

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดิน

ที่เหมาะสมเพื่อสภาวะแวดล้อมเมืองที่สบายและน่าอยู่

The Application of Satellite Images to determine the proportion of urban land surface covers towards the urban comfortable environment



ดร. วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ

ดร. นิกร มหาวัน

RCH

HT

169

• T52B2

๑๕๓๕๓

สง.หมู่.....

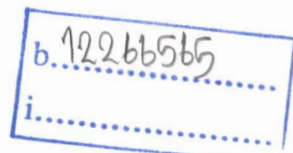
เลขทะเบียน 115216

รับ,เดือน,ปี 22 ก.พ. 2553

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2552

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการ

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินที่เหมาะสมเพื่อสภาวะแวดล้อมเมืองที่สบายและน่าอยู่

(ภาษาอังกฤษ) The Application of Satellite Images to determine the proportion of urban land surface covers towards the urban comfortable environment

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2552 จำนวนเงิน 1,298,100 บาท  
ระยะเวลาทำการวิจัย.....1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2551 ถึง 30 กันยายน 2552

รายชื่อผู้ดำเนินการวิจัยพร้อมหน่วยงานที่สังกัดและเลขหมายโทรศัพท์

- 1) ดร. วันเพ็ญ เจริญตระกูลปิติ (Wanpen Charoentrakulpeeti)  
หัวหน้าโครงการ  
สังกัดสาขาวิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง  
เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-3298384  
email: [kwapan@kmitl.ac.th](mailto:kwapan@kmitl.ac.th)
- 2) ดร. นิกร มหาวัน (Nikom Mahawan)  
ผู้ร่วมวิจัย  
สังกัดสำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม  
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม  
email: [nikom512@yahoo.com](mailto:nikom512@yahoo.com)
- 3) นางสาววัชรีย์ เจนจัดการ (Watcharee Janjatkarn)  
ผู้ช่วยวิจัยหลัก  
สังกัดสาขาวิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง  
เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520  
email: [poojaa@yahoo.com](mailto:poojaa@yahoo.com)

## บทคัดย่อ

การศึกษาหาแนวทางแก้ไขสถานการณ์ความร้อนในบรรยากาศของกรุงเทพมหานครมีความจำเป็นเนื่องจากกรุงเทพฯ เป็นเมืองในเขตร้อน ความร้อนที่ร้อนมากกว่าปกติในพื้นที่เมืองจึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพการดำเนินชีวิตของผู้คนในเมือง ดังนั้นความเข้าใจถึงสถานการณ์ และแนวทางแก้ไขจึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับการเตรียมการ และปรับปรุงให้สภาพภูมิอากาศในกรุงเทพฯ ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของคนกรุงเทพฯ มากกว่าที่ควรจะเป็น

ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บันทึกรายชั่วโมง จาก 10 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ในช่วงเวลา พ.ศ. 2548 – 2552 ใช้ในการศึกษาสถานการณ์ปัจจุบันของสภาพภูมิอากาศในกรุงเทพฯ และการศึกษาค่าดัชนีความร้อน (Heat Index) จากภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat ETM+ ณ วันที่ 9 มกราคม 2551 ใช้เป็นแหล่งข้อมูลสิ่งปกคลุมดินและอุณหภูมิ เพื่อสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินกับอุณหภูมิในเชิงปริมาณ โดยผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปกำหนดสัดส่วนพื้นที่ที่ทำให้เมืองมีสภาวะอากาศที่ไม่บิดเบือนไปจากสภาพธรรมชาติทั่วไป และสามารถใช้ในการกำหนดผ่านกระบวนการทางผังเมือง อย่างไรก็ตามปัจจัยทางภูมิอากาศในกระบวนการวางผังเมืองยังไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร การศึกษานี้ได้ทบทวนปัญหาและความเป็นไปได้ในการนำปัจจัยทางภูมิอากาศเมืองมาร่วมในกระบวนการวางผังเมือง

