

ดัชนีและการประเมินความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง สำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็ก

Flood and Drought Risk Indicators for Small Watershed

อรัทัย มิ่งทิพย์ ยศสวัสดิ์ ศรีสุข ทรรตชล ปัญญาทรง รงรอง วงษ์वाल และพรทิพย์ จันทร์ราช

Orathai Mingtipon, Yotsarun Srisuk, Tatsachon Panyasong Rongrourng Wongwal and Porntip Chanrat

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

Faculty of Architect and Environmental Design, Mae Jo University, Chiang Mai 50290, Thailand

E-mail: orathai@mju.ac.th, orathaim@live.com

บทคัดย่อ

แอ่งเชียงใหม่ ล้อมรอบด้วยลุ่มน้ำเชิงเขาขนาดเล็กหลายสิบลุ่มน้ำ ซึ่งอยู่ในเขตการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ ที่ประสบภาวะแห้งแล้งและภาวะน้ำท่วม จนกลายเป็นปัญหาเรื้อรังที่ยากจะแก้ไขได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อการพัฒนาดัชนีความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งสำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็ก ให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นพัฒนาแผนบริหารจัดการลุ่มน้ำแบบบูรณาการ วิธีการวิจัยที่ใช้จึงมีจุดเน้นที่กระบวนการเรียนรู้ร่วมวิเคราะห์ปัญหา หาทางจัดการร่วมกับกลุ่มประชากรเป้าหมาย เริ่มจากนำหลักฐานเชิงประจักษ์ในรูปแบบข้อมูลภูมิสารสนเทศมาเป็นเครื่องมือบอกเล่าอธิบายสถานการณ์ปัญหาและผลกระทบเชิงพื้นที่เพื่ออธิบายเชื่อมโยงกับเหตุผลทางวิชาการ พร้อม ๆ กับการประเมิน และกรองเหตุปัจจัยหลักและหาตัวชี้เป้าในการบริหารจัดการ

ผลการพัฒนาดัชนีการประเมินความเสี่ยงภาวะน้ำท่วม ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่าไหลบ่า ศักยภาพของระบบระบายน้ำในพื้นที่และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่วนดัชนีประเมินความเสี่ยงภาวะแห้งแล้ง ประกอบด้วย ปริมาณน้ำท่ารายปี ความสามารถในการผลิตและกักเก็บน้ำ ศักยภาพในการเข้าถึงแหล่งน้ำของพื้นที่เกษตร และความต้องการใช้น้ำของพื้นที่ในฤดูแล้ง ผลการประเมินภาวะเสี่ยงพบสิ่งที่น่าสนใจหลายประเด็น ดังนี้ ลุ่มน้ำแม่ฮอนตอนกลางประสบภาวะแห้งแล้งรุนแรงและขยายวงกว้างมากขึ้น เพราะปัญหาฝนทิ้งช่วงติดต่อกันตั้งแต่ปีพ.ศ.2555-2558 ประกอบกับแหล่งกักเก็บน้ำธรรมชาติและอ่างเก็บน้ำดินเขินสามารถกักเก็บน้ำได้น้อยลง รวมทั้งการปลูกข้าวนาปรัง ผลดังกล่าวทำให้พื้นที่ตอนกลางส่วนใหญ่ถูกประเมินเป็นพื้นที่ที่ประสบภาวะแห้งแล้งรุนแรงและขยายวงกว้างขึ้น ส่วนพื้นที่ตอนล่างถูกประเมินให้เป็นพื้นที่ประสบปัญหาภาวะน้ำท่วมรุนแรง เพราะเป็นพื้นที่รับน้ำจากพื้นที่ตอนบนและตอนกลาง อีกทั้งพื้นที่บางส่วนยังเป็นจุดบรรจบของลำน้ำสายหลักที่อยู่ในสภาพแคบ ดินเขิน จากปัญหาการขยายถนนกีดขวางทางน้ำ ประกอบกับพื้นที่รับน้ำหลากหลายแห่งถูกปรับถมเป็นย่านพาณิชยกรรมใหม่ อีกทั้งพื้นที่ริมลำน้ำถูกชุมชนรุกล้ำขยายที่อยู่อาศัย ข้อค้นพบจากการดำเนินการวิจัย อธิบายได้ว่าการใช้ฐานข้อมูลเพื่อกรองตัวชี้เป้าสถานการณ์ปัญหาและการจัดการ ผ่านการผสมผสานเทคโนโลยี เช่น ฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศกับวิธีการจัดการด้วยความรู้ท้องถิ่น มาเป็นเครื่องมือใช้ในการกระบวนการวิจัย พร้อม ๆ กับเรียนรู้วิเคราะห์ประเมินสถานการณ์ร่วมกัน ภายใต้ฐานข้อมูลที่พัฒนาแล้ว จากนั้นนำผลมาใช้เป็นโจทย์ในการวางแผนจัดการลุ่มน้ำ รวมทั้งเครื่องมือในการวางแผนงานกิจกรรมติดตามประเมินผลตั้งแต่ระดับชุมชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ลุ่มน้ำ ซึ่งปรากฏความชัดเจนว่า ข้อมูล/ข้อเท็จจริงที่ยอมรับร่วมกัน (evidence-based) เป็นกุญแจสำคัญที่นำไปสู่การพัฒนาแผนปฏิบัติการเชิงพื้นที่

คำสำคัญ

ดัชนีชี้วัดความเสี่ยงด้านภาวบน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง
ลุ่มน้ำขนาดเล็ก

Abstract

Chiangmai basin is surrounded by several of small low hill watersheds which encountered with the explanation of problem situations under the influence of urban expansion. Moreover, flood and drought circumstances become chronic problems having an effect on watersheds until it is difficult to solve the problem. This study focused on develop index and risks determination on flood and drought of small watershed to generate an evaluation model of low hill watershed near several cities of upper northern plain. which participatory action research was employed with the target population groups. The study began with the application of geo-information database for explanation of drought and flood risk level including area impacts leach watershed. Then, empirical evidence were found to explain results which connected with academic reasons. Meanwhile, main factors were estimated and screened target indicators on watershed management area found.

The index were presented as follows: 1) Flood assessment – Four indices were used to investigate the flood which consisted of Rainfall index, runoff quantity index, drainage capability index and land use index, and 2) Drought assessment – Four indices were applied to examine the drought which comprised of Rainfall index, water yield capability, potential to access water resource of agricultural area and water demand for agricultural area. The results of study found several interesting issues as follows. The middle zone was assessed as drought area due to dry spell, delayed raining condition in 2012–2015 combined with the morphological characteristics of its upland agricultural area and intensive agriculture particularly off-season rice planting and the shallow condition of natural water reservoirs and existing reservoirs kept less amount of water. These resulted to the severity level of drought more increasingly and the risk would be extended more broadly. The lower areas was assessed as severe flooding problem because it was the area receiving the water from the Mae On upper zone and some areas were still the conjunction point of the main river which appeared narrow and shallow conditions because of many changes like the outer ring road resulted to obstruction of the water drainage. At the same time, many areas receiving the flood water were filled with the ground for housing projects and new commercial areas including some parts along the riverside were changed to be the housing areas.

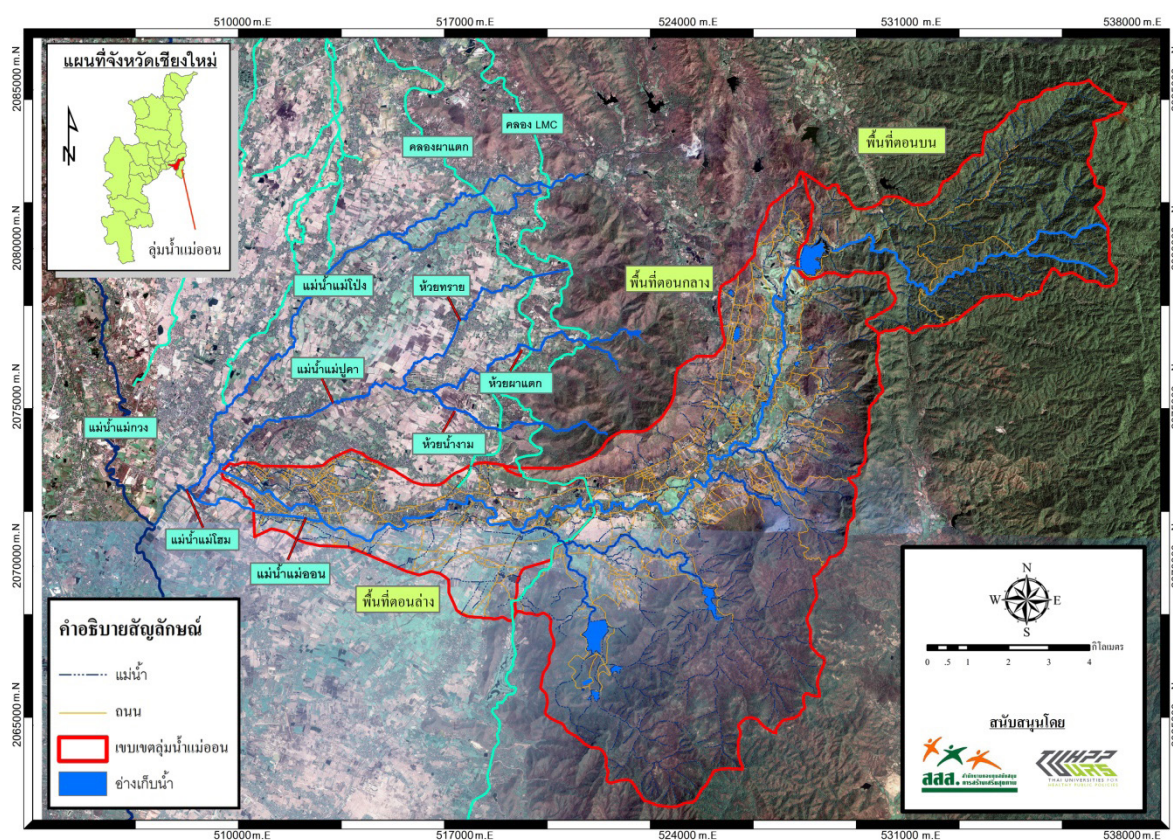
Based on results of the study, the following were found as follow 1) using database to screen target indicators which indicated problem situations and focused management through the combination of technology, for example geographic information system, with the management by local knowledge as a tool in the study process. This was done together with situation learning and analysis under updated database. After that, obtained results were used for watershed management planning. Evidence-based was an important key leaching the preparation of an area action plan with the local administrative organization for determination of local legislation on water management and its related issues.

