

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดินกับพื้นที่ชุมชน
และสิ่งปลูกสร้าง กรณีศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดระยอง
The Study of Correlation Between Land Surface Temperature
with Urban and Building Area, A Case Study of Amphoe Mueang Rayong,
Rayong Province, Thailand

นราธิป เฟ่งพิศ*, สุพรรณ กาญจนสุธรรม, แก้ว นวลจวี และ ภัทราพร สร้อยทอง
Narathip Phengphit*, Supan Karnchanasutham, Kaew Nualchawee and Phattraporn Soyong

คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
Faculty of Geoinformatics, Burapha University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดินกับพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-8 และเลือกวิธีการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินแบบ Split-Window ที่ประกอบด้วย 3 พารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ 1) อุณหภูมิความสว่าง 2) สภาพเปล่งรังสีของพื้นผิวโลก และ 3) ไอน้ำในชั้นบรรยากาศ ในการประมาณค่าร่วมกับการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล ผลจากการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า พื้นที่เกษตรกรรมมีพื้นที่เท่ากับ 290.86 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 56.46 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีพื้นที่เท่ากับ 89.77 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 17.42 พื้นที่อื่นๆ มีพื้นที่เท่ากับ 70.54 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 13.69 พื้นที่ป่าไม่มีพื้นที่เท่ากับ 60.15 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 11.67 และพื้นที่แหล่งน้ำมีพื้นที่เท่ากับ 3.87 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 0.75 ผลจากการประเมินความถูกต้องของการจำแนกพบว่ามีความถูกต้องโดยรวม เท่ากับ 78.80 เปอร์เซนต์ เมื่อทำการศึกษาอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละตำบล พบว่า ตำบลท่าประดู่ มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 33.21 องศาเซลเซียส รองลงมา คือ ตำบลเชิงเนิน มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 31.71 และตำบลมาบตาพุด มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 31.11 องศาเซลเซียส เนื่องจากตำบลดังกล่าวปกคลุมด้วยพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเป็นส่วนใหญ่ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ยกับพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างนั้นมีความสัมพันธ์กันและมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9604 นอกเหนือจากนี้จากการทำนายอุณหภูมิจากสมการถดถอยเชิงเส้น พบว่า ถ้าในอนาคตร้อยละของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 100 อำเภอเมืองระยองจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 5.69 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : ความสัมพันธ์, อุณหภูมิพื้นผิวดิน, พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

Abstract

The research was studied land surface temperature by Split-Window algorithm for LANDSAT-8, which it consisted three important parameters such as 1) brightness temperature 2) land surface emissivity and 3) atmospheric water vapor. There was also an analysis of land use, for studying a relationship between land surface temperature and urban and building area. The result of land use found most areas of the district remains an agricultural, which was 290.86 Sq.Km. or 56.46% of the total area, urban and building areas were 89.77 Sq.Km. or 17.42%, other areas were 70.54 Sq.Km. or 13.69%, forest areas were 60.15 Sq.Km. or 11.67% and water areas were 3.87 Sq.Km. or 0.75%. The overall accuracy assessment of land use was 78.80 percent, The study analyzed the statistics land surface temperature in each sub-district showed a higher average temperature in Tambon Tha Pradu, Tambon Choeng Noen and Tambon Map Ta Phut, it had a temperature of 33.21, 31.71 and 31.11 degree Celsius respectively because most areas of the districts were covered urban and building. In addition, the relationship between land surface temperature and percent of urban and building area showed r about 0.9604. In addition, the result of temperature was predicted by the linear regression equation that shown, If urban and building areas increase 100 percent of the total area, an average temperature will be increases approximately 5.69 degree Celsius.

Keywords : Correlation, Land Surface Temperature, Urban and building areas

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สภาพภูมิอากาศในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก หรือภาวะโลกร้อน (Global Warming) แม้ว่าอุณหภูมิจะสูงขึ้นไม่กี่องศา แต่ก็ทำให้ภัยพิบัติต่าง ๆ มีความรุนแรงขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ภัยแล้ง ไฟป่า อุทกภัยและวาตภัย ประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนาจนมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากเกษตรกรรมสู่ชุมชนเมืองอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง การเพิ่มขึ้นของชุมชนเมืองและอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิของพื้นที่เพิ่มขึ้นและมีส่วนทำให้เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนของเมือง (Urban Heat Island) ยิ่งมีการขยายตัวของชุมชนและอุตสาหกรรมมากขึ้นเท่าไร ก็ยิ่ง

ทำให้อุณหภูมิและปรากฏการณ์เกาะความร้อนขยายวงกว้างขึ้น ถึงแม้ว่าการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ดังกล่าวจะเป็นที่ประจักษ์ในระดับโลก ภูมิภาคหรือประเทศ แต่ก็ไม่สามารถลดความต้องการของมนุษย์ได้ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2556) กิจกรรมดังกล่าวจึงต้องดำเนินการต่อไป

อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง เป็นอำเภอหนึ่งที่อยู่ใต้อำเภอการดำเนินการยุทธศาสตร์และพัฒนาเศรษฐกิจ โดยอำเภอเมืองระยองมีทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมในการพัฒนาอุตสาหกรรมเนื่องจากอยู่ห่างจากกรุงเทพฯ ไม่มากนัก โดยมีศักยภาพที่สำคัญ ได้แก่ เป็นศูนย์กลางด้านอุตสาหกรรม การท่องเที่ยวและการคมนาคมขนส่งของภาคตะวันออก รวมไปถึงการลงทุนและการส่งออกอยู่ในเขตโครงการพัฒนาเขตพื้นที่

บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก เอื้อต่อการพัฒนาภาคอุตสาหกรรม จากศักยภาพดังกล่าว จึงเกิดการเคลื่อนย้ายเงินทุนและแรงงานมาสู่อุตสาหกรรมมากขึ้น มีการเพิ่มขึ้นของชุมชนและอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง มีนิคมอุตสาหกรรมที่สำคัญ ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นิคมอุตสาหกรรมเหมราชตะวันออกมาบตาพุด โดยมีสถานประกอบการอุตสาหกรรมทั้งสิ้น 638 แห่ง มีแรงงานในภาคอุตสาหกรรม 45,286 คน (สำนักบริหารยุทธศาสตร์ กลุ่มจังหวัดภาคตะวันออก, 2558) และมีแนวโน้มการขยายตัวของพื้นที่ชุมชนและอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ดังกล่าวกับอุณหภูมิจะเป็นสิ่งที่บ่งชี้ให้เกิดความตระหนักต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในพื้นที่อำเภอเมืองระยอง เมื่อชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมากขึ้น รวมถึงเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนและพัฒนาผังเมืองรวมในอนาคต

ในปัจจุบันเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ได้แก่ ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS) การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing: RS) ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS) สามารถนำมาประยุกต์ในการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดิน (Land Surface Temperature) จากข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-8 ระบบอินฟราเรดความร้อน และติดตามอุณหภูมิของพื้นที่อำเภอเมืองระยองได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณอำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง

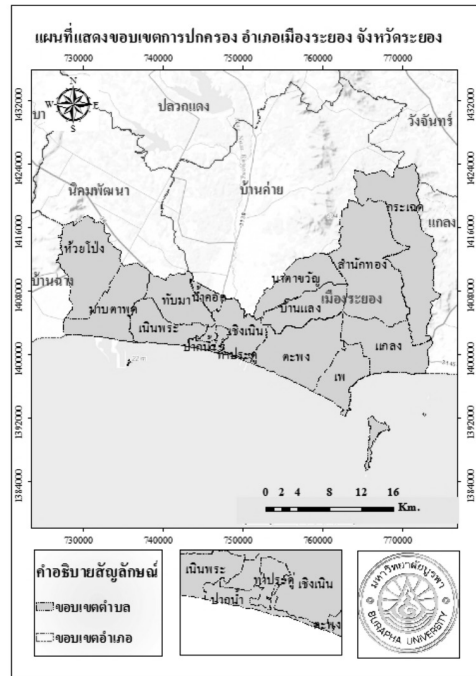
1.2.2 เพื่อศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวดินบริเวณอำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง

1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดินกับร้อยละของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง บริเวณอำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

การศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาประมาณ 515.19 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 321,994.92 ไร่ ประกอบด้วย 15 ตำบล ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนที่ขอบเขตการปกครองอำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง

1.3.2 ขอบเขตด้านการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินจากข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-8 โดยใช้อัลกอริทึม Split-Windowประยุกต์กับข้อมูลอินฟราเรดความร้อนทั้งสองช่วงคลื่น ร่วมกับสภาพการเปล่งรังสีของพื้นผิวโลกและไอน้ำในชั้นบรรยากาศ สำหรับประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างกับอุณหภูมิในแต่ละตำบลและสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นสำหรับทำนายอุณหภูมิที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกลักษณ์ สลักคำ (2553) ประยุกต์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-5 ช่วงคลื่นความร้อนในการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินจากพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินประเภทต่าง ๆ ตลอดจนวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดินและประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-5 กระบวนการในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย ขั้นตอนการปรับแก้ข้อมูลจากดาวเทียม วิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวดินและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดินกับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและการสำรวจภาคสนาม ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิพื้นผิวดินในเขตพื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่เปิดโล่งและพื้นที่ถูกเผา มีอุณหภูมิพื้นผิวดินสูงกว่าในเขตพื้นที่แหล่งน้ำและป่าไม้ นอกจากนี้อุณหภูมิพื้นผิวดินที่ได้จากการประมาณค่าและการตรวจวัดในภาคสนาม มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูง

Juan C et al. (2014) ได้ศึกษาการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นดิน จากระบบตรวจวัดข้อมูลอินฟราเรดความร้อนของดาวเทียม LANDSAT-8 ที่มีระบบตรวจวัดสัญญาณของช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนจำนวนสองช่วงคลื่น จึงสามารถนำข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-8 มาประยุกต์กับกระบวนการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินแบบ Split-Window ได้ นอกจากนี้ยังมีการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินแบบ Single-Channel ที่ใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนเพียงช่วงเดียว สำหรับการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิจากการประมาณค่าทั้งสองแบบ โดยผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิพื้นผิวดินแบบ Split-Window มีความคลาดเคลื่อน RMSE น้อยกว่า 1 องศาเซลเซียสในทุกสภาพอากาศ ซึ่งมีความแม่นยำกว่าอุณหภูมิพื้นผิวดินแบบ Single-Channel เพียง

เล็กน้อย

Rajeshwari A and Mani ND (2014) ได้ศึกษาการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินในตำบลดินดิฏฐ ประเทศอินเดีย จากข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-8 และเลือกใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Split-Window โดยใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนทั้งสองช่วงคลื่น ได้แก่ แบนด์ 10 (10.60 – 11.19 ไมโครเมตร) แบนด์ 11 (11.50 – 12.51 ไมโครเมตร) ผลการศึกษาพบว่า ค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินมีความแตกต่างอยู่ระหว่าง 31.85 ถึง 50.85 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินที่มากกว่า 50.85 องศาเซลเซียส พบมากในพื้นที่แห้งแล้งและพื้นที่ว่างเปล่า ค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินอยู่ระหว่าง 39.85 ถึง 44.85 องศาเซลเซียส พบมากในพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกพืช ส่วนค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินที่มีค่าต่ำกว่า 31.85 องศาเซลเซียส พบมากในพื้นที่ที่มีพืชขึ้นปกคลุมหนาแน่น

จากการทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมิมีความสอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างที่เพิ่มขึ้น จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน ทั้งนี้การเลือกอัลกอริทึมที่มีความเหมาะสมในการใช้งานข้อมูลอินฟราเรดความร้อน ยังมีผลต่อประสิทธิภาพการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินอีกด้วย

3. วิธีการศึกษา

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลดาวเทียม LANDSAT-8 ระบบ Operational Land Imager และระบบอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared) จากเว็บไซต์ USGS ตำแหน่ง Path 128 Row 51 บันทึกข้อมูลวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2557 และตำแหน่ง Path 129 Row 51 บันทึกข้อมูลวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557

3.2 ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้อัลกอริทึม Spilt-Window ในการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดิน โดยใช้ข้อมูลอินฟราเรดความร้อน จากข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT-8 มีความยาวคลื่น 10.60 ถึง 11.19 ไมโครเมตร ในแบนด์ 10 และความยาวคลื่น 11.50 ถึง 12.51 ไมโครเมตร ในแบนด์ 11 โดยมีวิธีการและขั้นตอนการศึกษาดังนี้

3.2.1 การศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use) เป็นกระบวนการสำหรับจำแนกประเภทของข้อมูลจากข้อมูลจากดาวเทียม โดยใช้กลุ่มของค่าการสะท้อนแสง (DN) ในการจัดกลุ่มชั้นข้อมูลเพื่อแสดงความแตกต่างทางกายภาพของวัตถุ โดยใช้เทคนิคการจำแนกข้อมูลแบบควบคุม (Supervised Classification) โดยวิธีการจำแนกแบบความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Classification) กำหนดตัวอย่างออกเป็น 5 กลุ่มหลัก

3.2.1.1 พื้นที่ป่าไม้ (Forest)

3.2.1.2 พื้นที่แหล่งน้ำ (Water)

3.2.1.3 พื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural Land)

3.2.1.4 พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (Urban and Building)

3.2.1.5 พื้นที่อื่น ๆ (Others)

3.2.2 การศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวดิน

3.2.2.1 อุณหภูมิความสว่าง (Brightness Temperature) เป็นอุณหภูมิพื้นผิวโลกในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน และนำมาประยุกต์ในการรับรู้จากระยะไกล เมื่อการแผ่รังสี (Radiance) วัตถุเท่ากับการแผ่รังสีของวัตถุดำ การแผ่รังสีของวัตถุดำเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิความสว่างของวัตถุ แสดงได้ดังสมการที่ 1 (USGS, 2013)

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (1)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิความสว่างหน่วยเคลวิน

K_1 คือ ค่าคงที่ 774.89 ในแบนด์ 10 และ 480.89 ในแบนด์ 11

K_2 คือ ค่าคงที่ 1321.08 ในแบนด์ 10 และ 1201.14 ในแบนด์ 11

L_λ คือ ค่าการแผ่รังสี (Radiance) เชิงสเปกตรัม โดยการแผ่รังสีของวัตถุจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นและสัดส่วนระหว่างการดูดกลืน (Absorb) การสะท้อน (Reflectance) และการปล่อยผ่าน (Transmittance) โดยวัตถุที่มีการดูดกลืนได้ดีก็จะมีค่าการแผ่รังสีที่ต่ำด้วย แสดงได้ดังสมการที่ 2 (USGS, 2013)

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (2)$$

เมื่อ M_L คือ ค่า Radiance Multi Band จากข้อมูลอธิบายข้อมูล

A_L คือ ค่า Radiance Add Band จากข้อมูลอธิบายข้อมูล

Q_{cal} คือ ค่า Digital Number (DN)

3.2.2.2 การศึกษาสภาพเปล่งรังสีของพื้นผิวโลก (Land Surface Emissivity) การแผ่รังสีของวัตถุจริงบนพื้นโลกไม่สามารถดูดกลืนพลังงานไว้ทั้งหมด โดยมีการแผ่รังสีออกมาเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวัตถุดำ โดยสภาพการเปล่งรังสีสามารถประมาณค่าได้จากข้อมูลสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมดินที่ได้จากดัชนีความแตกต่างของพืชพรรณ แสดงได้ดังสมการที่ 3 (Skokovic, D et al., 2014)

$$LSE = \epsilon_s (1 - FVC) + \epsilon_v * FVC \quad (3)$$

เมื่อ ϵ_s คือ ค่าคงที่ของ LANDSAT-8 แบนด์ 10 (0.971) แบนด์ 11 (0.977)

ϵ_v คือ ค่าคงที่ของ LANDSAT-8 แบนด์ 10 (0.987) แบนด์ 11 (0.989)

FVC คือ สัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมดิน (Fractional Vegetation Cover) สามารถคำนวณได้จากความสมบูรณ์ของพืชพรรณในแต่ละพิกเซล แสดงได้ดังสมการที่ 4 (Skokovic. D et al., 2014)

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \quad (4)$$

เมื่อ $NDVI_v$ คือ $NDVI$ ของพืชพรรณหรือค่าสูงสุดของ $NDVI$

$NDVI_s$ คือ $NDVI$ ของดินหรือค่าต่ำสุดของ $NDVI$

$NDVI$ คือ ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ (Normalize Difference Vegetation Index: $NDVI$) แสดงได้ดังสมการที่ 5 (Lawrence & Ripple, 1998)