ผลการศึกษา พบว่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของกรุงเทพฯ ในช่วง พ.ศ. 2548-2552 สูงสุดที่  $32.3^{\circ}\text{C}$  ในเวลา 15.00 น. และต่ำสุดที่  $26.3^{\circ}\text{C}$  ณ เวลา 7.00 น. เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความร้อน พบว่าบรรยากาศโดยเฉลี่ยของกรุงเทพฯ ในแต่ละวัน 48.2% ของชั่วโมงทั้งหมดอยู่ในระดับร้อน 45.1% อยู่ในระดับอบอุ่น และ 6.6% มีค่าดัชนีความร้อนต่ำกว่าระดับอบอุ่น ซึ่งพบในเวลาหลังเที่ยงคืนของเดือนธันวาคม มกราคม และกุมภาพันธ์เท่านั้น สมการเส้นถดถอยที่สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิ แสดงถึงโอกาสในการปรับสภาพภูมิอากาศในเมืองโดยการกำหนดสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินที่เหมาะสม โดยอุณหภูมิจะลดลง  $0.028^{\circ}\text{C}$  จากการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ทุกๆ 1% แสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะลดอุณหภูมิในเมืองโดยการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ ซึ่งสามารถทำได้โดยผ่านทางกระบวนการวางผังเมืองแต่ในทางปฏิบัติกระบวนการวางผังเมืองยังมีข้อจำกัดทั้งในด้านเทคนิคในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลด้านภูมิอากาศ และนโยบายระดับบริหารที่เชื่อมโยงกับกระแสการพัฒนาที่ต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างอาคารสิ่งปลูกสร้างมากกว่าการพยายามรักษาไว้ซึ่งพื้นที่ที่เป็นธรรมชาติ

## Abstract

Existing urban climate and proper solutions to keep Bangkok's atmosphere comfortable are necessary. Bangkok locates in tropical zone; therefore, the heat island impact has put more pressure on urban human comfort. Understanding on existing urban atmosphere and possible solutions is of an important key to improve Bangkok's atmosphere which does not much influence on quality of human life.

Temperature and relative humidity recorded in hourly interval from 10 stations during 2005-2009 by Pollution Control Department. These datasets are used to investigate an existing Bangkok's atmosphere as well as the Heat Index value. Meanwhile apparent temperature and land cover map are derived from Landsat ETM+ acquiring on 9 January 2008. Remote-based datasets used to run multiple regression models providing a possible solution to reduce urban temperature by means of determining a proper proportion of land covers in urban areas. In order to design urban areas with proper land cover types and quantity, this could be done through the process of urban planning. In this study therefore provides reviews of problems and guidelines on taking urban climate parameters into consideration of urban planning process.

The results of existing Bangkok's atmosphere show that the daily maximum average temperature is  $32.2^{\circ}\text{C}$  found at 3 pm while the daily minimum average temperature is  $26.3^{\circ}\text{C}$  occurred at 7 am. In terms of the Heat Index of Bangkok, 48.2 % of typical hour in a day are in hot category and 45.1% fall into very warm category. The remaining hours of 6.6% are below very warm category; however, these situations can be found only after midnight hours of January, February and December. If the correlation between proportions of land cover types and apparent temperature is considered, the regression model demonstrates that the temperature could be reduced by  $0.037^{\circ}\text{C}$  with every 1% increasing of proportions of areas covered by trees. The result of regression model paves the way to improve urban atmosphere by increasing vegetated canopy in urban areas. However, providing vegetated canopy through urban planning still has limitations. For instance, technique on aggregation and analysis climate data is not compatible with urban planning process. In addition, policy on urban planning has always engaged with development sectors which need land for developing more than conserving natural areas.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินที่เหมาะสม เพื่อสภาวะแวดล้อมเมืองที่สบายและน่าอยู่ สามารถสำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนเงินวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินปี 2552 และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ การอนุเคราะห์ข้อมูลจากหน่วยงานหลายฝ่าย เช่น กรมควบคุมมลพิษ ที่สนับสนุนข้อมูลอุณหภูมิ ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรุงเทพมหานคร สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร สนับสนุนข้อมูลด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น รวมถึงการให้สัมภาษณ์ของผู้บริหารจากกรมโยธาธิการและผังเมือง และสำนักผังเมือง กรุงเทพมหานครด้วย ผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานดังกล่าวที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินการวิจัยขึ้นนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ในการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณ ดร. ณัฐกฤษฏ์ นบนอบ ในการให้ข้อคิดเห็นแก่งานวิจัยขึ้นนี้ รวมถึงคณะผู้ร่วมวิจัยทุกท่านที่ช่วยทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยขึ้นนี้จะยังเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง นักศึกษา และผู้ที่สนใจในด้านการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมในงานด้านผังเมือง