Keyword

Flood and Drought Risk Indicators
Small Watershed

ปัญหาน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปัจจัยทางธรรมชาติ คือพายุหมุนเขตร้อนและปริมาณน้ำฝน ดังภาวะอุทกภัยที่เกิดจากอิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อน ที่พัดเข้าสู่ประเทศไทยช่วงกลางถึงปลายฤดูฝน รวมทั้งศักยภาพของลุ่มน้ำด้านโครงข่ายของลำน้ำ ระบบกักเก็บและระบายน้ำทั้งธรรมชาติและชลประทาน รวมทั้งปัจจัยเสริม คือ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ประเภทการเกษตรกรรม เป็นที่อยู่อาศัยและพาณิชยกรรม การก่อสร้างถนนวงแหวน รวมทั้งสิ่งก่อสร้างเพื่อป้องกันการเกิดอุทกภัย เช่น การสร้างเขื่อนกักเก็บน้ำ การผันน้ำ การขุดลอกลำน้ำ การขุดช่องลัด และการสร้างคันกันน้ำล้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำจนเกิดปัญหาน้ำท่วมขัง ขณะที่ภาวะแห้งแล้ง มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าปกติ หรือเกิดภาวะฝนทิ้งช่วง ทำให้ปริมาณน้ำทำนอยกว่าความต้องการเพื่อการเกษตรรวมทั้งบริโภค

อุบลโกศ (Community Organization and Northern River Basin Organizations, 2012) สำหรับแม่ฮ่องสอน เป็นลุ่มน้ำตัวแทนที่สามารถใช้อธิบายสถานการณ์ปัญหาของลุ่มน้ำขนาดเล็กที่อยู่รายรอบแอ่งเชียงใหม่ ในเขตขยายตัวเมืองเชียงใหม่ (รูปที่ 1) ที่กำลังถูกคุกคามด้วยภัยแล้งที่ขยายระดับความรุนแรงและขนาดพื้นที่ที่กว้างมากขึ้น จนส่งผลให้เกิดภาวะขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตรและอุปโภคบริโภค ยิ่งไปกว่านั้น สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินกลายเป็นปัจจัยเสริมต่อระดับความรุนแรงของภาวบน้ำท่วม เนื่องจากขาดการวางแผนรับการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ทั้งในระดับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ระดับจังหวัด และหน่วยงานภาครัฐส่วนกลาง อีกทั้งแผนพัฒนาที่เกิดขึ้นยังขาดข้อมูลที่เป็นข้อเท็จจริง และขาดการศึกษาวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหาเชิงพื้นที่อย่างมีส่วนร่วม ทำให้แผนการจัดการปัญหาภาวบน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งเกิดหน่วยงานภาครัฐจากบนลงล่างและแยกองค์กรแยกพื้นที่ จึงขาดการจัดการที่เป็นรูปธรรมและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นไม่สามารถดำเนินการเองได้



รูปที่ 1 พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ออน (The study area of Mae On watershed)

งานวิจัยที่น่าสนใจของ Daungthima and Hokao (2015) ที่ได้ร่วมกันพัฒนาระบบสนับสนุนเพื่อป้องกันความเสี่ยงจากน้ำท่วมของมรดกทางวัฒนธรรม (PCH) โดยพัฒนาเครื่องมือปลั๊กอินในสเก็ทอัป ด้วยวิธีการซ้อนทับข้อมูลตำแหน่งของมรดกวัฒนธรรมที่ได้รับความเสียหายและแผนที่ระดับลุ่มน้ำเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารในระดับท้องถิ่นหรือผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจที่จะกำหนดนโยบายที่จำเป็นเพื่อความปลอดภัยของชีวิตที่ดีขึ้น และการรับรู้ การคุ้มครองมรดกทางวัฒนธรรมมุมมองแบบองค์รวมบนพื้นฐานของการประเมินความเสี่ยงน้ำท่วมแบบบูรณาการ จากผลงานวิจัยของ อรทัย และคณะ (Mingtipol, Kowsuwan, Powjinda & Srisuk, 2015) เรื่องภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อน ซึ่งนอกจากวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหาเชิงพื้นที่แล้ว ยังสามารถสร้างกระแสให้ผู้บริหารองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเห็นความสำคัญของการจัดการปัญหาที่จำเป็นต้องมีฐานข้อมูลการวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหาเชิงพื้นที่ เพื่อใช้ประกอบการวางแผนปฏิบัติร่วมกันอย่างเป็นรูปธรรม โดยจำเป็นต้องพิจารณาการบริหารจัดการทั้งลุ่มน้ำแบบบูรณาการตั้งแต่ต้นน้ำ กลางน้ำและปลายน้ำ ด้วยกลุ่มองค์กรเครือข่ายร่วมกับภาครัฐและประชาชน ที่สามารถผสมผสานเทคนิคทางชลประทานกับความรู้พื้นถิ่น เพื่อให้เกิดการสร้างแนวร่วมในท้องถิ่นจากกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่หลากหลายให้มาทำงานร่วมกัน ทั้งนี้ ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่มีความสำคัญต่อการสนับสนุนความเข้าใจระบบความสัมพันธ์ของภาวะน้ำท่วมและแห้งแล้งในลุ่มน้ำระหว่างระบบธรรมชาติ การใช้ประโยชน์ที่ดินและการใช้น้ำ รวมถึงการประสานงานเชื่อมโยงระหว่างองค์กร เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาพัฒนาลุ่มน้ำแบบบูรณาการและยั่งยืน

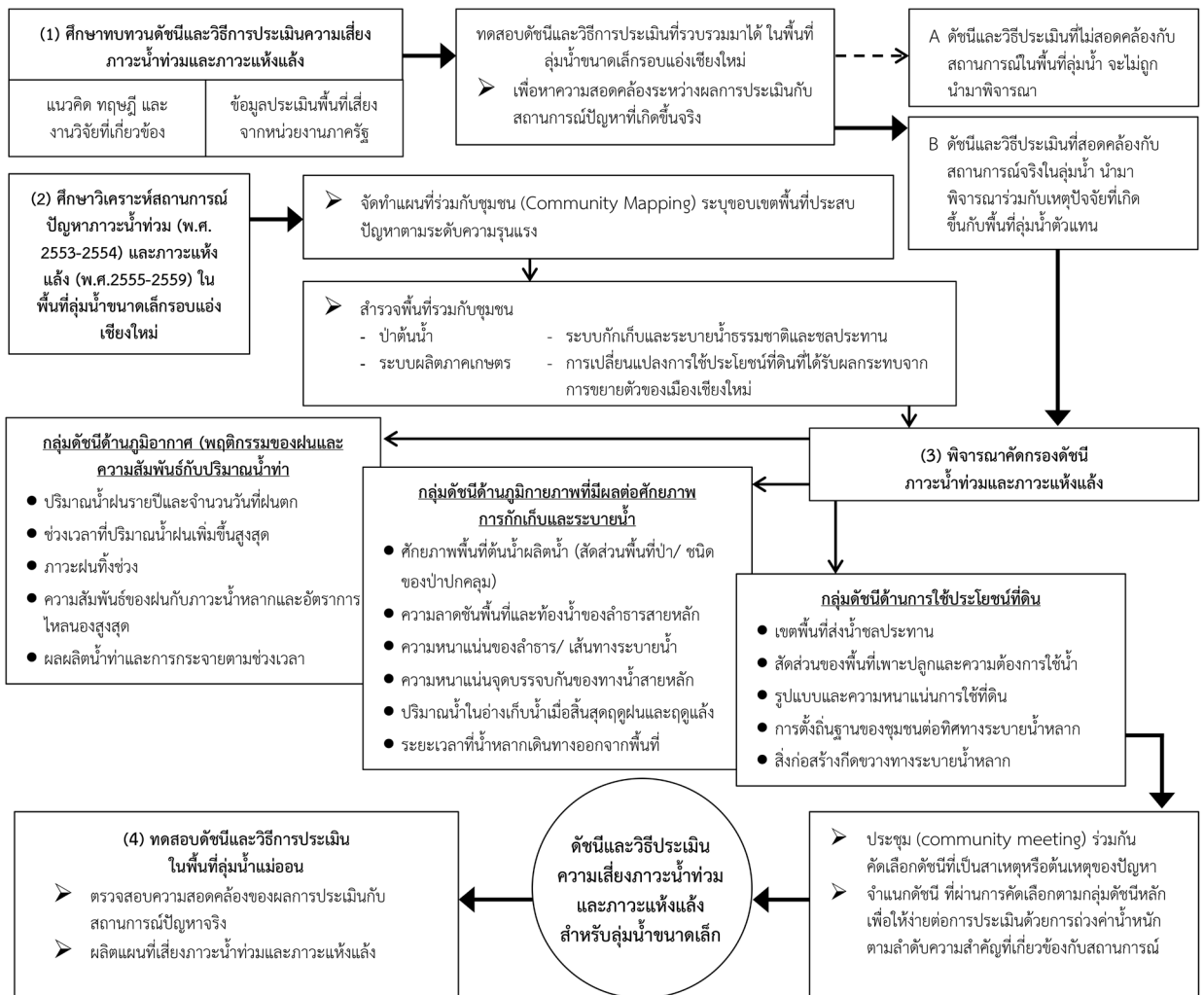
จากการศึกษาค้นคว้า ทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2012; Office of Natural Calamity and Agricultural Risk Prevention, 2012; Office of Agricultural Economics, 2015) พบว่าการศึกษาวิจัยส่วนใหญ่เป็นการประเมินโดยใช้วิธีแบบเหมารวม (lump sum model) และเน้นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาเพื่อนำมาแทนค่าตัวแปรในสมการทางคณิตศาสตร์ โดยตัวแปรที่ใช้กันอาจมีเพียงตัวแปรเดียว เช่น ใช้ปริมาณน้ำฝนรายปีเป็นตัวชี้วัดอธิบายภาวะแห้งแล้ง หรือการนำหลายตัวแปรพิจารณาร่วมกัน เช่น ปริมาณน้ำฝนสะสม ศักยภาพของ

