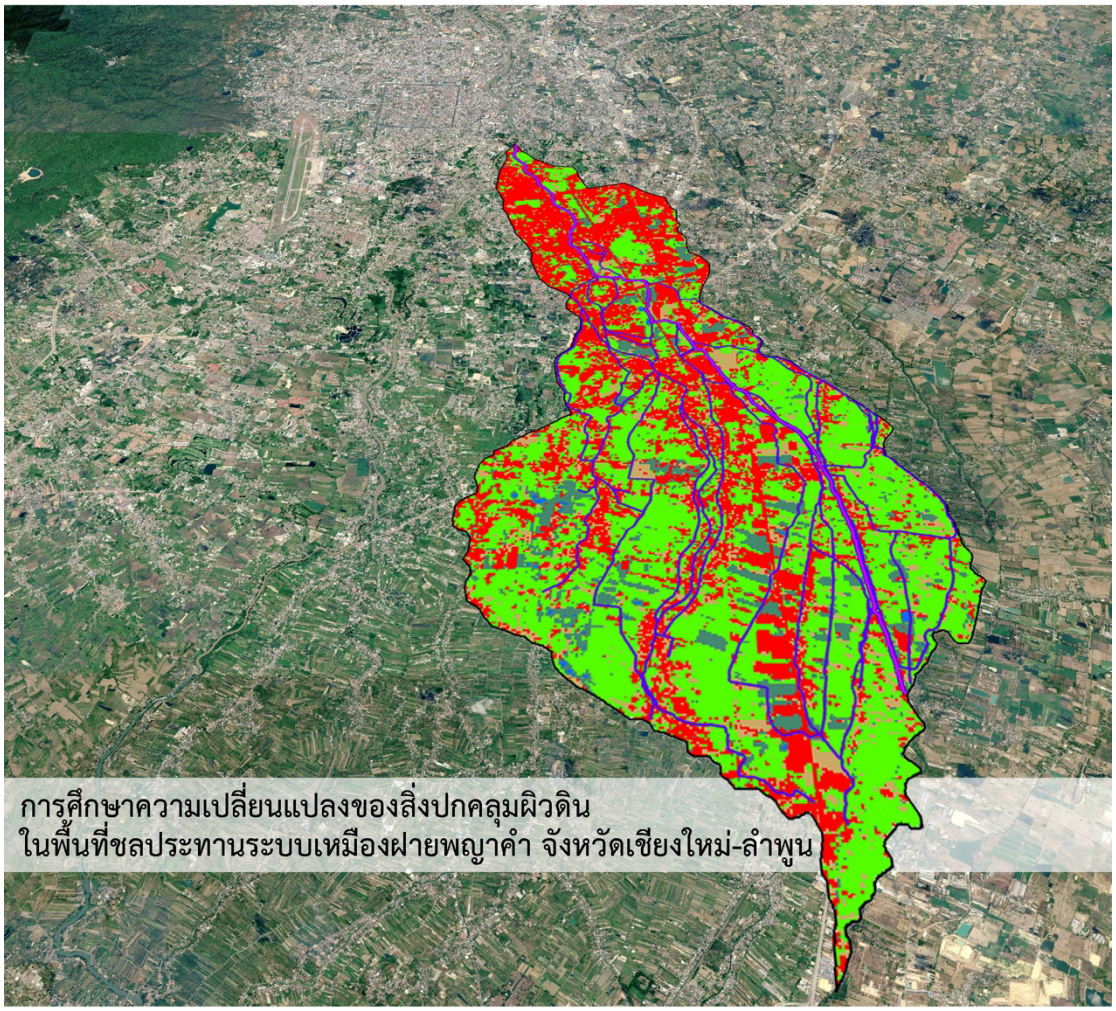

การศึกษาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมผิวดิน
ในพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ จังหวัดเชียงใหม่-ลำพูน

การศึกษาความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมผิวดินในพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ จังหวัดเชียงใหม่-ลำพูน

A Study of Land Cover Changes in the Phaya Kham irrigation area, Chiang Mai and Lamphun provinces

ปวร มณีสถิตย์[1] และชัยสิทธิ์ ด่านกิตติกุล[2]

Paworn Maneesatit[1] and Chaisit Dankitikul[2]

Received: 2026.03.20 **Revised:** 2026.03.26 **Accepted:** 2026.06.29

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมผิวดินและผลกระทบเชิงนิเวศในพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ตลอดช่วงระยะเวลา 30 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2539–2569 โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และ Landsat 9 เพื่อจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแลโดยใช้ตัวจำแนกความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Classifier หรือ MLC) ออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ พื้นที่โล่ง และพื้นที่เกษตรกรรม

ผลการศึกษาพบว่าการจำแนกข้อมูลมีความถูกต้องในระดับสูง โดยปี พ.ศ. 2539 มีค่าความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 91.30 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 0.83 ขณะที่ปี พ.ศ. 2569 มีค่าความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 87.09 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 0.82 การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่สุดคือการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างร้อยละ 514.6 จาก 2,190.10 ไร่ เป็น 13,461.06 ไร่ ขณะที่พื้นที่ชุ่มน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 79.6 จาก 14,856.96 ไร่ เหลือ 3,033.68 ไร่ ส่วนพื้นที่เกษตรกรรมมีการเปลี่ยนแปลงสุทธิลดลงเพียงร้อยละ 0.34 แต่พบการเปลี่ยนผ่านภายในพื้นที่อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการถูกแทนที่ด้วยพื้นที่เมืองและการขยายตัวเข้าสู่พื้นที่ชุ่มน้ำเดิม

ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นถึงพลวัตของการเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์จากระบบเกษตรกรรมชลประทานแบบดั้งเดิมไปสู่ภูมิทัศน์เมือง ซึ่งส่งผลต่อการสูญเสียพื้นที่รับน้ำและลดทอนนิเวศบริการที่สนับสนุนการจัดการน้ำของระบบเหมืองฝาย ดังนั้น ระบบเหมืองฝายจึงควรถูกพิจารณาใหม่ในฐานะโครงสร้าง

[1] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
(Faculty of Architecture, Silpakorn University)
ผู้เขียนหลัก (Corresponding Author) E-mail: pawron5607@gmail.com

[2] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
(Faculty of Architecture, Silpakorn University)

พื้นฐานสีน้ำเงิน–เขียว (Blue-Green Infrastructure) ที่มีบทบาทในการบรรเทาอุทกภัย อนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ และเสริมสร้างความยืดหยุ่นของเมือง (Urban Resilience) เพื่อสนับสนุนการวางแผนและการจัดการเมืองอย่างยั่งยืนภายใต้บริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

คำสำคัญ : การเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมผิวดิน ระบบเหมืองฝาย ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โครงสร้างพื้นฐานสีน้ำเงิน–เขียว ความยืดหยุ่นของเมือง

Abstract

This study aimed to investigate land cover changes and their ecological implications within the Phaya Kham irrigation area in Chiang Mai and Lamphun provinces over a 30-year period (1996–2026). Geographic Information System (GIS) and Landsat 5 and Landsat 9 satellite imagery were employed to classify land cover using supervised classification with the Maximum Likelihood Classifier (MLC). Five land cover categories were identified: urban and built-up areas, water bodies, wetlands, bare land, and agricultural land.

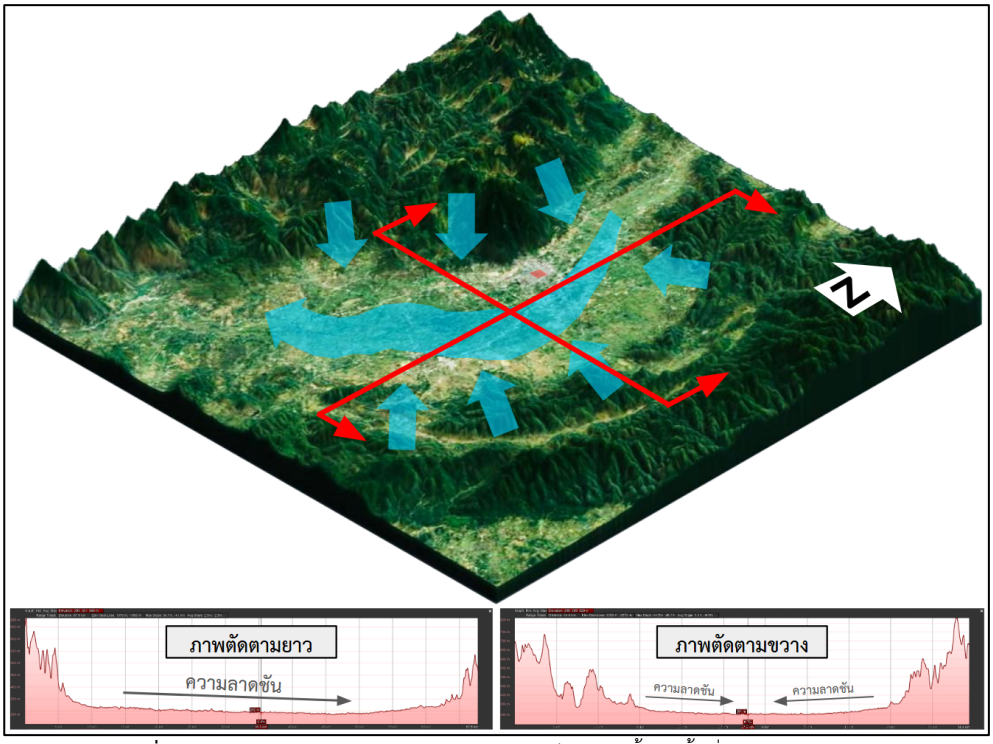
The classification results demonstrated high reliability. The 1996 classification achieved an overall accuracy of 91.30% with a Kappa coefficient of 0.83, whereas the 2026 classification yielded an overall accuracy of 87.09% with a Kappa coefficient of 0.82. The most prominent change was the substantial expansion of urban and built-up areas, which increased by 514.6%, from 2,190.10 rai to 13,461.06 rai. In contrast, wetlands declined dramatically by 79.6%, decreasing from 14,856.96 rai to 3,033.68 rai. Although the net change in agricultural land was relatively small, with a decrease of only 0.34%, considerable internal transitions were observed, particularly the conversion of agricultural and former wetland areas into urban land uses.

These findings reveal a significant landscape transformation from a traditional irrigation-based agricultural system toward an increasingly urbanized environment. Such changes have contributed to the loss of natural water retention areas and the degradation of ecosystem services associated with the Muang Fai irrigation system. The study suggests that the Muang Fai system should be reconsidered as a form of Blue-Green Infrastructure that contributes not only to water management but also to flood mitigation, biodiversity conservation, and the enhancement of urban resilience. These insights provide important implications for sustainable urban planning and climate adaptation strategies in rapidly urbanizing regions.

