

พลวัตการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในบริเวณเมืองเชียงใหม่ และ การคาดการณ์ความเป็นเมืองใน อนาคตด้วย SLEUTH Model

Dynamics of Land-Cover/Land-Use in the
Chiang Mai Area and Prediction of Urbanization
Using the SLEUTH Model

สมพร สง่าวงศ์

Somporn Sangawongse

บทคัดย่อ

การขยายตัวของเมืองเชียงใหม่อย่างรวดเร็วเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินสิ่งปกคลุมดิน การเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ การพัฒนาเส้นทางการคมนาคมขนส่ง และการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร เป็นปัจจัยเร่งที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมเป็นอย่างมาก บทความนี้ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจจากระยะไกล ได้แก่ข้อมูลดาวเทียมสำรวจแผ่นดิน (LANDSAT) ระบบ TM (พ.ศ. 2532, 2549 และ 2552) และระบบ ETM+ (พ.ศ. 2543) ซึ่งนำ

มาปรับแก้ความคลาดเคลื่อนก่อนการวิเคราะห์ ผลจากการวิเคราะห์ ข้อมูลดาวเทียมในบริเวณพื้นที่ศึกษาจำนวน 4 ช่วงเวลา แบ่ง ออก ได้ 5 ประเภทใหญ่ ดังนี้ (1) พื้นที่เกษตร (2) ป่าไม้ (3) พื้นที่อื่นๆ (4) เมือง/สิ่งปลูกสร้าง และ (5) แหล่งน้ำ ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทุกประเภทตามช่วงเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่เมืองมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจากการจำลองการขยายตัวของพื้นที่เมือง (พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ. 2559) โดยใช้แบบจำลอง SLEUTH พบว่าพื้นที่เมืองมีความหนาแน่นสูงขึ้นและมีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถวัดด้วยค่าดัชนีความหนาแน่นของพื้นที่เมือง (path density index) ดัชนีความใกล้เคียงยูคลิด (euclidean nearest neighbor index) และดัชนีรูปร่าง (shape index) สามารถสรุปได้ว่าการขยายตัวของพื้นที่เมืองเชิงใหม่มีลักษณะเป็นแบบพอกพูนไปตามขอบเมืองและเกาะกลุ่มตามเส้นทางคมนาคม หน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน สามารถนำเอาผลที่ได้จากการศึกษามาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบของพื้นที่เมืองและประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินที่เกิดขึ้นจากการขยายตัวของพื้นที่เมืองร่วมกับปัจจัยอื่นๆ ได้

คำสำคัญ: การใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน พลวัตการใช้ประโยชน์ที่ดิน การสำรวจจากระยะไกล การขยายตัวของพื้นที่เมืองเชิงใหม่ LANDSAT, SLEUTH

Abstract

Rapid urbanization of Chiang Mai City is a major cause of land -use/land- cover change (LULC).The rapid economic growth, development of transportation networks, and population growth are the accelerating factors for land conversions that have led to negative impacts on the environment, economy and society. Remotely sensed data were employed for this study, because of their capabilities for rapid monitoring/mapping LULC over large areas on a regular basis. Two generations of LANDSAT data were used to extract land-use/land-cover types,including TM 1989,2006 and 2009 and ETM+2000, respectively. All images were preprocessed by radiometric and geometric corrections with acceptable accuracy. They were classified into 5 major land-use/land-cover types: agriculture, forest, miscellaneous, urban/built-up and water bodies. Change detection analysis was performed within the comprehensive plan area by a post classification comparison, showing a significant increase in the urban areas from 13 square kilometers in 1952 to 137 square kilometers in 2009. The prediction result from SLEUTH model was evaluated with landscape metrics: path density index (PD), shape index (SI) and euclidean nearest neighbor index (ENN) showing that the simulation captures urban growth in Chiang Mai well. It is concluded that the expansion of Chiang Mai City was characterized by the breed growth and road influence growth. Results can be applied for future studying on urban land-use patterns and land-use/land-cover change in other cities/regions.

Keywords: Calibration, Land-Use/Land-Cover, LANDSAT, Remote Sensing, SLEUTH, Urbanization

1. บทนำ

เมืองเชียงใหม่ก่อตั้งขึ้นมาเมื่อปี พ.ศ. 1839 โดยพระญามังราย โดยขนานนามว่า “นพบุรีศรีนครพิงค์เชียงใหม่” และ เป็นเมืองหลวงของอาณาจักรล้านนา (Lan Na kingdom) ซึ่งมีความหมายว่า ดินแดนแห่งล้านทุ่งนา (one million rice fields) (Renard, 1997) อาณาจักรล้านนามีอิสระในการปกครองตนเองมายาวนานถึง 262 ปี และมีอาณาเขตครอบคลุมดินแดนภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในปัจจุบัน ความมีเสรีภาพในการปกครองตนเองและความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรของอาณาจักรล้านนาก่อให้เกิดการสั่งสมความเป็นเอกลักษณ์มาโดยตลอด ซึ่งสะท้อนออกมาในรูปของวิถีชีวิต ศิลปวัฒนธรรมและสถาปัตยกรรม ซึ่งพบเป็นจำนวนมากในเขตภาคเหนือตอนบน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเชียงใหม่ (ดวงจันทร์ อาภาวัชรุตม์ เจริญเมือง, 2541) ตามประวัติศาสตร์ อาณาจักรล้านนามีการเปลี่ยนแปลงเจ้าผู้ปกครองหลายครั้ง และได้ถูกยึดครองโดยพม่า ระหว่างปี พ.ศ. 2101-2317 จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2339 ได้ตกอยู่ในความปกครองของประเทศไทย และรวมเข้ากับระบบการปกครองของกรุงเทพฯ อย่างเป็นทางการในฐานะจังหวัดหนึ่งในปี พ.ศ. 2476 เมืองเชียงใหม่เฉลิมฉลองวันเกิดครบรอบ 700 ปี เมื่อเดือนเมษายน พ.ศ. 2539 ซึ่งเป็นยุคที่โลกได้ก้าวสู่โลกาภิวัตน์ และเป็นช่วงเวลาที่ยีกเพียง 4 ปี สังคมโลกจะก้าวสู่คริสต์ศตวรรษที่ 21 หรือปี ค.ศ. 2000 (ธเนศร์ เจริญเมือง, 2543) เมืองเชียงใหม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตลอดช่วง 700 ปีที่ผ่านมา ในปัจจุบันนี้ เชียงใหม่ได้ก้าวเข้าสู่ศตวรรษที่ 8 โดยมีสองสถานภาพ คือ มีฐานะเป็นจังหวัดหนึ่งและเป็นเมืองที่มีความสำคัญเป็นอันดับสองของประเทศ (ดวงจันทร์ อาภาวัชรุตม์ เจริญเมือง, 2541) ลักษณะเด่นของเมืองเชียงใหม่ คือ การมีทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมแก่การอยู่อาศัย มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มระหว่างเชิงดอยสุเทพกับแม่น้ำปิง มีธรรมชาติที่งดงามโดยรอบ จึงเป็นดินแดนที่มีการตั้งถิ่นฐาน

ตั้งแต่แรกเริ่มจนถึงปัจจุบัน (นวลศิริ วงศ์ทางสวัสดิ์, 2528) แต่ในช่วงหนึ่งศตวรรษที่ผ่านมา เมืองเชียงใหม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขยายตัวทางเศรษฐกิจในทุกภาคส่วน ทำให้เกิดกิจกรรมการใช้ที่ดินเพื่อเป็นที่อยู่อาศัยและสถานที่ประกอบธุรกิจ เพื่อรองรับกิจกรรมทางเศรษฐกิจเหล่านั้น การขยายตัวของเมืองเชียงใหม่อย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาอันสั้น ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณเมืองเชียงใหม่หลายประการ เช่น การเกิดชุมชนแออัด การรुकล้ำของสิ่งก่อสร้างเข้าไปในพื้นที่สาธารณะ ทำให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรมทางด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจสังคม เช่นมลพิษทางอากาศ และมลพิษทางน้ำ ที่มีผลต่อความยั่งยืนของเมืองเชียงใหม่ (ดวงจันทร์ อภาวัชรุตม์ เจริญเมือง, 2541)

บทความนี้ มีวัตถุประสงค์ คือ (1) ศึกษาพลวัตการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตผังเมืองรวมเชียงใหม่จากข้อมูลแผนที่ และข้อมูลดาวเทียมหลายช่วงเวลา (2) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง cellular automata หรือ “SLEUTH” model เพื่อคาดการณ์การการขยายตัวของพื้นที่เมืองในอนาคต

2. พลวัตการใช้ประโยชน์ที่ดินของเมืองเชียงใหม่

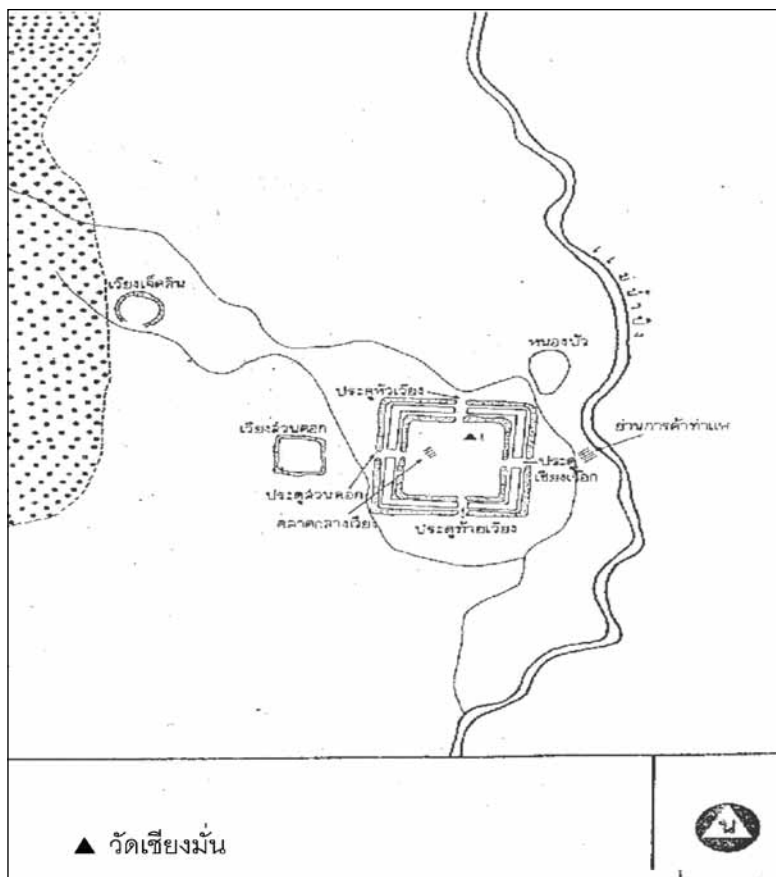
การใช้ประโยชน์ที่ดินเมือง ประกอบด้วยยานพาหนะกรรม อุตสาหกรรม ที่โล่ง/นันทนาการ ย่านที่พักอาศัย การคมนาคมและขนส่ง จากการแปลข้อมูลดาวเทียม ASTER ความละเอียด 15 เมตรร่วมกับการสำรวจในสนาม (Lebel *et al.* 2007) พบว่าภายในศูนย์กลางของเมืองเชียงใหม่ประกอบไปด้วยการผสมกันของอาคารสิ่งก่อสร้างและการใช้ที่ดินประเภทต่างๆ ความแตกต่างกันของอาคารในด้านวัสดุก่อสร้าง ความเก่าแก่ ขนาดและรูปร่าง ตลอดจนรูปแบบการรวมกลุ่มของอาคาร เช่นอาคารขนาดใหญ่อาจจะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนอยู่ในพื้นที่หนึ่ง หรือ

กระจายออกไปตามแหล่งต่างๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดการเชิงพื้นที่ ความเข้มข้นของกิจกรรมการใช้ที่ดินจะแปรไปตามลักษณะภูมิทัศน์ของเมือง (urban landscape) การใช้ประโยชน์ที่ดินในเมืองเชียงใหม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตลอดเวลาและมีความหลากหลายและซับซ้อนเพิ่มขึ้นทุกขณะ การที่จะทำความเข้าใจเรื่องรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินตลอดจนการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เกิดขึ้นตามเวลา นักภูมิศาสตร์นิยมใช้ แผนที่ ภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลดาวเทียมเป็นเครื่องมือในการศึกษา โดยจะได้แบ่งช่วงการใช้ประโยชน์ที่ดินตามชนิดของข้อมูลและเทคโนโลยีที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 4 ช่วง คือ (1) การใช้ประโยชน์ที่ดินในอดีต (ก่อน พ.ศ.2495) (2) การใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2495-2523 (3) การใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2516-2552 และ (4) การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตตามลำดับ

2.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินของเมืองเชียงใหม่ในอดีต (ก่อน พ.ศ. 2495)

