

ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของเมือง
จากภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน การใช้ที่ดินประเภทเมือง
และความหนาแน่นประชากรบริเวณเมืองเชียงใหม่
Relationship among Urban Expansion from Nighttime Light
Satellite Imageries, Urban Land Use, and Population
Density around Chiang Mai City

อธิวัชร สังข์จันทราพร* และอริศรา เจริญปัญญาเนตร

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Athiwath Sungjuntaraphon* and Arisara Charoenpanyanet

Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University,

Huay Keaw Road, Suthep, Mueng, Chiang Mai 50200

บทคัดย่อ

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของเมืองจากภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน การใช้ที่ดินประเภทเมือง และความหนาแน่นประชากร มีวัตถุประสงค์การศึกษา คือ (1) เพื่อติดตามการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่จากภาพถ่ายแสงไฟช่วงเวลากลางคืน และ (2) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของเมือง การใช้ที่ดินประเภทเมืองและความหนาแน่นประชากร โดยเลือกศึกษารายอำเภอเมืองเชียงใหม่และอำเภอโดยรอบในปี พ.ศ. 2543, 2548, 2553 และ 2556 วิธีการศึกษาเป็นการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟในเวลากลางคืนจาก Operational Linescan System ที่เป็นตัวแทนของแต่ละปีมาจำแนกช่วงค่าการสะท้อนตามระดับความเป็นเมือง ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ถูกนำมาจำแนกการใช้ที่ดินประเภทเมือง และข้อมูลความหนาแน่นประชากรถูกนำมาทำแผนที่แสดงความหนาแน่นประชากรรายอำเภอ จากนั้นจึงใช้สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันมาหาความสัมพันธ์ระหว่างกัน โดยผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ที่มีความเป็นเมืองสูงหรือเมืองศูนย์กลางจากภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนมีค่าการสะท้อนระหว่าง 54-63 โดยมีทิศทางการขยายตัวออกจากเมืองเชียงใหม่ไปทางทิศใต้ และนำผลการศึกษาดังกล่าวไปหาความสัมพันธ์กับการใช้ที่ดินและความหนาแน่นประชากรรายอำเภอทั้ง 4 ปี ด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่าการขยายตัวของเมืองจากภาพถ่ายแสงไฟช่วงเวลากลางคืนมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับการใช้ที่ดินประเภทเมืองและความหนาแน่นประชากรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีค่าระดับการตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.894 และ 0.615 ตามลำดับ

*ผู้รับผิดชอบบทความ : athiwath420@gmail.com

คำสำคัญ : การขยายตัวของเมือง; ภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน; การใช้ที่ดินประเภทเมือง; ความหนาแน่นประชากร; เมืองเชียงใหม่

Abstract

The study of “Relationship among urban expansion from night time light satellite imageries, urban land use, and population density” aims to (1) monitor urban expansion of Chiang Mai city from nighttime light satellite imageries, (2) find relationship among urban expansion, urban land use, and population density. The study areas are in Chiang Mai city and surrounding areas in 2000, 2005, 2010 and 2013. Nighttime light satellite imageries from the Operational Linescan System (OLS) of each year were extracted digital number of urban land use. Landsat data were used to classify urban land use in the same area and population density data from the Bureau of Registration Administration, Administrative Department were reclassified and created population density map. Pearson’s correlation coefficient was selected to analyze relationship among urban expansion, urban land use, and population density. The results showed that digital number range of the urban areas is 54-63 and urban expansion is from central urban areas to the south part. Relationship among urban expansion, urban land use, and population density in 4 years with Pearson’s correlation coefficient revealed that there is a significant ($p < 0.05$) positive correlation among urban expansion and urban land use ($R^2 = 0.894$) and population density ($R^2 = 0.615$).

Keywords: urban expansion; night time light satellite imageries; urban land use; population density; Chiang Mai city

1. บทนำ

ช่วงเวลา 35 ปี ตั้งแต่ในปี พ.ศ. 2518 ถึงปี พ.ศ. 2553 ประเทศในโลกรวมทั้งสามหรือประเทศกำลังพัฒนามีประชากรเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก และผลจากการเพิ่มประชากรส่งผลให้เกิดการกลายเป็นเมืองมากขึ้นในประเทศเหล่านี้ โดยเฉพาะการขยายตัวของเมือง การเปลี่ยนแปลงด้านสังคม เศรษฐกิจ และการเมือง ประเทศไทยถูกจัดให้อยู่ในประเทศโลกที่สาม และจังหวัดเชียงใหม่ถือได้ว่าเป็นจังหวัดที่มีขนาดใหญ่และมีความเจริญเป็นอันดับ 2 ของประเทศไทย การขยายตัวของเมืองเชียงใหม่ในช่วงแรกมีการขยายตัวในแนวราบไปตามสองฝั่งถนนมุ่งสู่เขตชานเมือง แต่ต่อมา

ได้เกิดการขยายตัวของเมืองในแนวตั้งแทน เนื่องจากประชาชนไม่สะดวกที่จะเดินทางเข้ามาทำงานและใช้บริการต่าง ๆ ซึ่งยังคงอยู่ในเมือง [1] การสำรวจของสำนักงานสถิติแห่งชาติในปี พ.ศ. 2553 พบว่าจังหวัดเชียงใหม่มีประชากร จำนวน 1,590,327 คน ในปี พ.ศ. 2543 และ 1,737,041 คน ในปี พ.ศ. 2553 นอกจากนี้ชุมชนและกิจกรรมทางเศรษฐกิจยังมีการขยายเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดเป็นชุมชนเมืองขนาดใหญ่ที่เป็นทั้งเมืองสำหรับการท่องเที่ยว ศูนย์การค้า ที่อยู่อาศัยที่หนาแน่น การคมนาคมขนส่ง การบริการ ความหลากหลายด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล

(remote sensing, RS) มาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถใช้ศึกษาเชิงพื้นที่ได้ในบริเวณกว้างและติดตามการใช้ที่ดินได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งนิยมใช้ข้อมูลในย่านตามองเห็นเป็นหลัก ได้แก่ มีการนำเอาข้อมูลจากดาวเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่เพื่อการขยายตัวของเมืองในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อการกัดเซาะชายฝั่งในจังหวัดภูเก็ต และการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตผังเมืองรวมของจังหวัดเชียงใหม่ จากข้อมูลดาวเทียมหลายช่วงเวลา [1-3] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม นอกจากข้อมูลในย่านตามองเห็น ภาพดาวเทียมยังมีข้อมูลที่บันทึกค่าการสะท้อนของแสงไฟช่วงเวลากลางคืน (night time light, NTL) จากเครื่อง OLS (Operational Linescan System) บนดาวเทียมอู่ตุนิยมวิทยา DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยภาพแต่ละปีที่ได้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลของแสงไฟช่วงเวลากลางคืนจากหลาย ๆ ช่วงของปี โดยจุดภาพแต่ละภาพจะมีตัวเลขที่เป็นค่าการสะท้อนของแสงไฟ (DN) อยู่ระหว่าง 0 ถึง 63 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 กิโลเมตร และเก็บข้อมูลค่าการสะท้อนของแสงไฟทั่วโลก ซึ่งสามารถมาใช้ในการตรวจสอบความเป็นเมืองและติดตามการขยายตัวของเมือง เช่น การนำข้อมูลภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนจาก DMSP/OLS มาทำแผนที่การขยายตัวของเมืองในประเทศอินเดีย จีน ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของเมืองในระดับภูมิภาคและระดับโลก ระหว่างปี พ.ศ. 2535 ถึงปี พ.ศ. 2551 [5] หรือการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของขอบเขตเมืองในโลก โดยเป็นการศึกษาการวิเคราะห์ขนาดและขอบเขตของพื้นที่ที่มีแสงไฟจากทั่วโลก [6] และนอกจากนี้ยังมีการนำเอาข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาการขยายตัวของเมืองในประเทศจีนระหว่างปี พ.ศ. 2553 ถึงปี พ.ศ.

2551 [7] จากทั้ง 3 งานที่นำมายกตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าข้อมูลภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถนำมาใช้ติดตามการขยายตัวของเมืองได้เช่นกัน

อย่างไรก็ตาม การศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาการขยายตัวของเมืองในระดับภูมิภาค ผู้ศึกษาจึงได้เล็งเห็นความสำคัญที่จะนำเอาข้อมูลดังกล่าวมาใช้เป็นทางเลือกในการติดตามการขยายตัวของเมืองในระดับท้องถิ่น โดยเป็นการศึกษาหาขอบเขตของเมืองบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ทั้งหมด 4 ปี ได้แก่ ปี พ.ศ. 2543, 2548, 2553 และ 2556 เป็นต้น และนำมาหาความสัมพันธ์กับพื้นที่เมืองและข้อมูลความหนาแน่นประชากรเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของขอบเขตของเมืองที่ได้จากภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน ก่อนที่จะนำเอาข้อมูลขอบเขตของเมืองทั้ง 4 ปี มาใช้ในการติดตามการขยายตัวของเมืองในจังหวัดเชียงใหม่ และนอกจากนี้ยังเป็นการศึกษาเพื่อหาข้อจำกัดของข้อมูลดังกล่าวว่ามีข้อจำกัดในการนำมาใช้ในการติดตามการขยายตัวของเมืองอย่างไร

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อติดตามการขยายตัวของเมืองเชียงใหม่จากภาพถ่ายแสงไฟช่วงเวลากลางคืนช่วงปี พ.ศ. 2543 ถึงปี พ.ศ. 2556

2.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของเมืองจากภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนการใช้ที่ดินประเภทเมือง และความหนาแน่นประชากร

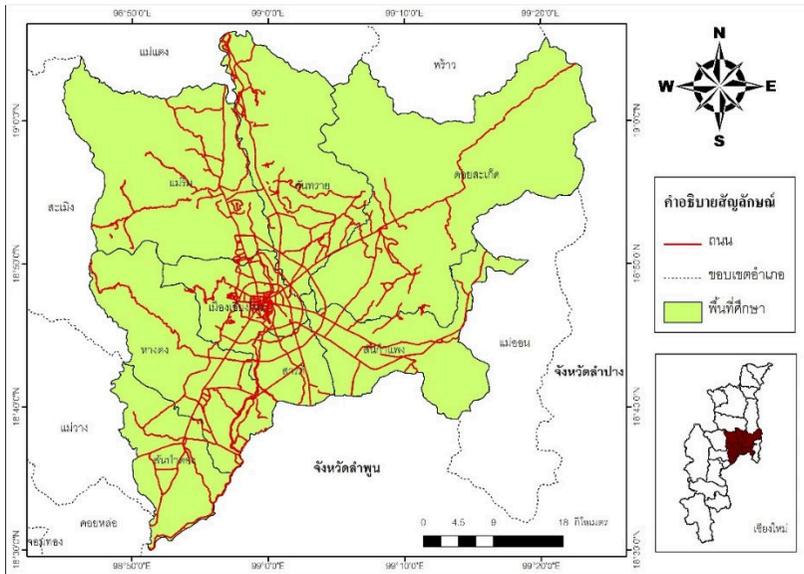
3. วิธีการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

การศึกษารังนี้ได้อาศัยศึกษาในพื้นที่อำเภอเมืองเชียงใหม่และอำเภอใกล้เคียง ได้แก่ สารภี สันกำแพง ดอยสะเก็ด สันทราย แม่ริม ทางดง และ สันป่า

ตอง (รูปที่ 1) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่พบค่าการสะท้อนของแสงไฟสูงและมีการเกาะกลุ่ม

ของแสงไฟขนาดใหญ่เมื่อสังเกตจากภาพถ่ายแสงไฟจากดาวเทียมช่วงเวลากลางคืน



รูปที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1 ภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน 4 ปี ได้แก่ปี พ.ศ. 2543, 2548, 2553 และ 2556 จากเครื่อง OLS ของประเทศสหรัฐอเมริกา บนดาวเทียมอดุณิยามวิทยา DMSP ของประเทศสหรัฐอเมริกา มาใช้ในการหาขอบเขตของเมือง โดยภาพถ่ายแต่ละปีได้บันทึกค่าเฉลี่ยของแสงไฟช่วงเวลากลางคืนที่ได้จากการเก็บรวบรวมค่าสะท้อนของแสงไฟช่วงเวลากลางคืนจากหลาย ๆ ช่วงของปี ซึ่งแต่ละภาพจะมีค่าการสะท้อนของแสงไฟ (ค่า DN) อยู่ระหว่าง 0 ถึง 63

3.2.2 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-7 ETM วันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2543 Landsat-5 TM วันที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2548 วันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2553 และ Landsat-8 OLI วันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2556 จาก U.S. Geological Survey เพื่อนำมาจำแนกการใช้ที่ดินประเภทเมือง สำหรับนำไปใช้ในการหาความ

สัมพันธ์กับการขยายตัวของเมืองจากภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน

3.2.3 สถิติประชากรรายอำเภอปี พ.ศ. 2543, 2548, 2553 และ 2556 จากสำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง เพื่อนำไปใช้ในการหาความสัมพันธ์กับการขยายตัวของเมืองจากภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 การจำแนกพื้นที่เมืองและการติดตามการขยายตัวของเมือง

ภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนเป็นภาพที่มีค่าการสะท้อนอยู่ระหว่าง 0 ถึง 63 การจำแนกเริ่มต้นจากการกำหนดค่าการสะท้อนของแสงไฟช่วง 0 ออกไปเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ไม่ใช่เมือง จากนั้นจึงนำเอาพื้นที่ที่มีค่าการสะท้อนของแสงไฟระหว่าง 1 ถึง 63 มาจำแนกช่วงเพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่เมือง

ศูนย์กลางหรือพื้นที่ที่มีความเป็นเมืองสูงของเมือง เชียงใหม่ในปี พ.ศ. 2543, 2548, 2553 และ 2556 โดยการสุ่มเลือกช่วงค่าการสะท้อนของแสงไฟมา 1 ช่วง เพื่อนำมาจำแนกภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลา กลางคืนทั้ง 4 ปี และดูว่าขอบเขตของเมืองศูนย์กลางที่ได้จากการจำแนกจากช่วงค่าสะท้อนที่เลือกมา มีการขยายตัวจากปีก่อนหน้าหรือไม่ หลังจากนั้นจึงได้นำช่วง ของค่าการสะท้อนของแสงไฟช่วงที่ดีที่สุดไปใช้เป็นตัวแทนในการจำแนกขอบเขตพื้นที่ที่มีความเป็นเมือง สูงของปี พ.ศ. 2543, 2548, 2553 และ 2556 เพื่อนำไปใช้ในการติดตามการขยายตัวของเมืองในจังหวัด เชียงใหม่ ส่วนค่าสะท้อนที่อยู่นอกเหนือจากช่วงค่าที่ นำไปติดตามการขยายตัวของเมืองจะดูนำไปพิจารณา แบ่งระดับความเป็นเมืองในลำดับที่รองลงมา 3 ระดับ ได้แก่ ระดับปานกลาง น้อย และไม่ใช้พื้นที่เมือง โดยพิจารณาจากช่วงค่าการสะท้อนที่ทำให้พื้นที่ของระดับ ความเป็นเมืองนั้น ๆ เพิ่มขึ้น ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการ นำเอาข้อมูลขอบเขตของเมืองที่มีระดับความเป็นเมือง สูงทั้ง 4 ปี ไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ กับการใช้ที่ดินประเภทเมืองและความหนาแน่น ประชากรต่อไป

3.3.2 การจำแนกข้อมูลการใช้ที่ดิน ประเภทเมืองและวิเคราะห์ความหนาแน่นประชากร

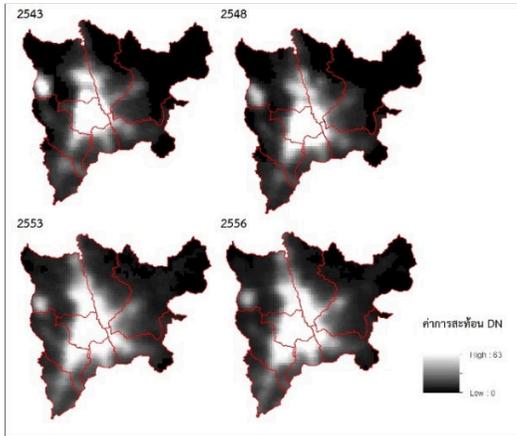
(1) การจำแนกข้อมูลการใช้ที่ดิน ประเภทเมือง โดยการนำเอาภาพดาวเทียม Landsat มาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการจำแนกแบบกำกับดูแล (supervised classification) ซึ่งเป็นการเลือกตัวอย่าง พื้นที่ (training area) ในการจำแนกประเภทการใช้ ที่ดิน 2 ประเภท ได้แก่ การใช้ที่ดินประเภทเมือง และ การใช้ที่ดินที่ไม่ใช่เมือง การเลือกตัวอย่างพื้นที่เป็นการ เลือกตัวอย่างโดยพิจารณาร่วมกับภาพถ่ายทางอากาศ ในเวลาที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งการใช้ที่ดินประเภทเมือง ประกอบไปด้วยสิ่งปลูกสร้างถาวร ได้แก่ ที่อยู่อาศัย

ห้างสรรพสินค้า โรงงาน เป็นต้น ส่วนการใช้ที่ดิน ประเภทที่ไม่ใช่เมือง ได้แก่ พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่ เกษตรกรรม พื้นที่ป่า พื้นที่โล่ง เป็นต้น และได้ ตรวจสอบความถูกต้องในการจำแนกโดยนำผลลัพธ์ จากการแปลงการใช้ที่ดินไปซ้อนทับกับข้อมูลภาพถ่าย ทางอากาศปีเดียวกันจาก Google Earth และแก้ไข ข้อมูลที่ไม่ตรงกันเพื่อให้ข้อมูลการใช้ที่ดินมีความ ถูกต้องมากที่สุด

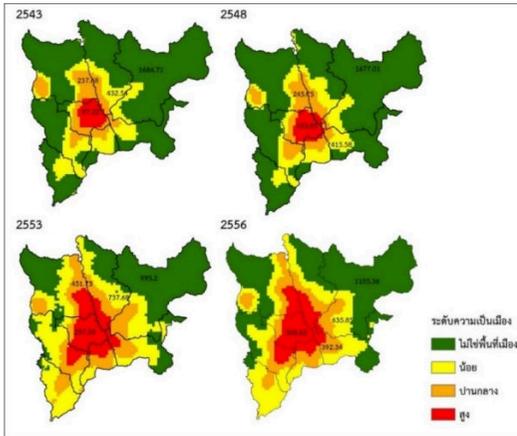
(2) การวิเคราะห์ความแน่นประชากร รายอำเภอ โดยการใช้ข้อมูลสถิติประชากรของปี พ.ศ. 2543, 2548, 2553 และ 2556 มาวิเคราะห์ความหนา แน่นประชากรรายอำเภอ โดยความหนาแน่นประชากร รายอำเภอเท่ากับจำนวนประชากรรายอำเภอ (คน) ต่อ พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)

3.3.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่าง การขยายตัวของเมืองจากภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลา กลางคืน การใช้ที่ดินประเภทเมือง และความหนาแน่น ประชากร