ระบบระบายน้ำเพื่อใช้ประเมินภาวะเสี่ยงน้ำท่วม และเมื่อนำสมการดังกล่าวมาทดสอบประเมินความเสี่ยงในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อน ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำตัวแทน พบว่า วิธีการดังกล่าวไม่สามารถระบุขอบเขตและระดับความรุนแรงของพื้นที่ได้ อีกทั้งเหตุปัจจัยแท้จริงที่ส่งผลต่อการเกิดภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งสื่อถึงสถานการณ์จริงได้ไม่เด่นชัด เนื่องจากผลการประเมินนั้นบอกสถานการณ์ปัญหาซึ่งครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง เมื่อพิจารณาตัวแปรที่ใช้ประเมิน พบว่า ส่วนใหญ่เป็นตัวแปรที่ต้องใช้ข้อมูลแบบเหมารวม และน้อยมากที่แทนค่าตัวแปรเชิงพื้นที่ ข้อมูลหน่วยเล็กที่สุดคือข้อมูลระดับอำเภอ ซึ่งแน่นอนว่าไม่สามารถประเมินภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งได้แม่นยำในระดับชุมชนหรือระดับลุ่มน้ำขนาดเล็ก กล่าวได้ว่า การศึกษาทบทวนงานวิจัยที่มีมานั้น เป็นเพียงการแสดงให้รู้ว่าพื้นที่นั้นๆ อยู่ในเขตความเสี่ยงระดับใด เพื่อเตรียมการรับมือกับสถานการณ์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต มิใช่เป็นการประเมินเพื่อให้ได้ตัวแปรหรือดัชนีต้นเหตุของสถานการณ์ปัญหาเพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหา ดังนั้น การพัฒนาดัชนีและวิธีการประเมินความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง โดยเลือกพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อนเป็นพื้นที่ตัวแทน เนื่องจากกำลังเผชิญกับสถานการณ์ปัญหาดังกล่าวและมีแนวโน้มขยายระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ดัชนีที่บ่งชี้เหตุปัจจัยและอธิบายสถานการณ์ใกล้เคียงความจริง สำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่ลุ่มน้ำสามารถนำไปเป็นแนวทางการจัดการแก้ไขปัญหาภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำเชิงเขานาขนาดเล็กรอบแอ่งเชียงใหม่

2. วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

จุดเน้นของการกระบวนการวิจัย คือ การทำความเข้าใจถึงเหตุปัจจัยและผลกระทบของปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างเชื่อมโยง ด้วยข้อเท็จจริงที่เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ครอบคลุม ท้นสถานการณ์ ผู้มีส่วนได้เสียหลักยอมรับและสอดคล้องกับเหตุผลทางวิชาการ กระบวนการวิจัยนี้ถือว่าเป็นเรื่องใหม่สำหรับการประเมินความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมและแห้งแล้งระดับท้องถิ่น ท้ายสุดของกระบวนการวิจัยคือดัชนีความเสี่ยงและฐานข้อมูลในการวางแผนพัฒนาเชิงพื้นที่ระดับระดับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและระดับลุ่มน้ำ โดยมีรายละเอียดโดยสังเขป (รูปที่ 2)

1) ทบทวนดัชนีและวิธีการประเมินความเสี่ยงภาวะ



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 2 กระบวนการศึกษาพัฒนาดัชนี (The procedure for Flood and Drought assessment index)

น้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง จากแนวคิดและทฤษฎีทาง อุตุนิยม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Palmer, 1965; Yao, 1969, pp. 259-273; Watcharakorn, 2007; Wangwongwiroj, 2008; Forestry Research Center, 1994) รวมถึง ข้อมูลการประเมินพื้นที่เสี่ยงจากหน่วยงานภาครัฐ เช่น สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน รวมทั้งกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เป็นต้น จากนั้น ทดสอบดัชนีและวิธีประเมินในพื้นที่อำเภอสันทราย เพื่อ เทียบผลการประเมินกับสถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง และคัดเลือกดัชนีเชิงพื้นที่ที่สะท้อนเหตุปัจจัยที่ส่งผลต่อ ภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งได้อย่างชัดเจน

2) ศึกษาสถานการณ์ปัญหาภาวะน้ำท่วมรุนแรงใน ปี พ.ศ. 2553-2554 และภาวะแห้งแล้งในปี พ.ศ. 2555-2559 เริ่มต้นจากการทำแผนที่ประสบปัญหาร่วมกับชุมชน

ระบุขอบเขตพื้นที่ที่ประสบปัญหาและผลกระทบตามระดับ ความรุนแรง และพื้นที่ที่คาดว่าจะเป็ต้นเหตุของปัญหา จากนั้นทำการสำรวจสถานการณ์เชิงพื้นที่ตั้งแต่ป่าต้นน้ำ ระบบกักเก็บและระบายน้ำธรรมชาติและชลประทาน ระบบ ผลิตภาคเกษตรและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่ได้รับ ผลกระทบจากการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ ซึ่งกลาย เป็นประเด็นปัญหาเชิงพื้นที่ที่น่าสนใจ จากนั้นนำมา พิจารณาร่วมกับดัชนีที่มาจากการทบทวนวรรณกรรม

3) พัฒนาดัชนีและวิธีการประเมินความเสี่ยงภาวะ น้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง โดยนำดัชนีจากการทบทวน วรรณกรรมและคัดกรองด้วยการทดสอบกับพื้นที่ลุ่มน้ำ ตัวแทน และดัชนีที่ได้จากการศึกษาวิเคราะห์เชิงพื้นที่มา เปรียบเทียบกับสถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง จากนั้น ใช้กระบวนการเวทีประชุมชุมชนในพื้นที่ประสบปัญหา ร่วมกันคัดเลือกดัชนีที่เป็นสาเหตุภาวะน้ำท่วมและภาวะ

แห้งแล้ง รวมทั้งจำแนกดัชนี ที่ผ่านการคัดเลือกเข้าตามกลุ่มดัชนีหลักเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจของชุมชนและการประเมิน

ส่วนวิธีการประเมินใช้การถ่วงค่าน้ำหนักตามกลุ่มดัชนีหลักและดัชนีย่อย ซึ่งได้จากการพิจารณาเรียงลำดับความสำคัญของดัชนีต้นเหตุของปัญหา หากกลุ่มดัชนีหลักใดสร้างปัญหาหรือมีความเสี่ยงต่อภาวะน้ำท่วมหรือภาวะแห้งแล้งมากที่สุด กลุ่มดัชนีนั้นจะมีความสำคัญและมีค่าถ่วงน้ำหนักมากกว่ากลุ่มดัชนีอื่นๆ ทั้งนี้ เมื่อเข้าสู่การประเมินจะสามารถสะท้อนดัชนีต้นเหตุของปัญหาที่ชัดเจนในแต่ละพื้นที่ นอกจากนั้น ได้มีการประยุกต์ใช้โปรแกรมสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ช่วยในการประเมินซึ่งสามารถแสดงผลการประเมินในรูปแบบของแผนที่

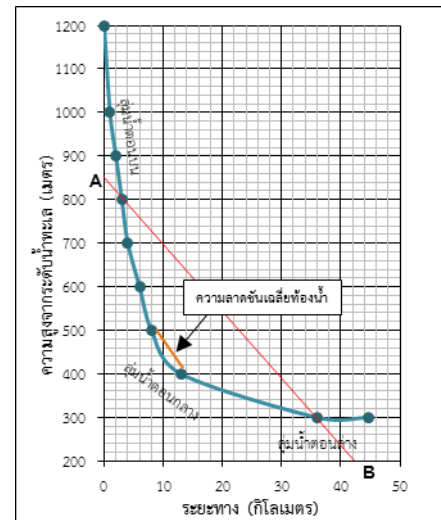
4) ทดสอบดัชนีและวิธีการประเมินในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ออน ซึ่งถูกคัดเลือกให้เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำขนาดเล็กรอบแอ่งเชียงใหม่ พร้อมทั้งตรวจสอบผลการประเมินด้วยการเปรียบเทียบกับแผนที่สถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงจากการร่วมทำแผนที่กับชุมชน เพื่อหาความสอดคล้องของผลการประเมินและสร้างเป็นแบบจำลองความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งสำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็ก

3. ผลการศึกษาวิเคราะห์

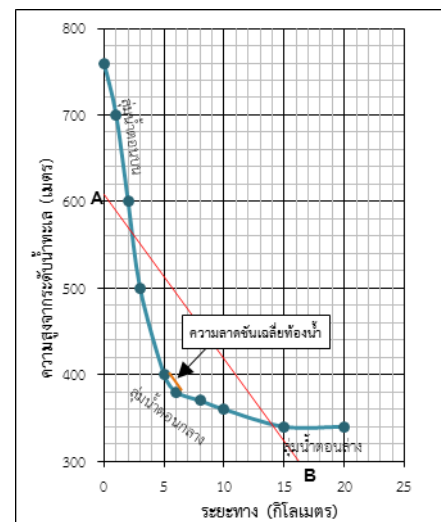
3.1 สถานการณ์ภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กรอบแอ่งเชียงใหม่

1) สถานการณ์ปัญหาและเหตุปัจจัย

ภาวะน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กรอบแอ่งเชียงใหม่ เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2553-2554 โดยพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำเกิดภาวะน้ำท่วมฉับพลันหรือน้ำป่าไหลหลาก มีสาเหตุจากฝนที่ตกหนักติดต่อกันนาน 4-5 ชั่วโมง ในเขตพื้นที่ป่าต้นน้ำที่ปกคลุมป่าเต็งรังซึ่งผ่านการสัมปทานทำให้มีศักยภาพในการซึมซับน้ำฝนได้น้อย และด้วยพื้นที่และท้องน้ำมีความลาดชันสูง (รูปที่ 3) ทำให้น้ำที่หลากในเขตพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำมีความเร็วและแรง จนเกิดผลเสียหายค่อนข้างสูงต่อชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรมริมน้ำหรือบนเส้นทางน้ำหลาก จากนั้น มวลน้ำค่อยๆ ลดความแรงลงเมื่อไหลผ่านพื้นที่ตอนกลางที่มีความลาดชันของพื้นที่ค่อนข้างต่ำ แต่ยังคงเกิดภาวะน้ำหลากผ่านพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนที่อยู่ติดกับพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบน ส่วนพื้นที่ตอนล่างเป็นพื้นที่ราบลุ่มแอ่งกระทะรับน้ำทั้งหมดที่ผลิตได้ในลุ่มน้ำ จึงเกิดภาวะน้ำท่วมขังที่มีระดับความรุนแรงและขยายวงกว้าง กอปรกับปัจจุบันเกิดการเปลี่ยน



ก. ความลาดชันท้องน้ำลุ่มน้ำแม่ออน



ข. ความลาดชันท้องน้ำลุ่มน้ำห้วยลาน

ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 3 ตัวอย่างความลาดชันท้องน้ำลุ่มน้ำขนาดเล็กที่มีผลต่อปริมาณการกักเก็บน้ำ (The example of stream slope relating to water storage in small sub watershed)

แปลงการใช้ที่ดินจากการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ การขยายตัวของชุมชนดั้งเดิม การสร้างโครงการบ้านจัดสรรขนาดใหญ่ และย่านพาณิชย์กรรมที่ปรับถมพื้นที่รับน้ำ ทางน้ำ แหล่งกักเก็บน้ำธรรมชาติ และรูกกล้าพื้นที่ริมน้ำจนลำน้ำสายหลักในลุ่มน้ำแคบเป็นคอขวด ส่งผลให้ความสามารถในการระบายน้ำลดลง อีกทั้งยังมีการก่อสร้างขยายเส้นทางคมนาคมขวางทางระบายน้ำที่จำนวนและขนาดของท่อลอดไม่เหมาะสมและอยู่ในสภาพอุดตัน จึงไม่สามารถระบายน้ำได้ทันในช่วงน้ำหลาก ภาวะน้ำท่วมในพื้นที่ตอนล่างจึงมีระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้น

หลังจากภาวะน้ำท่วมในปี พ.ศ. 2554 พื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กรอบแอ่งเชียงใหม่กลับประสบกับภาวะแห้งแล้งหรือภาวะขาดแคลนน้ำยาวนานติดต่อกันตั้งแต่ปี พ.ศ.

