วารสารเศรษฐศาสตร์และกลยุทธ์การจัดการ
ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2565

Journal of Economics and Management Strategy
Vol. 9, No. 2 July – December 2022

ภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนและการวัดความเป็นเมืองในประเทศไทย
(Night-time Lights as a Proxy for Urbanization in Thailand)

จุฑารัตน์ หนูสุวรรณ[1]
Chutarat Noosuwan[1]

Received: January 28, 2022
Revised: June 20, 2022
Accepted: June 26, 2022

บทคัดย่อ

ความเป็นเมือง (Urbanization) ของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในทศวรรษที่ผ่านมา ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม งานวิจัยด้านเศรษฐศาสตร์ส่วนใหญ่จึงมักนำความเป็นเมืองดังกล่าวมาใช้เป็นตัวแปรหนึ่งที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างที่เกิดขึ้นในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ใช้เป็นตัวแปรแทน (Proxy Variable) ของความเป็นเมืองอาจมีข้อจำกัดบางประการที่ไม่สามารถอธิบายความเป็นเมืองที่เกิดขึ้นในประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ บทความนี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนเพื่อวัดความเป็นเมืองในประเทศไทย โดยภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนเป็นข้อมูลที่ดาวน์โหลดจากหน่วยงาน National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) บทความนี้ได้ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับจังหวัดและความเข้มข้นของแสงด้วยการวิเคราะห์ Panel Data Regression แบบ Fixed Effect ผลการทดสอบพบว่า ความเข้มข้นของแสงสะท้อนความหนาแน่นทางเศรษฐกิจระดับจังหวัดได้ค่อนข้างดี ดังนั้น ความเข้มข้นของแสงจากภาพถ่ายดาวเทียมจึงน่าจะนำมาใช้เป็นตัวแปรแทนของความเป็นเมืองในประเทศไทยได้ ทั้งนี้ งานศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้ข้อมูลที่เหมาะสมในงานวิจัยของประเทศไทยต่อไป

คำสำคัญ: ความเป็นเมือง, กิจกรรมทางเศรษฐกิจ, ภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืน, ประเทศไทย

ABSTRACT

In the past decade, urbanization has increased rapidly in Thailand, leading to changes in its economic and social structures. This study found the increasing use of urbanization as the factor in economic research to study economic development in Thailand. However, some data may not be an appropriate proxy in measuring urbanization in Thailand. The satellite images of

[1] อาจารย์ คณะเศรษฐศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
Lecturer, Faculty of Economics at Sriracha, Kasetsart University, Sriracha Campus. Email: chutarat.no@ku.th

night-time lights are obtained from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The empirical results using panel data regression with fixed effect confirm that night-time light intensity is positively associated with GPP, which reveals the economic activity. Thus, satellite night-time light data could be a good proxy for urbanization in Thailand. This study provides insights for using night-time lights data as a proxy for urbanization, contributing to our understanding of data selection for future research in Thailand.

Keywords: Urbanization, Economic Activity, Night-time Light Satellite Imagery, Thailand

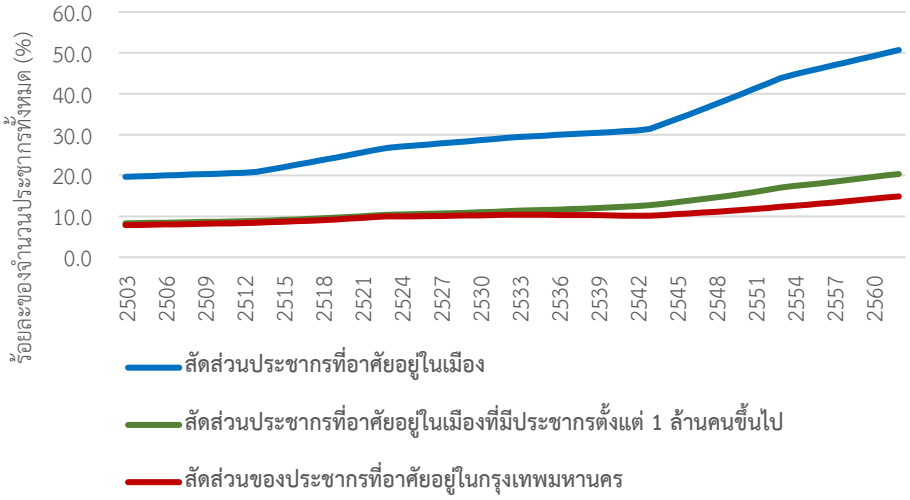
บทนำ

ตามนิยามขององค์การสหประชาชาติ ความเป็นเมือง (Urbanization) หมายถึงกระบวนการเปลี่ยนผ่านทางเศรษฐกิจและสังคม (Socio-economic Process) จากชนบทกลายเป็นเมือง รวมทั้งการเคลื่อนย้ายของประชากรเชิงพื้นที่จากชนบทไปสู่เมือง กระบวนการเปลี่ยนผ่านดังกล่าวจึงรวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางด้านอาชีพ วิถีชีวิต พฤติกรรมของคน และวัฒนธรรม ซึ่งเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างทางประชากรและสังคมเชิงพื้นที่ทั้งเมืองและชนบท กระบวนการดังกล่าวจึงส่งผลให้จำนวนพื้นที่เมืองและขนาดของประชากรในพื้นที่เมืองขยายตัวเพิ่มขึ้น ตลอดจนสัดส่วนระหว่างประชากรในเมืองและชนบทเปลี่ยนแปลงไป (United Nations, 2019) ความเป็นเมืองดังกล่าวจึงเกิดขึ้นค่อนข้างมากโดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนาซึ่งการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา

ปัจจุบัน ประเทศไทยมีแนวโน้มที่ความเป็นเมืองจะขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 1) โดยในปี 2562 สัดส่วนของประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองคิดเป็นร้อยละ 50.7 ของจำนวนประชากรทั้งหมด ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปี 2503 ที่มีสัดส่วนของประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองคิดเป็นเพียงร้อยละ 19.7 ของจำนวนประชากรทั้งหมด (World Bank, 2020) ทั้งนี้ จากการประมาณการณ์ขององค์การสหประชาชาติ พบว่า ภายในปี 2593 สัดส่วนของประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองของประเทศไทยจะเพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 69.5 ของจำนวนประชากรทั้งหมด (United Nations, 2019) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาสัดส่วนของประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองที่มีประชากรตั้งแต่ 1 ล้านคนขึ้นไป พบว่า ในปี 2562 สัดส่วนดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20.4 ของจำนวนประชากรทั้งหมด โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานคร สัดส่วนของประชากรที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครคิดเป็นร้อยละ 14.9 ของจำนวนประชากรทั้งหมด (World Bank, 2020)