หลังจากจำแนกขอบเขตพื้นที่เมืองศูนย์กลาง จากค่าการสะท้อนของแสงไฟช่วงเวลากลางคืน แล้วได้นำเอาข้อมูลข้างต้นไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) กับการใช้ที่ดิน ประเภทเมืองและความหนาแน่นประชากรเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของขอบเขตเมืองจากการจำแนกค่า การสะท้อนที่ได้ โดยในการหาความสัมพันธ์กับความ หนาแน่นประชากรเป็นการนำเอาข้อมูลสถิติความ หนาแน่นประชากรรายอำเภอมาหาความสัมพันธ์กับ พื้นที่เมืองศูนย์กลางจากภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลา กลางคืน และในส่วนของหาความสัมพันธ์กับข้อมูล การใช้ที่ดินประเภทเมืองเป็นการนำเอาข้อมูลพื้นที่ เมืองรายอำเภอจากภาพดาวเทียม Landsat ไปหา ความสัมพันธ์กับพื้นที่เมืองที่ได้จากช่วงค่าการสะท้อน ของแสงไฟจากภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน



รูปที่ 2 ค่าการสะท้อนของแสงไฟ (DN) ในพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ. 2543, 2548, 2553 และ 2556



รูปที่ 3 ระดับความเป็นเมืองของเชียงใหม่และพื้นที่โดยรอบช่วง พ.ศ. 2543, 2548, 2553 และ 2556

4. ผลการศึกษา

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของเมืองจากภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน การใช้ที่ดินประเภทเมืองและความหนาแน่นประชากรบริเวณเมืองเชียงใหม่ครั้งนี้ สามารถแบ่งผลการศึกษาออกเป็น 3 ประเด็น ดังนี้

4.1 รูปแบบการขยายตัวของเมืองจากภาพ -

ถ่ายแสงไฟช่วงเวลากลางคืน

ผลของการจำแนกขอบเขตเมืองจากภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน (รูปที่ 2) เพื่อหาช่วงของค่าการสะท้อนของแสงไฟช่วงที่ดีที่สุดที่สามารถเป็นตัวแทนของขอบเขตเมืองศูนย์กลางหรือพื้นที่ที่มีความเป็นเมืองสูงของปี พ.ศ. 2543, 2548, 2553 และ 2556 พบว่าพื้นที่ที่ไม่มีความเป็นเมืองมีช่วงค่าการสะท้อน 0-10 พื้นที่ที่มีความเป็นเมืองน้อยมีช่วงค่าการสะท้อน 11-24 พื้นที่ที่มีความเป็นเมืองปานกลางมีช่วงค่าการสะท้อน 25-53 และพื้นที่ที่มีความเป็นเมืองสูงหรือเป็นเมืองศูนย์กลางมีช่วงค่าการสะท้อน 54-63 (ตารางที่ 1) และผลจากการจำแนกเมืองจากช่วงค่าการสะท้อนข้างต้นแสดงให้เห็นถึงการขยายตัวของเมืองในบริเวณพื้นที่ศึกษาที่มีการขยายตัวของเมืองเพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้า (รูปที่ 3)

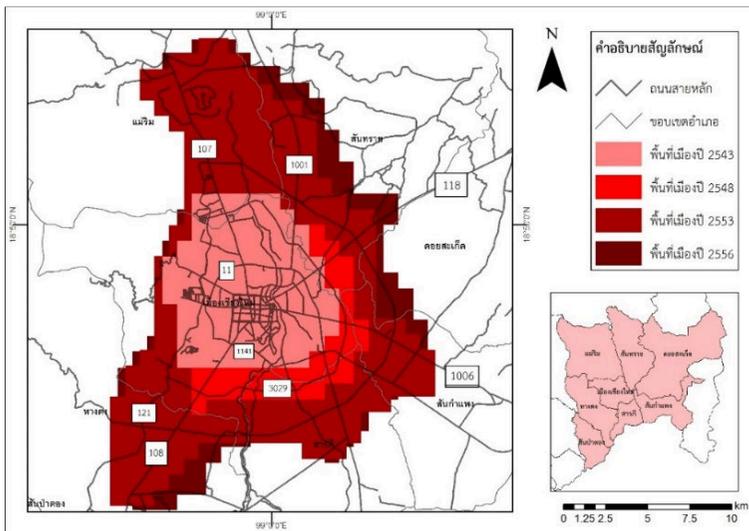
ค่าการสะท้อนของแสงไฟช่วงเวลากลางคืนจากภาพดาวเทียมระหว่าง 54 ถึง 63 ถูกนำมาใช้เป็นตัวแทนของเมืองศูนย์กลาง ผลที่ได้คือ ในปี พ.ศ. 2543 ขอบเขตของเมืองยังมีพื้นที่ไม่มากนัก (87.22 ตร.กม.) ซึ่งพื้นที่เมืองทั้งหมดยังคงอยู่ในเขตของอำเภอเมืองเชียงใหม่และเมื่อนำขอบเขตของเมืองปี พ.ศ. 2543 มาวิเคราะห์ร่วมกับเส้นทางคมนาคมสายหลัก พบว่าขอบเขตของเมืองยังคงอยู่ในพื้นที่บริเวณถนนวงแหวนรอบที่ 1 (ถนนหลวงหมายเลข 11 และ 1141) และมีขอบเขตเมืองไปตามถนนทางด้านทิศเหนือมุ่งหน้าสู่อำเภอแม่ออน หลังจากนั้น 5 ปีต่อมา คือ ปี พ.ศ. 2548 จะสังเกตเห็นได้ว่าขอบเขตของเมืองมีการขยายตัวจากเดิม (103.85 ตร.กม.) ไปในทิศตะวันออกครอบคลุมพื้นที่บริเวณอำเภอเมืองเชียงใหม่ นอกจากนี้ขอบเขตของเมืองได้เพิ่มจากเดิมไปตามเส้นทางถนนที่มุ่งสู่อำเภอสันทราย (ถนนหลวงหมายเลข 118) และขอบเขตเมืองทางด้านทิศใต้ได้มีการขยายจากเดิมไปตามสองฝั่งถนนวงแหวนรอบสอง (ถนนหลวงหมายเลข 3029) และถนน

ที่มุ่งหน้าสู่อำเภอหาดง (ถนนหลวงหมายเลข 108) ซึ่งสาเหตุที่ไม่มีการขยายตัวของเมืองมาทางบริเวณทิศตะวันตกเนื่องจากทางด้านทิศตะวันตกมีภูมิประเทศเป็นภูเขาสูง เป็นพื้นที่ของอุทยานสุเทพ-ปุย ต่อมาในปี พ.ศ. 2553 พบว่าขอบเขตของเมืองมีขนาดเพิ่มขึ้นประมาณสามเท่าของ 5 ปีก่อน (297.58 ตร.กม.) นับได้ว่าเมืองมีการขยายตัวของขอบเขตไปในทิศทางเดิมอย่างรวดเร็ว ซึ่งขอบเขตของเมืองได้มีการขยายตัวไปตามสองฝั่งถนนที่มุ่งหน้าสู่อำเภอสันกำแพงมากขึ้นกว่าเดิม (ถนนหลวงหมายเลข 1006) ส่วนการขยายตัวของเมืองไปตามสองฝั่งถนนในทางทิศเหนือ ได้แก่ เส้นทางที่มุ่งหน้าสู่อำเภอแมริม (ถนนหลวงหมายเลข 107) อำเภอสันทราย (ถนนหลวงหมายเลข 1001) มี