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (5)$$

เมื่อ ρ_{NIR} คือ ค่าการสะท้อนของพืชพรรณในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

ρ_{Red} คือ ค่าการสะท้อนของพืชพรรณในช่วงคลื่นสีแดง

ρ คือ ค่าการสะท้อนของสิ่งปกคลุมดิน โดยค่าการสะท้อนจะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นและสัดส่วนของการดูดกลืน การสะท้อนและการส่งผ่านโดยวัตถุที่มีการสะท้อนได้ดี จะมีการดูดกลืนต่ำสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 6 (USGS, 2013)

$$\rho_\lambda = M_\rho Q_{cal} + A_\rho \quad (6)$$

เมื่อ M_ρ คือ ค่า Reflectance Multi Band จากข้อมูลอธิบายข้อมูล

A_ρ คือ ค่า Reflectance Add Band จากข้อมูลอธิบายข้อมูล

Q_{cal} คือ ค่า Digital Number (DN)

3.2.2.3 การศึกษาไอน้ำในชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Water Vapor) จากความสามารถของการส่งผ่านชั้นบรรยากาศในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน โดยใช้อุณหภูมิความสว่างของแบนด์ 10 และแบนด์ 11 ร่วมกับสมการถดถอยเชิงเส้นสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 7

$$wv = a + b \cdot \tau_j / \tau_i \quad (7)$$

เมื่อ

$$\frac{\tau_j}{\tau_i} \approx R_{ji} = \frac{\sum_{k=1}^N (T_{i,k} - \bar{T}_i)(T_{j,k} - \bar{T}_j)}{\sum_{k=1}^N (T_{i,k} - \bar{T}_i)^2}$$

เมื่อ a และ b คือ สัมประสิทธิ์ที่ได้จากการจำลอง

τ คือ ประสิทธิภาพในการทะลุผ่านของแบนด์ 10 และ 11

i และ j คือ แบนด์ 10 และแบนด์ 11 ของช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน

$T_{i,k}$ และ $T_{j,k}$ คือ ค่าอุณหภูมิความสว่างของแบนด์ที่ 10 และ 11

\bar{T}_i และ \bar{T}_j คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิความสว่างของแบนด์ 10 และ 11

3.2.2.4 การศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวดิน โดยการนำค่าอุณหภูมิความสว่าง สภาพเปล่งรังสีของพื้นผิวโลกของทั้ง 2 ช่วงคลื่นและไอน้ำในชั้นบรรยากาศ แสดงได้ดังสมการที่ 8 (Skokovic. D et al., 2014)

$$LST = T_{10} + C_{10} - T_{11} + (T_{10} - T_{11})^2 C_0 + (C_3 + C_4 W)(1 - \epsilon) + (C_5 + C_6 W) \Delta \epsilon \quad (8)$$

เมื่อ T_{10} และ T_{11} คือ อุณหภูมิความสว่างของแบนด์ 10 และ 11

ε คือ สภาพเปล่งรังสีของพื้นผิวเฉลี่ยของแบนด์ 10 และ 11 (Mean LSE)

$\Delta\varepsilon$ คือ ความแตกต่างสภาพเปล่งรังสี (Difference LSE) ของแบนด์ 10 และ 11

C_0 ถึง C_6 คือ ค่าคงที่ของสมการ ดังตารางที่ 1

W คือ ค่าไอน้ำในชั้นบรรยากาศ

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ Split-Window (Skokovic. D et al., 2014)

ค่าคงที่ (Constant)	ค่า Value
C_0	-0.678
C_1	1.378
C_2	0.183
C_3	54.30
C_4	-2.238
C_5	-129.2
C_6	16.40

3.2.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวดินกับพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แสดงได้ดังสมการที่ 9

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n\sum X^2 - (\sum X)^2][n\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (9)$$

เมื่อ r คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน
X คือ ร้อยละของชุมชนและสิ่งปลูกสร้างของพื้นที่ทั้งหมดในแต่ละตำบล

Y คือ อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละตำบล

3.2.4 การสร้างสมการถดถอยเชิงเส้น เพื่อทำนายค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ยอำเภอเมืองระยอง เมื่อทราบร้อยละของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างกับอุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ย แสดงได้ดังสมการที่ 10

