

อิทธิพลของสิ่งปกคลุมดินที่มีผลต่ออุณหภูมิในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร

วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ

อาจารย์ สาขาสถาปัตยกรรมและการวางแผน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



kcwanpen@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การกำหนดสิ่งปกคลุมดินประเภทพื้นที่สีเขียวในปริมาณที่เหมาะสมเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการสภาวะอากาศ ซึ่งสามารถลดสภาวะโคมะแห่งความร้อนในเมืองได้ และนำไปสู่การลดการใช้พลังงาน แม้ว่ามีการวิจัยจำนวนมากที่แสดงถึงศักยภาพของพื้นที่สีเขียวในการลดอุณหภูมิ แต่ข้อมูลความรู้ส่วนใหญ่เป็นการนำเสนอข้อมูลในเชิงคุณภาพ ซึ่งการประยุกต์ใช้ข้อมูลดังกล่าวยังมีอุปสรรค เนื่องจากในการกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดินที่คำนึงถึงสภาวะอากาศจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในเชิงปริมาณ ประกอบกับโครงสร้างเมืองแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันในด้านทำเลที่ตั้ง สภาวะอากาศ และชนิดพืชพรรณ ซึ่งส่งผลถึงสัดส่วนของพื้นที่ธรรมชาติกับพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง ในบทความนี้ประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อกำหนดชนิดและสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสมในเชิงปริมาณที่ทำให้สภาวะอากาศของกรุงเทพมหานครอยู่ในระดับสบาย ผลการศึกษาพบว่าสิ่งปกคลุมดินประเภทสิ่งปลูกสร้างมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิ ในขณะที่สิ่งปกคลุมดินประเภทต้นไม้และน้ำมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิจะลดลง 0.028 องศาเซลเซียส หากเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ทุก ๆ ร้อยละ 1 บนพื้นที่ขนาด 0.1 ตารางกิโลเมตร ดังนั้นในการปรับสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครให้อยู่ในระดับสบายจึงมีความเป็นไปได้โดยการเปลี่ยนสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินโดยเฉพาะการเพิ่มสัดส่วนพื้นที่ต้นไม้และพื้นที่น้ำที่เหมาะสม

คำสำคัญ: การใช้ประโยชน์ที่ดินในเมือง; สิ่งปกคลุมดิน; อุณหภูมิ; ภาพถ่ายดาวเทียม

Impact of Land Cover on Atmospheric Temperature in Bangkok

Wanpen Charoentrakulpeeti 

Lecturer, Department of Architecture and Planning

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

 kcwanpen@kmitl.ac.th

Abstract

The existing urban climate and proper solutions to keep Bangkok's atmosphere comfortable can be managed by means of land use/cover planning. Bangkok is located in a tropical zone; therefore, the heat island impact has placed more pressure on urban human comfort. Understanding the existing urban atmosphere and possible solutions is an important key to improving Bangkok's atmosphere and to reducing energy consumption. Many researchers have found that green areas have a qualitative potential to reduce urban temperature. However, the qualitative potential of green areas is insufficient to identify exactly the amount of green areas that could reduce urban temperature. Furthermore, the urban structure of each city differs in location, climate, and vegetation, creating differences in the proportion of land use/cover. This study aims to quantify the proportion of land use/cover that would help the people of Bangkok become more comfortable. Apparent temperature and land cover data were derived from Landsat ETM+ acquired on 9 January 2008. Remote-based datasets were used to run multiple regression models providing a possible solution to reduce urban temperature by means of determining the proper proportion of land covers in urban areas. The study found that there was a correlation between the proportion of land cover types and apparent temperature. The results show a significant positive correlation between build-up area and temperature and a negative correlation between vegetation and water-covered land and temperature. The regression model demonstrates that every percent increase of land covered by trees could result in a 0.028 degree Celcius decrease in temperature. The results of the regression model pave the way for the improvement of the urban atmosphere by increasing the vegetated canopy in urban areas.

Keywords: Urban Land Use; Land Cover; Temperature; Satellite Image

บทนำ

ภูมิอากาศในเมืองที่มีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ชนบทโดยรอบเป็นปรากฏการณ์ทั่วไปที่พบในพื้นที่เมืองทั่วโลก (Liang, 2004; Taha, 1997; Watkins, 1999) ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์โดมแห่งความร้อน (Urban Heat Island: UHI) (Oke, 1987) สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากความแตกต่างของคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานและปลดปล่อยพลังงานของวัสดุพื้นผิว (Thermal Admittance) ซึ่งวัสดุปกคลุมพื้นผิวของเมืองส่วนใหญ่มีส่วนประกอบของคอนกรีตหรือยางมะตอยที่มีค่า Thermal Admittance มากกว่าวัสดุปกคลุมพื้นผิวธรรมชาติ เช่น ดิน พืช น้ำ ผลจากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้วัสดุปกคลุมพื้นผิวเมืองดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันได้ในอัตราส่วนที่มากกว่าวัสดุปกคลุมพื้นผิวธรรมชาติที่เป็นส่วนประกอบของพื้นที่ชนบทเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่เวลากลางคืนพื้นผิวของเมืองปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่เก็บไว้ในตอนกลางวันออกสู่บรรยากาศได้มากกว่าวัสดุปกคลุมพื้นผิวธรรมชาติ (Oke, Johnson, Steyn & Watson, 1991) ประกอบกับสภาวะความชื้นที่วัสดุปกคลุมพื้นผิวของเมืองมีความสามารถในการเก็บกักความชื้นได้น้อยกว่าวัสดุปกคลุมด้วยพื้นผิวธรรมชาติ ในทางตรงกันข้ามพื้นผิวเมืองเร่งการระเหยของความชื้นได้เร็วกว่าวัสดุธรรมชาติ จึงทำให้พื้นผิวของเมืองดูดซับความร้อนในช่วงเวลาที่ยาวนานกว่าพื้นผิวของชนบทที่มีความชื้นมากกว่า โดยความร้อนจะถูกนำไประเหยน้ำที่สะสมไว้ในวัสดุพื้นผิวธรรมชาติที่ใช้เวลานานกว่า (Oke, 1987) ในขณะที่การขยายตัวของพื้นที่การพัฒนาของเมืองไปสู่ชนบท ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมพื้นผิวของพื้นที่ชนบทให้กลายเป็นพื้นที่เมืองที่เพิ่มมากขึ้น (Montávez, Rodríguez & Jiménez, 2000; Oke, 1982; Unger, Sumeghy, Gulyas, Bottyan & Mucsi, 2001; Yague, Zurita & Martinez, 1991) ซึ่งจากงานศึกษาที่เกี่ยวข้องหลายชิ้นยอมรับกันอย่างกว้างขวางถึงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิมีลักษณะที่แปรผกผันกัน (Asaeda, Ca & Wake, 1996; Eliasson, 1996; Kimura & Takahashi, 1991; Svensson & Eliasson, 2002) ลักษณะดังกล่าวสนับสนุนสมมติฐานที่ว่า วัสดุปกคลุมดินมีผลต่อระดับของอุณหภูมิในพื้นที่นั้น ๆ โดยในบริเวณพื้นที่สีเขียวแสดงระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าพื้นที่ที่มีอาคารสิ่งปลูกสร้าง (Wong & Yu, 2005) นำไปสู่การประยุกต์ใช้ความรู้ดังกล่าวในการใช้พื้นที่สีเขียวเพื่อลดอุณหภูมิและนำไปสู่การลดความต้องการพลังงาน (Akbari & Konopacki, 2004; Akbari, Bretz, Kurn & Hanford, 1997; Ca, Asaeda & Abu, 1998; Jonsson, 2004; Santamouris *et al.*, 2001)