คณะผู้วิจัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
กิตติกรรมประกาศ	iv
สารบัญ	v
สารบัญตาราง	vii
สารบัญภาพ	viii
<b>บทที่ 1</b> บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	4
1.7 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย	4
1.8 ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	4
<b>บทที่ 2</b> ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 การขยายตัวของเมืองและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	5
2.2 การขยายตัวของประชากร เศรษฐกิจ และสังคม	10
2.2.1 ประชากรและการจ้างงาน	10
2.2.2 ระดับการศึกษาและระดับรายได้	11
2.3 สภาวะความร้อนในบรรยากาศและความสบายในพื้นที่เมือง	12
2.4 การตรวจสอบสภาพความร้อนบนพื้นผิวด้วยข้อมูลจากดาวเทียม	15
2.5 ความสำคัญของสถานการณ์บรรยากาศในเมืองต่อการวางผังเมือง	17
<b>บทที่ 3</b> ระเบียบวิธีวิจัย	19
3.1 การศึกษาสภาวะความสบายพื้นที่กรุงเทพฯ	20
3.2 การศึกษาอิทธิพลของสิ่งปกคลุมพื้นผิวที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	25
3.2.1 ข้อมูลและการจัดเตรียมข้อมูล	25
3.2.1.1 การจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น	26

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1.2 การจัดเตรียมข้อมูลสัดส่วนสิ่งปกคลุมดิน	31
3.2.1.3 การจัดเตรียมข้อมูลอุณหภูมิ	37
3.2.2 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิ	38
3.3 ทบทวนปัจจัยด้านภูมิอากาศเมืองที่ใช้ในการวางผังเมือง	39
บทที่ 4 สถานการณ์ความร้อนในบรรยากาศกรุงเทพมหานครและแนวทางแก้ไข	40
4.1 สถานการณ์ปัจจุบันของสภาวะความร้อนในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร	41
4.2 สภาวะความสบายในกรุงเทพมหานคร	45
4.3 แนวทางการลดระดับความร้อนของอากาศในกรุงเทพฯ	48
4.3.1 การเลือกตัวแปรอิสระสำหรับสมการความถดถอยระหว่างอุณหภูมิกับสิ่งปกคลุมดิน	49
4.3.2 การสร้างสมการความถดถอย ( Linear Regression)	51
4.3.3 ตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอย	56
4.3.4 การทดสอบความแม่นยำในการคาดการณ์ของสมการความถดถอย	58
4.3.5 สถานการณ์ปัจจุบันของสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมพื้นผิวที่มีอิทธิพลต่อบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร	62
4.4 ความรู้ด้านสภาพอากาศกับกระบวนการวางผังเมือง	64
4.4.1 อุปสรรคและข้อจำกัดในการพิจารณาปัจจัยด้านภูมิอากาศในกระบวนการผังเมือง	64
4.4.2 ความจำเป็นของปัจจัยด้านภูมิอากาศในการวางผังเมือง	68
บทที่ 5 บทสรุป	70
5.1 สภาพปัจจุบันของสภาวะความร้อนกับสภาวะความสบายในกรุงเทพมหานคร	70
5.2 อิทธิพลของวัตถุปกคลุมพื้นผิวเมืองที่อาจมีผลต่อการลดอุณหภูมิในเมือง	71
5.3 เสนอแนะประเภทและ สัดส่วนสิ่งปกคลุมพื้นผิว ที่เหมาะสมสำหรับผังเมืองกรุงเทพฯ	72
5.4 ปัจจัยที่เป็นอุปสรรคในการวางผังเมืองที่ลดปัญหาสภาพภูมิอากาศในเมือง	72
เอกสารอ้างอิง	74
ภาคผนวก ก.	81
ภาคผนวก ข.	86