เนื่องจากแผนที่การใช้ที่ดินเมืองเชียงใหม่ในอดีตค่อนข้างหายาก แผนที่ที่มีรายละเอียดด้านการใช้ที่ดินไม่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ แผนที่เมืองเชียงใหม่สมัยแรกสร้าง (รูปที่ 1) พื้นที่ภายในคูเมืองเป็นเขตเมืองเก่า เป็นที่อยู่อาศัยของกษัตริย์และข้าราชการบริพาร มีเวียงเชียงใหม่อยู่ตรงกลาง (ปัจจุบันคือวัดเชียงใหม่) รายรอบด้วยเวียงเล็กๆ เช่นเวียงสวนดอก และเวียงเจ็ดลินซึ่งอยู่ภายใต้การปกครองของเมืองเชียงใหม่ บริเวณนอกกำแพงเมืองทั้งสองชั้นเป็นพื้นที่เกษตรเพื่อยังชีพของชาวบ้าน (ดวงจันทร์ อภาวัฐรุฒม์ เจริญเมือง, 2541) มีย่านการค้าอยู่ 2 แห่ง คือตลาดกลางเวียงและย่านการค้าท่าแพ ในรูปที่ 2 เป็นแผนที่สร้างขึ้นในรัชสมัยพระเจ้ากาวิละ (พ.ศ. 2329-2431) ที่มีศูนย์กลางเพิ่มขึ้นอีก 2 แห่ง คือ วัดเจดีย์หลวงและวัดพระสิงห์ ต่อจากนั้นมาราวปี พ.ศ. 2443

ได้มีการจัดทำแผนที่เมืองเชียงใหม่โดย James McCarthy ชาวอังกฤษ ที่เข้ามาสำรวจทำทางรถไฟ ซึ่งได้รับการแต่งตั้งให้เป็นพระวิภาควรรด เจ้ากรมแผนที่ทหารคนแรกแห่งสยาม มีสำเนาแผนที่ปรากฏอยู่หลายแห่ง เช่น คณะกรรมการจัดทำหนังสือกำแพงเมืองเชียงใหม่ (2529) และยังมี โมเดลแผ่นศิลาของแผนที่ตรงหน้าวัดสวนดอก ติดกับทางเท้าของถนน สุเทพ แต่เนื่องจากแผนที่ไม่ค่อยชัดเจนจึงไม่ได้นำมาแสดง อย่างไรก็ตามในปีนี้สังเกตได้ว่ามีจำนวนถนนในตัวเมืองเพิ่มขึ้น ในปี พ.ศ. 2447 ได้มีการจัดทำแผนที่เมืองเชียงใหม่ขึ้นอีกฉบับหนึ่งเพื่อรับเสด็จ จอมพลพระเจ้าบรมวงศ์เธอกรมหลวงนครไชยศรีสุรเดชเสด็จประพาส มณฑลฝ่ายเหนือ (ต้นฉบับอยู่ที่กรมแผนที่ทหาร) และในปี พ.ศ. 2466 ได้มีการจัดทำแผนที่เมืองเชียงใหม่ขึ้นอีกฉบับหนึ่งโดยนายถวิล อยู่เย็น (คณะกรรมการจัดทำหนังสือกำแพงเมืองเชียงใหม่, 2529) ต้นฉบับเป็น พิมพ์เขียว เก็บไว้ที่หอจดหมายเหตุมหาวิทยาลัยพายัพ เชียงใหม่



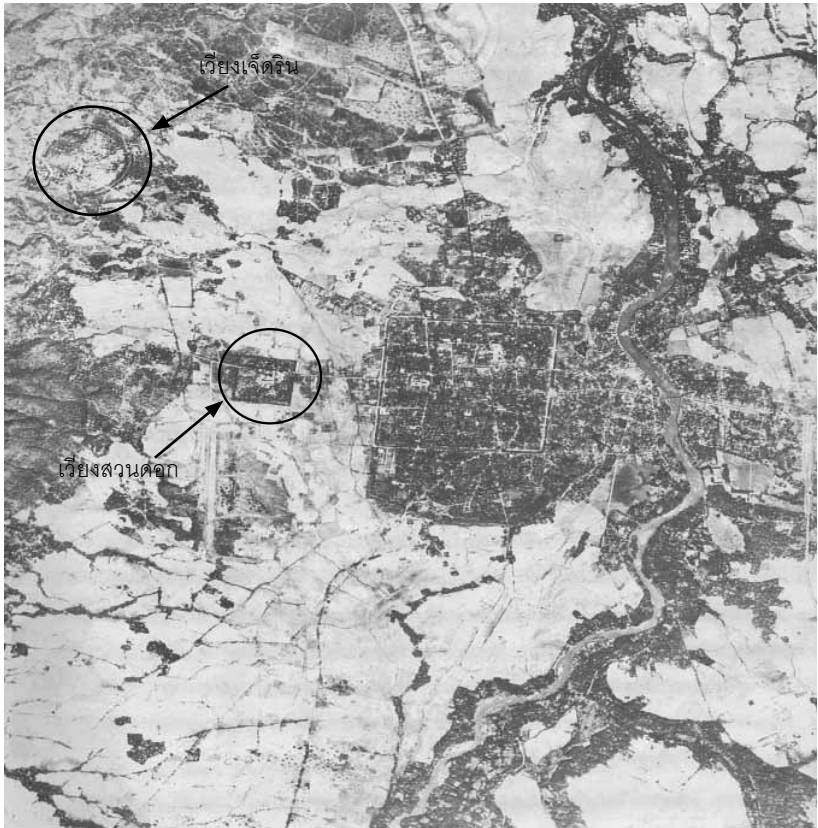
รูปที่ 1 แผนที่เมืองเชียงใหม่สมัยแรกสร้าง
ที่มา: คณะกรรมการจัดทำหนังสือกำแพงเมืองเชียงใหม่, 2529.

2.2 การใช้ประโยชน์ที่ดินของเมืองเชียงใหม่ระหว่างปี พ.ศ. 2495-2523

นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2495 เป็นต้นมาได้มีการจัดทำแผนที่การใช้ที่ดิน จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ และภาพถ่ายทางอากาศ เช่น นวลศิริ วงศ์ทางสวัสดิ์ (2528) ได้ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศในการศึกษา ชุมชนโบราณในเขตล้านนา ทำให้ทราบลักษณะภูมิประเทศ ระยะทาง ทิศทาง ตำแหน่ง ตลอดจนสิ่งก่อสร้างต่างๆ เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ ที่บันทึกเมื่อวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2497 มาตราส่วน 1:50,000 (รูปที่ 3) แสดงตัวเมืองเชียงใหม่ตรงกลางของรูป โดยมีเวียงสวนดอกซึ่งมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กอยู่ถัดไปทางตะวันตกของตัวเมือง และเวียงเจ็ดลินซึ่งมีลักษณะเป็นวงกลมอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีแม่น้ำปิงไหลผ่านตัวเมืองทางทิศตะวันตก และถ้าใช้ภาพถ่ายทางอากาศ ต่างเวลามาแปลจะเห็นความเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดินในเขตเมือง โบราณได้อีกด้วย เช่น รูปที่ 4 เป็นภาพถ่ายทางอากาศที่บันทึกเมื่อวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2511 มาตราส่วน 1:50,000 ของบริเวณเดียวกัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปที่ 3 จะเห็นความเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดินบริเวณเวียงเจ็ดลิน คือเปลี่ยนจากพื้นที่ป่าไม้เป็นพื้นที่เพาะปลูก และมุมด้านตะวันออกเฉียงเหนือของเวียงสวนดอกพื้นที่ถูกทำลายไป (เห็นเป็นแถบสีขาวชัดเจน) จึงนับได้ว่าภาพถ่ายทางอากาศเป็นเครื่องมือที่สนับสนุนในการศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเมืองได้ดี

Yarnasarn (1985) ได้ศึกษารูปแบบการใช้ที่ดินในบริเวณเมือง เชียงใหม่จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศปี พ.ศ. 2497, 2512 และ 2523 ในพื้นที่ประมาณ 86 ตารางกิโลเมตร และพบว่ามี การขยายตัวของสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลา คือเพิ่มขึ้นจาก 22 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2497 เป็น 27 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2512 และมีการเพิ่มขึ้นของการใช้ประโยชน์ที่ดินในเมืองหลายประเภทในปี พ.ศ. 2523 เช่น

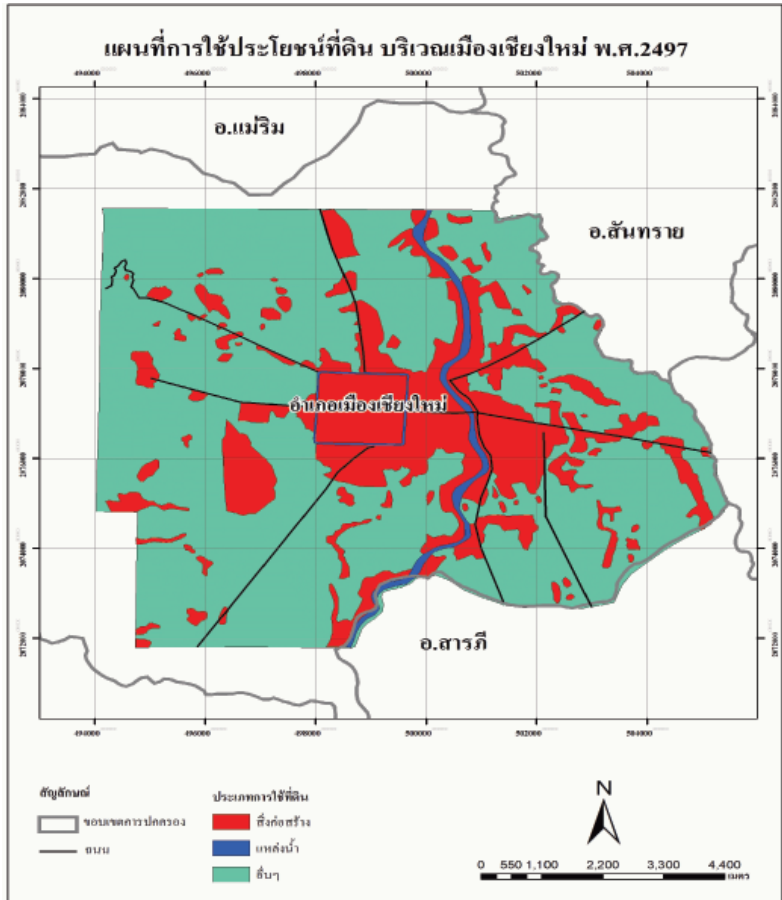
พาณิชยกรรม อุตสาหกรรม และสถาบันราชการ (รูปที่ 5)



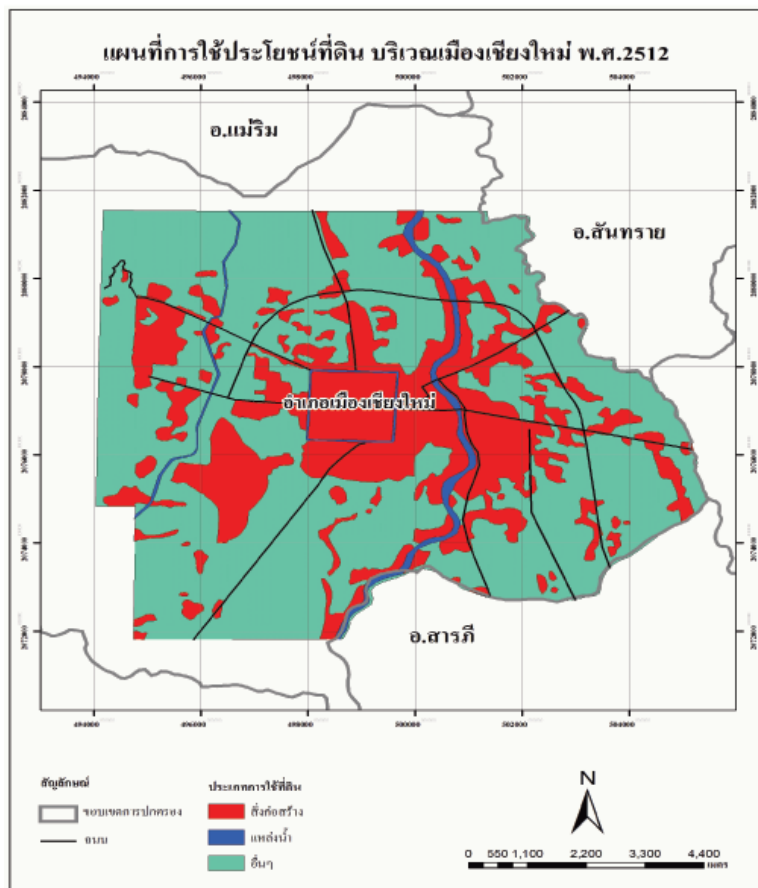
รูปที่ 3 ภาพถ่ายทางอากาศเมืองเชียงใหม่พ.ศ.2497
ที่มา: นวลศิริ วงศ์ทางสวัสดิ์ 2528: 29.



