้ำของเขื่อนต้องกักเก็บน้ำไว้ก่อนหน้านั้นแล้วในปริมาณมาก ดังนั้นวันที่เริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบ่งชี้ว่าอ่างเก็บน้ำของเขื่อนมีน้ำอยู่ในระดับมากพอควร ความลาดชันระหว่างความสูงของอ่างเก็บน้ำกับฐานเขื่อนเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้า



เครดิตภาพ: คณะกรรมาธิการแม่น้ำโขง

เขื่อนน่วจาดู เขื่อนแห่งที่ใหญ่ที่สุดในแม่น้ำล้านช้าง (Lanchang) (แม่น้ำโขง) ในประเทศจีน



3. การพัฒนาแบบจำลอง คาดการณ์การไหลของน้ำ



ระยะเวลาของข้อมูลในการศึกษานี้เริ่มในปี 2535 จนถึงเดือนกันยายนปี 2562 ในช่วงเวลานี้รัฐบาลจีนสร้างเขื่อนขึ้นหลายแห่งในลำน้ำโขงสายประธานดังที่ได้กล่าวถึงข้างต้น หากต้องการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำที่เสถียร ถูกต้อง และแม่นยำที่สุด เราจำเป็นต้องระบุช่วงเวลาที่ดีที่สุดของข้อมูลที่มีการบันทึกไว้เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ตั้งในการสอบเทียบ (calibration) และตรวจสอบความถูกต้อง (validation) ของรูปแบบจำลองการไหลของน้ำ โดยทั่วไปแล้วคนอาจคิดว่าข้อมูลในปีแรก ๆ น่าจะแสดงการไหลของน้ำตามธรรมชาติได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามหลังจากตรวจสอบข้อมูลจากดาวเทียมในปีแรก ๆ เราพบว่า ข้อมูลจาก 2 ปีแรกนั้นเป็นข้อมูลที่ได้รับอิทธิพลจากการผันน้ำเข้าไปกักเก็บในอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อนมันวัน ดังนั้นเราจึงใช้ข้อมูลในปี 2537 เป็นปีแรกสุดสำหรับการสอบเทียบ/ตรวจสอบ เรากำหนดเป้าหมายว่าจะใช้ข้อมูลจากระยะเวลาประมาณ 5 ปีในการสอบเทียบและใช้ข้อมูลจากปีอื่น ๆ ก่อนปี 2544 ในการตรวจสอบความเสถียรของแบบจำลองการไหลของน้ำ เรากำหนดปีสุดท้ายของระยะเวลาสอบเทียบ/ตรวจสอบความถูกต้องที่ดีที่สุดจากหลักฐานที่พบว่ามี การผันน้ำในแม่น้ำในปี 2545 เข้าไปกักเก็บในอ่างเก็บน้ำท้ายเขื่อนต้าเฉาซานที่เพิ่งก่อสร้างเสร็จในช่วงนั้น เพราะเขื่อนนี้เริ่มผลิตไฟฟ้าในปี 2546 ด้วยเหตุนี้เราจึงใช้ข้อมูลจากระยะเวลา 8 ปีในการสอบเทียบ/ตรวจสอบความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดระหว่างข้อมูลมาตรวัดระดับน้ำในแม่น้ำกับค่าความชื้นเฉลี่ยต้นน้ำ

4. ผลการศึกษา



จากเหตุผลข้างต้น เราจึงใช้ข้อมูลของปี 2540 ถึงปี 2544 เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของการไหลของน้ำตามธรรมชาติ ดังนั้นเราจึงใช้ระยะเวลาสอบเทียบนี้ในการสร้างสมการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับค่าจากมาตรวัด ผลของแบบจำลองแสดงอยู่ในตารางที่ 2 แบบจำลองถดถอยอธิบายความผันแปรร้อยละ 89 ของระดับน้ำในแม่น้ำที่มาตรวัด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย (regression coefficient) อยู่ที่ .94 และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error margin) อยู่ที่ 0.67 แบบจำลองนี้มีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่าช่วงความเชื่อมั่น (confidence interval) .99999 ตามที่กำหนดโดย F score ที่ 231

แบบจำลองมีองศาความเป็นอิสระ (degree of freedom) ทั้งหมด 57 ค่าจากข้อมูล 60 ชุด ซึ่งแสดงเป็นค่ารายเดือนตั้งแต่ปี 2540 ถึงปี 2544 สมการถดถอยนี้อยู่บนพื้นฐานระยะความล่าช้าสะสม (accumulated lag) 2 เดือน ตามที่นำเสนอก่อนหน้านี้ในส่วนระเบียบวิธีวิจัย เราทดสอบความสมเหตุสมผลของสมการที่ใช้ระยะความล่าช้าสะสม 2 เดือนนี้โดยทำการทดสอบแบบจำลองเดียวกันบนพื้นฐานระยะความล่าช้าสะสม 1 เดือน เมื่อใช้ระยะความล่าช้าสะสม 1 เดือน ความสามารถในการอธิบาย (explanatory power) ลดลงประมาณร้อยละ 10 และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) ของระดับน้ำในแม่น้ำเพิ่มขึ้น 10 เซนติเมตร ผลการทดสอบนี้ยืนยันว่าแบบจำลองที่ใช้ระยะความล่าช้าสะสม 2 เดือนบ่งชี้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับค่าจากมาตรวัดได้ดีกว่า