Keywords: land cover change, Muang Fai irrigation system, Geographic Information System (GIS), blue-green infrastructure, urban resilience

บทนำ

ระบบเหมืองฝายเป็นระบบชลประทานดั้งเดิมที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกษตรกรรมที่พบเฉพาะในภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน ซึ่งเป็นที่ราบลุ่มระหว่างภูเขาขนาดใหญ่ โดยมีลักษณะทางกายภาพที่ล้อมรอบด้วยภูเขาทั้ง 4 ทิศ (ดังภาพที่ 1) เมื่อถึงฤดูน้ำหลาก น้ำจากภูเขาโดยรอบจะไหลลงมารวมกันบริเวณตอนกลางของพื้นที่ และไหลลงไปยังตอนใต้ของตามความลาดชันของภูมิประเทศ (Surarerks, 1985)

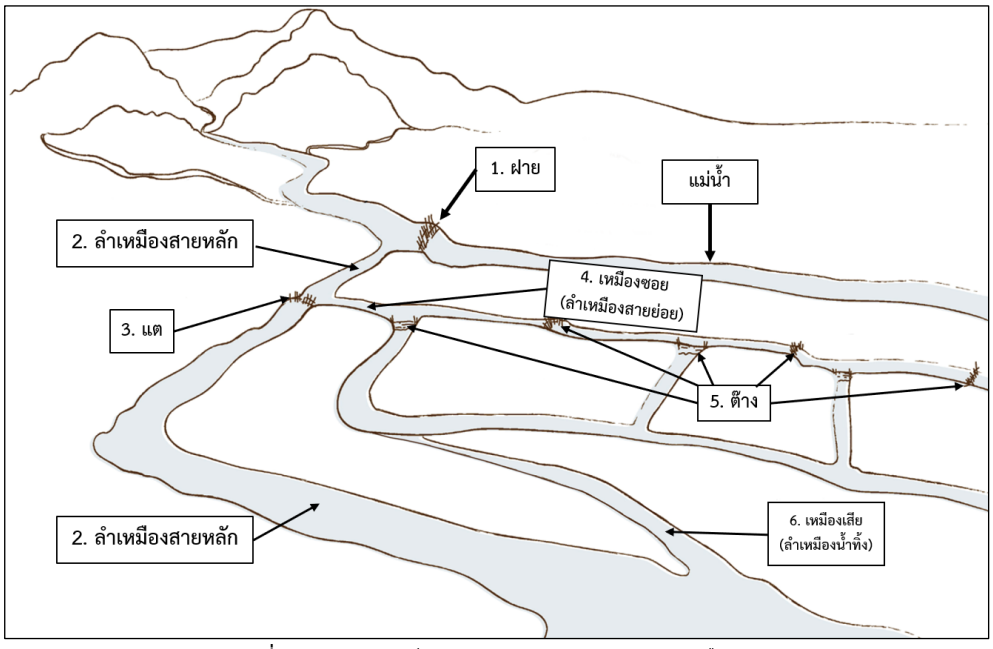


ภาพที่ 1 ภาพแสดงลักษณะภูมิประเทศและทิศทางการไหลของน้ำ ในพื้นที่แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน

ที่มา: ดัดแปลงจาก (Google Earth, 2021; Mitrearth, 2023)

เมื่อมีการตั้งถิ่นฐานและการเพาะปลูกขึ้นในพื้นที่บริเวณนี้ การบริหารจัดการน้ำด้วยระบบเหมืองฝายจึงเป็นตัวอย่างที่ชัดเจนของการปรับตัวของมนุษย์เข้ากับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ โดยอาศัยความเข้าใจในลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ ความลาดชัน และการไหลของน้ำอย่างถ่องแท้ ร่วมกับการใช้หลักการของแรงโน้มถ่วงในการกระจายน้ำไปตามความลาดชันของภูมิประเทศผ่านโครงข่ายลำเหมือง (Surarerks, 1985; Lertvicha et al., 2009, Tongdeelert & Lohmann, 1991)

โครงสร้างของฝายและโครงข่ายของลำเหมืองถูกออกแบบและก่อสร้างให้สอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศในพื้นที่ โดยเฉพาะความลาดชันและทิศทางการไหลของน้ำ เป็นภูมิทัศน์ที่ผสมผสานเทคโนโลยีพื้นบ้านกับภูมิศาสตร์ท้องถิ่นอย่างกลมกลืน (Mungsunti & Parton, 2019) และแสดงให้เห็นถึงการปรับตัวเข้ากับธรรมชาติบนพื้นฐานของระบบนิเวศ (Gu et al., 2025) โดยระบบเหมืองฝาย ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักได้แก่ 1. ฝาย ทำหน้าที่ผันน้ำในแม่น้ำเข้าสู่ลำเหมืองสายหลัก 2. ลำเหมืองสายหลัก ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากฝายไปยังพื้นที่ที่อยู่ไกลออกไป 3. แต ทำหน้าที่ผันน้ำจากลำเหมืองสายหลักลงสู่เหมืองซอย 4. เหมืองซอยหรือลำเหมืองสายย่อย ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำจากแต หรือ ต้าง ไปยังพื้นที่เป้าหมาย 5. ต้าง ทำหน้าที่ผันน้ำจากเหมืองซอยไปยังพื้นที่เป้าหมาย และ 6. เหมืองเสียหรือลำเหมืองน้ำทิ้ง ทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินกลับไปยังลำเหมืองสายหลักหรือกลับไปยังแม่น้ำ (ดังภาพที่ 2) จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบที่กล่าวมาในข้างต้นได้รับการออกแบบอย่างเรียบง่าย มีประสิทธิภาพในการควบคุมและกระจายน้ำได้อย่างทั่วถึง (Maneesatit & Dankittikul, 2025)

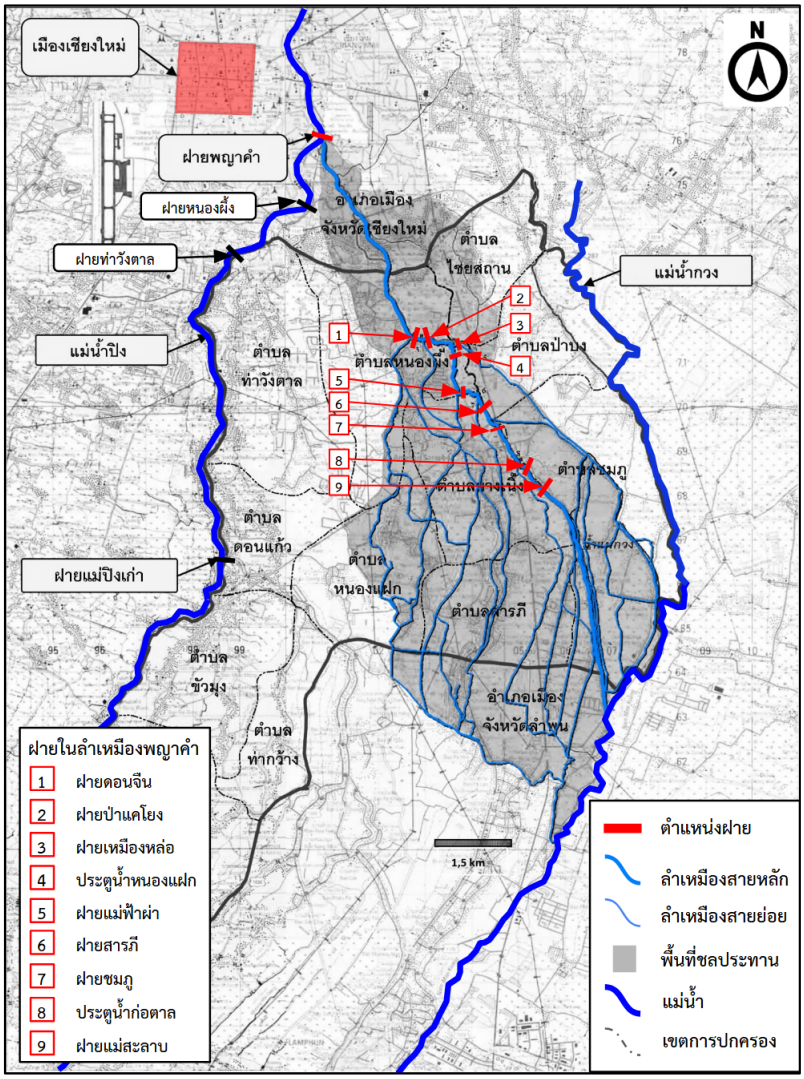


ภาพที่ 2 ภาพแสดงองค์ประกอบทางกายภาพของระบบเหมืองฝาย

ที่มา: (Maneesatit & Dankittikul, 2025)

ฝายพญาคำเป็นหนึ่งในสามฝายเก่าแก่ที่ตั้งอยู่บริเวณตอนกลางของแม่น้ำปิงด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของตัวเมืองเชียงใหม่ (เขตช้างคลาน–ป่าแดด) ซึ่งอยู่ใกล้กับตัวเมืองเชียงใหม่มากที่สุดและกำลังได้รับผลกระทบจากการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่อย่างมีนัยสำคัญ (Maneesatit, 2016) มีพื้นที่ชลประทานกว่า 32,000 ไร่ ครอบคลุม 3 อำเภอ 9 ตำบล และ 104 หมู่บ้าน (Tongdeelert, 2019) โดยมีระยะทางของลำ

เหมืองพญาคำสายหลักประมาณ 20 กิโลเมตร เริ่มตั้งแต่เขตเทศบาลนครเชียงใหม่ ผ่านอำเภอสารภี และมีจุดสิ้นสุดเส้นทางลำเหมืองสายหลัก ที่แม่น้ำกวงในเขตตำบลอุโมงค์ อำเภอเมืองจังหวัดลำพูน (ดังภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 แผนที่แสดงตำแหน่งฝาย โครงข่ายลำเหมืองและพื้นที่ชลประทานในเขตการปกครองต่าง ๆ ของระบบเหมืองฝายพญาคำ

ที่มา: ดัดแปลงจาก (Royal Irrigation Department, 2008)

ตลอดสามทศวรรษที่ผ่านมา (พ.ศ. 2539–2569) เมืองเชียงใหม่ได้ขยายตัวจากศูนย์กลางของเขตคูเมืองหรือศูนย์กลางเมืองชั้นในออกไปสู่พื้นที่ชานเมือง ซึ่งการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางคมนาคมที่มีพื้นฐานมาจากการปรับเปลี่ยนนโยบายเศรษฐกิจและการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของภาคประชาชน โดยในปี พ.ศ. 2543–2558 พบว่าเมืองมีการขยายตัวตามแนวถนนสายหลัก ส่งผลให้พื้นที่เกษตรกรรมรอบนอกถูกเปลี่ยนสภาพเป็นที่อยู่อาศัยและพื้นที่พาณิชยกรรมอย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบต่อบริบทของย่านเมืองเก่าและพื้นที่เกษตรกรรมชานเมืองที่เคยเป็นแนวกันชนทางนิเวศ (Chummathaya & Ongsawangchai, 2018; Sittipong et al., 2025) โดยเฉพาะทิศใต้ (ช้างคลาน–สารภี) และทิศตะวันออกเฉียงใต้ (หนองผึ้ง–ท่าวังตาล) ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มริมแม่น้ำปิงที่เคยเป็นระบบชลประทานของเหมืองฝาย (Gu et al., 2025) โดยการขยายตัวนี้เกิดจาก 3 ปัจจัยหลัก คือ

1. โครงสร้างพื้นฐานและระบบคมนาคม เช่น ถนนวงแหวนรอบ 2 และรอบ 3 ที่เปิดพื้นที่ใหม่ให้เกิดโครงการที่อยู่อาศัยและพาณิชยกรรม (Rakpan, 2020)
2. แรงขับทางเศรษฐกิจและราคาที่ดิน พื้นที่เกษตรริมแม่น้ำปิงมีราคาสูงขึ้น ทำให้เกษตรกรขายที่ดินและย้ายออกไป (Lek-Prapai Viriyahpant Foundation, 2016)
3. การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการบริหารจัดการน้ำของภาครัฐ ที่เน้นมิติทางวิศวกรรม เช่น ประตูระบายน้ำท่าวังตาล แทนระบบเหมืองฝายชุมชน (Mungsunti & Parton, 2019)