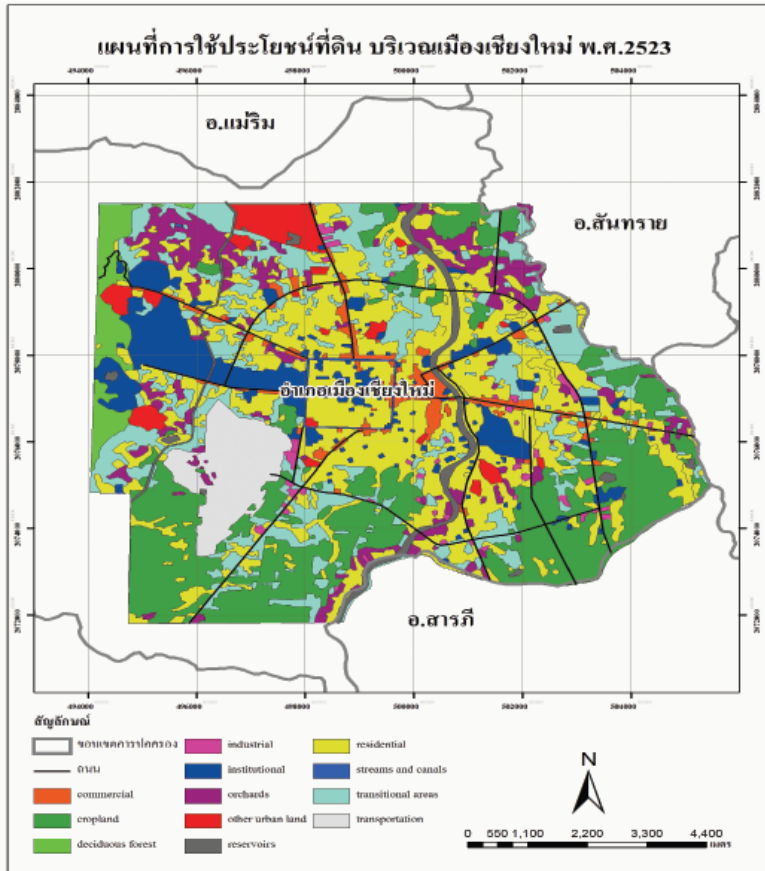
รูปที่ 4 ภาพถ่ายทางอากาศเมืองเชียงใหม่พ.ศ. 2511
ที่มา: นวลศิริ วงศ์ทางสวัสดิ์, 2528: 30.



รูปที่ 5 (ก) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณเมืองเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2497
ที่มา: ดัดแปลงจาก Yarnasan, S., 1985: 85.



รูปที่ 5 (ข) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณเมืองเชียงใหม่ ปี พ.ศ.2512
ที่มา: ดัดแปลงจาก Yarnasan, S.,1985: 86.

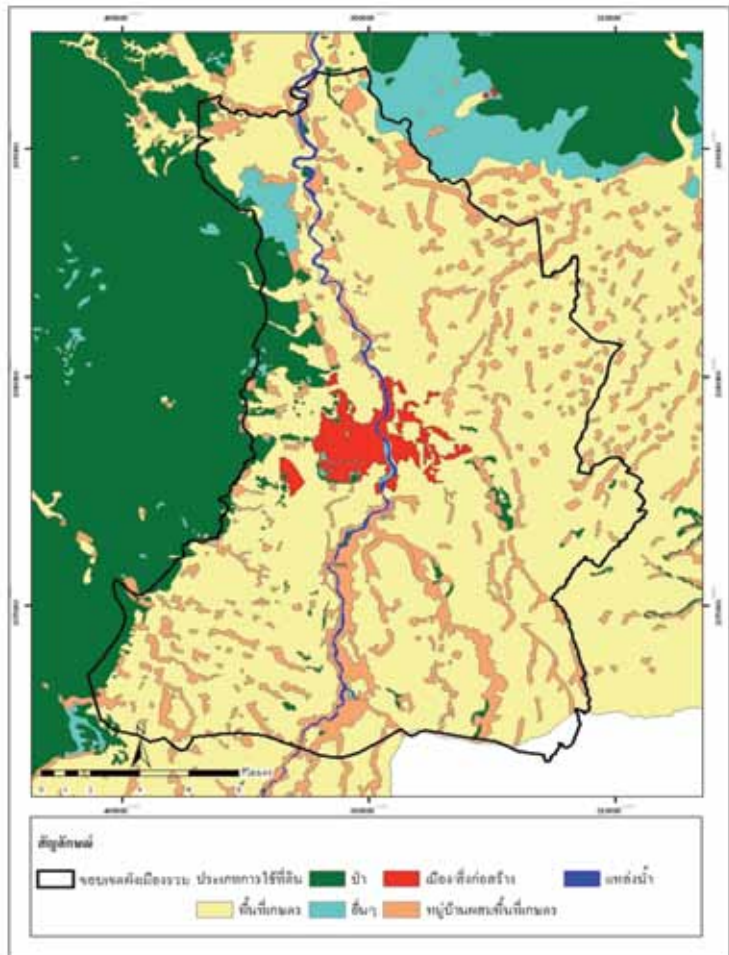


รูปที่ 5 (ค) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณเมืองเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2512

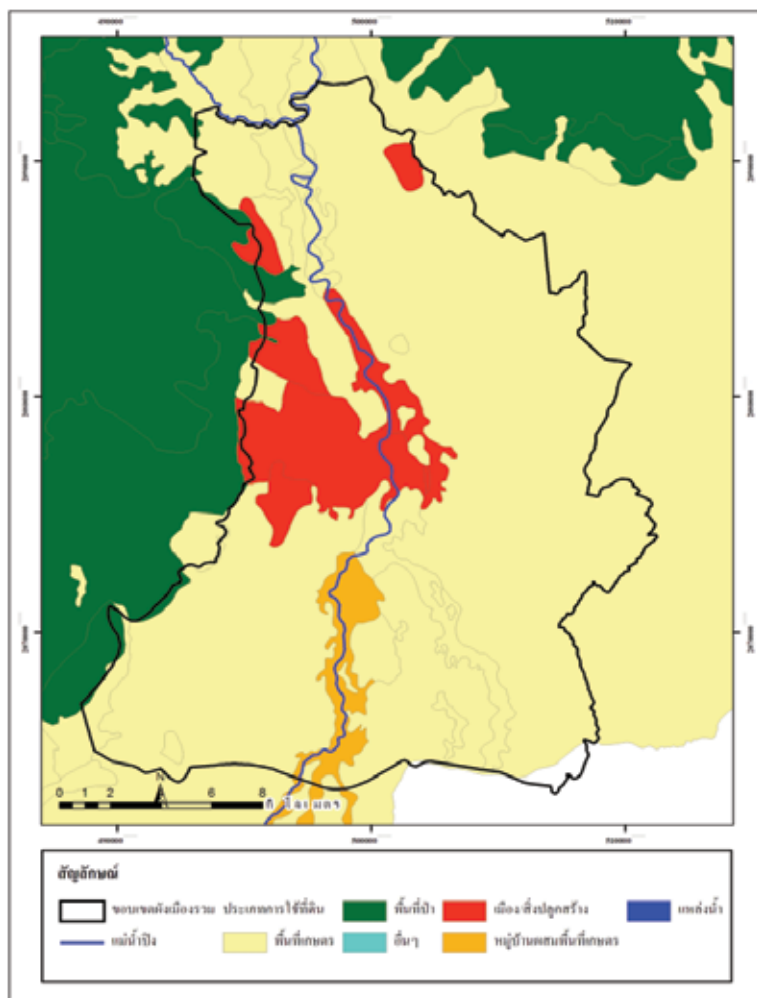
ที่มา: ดัดแปลงจาก Yarnasan, S.,1985: 88.

แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ผลิตในปี พ.ศ. 2495 และแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินกระดาษมาตราส่วน 1:100,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน ผลิตในปี พ.ศ. 2520 ได้นำมาดิจิไทซ์ (digitize) และวิเคราะห์โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อจัดทำแผนที่

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Sangawongse *et al.* 2005; Sangawongse, 2006) โดยจำแนกการใช้ที่ดินออกได้ 6 ประเภท ได้แก่ พื้นที่เกษตร พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เมือง/สิ่งปลูกสร้าง หมู่บ้านผสมพื้นที่เกษตร แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ รูปที่ 6-7 แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตผังเมืองรวมเชียงใหม่และบริเวณโดยรอบ เป็นที่น่าสังเกตว่าพื้นที่เมือง/สิ่งปลูกสร้าง มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นมากในช่วง 25 ปี (พ.ศ. 2495-2520) มีข้อสังเกตว่า หมู่บ้านผสมพื้นที่เกษตรในปี พ.ศ. 2520 ต่ำกว่าที่ควรจะเป็นเนื่องจากข้อมูลในระดับหมู่บ้านมีขนาดเล็กมากจึงไม่ปรากฏในแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินมาตราส่วน 1: 100,000 (สมพร สง่างศ์, 2552)



รูปที่ 6 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2495
ที่มา: ดัดแปลงจาก Sangawongse *et al.*, 2005.



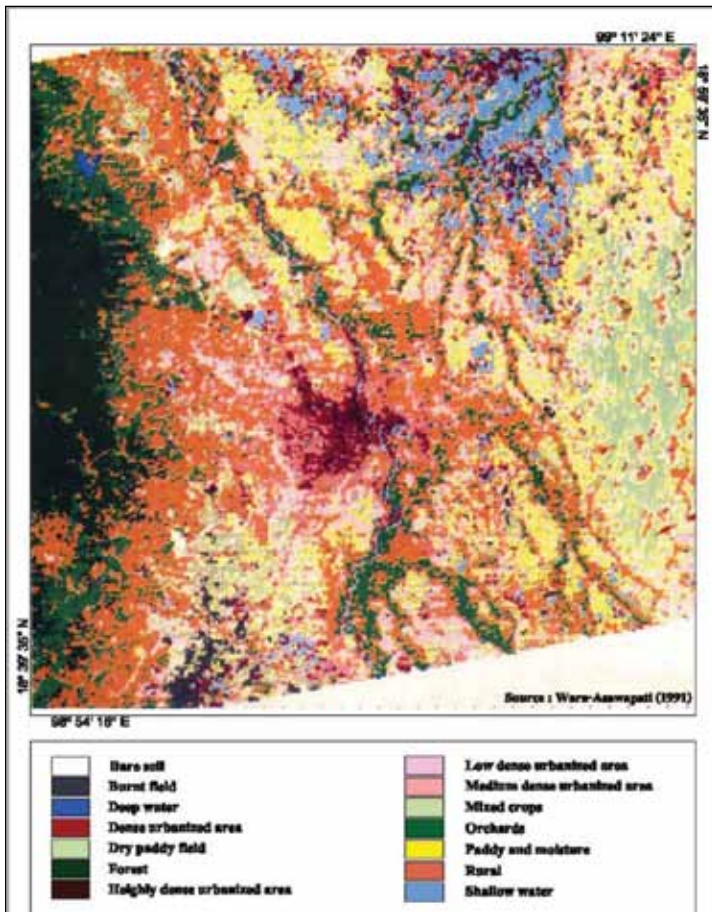
รูปที่ 7 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ.2520
ที่มา: ดัดแปลงจาก Sangawongse *et al.*, 2005.

การแปลภาพถ่ายทางอากาศมีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณในการจัดซื้อภาพ และเวลาที่ใช้ในการแปลและตีความ ตลอดจนความชำนาญของผู้แปล ทำให้การนำภาพถ่ายทางอากาศมาใช้จำกัดอยู่ในวงแคบ โดยเฉพาะผู้ทำงานในหน่วยงานราชการและสถาบันการศึกษา หรือบริษัทใหญ่ๆ เท่านั้น (Lebel *et al.* 2007) ดังนั้นจึงไม่ค่อยนิยมใช้ในการจัดทำแผนที่ในบริเวณกว้าง เป็นเหตุให้ไม่สามารถจัดทำแผนที่การใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่โดยรอบเมืองได้ทั้งหมด นอกจากนี้แล้วภาพถ่ายทางอากาศในสมัยก่อนยังไม่ได้จัดทำเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยคอมพิวเตอร์

2.3 การใช้ประโยชน์ที่ดินของเมืองเชียงใหม่จากข้อมูลดาวเทียม (2516-2552)

นับตั้งแต่องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (NASA) ได้ประสบความสำเร็จในการส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรกของโลก (Earth Resource Satellite: ERTS-1) สู่อวกาศในปี พ.ศ. 2515 เป็นต้นมา จึงได้มีการนำข้อมูลดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ในหลายสาขา สำหรับประเทศไทยมีสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) เป็นองค์การผลิตและให้บริการข้อมูลดาวเทียมอย่างแพร่หลาย จึงได้มีการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมในด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินมากขึ้น เช่น Wara-Aswapati (1991) ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT MSS บันทึกภาพเมื่อวันที่ 27 มกราคม ปี พ.ศ. 2516 และ วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2525 สามารถจำแนกการใช้ที่ดิน/สิ่งปลูกคลุมดินออกได้ถึง 14 ประเภท รวมทั้งพื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งจำแนกออกได้อีก 4 ระดับ คือพื้นที่กลายเป็นเมืองหนาแน่นสูงสุด พื้นที่กลายเป็นเมืองหนาแน่นสูง พื้นที่กลายเป็นเมืองหนาแน่นปานกลาง และ พื้นที่กลายเป็นเมืองหนาแน่นต่ำ (รูปที่ 8) จากการวัดความเปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงเวลาดังกล่าว พบว่ามีการ

ขยายตัวของชุมชนเข้าไปในทุ่งนาแล้ง (dry paddy field) เป็นจำนวนมาก และยังให้ข้อสังเกตว่ามีการใช้ที่ดินในภาคการเกษตรอย่างเข้มข้นในเขตชนบทอีกด้วย ต่อมา Sangawongse (1996) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินในพื้นที่เดียวกันจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT-5 TM จำนวน 2 ชุด คือ ข้อมูลที่บันทึกเมื่อ วันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2531 และ วันที่ 17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เมืองเชียงใหม่มีการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจสูง สามารถจำแนกการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินออกได้ถึง 15 ประเภท และแบ่งการใช้ที่ดินในเมืองออกได้ 3 ระดับย่อย คือ พื้นที่กลายเป็นเมืองหนาแน่นสูง พื้นที่กลายเป็นเมืองหนาแน่นต่ำ และพื้นที่กำลังมีการพัฒนาความเป็นเมือง (development land) และพบว่าพื้นที่เมืองมีการขยายตัวสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่เมืองหนาแน่นต่ำ มีการขยายตัวสูงขึ้นเกือบ 19% ในช่วงเวลาดังกล่าว และได้จัดทำแผนที่การเปลี่ยนแปลงใช้ที่ดินบริเวณเมืองเชียงใหม่และพื้นที่โดยรอบ จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่เกิดขึ้นระหว่างปี พ.ศ. 2531 และ พ.ศ. 2534 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญหลายประเภท เช่น จากทุ่งนาไปเป็นที่อยู่อาศัยหนาแน่นต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wara-Aswapati (1991) นอกจากนี้แล้วยังพบการเปลี่ยนแปลงประเภทอื่นๆ เช่น เปลี่ยนจากป่าเต็งรังไปเป็นที่อยู่อาศัยหนาแน่นต่ำที่น่าจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับหนึ่ง



รูปที่ 8 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2525

ที่มา: ดัดแปลงจาก Wara-Aswapati, 1991.