Estes, Gorsevski, Russell, Quattrochi & Luvall (1999) และ Solecki *et al.* (2004) เสนอแนวทางการลดอุณหภูมิในเมืองว่าสามารถทำได้ 2 วิธี ประกอบด้วย (1) การเปลี่ยนสีของวัตถุในเมืองให้มีสีขาวเพื่อลดการสะสมความร้อนของวัสดุที่ปกคลุมพื้นผิว และ (2) การเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ในเมือง จากการศึกษาในพื้นที่เมือง Gaborone ประเทศ Botswana พบว่าความแตกต่างของปริมาณพืชในแต่ละบริเวณของเมือง มีผลทำให้อุณหภูมิแตกต่างกัน ระหว่าง 2 – 4 องศาเซลเซียส (Jonsson, 2004) ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างบริเวณพื้นที่สีเขียวกับย่านใจกลางเมืองของสิงคโปร์ พบว่าสูงที่สุดถึง 4.01 องศาเซลเซียส (Wong & Yu, 2005) อย่างไรก็ตาม ความรู้เกี่ยวกับพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยต้นไม้มีอากาศเย็นกว่าพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยสิ่งปลูกสร้างส่วนใหญ่เป็นการนำเสนอข้อมูลเชิงคุณภาพ (Mahawan, 2010) ซึ่งไม่

สามารถให้คำตอบได้ว่าขนาดพื้นที่เท่าใดที่จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เนื่องจากการประยุกต์ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณของพื้นผิวธรรมชาติกับการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิที่ยังคงเป็นอุปสรรคตัวอย่างเช่น การยอมรับว่าพื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยพืชมีอุณหภูมิที่เย็นกว่าพื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยอาคารสิ่งปลูกสร้าง แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าหากมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพื้นที่พืชจำนวนเท่าใด จึงจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในพื้นที่ไปกึ่งศาเซลเซียส ดังนั้น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนพื้นที่ต้นไม้ที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเชิงปริมาณจึงมีความจำเป็นและเป็นเป้าประสงค์หลักของการศึกษานี้ ที่มุ่งหวังที่จะรักษาสภาพอากาศในเมืองให้มีความสบายโดยการกำหนดสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมที่เหมาะสม

ข้อมูลและวิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษาและข้อมูล

กรุงเทพมหานครเป็นเมืองใหญ่ระดับมหานครในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งอยู่บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร ละติจูดที่ 13 องศา 30 ลิปดา เหนือ และ ลองจิจูดที่ 100 องศา ตะวันออก จัดอยู่ในโซนที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของกรุงเทพมหานครอยู่ระหว่าง 26 – 31 องศาเซลเซียส (78 – 90 องศาฟาเรนไฮต์) ประกอบด้วย 3 ฤดูกาลหลัก คือฤดูร้อน อยู่ในช่วงเดือนมีนาคม – พฤษภาคม โดยเดือนเมษายนเป็นเดือนที่ร้อนที่สุด ฤดูฝนอยู่ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม และฤดูหนาวเป็นช่วงเวลาตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พื้นที่กรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2543 มีเพียง 13 ตารางกิโลเมตร (Mekvichai, 1998, p. 242) ต่อมาพื้นที่เมืองได้ขยายตัวอย่างไร้ทิศทางและมีความซับซ้อนมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันกรุงเทพมหานครมีพื้นที่ 1,568.737 ตารางกิโลเมตร และมีประชากรอาศัยอยู่ 5,701,394 คน ตามทะเบียนราษฎร์ ณ ปี พ.ศ. 2553 (Bangkok Metropolitan Administration, 2011a) และหากรวมประชากรแฝงกรุงเทพมหานครมีประชากรโดยประมาณ 9 ล้านคน (Charoenrourngwanit, n.d.)

การศึกษานี้ได้เลือกกรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการพัฒนามานาน และในปัจจุบันยังมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมเป็นพื้นที่โล่ง และจากพื้นที่โล่งเป็นที่อยู่อาศัยและพาณิชยกรรมตามลำดับ พื้นที่เพื่อเกษตรกรรมลดลงจาก 666 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2529 เป็น 588 ตารางกิโลเมตรในปี พ.ศ. 2538 และลดเหลือ 487 ตารางกิโลเมตรในปี พ.ศ. 2543 ในขณะที่การใช้ที่ดินเพื่อที่อยู่อาศัยสูงขึ้นจากปี พ.ศ. 2529 มี 181 ตารางกิโลเมตรเพิ่มขึ้นเป็น 331 ตารางกิโลเมตรในปี พ.ศ. 2538 จนถึงปี พ.ศ. 2543 เพิ่มขึ้นเป็น 382 ตารางกิโลเมตรและการเปลี่ยนแปลงจากที่อยู่อาศัยเปลี่ยนเป็นพาณิชยกรรมในอัตราขยายตัวสูงสุดถึงร้อยละ 14 ระหว่างปี พ.ศ. 2531 – 2537 (Madhawan, Kubo, Kurisaki & Sivakumar, 2001) จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินทำให้กรุงเทพมหานครประสบกับปัญหาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่มีการติดตามในกรุงเทพมหานครมีแนวโน้มสูงขึ้นจาก 32.60 องศาเซลเซียส เป็น 33.40 องศาเซลเซียส ในช่วงปี พ.ศ. 2504 – 2550 (Bangkok Metropolitan Administration, 2010a) แบบแผนการอุ่นขึ้นของอุณหภูมิแสดงให้เห็นจากจำนวนวันที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นจาก 60 วัน เป็นเกือบ 120 วัน ในช่วงเวลาเดียวกัน

ความแปรผันของอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินของ กรุงเทพมหานครดังกล่าวควรได้รับการทดสอบหาความสัมพันธ์เพื่อเสนอแนะสัดส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมดินที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิในเมือง ในการศึกษาได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ ระดับ 1T path 129 row 50 และ path 129 row 51 บันทึกเมื่อวันที่ 9 มกราคม 2551 จำนวน 2 ภาพ ซึ่งเป็นภาพที่ไม่มีเมฆปกคลุม และครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมดโดยในเวลากการบันทึกภาพของ ดาวเทียมใกล้เคียงกับเวลากการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิมบนภาคสนาม จึงทำให้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรทั้งสองมีความแม่นยำมากขึ้น ความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่ายจากดาวเทียมในช่วงคลื่น ที่ตามองเห็น (Visible band) 30 x 30 เมตร และ ในช่วงคลื่นความร้อน (Thermal Infrared band) 60x60 เมตร

การจัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายเบื้องต้นและการประมวลผลภาพถ่าย

การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายเบื้องต้น (Image pre-processing)

1) การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้านเรขาคณิตของข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม (Geometric Correction) ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตใช้วิธีแผนที่สู่ภาพ (Map to Image) โดย กำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point) จากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1: 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุดที่ L7018 และการสำรวจภาคสนามเพื่อตรวจเช็คความถูกต้องของพิกัดทาง ภูมิศาสตร์โดยกำหนดค่าพิกัดให้อยู่ในระบบ UTM (Universal Transverse Mercator) โซน 47 และใช้สมการ ในการปรับความถูกต้องของตำแหน่งภูมิศาสตร์ของภาพถ่ายดาวเทียมในรูปของสมการโพลีโนเมียลดีกรีที่ 1 โดยควบคุมความผิดพลาดเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ที่ไม่เกิน 1/2 จุดภาพ และใช้วิธี สุ่มซ้ำ (Resampling) แบบ Nearest neighbor โดยกำหนดจุดภาพใหม่เท่ากับความละเอียดของภาพ เดิม ในการศึกษานี้ได้ตรึงพิกัดทางภูมิศาสตร์ของภาพโดยกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน จำนวน 20 จุด และจุดตรวจสอบความคลาดเคลื่อน (Check point) จำนวน 12 จุด ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของภาพ จากจุดควบคุมเท่ากับ 0.207 และจากจุดตรวจสอบเท่ากับ 0.192 ตามลำดับ