การเพิ่มมากขึ้นของขอบเขตเมืองอย่างเห็นได้ชัดจาก 5 ปีที่แล้วในบริเวณนี้ ส่วนการขยายตัวของเมืองไปตามสองฝั่งถนนทางทิศใต้มุ่งหน้าสู่อำเภอหาดง (ถนนหลวงหมายเลข 108 และ 121) และขอบเขตของเมืองในปี พ.ศ. 2553 ยังมีการขยายตัวไปตามสองฝั่งของถนนวงแหวนรอบที่สามบริเวณอำเภอสารภี (ถนนหลวงหมายเลข 121) อย่างเห็นได้ชัด และต่อมาในปี พ.ศ. 2556 การขยายตัวของเมืองมีการชะลอตัวลงโดยมีพื้นที่ที่เมืองเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (308.62 ตร.กม.) ทำให้ขอบเขตของเมืองในปี พ.ศ. 2556 เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2553 ไปในทิศทางเดิมเพียงเล็กน้อยในอำเภอสันกำแพง ดอยสะเก็ด และอำเภอหาดง (รูปที่ 4)

ตารางที่ 1 ค่าการสะท้อนของแสงไฟช่วงเวลากลางคืนในแต่ละระดับความเป็นเมืองในบริเวณเมืองเชียงใหม่

ระดับความเป็นเมือง	ค่าการสะท้อนของแสงไฟช่วงเวลากลางคืน	พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)			
		ปี พ.ศ. 2543	ปี พ.ศ. 2548	ปี พ.ศ. 2553	ปี พ.ศ. 2556
ไม่มีความเป็นเมือง	0-10	1684.71	1677.01	955.2	1105.36
ความเป็นเมืองน้อย	11-24	432.54	415.58	737.68	635.85
ความเป็นเมืองปานกลาง	25-53	237.68	245.75	451.73	392.34
ความเป็นเมืองสูง	54-63	87.22	103.85	297.58	308.62



รูปที่ 4 แผนที่แสดงการขยายตัวของเมืองศูนย์กลางจากภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน

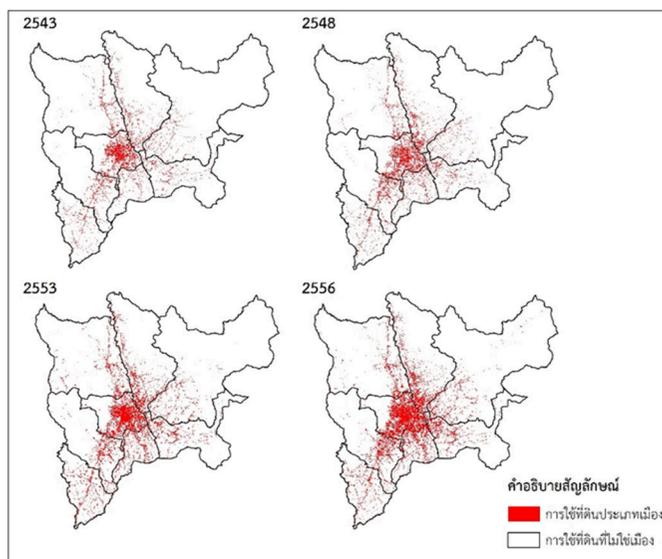
4.2 การจำแนกการใช้ที่ดินประเภทเมืองและการแบ่งช่วงความหนาแน่นประชากร

ข้อมูลที่ได้จากการจำแนกขอบเขตของเมืองจากค่าการสะท้อนของแสงไฟภูณำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับการใช้ที่ดินประเภทเมืองและความหนาแน่นประชากร เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการนำเอาช่วงค่าการสะท้อนของแสงไฟระหว่าง 54 ถึง 63 มาใช้เป็นตัวแทนในการติดตามการขยายตัวของเมืองศูนย์กลาง

4.2.1 การใช้ที่ดินประเภทเมือง

ข้อมูลการใช้ที่ดินประเภทเมืองที่ได้จากการจำแนกจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ปี พ.ศ. 2543,

2548, 2553 และ 2556 (รูปที่ 5) โดยใช้เทคนิคการจำแนกแบบกำกับดูแล จะเห็นได้ว่าปี พ.ศ. 2543 เมืองมีพื้นที่เพียง 97.25 ตร.กม. ต่อมาในปี พ.ศ. 2548 พื้นที่มีขนาดมากขึ้นจาก 5 ปีก่อน เป็น 115.37 ตร.กม. ในปี พ.ศ. 2553 เมืองมีพื้นที่เพิ่มขึ้นเป็น 167.32 ตร.กม. และในปี พ.ศ. 2556 พื้นที่มีการเพิ่มขึ้นเป็น 202.90 ตร.กม. จะเห็นได้ว่าการการใช้ที่ดินประเภทเมืองมีพื้นที่เพิ่มขึ้นจากอดีต โดยการจำแนกการใช้ที่ดินประเภทเมืองจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat สามารถบอกได้เพียงขอบเขตของเมืองเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าบริเวณใดเป็นขอบเขตของเมืองศูนย์กลางหรือบริเวณที่มีการกระจุกตัวของประชากรหนาแน่น



รูปที่ 5 การใช้ที่ดินประเภทเมืองจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat พ.ศ.2543, 2548, 2553 และ 2556

4.2.2 ความหนาแน่นประชากร

ข้อมูลความหนาแน่นประชากรเป็นการนำเอาข้อมูลประชากรรายอำเภอของปี พ.ศ. 2543, 2548, 2553 และ 2556 มาแบ่งช่วงความหนาแน่นประชากร (รูปที่ 6) โดยจะสังเกตได้ว่าความหนาแน่นประชากรของแต่ละอำเภอมิแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากอดีตมีเพียงบริเวณในเขตอำเภอเมืองเชียงใหม่เท่านั้นที่ความหนาแน่นประชากรลดลงจากอดีต อาจเกิดจาก

การเคลื่อนย้ายของประชากรในเมืองออกสู่ไปยังบริเวณอำเภอใกล้เคียง

4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการขยายตัวของเมืองกับการใช้ที่ดินประเภทเมืองและความหนาแน่นประชากร