การขยายตัวของความเป็นเมืองดังกล่าว ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่งานวิจัยในประเทศไทยนำมาใช้เป็นตัวแปรในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างที่เกิดขึ้นในประเทศไทย โดยเฉพาะงานวิจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้มีการนำตัวแปรทางด้านความเป็นเมืองมาใช้ในการวิจัยมากขึ้น โดยงานวิจัยส่วนใหญ่ใช้ตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative Variable) นั่นคือ ตัวแปรหุ่นของความเป็นเมือง (Dummy Variable) โดยกำหนดให้มีค่าเป็น 1 เมื่อเป็นพื้นที่ในเขตเทศบาล และมีค่าเป็น 0 เมื่อไม่ใช่พื้นที่ในเขตเทศบาล ตัวอย่างเช่น งานศึกษาของอารีรัตน์ ลุนลลาด และ อมรรัตน์ อภินันท์มหกุล (2565)

งานศึกษาของ Sriwaranun et al. (2015) และงานศึกษาของ Wongmonta (2020) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลดังกล่าวมีข้อจำกัดบางประการที่อาจไม่สามารถอธิบายความเป็นเมืองของประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของความเป็นเมือง (Urbanization) ของประเทศไทย ปี 2503-2562
ที่มา: ผู้เขียนจัดทำแผนภาพโดยใช้ข้อมูลจาก World Bank (2020)

จากนิยามของความเป็นเมืองที่กล่าวข้างต้น ความเป็นเมืองส่งผลให้เกิดการลงทุนทั้งภาครัฐและเอกชนทางด้านอสังหาริมทรัพย์และโครงสร้างพื้นฐาน เป็นผลให้เกิดการขยายตัวของกิจกรรมทางเศรษฐกิจและนวัตกรรม รวมทั้งการเป็นศูนย์กลางของการคมนาคม การค้าและข้อมูลข่าวสาร (United Nations, 2019) ความเป็นเมืองจึงสามารถสะท้อนผ่านมิติทางด้านความหนาแน่นของกิจกรรมทางเศรษฐกิจได้ โดยที่การวัดความหนาแน่นของกิจกรรมทางเศรษฐกิจดังกล่าวสามารถอาศัยแหล่งข้อมูลทางเลือก เช่น ภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนได้ ซึ่งจากรายงานขององค์การสหประชาชาติ ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite Imagery) เป็นองค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้การศึกษาในประเด็นความเป็นเมืองมีความกว้างขวางและลึกซึ้งมากขึ้น (United Nations, 2019)

นอกจากนี้ ในงานศึกษาของต่างประเทศ มีการนำข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนมาใช้วัดความหนาแน่นของกิจกรรมทางเศรษฐกิจซึ่งเชื่อมโยงกับขนาดของระดับผลผลิตทางเศรษฐกิจและความเป็นเมือง ตัวอย่างเช่น งานศึกษาของ งานศึกษาของ Chen & Nordhaus (2011) งานศึกษาของ Michalopoulos & Papaioannou (2013) และงานศึกษาของ Pinkovskiy & Sala-i-Martin (2016) เป็นต้น โดยข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมสามารถวัดความหนาแน่นของกิจกรรมทางเศรษฐกิจได้ โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งประสบปัญหาเรื่องต้นทุนในการจัดเก็บข้อมูลทางเศรษฐกิจ เช่น ระดับผลผลิต และขนาดของประชากรที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศพัฒนาแล้ว (Chen & Nordhaus, 2011)

สำหรับงานศึกษาในประเทศไทยที่มีการนำข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนมาใช้ ตัวอย่างเช่น งานศึกษาของณัฐพงษ์ พัฒนพงษ์ และคณะ (2563) ซึ่งนำภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืน

ของระบบ Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System (DMSP-OLS) และระบบ Soumi National Polar-orbiting Partnership satellite's Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (NPP-VIIRS) มาใช้วัดความเหลื่อมล้ำในเชิงพื้นที่ของประเทศไทย นอกจากนี้ ยังมีงานศึกษาของธัญญรัตน์ ไชยคราม (2563) ที่วัดระดับความเป็นเมืองของจังหวัดสุพรรณบุรีโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมของระบบ DMSP-OLS และระบบ NPP-VIIRS เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ทั้งสองงานศึกษาไม่มีการระบุถึงการเทียบค่าของข้อมูล (Data Calibration) จากความแตกต่างของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ DMSP-OLS ซึ่งประกอบด้วยดาวเทียมหลายดวงในการบันทึกภาพ

บทความนี้จึงจะนำเสนอข้อจำกัดของการวัดความเป็นเมืองในประเทศไทย และการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนเพื่อวัดความเป็นเมืองในประเทศไทย ตลอดจนการนำเสนอแนวทางในการเทียบค่าของข้อมูลกรณีภาพถ่ายดาวเทียมระบบ DMSP-OLS ทั้งนี้ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้ข้อมูลที่มีความเหมาะสมมากขึ้น รวมทั้งสนับสนุนให้มีการนำข้อมูล Big Data มาใช้ในงานวิจัยของประเทศไทยต่อไป

ข้อจำกัดของการวัดความเป็นเมือง (Urbanization) ของประเทศไทย

ความเป็นเมืองของไทยมีลักษณะค่อนข้างเฉพาะ โดยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ประเทศไทยประสบกระแสการย้ายถิ่นจากชนบทสู่เมืองใหญ่อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการย้ายถิ่นสู่กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นเมืองหลวงของประเทศ กระแสการย้ายถิ่นดังกล่าวนี้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดความเหลื่อมล้ำทางเศรษฐกิจระหว่างภูมิภาค (Friend et al., 2016) จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า การวัดความเป็นเมืองของงานวิจัยในไทยส่วนใหญ่กำหนดให้ความเป็นเมืองเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ นั่นคือ มักจะกำหนดเป็นตัวแปรหุ่น ซึ่งให้ 0 แทนพื้นที่ชนบท และ 1 แทนพื้นที่เมือง อย่างไรก็ตาม ตัวแปรหุ่นดังกล่าวมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถระบุความแตกต่างของความเป็นเมืองได้ เช่น หากกำหนดให้พื้นที่ในกรุงเทพมหานครและอำเภอเมืองสงขลาเป็นเมือง (กำหนดค่าเป็น 1 ในแบบจำลอง) แสดงว่า ระดับความเป็นเมืองของกรุงเทพมหานครและอำเภอเมืองสงขลามีค่าเท่ากัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ระดับความเป็นเมืองของทั้งสองแห่งมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก

นอกจากนี้ ยังพบว่า งานศึกษาบางส่วนใช้ข้อมูลความหนาแน่นของประชากรเป็นตัวแปรแทน (Proxy) ของความเป็นเมือง ตัวอย่างเช่น งานศึกษาของ Angkurawaranon et al. (2013) และงานศึกษาของ Supasa et al., (2017) เป็นต้น ข้อมูลความหนาแน่นของประชากรดังกล่าวเป็นข้อมูลเชิงปริมาณจึงสามารถระบุความแตกต่างของความเป็นเมืองได้ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญของการใช้ข้อมูลดังกล่าวคือ ประชากรแฝง (Non-registered Population) ซึ่งเป็นประชากรที่ไม่มีชื่ออยู่ในทะเบียนบ้านของพื้นที่นั้นๆ โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีประชากรย้ายถิ่นเข้ามาค่อนข้างมาก จากข้อมูลสำมะโนประชากรและเคหะของสำนักงานสถิติแห่งชาติ พบว่า ในปี 2553 ประชากรแฝงในกรุงเทพมหานครมีจำนวน 3.1 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 36.9 ของจำนวนประชากรทั้งหมดในกรุงเทพมหานคร ซึ่งประชากรแฝงดังกล่าวส่วนใหญ่อพยพเข้ามาในกรุงเทพมหานครเพื่อการศึกษาและการทำงาน (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2558)

ความหนาแน่นของประชากรเป็นข้อมูลจำนวนประชากรที่มีชื่ออยู่ในทะเบียนบ้านของพื้นที่นั้นๆ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สามารถรวบรวมได้จากกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย เป็นข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการจัดเก็บอย่าง

ต่อเนื่องทุกๆ ปี ในขณะที่จำนวนประชากรแฝงเป็นข้อมูลสำมะโน โดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ ซึ่งมีการเก็บรวบรวมข้อมูลทุก 10 ปี ดังนั้น จากจำนวนประชากรแฝงในกรุงเทพมหานครที่มีค่าค่อนข้างสูง การใช้ข้อมูลความหนาแน่นของประชากรเพื่อวัดความเป็นเมือง ซึ่งสามารถระบุระดับความแตกต่างของความเป็นเมืองได้อาจไม่สามารถเป็นตัวแปรแทนที่มีประสิทธิภาพมากนัก เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวไม่ได้นับรวมจำนวนประชากรแฝงเข้าไปด้วย

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนเพื่อวัดความเป็นเมือง (Urbanization) ของประเทศไทย

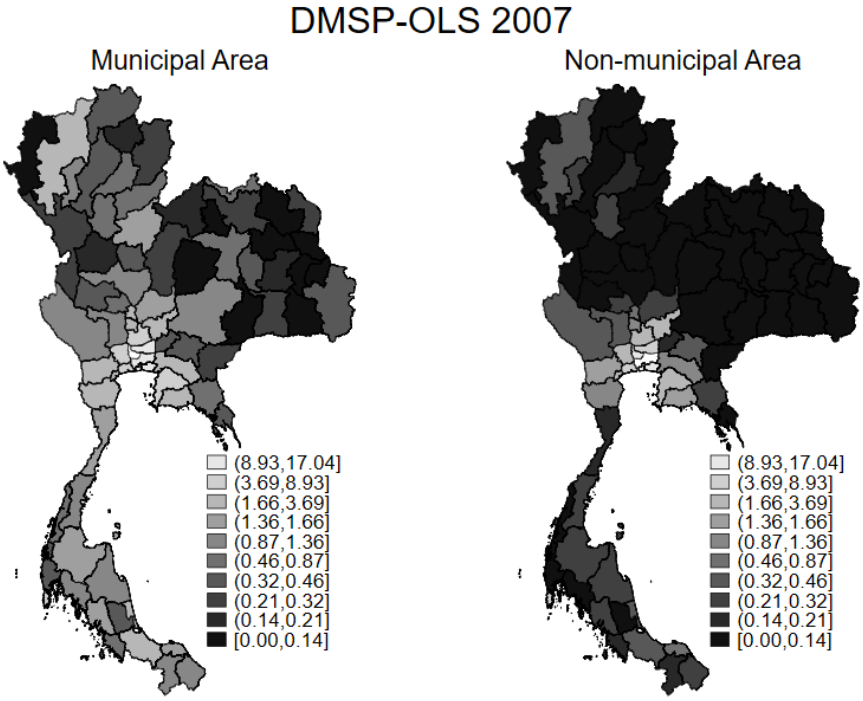
ในปัจจุบัน นักวิจัยมีการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ในการวิจัยอย่างแพร่หลาย จากงานศึกษาของ Mullainathan & Spiess (2017) ซึ่งกล่าวถึงการประยุกต์ใช้ Machine Learning ในทางเศรษฐศาสตร์ ระบุว่าการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเป็น Machine Learning ชนิดหนึ่ง เนื่องจากเป็นการแปลงข้อมูลจากภาพถ่ายออกมาในรูปของจุดภาพ (Pixel) ซึ่งสามารถแสดงค่าเป็นตัวเลขได้ โดยการวัดความเป็นเมืองจะใช้ค่าความเข้มข้นของแสง (Light Intensity) เป็นตัวแปรแทน โดยคำนวณจากค่าความเข้มของสีในแต่ละจุดภาพ (Pixel) ของภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืน โดยเรียกค่าดังกล่าวว่า Digital Number (DN) ซึ่งค่า Digital Number มีค่าระหว่าง 0 จนถึง 63 โดย 0 หมายถึงพื้นที่ที่มืดสนิทและไม่มีแสงไฟ ทั้งนี้ เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืน พื้นที่ที่มีความเป็นเมืองค่อนข้างสูงจะมีระดับความเข้มข้นของแสงสูงตามไปด้วยจากการที่มีการใช้แสงไฟค่อนข้างมากเพื่อประกอบการทำกิจกรรมทางเศรษฐกิจต่างๆ ในขณะที่พื้นที่ชนบทส่วนใหญ่ระดับความเข้มข้นของแสงจะมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีการทำกิจกรรมทางเศรษฐกิจในเวลากลางคืนค่อนข้างน้อยกว่า เช่น การทำเกษตรกรรมมักเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน เป็นต้น ดังนั้น ค่าความเข้มข้นของแสงไฟในเวลากลางคืนโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจึงอาจจะนำมาใช้ในการวัดระดับความเป็นเมืองที่เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นค่า Digital Number นั่นคือเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ จึงสามารถสะท้อนความแตกต่างของระดับความเป็นเมืองของแต่ละพื้นที่รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงข้ามเวลา (Over Time) ของความเป็นเมืองได้ด้วย