2) การปรับแก้ไขเชิงรังสี (Radiometric Correction) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ ระดับ 1T เป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านกระบวนการปรับแก้ไขเชิงรังสี โดยศูนย์ควบคุมภาคพื้นดิน ของดาวเทียม Landsat เป็นที่เรียบร้อยแล้วก่อนเผยแพร่สู่ผู้ใช้ จึงไม่จำเป็นต้องทำการปรับแก้ไขใน กระบวนการนี้ อย่างไรก็ตามการใช้ข้อมูล Landsat 1T จำเป็นต้องแปลงข้อมูลให้กลับมาเป็นหน่วยของ พลังงาน (Radiance Unit) ก่อนการนำไปสู่กระบวนการประมวลผลข้อมูล ซึ่งการแปลงข้อมูลดังกล่าว สามารถทำได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้ (NASA, n.d.):

$$L_{\lambda} = \left(\frac{(LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda})}{(QCALMAX - QCALMIN)} \right) \times (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad \text{สมการ 1}$$

เมื่อ:

L_λ	คือ ค่าพลังงานที่ตรวจรับ ณ อุปกรณ์ตรวจรับ มีหน่วย watts/(m ² . ster . μm)
QCAL	คือ ค่าพลังงานที่ตรวจรับได้ในแต่ละจุดภาพ (pixel)
$LMIN_\lambda$	คือ ค่าต่ำสุดของพลังงานที่อุปกรณ์สามารถตรวจรับได้ในแต่ละช่วงคลื่น มีหน่วยเป็น watts/(m ² . ster . μm)
$LMAX_\lambda$	คือ ค่าสูงสุดของพลังงานที่อุปกรณ์สามารถตรวจรับได้ในแต่ละช่วงคลื่น มีหน่วยเป็น watts/(m ² . ster . μm)
QCALMIN	คือ ค่าต่ำสุดของข้อมูลในหนึ่งจุดภาพ
QCALMAX	คือ ค่าสูงสุดของข้อมูลในหนึ่งจุดภาพ

จากนั้นจึงทำการแปลงข้อมูลในหน่วยของพลังงานรังสีเป็นพลังงานในรูปของค่าสะท้อนของพื้นที่ผิวโลก ณ เครื่องตรวจรับ (At-Satellite Reflectance Values: ρ_p) ซึ่ง Markham & Barker (1986) ได้นำเสนอวิธีการคำนวณไว้ดังนี้

$$\rho_p = \frac{\pi \times L_\lambda \times d^2}{ESUN_\lambda \times \cos \theta_s} \quad \text{สมการ 2}$$

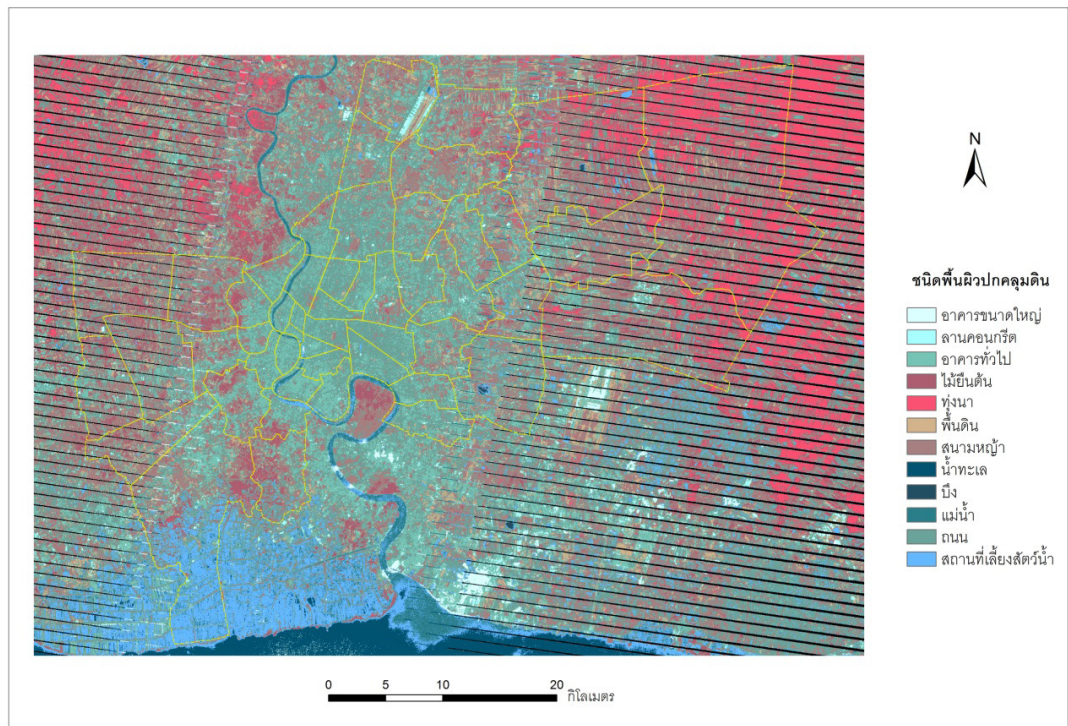
เมื่อ:

L_λ	คือ ค่า พลังงานรังสี (mW cm ⁻² ster ⁻¹ μm ⁻¹) ได้จาก สมการ 1
d	คือ ระยะทางจากดวงอาทิตย์ถึงโลก ในหน่วยทางดาราศาสตร์: ซึ่งสามารถคำนวณได้โดย: $d = 1.00014 - 0.01371 \cos G - 0.00014 \cos 2G$; $G = 357^\circ.528 + 0^\circ.9856003n$; และ $n = -4749.5 +$ ลำดับของวันในหนึ่งปี + เศษเวลาในหนึ่งวัน
ESUN	คือ ค่าเฉลี่ยของรังสีที่ตกกระทบของดวงอาทิตย์ (mW cm ⁻² ster ⁻¹ μm ⁻¹) (แสดงไว้ใน Header file ของทุกภาพ)
θ_s	คือ มุมของรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับพื้นโลก (แสดงไว้ใน Header file ของทุกภาพ)

การประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม (Image Processing)

1) การจำแนกสิ่งปกคลุมดินในการศึกษานี้ใช้วิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากสมการ 2 มาพิจารณาลักษณะของรังสีสะท้อน (Spectral Signatures) ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท พบว่ารังสีสะท้อนของสิ่งปกคลุมดิน เช่น วัสดุก่อสร้าง รังสีสะท้อนมีการกระจายตัวในช่วงร้อยละของค่ารังสีที่กว้าง ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วยรังสีสะท้อนของอาคารขนาดใหญ่ มีการสะท้อนรังสีค่อนข้างสูงในทุกช่วงคลื่น ในขณะที่ถนนมีค่ารังสีสะท้อนค่อนข้างต่ำจนใกล้เคียงกับค่ารังสีสะท้อนของน้ำ ส่วนอีก 2 ประเภท คือ ลานคอนกรีต และอาคารทั่วไป มีค่าสะท้อนอยู่ในช่วงประมาณ ร้อยละ 10 – 20 ซึ่งมีลักษณะการกระจายตัวของรังสีสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นที่ใกล้เคียงกันกับการกระจายตัวของรังสีสะท้อนของพื้นดิน ในกรณีรังสีสะท้อนของพืชสามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม

ประกอบด้วย กลุ่มต้นไม้ยืนต้น นาข้าว และสนามหญ้า เช่นเดียวกับพื้นน้ำสามารถจัดกลุ่มรังสีสะท้อนออกได้เป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย บึง แม่น้ำ อ่าวไทย และที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ จากลักษณะของรังสีสะท้อนของสิ่งปกคลุมดินที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษานี้ สามารถกำหนดประเภทสิ่งปกคลุมดินเพื่อใช้จำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินในภาพถ่ายดาวเทียมออกเป็น 12 ประเภท ประกอบด้วย อาคารขนาดใหญ่ ลานคอนกรีต อาคารทั่วไป ไม้ยืนต้น พืชนา พื้นดิน สนามหญ้า อ่าวไทย บึง แม่น้ำ ถนน ที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และได้ทำการประเมินความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน (Classification Accuracy Assessment) โดยการสุ่มจุดตัวอย่างแบบกระจายทั้งพื้นที่ จำนวน 250 จุด เพื่อเป็นตัวแทนของทั้งภาพ โดยค่าความถูกต้องของการจำแนกสิ่งปกคลุมดินโดยรวมเท่ากับร้อยละ 82.80 และได้ผลลัพธ์จากการพิจารณาค่ารังสีสะท้อน 12 ประเภท ดังแสดงในภาพที่ 1



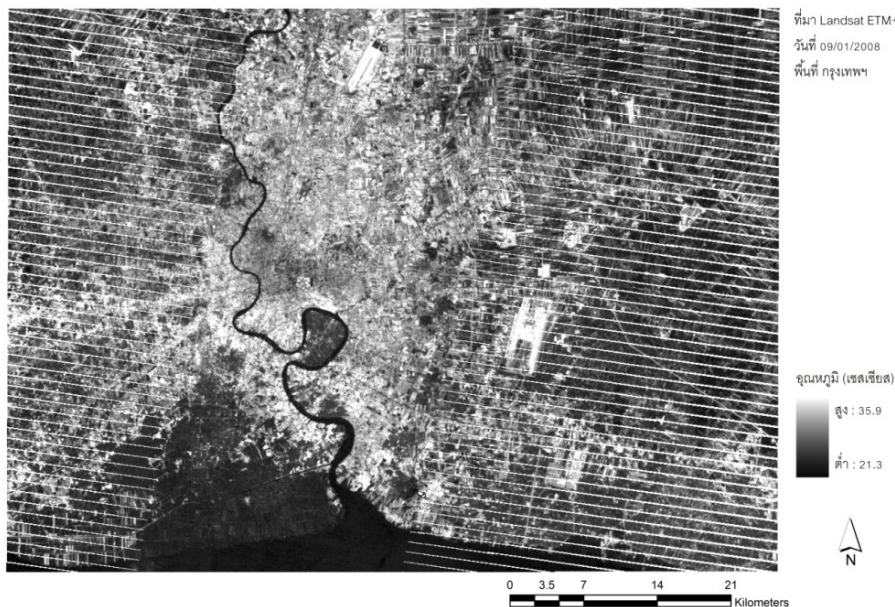
ภาพที่ 1 แผนที่แสดงสิ่งปกคลุมดิน

2) ข้อมูลอุณหภูมิ สำหรับข้อมูลในช่วงคลื่นความร้อน ซึ่งค่าพลังงานรังสีที่ได้จากสมการ 1 จะถูกแปลงเป็นข้อมูลอุณหภูมิบรรยากาศ (At-Sensor Temperature) ซึ่งคำนวณได้ตามสูตรที่ Markham & Barker (1986) ดังสมการที่ 3 (ผลลัพธ์ของภาพแสดงอุณหภูมิแสดงในภาพที่ 2)

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

สมการ 3

เมื่อ: K1 และ K2 คือ ค่าคงที่สำหรับการปรับแก้ก่อนการปล่อยดาวเทียม

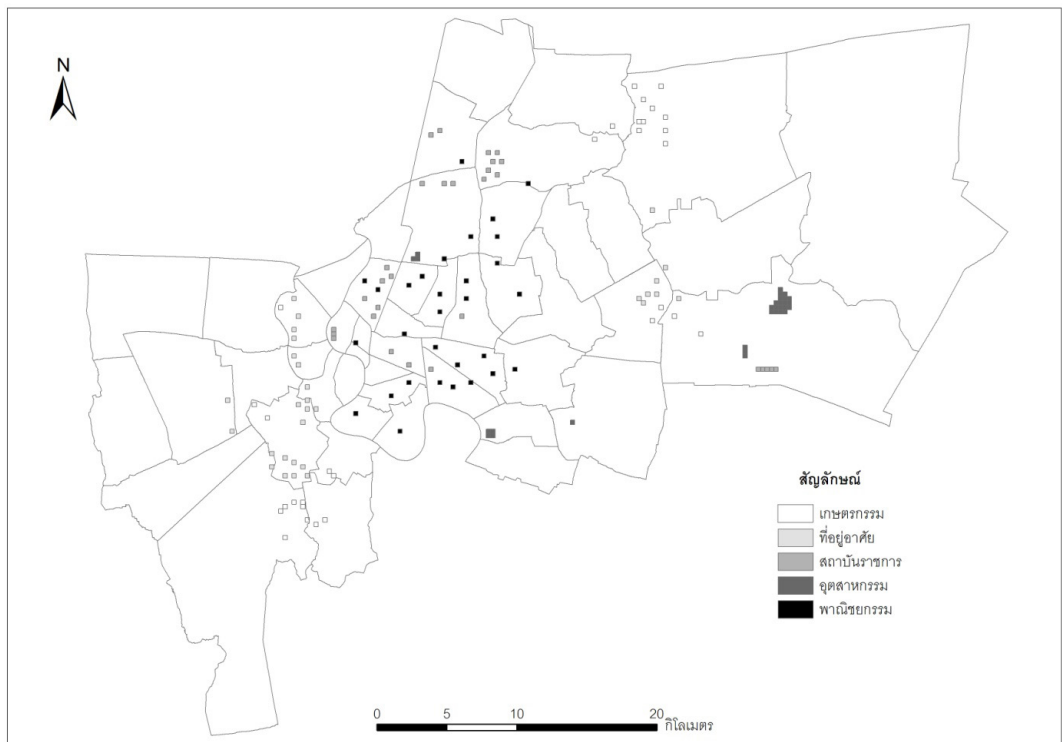


ภาพที่ 2 แผนที่แสดงอุณหภูมิในอากาศของกรุงเทพมหานคร

3) การกำหนดขนาดพื้นที่เพื่อหาสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินและอุณหภูมิเฉลี่ย

สัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินคำนวณจากพื้นที่ขนาด 316 x 316 เมตร ซึ่ง Eliasson (1996) ได้เสนอไว้โดยให้เหตุผลว่าพื้นที่ขนาดดังกล่าวสามารถสร้างลักษณะภูมิอากาศเฉพาะพื้นที่ขึ้นมาได้ ซึ่งนำไปสู่การแลกเปลี่ยนอากาศกับพื้นที่ข้างเคียง ดังนั้นขนาดตารางกริดดังกล่าวจึงถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นกรอบของพื้นที่สำหรับนับจำนวนข้อมูลของสัดส่วนพื้นที่ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทที่อยู่ภายในกริด โดยในหนึ่งกริดประกอบด้วยจุดภาพของสิ่งปกคลุมดินอยู่ 100 จุดภาพซึ่งเท่ากับร้อยละหนึ่งของสัดส่วนสิ่งปกคลุมดิน แต่เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่การนำข้อมูลในทุกกริดมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นเรื่องที่ต้องใช้เวลาอันยาวนาน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงทำการคัดเลือกกริดข้อมูลด้วยวิธีการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 30 กริด โดยแยกตามประเภทการใช้ที่ดิน ประกอบด้วย ที่อยู่อาศัย พาณิชยกรรม อุตสาหกรรม สถาบันราชการ และพื้นที่เกษตรกรรม รวมจำนวนกริดที่สุ่มทั้งหมด 150 กริด

(ภาพที่ 3) และจากการสุ่มกริดทั้งหมดพบว่าสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินประเภทบึงไม่ได้ถูกสุ่ม ทั้งนี้เนื่องจากมีพื้นที่น้อย ดังนั้นในการทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของตัวแปรสิ่งปกคลุมดินจึงไม่มีบึง กริดที่ถูกสุ่มนี้จะถูกใช้ในการคำนวณค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละกริด สำหรับการทดสอบความแม่นยำในการคาดการณ์อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินของสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิที่คำนวณได้ กริดอีกจำนวนหนึ่งถูกสุ่มขึ้นเพื่อใช้สำหรับการทดสอบสมการ โดยสุ่มกริดอีกจำนวน 10 กริดในแต่ละพื้นที่การใช้ที่ดินในลักษณะเดียวกัน รวม 50 กริด



ภาพที่ 3 กริดที่สุ่มในพื้นที่การใช้ที่ดินแต่ละประเภท

4) การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิเฉลี่ย

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินและอุณหภูมิเฉลี่ยใช้สถิติ Least Square Regression โดยทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระภายใต้เงื่อนไขตัวแปรอิสระทุกตัวต้องเป็นอิสระกัน เนื่องจากตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันจะให้รายละเอียดที่คล้ายคลึงกันต่อตัวแปรตาม ซึ่งเป็นการยากที่จะแยกอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัว โดยการกำหนดให้ตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่งเป็นตัวแปรตาม และที่เหลือกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระทั้งหมด (Wanijbancha, 2003) และใช้ค่าสถิติ Tolerance และ VIF เป็นตัววัดระดับความเป็นอิสระต่อกันของตัวแปรอิสระแต่ละตัว โดยที่ตัวแปรใดแสดงค่า Tolerance ที่ต่ำมากเข้าใกล้ 0 หรือ ค่า VIF มีค่าสูง แสดงว่าตัวแปรอิสระตัวนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระตัวอื่น ๆ มากไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณหาสมการความถดถอย

ในการศึกษานี้ได้ทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของตัวแปรจากข้อมูลสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินที่ได้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งได้จำแนกสิ่งปกคลุมดินเป็น 12 ชนิด จากข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของตัวแปรโดยสิ่งปกคลุมดินประเภท “พื้นดิน” ถูกเลือกใช้เป็นตัวแปรตามในสมการความถดถอยทดสอบ ผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยแสดงค่า Tolerance และค่า VIF ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละตัว พบว่า สิ่งปกคลุมดินประเภท “อาคารขนาดใหญ่” “อาคารทั่วไป” “ถนน” “พื้นที่ต้นไม้” และ “สนามหญ้า” มีค่า Tolerance ค่อนข้างต่ำ แสดงว่าข้อมูลแต่ละกลุ่มมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้น จึงทำการรวมข้อมูลที่มีลักษณะเดียวกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันดังนี้ สิ่งปกคลุมดินที่เป็นอาคารสิ่งปลูกสร้างประกอบด้วย สิ่งปกคลุมดินประเภท “อาคารขนาดใหญ่” “ลานคอนกรีต” “อาคารทั่วไป” ถูกรวมให้เป็นกลุ่มเดียวกัน ในขณะที่ถนนซึ่งมีลักษณะของค่าสะท้อนพลังงาน (Spectral Signature) ใกล้เคียงกับสิ่งปกคลุมดินประเภทน้ำ และยากต่อการแยกแยะระหว่างค่าสะท้อนพลังงานของพื้นผิวถนนกับพื้นผิวน้ำ ประกอบกับสัดส่วนของพื้นที่ถนนมีสัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับสัดส่วนของพื้นที่ปกคลุมพื้นผิวประเภทอื่น ๆ จึงเลือกที่จะไม่นำข้อมูลสิ่งปกคลุมพื้นผิวประเภท “ถนน” ไปใช้ในการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิเฉลี่ย ในขณะที่สิ่งปกคลุมพื้นผิวประเภทน้ำ ซึ่งประกอบด้วย “น้ำทะเล” “แม่น้ำ” และ “พื้นที่เลี้ยงสัตว์น้ำ” ถูกรวมให้เป็นข้อมูลกลุ่มเดียวกัน

ตารางที่ 1 ค่า Tolerance และค่า VIF ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิด

ชนิดสิ่งปกคลุมดิน	Collinearity Statistics	
	Tolerance	VIF
อาคารขนาดใหญ่	.364	2.749
ลานคอนกรีต	.334	2.993
อาคารทั่วไป	.147	6.793
ต้นไม้ยืนต้น	.200	5.009
ทุ่งนา	.587	1.705
สนามหญ้า	.112	8.900
น้ำทะเล	.888	1.125
แม่น้ำ	.654	1.528
ถนน	.115	8.710
เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	.875	1.142

Dependent Variable: พื้นดิน

หลังจากที่ทำการรวมข้อมูลที่มีลักษณะเดียวกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ทำให้ตัวแปรลดลงเหลือ “พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง” “พื้นที่น้ำ” “ต้นไม้ยืนต้น” “สนามหญ้า” และ “ทุ่งนา” และ “พื้นดิน” จากนั้นจึงทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของตัวแปรอีกครั้งหนึ่ง โดยกำหนดให้ตัวแปร “พื้นดิน” เป็นตัวแปรตาม และตัวแปรที่เหลือเป็นตัวแปรอิสระ พบว่าตัวแปรอิสระทุกตัวเป็นอิสระกันดังตารางที่ 2 ที่แสดงค่า Tolerance และค่า VIF ซึ่งค่าของตัวแปรทุกตัวมากกว่า 0.5 ดังนั้นในการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ

กับสิ่งปกคลุมดินจึงนำตัวแปรอิสระชุดดังกล่าวทำการสร้างสมการถดถอยด้วยวิธี Stepwise ซึ่งเป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดเข้าสมการทีละตัว ภายใต้เกณฑ์ที่กำหนดระดับนัยสำคัญของสถิติทดสอบ $F < 0.05$ จากนั้นเพื่อเป็นการตรวจสอบระดับความแม่นยำของสมการในการคาดการณ์อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนพื้นที่สิ่งปกคลุมดิน จึงนำสมการดังกล่าวไปคำนวณหาค่าอุณหภูมิของกริดที่เตรียมไว้สำหรับการทดสอบความแม่นยำในการคาดการณ์ของสมการที่ได้ แล้วเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมของแต่ละกริด ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ได้จากสมการเส้นถดถอยกับอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละกริด

ตารางที่ 2 ค่า Tolerance และค่า VIF ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิดที่ได้ทำการรวมข้อมูล