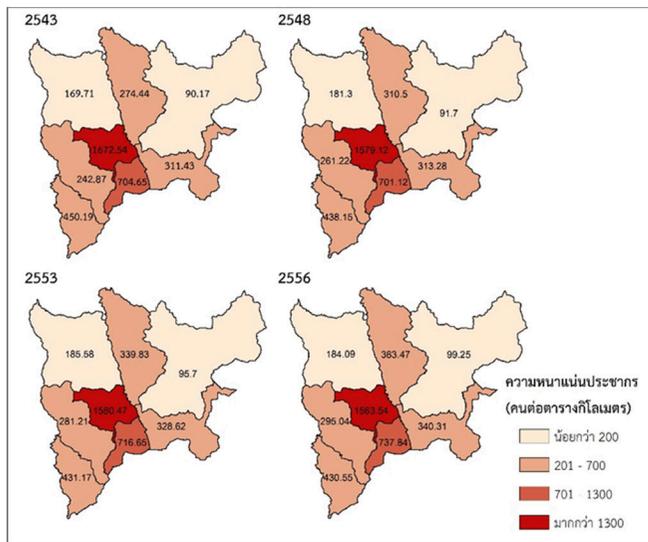
4.3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการขยายตัวของเมืองกับการใช้ที่ดินประเภทเมือง

การหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เมือง

จากภาพดาวเทียม Landsat กับพื้นที่เมืองจากการจำแนกค่าการสะท้อนของแสงไฟ (ตารางที่ 2 และรูปที่ 7) โดยข้อมูลพื้นที่เมืองจากภาพดาวเทียม Landsat เป็นพื้นที่ของการใช้ที่ดินประเภทเมืองที่อยู่ในบริเวณที่มีความเป็นเมืองสูงจากภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน ผลของความสัมพันธ์ที่ได้จากทั้งสองตัวแปร

พบว่ามีความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ภายในอยู่ที่ 0.946 (ตารางที่ 3 และรูปที่ 8) มีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีค่า R² เท่ากับ 0.894

4.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการขยายตัวของเมืองกับความหนาแน่นประชากร



รูปที่ 6 ความหนาแน่นประชากรรายอำเภอ พ.ศ. 2543, 2548, 2553 และ 2556

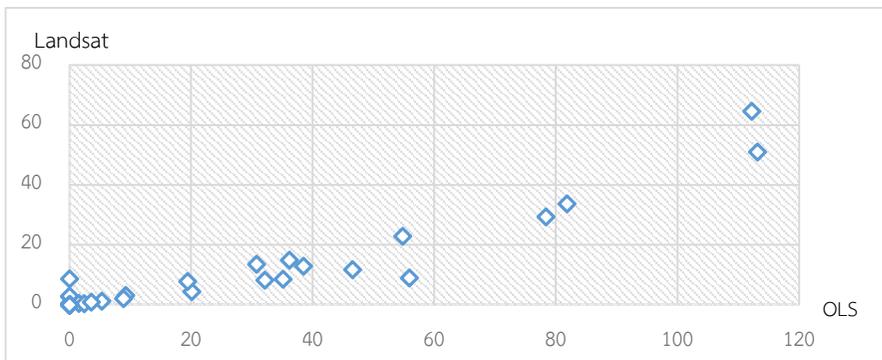
ตารางที่ 2 พื้นที่เมืองจากภาพดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน พื้นที่เมืองในเขตเมืองศูนย์กลางจากดาวเทียม Landsat และความหนาแน่นประชากร

อำเภอ	พื้นที่เมือง (ตารางกิโลเมตร)								ความหนาแน่นประชากร (คนต่อตารางกิโลเมตร)			
	จากภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟ ช่วงเวลากลางคืน				จากดาวเทียม Landsat ในเขตเมืองศูนย์กลาง							
	ปี พ.ศ. 2543	ปี พ.ศ. 2548	ปี พ.ศ. 2553	ปี พ.ศ. 2556	ปี พ.ศ. 2543	ปี พ.ศ. 2548	ปี พ.ศ. 2553	ปี พ.ศ. 2556	ปี พ.ศ. 2543	ปี พ.ศ. 2548	ปี พ.ศ. 2553	ปี พ.ศ. 2556
เมืองเชียงใหม่	78.34	81.80	113.16	112.22	29.38	33.72	51.02	64.65	1672.54	1579.12	1580.47	1563.54
ดอยสะเก็ด	0.00	0.00	0.00	0.00	2.73	0.52	8.66	2.91	90.17	91.70	95.70	99.25
แม่ริม	5.30	1.51	55.88	46.57	1.24	0.47	9.00	11.76	169.71	181.30	185.58	184.09
สันป่าตอง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	450.19	438.15	431.17	430.55
สันกำแพง	0.00	2.40	20.09	19.42	0.00	0.39	4.43	7.85	311.43	313.28	328.62	340.31
สันทราย	3.58	9.25	38.48	54.79	0.95	3.15	12.92	22.90	274.44	310.50	339.83	363.47
หางดง	0.00	0.08	32.13	36.16	0.00	0.02	8.24	14.88	212.87	261.22	281.21	295.04
สารภี	0.00	8.87	35.12	30.75	0.00	2.10	8.60	13.50	704.65	701.12	716.65	737.84

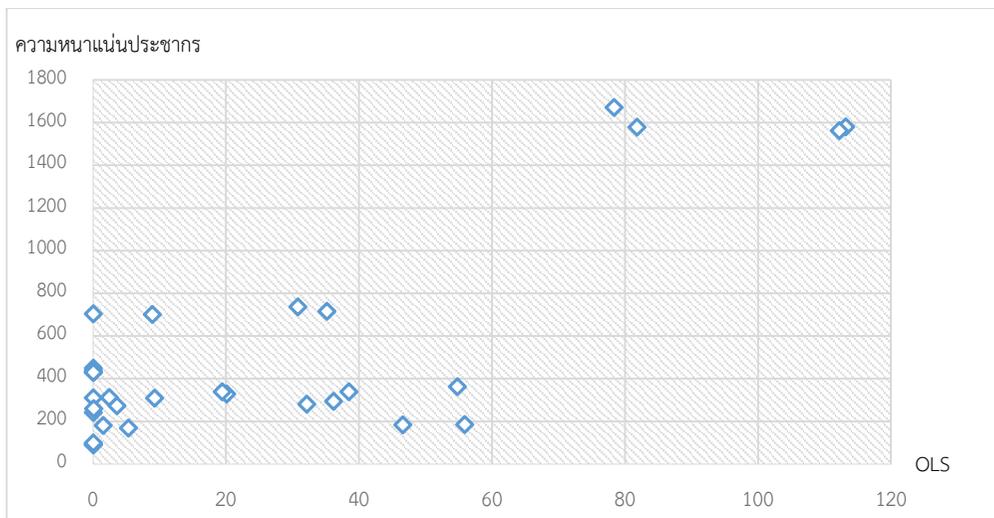
ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในระหว่างพื้นที่เมืองจากดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนกับพื้นที่เมืองจากดาวเทียม Landsat และความหนาแน่นประชากร