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนที่นักวิจัยนำมาใช้ในปัจจุบันเป็นข้อมูลที่เผยแพร่โดย National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ของสหรัฐอเมริกา โดยเป็นข้อมูลจากดาวเทียม 2 ระบบ ได้แก่ (1) ระบบ Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System (DMSP-OLS) และ (2) ระบบ Soumi National Polar-orbiting Partnership satellite's Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (NPP-VIIRS) ในที่นี้ จะเป็นการแสดงเนื้อหาเกี่ยวกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนของทั้งสองระบบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของการใช้ข้อมูลดังกล่าวอย่างละเอียด

ระบบ Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System (DMSP-OLS)

ระบบ DMSP-OLS เป็นดาวเทียมที่ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรของโลกตั้งแต่ปี 2535 จนถึงปี 2556 โดยระบบสามารถบันทึกภาพถ่ายของโลกได้อย่างครอบคลุมตั้งแต่เส้นละติจูดที่ -180 องศา จนถึง 180 องศา และระหว่าง

เส้นลองจิจูดที่ -65 องศา จนถึง 75 องศา โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) ที่ 2.7 กิโลเมตร (NOAA, 2019) ซึ่งในระบบ DMSP-OLS นี้มีดาวเทียมทั้งหมด 9 ดวง คือ F10-F18 ทาง NOAA ได้มีการเผยแพร่ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสู่สาธารณะทั้งแบบรายเดือนและแบบรายปี ทั้งนี้ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของระบบ DMSP-OLS ได้มีการขจัดความขุ่นมัวที่เกิดจากเมฆบนชั้นบรรยากาศแล้ว โดยภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างข้อมูลความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ยของแต่ละจังหวัดซึ่งคำนวณจากภาพถ่ายดาวเทียมของระบบ DMSP-OLS ในปี 2550 ซึ่งจำแนกตามพื้นที่ในเขตเทศบาลและพื้นที่นอกเขตเทศบาลของประเทศไทย จากภาพดังกล่าว กรุงเทพมหานครและปริมณฑลเป็นพื้นที่ที่มีระดับความเข้มข้นของแสงค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่นๆ ในขณะที่พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือมีระดับความเข้มข้นของแสงค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ จากภาพจะเห็นความแตกต่างค่อนข้างชัดเจนว่า พื้นที่ในเขตเทศบาลมีระดับความเข้มข้นของแสงมากกว่าพื้นที่นอกเขตเทศบาล ซึ่งสะท้อนถึงระดับความเป็นเมืองที่มากกว่านั่นเอง โดยในปี 2550 ความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 17.04



ภาพที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ยปี 2550 จำแนกตามพื้นที่ในเขตเทศบาลและพื้นที่นอกเขตเทศบาล

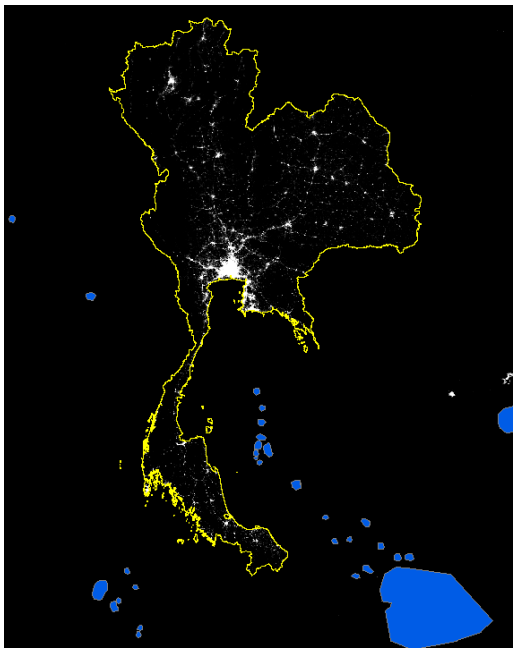
ที่มา: คำนวณโดยผู้เขียนจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม DMSP-OLS ปี 2550

ระบบ Soumi National Polar-orbiting Partnership satellite's Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (NPP-VIIRS)