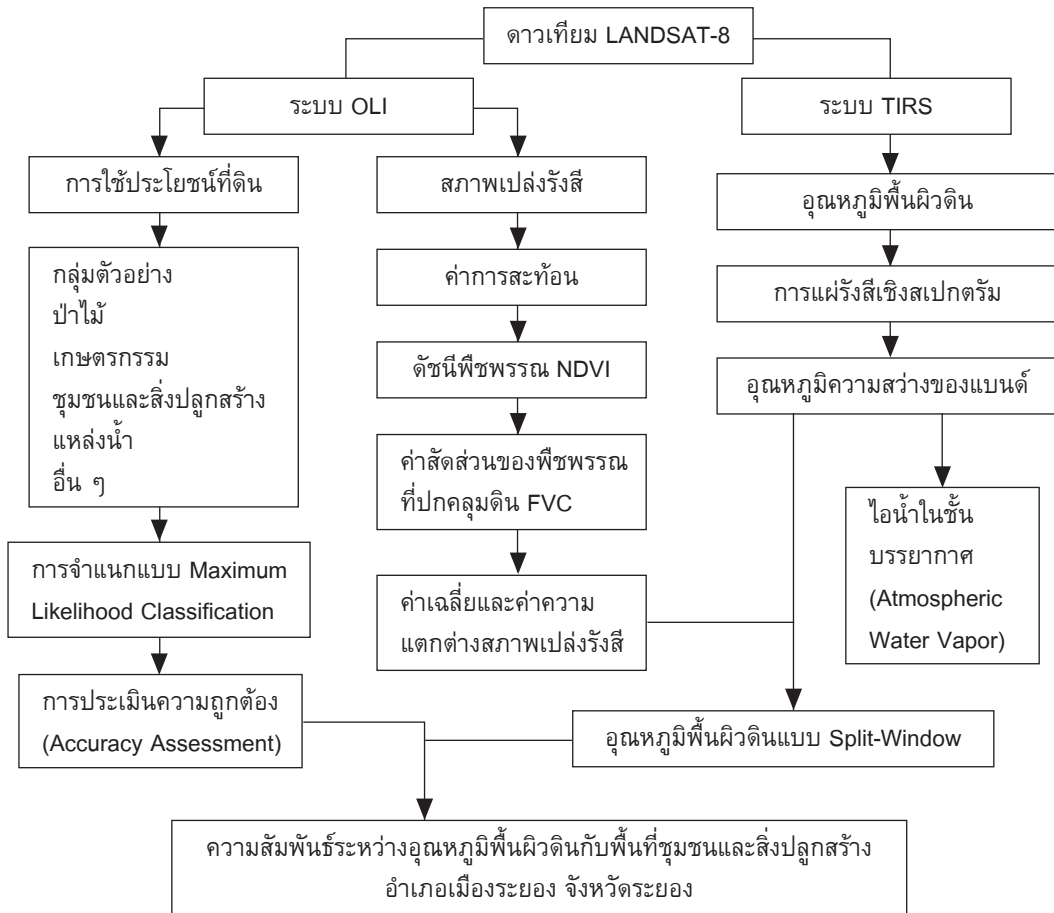
$$Y = a + b(X) \quad (10)$$

เมื่อ Y คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวดินจากการทำนาย

X คือ สัดส่วนหรือร้อยละของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

a คือ จุดตัดของแกน Y

b คือ ความลาดชัน (Slope) ของสมการ



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

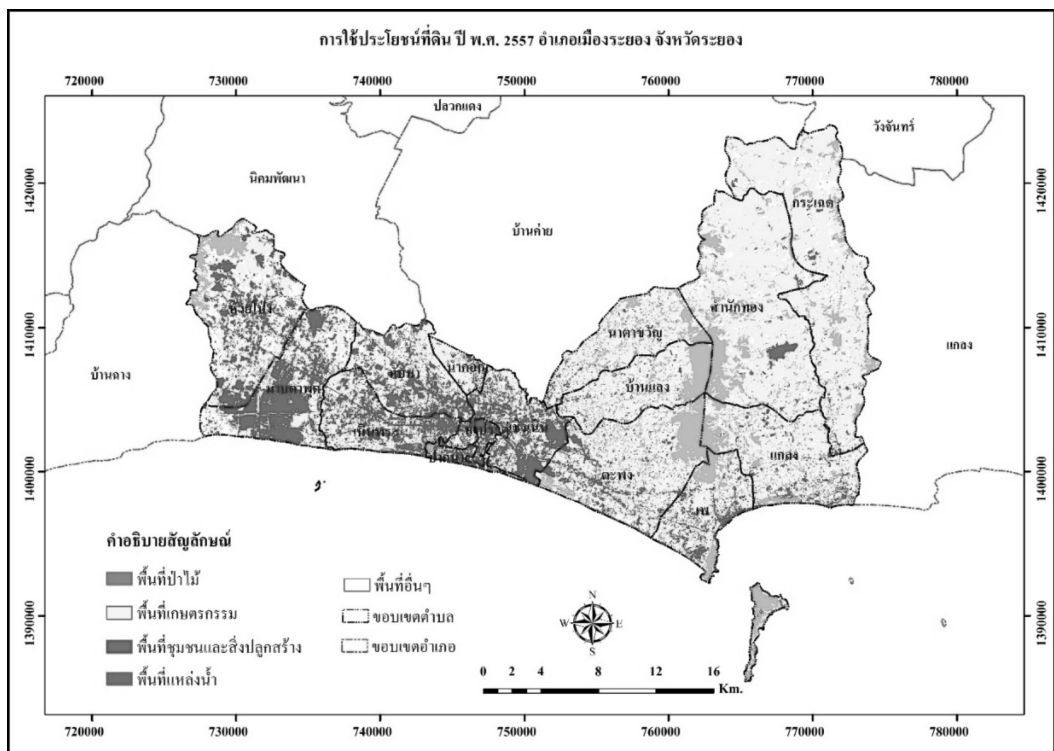
4. ผลการศึกษา

ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบความน่าจะเป็นสูงสุด พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอเมือง จังหวัดระยอง มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่เกษตรกรรมมากที่สุดเท่ากับ 290.86 ตารางกิโลเมตร หรือ 181,788.00 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 56.46 ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมประเภทไม้ยืนต้น รองลงมาคือพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีพื้นที่เท่ากับ 89.77 ตารางกิโลเมตร หรือ 56,107.12 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 17.42 พบมาก

ในตำบลมาบตาพุด ตำบลเชิงเนิน ตำบลห้วยโป่ง โดยอำเภอเมืองระยองมีพื้นที่ป่าไม้เท่ากับ 60.15 ตารางกิโลเมตร หรือ 37,591.19 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 11.67 ส่วนใหญ่พบในตำบลตะพง ตำบลแก่ง ตำบลสำนักทอง ตำบลบ้านแลง ส่วนพื้นที่แหล่งน้ำมีพื้นที่ประมาณ 3.87 ตารางกิโลเมตร หรือ 2,419.29 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.75 โดยพื้นที่อื่น ๆ ที่พบจะเป็นพื้นที่รกร้างว่างเปล่ารอการเปลี่ยนแปลงเป็นชุมชนและเกษตรกรรม ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 3