		พื้นที่เมือง		ความหนาแน่นประชากร
		จากดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน	จากดาวเทียม Landsat	
พื้นที่เมืองจากดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน	Pearson correlation	1	0.946**	0.784**
	Sig. (2-tailed)	0	0	0
	N	32	32	32

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของพื้นที่เมืองระหว่างดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนและดาวเทียม Landsat



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เมืองจากดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนและความหนาแน่นประชากร

การหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นประชากรรายอำเภอกับพื้นที่เมืองในแต่ละอำเภอที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน (ตารางที่ 2) ผลการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นประชากรรายอำเภอกับพื้นที่เมืองจากภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนในแต่ละอำเภอมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในอยู่ที่ 0.784 (ตารางที่ 3) มีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีค่า R^2 เท่ากับ 0.615

5. วิจัยณ์

ผลการศึกษาที่ได้จากการติดตามการขยายตัวของเมืองในจังหวัดเชียงใหม่โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนมีความสอดคล้องกับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของเมืองกับการใช้ที่ดินประเภทเมืองเป็นการวิเคราะห์โดยใช้พื้นที่เมืองของทั้งสองตัวแปรมาหาความสัมพันธ์ทางสถิติ ซึ่งทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์กัน แต่เมื่อสังเกตจากพื้นที่เมืองจากภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนกับภาพถ่ายดาวเทียม Landsat จะเห็นได้ว่าพื้นที่เมืองมีค่าน้อยกว่ามาก ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ความละเอียดของจุดภาพที่แตกต่างกัน โดยภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนมีความละเอียดของจุดภาพ 1 กิโลเมตร ส่วนภาพถ่ายดาวเทียม Landsat มีความละเอียดของจุดภาพ 30 เมตร ด้วยเหตุนี้จึงเป็นผลทำให้พื้นที่เมืองจากภาพถ่ายดาวเทียมทั้งสองมีค่าที่แตกต่างกันมากไปด้วย อย่างไรก็ตาม รูปแบบการขยายตัวของเมืองจากภาพถ่ายดาวเทียมทั้งสองยังคงมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการขยายตัวของเมืองในประเทศจีนโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน ระหว่างปี พ.ศ. 2553 ถึงปี พ.ศ. 2551 [7] ที่พบว่าขอบเขตของเมือง

จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat กับภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนมีแนวโน้มการขยายตัวของเมืองไปในทิศทางเดียวกัน แต่มีขอบเขตของเมืองที่ไม่เท่ากัน

การหาขอบเขตของเมืองจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนโดยการใช้ค่าการสะท้อนของแสงไฟมาใช้ในการจำแนกเพื่อหาขอบเขตของพื้นที่เมือง พบว่าไม่สามารถนำช่วงค่าการสะท้อนของแสงไฟช่วงเวลากลางคืนจากต่างพื้นที่หรือในแต่ละประเทศมาใช้เป็นตัวแทนของเมืองในพื้นที่ศึกษาได้ เนื่องจากพื้นที่เมืองหรือพื้นที่ชานเมืองในพื้นที่อื่น ๆ จะมีช่วงค่าการสะท้อนของแสงไฟที่นำมาเป็นตัวแทนของพื้นที่เมืองหรือชานเมืองที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการจำแนกพื้นที่เมืองและชานเมืองจากภาพถ่ายแสงไฟจากดาวเทียมช่วงเวลากลางคืนที่พบว่าในทางตอนเหนือของประเทศจีน มีช่วงค่าการสะท้อนของแสงไฟที่เป็นพื้นที่เมืองอยู่ระหว่าง 57 ถึง 63 [9] แต่กับในประเทศโคลัมเบีย เปรู เอกวาดอร์ และโบลิเวีย มีช่วงค่าการสะท้อนของแสงไฟที่เป็นพื้นที่เมืองอยู่ระหว่าง 53 ถึง 63 [8] ในส่วนของพื้นที่เมืองในจังหวัดเชียงใหม่มีช่วงค่าการสะท้อนของแสงไฟที่เป็นพื้นที่เมืองอยู่ระหว่าง 54 ถึง 63

ผลการศึกษาทิศทางการขยายตัวของเมืองที่พบว่าเมืองเชียงใหม่มีการขยายตัวไปตามทิศต่าง ๆ ยกเว้นทิศตะวันตก เนื่องจากเป็นพื้นที่ภูเขา ที่สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าลักษณะภูมิประเทศไม่ว่าจะเป็นภูเขา แม่น้ำ ที่ราบ และเนินเขา ส่งผลต่อการขยายตัวของเมือง [4] และในส่วนปัจจัยทางด้านการเปลี่ยนแปลงและการปรับปรุงเทคโนโลยีในด้านการขนส่ง และสาธารณูปการต่าง ๆ เช่น ถนนวงแหวน ถนนรัศมี ทางด่วน ทางข้าม ทางลอด ฯลฯ ทำให้ประชาชนเดินทางไปมาได้สะดวกเปิดโอกาสให้มีการขยายตัวของเขตที่อยู่อาศัยรวมถึงโรงงานอุตสาหกรรมออกไปสู่เขตชานเมืองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามบริเวณ

สองฝั่งของถนน [4] ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ว่า การขยายตัวของเมืองในพื้นที่ศึกษามีการขยายไปตาม แนวสองฝั่งถนน โดยจะขยายไปยังบริเวณถนนวงแหวน และถนนที่มุ่งหน้าออกสู่พื้นที่ชานเมือง จนเมื่อเวลา ผ่านไปจึงทำให้บริเวณชานเมืองในอดีตมีความเป็น เมืองและมีกิจกรรมทางเศรษฐกิจเพิ่มมากขึ้น

ส่วนขอบเขตของเมืองที่เพิ่มมากขึ้นจากปีก่อน หน้าอย่างเห็นได้ชัด ส่งผลให้ประชากรในเมืองมีการ เพิ่มขึ้นและทำให้ความหนาแน่นของประชากรเพิ่มขึ้น ตามไปด้วย [4] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษารุ่นนี้ที่ ขอบเขตของเมืองจากภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนมีความสัมพันธ์กับจำนวนประชากร โดยพื้นที่ เมืองในแต่ละปีของแต่ละอำเภอเพิ่มขึ้นส่งผลให้ ประชากรและความหนาแน่นของประชากรในแต่ละ อำเภอของแต่ละปีเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