ชนิดสิ่งปกคลุมดิน	Collinearity Statistics	
	Tolerance	VIF
พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง	.524	1.908
พื้นน้ำ	.917	1.090
ต้นไม้ยืนต้น	.799	1.252
สนามหญ้า	.614	1.629
ทุ่งนา	.905	1.105

Dependent Variable: พื้นดิน

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและสิ่งปกคลุมดิน

สมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและสิ่งปกคลุมดิน

ผลลัพธ์ของสมการความถดถอยพหุคูณที่ใช้ข้อมูลเฉลี่ยเป็นตัวแปรตาม (สมการที่ 4) ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R และ R Square) ของสมการ Least Square Regression เท่ากับ 0.868 และ 0.754 ตามลำดับ ซึ่งอธิบายได้ว่าชนิดสิ่งปกคลุมดินสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ร้อยละ 75.4 โดยที่สิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิดมีผลต่ออุณหภูมิที่ระดับนัยสำคัญน้อยกว่า .05 ทั้งหมด ประกอบด้วย “พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง” “พื้นที่น้ำ” “ต้นไม้ยืนต้น” “สนามหญ้า” “ทุ่งนา” และ “พื้นดิน” และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยมาตรฐาน (Standardized Coefficient Beta) เป็นค่าที่ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิจะได้ลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง (.404) ต้นไม้ยืนต้น (-.378) พื้นน้ำ (-.255) ทุ่งนา (-.212) สนามหญ้า (-.147) และพื้นดิน (.109) อธิบายผลได้ว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้างมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิมากที่สุด ในขณะที่พื้นดินมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้อยที่สุดสำหรับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าคงที่ 0.166 และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าสัมประสิทธิ์ของ “พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง” “พื้นที่น้ำ” “ต้นไม้ยืนต้น” “สนามหญ้า” “ทุ่งนา” และ “พื้นดิน” เป็น 0.003, 0.003, 0.009, 0.008, 0.003 และ 0.007 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณระหว่างอุณหภูมิกับชนิดสิ่งปกคลุมดิน

ชนิดสิ่งปกคลุมดิน	B	SE.	Beta	T	Sig	ค่าสถิติ
ค่าคงที่	27.000	.166		162.166	.000	R = .868 R ² = .754 Adjust R ² = .744 F = 73.038 Sig F = .000
พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง	.022	.003	.404	6.932	.000	
ต้นไม้ยืนต้น	-.028	.003	-.378	-7.954	.000	
พื้นที่น้ำ	-.053	.009	-.255	-5.880	.000	
ทุ่งนา	-.038	.008	-.212	-4.818	.000	
สนามหญ้า	-.009	.003	-.147	-2.776	.000	
พื้นดิน	.016	.007	.109	2.510	.013	

Dependent Variable: อุณหภูมิ

ผลลัพธ์ค่าทดสอบ F ของแต่ละสมการ แสดงในตารางที่ 3 พบว่าค่า Significance ของสมการความถดถอยสมการ เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 อธิบายได้ว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ อย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถเขียนสมการความถดถอยได้ดังนี้

$$\text{อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)} = 27 + 0.022 * \text{พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง} - 0.028 * \text{ต้นไม้ยืนต้น} - 0.053 * \text{พื้นที่น้ำ} - 0.038 * \text{ทุ่งนา} - 0.009 * \text{สนามหญ้า} + 0.016 * \text{พื้นดิน} \quad \text{สมการ 4}$$

การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอย

จากสมการถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ (สมการที่ 4) ซึ่งจะมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ต้องตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยของเชิงเส้น โดยพิจารณาจาก

- 1) ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อน = 0
- 2) ค่าคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ
- 3) ค่าคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระกัน
- 4) ค่าแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่ของทุกค่าของ X

ผลการทดสอบ พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนในสมการนี้ = 0 (ตารางที่ 4) ในขณะที่ค่าความคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวใกล้ๆ เส้นตรง และมีการเบี่ยงเบนจากเส้นปกติเล็กน้อย 0.25 - 0.75 จึงมีความใกล้เคียงที่จะเป็นการแจกแจงแบบปกติ (ภาพที่ 4) ในกรณีการทดสอบค่าคลาดเคลื่อนที่ต้องเป็นอิสระกัน ค่า Durbin - Watson ของสมการความถดถอยนี้เท่ากับ 1.59 ซึ่งมากกว่า 1.5 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน และเงื่อนไขสุดท้าย ค่าแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่ของทุกค่าของตัวแปรอิสระ ที่กระจายตัวอยู่โดยรอบ ๆ ศูนย์ จึงถือว่าค่าแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนในกรณีนี้คงที่ (ภาพที่ 5)

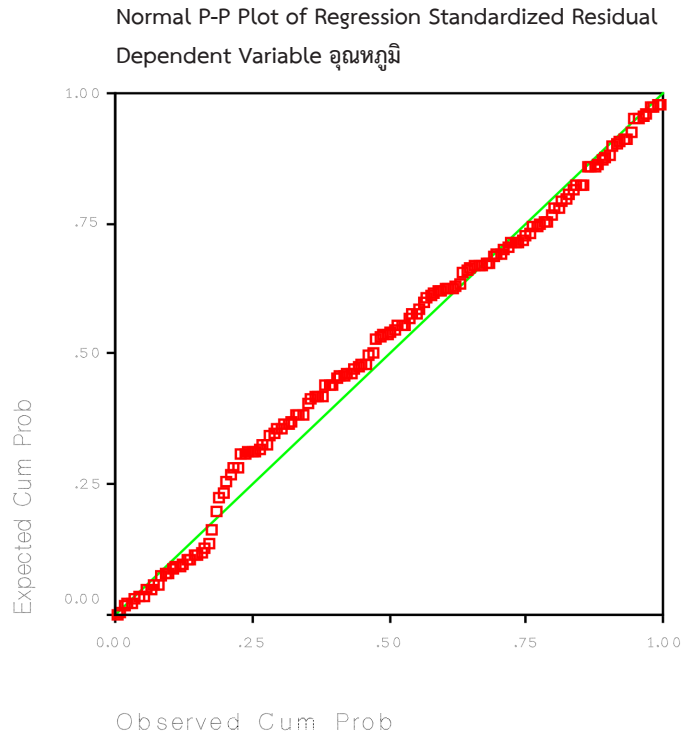
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสมการความถดถอยที่ได้ (สมการที่ 4) มีความน่าเชื่อถือได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ถึงร้อยละ 75.4 และสำหรับร้อยละ 24.6 ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นผลจากปัจจัยอื่น โดยในพื้นที่ขนาด 0.1 ตารางกิโลเมตร อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้น 0.022 องศาเซลเซียส และ 0.016 องศาเซลเซียส ในทุก ๆ ร้อยละ 1 ของการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนพื้นที่ “พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง” และ “พื้นดิน” ในทางตรงกันข้าม อุณหภูมิจะลดลง 0.028, 0.053, 0.038 และ 0.009 องศาเซลเซียส สำหรับการเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ร้อยละ 1 ของสัดส่วนพื้นที่ “ต้นไม้ยืนต้น” “พื้นที่น้ำ” “ทุ่งนา” “สนามหญ้า” ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ค่าคลาดเคลื่อนของสมการ