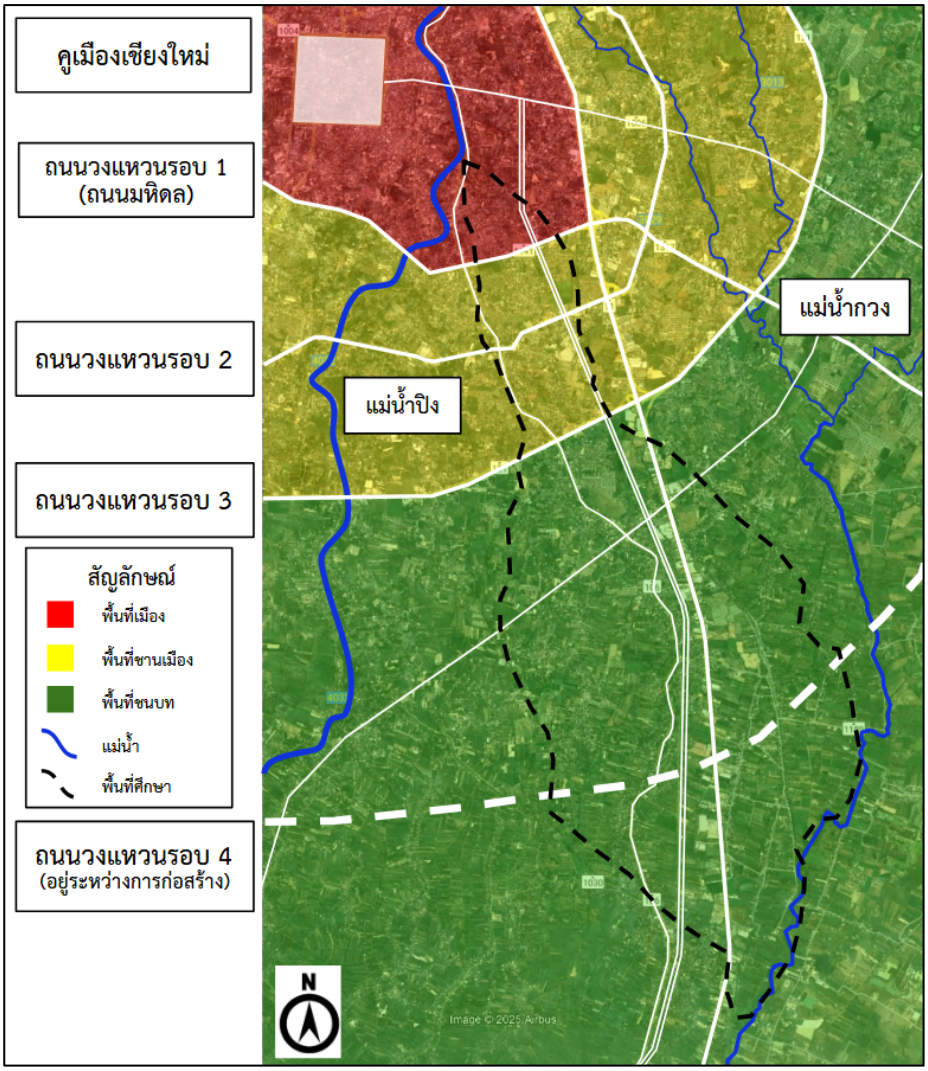
เมื่อพิจารณาจากปัจจัยของการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ตามที่ได้กล่าวไปในข้างต้น ประกอบกับทิศทางการเจริญเติบโตของเมืองเชียงใหม่และการตั้งถิ่นฐาน ผู้วิจัยจึงได้จำแนกขอบเขตของพื้นที่เมือง ชานเมือง และชนบท จากการเติบโตของเมืองตามระบบถนนวงแหวนรอบเมือง (ดังภาพที่ 4) ได้แก่

1. พื้นที่เมือง: นับตั้งแต่จุดศูนย์กลางของคูเมืองเชียงใหม่ จนถึงถนนวงแหวนรอบ 1 (ถนนมหิดล) ประกอบด้วยที่อยู่อาศัยหนาแน่นและพื้นที่พาณิชยกรรม
2. พื้นที่ชานเมือง: อยู่ระหว่างถนนวงแหวนรอบ 1 และวงแหวนรอบ 3 ประกอบด้วยที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลางและหมู่บ้านจัดสรรที่พบเป็นส่วนมาก และพื้นทีเกษตรกรรมพบเป็นส่วนน้อย
3. พื้นที่ชนบท: รอบนอกถนนวงแหวนรอบ 3 เป็นต้นไป ประกอบด้วยพื้นที่เกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่และที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมผิวดินในพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำระหว่างปี พ.ศ. 2539 และ พ.ศ. 2569

2. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมผิวดินในพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ



ภาพที่ 4 ภาพแสดงพื้นที่เมือง ชานเมือง และชนบท ตามระบบถนนของเมืองเชียงใหม่

ที่มา: ดัดแปลงจาก (Google Earth, 2021)

การทบทวนวรรณกรรม แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ geographic information system หรือ GIS คือระบบของการทำงานกับข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) และข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) โดยอาศัยระบบคอมพิวเตอร์ในการกำหนดข้อมูลต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับพิกัดตำแหน่งจริงบนผิวโลก ตามระบบเส้นรุ้ง-เส้นแวง เช่น จังหวัด อำเภอ ตำบล ตำแหน่งถนน ตำแหน่งหมู่บ้าน ไปจนถึงพิกัดเฉพาะที่ต้องการศึกษา โดยระบบ GIS

สามารถแปลความหมายและเชื่อมโยงข้อมูลต่าง ๆ ทั้งในเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยายเข้าด้วยกัน รวมถึงสามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบของภาพ แผนที่ และข้อมูลเชิงบรรยายได้พร้อมกัน (Geo-Informatics Center for Thailand [GISTHAI], 1999)

ข้อมูลเชิงพื้นที่ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แบ่งเป็นข้อมูลเชิงภาพ (vector data) และข้อมูลแบบแรสเตอร์ (raster format) (GIS Geography, 2021) ประกอบด้วย

ข้อมูลเชิงภาพ (graphic data) ใช้แทนสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในแผนที่ (ดังภาพที่ 6) ประกอบด้วย

1). ข้อมูลแบบเวกเตอร์ (vector format) เป็นข้อมูลที่แสดงในรูปแบบของภาพที่ปรากฏบนแผนที่ ประกอบด้วย

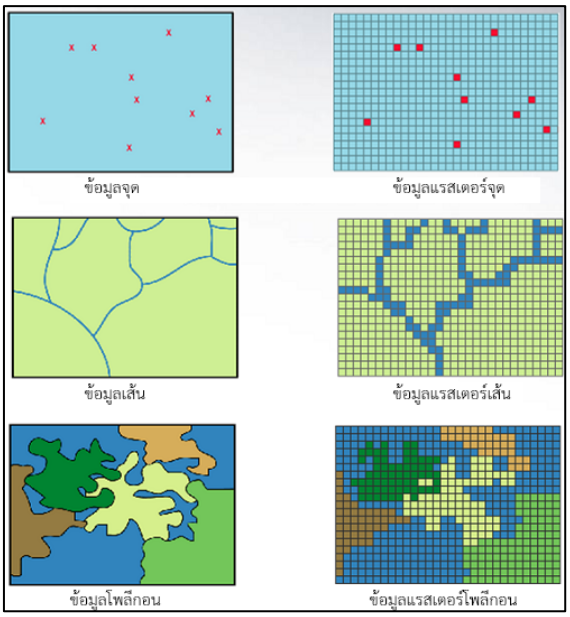
(1) จุด (point) แสดงตำแหน่งของสิ่งต่าง ๆ ที่ปรากฏในแผนที่ เช่น ตำแหน่งต้นไม้ ตำแหน่งอาคาร

(2) เส้น (line) แสดงข้อมูล หรือสิ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นหรือเป็นแนวยาว หรือข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระยะทาง เช่น แม่น้ำ ถนน ทางรถไฟ แนวท่อประปา

(3) โพลีกอน (polygon**)** แสดงข้อมูลที่มีลักษณะเป็นผืนหรือบริเวณ เช่น อาณาเขตจังหวัด พื้นที่ป่าไม้ ขอบเขตของพื้นที่ชลประทาน

2). ข้อมูลแบบแรสเตอร์ (raster format) เป็นข้อมูลที่มีการจัดการในลักษณะของ พิกเซล (pixel) ในลักษณะของตารางสี่เหลี่ยมที่มีขนาดแต่ละช่องเท่ากันและสัมพันธ์กับพิกัดทางภูมิศาสตร์ ในแต่ละช่องจะบรรจุข้อมูลไว้และมักถูกนำไปใช้กับข้อมูลที่มีความต่อเนื่องกันเช่น ความลาดชันของภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน สิ่งปกคลุมผิว

ข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) เป็นข้อมูลที่อธิบายรายละเอียดและความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลภาพที่กล่าวไปในข้างต้น ทั้งในเชิงปริมาณ เช่น ขนาดของพื้นที่ จำนวนประชากร ความกว้าง ความยาว และเชิงคุณภาพ เช่น สภาพภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ ไปจนถึง ชื่อถนน ชื่อหมู่บ้าน



ภาพที่ 5 ภาพเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลแบบเวกเตอร์ (vector data) และแรสเตอร์ (raster data)
ที่มา: ปรับปรุงจาก Humboldt State University (2017)

สิ่งปกคลุมผิวดิน (Land cover) หมายถึง ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวโลก เช่น แหล่งน้ำ เมืองและสิ่งปลูกสร้าง ที่โล่ง พื้นที่ชุ่มน้ำ พื้นที่เกษตร โดยข้อมูลของสิ่งปกคลุมผิวดินได้มาจากการสำรวจภาคพื้นดิน (Field survey) การวิเคราะห์จากภาพถ่ายทางอากาศ หรือการวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียม (Yodcharoen, et al., 2017 อ้างถึงใน Maneesatit, 2023)

การจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินจากภาพถ่ายดาวเทียมบนระบบ GIS เป็นแนวทางสำคัญในการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินหรือสิ่งปกคลุมผิวดิน (Land Use – Land Cover หรือ LULC) โดยเฉพาะเมื่อพื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เช่น การขยายตัวของเมือง (Campbell & Wynne, 2011; Lillesand et al., 2015) ในบทความนี้ ผู้วิจัยกำหนดหมวดหมู่ของสิ่งปกคลุมผิวดินออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ (1) พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง (2) แหล่งน้ำ (3) พื้นที่ชุ่มน้ำ (4) พื้นที่โล่ง และ (5) พื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการจัดระบบของประเภทการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมผิวดินที่เป็นมาตรฐาน มีการยอมรับในระดับสากล และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำแผนที่จากข้อมูล Remote sensing (Anderson et al., 1976)

การจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) เป็นการจำแนกข้อมูลภาพจากการกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง (Training Samples) ของสิ่งปกคลุมผิวดินแต่ละประเภทตามที่ผู้วิจัยกำหนด เพื่อให้ตัวจำแนกของระบบ GIS เรียนรู้ลักษณะทั้งสี (color-tone) รูปร่าง (shape) รูปแบบ (pattern) เนื้อภาพ (texure) ความสูง (height) เงา (shadow) และความเกี่ยวพัน (association) ในแต่ละประเภทพื้นที่ ก่อน

จะนำไปจำแนกพื้นที่ทั้งหมด โดยระบบ GIS จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากพื้นที่ตัวอย่าง และทำการระบุวิธีดังกล่าวเหมาะกับพื้นที่ที่มีการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมผิวดินหลากหลายและมีการปะปนกันของพื้นที่ในแต่ละประเภท (Jensen, 2015; Lillesand et al., 2015)