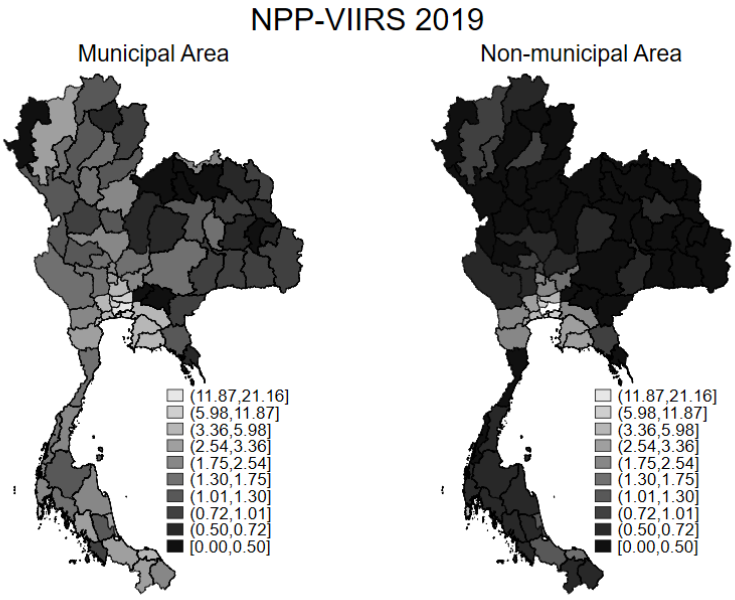
ระบบ NPP-VIIRS เป็นดาวเทียมที่ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรตั้งแต่ปลายปี 2554 จนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้ ทาง NOAA ทำการเผยแพร่ข้อมูลทั้งแบบรายเดือนและรายปี ตั้งแต่ปี 2555 (NOAA, 2020b) โดยระบบ NPP-VIIRS มีข้อดีที่เหนือกว่าระบบ DMSP-OLS ดังนี้ (1) เนื่องจากระบบ NPP-VIIRS เป็นเทคโนโลยีที่ใหม่กว่าระบบ DMSP-OLS จึงมีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่สูงกว่าที่ 500 เมตรโดยประมาณ และ (2) ระบบ NPP-VIIRS มีระบบการเทียบค่าของข้อมูลในตัว (On-board Calibrated Light Image) ซึ่งช่วยทำให้นักวิจัยสามารถนำภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ได้เลย โดยปราศจากปัญหาเรื่องข้อมูลไม่ต่อเนื่องกัน (Data Discontinuity) เนื่องจากในแต่ละปีมีดาวเทียมหลายดวงที่บันทึกภาพแสงไฟยามค่ำคืน ในขณะที่ระบบ DMSP-OLS มีปัญหาข้อมูลไม่ต่อเนื่อง ดังนั้น นักวิจัยจำเป็นต้องทำการเทียบค่าของข้อมูล (Data Calibration) ก่อนที่จะนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ได้ ซึ่งผู้เขียนจะนำเสนอวิธีการเทียบค่าของข้อมูลในหัวข้อถัดไป

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบรายปีของระบบ NPP-VIIRS มีข้อจำกัดบางประการ คือ ภาพถ่ายดังกล่าวไม่ได้ขจัดแสงไฟที่ไม่เกี่ยวข้องซึ่งเกิดขึ้นจากสิ่งรบกวนต่างๆ เช่น ไฟป่า แสงเหนือ-แสงใต้ (Aurora) และเปลวไฟจากการผลิตก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ดังนั้น นักวิจัยจึงจำเป็นต้องขจัดแสงไฟดังกล่าวก่อนนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ ทั้งนี้ เพื่อความถูกต้องของข้อมูลแสงไฟยามค่ำคืนที่ใช้เพื่อประกอบการทำกิจกรรมทางเศรษฐกิจโดยแท้จริง โดยบทความของ Lowe (2014) เป็นบทความหนึ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการขจัดแสงไฟที่ไม่เกี่ยวข้องอื่นๆ ได้ สำหรับประเทศไทยนั้น แสงไฟยามค่ำคืนอาจได้รับผลกระทบจากเปลวไฟจากการผลิตก๊าซธรรมชาติได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 3 พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากเปลวไฟจากการผลิตก๊าซธรรมชาติมากนัก

ภาพที่ 4 เป็นตัวอย่างข้อมูลความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ยของแต่ละจังหวัดที่บันทึกโดยระบบ NPP-VIIRS ในปี 2562 โดยความเข้มข้นของแสงสูงสุดโดยเฉลี่ยในปีดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 21.16 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระดับความเป็นเมืองของไทยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับปี 2550 ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ 17.04



ภาพที่ 3 พื้นที่ของประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงที่มีเปลวไฟจากการผลิตก๊าซธรรมชาติ
หมายเหตุ: พื้นที่สีน้ำเงิน แทนพื้นที่ที่มีเปลวไฟจากการผลิตก๊าซธรรมชาติ
ที่มา: National Oceanic and Atmospheric Administration (2020a)



ภาพที่ 4 ตัวอย่างข้อมูลความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ยปี 2562 จำแนกตามพื้นที่ในเขตเทศบาลและพื้นที่นอกเขตเทศบาล
ที่มา: คำนวณโดยผู้เขียนจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม NPP-VIIRS ปี 2562

การเทียบค่าของข้อมูล (Data Calibration) กรณีภาพถ่ายดาวเทียมระบบ DMSP-OLS

จากที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ระบบ DMSP-OLS ประกอบด้วยดาวเทียมหลายดวงที่บันทึกภาพถ่ายแสงไฟยามค่ำคืน เป็นผลให้เกิดปัญหาข้อมูลไม่ต่อเนื่องกัน โดยจากตารางที่ 1 แสดงข้อมูลอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ DMSP-OLS ซึ่งสังเกตได้ว่า ตั้งแต่ปี 2549 จนถึง 2556 ระบบ DMSP-OLS มีดาวเทียมทั้งหมด 3 ดวง ได้แก่ F15 F16 และ F18 และเนื่องจากระบบ DMSP-OLS ไม่มีระบบการเทียบค่าของข้อมูลในตัว ดังนั้น นักวิจัยจึงจำเป็นต้องเทียบค่าของข้อมูลก่อน

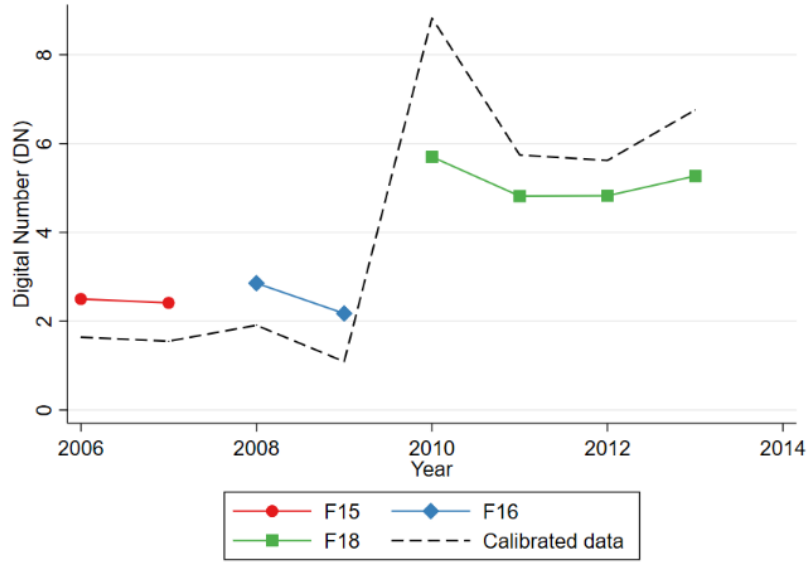
ตารางที่ 1 ข้อมูลอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ DMSP-OLS