2555-2559 ในเขตพื้นที่เกษตรกรรมตอนกลางและตอนล่างทั้งในและนอกเขตชลประทาน รวมทั้งการขาดแคลนน้ำอุปโภคบริโภคในชุมชนที่เกิดขึ้นใหม่บนที่ลาดเชิงเขา โดยสาเหตุหลักเกิดขึ้นจากภาวะฝนตกน้อยตลอดทั้งปี และภาวะฝนทิ้งช่วงกลางฤดูฝนในเดือนมิถุนายนและเดือนกรกฎาคม ส่งผลให้ปริมาณน้ำต้นทุนที่ผลิตจากพื้นที่ป่าลดลง ปริมาณน้ำกักเก็บในแหล่งเก็บน้ำและลำน้ำสายหลักต่าง ๆ แห่งขาดไม่สามารถจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตรกรรมได้ โดยเฉพาะข้าวที่มีปริมาณความต้องการใช้น้ำมาก แม้ลุ่มน้ำส่วนใหญ่มีอ่างเก็บน้ำ แต่ขาดความเข้าใจในการใช้น้ำและขาดการมีส่วนร่วมของเกษตรกร องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานภาครัฐท้องถิ่นที่เกี่ยวข้อง เพื่อการบริหารจัดการและจัดสรรน้ำให้อยู่ในภาวะสมดุล รวมไปถึงขาดกิจกรรมอนุรักษ์ พื้นที่ปลูกและรักษาพื้นที่ป่าต้นน้ำ การปรับปรุงซ่อมแซมโครงข่ายระบบกักเก็บและระบายน้ำ ทำให้อ่างเก็บน้ำส่วนใหญ่ในลุ่มน้ำอยู่ในสภาพกรำงา ดินเขิน ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้

2) ความสัมพันธ์ของเหตุปัจจัยที่ส่งผลต่อภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง

ดัชนีแรกเกิดขึ้นจากพื้นที่ป่าต้นน้ำปกคลุมด้วยป่าเต็งรังที่ผ่านการสัมปทาน รวมทั้งการรุกล้ำพื้นที่เกษตรกรรมและที่อยู่อาศัยของคนในและนอกชุมชน ส่งผลให้พื้นที่ป่าต้นน้ำที่สมบูรณ์มีขนาดเล็กลง ขาดความสามารถในการกักเก็บน้ำช่วงฤดูฝน จึงเกิดน้ำไหลบ่าหน้าผิวดินพร้อมกับการชะล้างพังทลายของดินลงสู่ลำน้ำ และอ่างเก็บน้ำจนดินเขิน กักเก็บน้ำได้น้อยลง และด้วยความสามารถในการเก็บน้ำของป่าลดลงส่งผลให้การปลดปล่อยน้ำในช่วงฤดูแล้งลดลงด้วยเช่นกัน ปริมาณน้ำต้นทุนในอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ จึงไม่เพียงพอเพื่อการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งและการอุปโภคบริโภคในชุมชน ความสัมพันธ์ต่อมาคือ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการเติบโตทางด้านอสังหาริมทรัพย์ที่มีสัดส่วนการตลาดมากกว่าร้อยละ 80 ในปี พ.ศ. 2559 (Hirunchet, 2016) ทั้งนี้ การเติบโตดังกล่าวขยายไปตามเส้นทางคมนาคมสายหลักหรือวงแหวนรอบที่ 4 ที่มุ่งหน้าเข้าสู่อำเภอแม่ออน อีกทั้ง โครงการสร้างสนามบินแห่งที่ 2 ของจังหวัดเชียงใหม่เพื่อรองรับนักท่องเที่ยวและผู้ให้บริการมากกว่า 8 ล้านคนในปี พ.ศ. 2558 มีแผนการดำเนินการสร้างที่อำเภอแม่ออน เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงที่จะรองรับการลงทุนขนาดใหญ่ เพราะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มและเป็นพื้นที่เกษตรกรรม มีโครงสร้างพื้นฐาน

คมนาคมที่สะดวกเชื่อมโยงกับเมืองเชียงใหม่ตามคำกล่าวของ (Amornwat, 2015) ทำให้นักลงทุนเลือกที่จะลงทุนตามเส้นทางวงแหวนรอบที่ 4 ทั้งโครงการบ้านจัดสรรขนาดใหญ่ที่ดำเนินการสร้างแล้วมากกว่า 10 โครงการ รวมถึงการกว้านซื้อที่ดินขนาดใหญ่เพื่อรอการลงทุนในอนาคต ผลกระทบที่ตามมาคือพื้นที่ลุ่มน้ำตอนล่างมีการปรับถมพื้นที่เกษตรกรรม ทางน้ำลำเหมืองดั้งเดิม บ่อน้ำธรรมชาติ และพื้นที่ชุ่มน้ำหลายแห่งรวมไปถึงการสร้างถนนขวางทางน้ำ ทำให้พื้นที่รับน้ำ กักเก็บน้ำน้อยลง และความสามารถในการระบายน้ำต่ำ ส่งผลกระทบต่อชุมชนดั้งเดิมในพื้นที่ลุ่มต่ำที่ต้องเผชิญกับความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมที่มีระดับความรุนแรงมากขึ้น

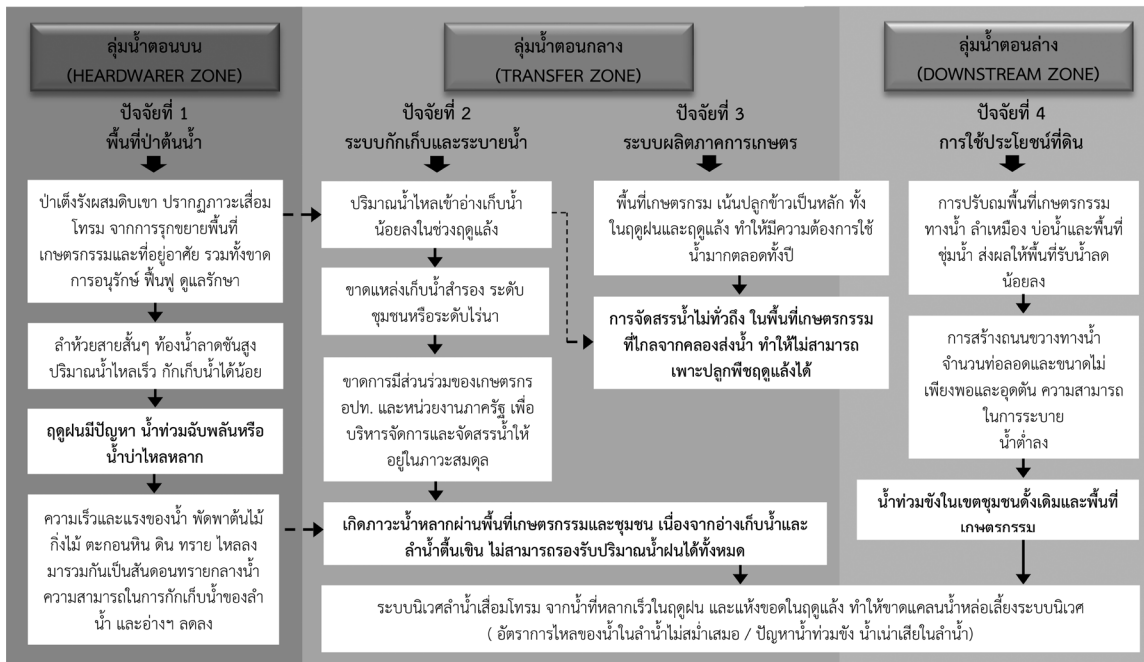
จากความสัมพันธ์ของเหตุปัจจัยที่เชื่อมโยงกันดังแสดงในรูปที่ 4 ทำให้มองเห็นกลุ่มประเด็นปัญหาหลักที่สามารถพัฒนาเป็นกลุ่มดัชนีความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งสำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็ก ตั้งแต่ปัจจัยพื้นที่ผลิตน้ำ ระบบกักเก็บและระบายน้ำ ระบบผลิตภาคเกษตร และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

3.2 การพัฒนาดัชนีและวิธีประเมินความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเหตุปัจจัยที่มีผลต่อภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง สามารถนำข้อมูลมาพัฒนาดัชนีและวิธีประเมินความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งลุ่มน้ำขนาดเล็กได้ดังนี้

1) ดัชนีความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งภาวะน้ำท่วม

การประเมินพื้นที่เสี่ยงภาวะน้ำท่วมจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่เป็นการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 (DHI Water Environment and Health, 2007) แต่เนื่องจากข้อมูลตรวจวัดปริมาณน้ำที่นำมาแปลงเป็นค่าปริมาณการไหลที่ได้พยากรณ์นั้นไม่สามารถทำได้อย่างแม่นยำเมื่อเทียบกับปริมาณการไหลจริง อีกทั้งการพยากรณ์ดังกล่าวไม่สามารถระบุต้นเหตุของปัญหาภาวะน้ำท่วมได้ (Taesombat, 2011) ส่วนการประเมินภาวะน้ำท่วมด้วยการประยุกต์ในเทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เริ่มมีการนำมาใช้ประเมินในหลายพื้นที่ โดยมีปัจจัยนำเข้าหรือดัชนีที่ใช้ประเมินเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำฝนและกายภาพพื้นที่ที่น่าขึ้น ข้อมูลแต่ละดัชนีมาเรียงซ้อนทับกัน (overlay) และให้ค่าคะแนนที่แตกต่างกันตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ



ที่มา: ผู้วิจัย

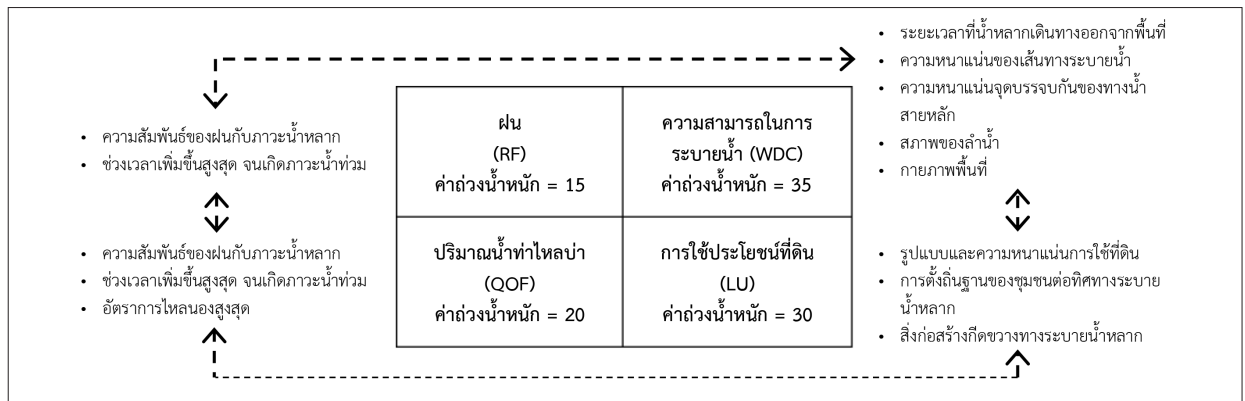
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของเหตุปัจจัยที่ส่งผลต่อภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง (The relationship of influencing factor on drought and flood circumstances)

ในแต่ละดัชนีนั้นๆ (Dhanarun & Amonsanguansin, 2010; Naga, 2015) ซึ่งความเป็นจริงแล้วดัชนีต่างๆ นั้นควรจำแนกเข้าตามกลุ่มดัชนีหลักเพื่อง่ายต่อการกำหนดลำดับความสำคัญและมองเห็นถึงความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันของดัชนีตามสถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนี้ เกณฑ์คะแนนการประเมินในแต่ละดัชนีและการให้ค่าถ่วงน้ำหนักควรพิจารณาจากสถานการณ์จริงร่วมกับเกษตรกรกลุ่มผู้นำชุมชนที่ประสบกับปัญหาเพื่อให้ผลการประเมินแสดงดัชนีต้นเหตุของปัญหาที่ชัดเจน

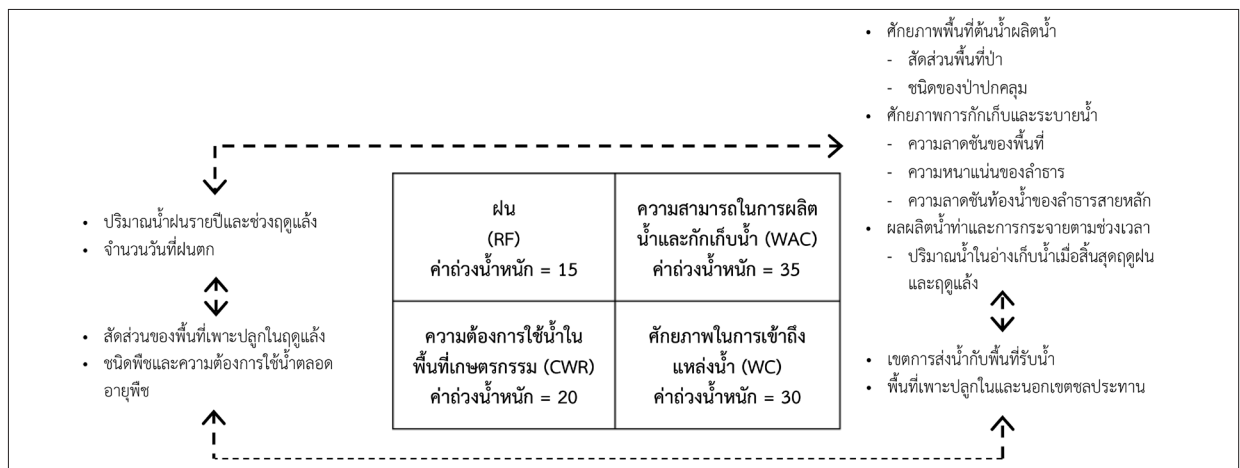
ดังนั้น ดัชนีภาวะน้ำท่วมสำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็กจึงพิจารณาคัดเลือกดัชนีที่มีอยู่แล้วจากการทบทวนวรรณกรรมเพียงแต่นำมาจัดกลุ่มตามกลุ่มดัชนีหลักและเพิ่มเติมดัชนีย่อยที่เป็นต้นเหตุของปัญหาซึ่งส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำฝน ณ ช่วงเวลาที่เกิดภาวะฝนตกหนักที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าไหลบ่าในพื้นที่ โดยปริมาณน้ำไหลบ่าจะมากหรือน้อยนั้นต้องขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพพื้นที่ที่เป็นตัวกำหนดศักยภาพด้านความสามารถในการระบายน้ำออกจากพื้นที่ หากพื้นที่นั้นเป็นที่ลาดชันหรือที่ราบชันบันไระดับสูง มีเส้นทางน้ำมากก็จะสามารถระบายน้ำออกจากพื้นที่ได้เร็วกว่าพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เป็นตัวควบคุมทิศทางการระบายน้ำ หากพื้นที่นั้นมีพื้นที่

เกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ที่ไม่มีสิ่งกีดขวางทางน้ำ ทิศทางการระบายน้ำเป็นแนวตรงสามารถระบายออกจากพื้นที่ได้ดีและรวดเร็ว แต่หากพื้นที่ใดมีการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งชุมชนบ้านเรือน บ้านจัดสรร เส้นทางคมนาคมที่ขวางทางระบายน้ำ หรือล้อมรอบปิดกั้นทางระบายน้ำ ทำให้น้ำไม่สามารถระบายออกไปได้ส่งผลต่อภาวะน้ำท่วมในระดับที่รุนแรงขึ้น

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวข้างต้น จึงได้จำแนกกลุ่มและคัดเลือกดัชนีเชิงพื้นที่จากสถานการณ์จริงเพิ่มเติมแสดงในรูปที่ 5 และกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักร่วมกับเกษตรกรและกลุ่มผู้นำชุมชน พร้อมทั้งทดสอบลงในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อนเพื่อปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้ผลการประเมินความสอดคล้องกับสถานการณ์จริงในพื้นที่ สำหรับการถ่วงค่าน้ำหนักได้กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักเต็มไว้เท่ากับ 100 และให้ความสำคัญกับดัชนีกลุ่มของฝนเท่ากับ 15 ถึงแม้จะเป็นปัจจัยที่สำคัญแต่เป็นดัชนีที่ต้องใช้ข้อมูลเดียวกันทั้งลุ่มน้ำและไม่สามารถนำมาหาแนวทางการแก้ไขปัญหาได้ และให้ความสำคัญของกลุ่มดัชนีความสามารถในการระบายน้ำมากที่สุดเท่ากับ 35 รองลงมาคือการใช้ประโยชน์ที่ดิน (30) และปริมาณน้ำท่าไหลบ่า (20) ตามลำดับ



รูปที่ 5 ดัชนีชี้วัดภาวะน้ำท่วม (Flood risk indexes)



ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 6 ดัชนีชี้วัดภาวะแห้งแล้ง (Drought risk indexes)

ภาวะแห้งแล้ง

ดัชนีภาวะแห้งแล้งที่รวบรวมจากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนใหญ่ใช้ศึกษาภาวะแห้งแล้งในประเทศไทยและเป็นดัชนีในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ เช่น Decile Range, (Gibbs & Maher, 1967), Standardized Precipitation Index: SPI (McKee, Doesken & Kleist, 1993), Generalized Monsoon Index: GMI (Achutun, Steyaert & Sakamoto, 1982) และ Palmer Drought Severity Index: PDSI (Palmer, 1965) สมการต่าง ๆ เหล่านี้ใช้ลักษณะภูมิอากาศเป็นปัจจัยนำเข้าหลัก เช่น ปริมาณน้ำฝน ความชื้น อุณหภูมิ และการคายระเหย เป็นต้น สำหรับผลการทดสอบสมการภาวะแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อนที่ถูกคัดเลือกให้เป็นตัวแทนลุ่มน้ำขนาดเล็ก พบว่าผลการประเมินแสดงเพียงระดับความรุนแรงของภาวะแห้งแล้งแบบเหมารวมในระดับลุ่มน้ำ เช่น ค่า SPI ของลุ่มน้ำแม่อน มีค่าเท่ากับ -4.31 ถึง -10.94 แสดงถึงภาวะแห้งแล้งระดับเบาบางที่เกิดขึ้นในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม และค่า PDSI ในคาบ 10 ปี มีค่าเท่ากับ -2.36

ซึ่งแสดงถึงภาวะแห้งแล้งระดับปานกลางในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อน เป็นต้น ผลการประเมินดังกล่าวไม่สามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่เสี่ยงตามระดับความรุนแรงที่แตกต่างกันได้ถึงจะมีแม้ลักษณะทางกายภาพ การผลิตและกักเก็บน้ำหรือการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่ รวมไปถึงไม่สามารถระบุดัชนีต้นเหตุของปัญหาภาวะแห้งแล้งที่สามารถนำมาหาแนวทางการแก้ไขปัญหาล่วงหน้าได้

ดังนั้น การพัฒนาดัชนีภาวะแห้งแล้งจึงคัดเลือกดัชนีปริมาณน้ำฝน ที่ใช้ในสมการคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นดัชนีที่สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ของภาวะแห้งแล้งในลุ่มน้ำแม่อนได้ชัดเจนและยังมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับดัชนีที่คัดเลือกจากสถานการณ์จริงในพื้นที่ โดยปริมาณน้ำฝนที่ลดลงและภาวะฝนทิ้งช่วงกลางฤดูฝนส่งผลให้ความสามารถในการผลิต กักเก็บ และปลดปล่อยน้ำของพื้นที่ป่าลดน้อยลง รวมถึงปริมาณน้ำกักเก็บในแหล่งเก็บน้ำต่าง ๆ ลดลงด้วยเช่นกัน ส่วนปริมาณน้ำต้นทุนกับเก็บที่ลดลงไม่สามารถกระจายน้ำได้อย่างทั่วถึงในทุกพื้นที่