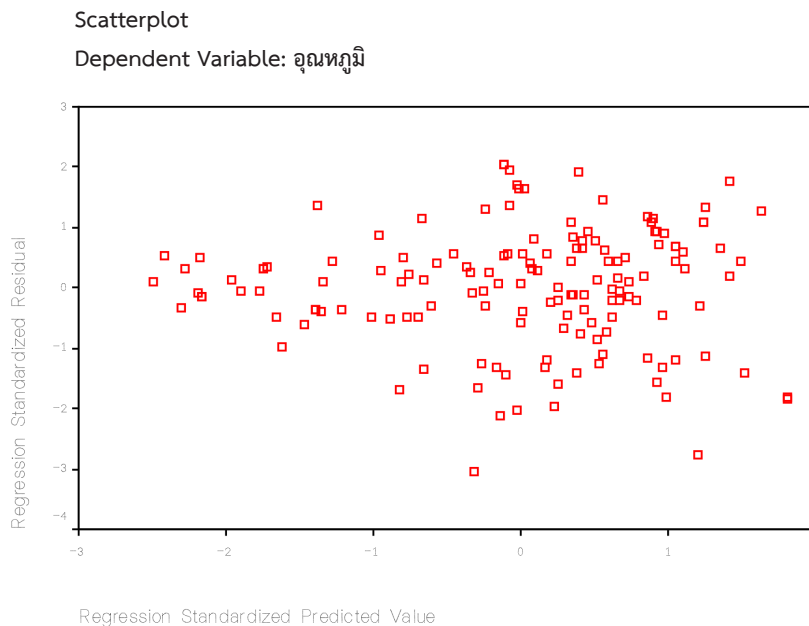
Residuals Statistics^a

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	24.1357	29.1583	27.0453	1.16824	150
Residual	-2.0642	1.3866	.0000	.66734	150
Std. Predicted Value	-2.491	1.809	.000	1.000	150
Std. Residual	-3.030	2.035	.000	.980	150

a. Dependent Variable: อุณหภูมิ



ภาพที่ 4 กราฟของค่าคลาดเคลื่อนเพื่อทดสอบการแจกแจงแบบปกติ



ภาพที่ 5 ลักษณะการกระจายตัวของค่าแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน

การทดสอบความแม่นยำในการคาดการณ์ของสมการความถดถอย

เพื่อแสดงถึงความเป็นไปได้ในการนำสมการเส้นถดถอย (สมการที่ 4) ไปใช้ในทางปฏิบัติจริง สมการที่ได้ถูกนำไปทดสอบในการคำนวณค่าอุณหภูมิในกริดอื่นที่นอกเหนือจากกริดที่ใช้ในการคำนวณหาสมการเส้นถดถอย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ปรากฏว่า อุณหภูมิที่คำนวณได้จากสมการมีทั้งค่าที่ต่ำกว่าและสูงกว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม โดยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ได้จากสมการเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม อยู่ระหว่าง -0.44 องศาเซลเซียส ถึง 0.51 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้จากสมการเส้นถดถอยมีความคลาดเคลื่อนจากอุณหภูมิที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม ± 0.5 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีความซับซ้อนทางด้านกระบวนการและกลไกที่ส่งผลต่อความไม่แน่นอนของการคาดการณ์ในอนาคต ดังนั้นจึงสามารถยอมรับผลของการศึกษาที่แม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนอยู่ระดับหนึ่ง (Carter, 2008) ในการศึกษา ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการอยู่ในระดับ ± 0.5 องศาเซลเซียส ถือได้ว่าเป็นความเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานวางแผนและผังเมือง เพื่อรักษาหรือบรรเทาผลกระทบจากสภาวะโดมแห่งความร้อนในกรุงเทพมหานคร โดยการกำหนดหรือรักษาสัดส่วนพื้นที่ธรรมชาติในพื้นที่เมืองที่ไม่ทำให้อุณหภูมิในเมืองเพิ่มสูงกว่าปกติที่ควรจะเป็น

บทสรุป

แม้ว่าข้อมูลความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างอุณหภูมิกับสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินด้วยสิ่งปลูกสร้างจะเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ผลการวิจัยของ Qian, Cui & Jie (2006); Weng, Lu & Schubring (2004) และ Yue, Xu, Tan & Xu (2007) เป็นต้น แต่การแปลงความรู้ดังกล่าวไปสู่การปฏิบัติยังมีข้อจำกัด ความรู้เกี่ยวกับพื้นที่เมืองว่ามีอุณหภูมิสูงกว่าชนบท หรือบริเวณที่มีอาคารสิ่งปลูกสร้างหนาแน่น แสดงค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าสวนสาธารณะ เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพที่นำเสนอในงานสำรวจทั่วไป ในการศึกษาครั้งนี้เป็นความพยายามอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิในเชิงปริมาณ เพื่อสามารถบอกได้ว่าต้องการพื้นที่ต้นไม้เท่าใด จึงจะรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ ผลการศึกษาสามารถได้ข้อสรุปว่า ประเภทและสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมพื้นผิวมีผลต่อสภาพบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร จากสมการที่ค้นพบในการศึกษานี้ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยมีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของวัสดุปกคลุมดิน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของพื้นที่คลุมดินชนิดใดชนิดหนึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยร้อยละ 75.4 และแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการลดลงของอุณหภูมิในพื้นที่ขนาดประมาณ 0.1 ตารางกิโลเมตร ที่ 0.028 องศาเซลเซียส และ 0.053 องศาเซลเซียสในทุก ๆ ร้อยละ 1 ของการเพิ่มสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินประเภทต้นไม้และพื้นที่น้ำตามลำดับ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ยของกรุงเทพมหานครเท่ากับ 32.3 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นในช่วงเวลา 15 นาฬิกา (Charoentrakulpeeti & Mahawan, 2009) และระดับอุณหภูมิที่ประชากรอาศัยในอาคารทั่วไปรู้สึกสบายอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส หมายความว่าที่อยู่อาศัยในอาคารทั่วไปในกรุงเทพมหานครจำเป็นต้องทำให้อากาศภายในอาคารเย็นกว่าอากาศในบรรยากาศอยู่ 2.3 องศาเซลเซียส ดังนั้นหากต้องการลดอุณหภูมิลง 2.3 องศาเซลเซียสโดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพียงอย่างเดียว กรุงเทพมหานครต้องมีพื้นที่สีเขียว 82,000 ตารางเมตร ในพื้นที่ทุก 100,000 ตารางเมตร ในปัจจุบันปี พ.ศ. 2554 กรุงเทพมหานครมีพื้นที่ 1,568.737 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่สีเขียว 25.34 ตารางกิโลเมตร (Bangkok Metropolitan Administration, 2011b) ดังนั้นหากต้องการให้กรุงเทพมหานครอยู่ในระดับภาวะสบายจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่สีเขียว 1,286 ตารางกิโลเมตร อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติการจะลดพื้นที่สิ่งปลูกสร้างโดยการรื้อถอนอาคารสิ่งปลูกสร้างออกเป็นเรื่องที่เป็นไปได้ยาก นอกจากนั้นพื้นที่สนามหญ้า ซึ่งรวมพื้นที่ที่กว้างเปล่าที่มีต้นไม้ขึ้นปกคลุมพื้นผิว เป็นพื้นที่ที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงจากแรงผลักดันจากความต้องการในการพัฒนาพื้นที่ ในขณะที่พื้นที่ทุ่งนาที่ได้รับแรงผลักดันจากการพัฒนาที่ต้องการพื้นที่สำหรับรองรับที่อยู่อาศัย พาณิชยกรรม และอุตสาหกรรมส่งผลให้แนวโน้มของพื้นที่ทุ่งนาเป็นไปในทางลดลงมากกว่าที่จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นแนวทางและกลยุทธ์ในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้ได้สัดส่วนตามที่ต้องการสำหรับเมืองที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องอย่างกรุงเทพมหานคร สามารถทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้และพื้นที่น้ำปกคลุมพื้นผิวโดยรอบอาคารที่มีอยู่ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความเป็นไปได้มากกว่า โดยผ่านกระบวนการส่งเสริมระบบแรงจูงใจ (Bonus System) ตัวอย่างเช่นการให้เจ้าของอาคารต่าง ๆ สามารถเพิ่มจำนวนชั้นของอาคารได้หากมีระยะแนวถอยร่น 2 เมตรสำหรับปลูกต้นไม้บังตาและให้ความร่มเงากับผู้สัญจร การพัฒนาพื้นที่ว่างเปล่าเพื่อสร้างสวนหย่อม บริเวณเกาะกลางถนน ริมคลอง พื้นที่ว่างริมทางเท้า และการรณรงค์ให้มีการนำแนวคิดสวนแนวตั้ง หลังคาสีเขียวมาพัฒนาพื้นที่ชุมชนต่าง ๆ เช่น ตอม่อรถไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นแนวทางในการส่งเสริมและรักษาอุณหภูมิของเมืองให้อยู่ในระดับภาวะสบาย