ตารางที่ 2: ผลลัพธ์ของสมการถดถอยในการติดตามการไหลตามธรรมชาติของแม่น้ำโขงตอนบน

ความสามารถของแบบจำลองเชิงพยากรณ์ (R ²)	ร้อยละ 89
จำนวนเดือนในแบบจำลอง/องศาความเป็นอิสระ	60 / 57
นัยสำคัญของแบบจำลอง/ F-Score	.99999 / 231
ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (หน่วยเป็นเมตร)	0.67
จุดตัดแกน Y (แอลฟา)	0.92
ค่าความชันเชิงเส้น ปีตา 1	0.55
ค่าความชันกำลังสอง ปีตา 2	0.95

แบบจำลองสมการถดถอย (สมการที่ 2) มีจุดตัดแกน 0.921 ตามด้วยค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นที่ 0.554 และค่าสัมประสิทธิ์กำลังสองที่ 0.954 จุดตัดแกนแสดงถึงการไหลของน้ำในแม่น้ำเมื่อค่าความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตามค่าที่เป็นศูนย์นั้นยังไม่เคยเกิดขึ้นเลยในรอบ 28 ปีที่มีการบันทึกข้อมูล ดังนั้นจุดตัดแกนดังกล่าวจึงเป็นเพียงค่าเชิงทฤษฎี หากเกิดช่วงเวลาที่มีความแห้งแล้งรุนแรงและแม่น้ำพึ่งพาน้ำบาดาลเพียงอย่างเดียว การไหลของน้ำจึงจะเป็นไปตามค่าคาดการณ์ดังกล่าว ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างค่าความชื้นเฉลี่ยกับระดับน้ำในแม่น้ำตามมาตรวัด ค่าสัมประสิทธิ์กำลังสองอธิบายส่วนประกอบที่ไม่เป็นเชิงเส้นของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับค่าตามมาตรวัด (Singh 2007) ส่วนประกอบที่ไม่เป็นเชิงเส้นตั้งอยู่บนพื้นฐานของข้อเท็จจริงที่ว่าเมื่อมีน้ำปริมาณน้อยใกล้กับพื้นผิว น้ำส่วนใหญ่จะถูกดินดูดซับไว้และไม่ไหลลงสู่แม่น้ำ อย่างไรก็ตามเมื่อค่าความชื้นเพิ่มขึ้น สัดส่วนของน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำก็จะสูงขึ้นด้วย เมื่อดินอิ่มน้ำเต็มที่ น้ำทั้งหมดก็จะไหลลงสู่ลำน้ำหรือทำให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีค่าความชื้นกับระดับน้ำในแม่น้ำจึงไม่เป็นเชิงเส้น

สมการที่ 2

$$\text{ระดับน้ำในแม่น้ำ} = 0.921 + (0.554 * \text{ดัชนีค่าความชื้น}) + (0.954 * \text{ดัชนีค่าความชื้น} * \text{ดัชนีค่าความชื้น})$$

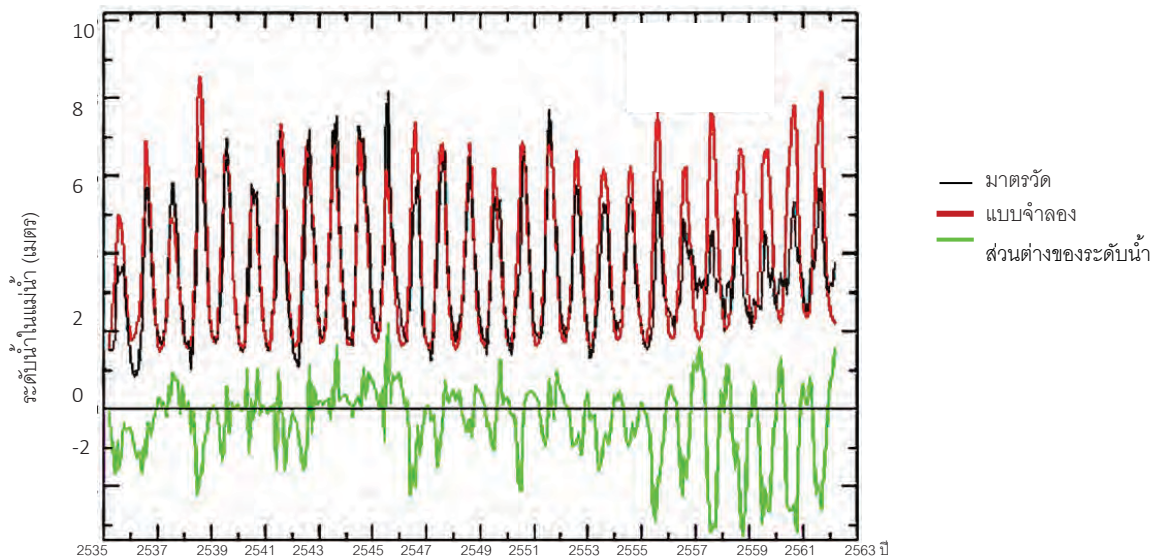
เนื่องจากการทิ้งช่วงของระยะเวลาตอบสนองระหว่างความขึ้นบนพื้นผิวที่สะสมทางต้นน้ำกับระดับน้ำในแม่น้ำบริเวณชายแดนระหว่างไทย สปป.ลาว และเมียนมา ค่าความขึ้นจึงเท่ากับข้อมูลเฉลี่ยในเดือนที่ต้องการบวกกับดัชนีค่าความขึ้นของ 2 เดือนก่อนหน้า ดังนั้นการไหลของน้ำจึงอยู่บนพื้นฐานดัชนีค่าความขึ้น 3 เดือนล่วงหน้า แบบจำลองที่ใช้ระยะความล่าช้าสะสม 3 เดือน (three-month accumulated lag model) เนื่องจากน้ำในลุ่มน้ำตอนบนใช้เวลาานระยะหนึ่งกว่าจะไหลมาถึงจุดที่มาตรวัดน้ำติดตั้งอยู่