การใช้ประโยชน์ที่ดินของเมืองเชียงใหม่ระหว่างปี พ.ศ. 2532-2552 ได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT-7 ETM+ ปี พ.ศ. 2543, LANDSAT-5 TM พ.ศ. 2532, 2549 และ พ.ศ. 2552 ซึ่งจะได้นำเสนอรายละเอียดการวิเคราะห์ในบทความนี้

2.4 การคาดการณ์การขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ในอนาคต

ความเป็นเมือง (urbanization) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของประชากรในเขตพื้นที่เมืองของแต่ละประเทศ อันเป็นผลที่เกิดเนื่องจากการเพิ่มขึ้นตามธรรมชาติของประชากรเมือง การย้ายถิ่นของประชากรเมืองกับประชากรชนบท และการเปลี่ยนจากพื้นที่ชนบทให้เป็นพื้นที่เมือง (Yap Kioe Sheng and Lebel, 2009: 36) เมืองเชียงใหม่มีลักษณะการใช้ที่ดินที่ปะปนกันมาก จึงไม่สามารถที่จะระบุโซนการใช้ที่ดินได้อย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าจะมีการกำหนดเขตผังเมืองรวมไว้ก็ตาม แต่ในความเป็นจริงก็ยังห่างไกลที่จะนำมาปฏิบัติได้ นอกจากนี้การขยายตัวของเมืองยังไม่เป็นระเบียบ ไร้ทิศทางที่แน่นอน จึงยากที่จะวัดรูปแบบของการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ จากการศึกษาของ Sangawongse (2006) พบว่ามีการขยายตัวของการใช้ที่ดินประเภทสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นทุกปี นอกจากนี้แล้ว กรมโยธาธิการและผังเมืองได้ประมาณการใช้ที่ดินในเขตผังเมืองรวมเมืองเชียงใหม่เพิ่มขึ้นจาก 27 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2508 เป็น 129 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2540 เพื่อรองรับการขยายตัวของประชากร (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2525) การคาดการณ์การขยายตัวของเมืองเป็นสิ่งที่น่าจะศึกษาอย่างยิ่ง เพื่อให้ได้ข้อมูลมาใช้ในการวางแผนให้เหมาะสมและสอดคล้องกับผังโครงสร้างจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเน้นสาระสำคัญด้านการใช้ที่ดินระบบชุมชนและโครงข่ายการคมนาคม และเพื่อตอบสนองต่อนโยบายการพัฒนาเมืองเชียงใหม่ให้เป็นเมืองหลักตามนโยบายของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เนื่องจากการศึกษาเรื่องพลวัตการใช้ที่ดินที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาโดยนักวิจัยจากหลายหน่วยงาน/องค์กร เช่น กรมพัฒนาที่ดิน และกรมป่าไม้ การใช้ข้อมูลที่แตกต่างกันในช่วงเวลาที่ต่างกัน ขอบเขตพื้นที่

ศึกษาแตกต่างกัน การให้คำจำกัดความการใช้ที่ดินที่ต่างกัน และการใช้เทคโนโลยีแตกต่างกัน จึงทำให้การเปรียบเทียบผลลัพธ์ในเชิงปริมาณค่อนข้างยาก เพื่อเป็นการลดความแตกต่างระหว่างข้อมูล และเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล จึงได้นำแบบจำลอง SLEUTH มาประยุกต์ใช้ในการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ เนื่องจากมีรูปแบบที่เหมาะสมกับข้อมูลดาวเทียม และได้ผ่านการทดลองที่ประสบความสำเร็จมาแล้วกับหลายเมืองในสหรัฐอเมริกา เช่น Baltimore, Washington (Clarke and Gaydos, 1998) และเมือง Porto และ Lisbon ประเทศปอร์ตุเกส ในยุโรป (Silva and Clarke, 2002) สำหรับเมืองในเอเชียและอัฟริกายังประยุกต์ใช้ไม่มากนัก (Xialou *et al.* 2009) คาดว่าการนำ SLEUTH มาประยุกต์ใช้กับเมืองเชียงใหม่ จะทำให้ทราบรูปแบบการใช้ที่ดินและแนวโน้มการขยายตัวของเมืองได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น และยังเป็นการประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อข้อมูลดาวเทียมได้อีกด้วย

SLEUTH เป็นโปรแกรมที่พัฒนามาจาก cellular automata (Clarke, 2002) มีองค์ประกอบ 4 อย่าง คือ จุดภาพ (cells) สถานภาพ (states) จุดภาพข้างเคียง (neighborhood cells) และกฎในการทำงาน (transition rules) มีโครงสร้างเป็นแบบกริด (grid) ล้อมรอบด้วยจุดภาพข้างเคียงจำนวน 8 จุดภาพ (White *et al.* 1977) ที่แบ่งออกได้เป็นสองสถานภาพ (เช่น พื้นที่เมือง และพื้นที่ไม่ใช่เมือง) ซึ่งอาจจะคงที่ในเวลาหนึ่ง หรือเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา Clarke (2002) แบ่งการขยายตัวของพื้นที่เมือง ออกเป็น 4 ประเภท โดยใช้กฎในการทำงาน 5 ประเภทตามลำดับเวลา คือ

1. การขยายตัวตามธรรมชาติ (spontaneous growth)
2. การขยายตัวตามจุดศูนย์กลางการเจริญเติบโตเมืองที่เกิดขึ้นใหม่ (spreading center growth)
3. การขยายตัวพอกพูนตามขอบหรือชานเมือง (edge growth)

4. การขยายตัวตามแนวถนน (road influenced growth)

การขยายตัวตามธรรมชาติ เป็นการจำลองจุดภาพที่เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เมืองแบบสุ่มตัวอย่าง นั่นคือจุดภาพหนึ่งๆ มีโอกาสจะเปลี่ยนไปเป็นเมืองที่ใดก็ได้ การขยายตัวตามขอบหรือชานเมือง จำลองการขยายตัวออกมาจากศูนย์กลางเมืองเดิม (existing urban centers) ซึ่งมีอิทธิพลต่อความน่าจะเป็นที่จุดภาพอื่นๆ อย่างน้อย 3 จุดภาพจะเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เมือง (Silva and Clarke, 2002)

การขยายตัวของพื้นที่เมืองทั้ง 4 ประเภทนี้จะถูกควบคุมโดยค่าสัมประสิทธิ์ (สปส.) ของการขยายตัว (growth coefficients) 5 ประเภท คือ (1) diffusive /dispersion (2) breed (3) spread (4) slope resistance และ (5) road gravity (Silva and Clarke, 2002; Jantz, 2003) สัมประสิทธิ์ทุกประเภทมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเมือง

สัมประสิทธิ์	คำอธิบาย
diffusive / dispersion (Dif)	จำนวนครั้งที่จุดภาพทั่วไปจะถูกเลือกแบบสุ่มตัวอย่างให้เป็นจุดภาพเมืองในระหว่างที่มีการขยายตัวตามธรรมชาติ นอกจากนี้ยังควบคุมจำนวนจุดภาพที่จะขยายตัวไปตามแนวถนนหรือโครงข่ายการคมนาคม
Breed (Brd)	ควบคุมการขยายตัวของจุดภาพเมืองตามศูนย์กลางการเจริญเติบโตที่เกิดขึ้น
Spread (Sprd)	ควบคุมขยายตัวของจุดภาพเมืองออกมาจากศูนย์กลางเมืองเดิมหรือศูนย์กลางเมืองที่เกิดขึ้นใหม่
slope resistance (Slp)	ควบคุมการขยายตัวของจุดภาพเมืองที่ถูกจำกัดด้วยความลาดชันของพื้นที่
road gravity (Rg)	ควบคุมการขยายตัวของจุดภาพเมืองไปตามแนวถนน

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาการขยายตัวของเมืองและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดย SLEUTH ประกอบด้วย (1) ความลาดชัน (slope) (2) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land-use) จำนวน 2 ปีเป็นอย่างน้อย (3) พื้นที่กันออก (exclusion) (4) ขอบเขตพื้นที่เมือง (urban extents) จำนวน 4 ปีเป็นอย่างน้อย (5) โครงข่ายการคมนาคม (transportation networks) จำนวน 2 ปีเป็นอย่างน้อย (6) ข้อมูลเงาเขา (hillshade) การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการจำลองการขยายตัวของพื้นที่เมืองค่อนข้างละเอียดซับซ้อน และใช้เวลาในการเตรียมค่อนข้างมาก ผู้วิเคราะห์ควรมีความรู้เรื่องการปรับความละเอียดของภาพดาวเทียม และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นอย่างดี (Sangawongse *et al.* 2005; Xialou *et al.* 2009)

เทคนิคที่ใช้ในการจำลองการขยายตัวของพื้นที่เมืองเรียกว่า “Calibration” ซึ่งเป็นวิธีการที่ต้องอาศัยข้อมูลหลายรายละเอียด ตั้งแต่หยาบสุด (coarse resolution) ไปจนกระทั่งละเอียดสุด (finest resolution) การคำนวณทางคณิตศาสตร์ การวิเคราะห์ค่าสถิติที่ได้จากการคำนวณ เพื่อใช้เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต

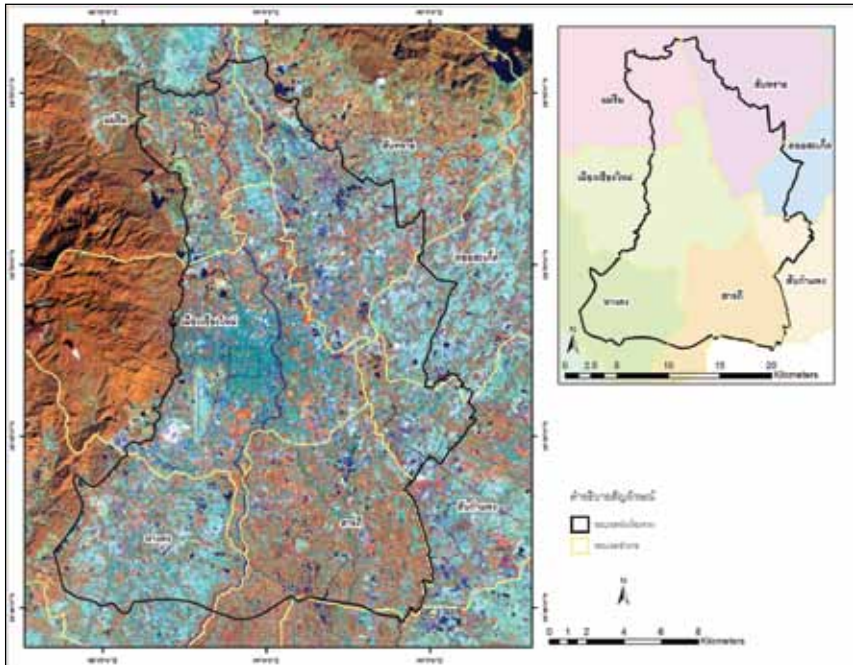
ค่าสถิติที่ได้จากกระบวนการจำลองมีทั้งหมด 13 ค่า ที่สามารถเลือกมาใช้ในการอธิบายการขยายตัวของเมืองได้ เช่น *Population* (จำนวนจุดภาพเมือง) *Cluster* (จำนวนศูนย์กลางที่เกิดขึ้น) และ *Lee Sallee* (ดัชนีวัดรูปร่างของเมือง) ซึ่งแต่ละค่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 หรืออาจจะใช้ค่าผลคูณของค่าคะแนนทุกๆ ค่า (composit scores) ก็ได้ (Silva and Clarke, 2002) สำหรับบทความนี้ จะเลือกใช้เพียงค่า *Lee Sallee* ในการอธิบายการขยายตัวของเมือง ซึ่งคำนวณโดยใช้อัตราส่วนของค่าผลต่าง (Intersection) และค่าผลรวม (Union) ของพื้นที่การขยายตัวที่เกิดจากการจำลอง กับการขยายตัวที่เกิดขึ้นจริง (Candau,

2000; Xialou *et al.* 2009) และจะใช้ค่านี้เป็นสถิติพื้นฐานในการจัดค่าช่วง (range) สัมประสิทธิ์การขยายตัวของเมืองในกระบวนการจำลองจำนวน 3 ครั้ง

3. การศึกษาพลวัตการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2532-2552

3.1 พื้นที่ศึกษา

มีที่ตั้งทางภูมิศาสตร์โดยประมาณระหว่างเส้นรุ้งที่ $18^{\circ}37'$ ถึง $18^{\circ}56' N$ และระหว่างเส้นแวงที่ $98^{\circ}51'$ ถึง $99^{\circ}09'E$ มีพื้นที่รวมทั้งสิ้นประมาณ 1,206 ตารางกิโลเมตร แสดงด้วยข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 5 TM สีผสมเท็จ (453/RGB) บันทึกภาพเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2552 (รูปที่ 9) ซึ่งครอบคลุม เขตผังเมืองรวม (comprehensive plan area) พ.ศ. 2532 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2 (กรอบสีดำ) มีพื้นที่ประมาณ 430 ตารางกิโลเมตร ซึ่งครอบคลุมเขตอำเภอเมือง อำเภอแมริม อำเภอสันกำแพง อำเภอสันทราย อำเภอสารภี อำเภอหางดง และอำเภอดอยสะเก็ด (กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, 2525)



รูปที่ 9 ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 5 TM สีส้มเท็จ
(453/RGB) ความละเอียด 25 เมตรแสดงพื้นที่ศึกษา

บันทึกภาพเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2552

ที่มา: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552.