ปี พ.ศ.	ดาวเทียม F15	ดาวเทียม F16	ดาวเทียม F18
2549	F152006	F162006	
2550	F152007	F162007	
2551		F162008	
2552		F162009	
2553			F182010
2554			F182011
2555			F182012
2556			F182013

ที่มา: National Oceanic and Atmospheric Administration (2019)

วิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการเทียบค่าของข้อมูล คือ วิธีพื้นที่ที่ไม่แปรเปลี่ยน (Invariant Region Method) นั่นคือ การพิจารณาความสัมพันธ์ของแสงไฟยามค่ำคืนในพื้นที่ที่ไม่แปรเปลี่ยน เช่น ประเทศที่เป็นเกาะ เนื่องจากได้รับผลกระทบจากแสงไฟจากประเทศเพื่อนบ้านค่อนข้างน้อย เป็นต้น แล้วนำค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ดังกล่าวมาเป็นตัวแปลงค่าข้อมูลแสงไฟยามค่ำคืนของดาวเทียมดวงต่างๆ (Wu et al., 2013)

ในภาพที่ 5 แสดงข้อมูลความเข้มข้นของแสงไฟยามค่ำคืนของประเทศไทยโดยเฉลี่ยที่ได้เทียบค่าแล้ว (Calibrated Data) กับข้อมูลที่ยังไม่ได้เทียบค่าของดาวเทียม F15 F16 และ F18 ซึ่งการเทียบค่าของข้อมูลจะทำให้นักวิจัยสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องดังเส้นประสีดำ



ภาพที่ 5 การเทียบค่าของข้อมูล (Data Calibration) กรณีภาพถ่ายดาวเทียมระบบ DMSP-OLS
ที่มา: คำนวณโดยผู้เขียนจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบ DMSP-OLS

ความเข้มข้นของแสงจากภาพถ่ายดาวเทียมและความเป็นเมือง (Urbanization) ของประเทศไทย

จากข้อจำกัดของข้อมูลต่างๆ ที่นำมาใช้วัดความเป็นเมืองในประเทศไทย เนื่องจากความเป็นเมืองสะท้อนให้เห็นถึงความหนาแน่นของกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ หากพื้นที่ใดมีความหนาแน่นของกิจกรรมทางเศรษฐกิจสูง พื้นที่นั้นย่อมมีมูลค่าผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย เพื่อพิสูจน์สมมติฐานดังกล่าว ในที่นี้ ผู้ศึกษาจะใช้การวิเคราะห์ Panel Data Regression (Li et al., 2019) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับจังหวัด กับความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ยของแต่ละจังหวัด ดังสมการ

$$GPP_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 Light_{i,t} + \beta_2 Light_{i,t}^2 + \beta_3 Manuf_{i,t} + \beta_4 Pop_{i,t} + \tau_t + \varepsilon_{i,t}$$

โดย GPP แทนมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับจังหวัด (Gross Provincial Product; GPP) $Light$ แทนความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ย $Light^2$ แทนค่ากำลังสองของความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ย $Manuf$ แทนสัดส่วนผลผลิตภาคอุตสาหกรรมต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับจังหวัด (Manufacturing Output to GPP Ratio) Pop แทนจำนวนประชากร τ แทนผลกระทบด้านเวลาที่ไม่สามารถสังเกตค่าได้ (Unobservable Time Effect) และ ε แทนค่าความคลาดเคลื่อนอื่นๆ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ แทนค่าพารามิเตอร์ i แทนจังหวัดต่างๆ จำนวน 76 จังหวัด และ i แทนปีที่ศึกษาตั้งแต่ปี 2550 จนถึง 2562 โดยมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับจังหวัดเป็นตัวชี้วัดที่นักเศรษฐศาสตร์นิยมใช้เพื่อสะท้อนมูลค่าผลผลิตทางเศรษฐกิจ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวทำการจัดเก็บและเผยแพร่โดยสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (National Economic and Social Development Council; NESDC) ในขณะที่ความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ยเป็นข้อมูลที่คำนวณโดยผู้เขียนจากภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟ

ยามค่ำคืนซึ่งเผยแพร่โดยหน่วยงาน NOAA ของสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้ เนื่องจากแต่ละจังหวัดมีความแตกต่างกันทั้งทางด้านที่ตั้งทางภูมิศาสตร์และวิถีชีวิตของประชาชนซึ่งนำไปสู่ความแตกต่างของระดับความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ย ในแบบจำลองนี้จึงกำหนดให้สัดส่วนผลผลิตภาคอุตสาหกรรมต่อ GPP $(Manuf)$ และจำนวนประชากร (Pop) เป็นตัวแปรควบคุม (Control Variable) โดยแหล่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษาและค่าสถิติเบื้องต้นของตัวแปรต่างๆ มีรายละเอียดเป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แหล่งข้อมูลและค่าสถิติเบื้องต้นของตัวแปรที่นำมาใช้ในการศึกษา

ตัวแปร	ข้อมูล	หน่วย	แหล่งข้อมูล	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ค่าต่ำสุด (Min)	ค่าสูงสุด (Max)
GPP	มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับจังหวัด	พันล้านบาท	NESDC	119.75	366.54	5.52	3,996.36
Light	ความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ย	-	NOAA	1.93	4.67	0.00	44.42
$Light^2$	ค่ากำลังสองของความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ย	-	NOAA	25.55	125.95	0.00	1,973.32
Manuf	สัดส่วนผลผลิตภาคอุตสาหกรรมต่อ GPP	ร้อยละ	NESDC	20.93	18.71	1.09	85.68
Pop	จำนวนประชากร	หมื่นคน	NESDC	88.00	99.67	18.06	895.82

ที่มา: คำนวณโดยผู้เขียน

ในการพิจารณาแบบจำลองที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ Panel Data Regression ว่าจะเป็นวิธี Fixed Effect หรือ Random Effect นั้น จะใช้การทดสอบด้วยวิธี Hausman Test โดยจากตารางที่ 3 ผลการทดสอบพบว่า สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับจังหวัด กับความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ยควรประมาณการด้วยวิธี Fixed Effect