6. สรุป

การศึกษาการขยายตัวของเมืองจากภาพถ่าย ดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน โดยเป็นการนำเอาค่า การสะท้อนของแสงไฟมาหาพื้นที่เมือง พบว่าพื้นที่ที่มี ระดับความเป็นเมืองสูงมีช่วงค่าการสะท้อนระหว่าง 54-63 และมีพื้นที่เมืองเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยในช่วงปี พ.ศ. 2543-2548 เมืองมีพื้นที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ต่อมาในปี พ.ศ. 2553 พื้นที่เมืองมีการเพิ่มขึ้นอย่าง มากประมาณ 3 เท่า และในปี พ.ศ. 2556 มีการเพิ่มขึ้น ของพื้นที่เมืองเพียงเล็กน้อย โดยการขยายตัวของเมือง มีการขยายไปตามบริเวณสองฝั่งถนนและไม่มีการ ขยายตัวไปทางด้านทิศตะวันตกซึ่งมีลักษณะภูมิ ประเทศที่เป็นภูเขา

การศึกษาการใช้ที่ดินประเภทเมืองและ ประชากรในเมืองเชียงใหม่ สรุปได้ว่าการจำแนกการใช้ ที่ดินประเภทเมืองจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat พบว่า มีการขยายตัวของเมืองเพิ่มขึ้นจากอดีตเช่นเดียวกับ

การขยายตัวของเมืองจากการจำแนกจากภาพถ่าย ดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน และมีรูปแบบของการ ขยายตัวของเมืองคล้ายคลึงกัน ด้านการศึกษาความ หนาแน่นประชากร (คนต่อตารางกิโลเมตร) บริเวณ รอบเมืองเชียงใหม่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นจากอดีต แต่ใน บริเวณเมืองเชียงใหม่ที่มีความหนาแน่นของประชากร ลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเคลื่อนย้ายของประชากรใน เมืองออกสู่ไปยังบริเวณอำเภอใกล้เคียง และเมื่อ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของเมือง จากภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืน การใช้ที่ดิน ประเภทเมืองและความหนาแน่นประชากร พบว่าเมื่อนำพื้นที่ของการใช้ที่ดินประเภทเมืองมาวิเคราะห์ ความสัมพันธ์โดยวิธีการทางสถิติกับพื้นที่เมืองจาก ภาพถ่ายแสงไฟช่วงเวลากลางคืน ผลของการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงบวก และมีค่า $R^2 = 0.894$ และเมื่อนำเอาความหนาแน่น ประชากรมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยวิธีการทางสถิติ กับการขยายตัวของเมือง ผลการวิเคราะห์ของทั้งสอง ตัวแปร พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกและมีค่า $R^2 = 0.615$ ทั้งนี้การศึกษารุ่นนี้อาจเป็นแนวทางหนึ่ง ที่นำไปใช้ในการติดตามการขยายตัวของเมืองในอนาคต

7. ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

การศึกษาเพื่อติดตามการขยายตัวของเมืองใน จังหวัดเชียงใหม่ สามารถเสนอแนะแนวทางในการนำ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนมาใช้ ประโยชน์ในด้านเมือง ดังนี้

7.1 ภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนจาก เครื่อง OLS ของประเทศสหรัฐอเมริกา บนดาวเทียม อุตุนิยมวิทยา DMSP ของประเทศสหรัฐอเมริกา มี ข้อจำกัดในด้านเวลา คือ เป็นดาวเทียมที่ประมวลผล ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 ถึงปี พ.ศ. 2556 แต่ภายหลังจากปี พ.ศ. 2556 ซึ่งผู้ที่สนใจอาจใช้ภาพจากเครื่อง VIIRS

(Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) บนดาวเทียม Suomi-NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership) ที่มีการบันทึกภาพทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืนมาใช้ดำเนินการต่อได้

7.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแสงไฟช่วงเวลากลางคืนเป็นภาพถ่ายที่มีความละเอียดของจุดภาพค่อนข้างหยาบ โดยมีค่าความละเอียดอยู่ที่ 1 กิโลเมตร ทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับติดตามขอบเขตของเมืองที่มีขนาดเล็ก ซึ่งในอนาคตอาจมีข้อมูลภาพถ่ายที่มีการบันทึกข้อมูลแสงไฟช่วงเวลากลางคืนของเมืองที่มีความละเอียดของจุดภาพที่ละเอียดกว่า ทำให้สามารถศึกษาในพื้นที่เมืองขนาดเล็กได้

8. รายการอ้างอิง

- [1] อัสฎางค์ โปราณานนท์, 2540, รวมบทความแนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาเมือง, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- [2] จิราพร กองวงศ์จันทร์, 2555, การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อการกัดเซาะชายฝั่ง จังหวัดภูเก็ต, สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- [3] สมพร สง่าวงศ์, 2552, พลวัตการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณเมืองเชียงใหม่และการคาดการณ์ความเป็นเมืองในอนาคตด้วย SLEUTH Model, ภูมิศาสตร์และการเปลี่ยนแปลงในล้านนา, ว.สังคมศาสตร์ 21: 119-169.
- [4] สุวลักษณ์ นาคยา, 2554, การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมและการวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่เพื่อการขยายตัวของเมืองในเขตเทศบาลเมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์, ภาควิชาการวางผังเมืองและสภาพแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [5] เสน่ห์ ญาณสา, 2555, ภูมิศาสตร์เมือง, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- [6] Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Kihn, E.A., Kroehl, H.W. and Davis, E.R., 1997, Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System, Photog. Eng. Remote Sens. 63: 727-734.
- [7] Liu, Z., Zhang, Q., Chunyang, H., Huang, Q. and Yang, Y., 2012, Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008, Landscape Urban Plan. 106: 62-72.
- [8] Álvarez-Berrios, N.L., Parés-Ramos, I.K. and Aide, T.M., 2012, Contrasting patterns of urban expansion in Colombia, Ecuador, Peru, and Bolivia between 1992 and 2009, Ambio. 42: 29-40.
- [9] Yi, K., Tani, H., Li, Q., Zhang, J., Guo, M., Bao, Y., Wang, X. and Li, J., 2014, Mapping and evaluating the urbanization process in Northeast China using DMSP/OLS nighttime light data sensors, Sensors (Basel) 14: 3207-3226.
- [10] Zhang, Q. and Seto, K.C., 2011, Mapping urbanization dynamics at regional and global scales using multi-temporal DMSP/OLS nighttime light data, Remote Sens. Environ. 115: 2320-2329.