เกษตรกรรม โดยเฉพาะพื้นที่ห่างไกลจากคลองส่งน้ำและพื้นที่นอกเขตชลประทาน นอกจากดัชนีเชิงพื้นที่ด้านปริมาณน้ำต้นทุนที่กล่าวมาแล้วนั้นจำเป็นต้องพิจารณาร่วมกับดัชนีด้านปริมาณความต้องการใช้น้ำในพื้นที่เกษตรกรรม เพื่อให้เกิดภาวะสมดุลน้ำภาคการเกษตรกรรมในช่วงฤดูแล้ง

ดังนั้น ดัชนีภาวะแห้งแล้งที่คัดเลือกได้มีการจัดเข้ากลุ่มดัชนีหลักดังแสดงในรูปที่ 6 และจัดเรียงลำดับความสำคัญตามสถานการณ์จริงในพื้นที่ร่วมกับเกษตรกรและกลุ่มผู้นำชุมชนที่อยู่ในพื้นที่ประสบปัญหา โดยกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักเต็มไว้เท่ากับ 100 และให้ค่าความสำคัญของกลุ่มดัชนีความสามารถในการผลิตน้ำและกักเก็บน้ำมากที่สุดคือ 35 รองลงมาคือ ความต้องการใช้น้ำในเขตพื้นที่เกษตรกรรม (30) ศักยภาพในการเข้าถึงแหล่งน้ำ (20) และกลุ่มของปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 15 ตามลำดับ

2) การประเมินความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง

การประเมินความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง ด้วยการประยุกต์โปรแกรมสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ทุกขั้นตอน ตั้งแต่การแบ่งเขตพื้นที่ประเมินในลุ่มน้ำออกตามลักษณะทางกายภาพ การวิเคราะห์ลักษณะทางอุทก และการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ (รูปที่ 7ก) เพื่อให้ผลการประเมินมีความชัดเจนในขอบเขตเชิงพื้นที่ จากนั้นประเมินตามกลุ่มดัชนีหลัก (รูปที่ 7ข) จนครบทุกกลุ่มดัชนีหลัก และ ประเมินเงื่อนไขภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งจากดัชนีหลัก โดยการพัฒนาแบบจำลองประเมินภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก (รูปที่ 7ค) ดังนี้

2.1) ภาวะน้ำท่วม เกิดขึ้นจากศักยภาพระบบระบายน้ำต่ำ กอปรกับการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่สอดคล้องกับเส้นทางการระบายน้ำและกีดขวางทางหลากของน้ำ ซึ่งหากมีปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากภาวะฝนตกหนักมีปริมาณมากเกิดความจุของลำน้ำและแหล่งเก็บน้ำจะส่งผลให้เกิดภาวะน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อน ดังนั้น เงื่อนไขของการพัฒนาแบบจำลองประเมินภาวะน้ำท่วม (Flood in Small Watershed: FSW) จึงพิจารณาถึงอัตราส่วนระหว่างระบบระบายและการใช้ประโยชน์ที่ดินกับปริมาณน้ำท่าที่ผลิตได้ในพื้นที่ ณ ช่วงเวลาที่เกิดฝนตกหนัก ดังสมการที่ 1

$$FSW = WDC + LU \quad RF + QOF \quad (1)$$

จากเงื่อนไขของภาวะน้ำท่วม ทำการปรับค่าคะแนนกลุ่มสมการเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ตามความสำคัญ

ของดัชนีหลักเพื่อหาอัตราส่วนความสมดุล ดังสมการที่ 2 และจำแนกระดับความรุนแรงของภาวะน้ำท่วมที่เกิดขึ้นออกเป็น 5 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

$$WDC + LU : RF + QOF \quad (2)$$

ปรับค่า (%) ของดัชนี 60%+40% : 30%+70%

โดยที่ WDC = ความสามารถในการระบายน้ำ

LU = การใช้ประโยชน์ที่ดิน

RF = ปริมาณน้ำฝน

QOF = ปริมาณน้ำท่า

ตารางที่ 1 ระดับความเสี่ยงภาวะน้ำท่วม (Flood risk level)

การประเมิน	ระดับความเสี่ยงภาวะน้ำท่วม	
1 : 3	5	พื้นที่เสี่ยงภาวะน้ำท่วมระดับรุนแรง
1 : 2	4	พื้นที่เสี่ยงภาวะน้ำท่วมระดับค่อนข้างรุนแรง
1 : 1	3	พื้นที่เสี่ยงภาวะน้ำท่วมระดับปานกลาง
2 : 1	2	พื้นที่เสี่ยงภาวะน้ำท่วมระดับค่อนข้างต่ำ
3 : 1	1	พื้นที่เสี่ยงภาวะน้ำท่วมระดับต่ำ

2.2) ภาวะแห้งแล้ง เกิดขึ้นจากภาวะฝนตกน้อยหรือฝนทิ้งช่วงยาวนานจนส่งผลกระทบต่อความสามารถในการผลิตน้ำและปริมาณน้ำกักเก็บในพื้นที่ที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกพืช ดังนั้น การพัฒนาแบบจำลองอธิบายภาวะแห้งแล้งสำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็ก (Drought in Small Watershed: DSW) จึงมีเงื่อนไขว่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำต้นทุนต้องมากกว่าปริมาณความต้องการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูก ดังสมการที่ 3

$$DSW = RF + WAC + WC \quad CWR \quad (3)$$

จากเงื่อนไขของภาวะแห้งแล้ง ทำการปรับค่าคะแนนกลุ่มสมการเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ตามความสำคัญของดัชนีหลักเพื่อหาอัตราส่วนความสมดุล ดังสมการที่ 4 และจำแนกระดับความรุนแรงของภาวะแห้งแล้งที่เกิดขึ้นออกเป็น 5 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

$$RF + WAC + WC : CWR \quad (4)$$

ปรับค่า (%) ของดัชนี 20%+50%+30% : 100%

โดยที่ RF = ปริมาณน้ำฝน

WAC = ความสามารถในการผลิตน้ำและกักเก็บน้ำต้นทุน

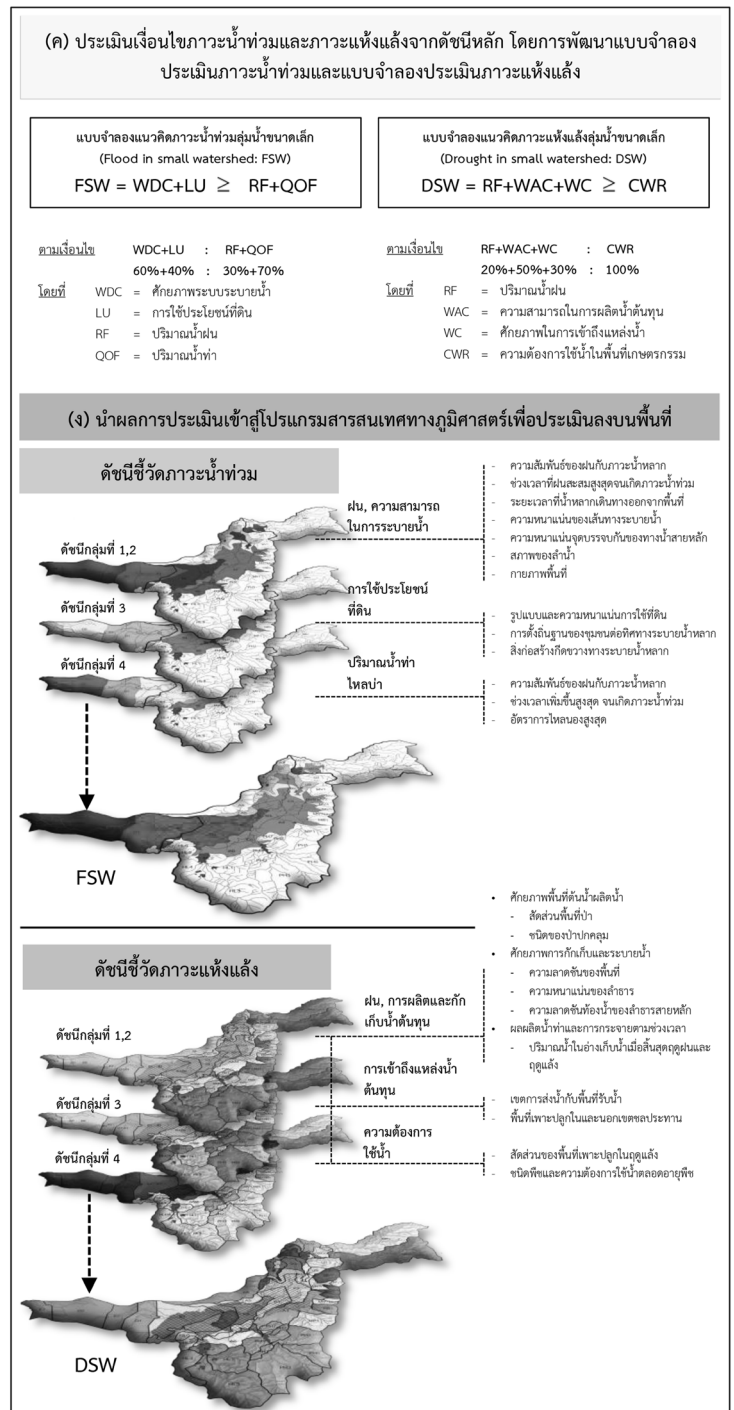
WC = ศักยภาพในการเข้าถึงแหล่งน้ำ

CWR = ความต้องการใช้น้ำในพื้นที่เกษตรกรรม

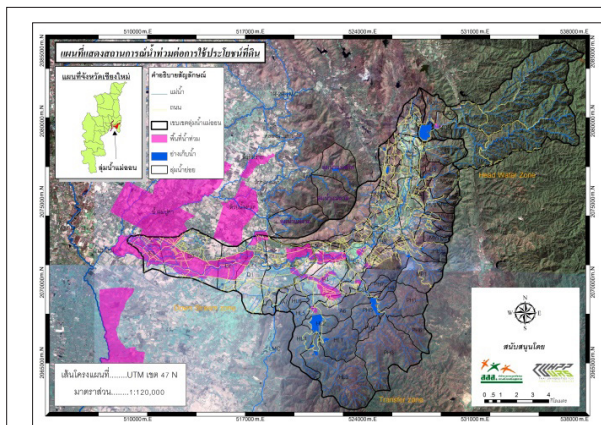
ตารางที่ 2 ระดับความเสี่ยงภาวะแห้งแล้ง (Drought risk level)

การประเมิน	ระดับความเสี่ยงภาวะแห้งแล้ง	
1 : 3	5	พื้นที่เสี่ยงภาวะแห้งแล้งระดับรุนแรง
1 : 2	4	พื้นที่เสี่ยงภาวะแห้งแล้งระดับค่อนข้างรุนแรง
1 : 1	3	พื้นที่เสี่ยงภาวะแห้งแล้งระดับปานกลาง
2 : 1	2	พื้นที่เสี่ยงภาวะแห้งแล้งระดับค่อนข้างต่ำ
3 : 1	1	พื้นที่เสี่ยงภาวะแห้งแล้งระดับต่ำ