ดังที่ได้กล่าวข้างต้น เราไม่ใช้ข้อมูลจากปี 2535, 2536 และ 2545 มาแสดงการไหลของน้ำตามธรรมชาติ เนื่องจากช่วง 3 ปีดังกล่าวมีการผันน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำท้ายเขื่อนที่เพิ่งก่อสร้างเสร็จในปีนั้น ๆ เราจึงใช้ข้อมูลของปี 2537 ถึงปี 2539 เป็นช่วงตรวจสอบความถูกต้องเพื่อทดสอบความเสถียรของแบบจำลองแทน ค่าเฉลี่ยของระดับน้ำส่วนต่างในช่วงสอบเทียบคือ 0.43 เซนติเมตรและในช่วงตรวจสอบความถูกต้องคือ 0.52 เซนติเมตร ความแตกต่างของระดับน้ำส่วนต่างระหว่างช่วงสอบเทียบกับช่วงตรวจสอบความถูกต้องที่ 9 เซนติเมตรนั้นไม่นับสำคัญ

เราสร้างเส้นกราฟขึ้นมา 2 เส้นเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ชัดเจนยิ่งขึ้นระหว่างการไหลของน้ำที่คาดการณ์กับการไหลของน้ำที่วัดได้ตลอดช่วงเวลาที่บันทึกข้อมูลไว้ ดังที่แสดงในกราฟเส้นในรูปที่ 2 ด้านล่างนี้ อธิบายโดยสังเขปได้ว่า ความสัมพันธ์ในช่วงปีแรก ๆ สอดคล้องกันดีโดยรวม โดยมีข้อยกเว้นที่เด่นชัดบางประการซึ่งจะอธิบายในภายหลัง จากกราฟจะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกันอย่างมากระหว่างวัฏจักรน้ำกับการไหลของน้ำในรอบปีในช่วงสอบเทียบและช่วงตรวจสอบความถูกต้อง โดยในฤดูแล้งระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน จะมีหยาดน้ำฟ้าในปริมาณจำกัดและส่วนใหญ่เมื่อตกลงมาแล้วจะคงอยู่ในรูปน้ำแข็ง ในขณะที่ช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมหิมะจะละลายและหยาดน้ำฟ้าส่วนใหญ่จะตกลงมาในสถานะของเหลว ระดับน้ำที่คาดการณ์และระดับน้ำที่วัดได้ในรอบปียังคงสอดคล้องกันอย่างมากแม้กระทั่งในช่วงหลังจากที่เขื่อนต้าเฉาซานซึ่งเป็นเขื่อนแห่งที่สองสร้างเสร็จและกักน้ำเต็มอ่างเก็บน้ำของเขื่อนแล้วก็ตาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อดูการไหลของน้ำที่คาดการณ์กับการไหลของน้ำที่วัดได้ระหว่างปี 2537 จนถึงปี 2551 จะพบว่ามีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีเยี่ยม มีเพียงข้อยกเว้นที่เด่นชัดบางประการ ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำจากมาตรวัดกับน้ำที่ไหลตามธรรมชาติติดต่อยาวหลังจากปี 2555 เมื่อมีการสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำหลักขึ้นอีก 2-3 แห่ง ซึ่งเป็นการจำกัดปริมาณและช่วงเวลาการปล่อยน้ำจากต้นน้ำอย่างมาก

การไหลของน้ำในแม่น้ำโขง

ระยะเวลาที่บันทึกข้อมูล มีนาคม 2535 – มีนาคม 2562



รูปที่ 2: ระยะเวลาของข้อมูลระดับน้ำตามมาตรวัดและระดับน้ำที่คาดการณ์ ณ สถานีเชียงแสนตั้งแต่เดือนมกราคม 2535 จนถึงมีนาคม 2562 เส้นสีเขียวแสดงส่วนต่างระหว่างระดับน้ำที่มาตรวัดกับระดับน้ำตามคาดการณ์ โดยหากมีค่าติดลบ หมายความว่าน้ำไหลไปจากมาตรวัด และหากมีค่าเป็นบวก หมายความว่ามีส่วนเกินที่มาตรวัด

