วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 28 (ฉบับที่ 2) พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2566
BURAPHA SCIENCE JOURNAL Volume 28 (No.2) May – August 2023 บทความวิจัย

การติดตามปรากฏการณ์มลภาวะทางแสงในจังหวัดนครราชสีมา ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน

Monitoring Trends in Light Pollution in Nakhon Ratchasima Province Based on Nighttime Satellite Imagery

วรัญญา ศิลายศ และ ธัญญรัตน์ ไชยคราม*

Waranya Silayot and Thanyarat Chaiyakarm*

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences,Mahasarakham University

Received : 19 December 2022

Revised : 1 February 2023

Accepted : 16 February 2023

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์และติดตามการขยายตัวของมลภาวะทางแสงจากภาพถ่ายแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนในระหว่างปี 2013 – 2021 ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน (Night Time Light: NLT) ดาวเทียม Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi-NPP) ในระบบ Visible Infrared Imager Radiometer Suite (VIIRS) ด้วยหลักการจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) เปรียบเทียบกับหลักการจำแนกแบบไม่กำกับดูแล (Unsupervised Classification) ผลการจำแนกและติดตามสอดคล้องกันทั้งสองวิธี สามารถแบ่งระดับมลภาวะทางแสงได้ 5 ระดับ คือ ปริมาณความเข้มข้นของมลภาวะทางแสง ในระดับมากที่สุด มีค่า 18.17 – 86.01 ระดับมาก มีค่า 8.38 – 18.16 ระดับปานกลาง มีค่า 3.41 – 8.37 ระดับน้อย มีค่า 0.91 – 3.40 และระดับน้อยมาก มีค่า 0.01 – 0.90 ซึ่งจะพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ที่ได้รับมลภาวะทางแสงจะเป็นพื้นที่ในเขตเมือง ซึ่งมีพื้นที่ที่ได้รับมลภาวะทางแสงในระดับมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด และจะเพิ่มขึ้นในทุกช่วงปีเป็นขนาดพื้นที่ 39.93, 116.63, 353.05, 1,741.79 และ 81.55 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ โดยมีรูปแบบการขยายตัวของมลภาวะทางแสงไปตามเส้นทางคมนาคม โดยเฉพาะถนนมิตรภาพ ซึ่งเป็นถนนสายหลักที่เปรียบเสมือนประตูเข้าสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ตัดผ่านพื้นที่ตัวเมืองของจังหวัดนครราชสีมา และจะกระจุกตัวหนาแน่นมากในพื้นที่ใจกลางเมืองของจังหวัด หลังจากนั้นวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะทางแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนกับความหนาแน่นของประชากร ด้วยหลักการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น (Simple Linear Regression Analysis) โดยใช้สูตรของเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient) ที่นัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.4956 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง

คำสำคัญ : มลภาวะทางแสง ; ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน ; ลักษณะการใช้ที่ดินประเภทเมือง ; ความหนาแน่นของประชากร

Abstract

This article aimed to analyze and monitor expansion of light pollution from nighttime light (NLT) images during 2013 – 2021 in Nakhon Ratchasima province using nighttime satellite imagery from Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi-NPP), Visible Infrared Imager Radiometer Suite (VIIRS) based on supervised classification and compared to unsupervised classification. Classification and monitoring results of both methods are consistent. Light pollution could be classified into 5 levels, namely, the highest intensity of light pollution ranged from 18.17 - 86.01, the high intensity ranged from 8.38 - 18.16, the medium intensity ranged from 3.14 - 8.37, the low intensity ranged from 0.91 – 3.40, and the lowest intensity ranged from 0.01 – 0.90. It was found that urban areas were more likely to have light pollution at the highest, high, medium, low and the lowest intensity. Light pollution has intensified every year in the areas of 39.93, 116.63, 353.05, 1,741.79, and 81.55 square kilometers, respectively. The light pollution expansion followed transportation routes, especially Mittraphap Road, the main road considered as the gateway to the northeast region that passes through Nakhon Ratchasima, and was concentrated in the inner city of the province. The analysis of the relationship between nighttime light pollution and population density was conducted using simple linear regression analysis and Pearson's correlation coefficient. The statistical significance level was set at 0.05. According to the study, the coefficient of determination (R^2) light pollution and population density was 0.4956, showing a moderate level of relationship.

Keywords : light pollution ; nighttime light satellite imagery ; urban land use ; population density

***Corresponding author. E-mail** : cherry.mrtech@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันปัญหามลภาวะนับว่าเป็นปัญหาสำคัญและทวีความรุนแรงมากปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นในประเทศไทยหรือในพื้นที่เมืองใหญ่ๆ ไม่ว่าจะเป็นปัญหามลภาวะทางน้ำ มลภาวะทางอากาศ มลภาวะทางเสียง และมลภาวะทางแสง ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว โดยเกิดจากการผลิตในภาคเกษตรกรรมไปสู่ภาคการผลิตอุตสาหกรรม การอพยพย้ายถิ่นจากชนบทเข้าสู่เมือง ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของการคมนาคมขนส่ง การจราจร การก่อสร้างถนน การขยายตัวของพื้นที่อยู่อาศัย เพื่อรองรับการขยายตัวของเมือง (Kengchuwong, 2018) ซึ่งกิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้ ล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะแทบทั้งสิ้น ปัญหาที่เกิดจากมลภาวะทางแสง นอกจากจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์และสัตว์ โดยรบกวนวงจรชีวภาพภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต เช่น รบกวนวงจรการนอนหลับ การหาอาหาร และการอพยพย้ายถิ่นแล้ว ยังเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) เนื่องมาจากการเพิ่มการใช้ไฟฟ้าทุก ๆ 1 หน่วย(kWh) จะเพิ่มการปล่อย CO_2 ถึง 0.5610 กก. และจากการปล่อย CO_2 ในปริมาณมากนี้เอง เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการสะสมพลังงานความร้อนในชั้นบรรยากาศมาก และจะก่อให้เกิดเป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) จนสร้างเป็นผลกระทบและปัญหาอื่น ๆ ตามมาอีกด้วย (Youyuenyong, 2019). "Night Light" ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ หมายถึงการใช้ไฟฟ้า หรือแสงไฟในเวลากลางคืนของประชากรทั้งในภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม ภาคการท่องเที่ยว การคมนาคม กลุ่มธุรกิจต่าง ๆ ตลอดจนระบบไฟฟ้า สำหรับประเทศไทยเริ่มมีการใช้ไฟฟ้าอย่างแพร่หลายในช่วงปี 1961 – 1966 ยุคจอมพลสฤษดิ์ ธนะรัชต์ ซึ่งเป็นยุคที่เรียกได้ว่า “น้ำไหล ไฟสว่าง ทางสะดวก” ถึงแม้ว่าไฟฟ้าจะไม่ได้เป็นตัวชี้วัดปริมาณของกิจกรรมยามกลางคืนได้โดยตรง แต่ก็เป็นเครื่องมือตัวหนึ่งที่อำนวยความสะดวกให้การดำเนินกิจกรรมในช่วงเวลากลางคืนให้มีความคล่องตัวมากยิ่งขึ้น โดยสถิติการใช้ไฟในช่วงเวลากลางคืนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แม้มนุษย์จะได้รับประโยชน์หลายประการ จากการใช้แสงสว่างที่มนุษย์ประดิษฐ์และคิดค้นขึ้นเพื่อใช้ในเวลากลางคืน แต่ถึงอย่างไรก็ตามการใช้แสงไฟมากเกินไปย่อมจะส่งผลเสียและก่อให้เกิดเป็นมลภาวะทางแสงได้ สร้างผลกระทบและผลเสียทั้งต่อสุขภาพร่างกาย ระบบนิเวศ และสิ่งแวดล้อม มีงานวิจัยหลายฉบับ พบว่า ประมาณร้อยละ 83 ของประชากรโลกอาศัยอยู่ภายใต้ท้องฟ้าที่ปนเปื้อนด้วยแสงไฟ มลภาวะทางแสงนี้ปรากฏชัดเจนมากขึ้น เมื่อร้อยละ 60 ของประชากรยุโรปไม่สามารถมองเห็นทางช้างเผือกจากเมืองต่าง ๆ ได้ เนื่องจากท้องฟ้าที่เต็มไปด้วยมลภาวะทางแสง (Pengpeng Han *et al.,* 2014)