ตารางที่ 2 การใช้ประโยชน์ที่ดิน อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง พ.ศ. 2557

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ตร.กม.	ไร่	ร้อยละ
เกษตรกรรม	290.86	181,788.00	56.46
ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	89.77	56,107.12	17.42
อื่นๆ	70.54	44,089.32	13.69
ป่าไม้	60.15	37,591.19	11.67
แหล่งน้ำ	3.87	2,419.29	0.75
รวม	515.19	321,994.92	100.00



ภาพที่ 3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง ปี พ.ศ. 2557

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกจากการสุ่มจุดตัวอย่าง 250 จุดตัวอย่าง ดังตารางที่ 3 โดยแต่ละการใช้ประโยชน์ที่ดินจะมีจุดตัวอย่างอ้างอิง (Reference Point) ไม่น้อยกว่า 30 จุด พบว่ามีค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) 78.80 เปอร์เซนต์ ซึ่งอยู่ในระดับดี เมื่อศึกษาค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการไม่ถูกจัดเข้ากลุ่ม (Error of Omission: EO) จากจำนวนจุดตัวอย่างอ้างอิง (Reference Data) ในแต่ละการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่าพื้นที่เกษตรกรรมมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 27.08 รองลงมาคือพื้นที่ป่าไม้ คิดเป็นร้อยละ 25.00 โดยจะจำแนกผิดเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งพื้นที่เกษตรกรรมของอำเภอเมืองระยองจะเป็นไม้ยืนต้น เช่น ยางพารา

ปาล์มน้ำมัน ทำให้มีลักษณะคล้ายป่าไม้ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการไม่ถูกจัดเข้ากลุ่มจะแสดงถึงความถูกต้องสำหรับผู้จำแนกหรือผลิตภัณฑ์ (Producer Accuracy: PA) ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการถูกจัดเข้ากลุ่มมากเกินไป (Error of Commission: EC) จากจำนวนรวมของจุดตัวอย่างจากการจำแนกในแต่ละการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าพื้นที่อื่นมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 40.91 รองลงมาคือพื้นที่เกษตรกรรมคิดเป็นร้อยละ 20.45 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการถูกจัดเข้ากลุ่มมากเกินไปจะแสดงถึงความถูกต้องสำหรับผู้ใช้งาน (Consumer Accuracy: CA) ด้วย

ตารางที่ 3 ตารางตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทข้อมูลในภาพ

การใช้ประโยชน์ที่ดิน		ข้อมูลอ้างอิง						รวม	EC(%)	CA(%)
		F	A	W	U	O				
ข้อมูล จากการจำแนก	F	33	8	0	0	0	41	19.51	80.49	
	A	8	70	4	0	6	88	20.45	79.55	
	W	0	3	39	3	2	47	17.02	82.98	
	U	0	1	0	29	0	30	3.33	96.67	
	O	3	14	1	0	26	44	40.91	59.09	
รวม		44	96	44	32	34	250			
EO(%)		25.00	27.08	11.36	9.38	23.53				
PA(%)		75.00	72.92	88.64	90.63	76.47				

“หมายเหตุ” : F = พื้นที่ป่าไม้

U = ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

W = พื้นที่แหล่งน้ำ

A = พื้นที่เกษตรกรรม

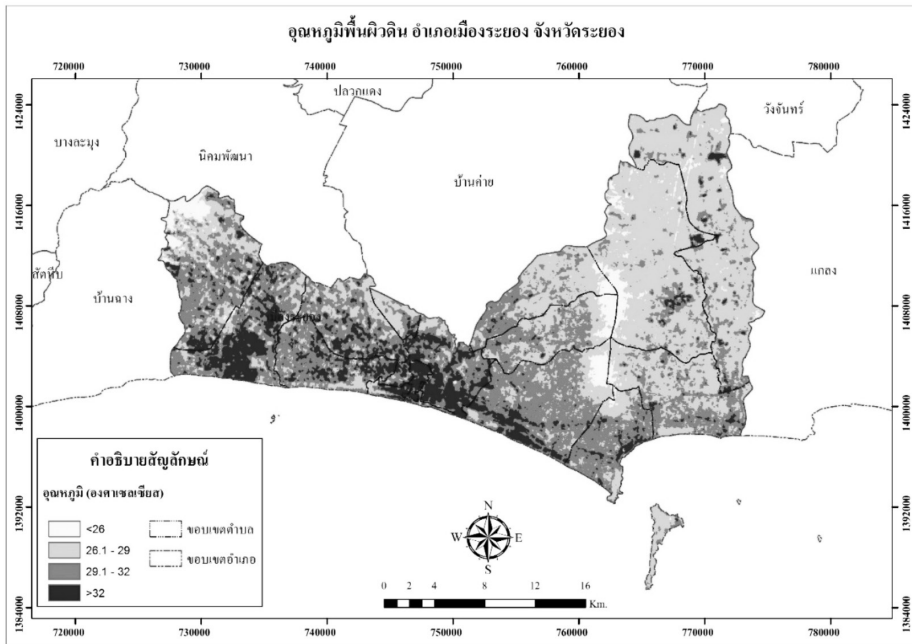
O = พื้นที่อื่น ๆ

การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดินด้วย อัลกอริทึม Split-Window พบว่า อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.10 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิสูงสุด 42.43 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 16.82 องศาเซลเซียส เมื่อวิเคราะห์สถิติของอุณหภูมิรายตำบล พบว่า ตำบลท่าประดู่ มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 33.21 องศาเซลเซียส รองลงมาคือตำบลเชิงเนิน ตำบลปากน้ำและตำบลมาบตาพุด มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 31.71 31.12 และ 31.11 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยตำบลที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงจะมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างและพื้นที่ว่างเปล่าเป็นส่วนใหญ่ ในอีกทางหนึ่งตำบลที่มีอุณหภูมิต่ำสุดจะมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่เกษตรกรรมและ