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบแบบจำลองที่เหมาะสมด้วยวิธี Hausman Test

ค่าสถิติ	Hausman Test	ผลการทดสอบ
Chi square (16)	93.85	Fixed Effect
P-value	0.00	

ที่มา: คำนวณโดยผู้เขียน

ผลการวิเคราะห์โดยใช้ Panel Data Regression แบบ Fixed Effect แสดงในตารางที่ 4 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของแสงสามารถสะท้อนการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับจังหวัดได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 8.759 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มูลค่าผลิตภัณฑ์มวล

รวมระดับจังหวัดและความเข้มข้นของแสงมีความสัมพันธ์ในทางบวก ดังนั้น ความเข้มข้นของแสงจึงน่าจะนำมาใช้เป็นตัวแปรแทนระดับความเป็นเมืองในประเทศไทยได้ นอกจากนี้ ผู้ศึกษาได้ทดสอบความเป็น Robustness ของผลการศึกษา โดยใช้ตัวแปรมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับจังหวัดของภาคนอกเกษตรกรรม (Non-agricultural GPP) เนื่องจากภาคนอกเกษตรกรรมส่วนใหญ่มีการประกอบกิจกรรมทางเศรษฐกิจในยามค่ำคืนมากกว่าภาคเกษตรกรรม ดังนั้น ตัวแปรดังกล่าวจึงน่าจะสามารถสะท้อนกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นผ่านทางระดับความเข้มข้นของแสงได้ โดยผลการทดสอบ Robustness พบว่า แบบจำลองมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับจังหวัดของภาคนอกเกษตรกรรม (Non-agricultural GPP) มีผลการศึกษาสอดคล้องกับแบบจำลองมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับจังหวัด (GPP) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมระดับจังหวัด (Gross Provincial Product; GPP) และความเข้มข้นของแสงโดยเฉลี่ยของแต่ละจังหวัด โดยการวิเคราะห์ Panel Data Regression แบบ Fixed Effect

	GPP	$Non-agricultural\ GPP$
$\mathbf{Light}$	8.759***	8.609***
	(1.948)	(1.944)
$\mathbf{Light^2}$	-0.314***	-0.311***
	(0.045)	(0.045)
$\mathbf{Manuf}$	4.124***	4.238***
	(0.714)	(0.712)
$\mathbf{Pop}$	6.051***	6.081***
	(0.228)	(0.228)
Constant	-507.110***	-519.580***
	(28.056)	(28.003)
Time Effect	Yes	Yes
$\boldsymbol{\rho}$	0.980	0.981
R-squared	0.839	0.834
Observation	988	988

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่า Standard Error
ที่มา: คำนวณโดยผู้เขียน

บทสรุป

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา นักวิจัยไทยเริ่มหันมาใช้ข้อมูล Big Data จากภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนมากขึ้น ตัวอย่างเช่น งานศึกษาของณัฐพงษ์ พัฒนพงษ์ และคณะ (2563) และงานศึกษาของธัญญรัตน์ ไชยคราม (2563) โดยทั้งสองงานศึกษามีการนำภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนของระบบ DMSP-OLS และระบบ NPP-VIIRS อย่างไรก็ตาม งานศึกษาดังกล่าวไม่ได้กล่าวถึงวิธีการเทียบค่าของข้อมูล กรณีภาพถ่ายดาวเทียมระบบ DMSP-OLS ซึ่งประกอบด้วยดาวเทียมหลายดวงที่ใช้ในการบันทึกภาพ บทความนี้จึงได้นำเสนอ

แนวทางการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนเพื่อวัดความเป็นเมืองอย่างละเอียด รวมทั้งทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแสงจากภาพถ่ายดาวเทียมและความเป็นเมืองของประเทศไทยโดยการวิเคราะห์ Panel Data Regression แบบ Fixed Effect ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของแสงจากภาพถ่ายดาวเทียมสามารถสะท้อนระดับความเป็นเมืองของประเทศไทยได้

การนำ Big Data มาใช้ในงานวิจัยในประเทศไทยจะช่วยลดข้อจำกัดเกี่ยวกับการสำรวจข้อมูลทางสถิติได้ เนื่องจากประเทศกำลังพัฒนามีต้นทุนในการสำรวจข้อมูลค่อนข้างสูง เช่น ข้อมูลจำนวนประชากรในแต่ละพื้นที่โดยบางจังหวัดมีประชากรแฝงด้วย ซึ่งการสำรวจประชากรแฝงมีค่าใช้จ่ายและต้นทุนด้านเวลาอย่างมาก การนำข้อมูลจากดาวเทียมมาใช้ประโยชน์ในงานวิจัยจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยให้การทำวิจัยมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Chen & Nordhaus, 2011) โดยงานศึกษาในต่างประเทศได้มีการนำภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนมาใช้อย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น งานศึกษาของ Chen & Nordhaus (2011) งานศึกษาของ Michalopoulos & Papaioannou (2013) และงานศึกษาของ Pinkovskiy & Sala-i-Martin (2016) เป็นต้น

แม้ว่าการนำภาพถ่ายดาวเทียมของแสงไฟยามค่ำคืนมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยจะช่วยทำให้การวัดความเป็นเมืองเชิงพื้นที่เป็นไปอย่างสอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ประเด็นหนึ่งที่นักวิจัยควรตระหนักถึงคือความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล นั่นคือ ไม่มีข้อมูลใดที่ปราศจากความผิดพลาดจากการวัด (Measurement Error) เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของระบบ DMSP-OLS ซึ่งในแต่ละปีมีดาวเทียมหลายดวงทำให้คุณภาพความละเอียดของภาพถ่ายแตกต่างกัน (Gibson et al., 2020; Gibson et al., 2021) เป็นต้น