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลา แนวปฏิบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การประเมินความถูกต้อง (Accuracy Assessment) เพื่อให้ผลของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน และการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลง มีความน่าเชื่อถือและเปรียบเทียบได้ (Olofsson et al., 2014) โดยในการตรวจสอบความถูกต้อง จะพิจารณาจากตัวแลขทั้ง 4 ค่า ได้แก่ (1) ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy) (2) ค่าความถูกต้องของผู้ใช้งาน (User's accuracy) (3) ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) และ (4) ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa coefficient) (ดังตารางที่ 1) ร่วมกับการตรวจสอบข้อมูลภาคสนามและการให้นิยามที่ชัดเจนตามบริบทของพื้นที่

ตารางที่ 1 สมการของการคำนวณค่าความถูกต้องและค่าสัมประสิทธิ์แคปปา

สมการ	ตัวแปร
Producer's accuracy $j = \frac{n_{jj}}{n_{+j}}$	$\widehat{K}$ คือ สัมประสิทธิ์แคปปาของความสอดคล้อง K คือ จำนวนของแถว ในที่นี้คือประเภทของสิ่งปกคลุมผิวดิน n_{ii} คือ จำนวนของการสังเกตการณ์ในแถว i และคอลัมน์ j n_{i+} คือ ผลรวมนอกแนวทแยงมุมของแถว i n_{+i} คือ ผลรวมนอกแถวทแยงมุมคอลัมน์ i N คือ จำนวนของการสังเกตการณ์ทั้งหมด
User's accuracy $i = \frac{n_{ii}}{n_{+i}}$	
Overall accuracy $i = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_{ii}}{n}$	
$\widehat{K} = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_{ii} - \sum_{i=1}^{k}(n_{i+} \times n_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{k}(n_{i+} \times n_{+i})}$	

ที่มา: ปรับปรุงจาก Humboldt State University (2017)

ผลจากการคำนวณค่าความถูกต้อง และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาที่คำนวณได้ จะนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ เพื่อตรวจสอบว่ามีความถูกต้องมากหรือน้อย และข้อมูลมีความสอดคล้องกันมากหรือน้อยเพียงใด ดังตารางที่ 2 (Landis & Koch, 1977)

ตารางที่ 2 เกณฑ์ในการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องและสัมประสิทธิ์แคปปา

เกณฑ์การเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง (ร้อยละ)	
0 - 24	น้อย
25 - 49	พอใช้
50 - 74	ปานกลาง
75 - 100	สูง
เกณฑ์การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แคปปา	
<0.00	แย่

0.00-0.20	น้อย
0.21-0.40	พอใช้
0.41-0.60	ปานกลาง
0.61-0.80	ดี
0.81-1.00	ดีมาก

ที่มา: ปรับปรุงจาก Humboldt State University (2017)

การเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมผิวดิน ชี้ให้เห็นถึงการพัฒนาหรือความเสื่อมโทรมของพื้นที่ เมื่อมีการสูญเสียนิเวศบริการของพื้นที่จากการเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมผิวดินแบบหนึ่งไปสู่อีกแบบหนึ่ง ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งแบบค่อยเป็นค่อยไปและแบบรวดเร็ว เช่น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว อันเป็นผลมาจากการรบกวนทางสิ่งแวดล้อม ภัยพิบัติทางธรรมชาติ หรือจากการกระทำของมนุษย์ การเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป เช่น การเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดิน พืช หรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ส่งผลให้ผลิตภาพของพื้นที่ลดลง การสูญเสียมวลชีวภาพ การลดลงของพืชคลุมดิน และธาตุอาหารในดินลดลง โดย United Nations Convention to Combat Desertification หรือ UNCCD ได้กำหนดการประเมินตัวชี้วัดจากการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมผิวดินของพื้นที่โดยประเมินจากการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมผิวดิน เช่น พื้นที่ป่าไม้ เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ ทุ่งหญ้า พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง หรือเปลี่ยนแปลงในทางกลับกัน และแสดงผลในรูปของตารางเมตริก สรุปเหตุการณ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปได้ 30 แบบ โดยใช้สัญลักษณ์ของสีเป็นสิ่งบอกว่าพื้นที่นั้นๆ มีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ สีน้ำเงิน แสดงว่าพื้นที่นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือมีสถานะคงที่ (stable) สีแดง แสดงว่า พื้นที่นั้นเกิดความเสื่อมโทรม (degradation) และสีเขียว แสดงว่าพื้นที่นั้น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงในทางบวก หรือมีการปรับปรุงให้ดีขึ้น (improved) ดังตารางที่ 3 (United Nations Convention to Combat Desertification [UNCCD], 2017 อ้างถึงใน Land Development Department, 2022)

ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินความเสื่อมโทรมของพื้นที่ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมผิวดิน

		สิ่งปกคลุมผิวดินหลังการเปลี่ยนแปลง					
สิ่งปกคลุมผิวดินก่อนการเปลี่ยนแปลง		**ป่าไม้**	**ทุ่งหญ้าหรือที่โล่ง**	**พื้นที่เกษตรกรรม**	**พื้นที่ชุ่มน้ำ**	**สิ่งปลูกสร้าง**	**อื่น ๆ**
	ป่าไม้	**คงสภาพเดิม**	สูญเสียพืชพรรณ	การตัดไม้ทำลายป่า	น้ำท่วมขัง	การตัดไม้ทำลายป่า	การสูญเสียพืชพรรณ
	ทุ่งหญ้าหรือที่โล่ง	การปลูกป่า	**คงสภาพเดิม**	การขยายตัวของเกษตรกรรม	น้ำท่วมขัง	การขยายตัวของเมือง	การสูญเสียพืชพรรณ
	พื้นที่เกษตรกรรม	การปลูกป่า	การเลิกทำเกษตรกรรม	**คงสภาพเดิม**	น้ำท่วมขัง	การขยายตัวของเมือง	การสูญเสียพืชพรรณ
	พื้นที่ชุ่มน้ำ	การรุกรานของไม้พุ่ม	การระบายน้ำออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำ	การระบายน้ำออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำ	**คงสภาพเดิม**	การระบายน้ำออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำ	การระบายน้ำออกจากพื้นที่ชุ่มน้ำ
	สิ่งปลูกสร้าง	การปลูกป่า	การฟื้นฟูพืชพรรณ	การขยายตัวของเกษตรกรรม	การฟื้นฟูพื้นที่ชุ่มน้ำ	**คงสภาพเดิม**	การทิ้งร้างของที่อยู่อาศัย
	อื่น ๆ	การปลูกป่า	การฟื้นฟูพืชพรรณ	การขยายตัวของเกษตรกรรม	การฟื้นฟูพื้นที่ชุ่มน้ำ	การขยายตัวของเมือง	**คงสภาพเดิม**

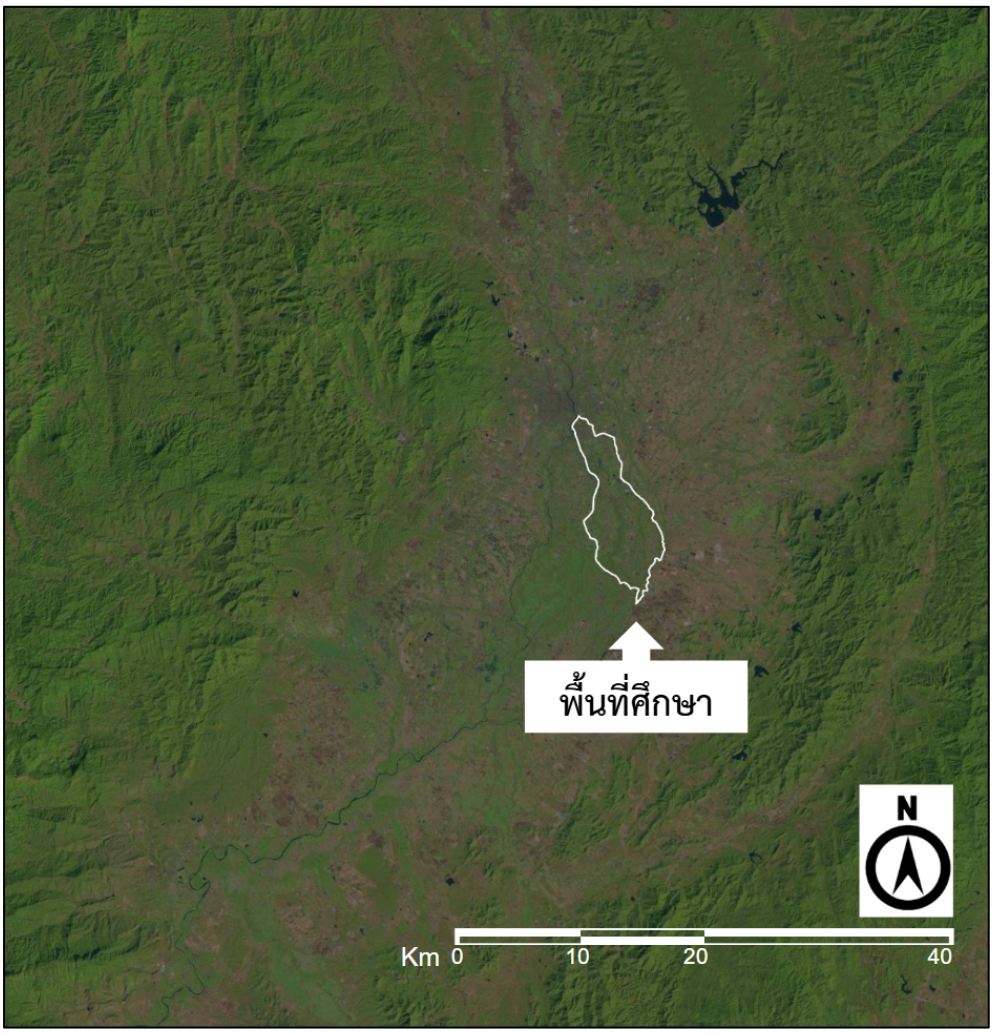
ที่มา: ปรับปรุงจาก Land Development Department (2022)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า แม้จะมีการศึกษาเรื่องการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่และการเกิดน้ำท่วมมาบ้างแล้ว แต่การศึกษาที่เจาะลึกถึง "ความเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้าง" ของพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ ซึ่งเป็นระบบชลประทานขนาดใหญ่ที่ครอบคลุมสองจังหวัดในช่วงระยะเวลาที่ยาวนานถึง 30 ปี ยังมีอยู่จำกัด งานวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งเน้นที่จะเติมเต็มช่องว่างดังกล่าว โดยการวิเคราะห์พลวัตของสิ่งปกคลุมผิวดินเพื่อชี้ให้เห็นถึงพลวัตความเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศเมืองในปัจจุบัน

วิธีการศึกษา

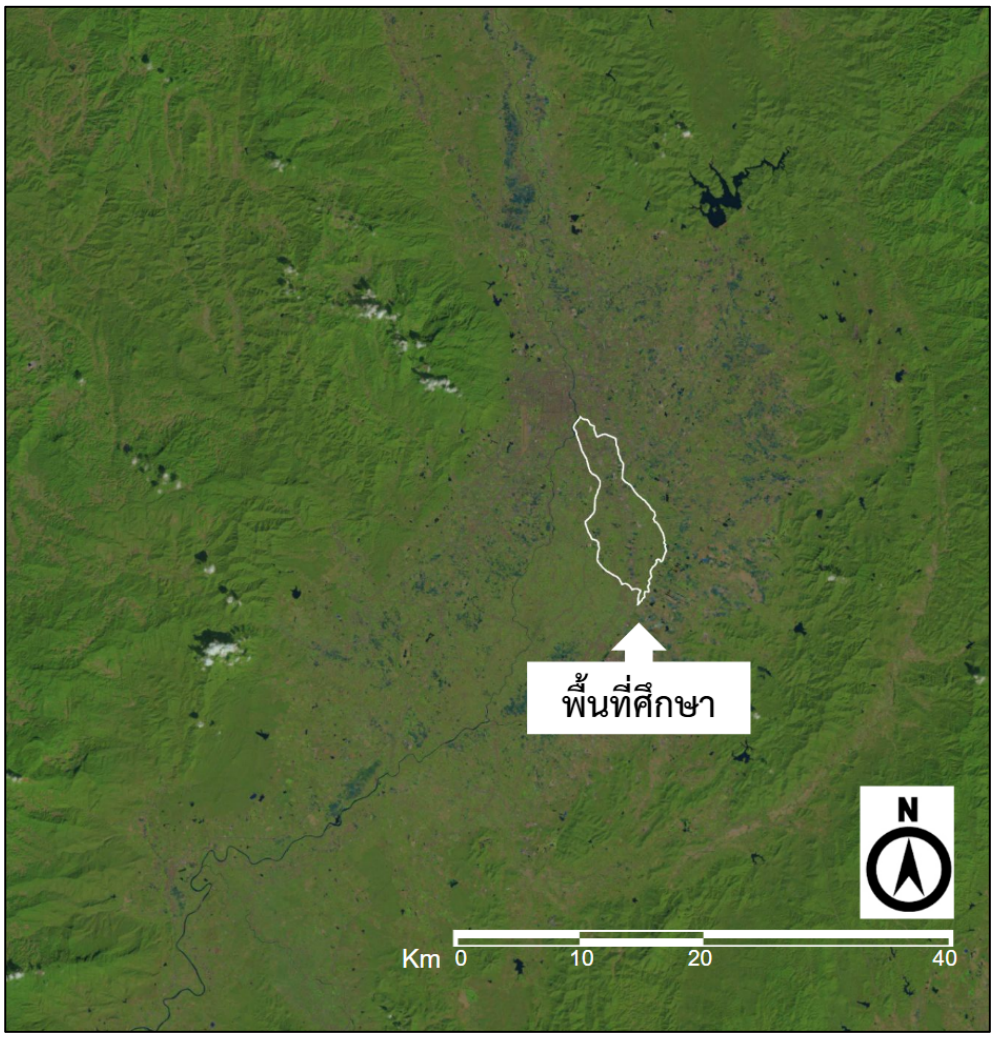
ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยจะทำการจำแนกสิ่งปกคลมผิวดินจากภาพถ่ายดาวเทียมในบริเวณพื้นที่ศึกษาระหว่างปี พ.ศ. 2539 และปี พ.ศ. 2569 รวมถึงวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมผิวดินในขอบเขตของพื้นที่ศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ค้นหาและนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณแอ่งชียงใหม่-ลำพูน จากแหล่งข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย เลือกช่วงเวลาที่สามารถมองเห็นรายละเอียดของพื้นที่ได้ชัดเจนและไม่มีเมฆบดบัง (ผู้วิจัยกำหนดให้อัตราการบดบังของเมฆไม่เกินร้อยละ 15) โดยผู้วิจัยเลือกใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 เมื่อวันที่ 14 มกราคม พ.ศ. 2539 (ดังภาพที่ 6) และภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 9 เมื่อวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2569 (ดังภาพที่ 7)



ภาพที่ 6 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 เมื่อวันที่ 14 มกราคม พ.ศ. 2539 บริเวณแอ่งเชียงใหม่-ลำพูน

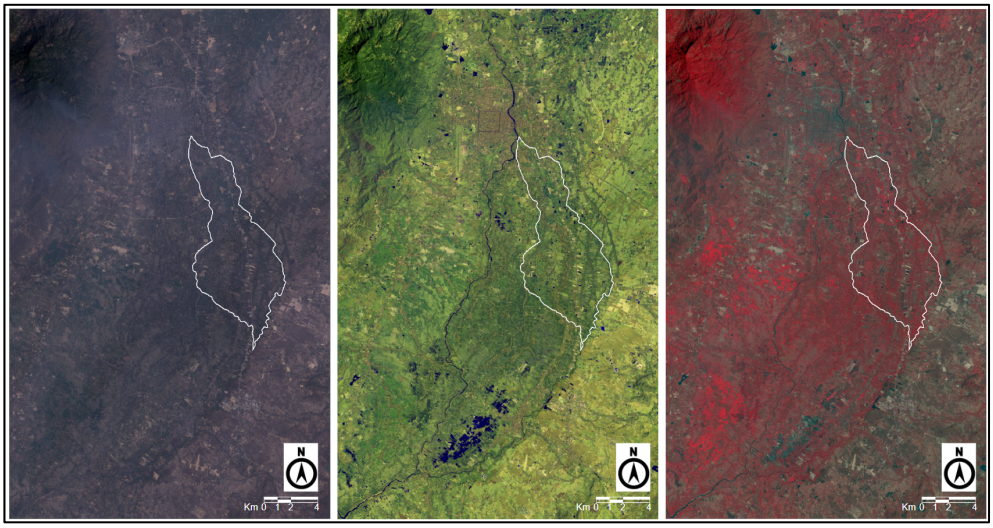
ที่มา: United States Geological Survey (USGS, 2026)



ภาพที่ 7 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 9 เมื่อวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2569 บริเวณแอ่งเชียงใหม่-ลำพูน
ที่มา: United States Geological Survey (USGS, 2026)

2. จัดทำภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จ (false color composite) เนื่องจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นำเข้า มีลักษณะเป็นภาพขาว-ดำ ที่แสดงข้อมูลแตกต่างกันตามสีในแต่ละช่วงคลื่น (แบนด์) และสามารถนำมาซ้อนทับกันเพื่อแสดงผลในระบบ GIS ได้ครั้งละ 3 แบนด์ ดังนั้นเพื่อเตรียมการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินในขั้นตอนต่อไป ผู้วิจัยจึงทำการผสมสีภาพจากดาวเทียมทั้ง 3 แบนด์ด้วยโปรแกรม ArchGIS โดยแบ่งออกเป็น

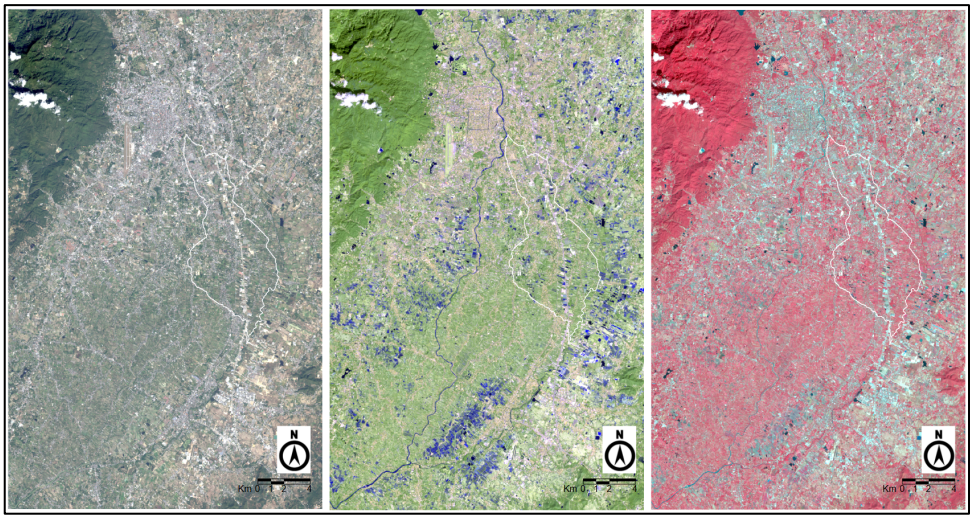
2.1 ภาพถ่ายดาวเทียมปี พ.ศ. 2539 (Landsat 5) ประกอบด้วย ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จสีธรรมชาติ (แบนด์ 3,2,1) ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จแสดงพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง (แบนด์ 7,5,2) และ ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จแสดงพืชพรรณและอินฟาเรด (แบนด์ 4,3,2) (ดังภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จ ปี พ.ศ. 2539 (Landsat 5) ประกอบด้วย (ซ้าย) ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จสีธรรมชาติ (แบนด์ 3,2,1) (กลาง) ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จแสดงพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง (แบนด์ 7,5,2) และ (ขวา) ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จแสดงพืชพรรณและอินฟาเรด (แบนด์ 4,3,2)

ที่มา: Author

2.2 ภาพถ่ายดาวเทียมปี พ.ศ. 2569 (Landsat 9) ประกอบด้วย ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จสีธรรมชาติ (แบนด์ 4,3,2) ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จแสดงพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง (แบนด์ 7,6,4) และ ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จแสดงพืชพรรณและอินฟาเรด (แบนด์ 5,4,3) (ดังภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จ ปี พ.ศ. 2569 (Landsat 9) ประกอบด้วย (ซ้าย) ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จสีธรรมชาติ (แบนด์ 4,3,2) (กลาง) ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จแสดงพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง (แบนด์ 7,6,4) และ (ขวา) ภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จแสดงพืชพรรณและอินฟาเรด (แบนด์ 5,4,3)

ที่มา: Author

3. กำหนดขอบเขตของพื้นที่ที่ต้องการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน (ในบทความนี้คือพื้นที่ชลประทานของระบบเหมืองฝายพญาคำ) จากภาพถ่ายดาวเทียมผสมเท็จจากในข้อ 2 โดยในการศึกษานี้ ผู้วิจัยกำหนดหมวดหมู่ของสิ่งปกคลุมผิวดินออกเป็น 5 ประเภทคือ (1) พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง เช่น ถนน อาคาร และสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ (สีแดง) (2) แหล่งน้ำ เช่น บ่อน้ำ หรืออ่างเก็บน้ำ (สีน้ำเงิน) (3) พื้นที่ชุ่มน้ำ คือพื้นที่ที่มีสภาพชุ่มน้ำถาวรหรือกึ่งถาวรตามพลวัตทางอุทกวิทยาและทำหน้าที่สนับสนุนนิเวศบริการโดยตรง ประกอบด้วย ที่ลุ่มต่ำ พื้นที่น้ำท่วมขังตามฤดูกาล และพื้นที่รับน้ำตามธรรมชาติ (สีน้ำเงินอมเขียว) (4) พื้นที่โล่ง เช่น ที่ดินเปล่า (สีน้ำตาล) (5) พื้นที่เกษตรกรรม เช่น สวนลำไย และนาข้าว (สีเขียวอ่อน) แม้ว่านาข้าวในบางช่วงของฤดูกาลเพาะปลูกจะมีลักษณะน้ำท่วมขังและให้ค่าการสะท้อนคลื่นใกล้เคียงกับพื้นที่ชุ่มน้ำ แต่ในการศึกษานี้ ผู้ศึกษาจัดนาข้าวอยู่ในประเภทพื้นที่เกษตรกรรม เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่อยู่ภายใต้การจัดการของมนุษย์เพื่อการผลิตอาหารและมีวัฏจักรการใช้งานตามฤดูกาลอย่างชัดเจน

4. กำหนดพื้นที่ตัวอย่าง (Training Sample) สำหรับการจำแนกด้วยวิธี Maximum Likelihood Classifier (MLC) จำนวนไม่น้อยกว่า 210 pixels ต่อประเภทสิ่งปกคลุมผิวดิน ตามหลักเกณฑ์ที่แนะนำในงานวิชาการ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการจำแนก (Jensen, 2015; Congalton & Green, 2019)

5. คำนวณปริมาณพื้นที่จากการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินในรูปแบบของตาราง

6. ตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน โดยการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลสิ่งปกคลุมผิวดินที่ผ่านการจำแนกแล้ว กับภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูงจาก Google Earth โดยการกำหนดจุดตัวอย่างแบบสุ่มด้วยระบบ GIS จำนวน 100 จุด นำผลการเปรียบเทียบดังกล่าวมาคำนวณค่าความถูกต้องและค่าสัมประสิทธิแคปปา จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าความถูกต้อง (ดังตารางที่ 2)

7. นำผลการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินทั้ง พ.ศ. 2539 และ พ.ศ. 2569 มาทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมผิวดิน วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง และสรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษา

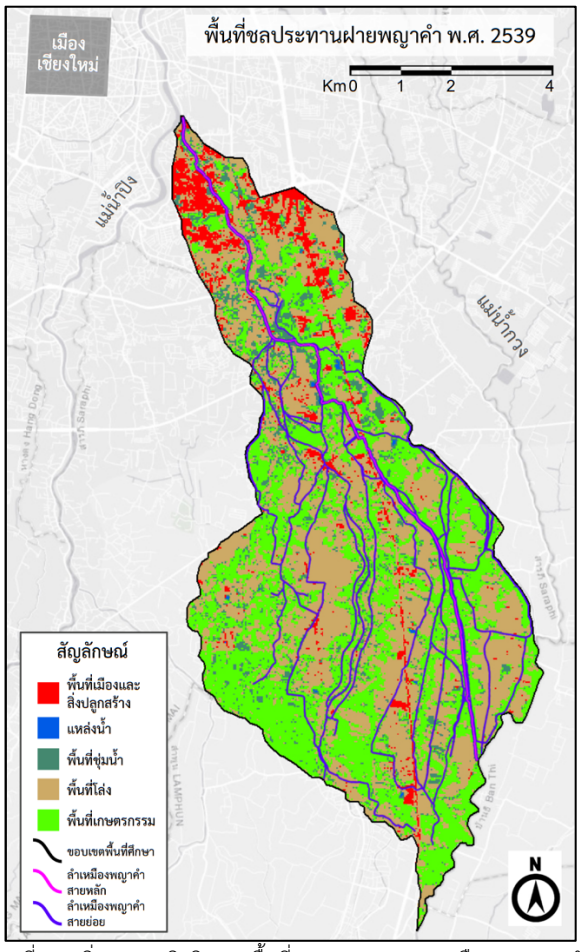
สิ่งปกคลุมผิวดินของพื้นที่ศึกษาในปี พ.ศ. 2539

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยระบบ GIS เมื่อจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินของพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำในปี พ.ศ. 2539 พบว่าในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยสิ่งปกคลุมผิวดิน (ดังภาพที่ 10) ได้แก่ พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง 2,190.10 ไร่ (ร้อยละ 6.06) แหล่งน้ำ 38.47 ไร่ (ร้อยละ 0.11) พื้นที่ชุ่มน้ำ 14,856.96 ไร่ (ร้อยละ 41.14) พื้นที่โล่ง 2,907.06 ไร่ (ร้อยละ 8.05) และพื้นที่เกษตรกรรม 16,121.22 ไร่ (ร้อยละ 44.64) ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 รายละเอียดของสิ่งปกคลุมผิวดินในพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ พ.ศ. 2539

พื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ พ.ศ. 2539			
ประเภท	**พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)**	**พื้นที่ (ไร่)**	**สัดส่วน (ร้อยละ)**
พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	3.50	2,190.10	6.06
แหล่งน้ำ	0.06	38.47	0.11
พื้นที่ชุ่มน้ำ	23.77	14,856.96	41.14
พื้นที่โล่ง	4.65	2,907.06	8.05
พื้นที่เกษตรกรรม	25.79	16,121.22	44.64
รวม	57.78	36,113.82	100.00

ที่มา: Author



ภาพที่ 10 แผนที่แสดงสิ่งปกคลุมผิวดินของพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ พ.ศ. 2539

ที่มา: Author

การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินของพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ พ.ศ. 2539 พบว่าค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ร้อยละ 90.67 ซึ่งอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง (อยู่ในช่วงร้อยละ 75 - 100) และมีค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 0.83 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก (อยู่ในช่วง 0.81 – 1.00) และมีค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy) รวมถึงค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's accuracy) ในแต่ละประเภทของการจำแนกอยู่ในเกณฑ์ที่สูง คืออยู่ระหว่างร้อยละ 75 - 100 (ดังตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ตารางแสดงการตรวจสอบความถูกต้องขอการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินในพื้นที่ศึกษา พ.ศ. 2539

การตรวจสอบความแม่นยำของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินในพื้นที่ศึกษา (พ.ศ. 2539)							
CLASS	พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	แหล่งน้ำ	พื้นที่ชุ่มน้ำ	พื้นที่โล่ง	พื้นที่เกษตรกรรม	Total	ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (ร้อยละ)
พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	5	0	0	0	0	5	100
แหล่งน้ำ	0	1	0	0	0	1	100
พื้นที่ชุ่มน้ำ	0	0	6	0	2	8	75
พื้นที่โล่ง	1	0	2	49	2	54	90.74
พื้นที่เกษตรกรรม	0	0	0	0	32	32	100.00
Total	6	1	8	49	36	100	
ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (ร้อยละ)	83.33	100	75.00	100	88.89		
ค่าความถูกต้องโดยรวม (ร้อยละ)	91.30						
ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา	0.83						

ที่มา: Author

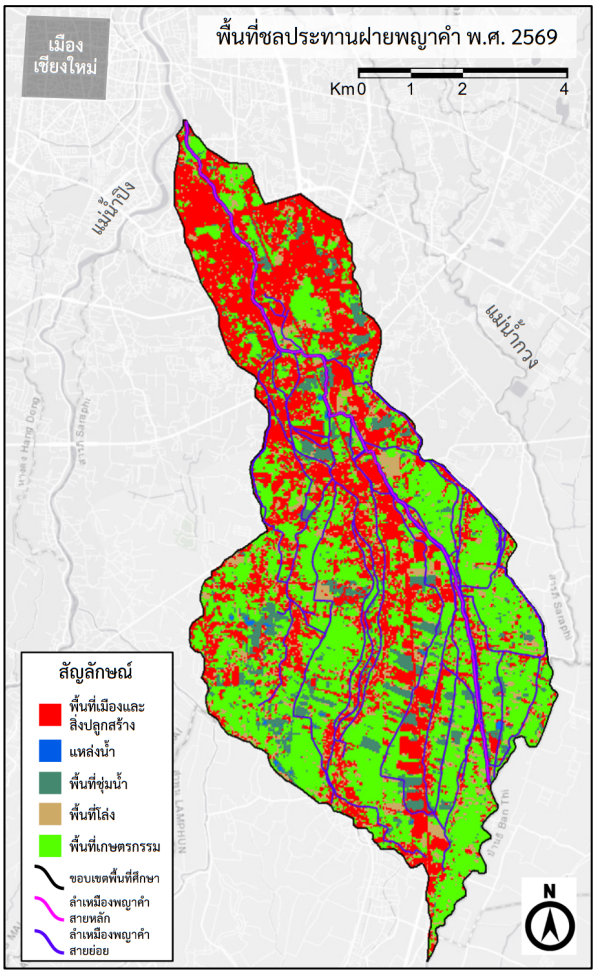
สิ่งปกคลุมผิวดินของพื้นที่ศึกษาในปี พ.ศ. 2569

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมด้วยระบบ GIS เมื่อจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินของพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำในปี พ.ศ. 2569 (ดังภาพที่ 11) พบว่าในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยสิ่งปกคลุมผิวดินได้แก่ พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง 31,461.06 ไร่ (ร้อยละ 37.27) แหล่งน้ำ 59.99 ไร่ (ร้อยละ 0.17) พื้นที่ชุ่มน้ำ 3,033.68 ไร่ (ร้อยละ 8.40) พื้นที่โล่ง 3,492.79 ไร่ (ร้อยละ 9.67) และพื้นที่เกษตรกรรม 16,066.29 ไร่ (ร้อยละ 44.49) (ดังตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 รายละเอียดของสิ่งปกคลุมผิวดินในพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ พ.ศ. 2569

พื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ พ.ศ. 2569			
ประเภท	**พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)**	**พื้นที่ (ไร่)**	**สัดส่วน (ร้อยละ)**
พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	21.54	13,461.06	37.27
แหล่งน้ำ	0.10	59.99	0.17
พื้นที่ชุ่มน้ำ	4.85	3,033.68	8.40
พื้นที่โล่ง	5.58	3,492.79	9.67
พื้นที่เกษตรกรรม	25.71	16,066.29	44.49
รวม	57.78	36,113.82	100.00

ที่มา: Author



ภาพที่ 11 แผนที่แสดงสิ่งปกคลุมผิวดินของพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ พ.ศ. 2569

ที่มา: Author

การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินของพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำ พ.ศ. 2569 พบว่าค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ร้อยละ 87.09 ซึ่งอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง (อยู่ในช่วงร้อยละ 75 - 100) และมีค่าสัมประสิทธิ์แคปปาเท่ากับ 0.82 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก (อยู่ในช่วง 0.81 – 1.00) และมีค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (Producer's accuracy) รวมถึงค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (User's accuracy) ของการจำแนกพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ และพื้นที่เกษตรกรรม อยู่ในเกณฑ์ที่สูง คืออยู่ระหว่างร้อยละ 75 - 100 และพบว่ามีการปะปนระหว่างพื้นที่พื้นที่โล่ง พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่เกษตรกรรม เห็นได้จากค่าความถูกต้องของผู้ผลิตและผู้ใช้เฉพาะพื้นที่โล่ง อยู่ที่ร้อยละ 70 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พอใช้ (ดังตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ตารางแสดงการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินในพื้นที่ศึกษา พ.ศ. 2569

การตรวจสอบความแม่นยำของการจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดิน (พ.ศ. 2569)							
CLASS	พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	แหล่งน้ำ	พื้นที่ชุ่มน้ำ	พื้นที่โล่ง	พื้นที่เกษตรกรรม	Total	ค่าความถูกต้องของผู้ใช้ (ร้อยละ)
พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	31	0	1	1	0	34	93.94
แหล่งน้ำ	0	4	1	0	0	5	80.00
พื้นที่ชุ่มน้ำ	0	0	9	0	1	9	88.89
พื้นที่โล่ง	1	0	0	7	2	10	70.00
พื้นที่เกษตรกรรม	0	0	0	2	40	42	95.24
Total	32	4	11	10	43	100	
ค่าความถูกต้องของผู้ผลิต (ร้อยละ)	96.88	100	81.823	70.00	93.02		
ค่าความถูกต้องโดยรวม (ร้อยละ)	87.09						
ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา	0.82						

ที่มา: Author

ความเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมผิวดินของพื้นที่ศึกษาระหว่างปี พ.ศ. 2539 และ พ.ศ. 2569

เมื่อนำผลการจำแนกสิ่งปกลุมผิวดินระหว่างปี พ.ศ. 2539 และปี พ.ศ. 2569 มาเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสิ่งปกคลุมผิวดินแต่ละประเภท พบว่าพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2539 ถึง 11,270.96 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 514.6 แหล่งน้ำเพิ่มขึ้น 21.52 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 56 พื้นที่ชุ่มน้ำลดลง 11,823.28 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 79.6 พื้นที่โล่งเพิ่มขึ้น 582.68 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 20 และพื้นที่เกษตรกรรมลดลง 54.93 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.34 (ดังตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ระหว่างปี พ.ศ. 2539 และ พ.ศ. 2569

การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ระหว่างปี พ.ศ. 2539 และ พ.ศ. 2569					
ประเภทพื้นที่	**ปี 2539 (ไร่)**	**ปี 2569 (ไร่)**	**เปลี่ยนแปลง (ไร่)**	**เปลี่ยนแปลง (%)**	
พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	2,190.10	13,461.06	11,270.96	514.6	เพิ่มขึ้น
แหล่งน้ำ	38.47	59.99	21.52	56	เพิ่มขึ้น
พื้นที่ชุ่มน้ำ	14,856.96	3,033.68	−11,823.28	−79.6	ลดลง
พื้นที่โล่ง	2,907.06	3,489.74	582.68	20	เพิ่มขึ้น
พื้นที่เกษตรกรรม	16,121.22	16,066.29	−54.93	−0.34	ลดลง

ที่มา: Author

เพื่อให้เห็นรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมผิวดินประเภทต่าง ๆ ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในรูปแบบของตารางเมทริกซ์ โดยประยุกต์จากตัวชี้วัดดังตารางที่ 3 เพื่อให้เข้าใจการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลมผิวดินแยกเป็นแต่ละประเภท โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ตารางแสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกกคลุมผิวดินในพื้นที่ศึกษา ระหว่างปี พ.ศ. 2539 และ พ.ศ. 2569

การเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมผิวดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2539-2569				
ลำดับที่	**รายการ**	**การเปลี่ยนแปลง (ตารางกิโลเมตร)**	**การเปลี่ยนแปลง (ไร่)**	**สัดส่วน (ร้อยละ)**
1	พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง -> พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	2.95	1840.83	5.11
2	พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง -> แหล่งน้ำ	0.00	0.75	0.00
3	พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง -> พื้นที่ชุ่มน้ำ	0.14	84.62	0.23
4	พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง -> พื้นที่โล่ง	0.14	86.27	0.24
5	พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง -> พื้นที่เกษตรกรรม	0.27	170.26	0.47
6	แหล่งน้ำ -> พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	0.01	9.18	0.03
7	แหล่งน้ำ -> แหล่งน้ำ	0.02	12.10	0.03
8	แหล่งน้ำ -> พื้นที่ชุ่มน้ำ	0.02	15.05	0.04
9	แหล่งน้ำ -> พื้นที่โล่ง	0.00	0.00	0.00
10	แหล่งน้ำ -> พื้นที่เกษตรกรรม	0.00	2.14	0.01
11	พื้นที่ชุ่มน้ำ -> พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	6.29	3928.13	10.90
12	พื้นที่ชุ่มน้ำ -> แหล่งน้ำ	0.03	16.81	0.05
13	พื้นที่ชุ่มน้ำ -> พื้นที่ชุ่มน้ำ	1.84	1150.30	3.19

การเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมผิวดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2539-2569				
ลำดับที่	**รายการ**	**การเปลี่ยนแปลง (ตารางกิโลเมตร)**	**การเปลี่ยนแปลง (ไร่)**	**สัดส่วน (ร้อยละ)**
14	พื้นที่ชุ่มน้ำ -> พื้นที่โล่ง	2.13	1333.64	3.70
15	พื้นที่ชุ่มน้ำ -> พื้นที่เกษตรกรรม	13.44	8399.51	23.30
16	พื้นที่โล่ง -> พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	1.83	1144.82	3.18
17	พื้นที่โล่ง -> แหล่งน้ำ	0.02	12.11	0.03
18	พื้นที่โล่ง -> พื้นที่ชุ่มน้ำ	0.59	366.40	1.02
19	พื้นที่โล่ง -> พื้นที่โล่ง	0.40	252.30	0.70
20	พื้นที่โล่ง -> พื้นที่เกษตรกรรม	1.80	1125.39	3.12
21	พื้นที่เกษตรกรรม -> พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	10.41	6506.90	18.05
22	พื้นที่เกษตรกรรม -> แหล่งน้ำ	0.03	18.22	0.05
23	พื้นที่เกษตรกรรม -> พื้นที่ชุ่มน้ำ	2.26	1411.89	3.92
24	พื้นที่เกษตรกรรม -> พื้นที่โล่ง	2.90	1811.69	5.03
25	พื้นที่เกษตรกรรม -> พื้นที่เกษตรกรรม	10.16	6351.23	17.62
รวม		57.68	36050.54	100.00

ที่มา: Author

จากตารางที่ 9 แสดงให้เห็นถึงเส้นทางการเปลี่ยนผ่านของพื้นที่ ทั้งพื้นที่ที่ยังคงสภาพเดิม และพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากประเภทเดิมไปสู่ประเภทใหม่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) พื้นที่ที่คงสภาพเดิมของแต่ละประเภท (ประเภทเดิม -> ประเภทเดิม) ประกอบด้วยพื้นที่เกษตรกรรม 16,351.23 ไร่ (ร้อยละ 17.62) พื้นที่ชุ่มน้ำ 1,150.30 ไร่ (ร้อยละ 3.19) พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง 1,840.83 ไร่ (ร้อยละ 5.11) พื้นที่โล่ง 252.30 ไร่ (ร้อยละ 0.70) และแหล่งน้ำ 12.10 ไร่ (ร้อยละ 0.03)

2) การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแหล่งน้ำ 0.75 ไร่ (ร้อยละ 0.00) พื้นที่ชุ่มน้ำ 84.62 ไร่ (ร้อยละ 0.23) พื้นที่โล่ง 86.27 ไร่ (ร้อยละ 0.24) และพื้นที่เกษตรกรรม 170.26 ไร่ (ร้อยละ 0.47)

3) การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่แหล่งน้ำ พบว่าการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำ 15.05 ไร่ (ร้อยละ 0.04) พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง 9.18 ไร่ (ร้อยละ 0.03) พื้นที่เกษตรกรรม 2.14 ไร่ (ร้อยละ 0.01) ตามลำดับ และไม่พบการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่แหล่งน้ำไปเป็นพื้นที่โล่ง

4) การเปลี่ยนแปลงที่ของพื้นที่ชุ่มน้ำ พบว่าการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม 8,399.51 ไร่ (ร้อยละ 23.30) พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง 3,928.13 ไร่ (ร้อยละ 10.90) พื้นที่โล่ง 1,333.64 ไร่ (ร้อยละ 3.70) และแหล่งน้ำ 16.81 ไร่ (ร้อยละ 0.05)

5) การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่โล่ง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง 1,144.82 ไร่ (ร้อยละ 3.18) พื้นที่เกษตรกรรม 1,125.39 ไร่ (ร้อยละ 3.12) พื้นที่ชุ่มน้ำ 366.40 ไร่ (ร้อยละ 1.02) และ แหล่งน้ำ 12.11 ไร่ (ร้อยละ 0.03)

6) การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เกษตรกรรม พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง 6,506.90 ไร่ (ร้อยละ 18.05) พื้นที่โล่ง 1,811.69 ไร่ (ร้อยละ 5.03) พื้นที่ชุ่มน้ำ 1,411.89 ไร่ (ร้อยละ 3.92) และแหล่งน้ำ 18.22 ไร่ (ร้อยละ 0.05)

อภิปรายผลการศึกษา

ตารางที่ 9 แสดงให้เห็นพลวัตการเปลี่ยนแปลงของภูมิทัศน์ในเชิงโครงสร้าง ซึ่งสะท้อนทั้งพื้นที่ที่คงสภาพเดิมและพื้นที่ที่เปลี่ยนประเภทอย่างชัดเจน ของพื้นที่ศึกษารวมประมาณ 36,050 ไร่ พบว่าการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญสูงสุดคือการลดลงของพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยมีการเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรมจำนวน 8,399.51 ไร่ หรือราว 1 ใน 4 ของพื้นที่ศึกษา และเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างอีก 3,928.13 ไร่ สะท้อนการสูญเสียพื้นที่ที่ทำหน้าที่รับและหน่วงน้ำในระดับลุ่มน้ำอย่างมีนัยสำคัญ

ในขณะเดียวกัน พื้นที่เกษตรกรรมมีการเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างจำนวน 6,506.90 ไร่ และเปลี่ยนเป็นพื้นที่โล่ง 1,811.69 ไร่ อย่างไรก็ตาม พบว่ามีพื้นที่เกษตรกรรมจำนวน 6,351.23 ไร่ที่ยังคงสถานะเดิมตลอดช่วงเวลา 30 ปี คิดเป็นประมาณร้อยละ 39 ของพื้นที่เกษตรเดิมในปี 2539 แสดงให้

เห็นว่าพื้นที่เกษตรกรรมที่ปรากฏในปี 2569 เป็นพื้นที่ที่ผ่านกระบวนการหมุนเวียนและถูกแทนที่อย่างต่อเนื่อง

พื้นที่โล่งทำหน้าที่เป็นพื้นที่เปลี่ยนผ่านของการพัฒนาเมือง โดยมีการเปลี่ยนจากพื้นที่โล่งไปเป็นพื้นที่เมือง 1,144.82 ไร่ และจากพื้นที่เกษตรกรรมไปเป็นพื้นที่โล่ง 1,811.69 ไร่ สะท้อนรูปแบบการพัฒนาเมืองที่ค่อยเป็นค่อยไปผ่านขั้นตอนการเปลี่ยนสถานะก่อนการพัฒนา ขณะที่พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีพื้นที่คงสภาพเดิม 1,840.83 ไร่ และเปลี่ยนแปลงมาจากพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ชุ่มน้ำเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม การจำแนกสิ่งปกคลุมผิวดินประเภทพื้นที่โล่ง พบว่ามีการปะปนกับพื้นที่เมืองที่กำลังก่อสร้าง หรือพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่ระหว่างการพักหน้าดิน ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้สะท้อนผ่านค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa Coefficient) ที่อาจลดลงเมื่อเมืองมีความหนาแน่นและมีการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อนมากขึ้น

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงพลวัตของพื้นที่เกษตรในพื้นที่ศึกษาตลอดช่วง 30 ปี ถึงว่าแม้ปริมาณพื้นที่เกษตรในภาพรวมจะค่อนข้างคงที่ แต่จากการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่ามีการหมุนเวียนหรือการแทนที่ของสิ่งปกคลุมผิวดินอื่น ๆ โดยเฉพาะการเปลี่ยนเป็นพื้นที่เมือง ลักษณะเช่นนี้แสดงให้เห็นรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่ได้เกิดขึ้นแบบก้าวกระโดดทั้งหมด แต่มีการเปลี่ยนสภาพให้เป็นพื้นที่โล่ง ก่อนจะถูกพัฒนาเป็นพื้นที่เมืองหรือปรับกลับเป็นการใช้ประโยชน์รูปแบบอื่นในภายหลัง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่พบในพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำนี้ สอดคล้องกับข้อค้นพบของ Gu Zhaolong และคณะ (2025) ซึ่งระบุว่าปัจจัยเร่งที่ทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมขังในเขตเมืองเชียงใหม่และลำพูน เกิดจากระบบระบายน้ำดั้งเดิม โดยเฉพาะโครงข่ายลำเหมืองถูกตัดขาดหรือถูกแทนที่ด้วยสิ่งปลูกสร้างที่ขวางกั้นทิศทางการไหลของน้ำตามธรรมชาติ

นอกจากนี้ ผลการศึกษายังคล้องกับกรอบแนวคิดด้านภูมินิเวศ หรือ Landscape Ecology ที่ให้ความสำคัญกับความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและหน้าที่ของภูมิทัศน์ (Hersperger et al., 2021) กล่าวคือ เมื่อองค์ประกอบของภูมิทัศน์เปลี่ยนแปลง หน้าที่ทางนิเวศที่เคยสนับสนุนการจัดการน้ำของระบบเหมืองฝายก็เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การลดลงของพื้นที่ชุ่มน้ำและพื้นที่ซึมน้ำส่งผลให้ความสามารถในการกระจายน้ำ หน่วงน้ำ และลดการไหลบ่าบนผิวดินลดลง ขณะที่พื้นที่ทึบน้ำจากการขยายตัวของเมืองเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