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3-1	ระดับของดัชนีสภาวะความสบาย (Heat Index)	20
3-2	ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ (%) ในช่วง ปี 2548-2552 จาก 10 สถานี ในกรุงเทพมหานคร	23
3-3	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (ฟาเรนไฮต์) ในช่วง ปี 2548-2552 จาก 10 สถานีในกรุงเทพมหานคร	24
3-4	ค่าต่ำสุดและสูงสุดของพลังงานที่อุปกรณ์สามารถตรวจรับได้ ในแต่ละช่วงคลื่น ของ Landsat 7 ETM+	27
3-5	ค่าความคลาดเคลื่อนด้านเรขาคณิตของภาพสำหรับจุดควบคุม (Ground Control Points)	30
3-6	ประเภทสิ่งปกคลุมดิน	35
4-1	อุณหภูมิเฉลี่ยของกรุงเทพมหานครในช่วง พ.ศ. 2548 – 2552 (° เซลเซียส)	43
4-2	เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละเดือนกับเดือนที่มีค่าเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุด (° เซลเซียส)	44
4-3	จำนวนเฉลี่ยของชั่วโมงในหนึ่งวันในแต่ละเดือนที่ตกในแต่ละชั้นของค่าดัชนีความร้อน	48
4-4	แสดงค่า Tolerance และค่า VIF ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละตัว	50
4-5	ค่า Tolerance และค่า VIF ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละตัว	50
4-6	แสดงผลลัพธ์สรุปของสมการความถดถอย	52
4-7	ผลลัพธ์ค่าทดสอบ F	54
4-8	การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสิ่งปกคลุมดินที่ตัวแปร	55
4-9	ค่าคลาดเคลื่อนของสมการ	57
4-10	ทดสอบค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้จากสมการ 4-1 เปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยจาก ภาพถ่ายดาวเทียม	59
4-11	สัดส่วนร้อยละของพื้นที่ปกคลุมพื้นผิวในกรุงเทพมหานคร	63
4-12	สัดส่วนพื้นที่ปกคลุมพื้นผิวที่ส่งเสริมสภาวะความสบายของบรรยากาศใน กรุงเทพมหานคร	64

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	การขยายตัวของกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี พ.ศ. 2443-2533	8
2-2	พื้นที่กรุงเทพมหานครและ 5 จังหวัดปริมณฑล	9
2-3	ที่ตั้งและอาณาเขตกรุงเทพมหานคร	10
2-4	แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความต้องการความสบาย (Heat Island Group 2000)	14
3-1	การกระจายตัวของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร	22
3-2	ค่ารังสีสะท้อนของกลุ่มอาคารสิ่งปลูกสร้าง	32
3-3	ค่ารังสีสะท้อนของถนน และ พื้นน้ำ	33
3-4	ค่ารังสีสะท้อนของลานคอนกรีต อาคารทั่วไป และพื้นดิน	33
3-5	ค่ารังสีสะท้อนของพืช	34
3-6	ค่ารังสีสะท้อนของพื้นน้ำ	34
3-7	แผนที่แสดงสิ่งปกคลุมดิน	35
3-8	กริดที่สุ่มในพื้นที่การใช้ที่ดินแต่ละประเภท	37
3-9	ค่าอุณหภูมิในอากาศของกรุงเทพมหานคร	38
4-1	ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง พ.ศ. 2548 – 2552	42
4-2	ค่าดัชนีความร้อนในรายชั่วโมงของแต่ละเดือน	47
4-3	กราฟของค่าคลาดเคลื่อนเพื่อทดสอบการแจกแจงแบบปกติ	57
4-4	ลักษณะการกระจายตัวของค่าค่าแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน	57
4-5	แผนภาพแสดงการเชื่อมโยงปัจจัยข้อจำกัดของการนำข้อมูลด้านภูมิอากาศไปสู่กระบวนการวางผังเมือง	67

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ภูมิอากาศในเมืองที่มีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ชนบทโดยรอบเป็นปรากฏการณ์ทั่วไปที่พบในพื้นที่เมืองทั่วทั้งโลก (Liang, 2004; Taha, 1997; Watkins, 1999) ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์โดมแห่งความร้อน (Urban Heat Island: UHI) (Oke, 1987) สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว มาจากการขยายตัวของพื้นที่การพัฒนาของเมืองไปสู่ชนบท ซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมพื้นผิว รวมถึงความเข้มข้นของการใช้ที่ดิน (Juan, 2000; Oke, 1982; Unger et al., 2001; Yague et al., 1991) การพัฒนาได้เปลี่ยนวัตถุปกคลุมพื้นผิวที่เป็นธรรมชาติไปเป็นอาคารสิ่งก่อสร้าง ซึ่งอาคารสิ่งก่อสร้างมีคุณสมบัติในการเก็บและปล่อยพลังงานได้ดีกว่าสิ่งปกคลุมทางธรรมชาติ เช่น น้ำ พืช และดิน ดังนั้นพื้นที่เมืองจึงได้รับการยอมรับว่ามีการเก็บและคายความร้อนได้ดีกว่าพื้นที่ชนบท (Oke, 1981) ผลจากการที่เมืองร้อนกว่าชนบทกระทบต่อความรู้สึกไม่สบายของผู้ที่อาศัยอยู่ในเมือง ซึ่งจำเป็นต้องปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้อยู่ในสภาวะความสบายด้วยการทำความเย็นในอาคาร และนั่นได้ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการทำความเย็นในอาคาร ซึ่งเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายในวงวิชาการศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศของเมืองว่า ความต้องการพลังงานในเมืองมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมือง กล่าวอีกนัยหนึ่ง ปริมาณการบริโภคพลังงานเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิเมือง Ahmed, 2003; Estes et al., 1999; Liang, 2004; Rosenfeld et al., 1995; Solecki et al., 2004)