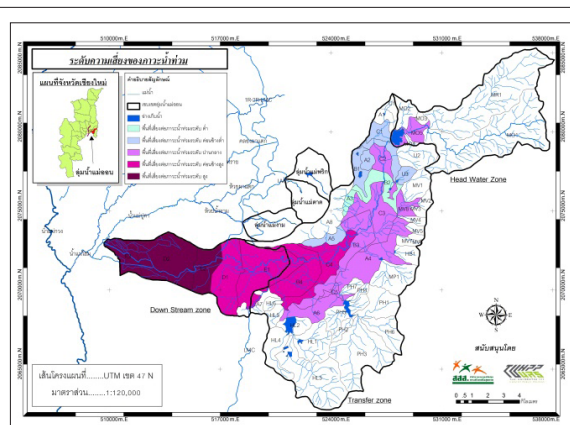
สำหรับกระบวนการท้ายสุดของการประเมินคือการนำผลการประเมินเข้าสู่โปรแกรม ArcGIS (extension) เพื่อประเมินและแสดงผลลงบนพื้นที่ตามขอบเขตที่กำหนดไว้ (รูปที่ 7ง)



รูปที่ 7 วิธีการประเมินความเสี่ยงภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง (Risk assessment for flood and drought)



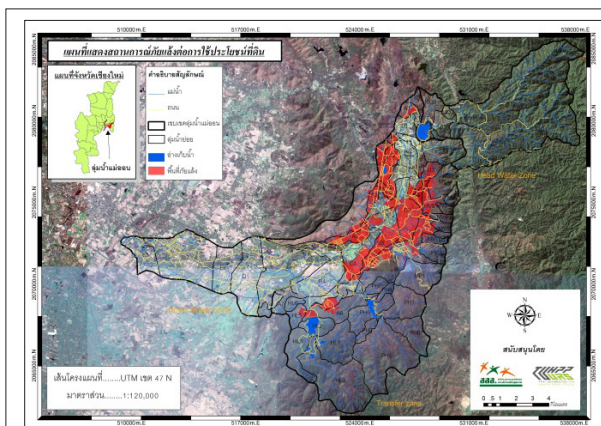
ก. พื้นที่ประสบภavnน้ำท่วมจริง



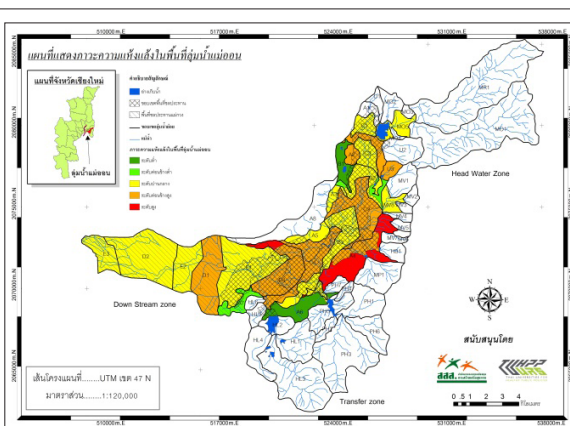
ข. ผลการประเมินพื้นที่เสี่ยงภavnน้ำท่วม

ที่มา: อรรถย และคณะ (Mingtipol, Kowsuan, Powjinda & Srisuk, 2015)

รูปที่ 8 พื้นที่ประสบภavnน้ำท่วมจริงและผลการประเมิน (The comparison between the area of flooding prone and the flooding area by risk assessment)



ก. พื้นที่ประสบภavnแห้งแล้งจริง



ข. ผลการประเมินพื้นที่เสี่ยงภavnแห้งแล้ง

ที่มา: อรรถย และคณะ (Mingtipol, Kowsuan, Powjinda & Srisuk, 2015)

รูปที่ 9 พื้นที่ประสบภavnแห้งแล้งจริงและผลการประเมิน (The comparison between the area of drought prone and the drought area by risk assessment)

3) ผลการประเมินความเสี่ยงภavnน้ำท่วมและภavnแห้งแล้ง

ผลการประเมินความเสี่ยงภavnน้ำท่วมและภavnแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำตัวแทนใกล้เคียงกับสถาน การณ์จริงในพื้นที่ลุ่มน้ำตัวแทน และเมื่อนำแผนที่ประเมินมาซ้อนทับกับแผนที่สถานการณ์จริง โดยพิจารณาผลการประเมินในระดับรุนแรงและค่อนข้างรุนแรง ซึ่งเป็นระดับประเมินที่สามารถเกิดขึ้นได้จริงเชิงพื้นที่ พบว่า

3.1) ผลการประเมินภavnน้ำท่วม ภavnเสี่ยงระดับค่อนข้างรุนแรงและรุนแรงใกล้เคียงสถานการณ์จริงเชิงพื้นที่ ในปี พ.ศ.2553-2554 (รูปที่ 8ก) ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำตอนล่าง ถึงร้อยละ 88.96 (รูปที่ 8ข: D4 และ D5) และผลการประเมินยังบ่งชี้ดัชนีที่เป็นเหตุปัจจัยของปัญหาเชิงพื้นที่ ด้วยลักษณะกายภาพเป็นพื้นที่ราบลุ่มมีจุดบรรจบของลำน้ำหลายสาย กอปรกับเป็นเขตรองรับ

การขยายตัวของเมือง ชุมชนที่อยู่อาศัยและย่านพาณิชย์ การกรรกรรกล้าพื้นที่ริมน้ำ พื้นที่รับน้ำลดลงจากการปรับถมพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ลุ่ม รวมถึงการก่อสร้างเส้นทางคมนาคมจนปิดกั้นสิ่งกีดขวางทางระบายน้ำธรรมชาติ ทางน้ำและแหล่งน้ำส่งผลให้เกิดภavnน้ำท่วมขังรุนแรงและขยายวงกว้างขึ้น ส่วนพื้นที่เสี่ยงระดับปานกลาง (รูปที่ 8ข: D3) ปรากฏบริเวณพื้นที่ราบขั้นบันไดระดับต่ำ ซึ่งผลการประเมินบ่งชี้ดัชนีเหตุปัจจัยของปัญหาด้วยความสามารถในการระบายน้ำต่ำ และลักษณะลำน้ำสายสั้น แคบและตื้นเขิน และการใช้ประโยชน์ที่ดินสิ่งกีดขวางทางระบายน้ำในบางพื้นที่ ส่วนพื้นที่เสี่ยงระดับค่อนข้างต่ำและระดับต่ำ ซึ่งเหตุของปัญหาคือการขยายตัวของชุมชนกรรกล้าพื้นที่ริมน้ำ ถึงแม้ยังไม่ปรากฏในพื้นที่หากไม่มีแนวทางจัดการปัญหา อาจประสบปัญหาจริงได้ (รูปที่ 8ข: D2 และ D1)

3.2) ผลการประเมินภาวะแห้งแล้ง พื้นที่เสี่ยงระดับค่อนข้างรุนแรงและรุนแรง สอดคล้องกับสถานการณ์จริงในปี พ.ศ. 2555-2559 ร้อยละ 91.76 (รูปที่ 9ก: F5) ที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่เกษตรนอกเขตชลประทาน อาศัยน้ำฝนเพื่อการเพาะปลูก และพื้นที่เกษตรกรรมในเขตชลประทาน (รูปที่ 9ข: F4) แต่มีปริมาณความต้องการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกสูงตลอดทั้งปี ส่วนพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อภาวะแห้งแล้งระดับปานกลาง (รูปที่ 9ข: F3) แม้จะไม่ปรากฏในแผนที่สถานการณ์ภาวะแห้งแล้งจริง แต่ผลการประเมินบ่งชี้ไปที่ดัชนีชีวิตต้นเหตุของปัญหาด้านศักยภาพในการเข้าถึงแหล่งน้ำที่อยู่ไกลจากคลองส่งน้ำลำน้ำ และเริ่มมีความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกในช่วงฤดูแล้ง สำหรับพื้นที่ที่มีความเสี่ยงระดับค่อนข้างต่ำและระดับต่ำ (รูปที่ 9ข: F2 และ F1) มีความเสี่ยงต่ำ มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก

3.3) สรุปผลการพัฒนาแบบจำลองประเมินพื้นที่เสี่ยงภาวน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง

การพัฒนาดัชนีและวิธีการประเมินพื้นที่โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ร่วมกับเทคนิคการซ้อนทับแผนที่ ส่งผลให้ผลการประเมินสอดคล้องใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในลุ่มน้ำแม่อน ซึ่งเป็นลุ่มน้ำตัวแทน ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาดัชนีชีวิตจากการศึกษาวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง ทั้งสถานการณ์ภาวะน้ำท่วมในปี พ.ศ. 2553-2554 และสถานการณ์ภาวะแห้งแล้งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555-2559 จึงเป็นข้อดีที่ทำให้สามารถพัฒนาดัชนีและวิธีการประเมินที่สอดคล้องกับสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่อยู่ในระดับความรุนแรงไม่ถึงเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาพื้นที่เพื่อแก้ไขปัญหาภาวะน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งอย่างเป็นรูปธรรม แต่ทั้งนี้ เงื่อนไขของการใช้ดัชนีประเมินความเสี่ยงภาวน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กอื่น ๆ จำเป็นต้องกำหนดขอบเขตการประเมินในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น ๆ อย่างน้อยต้องมีความแตกต่างกันทางลักษณะทางกายภาพและการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อแสดงผลการประเมินที่ชัดเจน อีกทั้งค่าถ่วงน้ำหนักตามลำดับความสำคัญของกลุ่มดัชนีต้องเปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

4.1 ดัชนีบ่งชี้สำคัญของเหตุปัจจัยที่มีผลต่อภาวน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้ง