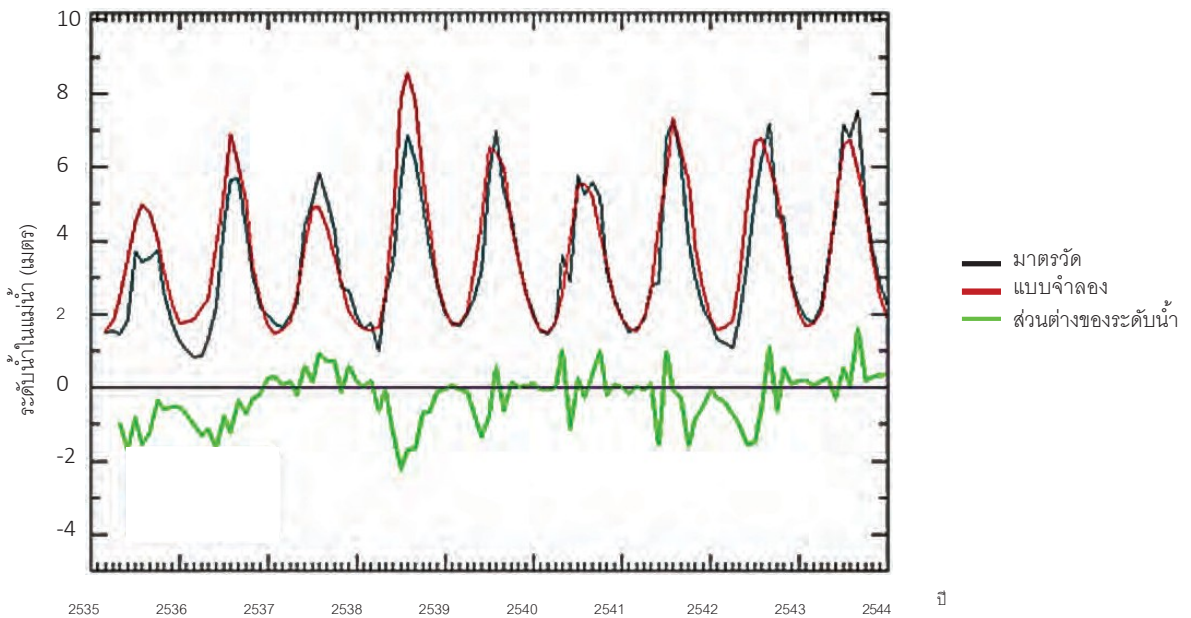
เมื่อพิจารณาค่าความชื้นในช่วงปี 2535 และปี 2536

พบว่าภาวะขาดแคลนน้ำในแม่น้ำแสดงให้เห็นว่ามีการกักเก็บน้ำในแม่น้ำโขงไว้

ในอ่างเก็บน้ำของเขื่อนมันวันในฤดูฝน (ฤดูร้อน) ของปี 2535 (รูปที่ 3) จะเห็นได้จากค่าติดลบของเส้นสีเขียว (ระดับน้ำส่วนต่าง) ซึ่งหมายความว่า ระดับน้ำที่วัดได้นั้นต่ำกว่าระดับน้ำที่คาดการณ์ ในฤดูหนาวมีการระบายน้ำออกมาเพื่อให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้นในฤดูแล้งซึ่งเป็นการกระจายการผลิตพลังงานให้สม่ำเสมอขึ้นตลอดทั้งปี อันเป็นหนึ่งในเป้าหมายของโครงการสร้างเขื่อน ในปี 2538 ซึ่งเป็นปีที่ปริมาณน้ำไหลตามธรรมชาติสูงมาก มีการผันน้ำปริมาณมากเข้าไปกักเก็บในอ่างเก็บน้ำของเขื่อนมันวัน ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ไหลมาถึงมาตรวัดลดลง คาดว่าอ่างเก็บน้ำดังกล่าวมีน้ำจนเต็มความจุในช่วงปลายปี 2538 ความสามารถของเขื่อนในการกักเก็บน้ำและจำกัดการไหลของน้ำตามธรรมชาติจึงลดลง ดังนั้นช่วง 5 ปีต่อจากนั้นจึงแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงระหว่างการไหลของน้ำตามธรรมชาติกับการระบายน้ำจากเขื่อนลงสู่เขื่อนแสน

การไหลของน้ำในแม่น้ำโขง

ระยะเวลาที่บันทึกข้อมูล มีนาคม 2535 – ธันวาคม 2543



รูปที่ 3 ภาพขยายของช่วงปี 2535-2544 จากรูปที่ 2

ระดับน้ำที่วัดได้กับระดับน้ำที่คาดการณ์ปรากฏส่วนต่างอย่างชัดเจนครั้งต่อมาในปี 2545 (รูปที่ 4) ข้อมูลจากมาตรวัดแสดงให้เห็นว่า ในปี 2545 มีการระบายน้ำปริมาณมากออกจากเขื่อนต้าเฉาซาน เป็นไปได้ว่าเหตุการณ์นี้สอดคล้องกับการเปิดใช้งานกังหันกำเนิดไฟฟ้าในเขื่อนดังกล่าวเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า มีการระบายน้ำครั้งใหญ่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนกรกฎาคมและสิงหาคมของปี 2545 ข้อมูลรายวันยังแสดงให้เห็นถึงความไม่ปกตินี้อย่างชัดเจนมากขึ้น โดยบ่งชี้ว่าในช่วงเวลาดังกล่าวมีเหตุการณ์บางอย่างที่ไม่มีคำอธิบายเกิดขึ้นในต้นน้ำเหนือมาตรวัดน้ำในประเทศไทย โดยปกติแล้วการไหลของน้ำจะเพิ่มขึ้นและลดลงทีละน้อยโดยใช้เวลาหลายเดือนและแม่น้ำมักจะมีระดับน้ำสูงเต็มที่ในเดือนสิงหาคม กันยายน และตุลาคม โดยจะสูงที่สุดในเดือนกันยายน แต่ในปี 2545 กลับไม่เป็นเช่นนั้น ในปีนั้นแม่น้ำมีระดับน้ำสูงสุดในเดือนกรกฎาคมและสิงหาคม โดยในเดือนสิงหาคมระดับน้ำสูงถึง 8.16 เมตรแล้วลดลงมาเหลือ 4.88 เมตรในเดือนกันยายน หรือลดลงประมาณร้อยละ 40 ช่วงกลางฤดูฝน ซึ่งที่ผิดธรรมชาติยิ่งไปกว่านั้นคือระดับน้ำในแม่น้ำเพิ่มสูงขึ้นแล้วลดลงอย่างรวดเร็ว โดยในวันที่ 21 สิงหาคมวัดความสูงได้ 10.17 เมตรแล้วลดลงเหลือ 6.96 เมตรในอีก 5 วันถัดมา ดัชนีค่าความชื้นบนพื้นผิวไม่สอดคล้องกับเหตุการณ์นี้ในปี 2545 แต่อย่างไรก็ดี ดังนั้นเราจึงสามารถสรุปได้เพียงว่า มีการปล่อยน้ำจากเขื่อนในปริมาณมากอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งส่งผลอย่างมากต่อการไหลของน้ำตามธรรมชาติ