จากรูปที่ 9 พื้นที่เมืองปรากฏเป็นสีเทาอมน้ำเงิน มีเนื้อหยาบ คูเมืองมีรูปแบบเป็นกรอบสี่เหลี่ยมเห็นชัดเจน ป่าไม้ไม่ผลัดใบมีสีแดง เนื้อที่ป ส่วนป่าไม้ผลัดใบมีสีน้ำตาล ส่วนใหญ่พบที่บริเวณภูเขาในเขตอำเภอดอยสะเก็ด นาแล้งปรากฏเป็นสีฟ้าอ่อน ที่โล่ง/ที่ว่างปรากฏเป็นสีขาว สวนผลไม้ปรากฏเป็นสีน้ำตาลปนแดงมีเนื้อหยาบพบมากในเขตอำเภอสารภี แหล่งน้ำมีสีดำไปจนกระทั่งสีน้ำเงิน ขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำ เช่น แม่น้ำปิงปรากฏเป็นสีน้ำเงิน น้ำในเขื่อนแม่งวงอุดมธารา

อำเภอดอยสะเก็ด ปรากฏเป็นสีดำ

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลดาวเทียมที่นำมาใช้ในการศึกษา (ตารางที่ 2) ประกอบด้วย LANDSAT 5 TM ความละเอียดภาพ 25 เมตร จำนวน 3 ช่วงเวลา และ LANDSAT-7 ETM+ ความละเอียดภาพ 25 เมตร ช่วงเวลาเดียว นอกจากนี้ยังใช้ฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อนำมาใช้ในการอ้างอิงและการเปรียบเทียบผลการจำแนกอีกด้วย

ตารางที่ 2 ข้อมูลดาวเทียมที่นำมาใช้ในการศึกษา

ข้อมูลดาวเทียม	จำนวน ช่วงคลื่น	วัน เดือน ปี	ที่มา
LANDSAT-5 TM	7	18 มีนาคม 2532	Tropical Rainforest Information Center, มหาวิทยาลัยมิชิแกน
LANDSAT-7 ETM+	8	มีนาคม 2543	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
LANDSAT-5 TM	7	26 กุมภาพันธ์ 2549	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)
LANDSAT-5 TM	7	26 มิถุนายน 2552	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

เนื่องจากข้อมูลดาวเทียมที่นำมาวิเคราะห์ส่วนมากถูกบันทึกในฤดูแล้ง ยกเว้นดาวเทียม LANDSAT-5 TM ที่ทำการบันทึกเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2552 เป็นช่วงฤดูฝน จึงมีความแตกต่างของการใช้ที่ดินด้านการเกษตรและป่าไม้เมื่อเทียบกับข้อมูลปีอื่นๆ ภาพดาวเทียมที่บันทึกในฤดูแล้ง ป่าผลัดใบ (deciduous forest) ส่วนใหญ่จะทิ้งใบ

เช่นป่าเต็งรัง (dipterocarp forest) ทางตอนล่างของดอยสุเทพ อำเภอเมือง และทิศเหนือและทิศตะวันตกของเขื่อนแม่งวงอุดมธารา เขตอำเภอดอยสะเก็ด และที่นาหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วหลายแห่ง มักจะถูกทิ้งร้างไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากปริมาณน้ำไม่พอเพียงสำหรับการเพาะปลูกข้าว มักจะพบทางทิศเหนือและทิศตะวันออกของเมืองเชียงใหม่ ดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ บันทึกภาพประมาณเดือนมีนาคม พ.ศ. 2543 เป็นข้อมูลที่มีคุณภาพดีมาก ปรากฏจากเมฆ เมื่อทำการเน้นภาพก็จะให้ความชัดเจนมากขึ้น สามารถระบุสิ่งปกคลุมดินด้วยสายตาได้ง่าย ส่วนข้อมูลดาวเทียม LANDSAT-5 TM บันทึกในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 มีค่าความส่องสว่างจากสิ่งปกคลุมดินใกล้เคียงกับข้อมูลดาวเทียมปี พ.ศ. 2543 เพราะทำการบันทึกในฤดูกาลเดียวกัน จึงทำให้ง่ายต่อการนำมาศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงได้ดี การแปลความการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยสายตาใช้หลักการทำภาพสีผสม (color composite) และการเน้นความละเอียดของภาพด้วยวิธีการผสมรวมข้อมูล (สมพร สง่าวงศ์, 2552)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม

ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT ทุกๆ ปีได้นำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมประมวลผลข้อมูลดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อสกัดเอารายละเอียดการใช้ที่ดินออกมาโดยผ่านขั้นตอน ดังนี้ (1) การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสีและเชิงเรขาคณิต (radiometric and geometric corrections) (2) การจำแนกประเภทข้อมูล (classification) (3) การวัดความเปลี่ยนแปลง (change detection) และ (4) การประเมินความแม่นยำของการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน (accuracy assessment)

การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี เป็นการปรับแก้ความผิดพลาดที่เกิดจากความบกพร่องของเครื่องวัดบนดาวเทียม มุมของ

ดวงอาทิตย์ สภาพภูมิประเทศ และสัญญาณรบกวนจากบรรยากาศ ซึ่งจะมีผลต่อความคมชัดของภาพ และจำเป็นจะต้องดำเนินการสำหรับการศึกษาเรื่องความเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เพื่อปรับข้อมูลหลายช่วงเวลาให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ส่วนการ**ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต**เป็นการปรับแก้ความผิดพลาดด้านตำแหน่งและขนาดของจุดภาพในข้อมูล ที่เกิดจากหลายปัจจัย เช่น ความสูง ความโค้งของโลก การเคลื่อนที่ของดาวเทียม ซึ่งจำเป็น จะต้องดำเนินการปรับแก้ในลำดับแรก เพื่อให้การวัดความเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมีความถูกต้องยิ่งขึ้น สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ข้อมูลดาวเทียมทุกปีได้ถูกนำมาปรับค่าพิกัดให้อยู่ในระบบ UTM (Universal Transverse Mercator) แบบภาพสู่ภาพ (image-to-image registration) โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดินที่เหมาะสม และมีความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตรวม (Root Means Square Error: RMSE) ที่ยอมรับได้ คือน้อยกว่า 1 จุดภาพ

การจำแนกประเภทข้อมูลดาวเทียม โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาทำการจัดจุดภาพทั้งหมดออกเป็นกลุ่ม/ประเภท ตามระบบจำแนกประเภทที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน โดยได้กำหนดการใช้ที่ดินไว้กว้างๆ 6 ประเภท ได้แก่ (1) ป่าไม้ (2) พื้นที่เกษตร (3) เมือง/สิ่งปลูกสร้าง (4) แหล่งน้ำ (5) ที่รกร้างว่างเปล่า (6) พุ่มหญ้า ชั้นข้อมูลเมือง/สิ่งปลูกสร้าง สามารถจำแนกออกได้อีก เช่น บริเวณตัวเมือง/ย่านการค้า ที่อยู่อาศัยในชนบท และถนน ป่าไม้ยังสามารถจำแนกออกเป็นป่าผลัดใบ ป่าไม่ผลัดใบ และป่าเสื่อมโทรม เป็นต้น การจำแนกข้อมูลจะทำโดยวิธีไม่กำกับดูแล (unsupervised ISODATA) เพื่อกำหนดจำนวนกลุ่มจุดภาพ (clusters) ที่สามารถจำแนกออกได้ในแต่ละชุดข้อมูลตามค่าสะท้อนแสงที่คล้ายคลึงกัน ก่อนที่จะนำมาจำแนกโดยวิธีกำกับดูแล (supervised classification) การจำแนกข้อมูลโดยวิธีกำกับดูแล ต้องใช้พื้นที่ตัวอย่าง (training areas) ที่มีจำนวนจุดภาพเพียงพอสำหรับการ

จำแนก และควรเป็นพื้นที่ที่รู้จักคุ้นเคยดี จากการสำรวจภาคสนาม หรืออาจใช้ข้อมูลดาวเทียมที่มีรายละเอียดสูงกว่า เช่น THEOS Pansharp (2 เมตร) และ IKONOS ภาพขาวดำ (1 เมตร) มาช่วยในการระบุประเภทการใช้ที่ดินบนภาพข้อมูลดาวเทียม การจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแลที่ใช้วิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (supervised maximum likelihood classification) จะให้ความถูกต้องของการจำแนกสูง แต่ต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์หลายขั้นตอน

การวัดความเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายที่สุด คือการนำผลที่ได้จากการจำแนกข้อมูลในแต่ละปีมาเปรียบเทียบกัน (post-classification comparison) เพื่อให้ทราบปริมาณและสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภท หรือการจัดทำตารางการเปลี่ยนแปลง (change matrix) สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่ต้องการทราบได้อย่างรวดเร็ว จุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงจะตกอยู่ในบริเวณจุดตัดนอกแนวทแยงของตาราง ส่วนจุดภาพที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คือ ผลรวมของจุดภาพตามแนวทแยงของตารางหลัก

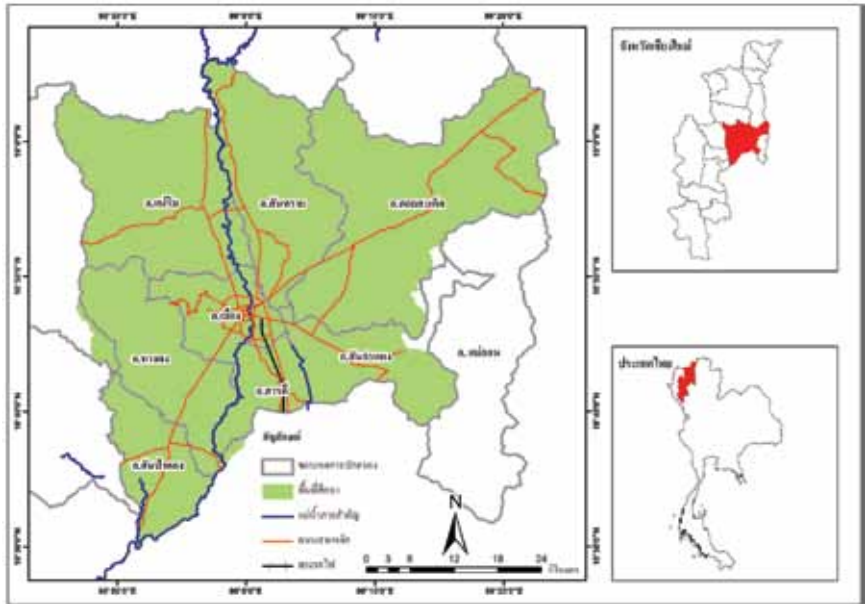
การประเมินความแม่นยำของการจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน /สิ่งปกคลุมดิน ทำโดยใช้ตารางความคลาดเคลื่อน (error matrix) ที่แสดงจำนวนจุดภาพที่กำหนดให้ตามประเภทการใช้ที่ดินที่มีการตรวจสอบในสนาม (reference pixel) กับจำนวนจุดภาพที่ได้จากการจำแนก (classified pixel) สามารถใช้ คำนวณความแม่นยำรวม (overall accuracy) ของการจำแนกประเภทข้อมูลได้

4. การคาดการณ์การขยายตัวของเมืองในอนาคตด้วยแบบจำลอง SLEUTH

เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศภายในเขตผังเมืองรวมเชียงใหม่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่องานของ SLEUTH ที่ต้องใช้ตัวแปรด้านความลาดชันมาคำนวณด้วย ดังนั้นจึงขยายขอบเขตพื้นที่ศึกษาออกไปจากเขตผังเมืองรวม โดยมีพื้นที่รวมทั้งสิ้นประมาณ 2,415 ตารางกิโลเมตร (รูปที่ 10) เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของแบบจำลอง จึงได้สรุปวิธีการออกได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ (1) การเตรียมข้อมูล (2) การทดสอบข้อมูลเบื้องต้น/การจำลอง และ (3) การอธิบายผล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้จากงานวิจัยของ Sangawongse *et al.* (2005) ทั้งหมด และเพิ่มข้อมูลขอบเขตพื้นที่เมืองปี พ.ศ. 2549 และข้อมูลถนนปี พ.ศ. 2543 จากงานวิจัยของ Xialou *et al.* (2009) โดยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดแรก (พ.ศ. 2495-2543) ใช้สำหรับการทดลองครั้งแรก และ ชุดที่สอง (พ.ศ. 2520 - 2549) ใช้สำหรับการทดลองครั้งหลัง ซึ่งมีข้อมูลที่ทับซ้อนกัน 3 ปี ในกลุ่มข้อมูลสองชุดนี้ ข้อมูลขอบเขตพื้นที่เมืองในปี พ.ศ. 2495, 2520, 2532, 2543 และข้อมูลถนนในปี พ.ศ. 2495 และ พ.ศ. 2520 ได้ถูกนำมาใช้ในการทดลองครั้งแรก ส่วนการทดลองครั้งที่ 2 ได้ดึงข้อมูลขอบเขตพื้นที่เมืองในปี พ.ศ. 2495 ออกและใช้ปี พ.ศ. 2549 เข้ามาแทน และใช้ ข้อมูลถนนในปี พ.ศ. 2543 แทนปี พ.ศ. 2495

ข้อมูลเหล่านี้ถูกแปลงจากข้อมูลภาพหรือข้อมูลเชิงเส้นที่มีพิกัดอ้างอิงให้เป็นข้อมูลระดับสีเทา (gray scale) ในรูปแบบ “compuserv gif” แล้วปรับให้มีความละเอียดจุดภาพ 200, 100 และ 50 เมตร ตามลำดับ โดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Sangawongse *et al.* 2005)



รูปที่ 10 พื้นที่ศึกษาการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่
ที่มา: สมพร สว่างวงศ์, 2552.