จังหวัดนครราชสีมา เป็นจังหวัดที่มีความสำคัญมากจังหวัดหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากเป็นศูนย์กลางความเจริญทุก ๆ ด้านและมีการพัฒนาจนเป็นฐานเศรษฐกิจหลักของประเทศ อีกทั้งการเป็นศูนย์กลางบริหารทางเศรษฐกิจ การเมือง สังคมและวัฒนธรรม ตลอดระยะเวลากว่า 2 ศตวรรษ ได้เกิดการเติบโตของเศรษฐกิจและสังคม จนทำให้มีการขยายตัวของเมือง ทั้งทางด้านกายภาพ เศรษฐกิจ และประชากร ดังนั้น จึงเป็นพื้นที่รองรับความเจริญในทุก ๆ ด้าน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่งผลให้เศรษฐกิจของจังหวัดนครราชสีมา มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ประชากรมีวิถีการดำเนินชีวิตที่แตกต่างไปจากเดิม กล่าวคือ มีประชากรจำนวนหนึ่งที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เมือง มักใช้ชีวิตและดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ในช่วงเวลากลางคืนมากพอ ๆ กับการใช้ชีวิตในช่วงเวลากลางวัน

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาและติดตามการขยายตัวของมลภาวะทางแสงจากภาพถ่ายแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนในช่วงปี 2013 – 2021 โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน VIIRS-DNB (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite-Day / Night Band) ดาวเทียม Suomi – NPP (Xiang , and Minghong T, 2017) โดยใช้เทคโนโลยีด้านการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing : RS) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) เป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์และติดตามมลภาวะทางแสง (Chalkias, Petrakis, Psiloglou, & Lianou, 2006) และหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อรูปแบบการขยายตัวของมลภาวะทางแสงไฟช่วงเวลากลางคืน โดยการใช้สมการการถดถอยเชิงเส้น (Simple Linear Regression Analysis) เพื่อใช้ในการติดตาม และวางแผนรับมือการขยายตัวของมลภาวะในอนาคต และเป็นแนวทางในการบริหารจัดการ และเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานในภาครัฐเพื่อพัฒนาเมืองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. <u>พื้นที่ศึกษา</u>

พื้นที่ศึกษา คือ จังหวัดนครราชสีมา เป็นจังหวัดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ตั้งอยู่ในภาคะวันออกเฉียงเหนือบนที่ราบสูงโคราช ตั้งอยู่ละติจูด 15 องศาเหนือ ลองจิจูด 102 องศาตะวันออก สามารถแสดงได้ดัง Figure 1 ครอบคลุมพื้นที่ 20,493.964 ตารางกิโลเมตร หรือ ประมาณ 12,808,728 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 12.12 ของพื้นที่ทั้งหมดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี 2021 มีจำนวนประชากร 2,634,154 คน ข้อมูลจากรายงานประจำปีของสำนักงานจังหวัดนครราชสีมา ปัจจุบันจังหวัดนครราชสีมามีการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการลงทุนของนักลงทุนเพิ่มมากขึ้น รวมถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรที่มีการอพยพเข้าเพื่อหาแหล่งงาน