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่า มวลน้ำที่ไหลมาอย่างผิดปกตินั้นเกิดขึ้น

จากการระบายน้ำหลังจากที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเขื่อนมันวันและเขื่อนต้าเฉาซาน

เริ่มทำงาน นอกจากนี้ยังพบว่าเหตุการณ์ใกล้เคียงกันนี้เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ของเขื่อนจิ่งหรงเริ่มทำงานในปี 2552 ด้วยเช่นกันเนื่องจากมีมวลน้ำที่ไหลมาอย่างผิดปกติในช่วงเวลาดังกล่าว มีความเป็นไปได้ว่า

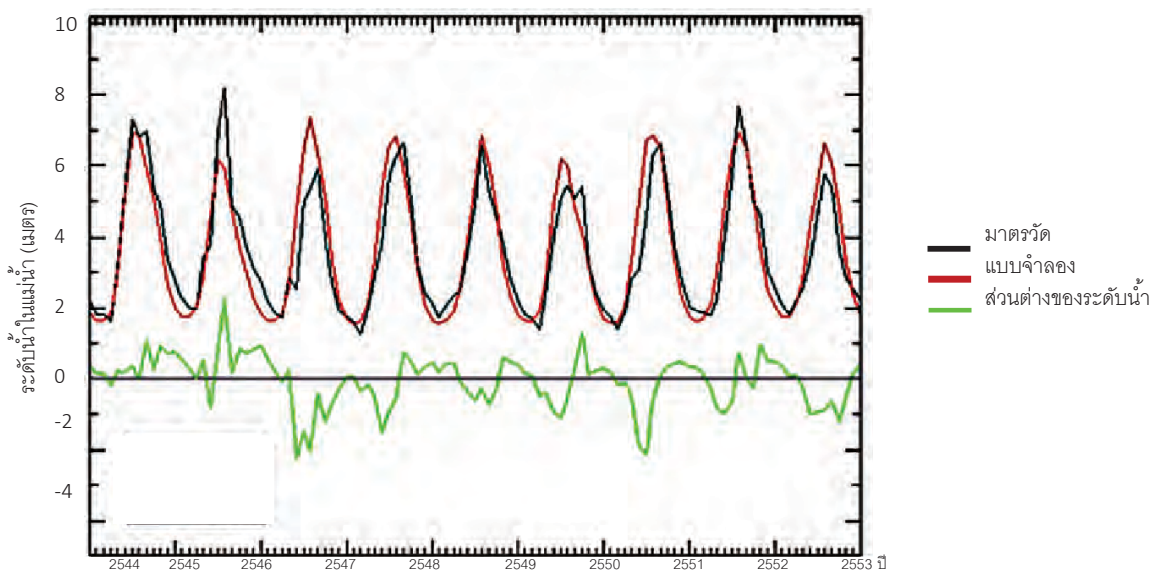
รัฐบาลจีนผลิตกระแสไฟฟ้าจนเต็มขีดความสามารถสูงสุดของกังหันกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเขื่อนเหล่านั้นเปิดใช้งาน (เริ่มใช้งานอย่างเป็นทางการ)

จึงทำการระบายมวลน้ำปริมาณมากลงสู่ปลายน้ำในช่วงเวลาสั้น ๆ อย่างไม่สม่ำเสมอ ไม่มีการยืนยันข้อเท็จจริงที่ว่านี้และจำเป็นต้อง

มีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อที่จะเข้าใจการไหลของน้ำอย่างผิดปกติดังกล่าวในช่วงเวลาใกล้เคียงกับที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเริ่มทำงาน

การไหลของน้ำในแม่น้ำโขง

ระยะเวลาที่บันทึกข้อมูล มกราคม 2544 – ธันวาคม 2552



รูปที่ 4 ภาพขยายของช่วงปี 2544-2553 จากรูปที่ 2

จะเห็นได้ว่าน้ำปริมาณมากที่ไหลตามธรรมชาติในฤดูฝนปี 2546 (ฤดูร้อน) ถูกจำกัดโดยเขื่อนต้นน้ำ 2 แห่งจากการผันน้ำเข้าไปเติมอ่างเก็บน้ำของเขื่อนซึ่งมีน้ำพร่องลงจากปีก่อนหน้าเมื่อมีการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมีการระบายน้ำส่วนเกินลงสู่ปลายน้ำในช่วงที่มีการผลิตกระแสไฟฟ้าในปี 2545 ข้อมูลระหว่างปี 2549 ถึงปี 2552 ปรากฏเช่นกันว่ามีน้ำ “หายไป” จากมาตรวัดที่สถานีเชียงแสน ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาที่น้ำถูกกักไว้ทางต้นน้ำ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการลดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลงระหว่างฤดูหนาวเพื่อรองรับการผลิตพลังงานในฤดูแล้ง ทั้งนี้ปีอื่นที่เหลือในรอบทศวรรษแสดงรูปแบบที่ค่อนข้างคล้ายคลึงกันระหว่างระดับน้ำที่วัดได้กับระดับน้ำที่คาดการณ์

ความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างระดับน้ำที่วัดได้กับระดับน้ำที่คาดการณ์ปรากฏในปี 2553 เมื่อเขื่อนเสี่ยววันซึ่งเป็นเขื่อนหลักสร้างแล้วเสร็จและเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า รูปที่ 5 แสดงภาพขยายของช่วงเวลาระหว่างปี 2553 จนถึงปี 2562 ทั้งนี้ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น อ่างเก็บน้ำของเขื่อนแห่งนี้จุน้ำได้มากกว่าเขื่อน 3 แห่งรวมกันประมาณ 7 เท่า ดังนั้นจึงมีความสามารถในการควบคุมและจำกัดการไหลของน้ำได้มากกว่าราว 10 เท่า ขีดความสามารถของเขื่อนในการจำกัดการไหลของน้ำนี้ปรากฏอย่างชัดเจนเมื่อดูจากความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่คาดการณ์ตามธรรมชาติกับระดับน้ำที่วัดได้ เนื่องจากมีน้ำปริมาณมาก “หายไป” จากมาตรวัดในฤดูร้อนซึ่งเป็นช่วงที่ปกติแล้วระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างมากจากหิมะที่ละลายและหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงมาไม่นานก่อนหน้าในบริเวณที่ราบสูงทิเบต

นอกจากนี้ยังมีการระบายน้ำที่หายไปบางส่วน

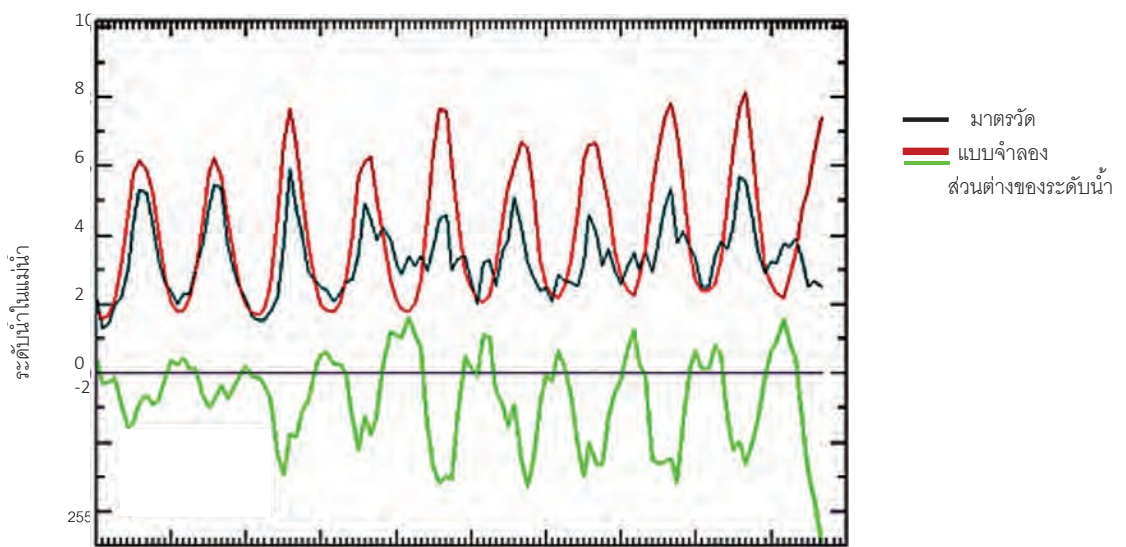
ออกมาในฤดูแล้ง รัฐบาลจีนให้คำมั่นว่าจะใช้เขื่อนเหล่านี้ควบคุมการไหลของน้ำเพื่อปันน้ำให้เท่าเทียมกันมากขึ้นในช่วงน้ำมากและช่วงน้ำน้อย

การดำเนินการดังกล่าวยังสอดคล้องกับความต้องการของจีนที่จะกระจายการผลิตพลังงานในรอบปีเพื่อหลีกเลี่ยงการเขตรองกำลังการผลิตไฟฟ้าได้อย่างสมดุลมากขึ้นตลอดทั้งปี การควบคุมการไหลของน้ำเช่นนี้ส่งผลให้น้ำที่ปกติไหลมาในฤดูฝนถูกปล่อยมาในฤดูแล้ง ผลที่ตามมาเห็นได้ชัดเจนจากระดับน้ำส่วนต่างในแต่ละรอบปีซึ่งมีค่าเป็นลบในฤดูฝนและมีค่าเป็นบวกในฤดูแล้ง