พื้นที่ป่าไม้เป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ ตำบลสำนักทอง ตำบลกระเจ็ดและตำบลนาตาขวัญ มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 27.49, 27.84 และ 28.38 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ที่ดินกับอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละตำบล พบว่า ร้อยละของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างต่อจำนวนพื้นที่รวมของแต่ละตำบลเป็นไปในทิศทางเดียวกับอุณหภูมิ โดยยังมีจำนวนร้อยละของพื้นที่ดังกล่าวข้างต้นมาก อุณหภูมิเฉลี่ยของตำบลก็จะเพิ่มขึ้น โดยตำบลท่าประดู่ ตำบลปากน้ำและตำบลมาบตาพุด ซึ่งเป็นตำบลที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูง มีร้อยละของชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมากเท่ากับ 72.76, 54.51 และ 48.78 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 4

ตารางที่ 4 สถิติอุณหภูมิพื้นผิวดินกับร้อยละของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างรายตำบล

ตำบล	อุณหภูมิพื้นผิวดิน				ชุมชนและ สิ่งปลูกสร้าง (ไร่)	พื้นที่ทั้งหมด (ไร่)	ร้อยละ
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	S.D.			
ท่าประดู่	25.55	36.60	33.21	1.38	1,229.09	1,689.30	72.76
เชิงเนิน	19.32	41.02	31.71	2.12	8,041.29	16,485.45	48.78
ปากน้ำ	25.74	35.91	31.12	2.16	1,292.81	2,371.72	54.51
มาบตาพุด	21.79	39.57	31.11	2.05	11,424.18	24,138.63	47.33
เนินพระ	25.73	36.03	30.72	1.62	6,318.89	15,564.27	40.60
ทับมา	20.74	37.46	30.16	1.82	5,956.12	17,625.52	33.79
ตะพง	22.83	41.30	29.79	2.14	4,325.78	32,025.78	13.51
เพ	24.44	37.82	29.53	1.83	3,202.15	18,051.30	17.74
ห้วยโป่ง	16.82	42.43	28.94	2.66	7,891.57	31,992.91	24.67
น้ำคอก	25.31	34.56	28.80	1.92	574.76	3,617.98	15.89
แกลง	23.33	36.94	28.79	1.50	2,219.00	26,033.05	8.52
บ้านแลง	22.79	34.44	28.49	1.74	635.48	17,568.86	3.62
นาตาขวัญ	22.11	35.95	28.38	1.58	748.89	18,215.87	4.11
กระเจ็ด	24.19	37.50	27.84	1.48	882.12	46,455.57	1.90
สำนักทอง	22.40	36.26	27.49	1.46	1,364.99	50,158.71	2.72
รวม					56,107.12	321,994.92	



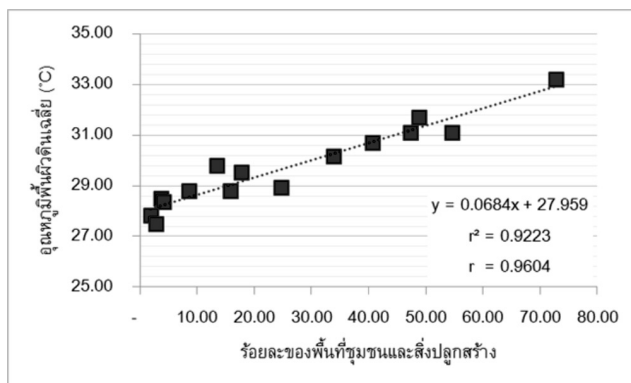
ภาพที่ 4 อุณหภูมิพื้นผิวดินจากแบบจำลอง Split-Window อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง

ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละของพื้นที่ชุ่มชื้นและสิ่งปลูกสร้างกับ อุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ยของแต่ละตำบล พบว่า ข้อมูลทั้ง 2 ชุดมีความสัมพันธ์กัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.9604 แสดงถึงข้อมูลทั้ง 2 มีความสัมพันธ์ในทิศทาง เดียวกันค่อนข้างสูง อธิบายได้ว่าเมื่อพื้นที่ชุ่มชื้น และสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น อุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ย ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมา

สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสอง น้อยที่สุด สำหรับการประมาณค่านอกช่วง พบว่า สมการที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9923 และสามารถแสดงได้ตั้งสมการ ที่ 11 และภาพที่ 5

$$y = 0.0683x + 27.959 \quad (11)$$

เมื่อ x = ร้อยละของพื้นที่ชุ่มชื้นและสิ่งปลูกสร้าง
 y = อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวดิน



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ชุ่มชื้นและสิ่งปลูกสร้างกับอุณหภูมิพื้นผิวดิน

จากสมการที่ 11 เมื่อนำมาพยากรณ์ อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ในอนาคต พบว่า ถ้าในอนาคตพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างของอำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยองเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่เท่ากับ 31.37 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 65 จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่เท่ากับ 32.45 และจะเพิ่มเป็น 34.79 องศาเซลเซียส เมื่อมีพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 100 หรือเต็มพื้นที่ทั้งหมด รายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าสัดส่วนของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง กับอุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ย

ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
50%	31.37
65%	32.40
75%	33.08
85%	33.76
95%	34.45
100%	34.79