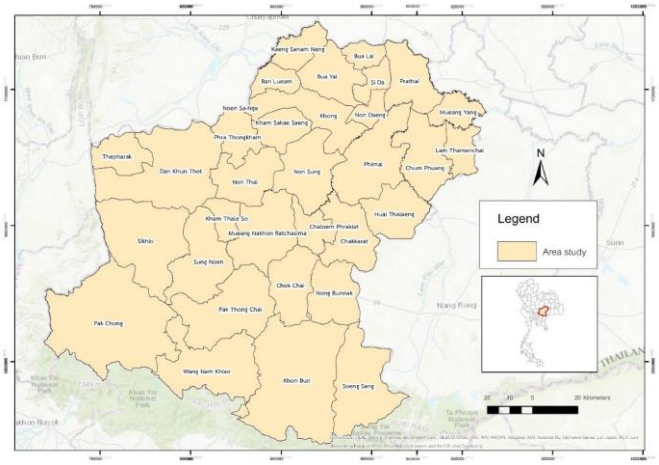

Figure 1 The Study Area

2. <u>การเก็บรวบรวมข้อมูลและขอบเขตการวิจัย</u>

สำหรับการศึกษา และการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการแบ่งช่วงเวลาในการศึกษาออกเป็น 2 ช่วงเวลา ในระยะเวลา 3 ปี คือ ปี 2013 2017และ 2021 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบแนวโน้มและการขยายตัวของแสง โดยแบ่งเป็น ในช่วงระหว่างปี 2013 - 2017 และระหว่างปี 2017 – 2021 และแบ่งรัศมีการขยายตัวของมลภาวะทางแสงจากพื้นที่ในเขตเมืองออกเป็น 3 ระดับ คือ ภายในรัศมี 20 กิโลเมตร 50 กิโลเมตรจากตัวเมือง และขนาดพื้นที่ทั้งจังหวัดนครราชสีมา โดยการแบ่งระดับรัศมีที่ใช้ในการศึกษา อ้างอิงจากงานวิจัยของ Prastyo, Herdiwijaya, (2019) และเหตุผลในการจำแนกระดับของรัศมีที่แตกต่างกัน เพื่อใช้ในเปรียบเทียบหาความสอดคล้องกันของพื้นในแต่ระดับของรัศมี คือ การศึกษาภายในรัศมี 20 กิโลเมตร เพื่อใช้จำแนกข้อมูลเชิงพื้นที่ในระดับตำบล ที่ระดับรัศมี 50 กิโลเมตร เพื่อใช้จำแนกข้อมูลเชิงพื้นที่ในระดับอำเภอ และขนาดพื้นที่ทั้งจังหวัดนครราชสีมา เพื่อใช้จำแนกข้อมูลเชิงพื้นที่ในภาพรวมของทั้งจังหวัดนครราชสีมา และนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มา เปรียบเทียบกันในแต่ละระดับและแต่ละวิธี เพื่ออำนวยความสะดวกในการลงพื้นที่สำรวจตรวจสอบความถูกต้อง

2.1 รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนปี 2013 2017 และปี 2021 จากดาวเทียม Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi-NPP) ในขอบเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา โดยเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ มิถุนายน และเดือนกันยายนของแต่ละปี เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงเทศกาลหรือการจัดงานแสงสีในช่วงเวลากลางคืนของพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการใช้แสงไฟในช่วงปรกติประจำวันของประชากรทำให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ด้วยการเขียนคำสั่งด้วยภาษาจาวาสคริปต์ (Java Script) ใช้งานร่วมกับ Google Earth Engine เพื่อดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งในการรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน จำนวนเดือนละ 28 – 30 ภาพ เพื่อหาค่าเฉลี่ยการใช้แสงในแต่ละวัน

2.2 ข้อมูลจำนวนประชากร ที่ได้จากการสำมะโนประชากรรายจังหวัดประจำปี 2021 ซึ่งเป็นข้อมูลระดับอำเภอที่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากสำนักงานสถิติจังหวัดนครราชสีมา เพื่อใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวของมลภาวะทางแสงไฟช่วงเวลากลางคืนกับความหนาแน่นของประชากรในจังหวัดนครราชสีมา

2.3 ชุดข้อมูลลักษณะการใช้ที่ดินจังหวัดนครราชสีมาปี 2015 2016 และ 2021 ของจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรกรและสหกรณ์ ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้อง จากความสัมพันธ์ของลักษณะการใช้ที่ดินร่วมกับการจำแนกแบบกำกับดูแล และการจำแนกแบบไม่กำกับดูแลเท่านั้น ซึ่งไม่ได้นับว่าการวิเคราะห์การใช้ที่ดินเป็นผลของการวิจัยแต่อย่างใด

3. <u>ขั้นตอนและกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล</u>

3.1 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนในขอบเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาได้จาก Google Earth Engine ด้วยการเขียนคำสั่งภาษาจาวาสคริปต์ (Java Script) ผ่านเว็บไซต์ https://earthengine.google.com เพื่อเข้าถึงข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนจากดาวเทียม Suomi National Polar - orbiting Partnership (Suomi-NPP) ในปี 2013 2017 และปี 2021 โดยการใช้ฟังก์ชัน *ee.Reducer.median()* เพื่อใช้ในการคอมโพสิทข้อมูล

ภาพถ่ายจากดาวเทียม (Time-series composite) ปรับแก้ และรวบรวมภาพที่จะนำมาใช้ในการศึกษา โดยการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต จากการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดของภาพกับระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบกับข้อมูลระบบบันทึกภาพ

3.2 ดำเนินการวิเคราะห์หาค่าปริมาณมลภาวะทางแสงด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน (Night Time Light: NLT) ด้วยดาวเทียม Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi-NPP) ในระบบ Visible Infrared Imager Radiometer Suite (VIIRS) ซึ่งแบ่งเป็น 2 หลักการ คือ 1) หลักการจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) ภายใต้หลักการ Minimum Distance Algorithm ซึ่งจะใช้วิเคราะห์ในพื้นที่รัศมีการแพร่กระจายของมลภาวะทางแสงจากพื้นที่ในเขตเมือง 50 กิโลเมตร และใช้ในการวิเคราะห์ภาพรวมทั้งจังหวัด เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ขนาดค่อนข้างใหญ่ การวิเคราะห์ด้วยการจำแนกแบบไม่กำกับดูแลอาจทำให้คลาดเคลื่อนได้สูง จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบหาค่าปริมาณมลภาวะทางแสงด้วย 2) หลักการการจำแนกแบบไม่กำกับดูแล (Unsupervised Classification) ภายใต้หลักการ K-Means Algorithm ในพื้นที่รัศมีการแพร่กระจายของมลภาวะทางแสงจากพื้นที่ในเขตเมือง 20 กิโลเมตร (Prastyo, Herdiwijaya, 2019) เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ไม่กว้างนักเหมาะสำหรับใช้ในการเปรียบมลภาวะทางแสงได้

3.3 สกัดค่ามลภาวะทางแสงด้วยเครื่องมือ Spatial Analysis Tools ด้วยฟังก์ชัน Extract Value to Point เพื่อแบ่งระดับมลภาวะทางแสงที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาออกเป็น 5 ระดับ คือ ระดับมากที่สุด ระดับมาก ระดับปานกลาง ระดับน้อย และระดับน้อยที่สุด ด้วยเทคนิคการแบ่งช่วงชั้นในรูปแบบ Natural breaks เพื่อแบ่งช่วงชั้นของข้อมูลตามรูปแบบธรรมชาติของข้อมูล และเป็นการแบ่งช่วงชั้นที่กำหนดให้กลุ่มของข้อมูลที่มีลักษณะหรือมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วงชั้นเดียวกัน

3.4 ต่อจากนั้นนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปตรวจสอบความถูกต้องด้วยการลงสำรวจภาคสนามร่วมกับการใช้แอปพลิเคชัน Light Pollution Map ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่ใช้สำหรับแสดงภาพการซ้อนทับ VIIRS / DMSP / World Atlas / Aurora เพื่อแสดงระดับมลภาวะทางแสงที่เกิดขึ้นในตำแหน่งนั้น ๆ พร้อมทั้งตรวจสอบกับข้อมูลลักษณะการใช้ที่ดินของจังหวัดนครราชสีมาปี 2015 2016 และ 2021 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรกรและสหกรณ์