ระดับน้ำส่วนต่าง (ระดับน้ำที่วัดได้จากมาตรวัดลบด้วยระดับน้ำที่คาดการณ์ตามธรรมชาติ) แสดงให้เห็นวัฏจักรรายปีที่ชัดเจนอย่างมากตลอดช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากมาตรวัด ข้อมูลจากดาวเทียมแสดงให้เห็นว่ามีน้ำหายไปนในฤดูฝนและในทางตรงกันข้ามมีน้ำส่วนเกินถูกปล่อยออกมาในฤดูแล้ง ซึ่งคาดการณ์ว่าเพื่อให้สามารถกระจายการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างเท่าเทียมมากขึ้นตลอดทั้งปี ปรากฏการณ์เช่นนี้เห็นได้อย่างชัดเจนโดยเฉพาะหลังจากปี 2555 เมื่อเขื่อนน่วจาตู้ซึ่งเป็นเขื่อนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและอ่างเก็บน้ำของเขื่อนสร้างเสร็จ การขาดแคลนน้ำในฤดูฝนปรากฏชัดเจนที่สุดหลังจากที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สุดต่างเริ่มทำงาน เขื่อนเหล่านี้ขยายขีดความสามารถของหน่วยงานบริหารจัดการในการควบคุมการไหลของน้ำในแม่น้ำอย่างมาก ยังผลกระทบต่อทำน้ำซึ่งจำเป็นต้องได้รับการแก้ไขด้วยวิธีแบบองค์รวม (Wolfe et al. 2003)

การไหลของน้ำในแม่น้ำโขง

ระยะเวลาที่บันทึกข้อมูล มกราคม 2553 – กันยายน 2562



รูปที่ 5 ภาพขยายของช่วงปี 2553-2562 จากรูปที่ 2

เขื่อนทั้ง 5 แห่งที่สร้างขึ้นนับตั้งแต่ปี 2560 ยังส่งผลเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำตามธรรมชาติจากการกักเก็บและการปล่อยระบายน้ำในอ่างเก็บน้ำ หนึ่งในผลกระทบที่รุนแรงที่สุดเกิดขึ้นในปี 2562 เมื่อระดับน้ำในแม่น้ำโขงตอนล่างลดลงอยู่ในช่วงระดับน้ำต่ำสุดเป็นประวัติการณ์หลายครั้ง เมื่อใช้ดัชนีค่าความขึ้นคาดการณ์การไหลของน้ำตามธรรมชาติ ผลปรากฏชัดเจนว่าน้ำตามธรรมชาติที่ไหลจากแม่น้ำโขงตอนบนมีปริมาณสูงกว่าค่าเฉลี่ย ค่าระดับน้ำส่วนต่างแสดงให้เห็นว่ามีน้ำไหลส่วนเกินในฤดูแล้งซึ่งคาดว่าใช้รองรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วงต้นปี 2562 ในขณะที่น้ำที่ไหลในฤดูฝนถูกจำกัดอย่างมาก การขาดแคลนน้ำอย่างรุนแรงในแม่น้ำโขงตอนล่างช่วงฤดูฝนปี 2562 ส่วนใหญ่เป็นผลพวงจากการจำกัดการไหลของน้ำจากแม่น้ำโขงตอนบนในช่วงดังกล่าว หากจีนและประเทศในกลุ่มน้ำโขงตอนล่างได้ร่วมมือกันจำลองรูปแบบวัฏจักรการไหลตามธรรมชาติของน้ำในแม่น้ำโขง อาจช่วยคลี่คลายภาวะน้ำไหลน้อยช่วงปลายน้ำที่เกิดขึ้นในฤดูร้อนปี 2562 ได้



เมื่อใช้แบบจำลองคาดการณ์การไหลของน้ำตามธรรมชาติ เราสามารถคำนวณปริมาณน้ำที่น้ำจะไหลมาตามธรรมชาติ เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากมาตรวัดระดับน้ำที่สถานีเชียงแสน แล้วจึงสรุปผลต่างจากการเปรียบเทียบในช่วงเวลาต่าง ๆ ของข้อมูลที่บันทึกไว้ในระยะเวลา 28 ปีเพื่อหาปริมาณน้ำที่อ่างเก็บน้ำกักเก็บไว้หรือถูกผันออกจากต้นน้ำเหนือเชียงแสนด้วยวิธีการอื่นใด ปัจจุบันเราคำนวณได้ว่าระดับน้ำในแม่น้ำ 126.44 เมตรหายไปจากมาตรวัดสถานีเชียงแสนในระยะเวลา 28 ปีที่มีการบันทึกข้อมูล ทั้งนี้เมื่อเราพัฒนาขีดความสามารถในการแปลงข้อมูลระดับน้ำในแม่น้ำให้เป็นปริมาตรการไหลของน้ำได้ เราก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้หรือระบายออกมาจากลุ่มน้ำตอนบนได้โดยนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ไหลตามธรรมชาติลงสู่ลุ่มน้ำ

ในเมื่อเรามีข้อมูลที่เป็นกลางของการวัดการไหลของน้ำตามธรรมชาติแล้ว เราสามารถนำข้อมูลนี้ไปประยุกต์ใช้จำลองวัฏจักรตามธรรมชาติของแม่น้ำด้วยการระบายน้ำจากเขื่อนที่อยู่ใกล้กับชายแดนจีนมากที่สุดในช่วงเวลาที่ปกติน้ำหลากสูงสุด กล่าวโดยเจาะจงได้ว่าน้ำจะสามารถไหลข้ามพรมแดนได้หากมีการระบายน้ำในฤดูฝน หรืออีกนัยหนึ่งคือจากการระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้อาจมีการเติมน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำอีกครั้งในฤดูแล้งโดยปล่อยน้ำที่กักเก็บไว้ลงมาจากต้นน้ำ ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไปพร้อมกับที่น้ำไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำที่อยู่ใกล้กับชายแดนมากที่สุด หากนำดัชนีค่าความขึ้นไปใช้เป็นแนวทางจำลองรูปแบบการไหลของน้ำตามธรรมชาติแล้ว ทุกชุมชนตลอดลุ่มน้ำโขงย่อมได้ประโยชน์จากการรักษาไว้ซึ่งบูรณภาพแห่งลำน้ำโขง (Dinar et al. 2007)



รายการอ้างอิง



Baran E. and C. Myschowoda (2009)

Dams and Fisheries in the Mekong Basin. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 12(3):227–234, 2009.