การกำหนดแนวทางการวางผังเมืองที่ดี โดยอาศัยการจัดการ และกำหนดปริมาณที่เหมาะสมของพื้นที่สีเขียวในเมือง เป็นแนวทางที่เชื่อว่าจะสามารถแก้ไขปัญหา สภาวะโดมแห่งความร้อนในเมืองได้ และนำไปสู่การลดความต้องการใช้พลังงาน (Ahmed, 2003; Estes et al., 1999; Svensson, 2002) จากรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียวกับอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่า ในบริเวณพื้นที่สีเขียวมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าพื้นที่ที่มีอาคารสิ่งปลูกสร้าง (Wong and Yu, 2005) เช่นเดียวกับอีกหลายงานวิจัย ที่พบว่า พื้นที่สีเขียวสามารถช่วยลดอุณหภูมิ และนำไปสู่การลดความต้องการพลังงาน (Akbari and Konopacki, 2004; Akbari et al., 1997; Ca et al., 1998; Jonsson, 2004; Santamouris, 2001) แม้ว่าจะงานวิจัยมากมายที่แสดงถึงศักยภาพของพื้นที่สีเขียวในการลดอุณหภูมิ และนำไปสู่การลดพลังงาน แต่ข้อมูลความรู้ที่มีอยู่ส่วนใหญ่เป็นการนำเสนอข้อมูลเฉพาะในเชิงคุณภาพ ซึ่งการประยุกต์ใช้ข้อมูลดังกล่าวยังมีอุปสรรค เนื่องจากกระบวนการ

วางผังเมือง จำเป็นต้องใช้ข้อมูลในเชิงปริมาณ ในการกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างพื้นที่ธรรมชาติ กับพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง ทั้งในภาพรวมของเมือง และในแต่ละโซนการใช้ที่ดิน ซึ่งงานวิจัยในด้านนี้ยังขาดแคลน ประกอบกับลักษณะโครงสร้างของเมืองแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันทั้งในด้าน ทำเลที่ตั้ง และสภาวะอากาศ รวมถึงชนิดของพืชพรรณ ส่งผลถึงความแตกต่างของความเหมาะสมของสัดส่วนระหว่างพื้นที่ธรรมชาติกับพื้นที่สิ่งปลูกสร้างของแต่ละเมือง ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยจึงมุ่งเน้นการกำหนดชนิดของสิ่งปกคลุมดิน และสัดส่วนที่เหมาะสมของสิ่งปกคลุมพื้นผิวที่จะสามารถควบคุมสภาวะอากาศของกรุงเทพฯ ให้อยู่ในระดับที่สบาย และนำไปสู่การลดความต้องการพลังงานในกรุงเทพฯ ต่อไป