โปรแกรม SLEUTH v.3.0 ซึ่งเขียนด้วยภาษา C programming และทำงานโดยใช้ระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ Linux Redhat version 9.0 หรือ Cygwin ได้นำมาใช้ในการจำลอง ข้อมูลนำเข้าทั้งสองชุดได้ผ่านการตรวจสอบเบื้องต้น (test) และผ่านการปรับแก้ (calibration) ก่อนที่จะใช้ในการคาดการณ์ การปรับแก้ เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาในการประมวลผลมาก โดยเฉพาะในพื้นที่กว้างใหญ่ ดังนั้น จึงต้องเลือกใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูง หรือใช้การประมวลผลแบบขนาน (parallel processing) คือใช้คอมพิวเตอร์จำนวนหลายเครื่องเชื่อมต่อกัน ในขณะที่ทำการปรับแก้ข้อมูลที่มีรายละเอียดสูง พิสัยของค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวควรจะถูกกำหนดให้แคบลงโดยใช้ค่าที่ได้คัดเลือกมาจากการปรับ

แก้ในครั้งก่อน และจำนวนครั้งของการจำลองมอนติคาร์โล (monticarolo simulations) ที่กำหนดในไฟล์ Scenario ควรเพิ่มขึ้นจากการจำลองขั้นแรกไปจนถึงขั้นสุดท้าย หรือจากข้อมูลหยาบไปจนถึงข้อมูลละเอียดสุด (Silva and Clarke, 2002) เนื่องจากกระบวนการปรับแก้ต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก ดังนั้นจึงใช้จำนวนมอนติคาร์โล ระหว่าง 4-8 ครั้งเท่านั้น

ผลการจำลองพื้นที่เมืองในอนาคตอธิบายโดยใช้ *Landscape Metrics* (Xialou *et al.* 2009) เช่น ดัชนีความหนาแน่นของเมือง (patch density: PD) ดัชนีพื้นที่ขนาดใหญ่ (largest patch index: LPI) และดัชนีรูปร่างเฉลี่ย (mean shape index: MSI) ดัชนีความใกล้เคียงเฉลี่ยยูคลิด (euclidean mean nearest neighbor: ENN_MN) PD และ LPI มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 MSI มีค่า ≥ 1 ส่วน ENN มีค่า > 0 ขึ้นไปไม่มีขีดจำกัด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$PD = \frac{n_i}{A} (10000) (100) \dots\dots\dots(1)$$

จากสมการ (1) n_i คือจำนวนจุดภาพ 'A' พื้นที่ทั้งหมด (เมตร2)

$$LPI = \frac{\max_{j=1}^n (a_{ij})}{A} (100) \dots\dots\dots(2)$$

จากสมการ (2) a_{ij} คือ พื้นที่ของ patch ij 'A' พื้นที่ทั้งหมด (เมตร2)

$$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{P_{ij}}{\min p_{ij}} \right)}{n_i} \dots\dots\dots(3)$$

จากสมการ (3) P_{ij} คือ เส้นรอบรูปของ patch ij. $\min p_{ij}$ เส้นรอบรูปที่สั้นที่สุด n_i คือ จำนวนจุดภาพ

$$ENN_MN = \frac{\sum_{j=1}^n (h_{ij})}{n_i} \dots\dots\dots(4)$$

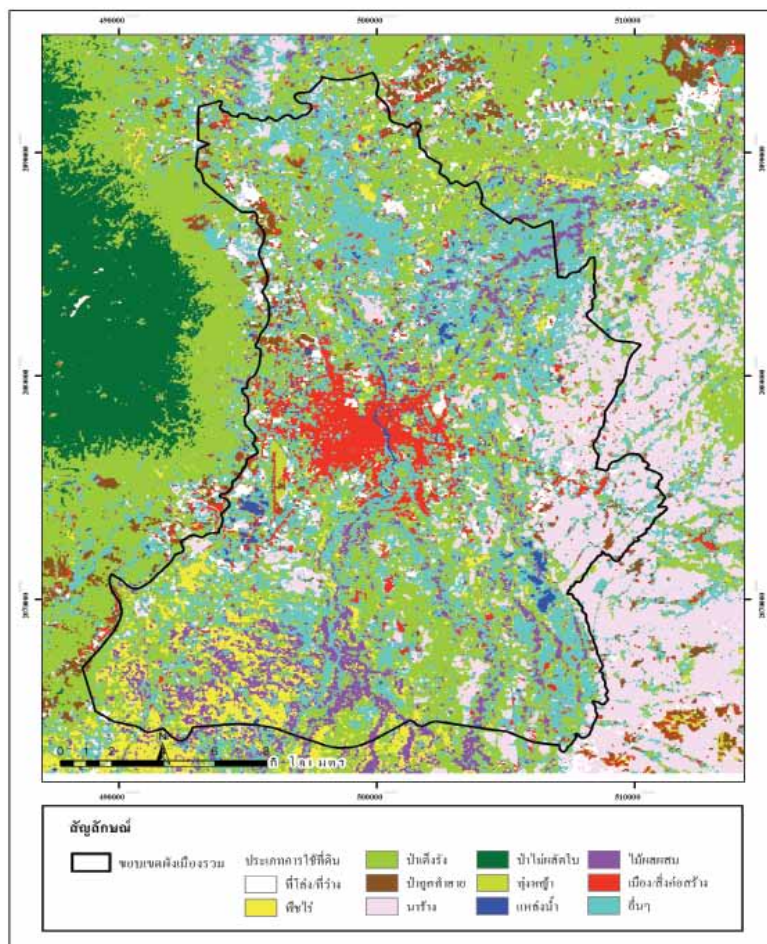
จากสมการ (4) h_{ij} คือ ระยะทางที่สั้นที่สุด (เมตร) จาก patch ij ไปยัง patch ประเภทเดียวกัน n_i คือจำนวนจุดภาพ

5. ผลการศึกษา

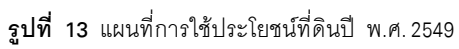
5.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมการใช้ที่ดินในเขตผังเมืองรวมเชียงใหม่

การจำแนกข้อมูลดาวเทียมที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด ทำโดยวิธี กำกับดูแลแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด โดยการพิจารณาเลือกใช้ ช่วงคลื่นปรับแก้จากชุดข้อมูลเดิม รวมทั้งช่วงคลื่นที่สร้างขึ้นใหม่ เช่น อัตราส่วนและองค์ประกอบหลักที่ 1-2 สามารถแบ่งการใช้ที่ดินออกได้ ระหว่าง 10-12 ประเภท (รูปที่ 11-14) โดยมีความถูกต้องรวมของการ จำแนกอยู่ระหว่าง 93-99 % เพื่อให้การวัดความเปลี่ยนแปลงการใช้ ที่ดินเป็นไปโดยสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น จึงได้นำข้อมูลการใช้ที่ดินที่ จำแนกได้ในแต่ละปีมาจัดกลุ่มใหม่ (recode) ให้เหลือเพียง 5 ประเภท ใหญ่ โดยรวมไม่ผลผสม พืชไร่ นาแล้ง ให้เป็น พื้นที่เกษตร ปาผลัด ใบ ปาไม่ผลัดใบ และป่าเสื่อมโทรม ให้เป็นพื้นที่ป่าไม้ เมือง หมู่บ้าน ถนน สันเขื่อน ให้เป็น พื้นที่เมือง/สิ่งปลูกสร้าง แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำ ให้เป็น แหล่งน้ำ ที่โล่ง ที่ว่าง พื้นที่รกร้าง สนามหญ้า เป็นพื้นที่อื่นๆ การศึกษาค้นครั้งนี้ได้เน้นการวิเคราะห์การใช้ ที่ดินภายในเขตผังเมืองรวมเชียงใหม่ตามข้อมูล shape file ซึ่งพื้นที่ ประมาณ 409 ตารางกิโลเมตร (น้อยกว่าที่ระบุไว้ในกรมโยธาธิการ

และผังเมือง) ดังตารางที่ 3



รูปที่ 11 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2532



รูปที่ 13 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2549

ตารางที่ 3 ประเภทการใช้ที่ดินในเขตผังเมืองรวมเชียงใหม่
(2495-2552)

ประเภทการใช้ที่ดิน(พื้นที่/ ตร.กม)	2495	2520	2528	2532	2543	2549	2552
1. เกษตร	297.5	341.5	169.6	126.36	162.5	136.76	163
พื้นที่ (ร้อยละ)	(0.73)	(0.84)	41.23	(30.89)	(43)	(33.5)	(42.55)
2. ป่าไม้	22.43	5.12	65.33	55.17	38.24	95.23	95.54
พื้นที่ (ร้อยละ)	(5.53)	(1.26)	(16.17)	(5.27)	(9.3)	(23.3)	(23.4)
3. เมือง/สิ่ง ปลูกสร้าง	12.85	45.97	51	53.4	83.76	117.9	137.4
พื้นที่ (ร้อยละ)	(3.17)	(0.11)	(12.4)	(13.1)	(20.5)	(21)	(29.4)
4.แหล่งน้ำ	3.8	3.8	6	5.1	14.1	5.11	9.3
พื้นที่ (ร้อยละ)	(9.37)	(9.37)	(1.36)	(1.24)	(1.4)	(1.32)	(2.3)
5. อื่นๆ	6.8	12.7	118.62	176.05	110.47	54	64.33
พื้นที่ (ร้อยละ)	(1.68)	(0.03)	(28.83)	(43.04)	(27.1)	(13.2)	(15.7)

หมายเหตุ ข้อมูลปี พ.ศ. 2495, 2520 และ 2528 ได้จากฐาน

ข้อมูลการใช้ที่ดินของ Sangawongse *et al.*, 2005.