เอกสารอ้างอิง

- Akbari, H. & Konopacki, S. (2004). Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada. *Energy*, 29, 191 – 210.
- Akbari, H., Bretz, S., Kurn, D. M. & Hanford, J. (1997). Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. *Energy and Buildings*, 25, 117 – 126.
- Asaeda, T., Ca, V. T. & Wake, A. (1996). Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmospheric Environment*, 30, 413 – 427.
- Bangkok Metropolitan Administration. (2010a). Phenomenon and Variability of Climate Change [In Thai: ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงและการผันแปรของภูมิอากาศ]. Retrieved June 12, 2012, from <http://office.bangkok.go.th/environment/pdf/observed-th.pdf>
- Bangkok Metropolitan Administration. (2010b). *Statistics of Bangkok: Park Numbers and Areas in Bangkok 2009* [In Thai]. Department of Environment, Bangkok Metropolitan Administration. Retrieved June 12, 2012, from <http://www.bangkok.go.th/info/>
- Bangkok Metropolitan Administration. (2011a). *Statistics of Bangkok 2009: Population* [In Thai]. Retrieved June 12, 2012, from <http://www.bangkok.go.th/info/>
- Bangkok Metropolitan Administration. (2011b). *Bangkok State of the Environment 2010 – 2011* [In Thai]. Department of Environment, Bangkok Metropolitan Administration.
- Ca, V. T., Asaeda, T. & Abu, E. M. (1998). Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy and Buildings*, 29, 83 – 92.
- Carter, R. (2008). *Land Use Planning and the Changing Climate of the West*. Working Paper. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy.
- Charoenrourngwanit, W. (n.d.). *Bangkok Population* [In Thai]. Department of Urban Planning, Bangkok Metropolitan Administration. Retrieved June 12, 2012, from <http://cpd.bangkok.go.th/cpd/tp/planpop.html>
- Charoentrakulpeeti, W. & Mahawan, N. (2009). *The Application of Satellite Images to determine the proportion of urban land surface covers towards the urban comfortable environment* [In Thai]. Unpublished research report, Faculty of Architecture, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- Eliasson, I. (1996). Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment*, 30, 379 – 392.
- Estes, M. G., Gorsevski, V., Russell, C., Quattrochi, D. & Luvall, J. (1999). The Urban Heat Island Phenomenon and Potential Mitigation Strategies. In W. Kassar & R. Quay (Eds.), *Approaching the Millennium: Proceedings of the 1999 APA National Planning Conference*. Chicago, IL: American Institute of Certified Planners.

- Jonsson, P. (2004). Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. *International Journal of Climatology*, 24, 1307 – 1322.
- Montávez, J. P., Rodríguez, A. & Jiménez, J. I. (2000). A study of the Urban Heat Island of Granada. *International Journal of Climatology*, 20, 899 – 911.
- Kimura, F. & Takahashi, S. (1991). The Effects of Land-Use and Anthropogenic Heating on the Surface-temperature in the Tokyo Metropolitan-Area - a Numerical Experiment. *Atmospheric Environment Part B—Urban Atmosphere*, 25, 155 – 164.
- Liang, S. (2004). *Quantitative remote sensing of land surface*, New Jersey, Wiley: Interscience.
- Madhawan, B. B., Kubo, S., Kurisaki, N. & Sivakumar, T. (2001). Appraising the anatomy and spatial growth of the Bangkok Metropolitan area using a vegetation-impervious-soil model through remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 789 – 806.
- Mahawan, N., (2010). *Ground and satellite-based Measurement of Bangkok Intra-urban Temperature Dynamics in Relation to Human Comfort and Energy Demand*. Unpublished Doctoral Dissertation, Newcastle University, United Kingdom.
- Markham, B. L. & Barker, J. L. (1986). Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures. EOSAT Landsat Data Users Notes, 1, 3 – 8.
- Mekvichai, B. (1998). A review of urban land management in Thailand. In J.H. Ansari, & N.V. Einsiedel (Eds.), *Urban land management. Improving policies and practices in developing countries of Asia* (pp. 235 – 291). New Delhi: Oxford & IBH Pub.
- National Aeronautics and Space Administration—NASA (n.d.). Level 1G Product. *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. National Aeronautics and Space Administration.
- Oke, T. R. (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat-island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1(3), 237 – 254.
- Oke, T. R. (1982). The Energetic basis of the urban heat-island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1 – 24.
- Oke, T. R. (1987). *Boundary Layer Climates*, Cambridge: Routledge.
- Oke, T. R., Johnson, G. T., Steyn, D. G. & Watson, I. D. (1991). Simulation of surface urban heat islands under ideal conditions at night .2. Diagnosis of Causation. *Boundary-Layer Meteorology*, 56, 339 – 358.
- Qian, L.X., Cui, H.S. & Jie, C. (2006). Impacts of land use and cover change on land surface temperature in the Zhujiang Delta. *Pedosphere*, 16, 681 – 689.
- Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Aegiriou, A. & Assimakopoulos, D. N. (2001). On the impact of urban climate on the energy

- consumption of buildings. *Solar Energy*, 70, 201 – 216.
- Solecki, W. D., Rosenzweig, C., Pope, G., Chopping, M., Goldberg, R. & Polissar, A. (2004). *Urban heat Island and Climate Change: An Assessment of Interacting and Possible Adaptations in the Camden, New Jersey Region*. New Jersey, NJDEP, Division of Science, Research & Technology.
- Svensson, M. K. & Eliasson, I. (2002). Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 61, 37 – 54.
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, 25, 99 – 103.
- Unger, J., Sumeghy, Z., Gulyas, A., Bottyan, Z. & Mucsi, L. (2001). Land-use and meteorological aspects of the urban heat island. *Meteorological Applications*, 8, 189 – 194.
- Wanijbancha, K. (2003). *Application of SPSS for Windows for data analysis* [In Thai]. Bangkok: Chulalongkorn University.
- Watkins, R. (1999). *The impact of the urban environment on the energy demand for cooling buildings*. Unpublished report, Brunel University and the Building Research Establishment Ltd.
- Weng, Q.H., Lu, D.S. & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89, 467 – 483.
- Wong, N. H. & Yu, C. (2005). Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat International*, 29, 547 – 558.
- Yague, C., Zurita, E. & Martinez, A. (1991). Statistical-analysis of the Madrid urban heat-island. *Atmospheric Environment Part B—Urban Atmosphere*, 25, 327 – 332.
- Yue, W., Xu, J., Tan, W. & Xu, L. (2007). The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: Application to Shanghai Landsat 7 ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 3205 – 3226.