Basist, A., Grody, N. C., Peterson, T. C., and Williams, C. N. (1998)

Using the Special Sensor Microwave / Imager to Monitor Land Surface Temperatures, Wetness, and Snow Cover, *Journal of Applied Meteorology*, 37(September): 888-911.

Basist, A., C. Williams Jr., N. Grody, T.F. Ross, S. Shen, A. T.C. Chang, R. Ferraro, and M.J. Menne (2001)

Using the Special Sensor Microwave imager to Monitor Surface Wetness, *Journal of Hydrometeorology*, 2: 297-308.

Blankespoor, B., A. Basist, A. Dinar and S. Dinar (2012)

Assessing Economic and Political Impacts of Hydrological Variability on Treaties: Case Studies of the Zambezi and Mekong Basins. Policy Research Working Paper No. 5996, World Bank, Washington, DC: 1-56.

Demirel, M.C. M. J. Booij, and A. Y. Hoekstra (2013)

Impacts of climate change on the seasonality of low flows in 134 catchments in the River Rhine basin using an ensemble of bias-corrected regional climate simulations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 4241–4257.

Dinar, A., S. Dinar, S. McCaffrey, and D. McKinney (2007)

Bridges over Water: Understanding Transboundary Water Conflicts, Negotiation and Cooperation. World Scientific Publishers. Singapore and New Jersey.

Hardy, J. P., Mary R. Albert, and Philip Marsh (1999)

Special Issue: Snow Hydrology. *Hydrological Processes*. Volume 13, Issue 12-13. 1719-2113

Hollinger, J. R., B. Lo, G. Poe, R. Savage, and J. Pierce (1987)

Special Sensor Microwave user's guide. Naval Research Lab Tech. Rep., Washington, DC, 119 pp.

Kollet, S. J. and Maxwell, R. M. (2006)

Integrated surface-groundwater flow modeling: A free-surface overland boundary condition in a parallel groundwater flow model. *Advances in Water Resources*. 29, 945–958.

Kurtz, W., He, G., Kollet, S., Maxwell, R., Vereecken, H., & Hendricks Franssen, H.-J. (2016)

TerrSysMP-PDAF (version 1.0): A modular high-performance data assimilation framework for an integrated land surface–subsurface model. *Geoscientific Model Development*, 9(4), 1341– 1360.

Lipper, L., et al., Climate-smart agriculture for food security. Nature Climate Change, 2014. 4: p. 1068-1072, Lu X. X. Lu, R. Y. Siew (2006)

Water discharge and sediment flux changes over the past decades in the Lower Mekong River: possible impacts of the China dams. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, European Geosciences Union, 2006, 10 (2), pp.181-195.

Meier, Philipp & Froemelt, Andreas & Kinzelbach, Wolfgang (2011)

Hydrological real-time modelling in the Zambezi river basin using satellite-based soil moisture and rainfall data. *Earth Syst. Sci. Discuss.* 15. 999-1008. 10.5194/hess-15-999-2011.



Neale, C.M., McFarland, M.J., and Chang, K.

Land-surface-type classification using microwave brightness temperatures from the Special Sensor Microwave/Imager. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28, 829-838.

Plinston, D., He Daming (2000)

Water resources and hydropower in the Lancang River Basin. In: ADB and Landcare Research New Zealand 2000: Final Report for ADB TA No. 3139 PRC: Policies and strategies for sustainable development of the Lancang River Basin, pp. 235–266.

Sattar, Muhammad Nouman and Tae-Woong Kim (2019)

Probabilistic characteristics of lag time between meteorological and hydrological droughts using a Bayesian model. *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences*. Vol. 30 Issue 1, p. 709-720.

Scipal, K., Scheffler, C., & Wagner, W. (2005)

Soil moisture-runoff relation at the catchment scale as observed with coarse resolution microwave remote sensing. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 9, 173-183, 2005 <https://doi.org/10.5194/hess-9-173-2005>

Schultz. G. A. (1994)

Meso-scale modelling of runoff and water balances using remote sensing and other GIS data, *Hydrological Sciences -Journal- des Sciences Hydrologiques*, 39(2): 121-142.

Singh, S.K. (2007)

Use of Gamma Distribution/Nash Model Further Simplified for Runoff Modeling, *Journal of Hydrologic Engineering*, 12: 222.

Smakhtin V.U. (2001)

Low flow hydrology: a review. *J Hydrology* 240, 147-186.

Wolf, A., Kerstin S., and Marcia F., Macomber, M.F. (2003)

Conflict and Cooperation within International River Basins: The Importance of Institutional Capacity. *Water Resources Update* 125: 31-40.

Williams, C., Basist A., Peterson, T.C. and Grody N. (2000)

Calibration and verification of land surface temperature anomalies derived from the SSM/I. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81, 2141–2156.



SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE PARTNERSHIP



208 Wireless Road Building
Unit 1802, 18th floor, Lumpini,
Pathumwan, Bangkok 10330
Thailand



SIP Facebook page