5.2 ผลการคาดการณ์การขยายตัวของพื้นที่เมืองในอนาคต โดยแบบจำลอง SLEUTH

จากการทดลองใช้แบบจำลอง SLEUTH กับชุดข้อมูลปี พ.ศ. 2495-2543 และชุดข้อมูลปี พ.ศ. 2520-2549 สามารถสรุปได้ว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2495-2549 ปัจจัยด้านความลาดชันไม่ได้มีอิทธิพลต่อการขยายตัวของพื้นที่เมืองมากนัก เนื่องจากมีค่าต่ำ นอกจากนี้ ยังพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวแบบ Diffusive มีความแตกต่างในชุดข้อมูลเดียวกัน คือ กลุ่มที่อยู่ในช่วงปี พ.ศ. 2495 ลงมามีค่าต่ำ ส่วนกลุ่มที่ตกอยู่ในช่วงต่อ

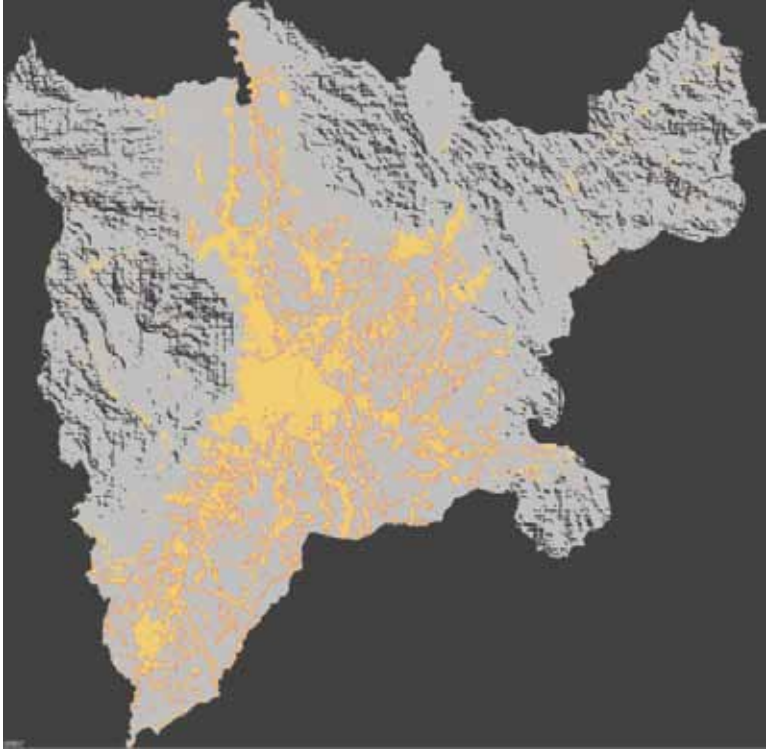
จากปี พ.ศ. 2495 ขึ้นไปจะมีค่าสูง อาจะเนื่องมาจากเมืองยังไม่มี การพัฒนาความเป็นศูนย์กลางเกิดขึ้นใหม่มากนัก อย่างไรก็ตามหลังจากปี พ.ศ. 2523 เป็นต้นมา ได้มีการขยายตัวของเมืองออกจากศูนย์กลางไปสู่ บริเวณโดยรอบเป็นอย่างมาก เช่นในปี พ.ศ. 2529 ถูกกำหนดให้เป็นปี แห่งการท่องเที่ยวของประเทศไทย มีจำนวนนักท่องเที่ยวเข้ามาจำนวนมาก มีการอพยพของประชากรกรุงเทพฯ เข้ามาซื้อที่ดินและอาศัยอยู่ ในปีนี้มาก มีการกว้านซื้อที่ดินของนายทุนส่วนกลางมากทั้งในตัวเมือง ชนบท และจังหวัดใกล้เคียง และยังเป็นจุดเริ่มต้นของการขยายตัวของ อาคารสูงในเชียงใหม่ด้วย (ดวงจันทร์ อาภาวัชรุตม์ เจริญเมือง, 2541) และในระหว่างปี พ.ศ. 2531-2534 มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจแบบ ก้าวกระโดด (leapfrog development) พื้นที่เมืองขยายตัวออกไปอย่าง ไร้ทิศทางและปราศจากการควบคุม มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจาก การเกษตรไปเป็นที่อยู่อาศัยและการค้า มีศูนย์กลางเกิดขึ้นใหม่มากมาย ทั้งการค้า การธนาคาร การศึกษาและการสาธารณสุข ศูนย์กลางที่เกิดขึ้นใหม่มักจะเกาะติดกับบริเวณแนวดถนนเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากมีการ พัฒนาโครงข่ายเส้นทางคมนาคมขนส่งอย่างรวดเร็วในเชียงใหม่ในช่วง เวลานี้ และไม่มีการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินตามเส้นทางคมนาคม (ดวงจันทร์ อาภาวัชรุตม์ เจริญเมือง, 2548) เมื่อพิจารณาปัจจัยทาง ด้านถนน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวในการทดลองครั้งที่สองมี ค่า 52 ซึ่งสูงกว่าการทดลองครั้งแรก (31) แสดงว่าถนนมีบทบาทต่อ กระบวนการกลายเป็นเมืองสูงมาก (Xialou *et al.* 2009)

จากผลการจำลองพบว่าค่า *Lee Sallee* จากชุดข้อมูลปี พ.ศ. 2495-2549 มีค่า 0.28 ซึ่งสูงกว่าชุดข้อมูลปี พ.ศ. 2495-2543 เล็กน้อย (0.25) และค่าที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการจัดลองกับข้อมูลความละ เเอียดต่ำไปจนถึงข้อมูลละเอียดปานกลางค่อนข้างจะคงที่กว่าข้อมูลชุด แรก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ชุดข้อมูล พ.ศ. 2520-2549 สามารถใช้ในการ

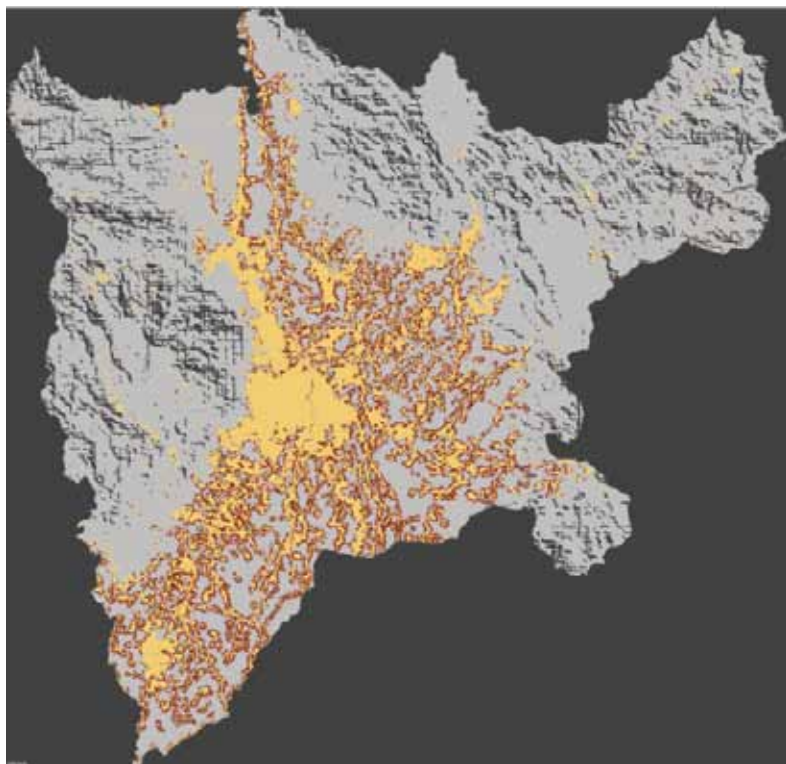
ศึกษากระบวนการกลายเป็นเมืองได้ดีกว่าชุดข้อมูลปี พ.ศ. 2495-2543 ค่าสัมประสิทธิ์จากการขยายตัวของเมืองที่ได้จากการทดลองครั้งสุดท้าย (Diff:13, Brd: 100, Sprd: 73, Slp: 3, RG: 52) ได้นำไปใช้ในการคาดการณ์การขยายตัวของพื้นที่เมือง ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำงานของ SLEUTH (Xialou *et al.*, 2009)

ความหนาแน่นของพื้นที่เมืองเชียงใหม่เพิ่มขึ้นอย่างมากในระหว่างปี พ.ศ. 2532-2543 และอาจจะเพิ่มสูงสุดได้ถึง 100 หมายความว่า จะมีการใช้ที่ดินอยู่เพียงประเภทเดียวในพื้นที่ทั้งหมด สำหรับ ENN อธิบายระยะห่างระหว่างศูนย์กลางการใช้ที่ดินเมืองแต่ละประเภท เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าพื้นที่เมืองมีการแตกย่อยออกไปได้อีกหลายส่วนตามกิจกรรมการใช้ที่ดินแต่ละประเภท ผลการจำลองพบว่าโมเดลสามารถปรับเข้ากับลักษณะดังกล่าวได้ดี ระยะห่างระหว่างจุดภาพต่างๆ จะสั้นลงไปตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ค่า MSI เพิ่มขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2520-2532 และค่อยๆ ลดลง แสดงว่ารูปร่างของพื้นที่เมืองเปลี่ยนไปตามระยะเวลาที่เปลี่ยนไป ค่าความหนาแน่นของเมืองในปี พ.ศ. 2549 เพิ่มขึ้นกว่าเดิมมาก เนื่องจากค่า PD มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ แสดงให้เห็นว่าพื้นที่เมืองจะมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นได้อีก ค่า LPI เพิ่มสูงที่สุดถึง 52 แสดงว่าจุดภาพที่เปลี่ยนไปเป็นพื้นเมืองมีการรวมกลุ่มกันหนาแน่นขึ้นมากกว่าเดิม ส่วนค่า ENN ระหว่างกลุ่มสั้นลงแสดงว่าพื้นเมืองมีการเกาะกลุ่มกันมากขึ้นกว่าเดิม (Xialou *et al.* 2009) จำนวนภาพที่ได้จากกระบวนการจำลองขึ้นอยู่กับการกำหนดเวลาเริ่มต้นและเวลาในอนาคตที่ต้องการทราบไว้ในไฟล์ Scenario ที่จะใช้ในกระบวนการจำลอง สำหรับการจำลองพื้นที่เมืองในอนาคตในการศึกษารั้งนี้ ได้ใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2534 เป็นปีเริ่มต้น คาดการณ์ไปจนกระทั่งปี พ.ศ. 2559 ทำให้ได้ภาพจำลอง จำนวน 25 ภาพ เช่น รูปที่ 15-16 คือภาพที่ได้จากการจำลองการขยายตัวของพื้นที่เมืองในปี พ.ศ. 2550-2559 ซึ่งสามารถแปลงกลับเข้าสู่ระบบ

ประมวลผลภาพข้อมูลดาวเทียม หรือระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการคำนวณพื้นที่และเพื่อการจัดทำเป็นแผนที่การขยายตัวของเมืองได้ลง



รูปที่ 15 ผลการจำลองการขยายตัวของพื้นที่เมืองปี พ.ศ. 2550
ที่มา: Xialon *et al.*, 2009.



รูปที่ 16 ผลการจำลองการขยายตัวของพื้นที่เมืองปี พ.ศ. 2559

ที่มา: Xialou *et al.*, 2009.

5.3 สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

แผนที่ภูมิประเทศ ภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลดาวเทียมสามารถนำมาใช้ในการศึกษาพลวัตการใช้ที่ดินของเมืองเชียงใหม่ได้ดีมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลดาวเทียมมีความสามารถในการติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในบริเวณกว้างได้รวดเร็ว สม่ำเสมอ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการสำรวจภาคพื้นดินโดยผู้ใช้นำมาปรับปรุง

ข้อมูลให้เหมาะสมก่อนการวิเคราะห์ จึงจะสามารถจำแนกประเภทการใช้ที่ดินและวัดความเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้แม่นยำ ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม ได้แก่ ความละเอียดของจุดภาพ สภาพภูมิประเทศ ฤดูกาลที่บันทึกภาพ และความหลากหลายของสิ่งปกคลุมดิน และกิจกรรมการใช้ที่ดินของมนุษย์ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการปลอมปนระหว่างการใช้ที่ดินแต่ละประเภท ลดความถูกต้องของการจำแนกประเภทข้อมูล (Sangawongse, 1996; Lebel *et al.* 2007)

การวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 5 TM ปี พ.ศ. 2532 ซึ่งเป็นช่วงที่กำลังมีการพัฒนาความเป็นเมืองเกิดขึ้นมาก จะพบที่ว่างที่เกิดจากการเตรียมการก่อสร้างรอบๆ ตัวเมือง และพื้นที่รกร้างว่างเปล่าค่อนข้างมาก เช่นบริเวณป่าเสื่อมโทรม ซึ่งเห็นได้ชัดเจนบริเวณที่มีการก่อสร้างเชื่อมแม่กวังอุดมธารา อำเภออดอยสะเกิด ผลการจำแนกข้อมูลจากช่วงคลื่นที่ 1-7 ให้ผลลัพธ์ค่อนข้างดีกว่าช่วงคลื่นอื่นๆ ที่คัดเลือกมาจำแนก พื้นที่เมืองแยกตัวออกจากพื้นที่อื่นๆ ได้ดีพอสมควร โดยให้ความถูกต้องประมาณ 92% การคำนวณพื้นที่เมืองในปีนี้อาจจะต่ำกว่าความเป็นจริงไปบ้าง เนื่องจากไปปลอมปนกับพื้นที่รกร้าง และพื้นที่โล่ง โดยเฉพาะบริเวณที่กำลังสร้างบ้านจัดสรร นอกจากนี้ยังพบน้ำขังและร่องรอยการเผาเศษฟางในไร่นาเขตอำเภอสันทราย และสวนลำไยในเขตอำเภอสาร์ภี การจำแนกข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 7 ETM+ ปี พ.ศ. 2543 มีการแบ่งแยกระหว่างการใช้ที่ดินแต่ละประเภทดีมาก เนื่องจากเป็นดาวเทียมที่ได้รับการปรับปรุงความคมชัดของเครื่องวัดบนดาวเทียม ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันกับข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 5 TM ปี พ.ศ. 2549 เนื่องจากการบันทึกในฤดูกาลเดียวกัน ยกเว้น พื้นที่เมืองปี พ.ศ. 2549 มีการกระจายค่อนข้างมาก ผลการจำแนกข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 5 TM ปี พ.ศ. 2552 จากช่วงคลื่นองค์ประกอบหลักที่ 1-2 ให้ความถูกต้องรวมของการจำแนก 99% พื้นที่เมืองแยกตัว