เมื่อพิจารณาภายใต้แนวคิดโครงสร้างพื้นฐานสีน้ำเงิน–เขียว (Blue-Green Infrastructure หรือ BGI) กล่าวได้ว่าระบบเหมืองฝายพญาคำเป็นหนึ่งในโครงสร้างพื้นฐานเชิงนิเวศที่เกิดจากภูมิปัญญาท้องถิ่น ประกอบด้วยฝาย ลำเหมือง พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ชุ่มน้ำที่ทำงานเชื่อมโยงกันเป็นเครือข่าย ทั้งในด้านการส่งน้ำ การหน่วงน้ำ การเพิ่มการซึมน้ำ และการสนับสนุนความหลากหลายทางชีวภาพ ดังนั้น การสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำจึงไม่ได้หมายถึงการสูญเสียพื้นที่ทางกายภาพเท่านั้น แต่ยังหมายถึงการสูญเสียนิเวศบริการที่เคยช่วยรักษาสมดุลของเมือง

ในมิติด้านความยืดหยุ่นของเมือง (Urban Resilience) พบว่าระบบเหมืองฝายยังมีบทบาทในฐานะระบบรองรับน้ำแบบกระจายตัวที่ช่วยลดแรงกดดันต่อโครงสร้างพื้นฐานทางวิศวกรรมเพียงอย่างเดียว ผลการศึกษาจึงชี้ให้เห็นว่าระบบเหมืองฝายไม่ควรถูกมองเป็นเพียงระบบชลประทานหรือเส้นทางระบายน้ำ แต่เป็นกลไกสำคัญที่ช่วยเสริมสร้างความสามารถของเมืองในการรับมือและปรับตัวต่อความเสี่ยงจากอุทกภัยและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Folke, 2006; Gu et al., 2025)

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมผิวดินในพื้นที่ชลประทานระบบเหมืองฝายพญาคำตลอดช่วง 30 ปีที่ผ่านมา เป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างของภูมิทัศน์จากระบบที่เอื้อต่อการซึมน้ำและการหน่วงน้ำ ไปสู่ระบบที่มีพื้นผิวทึบน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แม้ว่าพื้นที่เกษตรกรรมในภาพรวมจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่การหมุนเวียนและการแทนที่ของสิ่งปกคลุมผิวดินสะท้อนถึงการลดลงของความต่อเนื่องของภูมิทัศน์ที่สนับสนุนการทำงานของระบบเหมืองฝาย แนวโน้มนี้สอดคล้องกับกรอบคิดภูมิทัศน์ในเชิงนิเวศที่เน้นความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างหน้าที่ และการเปลี่ยนแปลงของภูมิทัศน์ (Hersperger et al., 2021)

การสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำและการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เมืองส่งผลให้ศักยภาพในการรองรับน้ำและให้นิเวศบริการของพื้นที่ลดลง ซึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อปัญหาน้ำท่วมและลดความยืดหยุ่นเชิงนิเวศของเมืองในระยะยาว ดังนั้น ระบบเหมืองฝายจึงควรถูกทำความเข้าใจใหม่ในฐานะโครงสร้างพื้นฐานสีน้ำเงิน–เขียวที่มีบทบาทหลากหลาย ทั้งด้านการจัดการน้ำ การบรรเทาอุทกภัย การอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ และการเสริมสร้างความยืดหยุ่นของเมือง มากกว่าการมองว่าเป็นเพียงระบบชลประทานเพื่อการเกษตรเพียงมิติเดียว

ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ในเชิงพื้นที่ควรรักษาและฟื้นฟูโครงข่ายลำเหมือง พื้นที่ชุ่มน้ำ พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่เปิดโล่งที่ยังคงเหลืออยู่ ให้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างพื้นฐานสีน้ำเงิน–เขียว ของเมืองเชียงใหม่ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีบทบาทในการรับน้ำ หน่วงน้ำ และซึมน้ำ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนเป็นพื้นที่ทึบน้ำทั้งหมด

ในเชิงนโยบาย ควรบรรจุระบบเหมืองฝายไว้ในผังเมืองรวมและแผนจัดการน้ำระดับจังหวัดในฐานะโครงสร้างพื้นฐานเชิงนิเวศ พร้อมทั้งพัฒนากลไกการบริหารจัดการร่วมระหว่างหน่วยงานภาครัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ชุมชนเมือง และกลุ่มผู้ใช้น้ำ เพื่อให้การตัดสินใจเกี่ยวกับระบบเหมืองฝายคำนึงถึงมิติต่าง ๆ อย่างรอบด้าน ทั้งในด้านนิเวศ วัฒนธรรม และการลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติร่วมกัน รวมถึงการกำหนดเขตควบคุมการพัฒนาเมือง โดยเฉพาะพื้นที่ริมลำเหมืองและพื้นที่ชุ่มน้ำเดิม รวมทั้งส่งเสริมการฟื้นฟูลำเหมืองในเขตเมืองให้เป็นพื้นที่สาธารณะเชิงนิเวศและพื้นที่เรียนรู้ทางวัฒนธรรม เพื่อสร้างคุณภาพชีวิตและการรับรู้คุณค่าของระบบเหมืองฝายแก่สาธารณชน

ผลจากการศึกษานี้สามารถต่อยอดเกี่ยวกับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมผิวดินกับความเสี่ยงน้ำท่วมโดยใช้แบบจำลองเชิงอุทกวิทยา รวมถึงศึกษาศักยภาพของโครงข่ายเหมืองฝายในฐานะ Blue-Green Infrastructure ทั้งในด้านความเชื่อมโยงของโครงข่าย การฟื้นฟูพื้นที่ และรูปแบบการจัดการร่วมที่เหมาะสม เพื่อสนับสนุนการกำหนดนโยบายและการวางผังเมืองที่ยั่งยืนและยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., & Witmer, R. E. (1976). *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data* [Government report]. U.S. Geological Survey. https://doi.org/10.3133/pp964

Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing* (5th ed.). Guilford Publications. https://books.google.co.th/books?id=NkLmDjSS8TsC

Chummathaya, A., & Ongsawangchai, N. (2018). Urbanization and urban context variants of old districts in Chiang Mai. *JEDI : Journal of Environmental Design Innovation*, *5*(1), 60–81. https://so02.tci-thaijo.org/index.php/jed/article/view/136827

Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices* (3rd ed.). CRC Press.

Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002

Geo-Informatics Center for Thailand (GISTHAI). (1999). *Geographic information system*. http://www.gisthai.org/v2/index.php/resources/education/menu-learning-gis

GIS Geography. (2021). *Vector vs raster: What's the difference between GIS spatial data types?*. https://gisgeography.com/spatial-data-types-vector-raster/

Google Earth. (2021). *Aerial photograph of Chiang Mai-Lamphoon Basin* [Aerial imagery]. Google. https://earth.google.com

Gu, Z., Phakdimek, S., Nagami, K., & Komori, D. (2025). Relationship between urbanization–induced land use changes and flood risk: Case study in Chiang Mai, Thailand. *Water*, *17*(3). https://doi.org/10.3390/w17030327

Hersperger, A. M., Grădinaru, S. R., Pierri Daunt, A. B., Imhof, C. S., & Fan, P. (2021). Landscape ecological concepts in planning: Review of recent developments. *Landscape Ecology*, *36*(8), 2329–2345. https://doi.org/10.1007/s10980-021-01193-y

Humboldt State University. (2017). *Raster to vector: Conversion between data models*. http://gsp.humboldt.edu/olm_2017/Lessons/GIS/08%20Rasters/RasterToVector.html

Jensen, J. R. (2015). *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. Pearson Education. https://books.google.co.th/books?id=BWx3CgAAQBAJ

Land Development Department. (2022). *Manual for establishing targets and indicators for Land Degradation Neutrality (LDN) to determine land degradation management measures at the local level*. https://www.ldd.go.th/web_unccd/File_PDF/Manual_LDN2565.pdf

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, *33*(1), 159–174. https://doi.org/10.2307/2529310

Lek-Prapai Viriyahpant Foundation. (2016, January 31). *Phaya Kham weir and canal*. https://lek-prapai.org/home/view.php?id=428

Lertvicha, P., Methin, S., & Namthep, N. (2009). *"Muang Fai" managed water, managed people on the basis of geography and culture*. Than Panya.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). Wiley.

Maneesatit, P. (2016). *Changes of Muang Phaya Kham System, Amohie Mueang, Changwat Chiang Mai* [Master's thesis, Chulalongkorn University]. Chula ETD. https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/72210

Maneesatit, P. (2023). Study of land cover in "Lanna bioregion": A case study of Suan Sak campus, Chiang Mai University. *JEDI : Journal of Environmental Design Innovation*, *10*(2), 184–203. https://so02.tci-thaijo.org/index.php/jed/article/view/256211

Maneesatit, P., & Dankittikul, C. (2025). A future approach of Muang Fai irrigation systems in urban area of Chiang Mai province: A systematic review. *Journal of Landscape Architecture and Planning*, *7*(1), 41–62. https://so01.tci-thaijo.org/index.php/LAJ/article/view/280733

Mitrearth [@mitrearth]. (2023, May 19). *Chiang Mai Basin topography* [Post]. Facebook. https://www.facebook.com/mitrearth/posts/755774196341386/

Mungsunti, A., & Parton, K. A. (2019). The sustainability of the muang fai irrigation system of northern Thailand. *AIMS Environmental Science*, *6*(2), 77–93.

Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, *148*, 42–57. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015

Rakpan, K. (2020). *Living museum design for cultural tourism in Inthakhil Village, Inthakhil Subdistrict, Mae Taeng District, Chiang Mai Province*. Chiang Mai Rajabhat University Thai Research Database. https://cmudc.library.cmu.ac.th/frontend/Info/item/dc:183528

Royal Irrigation Department. (2008). *Phaya Kham weir irrigation area* [Government report]. Royal Irrigation Department.

Sittipong, Y., Shibata, S., & Imanishi, J. (2025). The influence of policies on changing landscape hydro-ecological infrastructure in an urban area: A case study of Chiang Mai City, Thailand. *Landscape and Ecological Engineering*, *21*(4), 895–919. https://doi.org/10.1007/s11355-025-00682-5

Surarerks, W. (1985). *Historical development and management of irrigation systems in Northern Thailand*. Social Research Institute, Chulalongkorn University.

Tongdeelert, C. (2019, June 26). *Muang Fai: A legacy of traditional water management wisdom from northern Thailand*. The Citizen Plus Thai PBS. https://drive.google.com/file/d/1xjwiYChLhzGNhtiuyHE8CHlb4-rLFYEo/view?usp =sharing

Tongdeelert, C., & Lohmann, L. (1991). The muang fai irrigation system of northern Thailand. *Ecologist*, *21*, 101–106. https://www.researchgate.net/publication/322804696_The_muang_faai_irrigation_system_of_northern_Thailand

United States Geological Survey (USGS). (2026). *Satellite imagery of the study area*. https://earthexplorer.usgs.gov/

Yodcharoen, S., Harintaka, S., Srisonphan, S., Nualchawee, K., & Silapathong, C. (2017). Land cover classification from satellite images in lam pachi basin by decision tree method. In Thai societies of agricultural engineering (Ed.), *Proceeding, The 18th TSAE National Conference and the 10th International Conference : TSAE 2017* (pp. 192–197). Thai societies of agricultural engineering.