3.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อรูปแบบการขยายตัวของมลภาวะทางแสงไฟช่วงเวลากลางคืนซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะทางแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนกับความหนาแน่นของประชากรที่ได้จากการสำมะโนประชากรของจังหวัดประจำปี 2021 ซึ่งเป็นข้อมูลในระดับรายอำเภอที่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากสำนักงานสถิติจังหวัดนครราชสีมา ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$Y = a + bX \quad (1)$$

เมื่อ Y คือ ระดับมลภาวะทางแสง
X คือ ปัจจัยตัวแปรต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ คือ ความหนาแน่นของประชากร
a คือ ค่าคงที่ (Constant) เป็นค่าที่ตัดกับแกน
b คือ ค่าความชัน (Slope) ของเส้นกราฟ

จากนั้นจัดทำแผนที่แสดงระดับมลภาวะทางแสงไฟจากภาพถ่ายแสงไฟช่วงเวลากลางคืนในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ช่วงปี 2013 – 2021 ในระดับรัศมีการการขยายตัวของมลภาวะทางแสงจากพื้นที่ในเขตเมือง 3 ระดับ คือ ภายในรัศมี 20 กิโลเมตร 50 กิโลเมตรจากตัวเมือง และขนาดพื้นที่ทั้งจังหวัดนครราชสีมา และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะทางแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนกับความหนาแน่นของประชากร สามารถแสดงได้ Figure 2

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์และติดตามการขยายตัวของมลภาวะทางแสงจากภาพถ่ายแสงไฟช่วงเวลากลางคืนในช่วงปี 2013 – 2021

ผลการวิเคราะห์และติดตามปรากฏการณ์มลภาวะทางแสง จากภาพถ่ายแสงไฟช่วงเวลากลางคืนในช่วงปี 2013 – 2021 ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน (Night Time Light: NLT) ดาวเทียม Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi-NPP) ในระบบ Visible Infrared Imager Radiometer Suite (VIIRS) ด้วยหลักการจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) เปรียบเทียบกับหลักการจำแนกแบบไม่กำกับดูแล (Unsupervised Classification) พบว่า ผลในการจำแนกพื้นที่ระดับมลภาวะทางแสงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสามารถแบ่งระดับความเข้มข้นของมลภาวะทางแสงในช่วงเวลากลางคืนที่เกิดขึ้นในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา เป็น 5 ระดับ คือ ระดับมากที่สุด มีค่า 18.17 – 86.01 ระดับมาก มีค่า 8.38 – 18.16 ระดับปานกลาง มีค่า 3.41 – 8.37 ระดับน้อย มีค่า 0.91 – 3.40 และระดับน้อยมาก มีค่า 0.01 – 0.90 โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงปี คือ ในระหว่างปี 2013 - 2017 และระหว่างปี 2017 – 2021 ภายในการขยายตัวของมลภาวะทางแสงจากพื้นที่ในเขตเมือง 3 ระดับ คือ ภายในรัศมี 20 กิโลเมตร 50 กิโลเมตรจากตัวเมือง และขนาดพื้นที่ทั้งจังหวัดนครราชสีมา

ปรากฏการณ์มลภาวะทางแสงที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละช่วงเวลา พบว่า ในปี 2013 ความเข้มข้นของมลภาวะทางแสงในช่วงเวลากลางคืน ระดับมากที่สุดและระดับมากจะกระจุกตัวหนาแน่นบริเวณตอนกลางและทางตะวันตกของจังหวัด ซึ่งเป็นบริเวณพื้นที่ของอำเภอเมืองนครราชสีมาและอำเภอปากช่อง และเป็นพื้นที่ย่านพาณิชยกรรม การค้า ร้านอาหารและธุรกิจในยามกลางคืน และเป็นที่อยู่อาศัยหนาแน่นสูง จึงทำให้มีการใช้แสงไฟในช่วงเวลากลางคืนสูงกว่าในบริเวณรอบข้าง แสดงได้ดัง ปี 2013 ใน Figure 3