นอกจากนี้ ระบบ DMSP-OLS เป็นระบบดั้งเดิมทำให้คุณภาพทางด้านความละเอียดของภาพถ่ายน้อยกว่าระบบ NPP-VIIRS แต่เนื่องจากระบบ DMSP-OLS มีข้อมูลอนุกรมเวลาที่ยาวนานกว่าประมาณ 20 ปี จึงทำให้นักวิจัยนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากระบบ DMSP-OLS มาใช้มากกว่าระบบ NPP-VIIRS แม้ว่าคุณภาพของความละเอียดของภาพถ่ายจะน้อยกว่าก็ตาม (Gibson et al., 2020; Gibson et al., 2021) อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดเรื่องจำนวนข้อมูลอนุกรมเวลาที่น้อยกว่าของระบบ NPP-VIIRS เริ่มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้น การนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของระบบ NPP-VIIRS มาใช้ในงานวิจัยโดยเฉพาะงานวิจัยในประเทศไทยคงจะมีมากขึ้นในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

ณัฐพงษ์ พัฒนพงษ์, Martinez, A. M., Durante, R. L. S., และพิชญ์ จงวัฒนากุล. (2563). *การวิเคราะห์ความเหลื่อมล้ำในประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลดาวเทียมและภูมิสารสนเทศ.* Discussion Paper Series No. 57 คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ธัญญรัตน์ ไชยคราม. (2563). การเปรียบเทียบการขยายตัวของเมืองระหว่างก่อนและหลังการเข้าร่วมโครงการ 12 เมืองต้องห้าม...พลาด โดยใช้ภาพถ่ายแสงไฟช่วงกลางคืนจากดาวเทียม กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี. *Thai Journal of Science and Technology*, 9(1), 31-44.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2558). *รายงานประชากรแฝง พ.ศ. 2553*. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานสถิติแห่งชาติ.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2563). *ผลิตภัณฑ์ภาคและจังหวัด แบบปริมาณลูกโซ่ ฉบับ พ.ศ. 2563.* สืบค้นเมื่อ 15 เมษายน 2565 จาก https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=12387&filename=gross_regional

อารีรัตน์ ลุนลลาด, และอมรรัตน์ อภินันท์มหกุล. (2565). ภาระหนี้สินของครัวเรือนเกษตรทำงานเปรียบเทียบกับหนี้สินของครัวเรือนที่ประกอบอาชีพอื่น. *พัฒนาการเศรษฐกิจปริทรรศน์*, 16(1), 103-129.

Angkurawaranon, C., Wattanatchariya, N., Doyle, P., & Nitsch, D. (2013). Urbanization and non-communicable disease mortality in Thailand: an ecological correlation study. *Tropical Medicine and International Health*, 18(2), 130-140. https://doi.org/10.1111/tmi.12038

Chen, X., & Nordhaus, W. D. (2011). Using luminosity data as a proxy for economic statistics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(21), 8589-8594. https://doi.org/10.1073/pnas.1017031108

Friend, R., Choosuk, C., Hutanuwatr, K., Inmuong, Y., Kittitornkool, J., Lambregts, B., Promphakping, B., Roachanakanan, T., Thiengburanathum, P., Thinphanga, P., & Siriwattanaphaiboon, S. (2016). *Urbanising Thailand: implications for climate vulnerability assessment*. International Institute for Environment and Development. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17931.49444

Gibson, J., Olivia, S., & Boe-Gibson, G. (2020). Night lights in economics: sources and uses. *Journal of Economic Surveys*, 34(5), 955-980. https://doi.org/10.1111/joes.12387

Gibson, J., Olivia, S., Boe-Gibson, G., & Li, C. (2021). Which night lights data should we use in economics, and where? *Journal of Development Economics*, 149, 102602. https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102602

Li, L., Sun, Z., & Long, X. (2019). An empirical analysis of night-time light data based on the gravity model. *Applied Economics*, 51(8), 797-814. https://doi.org/10.1080/00036846.2018.1523612

Lowe, M. (2014). *Night lights and ArcGIS: A brief guide*. Massachusetts Institute of Technology. https://darrylmcleod.com/wp-content/uploads/2016/06/Night-Lights-and-ArcGIS-A-Brief-Guide.pdf

Michalopoulos, S., & Papaioannou, E. (2013). Pre-colonial ethnic institutions and contemporary African development. *Econometrica*, 81(1), 113-152. https://doi.org/10.3982/ECTA9613

Mullainathan, S., & Spiess, J. (2017). Machine learning: An applied econometric approach. *Journal of Economic Perspectives*, 31(2), 87-106. https://doi.org/10.1257/jep.31.2.87

National Oceanic and Atmospheric Administration. (2019). *Version 4 DMSP-OLS nighttime lights time series* [Database]. Retrieved from https://www.ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html

National Oceanic and Atmospheric Administration. (2020a). *Global gas flaring shapefiles* [Database]. Retrieved from https://ngdc.noaa.gov/eog/interest/gas_flares_countries_shapefiles.html

National Oceanic and Atmospheric Administration. (2020b). *Version 1 VIIRS day/night band nighttime lights* [Database]. Retrieved from https://www.ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html

Pinkovskiy, M., & Sala-i-Martin, X. (2016). Lights, camera … income! Illuminating the national accounts-household surveys debate. *The Quarterly Journal of Economics*, *131*(2), 579-631. https://doi.org/10.1093/qje/qjw003

Sriwaranun, Y., Gan, C., Lee, M., & Cohen, D. A. (2015). Consumers' willingness to pay for organic products in Thailand. *International Journal of Social Economics*, 42(5), 480-510. https://doi.org/10.1108/IJSE-09-2013-0204

Supasa, T., Hsiau, S.-S., Lin, S.-M., Wongsapai, W., & Wu, J.-C. (2017). Household energy consumption behaviour for different demographic regions in Thailand from 2000 to 2010. *Sustainability*, 9(12), 2328. https://doi.org/10.3390/su9122328

Wongmonta, S. (2020). An assessment of household food consumption patterns in Thailand. *Journal of the Asia Pacific Economy*, 1-21. https://doi.org/10.1080/13547860.2020.1811191

World Bank. (2020). *World development indicators* [Database]. Retrieved from http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=world-development-indicators#

Wu, J., He, S., Peng, J., Li, W., & Zhong, X. (2013). Intercalibration of DMSP-OLS night-time light data by the invariant region method. *International Journal of Remote Sensing*, 34(20), 7356-7368. https://doi.org/10.1080/01431161.2013.820365

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019). *World urbanization prospects: the 2018 revision (ST/ESA/SER.A/420)*. New York: United Nations. Retrieved from https://population.un.org/wup/