ออกมาดีมาก ทั้งในเขตตัวเมือง และบริเวณตัวอำเภอโดยรอบ มีพื้นที่ประมาณ 137 ตารางกิโลเมตร พบการปลอมปนระหว่างพื้นที่เมืองกับพื้นที่นาแล้งเล็กน้อย สามารถแยกป่าไม่ผลัดใบออกจากป่าผลัดใบได้ค่อนข้างดี แม้ว่าจะมีค่าสะท้อนแสงคล้ายคลึงกันมากเนื่องจากเป็นฤดูฝน พบพื้นที่นาแล้งน้อยลง เกษตรกรเริ่มทำการเพาะปลูกพืชบ้าง พบการปลอมปนระหว่างสวนผลไม้และที่อยู่อาศัยในชานเมือง การปลอมปนระหว่างสวนผลไม้และป่าเต็งรัง การปลอมปนระหว่างสวนผลไม้กับพืชไร่

การใช้ที่ดินในเขตผังเมืองรวมเชียงใหม่ปัจจุบัน (ณ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2552) มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างมากมาย โดยเฉพาะพื้นที่เมือง/สิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นจากเดิมมาก คือเพิ่มขึ้นจาก 13 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2495 เป็น 137 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2552 โดยมีการกระจายไปรอบข้างอย่างไม่เป็นระเบียบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางทิศเหนือ ทิศใต้ และทิศตะวันออกของตัวเมือง ส่วนทางทิศตะวันตกก็มีข้อจำกัดเรื่องสภาพภูมิประเทศ จึงไม่ค่อยมีการขยายตัวของเมืองไปทางทิศตะวันตก จากการไปสำรวจภาคสนามหลายครั้ง พบว่ามีการก่อสร้างที่อยู่อาศัยประเภทบ้านจัดสรรเกิดขึ้นอย่างมากมาย เพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้นทั้งในเขตเมืองเอง และที่มาจากการอพยพจากต่างถิ่นเข้ามาอยู่อาศัย (กานต์ชนก ประภาศวุฒิสรา, 2552) สิ่งที่น่าเป็นห่วงคือการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรให้เป็นที่อยู่อาศัย นอกจากจะทำให้ผลผลิตข้าวและการเกษตรอย่างอื่นลดลงแล้ว ยังอาจส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้อีกมากมาย

ระหว่างปี พ.ศ. 2532-2543 ความหนาแน่นของพื้นที่เมืองเชียงใหม่เพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งตกอยู่ในช่วงที่เชียงใหม่มีการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจแบบก้าวกระโดด (2532-2535) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sangawongse (1996) และกรมโยธาธิการและผังเมือง (2525) ในระหว่างปี พ.ศ. 2543-2552 พื้นที่เมือง/สิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ในช่วงนี้

ประชากรในพื้นที่ศึกษามีจำนวนเพิ่มขึ้น (สำนักงานสถิติจังหวัดเชียงใหม่, 2547) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ กานต์ชนก ประกาศวุฒิสาร (2552) โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน บริเวณถนนนิมมานเหมินท์ ระหว่าง ปี พ.ศ. 2542-2545 และพบว่ามี การใช้พื้นที่ในเขตเมืองเชียงใหม่ค่อนข้างแออัด มีพื้นที่ที่ถูกใช้ในการ สร้างสิ่งปลูกสร้างต่างๆ มากมาย โดยจะถูกใช้ไปในเชิงธุรกิจเป็นส่วน มาก ทำให้พื้นที่ที่เป็นสีเขียวในเมืองเชียงใหม่ นั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด จากตารางที่ 3 จะเห็นว่า การใช้ที่ดินด้านเกษตรในเขตผังเมืองรวม เชียงใหม่ในช่วงปี พ.ศ. 2543-2549 ลดลงประมาณ 26 ตารางกิโลเมตร อาจจะเนื่องมาจากถูกเปลี่ยนแปลงให้เป็นที่อยู่อาศัยมากขึ้น การใช้ ที่ดินป่าไม้ค่อนข้างคงที่ มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตามฤดูกาลระหว่าง ป่าผลัดใบและป่าไม่ผลัดใบมากกว่าการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่อื่นๆ

การนำข้อมูลดาวเทียมมาใช้ในการศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน นอกจากจะต้องใช้เวลาในการรวบรวมข้อมูลหลายช่วงเวลาแล้ว จำเป็นต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นอย่างดี เพื่อให้ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความ ถูกต้องยิ่งขึ้นควรที่จะเลือกประเภทของข้อมูลดาวเทียม จำนวนช่วง คลื่นที่เหมาะสมและใช้วิธีการจำแนกข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ และควรนำ เอาข้อมูลอื่นๆ มาร่วมวิเคราะห์ด้วย เช่น ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

จากผลการจำลองการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ในอนาคต (พ.ศ. 2549-2559) โดยแบบจำลอง SLEUTH พบว่าการขยายตัวของพื้นที่ เมือง/สิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นมาก รูปร่างของพื้นที่เมืองเปลี่ยนไปตามระยะเวลาที่เปลี่ยนไป ค่า *PD* มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเพิ่มขึ้น สูงสุดในปี พ.ศ. 2549

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SLEUTH มีข้อได้เปรียบอย่างมากในการศึกษาการขยายตัวของเมืองและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นแบบกริดจึงมีความสามารถในการวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลดาวเทียมเชิงตัวเลขได้ทันที (Jantz, *et al.* 2003) ข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่ง คือ ผู้วิเคราะห์สามารถมองเห็นภาพรูปแบบของการขยายตัวของเมืองได้ในระหว่างกระบวนการจำลอง (Li and Yeh, 2000) การคาดการณ์การขยายตัวของเมืองโดยใช้ แบบจำลอง SLEUTH ช่วยให้การอธิบายกระบวนการทางด้านกายภาพและการพัฒนาทางพื้นที่ (land development) ได้ดีมาก แต่ SLEUTH มีข้อจำกัดคือไม่สามารถอธิบายหรือให้รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะของจำนวนประชากร คริวเรือนที่อยู่ในหน่วยพื้นที่ ตลอดจนพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยได้ อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์ที่ดินในเชิงใหม่ควรทำการศึกษาอย่างต่อเนื่อง และควรขยายพื้นที่ศึกษาให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งแอ่งเชิงใหม่-ลำพูน เพื่อจะได้ให้ทราบถึงแนวโน้มและทิศทางของการขยายตัวของเมืองเชิงใหม่ และเมืองบริวารได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำมาจัดทำเป็นแผนที่การใช้ที่ดินได้หลายมาตราส่วน ตามวัตถุประสงค์ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนเมือง สถาปัตยกรรมเมือง หรือการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินสามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ได้

ในการศึกษาครั้งต่อไป ได้กำหนดแนวทางหลักไว้ คือ (1) การแปลงภาพข้อมูลที่ได้จากการจำลองในปีต่างๆ ที่ตรงกับเหตุการณ์สำคัญที่เกิดขึ้นในเมืองและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ร่วมกับชั้นข้อมูลอื่นๆ เช่น โครงข่ายของถนน ซึ่งน่าจะเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์เรื่องการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความสัมพันธ์กับลักษณะทางด้านวัฒนธรรม เศรษฐกิจ และด้านประชากร และ (2) การขยายผลการศึกษาไปยังเมืองลำพูนและเชียงรายซึ่งเป็นเมืองที่ได้รับการขับเคลื่อนให้มีการพัฒนาภายใต้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 10

บรรณานุกรม

- กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย.2525. เอกสารประกอบการวางแผนและจัดทำผังเมืองรวมเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่.
- กานต์ชนก ประกาศศุภมิตร. 2552. การเคลื่อนไหวของประชาสังคมในเมืองเชียงใหม่ ต่อประเด็นปัญหาที่เกิดจากความเป็นเมือง ระหว่างปี พ.ศ.2540-พ.ศ.2551. วิทยานิพนธ์สังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและรัฐประศาสนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- คณะกรรมการจัดทำหนังสือ “กำแพงเมืองเชียงใหม่”. 2529. กำแพงเมืองเชียงใหม่. เชียงใหม่: ทัพยนตรการพิมพ์.
- ธเนศวร เจริญเมือง. 2543. เชียงใหม่ก้าวสู่สหัสวรรษใหม่. เชียงใหม่ก้าวสู่ศตวรรษที่ 21, เชียงใหม่: ศูนย์ศึกษาปัญหาเมืองเชียงใหม่.
- ดวงจันทร์ อภาวัชรุตม์ เจริญเมือง.2541. เมืองและการผังเมืองในประเทศไทย. เชียงใหม่: โรงพิมพ์มิ่งเมือง.
- ดวงจันทร์ อภาวัชรุตม์ เจริญเมือง.2548. เมืองยั่งยืนในเชียงใหม่: แนวคิดและประสบการณ์ของเมืองในหุบเขา. เชียงใหม่: โรงพิมพ์แสงศิลป์.
- นวลศิริ วงศ์ทางสวัสดิ์. 2528. ชุมชนโบราณในเขตล้านนา. เชียงใหม่: ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สมพร สง่าวงศ์. 2552. การสำรวจจากระยะไกลในการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินและการประยุกต์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานสถิติจังหวัดเชียงใหม่, 2547. สมุดรายนสถิติจังหวัด พ.ศ. 2547. สำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร.
- Candau, J. 2000. Calibrating a cellular automaton model urban growth in a timely manner. In *Proceedings of the 4th International Conference on Integrating Geographic Information Systems and Environmental Modeling*. (Bolder: University of Colorado)
- Clarke, K. C., S. Hoppen. and L. Gaydos.1996. Methods and techniques for rigorous calibration of a Cellular Automaton model of urban growth. *Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating Geographic Information Systems and Environmental Modeling*, January 21-25th, Santa Fe, NM.

- Clarke, K. C., S. Hoppen, and L. Gaydos.1997. "A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area" *Environment and Planning B: Planning and Design* 24: 247-261.
- Clarke, K. C. and L. Gaydos.1998. "Loose coupling a Cellular Automaton model and GIS: Long-term growth prediction for San Francisco and Washington/ Baltimore". *International Journal of Geographical Information Science* 12 (7): 699-714.
- Clarke, K. C. 2002. Land Use Change Modeling Using SLEUTH. *Proceedings LUCC training workshop*. National Taiwan University, Taiwan. 15-19 December 2002.
- Jantz, C. A., Goetz, S. J., and Shelley, M .K. 2003. "Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore/Washington metropolitan area". *Environment and Planning B*. 31: 251–271.
- Lebel, L., D. Thaitakoo, S. Sangawongse, and D.Huaisai. (2007). "Views of Chiang Mai: the Contributions of Remote Sensing to Urban Governance and Sustainability". Chapter10 in M. Netzbund, C. Redman, and W. Stefanov. (Ed). *Applied Remote Sensing for Urban Planning, Governance and Sustainability*. Springer-Verlag.
- Lebel, L. 2009. *Critical States: Environment Challenges to Development in Monsoon Southeast Asia*. In Louis Lebel et al edititon. Malaysia: Vinlin Press Sdn Bhd.
- Lo, C. P., and X. J. Yang. 2002. "Drivers of land-use/land-cover changes and dynamic modeling for the Atlanta, Georgia Metropolitan Area". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 68 (10): 1073-1082.
- Renard, R. D. 1997."Chiang Mai and its Environment". *Symposium on Populations, Health and the Environment*, Department of Geography, Chiang Mai University.
- Sangawongse, S.1995. "Landscape Change Detection in a Tropical Monsoon of Northern Thailand Using LANDSAT TM Data: Application in the Chiang Mai Basin". *Asian-Pacific Remote Sensing Journal* 821: 59-70.

- Sangawongse, S.1996. *"Landscape Change Detection in the Chiang Mai Area: An Appraisal from Remote Sensing, GIS and Cartographic Data Developed for Monitoring Applications"*. Doctoral dissertation, Department of Geography and Environmental Science, Monash University, Clayton, Victoria, Australia.
- Sangawongse S, C. H. Sun, and B. W Tsai. 2005. "Urban growth and land cover change in Chiang Mai and Taipei: results from the SLEUTH model". *Proceedings of MODSIM 2005, the International Congress on Modeling and Simulation of Australia and New Zealand*, Melbourne, Australia.
- Sangawongse S. 2006. "Land-Use/Land-Cover Dynamics In Chiang Mai : Appraisal from Remote Sensing, GIS and Modeling Approaches". *CMU Journal* 5 (2): 243-254.
- Silva, E. A, and Clarke, K. C. 2002. "Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto". *Computers, Environment and Urban System* 26s: 525-552.
- Wara-Aswapatti, P. 1991. "Image processing technique for urban and rural land use monitoring in northern Thailand". *Journal of Thai Geosciences* 1: 59-63.
- White, R. and Engelen, G. 1997. "Cellular automata as the basis of integrated dynamic of regional analysis". *Environment and Planning B. Planning and Design* 24: 235-246.
- Xialou Zhou, Yi-Chen, W. and Sangawongse, S. 2009. "Prediction Urbanization Process using SLEUTH and Its Temporal Accuracy Evaluation". ESRI Asia-Pacific User Conference (Plenary paper), 20-21 Jan, Suntec City, Singapore.
- Yap Kioe Sheng and Lebel, L. 2009. "Incomplete Urbanization". Louis Lebel, Anond Snidvongse, Arthur C-T Chen and Rajesh Daniel ed. *Critical States: Environmental Challenges to Development in Monsoon Southeast Asia*. Malaysia: Vinlin Press Sdn.Bhd.
- Yarnasarn, S.1985. *Land-use patterns and land-use changes in Chiang Mai, northern Thailand*. Doctoral dissertation, Columbia University.

เว็บไซต์ (Websites):

<http://chiangmai.nso.go.th/chmai/hots/stat1.htm>

<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/ncgia.html>