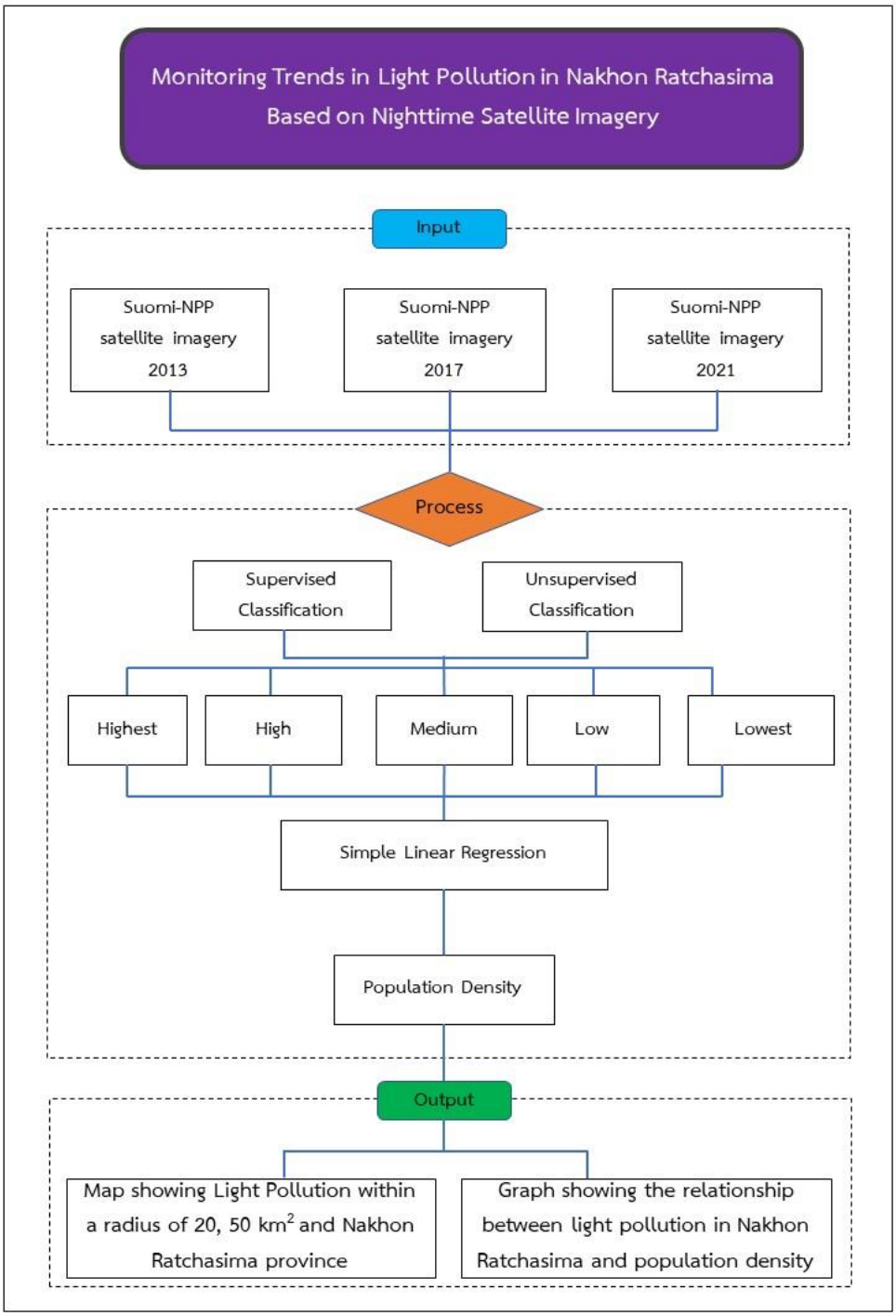

Figure 2 The process of Monitoring Trends in Light Pollution in Nakhon Ratchasima Based on Nighttime Satellite Imagery

ปี 2017 ความเข้มข้นของมลภาวะทางแสงในช่วงเวลากลางคืน ระดับปานกลาง และระดับน้อย จะขยายตัวอย่างรวดเร็วและขยายไปรอบ ๆ ซึ่งมีพื้นที่เกือบเป็น 1 ใน 3 ของพื้นที่ภายในรัศมี 20 กิโลเมตร แสดงได้ดัง ปี 2017 ใน Figure 3

ปี 2021 ความเข้มข้นของมลภาวะทางแสงในช่วงเวลากลางคืน ระดับมากที่สุด ระดับมาก ระดับปานกลาง และระดับน้อย จะมีการขยายตัวอย่างมากในพื้นที่โดยรอบ ในขณะที่พื้นที่ที่มีความเข้มข้นของมลภาวะทางแสงระดับน้อยมากจะลดลงมาก โดยในแต่ละช่วงปี อัตราการเปลี่ยนในแต่ละช่วงปี แสดงได้ดัง ปี 2021 ใน Figure 3 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การเปลี่ยนแปลงของมลภาวะทางแสงไฟระหว่างปี 2013 - 2017 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่มลภาวะทางแสงไฟ ดังนี้ ในระดับมลภาวะมากที่สุดมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 16.35 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.20 ระดับมลภาวะมากมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 73.95 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.80 ระดับมลภาวะปานกลางมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 214.31 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.51 ระดับมลภาวะน้อยมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 977.16 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 10.23 และระดับมลภาวะน้อยที่สุด มีพื้นที่ลดลง 1,281.77 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 86.26

การเปลี่ยนแปลงของมลภาวะทางแสงไฟระหว่างปี 2017 - 2021 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่มลภาวะทางแสงไฟ ดังนี้ ในระดับมลภาวะมากที่สุดมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 23.59 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.32 ระดับมลภาวะมากมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 42.67 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.05 ระดับมลภาวะปานกลางมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 138.74 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 3.17 ระดับมลภาวะน้อยมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 764.63 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 13.93 และ ระดับมลภาวะน้อยที่สุด มีพื้นที่ลดลง 969.63 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 81.53

และการเปลี่ยนแปลงของมลภาวะทางแสงไฟระหว่างปี 2013 - 2021 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่มลภาวะทางแสงไฟ ดังนี้ในระดับมลภาวะมากที่สุดมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 39.93 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.31 ระดับมลภาวะมากมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 116.63 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.02 ระดับมลภาวะปานกลางมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 353.05 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 3.20 ระดับมลภาวะน้อยมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 1,741.79 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 13.92 และ ระดับมลภาวะน้อยที่สุด มีพื้นที่ลดลง 2,251.40 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 81.55 สามารถแสดงได้ดัง Table 1 และ Figure 3 – 6

Table 1 The results of change light pollution between 2013 – 2021

Year	The change light pollution between 2013 – 2021			
	2013 km^2	2017 km^2	2021 km^2	2013 - 2021 km^2
Very High (18.17 – 86.01)	24.04	40.38	63.97	39.93
High (8.38 – 18.16)	92.41	166.36	209.04	116.63
Medium (3.41 – 8.37)	308.60	522.92	661.65	353.05
Low (0.91 – 3.40)	1,137.02	2,114.18	2,878.81	1,741.79
Very Low (0.01 – 0.90)	19,112.27	17,830.50	16,860.87	81.55

ผลจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของมลภาวะทางแสงระหว่างปี 2013 - 2021 ดัง Table 1 จะเห็นในว่า พื้นที่ที่มีมลภาวะทางแสงจะเพิ่มขึ้นในทุกช่วงปี และเพิ่มในทุกระดับความเข้มข้น และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตด้วย โดยจะเห็นได้จากมลภาวะทางแสงจะมีรูปแบบการขยายตัวไปตามแนวเส้นทางคมนาคม โดยเฉพาะทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2 หรือถนนมิตรภาพที่เป็นเส้นทางสายหลักตัดผ่านจังหวัดนครราชสีมา และถนนสายนี้จะเปรียบเสมือนประตูสู่พื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และจาก Figure 5 ในปี 2021 จะเห็นว่า การขยายตัวของมลภาวะนอกจากจะกระจุกตัวบริเวณตัวเมืองของจังหวัดนครราชสีมา และตามเส้นทางคมนาคมแล้ว ระดับความเข้มข้นยังขยายและกระจุกตัวบริเวณอำเภอปากช่องที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางอีกด้วย