5. อภิปรายผลการศึกษา

การศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวดินด้วยแบบจำลอง Split-Window ด้วยการผสมผสาน 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ 1) อุณหภูมิความสว่าง 2) สภาพเปล่งรังสีของพื้นผิวโลก 3) ค่าไอน้ำในบรรยากาศ ที่ทำให้ อุณหภูมิจากการประมาณค่าจะคงที่ไม่ว่าจะเป็นฤดูกาลใด ซึ่งมีความแตกต่างกับอุณหภูมิจากสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัดในวันเดียวกันเพียง 1 องศาเซลเซียส โดยสถานีอุตุนิยมวิทยาตรวจวัด อุณหภูมิได้เท่ากับ 28.10 องศาเซลเซียส (สถานีอุตุนิยมวิทยาระยอง, 2556) การพบความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างกับ อุณหภูมิพื้นผิวดินเฉลี่ยในทางบวก อธิบายถึงพื้นที่

ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างที่มีแนวโน้มการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในพื้นที่และวิธีการลดหรือชะลออุณหภูมิก็ คือ เพิ่มพื้นที่สีเขียว โดยแผนพัฒนาจังหวัดระยองปี พ.ศ. 2558-2561 นั้นได้ตระหนักถึงการอนุรักษ์ พื้นฟูและป้องกันทรัพยากรธรรมชาติ เป็นประเด็น ยุทธศาสตร์ที่สำคัญและมีกลยุทธ์ในการขับเคลื่อน ยุทธศาสตร์ คือ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวโดยการเพิ่มพื้นที่ทั้งป่าบกและป่าชายเลน (สำนักบริหาร ยุทธศาสตร์ กลุ่มจังหวัดภาคตะวันออก, 2558) ทั้งนี้การชะลอหรือลดอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ อย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องเพิ่มพื้นที่สีเขียวใน อัตราส่วนที่เหมาะสมกับการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ของ พงศธร กลิ่นไสภณ ภาวิณี เอี่ยมตระกูล สุนิษา มีนรินทร์ และสมศิริ เขียววัฒนากุล (2556) ที่ได้ ให้ข้อเสนอต่อการพัฒนาเมืองเพื่อบรรเทาปัญหา การเกิดเกาะความร้อนของเมืองซึ่งมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ดังนั้นจะต้องพิจารณาถึงความสมดุลของสัดส่วนของพื้นที่เปิดโล่งและพื้นที่ สีเขียว

6. สรุปผล

การศึกษาการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดิน จากข้อมูล LANDSAT-8 กรณีศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ร่วมกับการศึกษาการใช้ประโยชน์ ที่ดิน พบว่า อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ยังคงมี พื้นที่เกษตรกรรมปกคลุมมากที่สุดถึงร้อยละ 56.46 ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมประเภทไม้ยืนต้น (ยางพารา ปาล์มน้ำมัน) รองลงมาคือพื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง แต่เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างกับอุณหภูมิ พื้นผิวดิน พบว่าพื้นที่ดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการ เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยในพื้นที่ ยิ่งมีการขยายตัวของชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมากขึ้นเท่าไร ก็ จะ

ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเท่านั้น มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.9604 ในปัจจุบันอำเภอเมืองระยอง มีพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างคิดเป็นร้อยละ 17.42 ของพื้นที่ทั้งหมดและมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.10 องศาเซลเซียส และเมื่อวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น เพื่อทำนายค่าอุณหภูมิในอนาคต พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้างคิดเป็นร้อยละร้อยของพื้นที่ทั้งหมด อำเภอเมืองระยองจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ประมาณ 34.79 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิจะสูงขึ้นจากเดิมประมาณ 5 องศาเซลเซียส โดยสมการดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9223

7. เอกสารอ้างอิง

พงศธร กลิ่นโสภณ, ภาวิณี เอี่ยมตระกูล, สุนิษา มีนรินทร์ และสมศิริ เชี่ยววัฒนกุล. (2556). การประเมินผลกระทบของอุณหภูมิพื้นผิวที่แตกต่างกันในเขตภูมิอากาศเมืองของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. Built Environment Research Associates Associates Conference, BERAC 4, (หน้า 495-501).

สถานีอุตุนิยมวิทยาระยอง. (2556). สถิติอุณหภูมิอากาศ. วันที่ค้นข้อมูล 12 ธันวาคม 2558, เข้าถึงได้จาก <http://www.tmd.go.th/province.php?id=55>

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2556). ลดโลกร้อนด้วยตัวเรา เข้าถึงได้จาก www.eppo.go.th/encon/ebook/

สำนักบริหารยุทธศาสตร์ กลุ่มจังหวัดภาคตะวันออก. (2558). แผนพัฒนาจังหวัดระยอง พ.ศ. 2558-2561. เข้าถึงได้จาก www.eastosm.com

เอกลักษณ์ สลักคำ. (2553). การประยุกต์ใช้ข้อมูลการรับรู้ระยะไกลเพื่อประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวดิน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Juan. C.,. Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, Skokovic, D., Mattar, C., & Cristóbal J. (2014). Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 Thermal Infrared Sensor data. *IEEE Geosci. Remote Sens*, 11(10), 1840-1843.

Lawrence, R.L. and Ripple, W.J. (1998). Comparisons among vegetation Indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape. Retrieved from http://remotesensing.montana.edu/documents/lawrence_ripple1998.pdf

Rajeshwari, A. & Mani, N. D. (2014). ESTIMATION OF LAND SURFACE TEMPERATURE OF DINDIGUL DISTRICT USING LANDSAT 8 DATA. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(5), 122-126

Skokovic, D., Sobrino, J.A., Jimenez-Munoz, J.C., Soria, G., Julien, Y., Mattar, C and Cristobal, J. (2014). Calibration and Validation of land surface temperature for Landsat8-TIRS sensor. Retrieved from https://earth.esa.int/documents/700255/2126408/ESA_Lpve_Sobrino_2014a.pdf

USGS. (2013). Using the USGS Landsat 8 Product. Retrieved from http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php