ดัชนีบ่งชี้สำคัญที่ส่งผลต่อความเสี่ยงภาวน้ำท่วมจึงมุ่งเน้นไปที่ดัชนีเชิงพื้นที่ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่เป็นปัจจัยเสริมเพิ่มระดับความรุนแรงด้วยการปรับถมพื้นที่เกษตรกรรมซึ่งเคยทำหน้าที่เป็นแก้มลิงรองรับน้ำหลากในช่วงฤดูฝน การปรับถมแหล่งน้ำธรรมชาติ บ่อน้ำท้ายลำเหมือง ลำเหมืองดั้งเดิม หรือแม้กระทั่งการรुक้าพื้นที่ริมน้ำ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลให้ขนาดของพื้นที่รับน้ำลดลง ดังนั้น เมื่อเกิดภาวะฝนตกหนักหรือมีปริมาณน้ำฝนสะสม ช่วงเวลาดังกล่าวสูงกว่า 70 มิลลิเมตร มวลน้ำปริมาณมากที่ขาดพื้นที่รองรับกอบรับทางหลากหลายของน้ำถูกปิดกั้นด้วยเส้นทางคมนาคมและพื้นที่ปรับถม ไม่สามารถระบายออกจากพื้นที่ได้สะดวก จึงมีผลให้ภาวน้ำท่วมระดับมีความรุนแรงและขยายวงกว้างมากขึ้น ส่วนดัชนีบ่งชี้สำคัญของเหตุปัจจัยเชิงพื้นที่ที่มีผลต่อภาวะแห้งแล้งในพื้นที่ คือ พื้นที่เพาะปลูกและระบบผลิตภาคเกษตรที่เป็นตัวแปรสำคัญของปริมาณความต้องการใช้น้ำที่ต้องพิจารณาควบคู่ไปกับดัชนีบ่งชี้ด้านการบริหารจัดการน้ำเชิงโครงสร้างกายภาพเพื่อให้เกิดภาวะสมดุลระหว่างปริมาณน้ำต้นทุนและปริมาณความต้องการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกพืชฤดูแล้ง หากปีใดมีฝนตกน้อยและทิ้งช่วงยาวนานได้ส่งผลต่อปริมาณน้ำกักเก็บในเขื่อนแม่อน ซึ่งหากสิ้นสุดฤดูฝนมีปริมาณน้ำกักเก็บต่ำกว่าร้อยละ 25 ของความจุ ซึ่งไม่สามารถจัดสรรน้ำเพื่อการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งได้ แต่ทั้งนี้ปัจจัยบ่งชี้ด้านปริมาณน้ำฝนอยู่นอกเหนือการควบคุมและไม่สามารถบริหารจัดการได้

4.2 ความน่าเชื่อถือของการประเมินเชิงพื้นที่

การประเมินพื้นที่เสี่ยงภาวน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่อน ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงและเมื่อนำแผนที่ที่มีผลการประเมินพื้นที่เสี่ยงระดับรุนแรงซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จริงเชิงพื้นที่ซ้อนทับกับแผนที่สถานการณ์จริง พบว่า ผลการประเมินภาวน้ำท่วมมีความถูกต้องถึงร้อยละ 89 สอดคล้องใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงเช่นเดียวกัน เนื่องจากพื้นที่ที่ประสบภาวน้ำท่วมรุนแรงนั้นเป็นผลมาจากลักษณะทางกายภาพเป็นที่ลุ่มต่ำมีการลดลงของพื้นที่รับน้ำหลากจากการเปลี่ยนแปลง

รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินจากที่เกษตรกรรมปรับถมเป็นโครงการบ้านจัดสรร อาคารพาณิชย์ และเส้นทางคมนาคมปิดกั้นสิ่งกีดขวางทางระบายน้ำตามธรรมชาติ ส่วนผลการประเมินพื้นที่เสี่ยงภาวะแห้งแล้งมีค่าความถูกต้องร้อยละ 90 สอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงทั้งในและนอกเขตชลประทาน โดยพื้นที่นอกเขตชลประทานที่ประสบภาวะแห้งแล้งรุนแรงเกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพที่เป็นที่ลาดเชิงเขา ขาดแคลนแหล่งกักเก็บน้ำสำรอง ส่วนภาวะแห้งแล้งในเขตชลประทานเกิดขึ้นจากพื้นที่ที่อยู่ไกลจากคลองส่งน้ำ ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากน้ำที่จัดสรรได้อย่างเต็มที่ และแหล่งกักเก็บน้ำสำรองมีน้อย อีกทั้งยังเป็นพื้นที่ที่มีความต้องการใช้น้ำสูงตลอดทั้งปีจากการปลูกข้าวนาปรัง

กล่าวได้ว่า การพัฒนาดัชนีจากการศึกษาวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง และการประเมินพื้นที่โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ร่วมกับเทคนิคการซ้อนทับแผนที่ ส่งผลให้ผลการประเมินสอดคล้องใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่อำเภอสนทราย และสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาพื้นที่เพื่อแก้ไขปัญหาภาวน้ำท่วมและภาวะแห้งแล้งอย่างเป็นรูปธรรม

4.3 ผลผลิตการศึกษาวิจัย

ผลงานวิจัยนี้สามารถสร้างประโยชน์ให้กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำขนาดเล็ก แบบบูรณาการ โดยให้องค์กรชุมชนในท้องถิ่นทั้งพื้นที่ตอนบน ตอนกลาง และตอนล่าง เข้ามามีส่วนร่วมในการบริหารจัดการร่วม โดยสามารถใช้ภูมิปัญญา รวมทั้งกฎเกณฑ์ท้องถิ่นหรือองค์กรท้องถิ่นมีส่วนร่วมในกระบวนการตัดสินใจเป็นกลไกขับเคลื่อน ทั้งนี้ การบริหาร

จัดการดังกล่าวควรตั้งอยู่บนพื้นฐานของนโยบายที่เป็นที่ยอมรับและสอดคล้องกับทรัพยากรน้ำต้นทุนที่มีอยู่ โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผลพวงทางเศรษฐกิจที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต รูปแบบการบริหารจัดการลุ่มน้ำด้วยการมีส่วนร่วมขององค์กรภาคีและองค์กรท้องถิ่นแบบบูรณาการ ด้วย 1) การพิจารณาคัดกรองปัญหาแบบเชื่อมโยงเชิงพื้นที่ ตอนบน ตอนกลาง และตอนล่าง เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปัญหาอย่างเป็นบูรณาการ ได้แก่การเชื่อมโยงสถานการณ์ทรัพยากรน้ำ ระบบการผลิต และระบบการบริหารจัดการลุ่มน้ำไว้ด้วยกัน 2) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อผลิตข้อมูลหรือข้อเท็จจริงที่ยอมรับร่วมกัน (evidence-based) จะเป็นกุญแจสำคัญที่นำไปสู่การจัดการที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะฐานข้อมูลเพื่อการจัดการข้อขัดแย้ง และสร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชน ในเครือข่ายลุ่มน้ำและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เป็นกุญแจสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่จะทำให้การจัดการแบบยั่งยืน โดยต้องอาศัยกระบวนการเรียนรู้ร่วมกัน ผสมผสานเทคโนโลยีกับภูมิปัญญาที่เหมาะสม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัย ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากแผนงานสร้างเสริมนโยบายสาธารณะที่ดี (นสธ.) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ภายใต้การสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาดัชนีความเสี่ยงด้านอุทกภัยและภาวะแห้งแล้งสำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็ก เพื่อการบริหารจัดการระดับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เพื่อหาแนวทางแก้ไขบรรเทาปัญหาอุทกภัยและภาวะแห้งแล้งแบบองค์รวมด้วยชุมชน และองค์กรท้องถิ่น

References

- Achutun, V. R., Steyaert, L. T., & Sakamoto, C. M. (1982). *Agroclimatic assessment methods for drought/flood shortages in South and Southeast Asia-test and evaluation*. Columbia: Missouri University.
- Amornwat, C. (2015). *The tangible sign of reconsidering the second Chiangmai Airport on wild spread landuse change of ownership by real estate sector*. Retrieved November 20, 2017 from <https://www.prachachat.net>.
- Community Organization and Northern River Basin Organizations. (2012). *Recommendation guideline for water resources and disaster by Northern people network* In Proc. of the recommendation guideline for water resources and disaster by Northern people network conference. 22-23 March, 2013 at the Lumphun Phukham Hall, Lumphun, Thailand. Retrieved November 14, 2017 from <http://www.codi.or.th/webcodi/sapa/index.php?option=com2>.

- Daungthima, W., & Hokao K. (2015). Development of Support System Tools for Protect Cultural Heritage Sites from Flood Risk (PCH) Plug-in Tools. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 12(1), 123-134.
- Dhanarun, S., & Amonsanguansin, J. (2010). Application of geographic information system for flood risk area assessment in Angthong province. *Journal of environmental management*, 6(2), 19-34.
- DHI Water Environment and Health. (2007). *MIKE11-A modelling system for rivers and channels (Reference Manual)*. Denmark: Author.
- Forestry Research Center. (1994). *Research report on risk area assessment of flood and drought in North East watershed*. Bangkok: Kasetsart University.
- Gibbs, W. J., & Maher, J. V. (1967). *Rainfall deciles as drought indicators*. Melbourne: Bureau of Meteorology.
- Hirunchet, N. (2016). *Chaingmai never stop growing*. Retrieved November 20, 2017 from <https://www.prachachat.net>.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration times scales. In *American meteorological society. 8th conference on applied climatology*, (pp. 17-22). Janvier, Anaheim: CA.
- Mingtipol, O., Kowsuwan, N., Powjinda, Y., & Srisuk, Y. (2015). *Mae On integrated watershed management for downstream flooding mitigation (Final report)*. Bangkok: Thai Health Promotion Foundation.
- Naga, S. (2015). *Analysis of flood risk areas in the upper Pasak river basin, Lomsak, Phetchabun*. Master of Geographic Information Science Thesis. Phitsanulok, Thailand: Department of Natural Resources and Environment, Naresuan University.
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (2012). *Thailand's nature and environment journal*. Retrieved April 24, 2016 from <http://www.onep.go.th/index.php?option=com>.
- Office of Natural Calamity and Agricultural Risk Prevention. (2012). *Repetitive risks areas*. Bangkok: Land Development Department. Retrieved June 23, 2013 from <http://os1101.ldd.go.th>.
- Office of Agricultural Economics. (2015). *Drought impact*. Retrieved May 20, 2015 from <http://www.oae.go.th>.
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought (U.S. Research Paper No. 45.)*. Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce Weather Bureau.
- Taesombat, W. (2011). *An application of MIKE11-Data assimilation model for flood forecasting in the upper Chi River basin*. The 11st national convention on civil engineering. Bangkok: Mahidol University.
- Watcharakorn, C. (2007). *Impact of land use on flooding: A case study of lower Mae Orn watershed, Sankamphaeng district, Chiang Mai province*. Master of Science in sustainable land use and natural resource management Thesis. Chiangmai, Thailand: Mae Jo University.
- Wangwongwiroj, N. (2008). *Hydrology*. Bangkok, Thailand: Darnsutha press.
- Yao, A. Y. M. (1969). The R index for plant water requirements. *Agricultural Meteorology*, 6(4), 259-273.