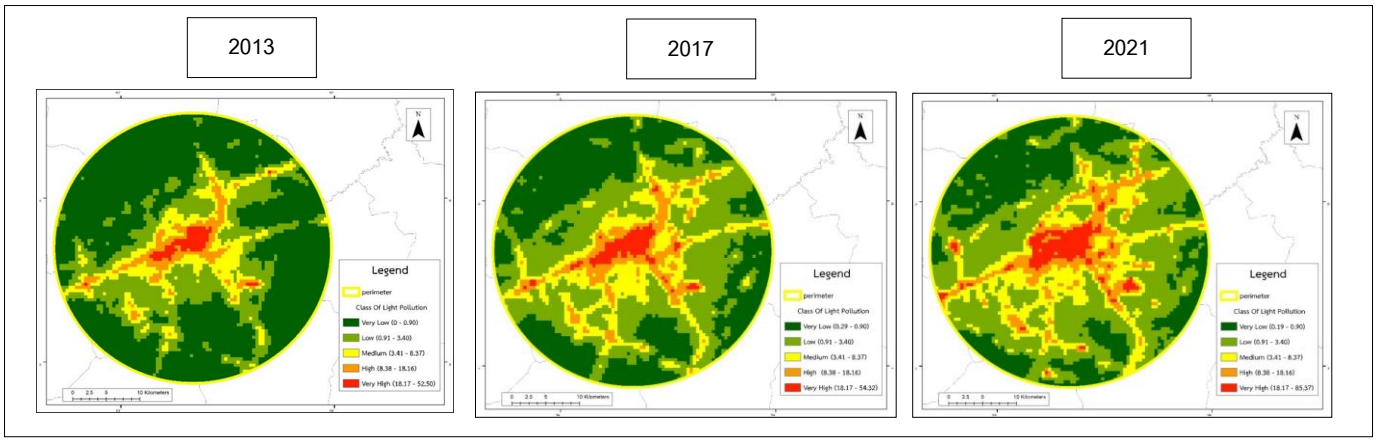

Figure 3 Light Pollution within a radius of 20 km^2

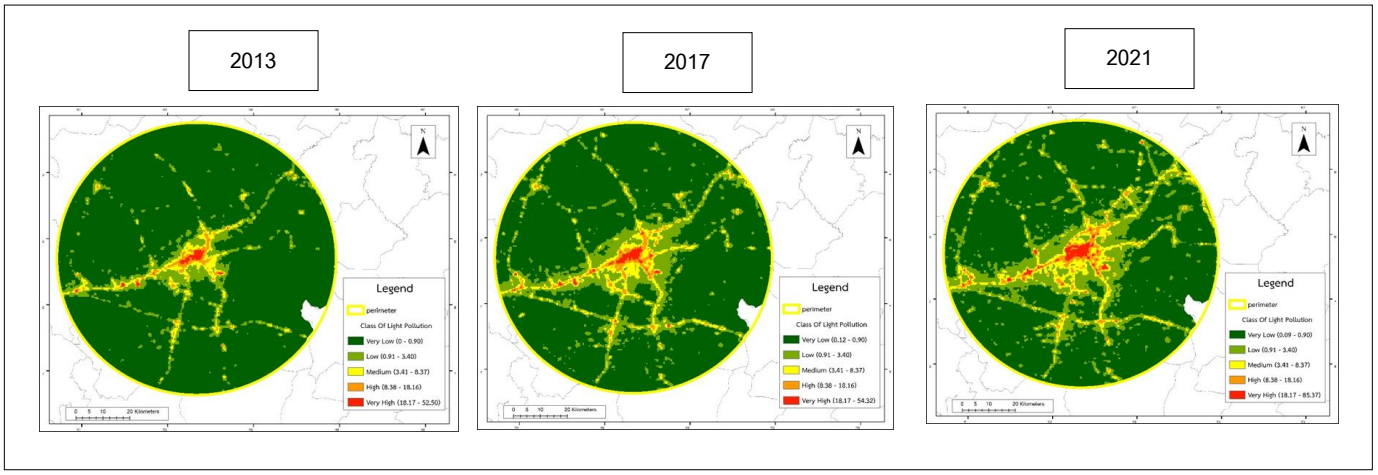

Figure 4 Light Pollution within a radius of 50 km^2

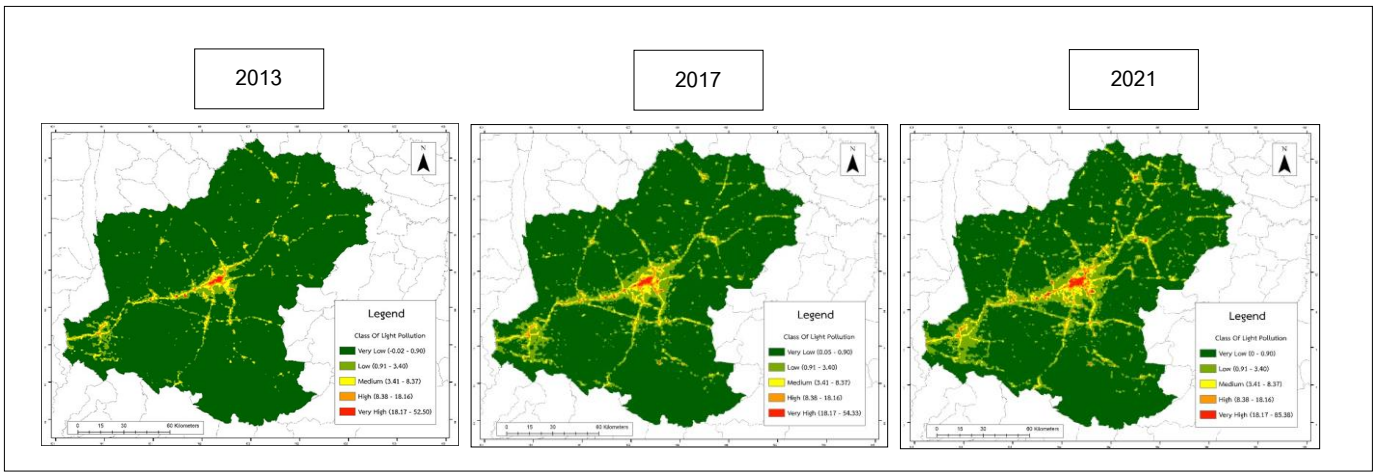

Figure 5 Light Pollution within Nakhon Ratchasima province

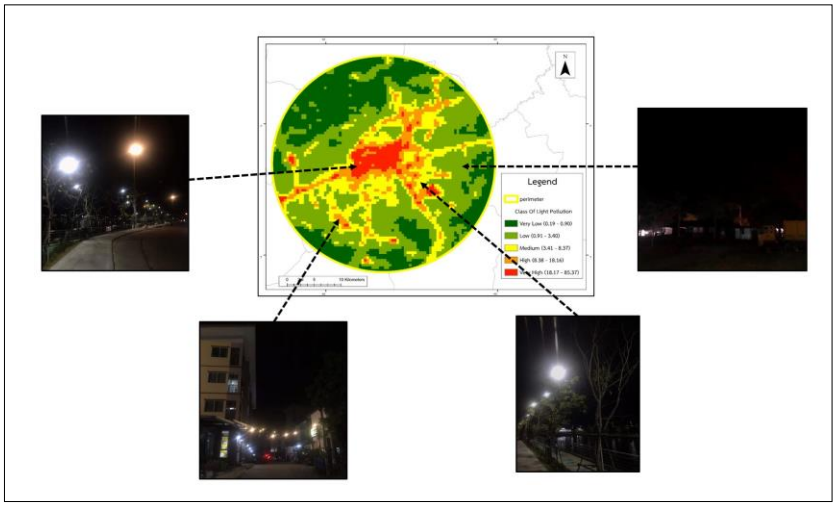

Figure 6 Example location shows level of light pollution in Nakhon Ratchasima province

2. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะทางแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนกับความหนาแน่นของประชากร

ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการขยายตัวของมลภาวะทางแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน ของพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาในปี 2021 ด้วยหลักการวิเคราะห์สมการการถดถอยเชิงเส้น (Simple Linear Regression Analysis) โดยใช้สูตรของเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient) ที่นัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะทางแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนกับความหนาแน่นของประชากรที่ได้จากการสำมะโนประชากรจังหวัดนครราชสีมาในปี 2021 ซึ่งเป็นข้อมูลในระดับอำเภอ จากสำนักงานสถิติจังหวัดนครราชสีมา

พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.4956 แสดงถึง ระดับความสัมพันธ์แบบปานกลาง แต่มีความสัมพันธ์เชิงบวก สามารถอธิบายได้ว่า พื้นที่ใดที่มีความหนาแน่นของประชากรมาก จะมีระดับมลภาวะทางแสงมากตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากบริเวณที่มีประชากรหนาแน่นมากจะมีการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆในช่วงเวลากลางคืนก่อให้เกิดมลภาวะทางแสงมากด้วยเช่นกัน แต่ผลที่ได้จากการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กันเพียงปานกลางเนื่องมาจากจังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ และยังเป็นที่ตั้งของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ และอุทยานแห่งชาติทับลาน เมื่อนำจำนวนประชากรมาเปรียบเทียบจึงทำให้ความหนาแน่นมีไม่มากนัก ประกอบกับข้อมูลประชากรที่ใช้ในการวิเคราะห์ในครั้งนี้ เป็นข้อมูลที่ได้จากสำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง และสำนักงานสถิติจังหวัดนครราชสีมา ดังนั้นจำนวนประชากรที่ใช้ในการวิเคราะห์จึงเป็นประชากรที่มีทะเบียนราษฎร์อยู่ในพื้นที่เท่านั้น แต่ประชากรที่อาศัยในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา จำนวนหนึ่งเป็นประชากรที่อยู่ในรูปแบบประชากรแฝง ที่เข้ามาอาศัยอยู่ในจังหวัดนครราชสีมาในรูปของนิสิตนักศึกษาที่เข้ามาศึกษาเล่าเรียน แรงงาน รวมทั้งนักท่องเที่ยวที่เข้ามาพักอาศัยในพื้นที่ ซึ่งอาจทำให้ระดับมลภาวะที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริงที่เกิดขึ้น จึงทำให้ผลการวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ อยู่ในระดับปานกลางเท่านั้น สามารถแสดงได้ดัง Figure 7

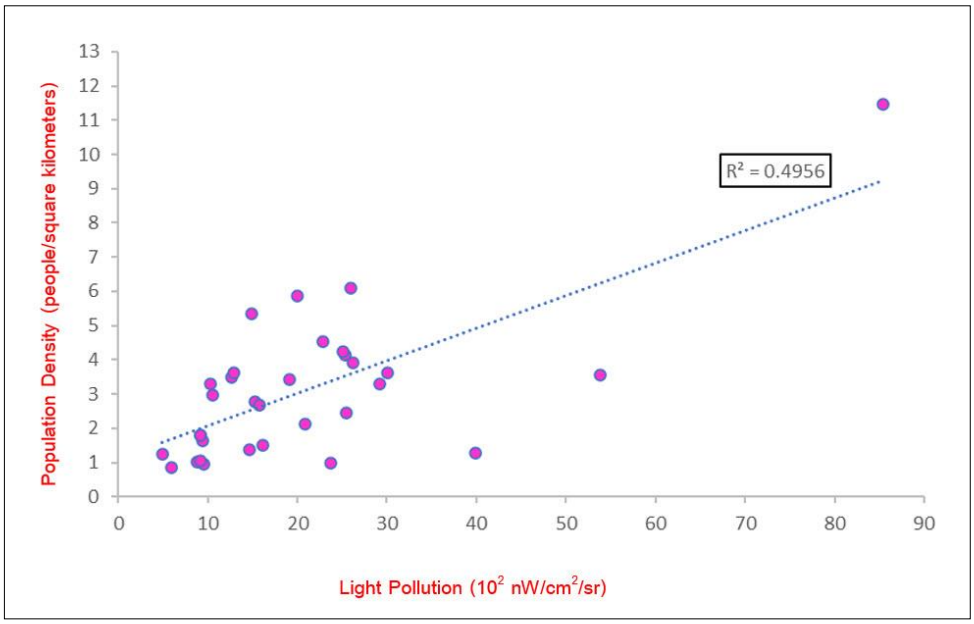

Figure 7 The relationship between light pollution in Nakhon Ratchasima province and population density

วิจารณ์ผลการวิจัย

ปัญหามลภาวะทางแสงเป็นปัญหาที่เกิดจากการใช้พลังงานในการดำเนินกิจกรรมในช่วงเวลากลางคืน ในทุกภาคส่วนทั้งจากภาคอุตสาหกรรม การคมนาคม กลุ่มธุรกิจต่าง ๆ และระบบไฟฟ้าสาธารณะ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตใน

ระบบนิเวศและยังส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์เอง โดยมลภาวะทางแสงเป็นปัญหาที่ถูกมองข้ามในปัจจุบัน เนื่องจากถูกมองว่าแสงไฟเป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดกิจกรรมในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และติดตามปรากฏการณ์มลภาวะทางแสงไฟและหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการขยายตัวของมลภาวะทางแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน ผลจากการวิเคราะห์และติดตามปรากฏการณ์มลภาวะทางแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน ในระหว่างปี 2013 - 2021 ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน โดยการจำแนกแบบไม่กำกับดูแล เปรียบเทียบกับการจำแนกแบบกำกับดูแล สามารถแบ่งระดับมลภาวะทางแสงออกเป็น 5 ระดับ คือ ปริมาณความเข้มข้นของมลภาวะทางแสง ในระดับมากที่สุด ระดับมาก ระดับปานกลาง ระดับน้อย และระดับน้อยมาก ซึ่งพบว่าผลการศึกษาและติดตามปรากฏการณ์มลภาวะทางแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืน มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Prastyo, Herdiwijaya, (2019) ที่วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของมลภาวะทางแสงรอบ ๆ หอดูดาว Bosscha และหอดูดาวแห่งชาติ Timau จากภาพถ่ายดาวเทียม VIIRS-DNB ที่พบว่า ในพื้นที่ที่มีความเป็นเมืองมากจะส่งผลทำให้เกิดมลภาวะทางแสงสูงตามไปด้วย และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะทางแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนกับความหนาแน่นของประชากร มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Kumara et al., (2019) ที่การศึกษาแนวโน้มรูปแบบของมลภาวะทางแสงโดยวิธีถดถอยเชิงเส้นและจำแนกพื้นที่เมืองโดยใช้แผนที่ความหนาแน่นประชากรในเขตเมืองและแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน นอกจากปัจจัยด้านประชากรแล้ว ปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจจะมีอิทธิพลมลภาวะทางแสงไฟ เช่น ลักษณะสังคม และกิจกรรมทางเศรษฐกิจ เป็นต้น ในการศึกษาครั้งต่อไป จึงควรนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาร่วมด้วย

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาติดตามปรากฏการณ์มลภาวะทางแสงในจังหวัดนครราชสีมา ด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนระหว่างปี 2013 – 2021 ครั้งนี้ สรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่มลภาวะทางแสงไฟที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกระดับความเข้มข้น โดยมีการขยายตัวออกรอบนอกของพื้นที่เขตเมือง ย่านการค้า ย่านอุตสาหกรรม และเส้นทางคมนาคม เส้นทางหลักที่ตัดผ่านจังหวัดนครราชสีมาเชื่อมกับจังหวัดใกล้เคียง โดยมีพื้นที่มลภาวะทางแสงไฟในระดับมลภาวะมากที่สุดเพิ่มขึ้นจาก 24.04 ตารางกิโลเมตร เป็น 63.97 ตารางกิโลเมตร ระดับมลภาวะมากเพิ่มขึ้นจาก 92.41 ตารางกิโลเมตร เป็น 209.04 ตารางกิโลเมตร ระดับมลภาวะปานกลางเพิ่มขึ้นจาก 308.60 ตารางกิโลเมตร เป็น 661.65 ตารางกิโลเมตร ระดับมลภาวะน้อยเพิ่มขึ้นจาก 1,137.02 ตารางกิโลเมตร เป็น 2,878.81 ตารางกิโลเมตร และระดับมลภาวะน้อยมีพื้นที่ลดลงจาก 19,112.27 ตารางกิโลเมตร เป็น 16,860.87 ตารางกิโลเมตร ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณอำเภอเมืองนครราชสีมา อำเภอปากช่อง และขยายตัวไปตามแนวเส้นทางคมนาคม โดยเฉพาะทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2 หรือถนนมิตรภาพที่เป็นเส้นทางสายหลักตัดผ่านจังหวัดนครราชสีมา มลภาวะทางแสงในจังหวัดนครราชสีมามีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตด้วย การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลภาวะทางแสงไฟในช่วงเวลากลางคืนกับความหนาแน่นของประชากรที่ได้จากการสำมะโนประชากรรายจังหวัดในปี 2021 สรุปได้ว่า ปัจจัยมีความสัมพันธ์เชิงบวกและมีค่าสัมประสิทธิ์ (R^2) เท่ากับ 0.4956 แสดงถึงระดับความสัมพันธ์แบบปานกลาง โดยพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของจำนวนประชากรมากจะมีการดำเนินกิจกรรมหรือมีการใช้

ทรัพยากรที่เพิ่มสูงมากขึ้นไปด้วย จึงส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของมลภาวะทางแสงไฟด้วยเช่นกัน แต่การที่มีระดับความสัมพันธ์แบบปานกลาง นั้นมาจากการนำจำนวนประชากรที่อยู่ในทะเบียนราษฎร์วิเคราะห์เท่านั้น และพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ที่ประกอบไปด้วยพื้นที่อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ และอุทยานแห่งชาติทับลาน จึงทำให้ได้ค่าของความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสำนักงานสถิติจังหวัดนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำมะโนประชากรรายจังหวัดประจำปี 2021 กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรกรและสหกรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลลักษณะการใช้ที่ดินจังหวัดนครราชสีมาปี 2013 2017 และปี 2021 ของจังหวัดนครราชสีมา และท้ายสุดขอขอบคุณ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

Chalkias, C., Petrakis, M., Psiloglou, B., & Lianou, M. (2006). Modelling of light pollution in suburban areas using remotely sensed imagery and GIS. *J. Environ. Manag, 79,* 57 - 63.

H A Prastyo, D Herdiwijaya. (2019). Spatial Analysis of Light Pollution Dynamics Around Bosscha Observatory and Timau National Observatory Based on VIIRS-DNB Satellite Images. 10th Southeast Asia Astronomy Network (SEAAN). IOP Conf. Series: *Journal of Physics*: Conf. Series 1231 (2019) 012002. doi:10.1088/1742-6596/1231/1/012002.

Metta Kengchuwong. (2018). Study on Particulate Matter in Ambient Air and Impacts to People in Urban Area of Maha Sarakham Municipality. Environmental Science Programme/ Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. (in Thai)

Pavan Kumara; Sufia Rehmana; Haroon Sajjada; Bismay Ranjan Tripathy; Meenu Ranic and Sourabh Singhc. (2019). Analyzing trend in artificial light pollution pattern in India using NTL sensor's data. *Urban Climate, 27*, 272-283. doi: 10.1016/j.uclim.2018.12.005

Pedithep Youyuenyong. (2019). Light Pollution. Legal Consultation Center Faculty of Law Chiang Mai University.

Pengpeng Han; Jinliang Huang; Rendong Li; Lihui Wang; Yanxia Hu; Jiuling Wang and Wei Huang. (2014). Monitoring Trends in Light Pollution in China Based on Nighttime Satellite Imagery. *Remote Sensing, 6*(6), 5541-5558. doi:10.3390/rs6065541.

Wenli Xiang and Minghong Tan (2017). Changes in Light Pollution and the Causing Factors in China's Protected Areas, 1992–2012. *Remote Sensing, 9*(10), 1026. doi:10.3390/rs9101026.