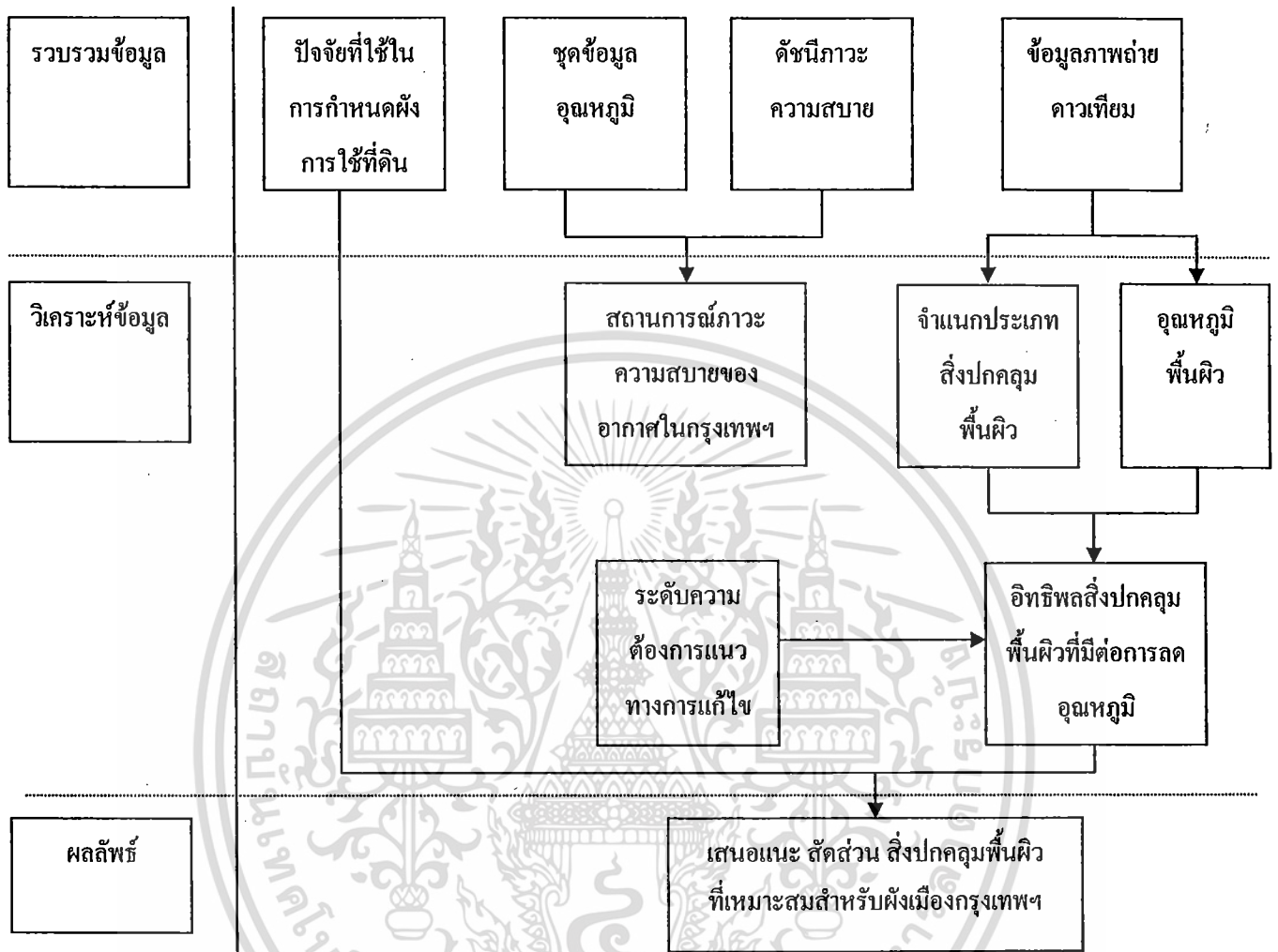
## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาเปรียบเทียบสภาพปัจจุบันของสภาวะความร้อนกับสภาวะความสบายในกรุงเทพฯ
- 2) ศึกษาอิทธิพลของวัตถุปกคลุมพื้นผิวเมืองที่อาจมีผลต่อการลดอุณหภูมิในเมือง
- 3) เสนอแนะ ประเภทและสัดส่วนสิ่งปกคลุมพื้นผิว ที่เหมาะสมสำหรับผังเมืองกรุงเทพฯ
- 4) ศึกษาทบทวนปัจจัยที่เป็นอุปสรรคในการวางผังเมืองที่ลดปัญหาสภาพภูมิอากาศในเมือง

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) รวบรวม ทบทวน ดัชนีความสบายของสภาวะอากาศที่ผู้คนในเมืองยอมรับ ปัจจัยและตัวแปรที่ใช้ในการวางแผนและผังเมือง
- 2) รวบรวมข้อมูลอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ และจากการแปรผลจากภาพถ่ายดาวเทียม
- 3) จัดจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมพื้นผิวในกรุงเทพฯ จากภาพถ่ายดาวเทียม
- 4) วิเคราะห์อิทธิพลของสิ่งปกคลุมพื้นผิวที่มีต่ออุณหภูมิเมือง
- 5) สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิ

## 1.4 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สถานการณ์ปัจจุบันของภาวะ โคมความร้อนที่เกิดขึ้นในกรุงเทพฯ และระดับความรุนแรงที่มีต่อสภาวะความสบายของคนในกรุงเทพฯ
- 2) ทราบถึงอิทธิพลของวัตถุปกคลุมพื้นผิวดินของเมืองที่มีผลต่อระดับอุณหภูมิของเมือง
- 3) ทราบถึงปัจจัยที่ใช้ในการวางผังเมืองปัจจุบันและแนวทางการลดอุณหภูมิของเมือง โดยพิจารณาจากสัดส่วนสิ่งปกคลุมพื้นผิวที่เหมาะสมสำหรับการวางผังเมือง
- 4) แนวทางการสร้างสภาวะแวดล้อมเมืองที่น่าอยู่ ภายใต้ระดับอุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสมกับการอยู่อาศัย และนำไปสู่การประหยัดพลังงานเพื่อใช้ในการทำความเย็นของเมือง

## 1.6 หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

- สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร
- กรมโยธาธิการและผังเมือง
- สำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- สาขาวิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## 1.7 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

- 1) เผยแพร่ผลงานวิจัยโดยตีพิมพ์เอกสารเผยแพร่สู่กลุ่มเป้าหมาย
- 2) เผยแพร่ฐานข้อมูลแก่นักคิดและหน่วยงานที่สนใจในการค้นคว้าเพิ่มเติม
- 3) จัดนำผลงานวิจัยและฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการเรียนการสอน

## 1.8 ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) องค์ความรู้ด้านการลดปรากฏการณ์ โคมความร้อน ซึ่งนำไปสู่การลดความต้องการใช้พลังงานในเมือง โดยการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างภาวะความสบายและอุณหภูมิในเมืองที่สามารถใช้ในการกำหนดแผนและผังเมืองที่ยั่งยืน
- 2) แนวทางการสร้างสภาพแวดล้อมเมืองที่น่าอยู่ มีอุณหภูมิที่เหมาะสม
- 3) ฐานข้อมูลเชิงตัวเลขและพื้นที่ที่สามารถนำไปปรับแก้เพื่อใช้ในพื้นื่นอื่นๆ ต่อไป
- 4) ข้อมูลพื้นฐานที่สามารถเผยแพร่ไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และใช้ในการวิจัยต่อไป
- 5) องค์ความรู้ที่ใช้สำหรับการเรียนการสอนในสาขาวิชาการวางแผนเมืองที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม

## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรม

กรุงเทพมหานครเป็นเมืองใหญ่ระดับมหานครในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งอยู่ในบริเวณละติจูดที่ 13 องศา 30 ลิปดา เหนือ และ ลองจิจูดที่ 100 องศา ตะวันออก ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร ในซีกโลกเหนือเพียงเล็กน้อย จัดอยู่ในโซนที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของกรุงเทพมหานครอยู่ระหว่าง 26-31 องศาเซลเซียส (78-90 องศาฟาเรนไฮต์) ประกอบด้วย 3 ฤดูกาลหลัก คือ ฤดูร้อน (เดือนมีนาคม – พฤษภาคม) เดือนเมษายนเป็นเดือนที่ร้อนที่สุด ฤดูฝนอยู่ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งความชื้นจากมหาสมุทรอินเดียเข้าสู่แผ่นดินเมื่อร่วมกับความชื้นที่ถูกพัดมาจากอ่าวไทย ช่วยให้อุณหภูมิของกรุงเทพมหานครลดความร้อนลงจากช่วงฤดูร้อน และฤดูหนาวเป็นช่วงเวลาตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ได้รับอิทธิพลจากอากาศเย็นจากตอนใต้ของประเทศจีนที่แผ่ปกคลุมลงมาถึงบริเวณกรุงเทพมหานคร

ในบทนี้เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วยประเด็นดังต่อไปนี้ หัวข้อ 2.1 เป็นการนำเสนอข้อมูลการขยายตัวของเมืองและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นเรื่องเกี่ยวเนื่องที่นำไปสู่การขยายตัวของประชากร เศรษฐกิจและสังคมในพื้นที่ โดยได้นำเสนอรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 2.2 ในขณะที่หัวข้อ 2.3 เป็นการทบทวนเกี่ยวกับสภาพของสภาวะบรรยากาศในเมืองและสภาวะความสบายของผู้คนในเมือง หัวข้อ 2.4 เป็นการทบทวนความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมในการตรวจสอบความปรากฏการณ์โดมแห่งความร้อน และในหัวข้อสุดท้าย (2.5) เป็นการทบทวนความสำคัญของสถานการณ์บรรยากาศในเมืองที่มีต่อกระบวนการวางผังเมือง

#### 2.1 การขยายตัวของเมืองและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

เมืองเกิดขึ้นจากการสร้างขึ้นของมนุษย์ และมีกิจกรรมที่รวมตัวกันหลายอย่าง เช่น วัฒนธรรม ศิลปะ วิทยาศาสตร์ การผลิต การกระจายและการบริโภคสินค้าและบริการต่างๆ เมืองจะมีลักษณะที่เด่นชัดคือการเจริญเติบโตทางพื้นที่ ทางประชากร ทางสังคมและเศรษฐกิจและการคมนาคมขนส่ง กรุงเทพมหานครก็เช่นเดียวกัน มีลักษณะดังกล่าวหลังการปกครองของอยุธยา กรุงเทพมหานครเป็นศูนย์กลางของความมั่งคั่งทั้งด้านการพาณิชย์และการค้าที่มีประชากรที่มีเชื้อชาติและศาสนาที่หลากหลาย

กรุงเทพมหานครประกอบไปด้วยสองส่วนโดยใช้แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นตัวแบ่งพื้นที่ ส่วนที่อยู่ทางทิศตะวันตกเรียกว่ากรุงเทพ และส่วนทางทิศตะวันตกเรียกว่าฝั่งธนบุรี

การขยายตัวของกรุงเทพมหานครจนถึงปัจจุบันได้รับอิทธิพลจากประเทศตะวันตก เช่น แรงกดดันจากความสนใจทางการค้า เศรษฐกิจ และการบริหารการปกครองของชนอังกฤษในปีพ.ศ.2393 ที่กระตุ้นให้มีการส่งเสริมการผลิตทางเกษตรกรรม โดยเฉพาะข้าวและสินค้าส่งออกอื่นๆ ผ่านระบบการคมนาคมขนส่ง ผลผลิตข้าวที่เพิ่มขึ้นเกิดโดยใช้วิธีการผลิตแบบดั้งเดิมไม่ใช้นวัตกรรมทางเทคโนโลยี ระบบทุนนิยมที่เกิดขึ้นในประเทศไทยเกิดจากการลงทุนและการสะสมทุนจากการค้ากับประเทศยุโรป การเดินทางค้าขายของชาวจีน และคนในกลุ่มศักดิ์นา รายได้จากภาษีถูกนำไปสร้างถนนในกรุงเทพมหานคร (Porphant, 1994)

จากกลางศตวรรษที่ 19 อิทธิพลการขยายตัวของเศรษฐกิจทุนนิยมและรัฐรวมศูนย์รวมถึงการส่งเสริมการศึกษาในกรุงเทพมหานครทำให้เกิดการเจริญเติบโตของประชากรและเมืองโตเดี่ยว อัตราการเจริญเติบโตของประชากรในเมืองหลวงปี พ.ศ. 2456 มีขนาดใหญ่กว่าศูนย์กลางอันดับถัดไป คือ เชียงใหม่ ถึง 12 เท่า และเพิ่มเป็น 15 เท่า ในปี พ.ศ. 2480 และเพิ่มขึ้นเป็น 20 เท่าในปี 2490 และสูงถึง 51 เท่าในปี พ.ศ. 2523 (Askew, 2002) จากปี พ.ศ. 2443 ถึงปี พ.ศ. 2479 พื้นที่อาคารของกรุงเทพมหานครขยายตัวมีเส้นผ่านศูนย์กลางจาก 13 กม. เป็น 43 กม. สาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของการอพยพของชาวจีน และการปลดปล่อยทาสในปี พ.ศ. 2548 และการอพยพแรงงานจากชนบทสู่เมืองเนื่องจากค่าจ้างแรงงานในภาคเมืองสูงกว่าการทำเกษตรกรรม อย่างไรก็ตามภายใต้ของระบบราชการและการทหาร แรงงานไทยที่ไม่ใช่ภาคเกษตรกรรมถูกส่งเสริมผ่านการส่งเสริมอุตสาหกรรม

หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมทั้งในพื้นที่ชนบทและเมืองเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว คลื่นของแรงงานอพยพเข้ามาในกรุงเทพมหานคร รวมถึงการเพิ่มโอกาสให้กับตนเองและครอบครัว ไม่ว่าจะเป็นเพื่อการศึกษา การสาธารณสุข และอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลงสังคมทางพื้นที่และความหลากหลายมากขึ้น เป็นเมืองอุตสาหกรรม เมืองของชนชั้นกลาง และเมืองท่องเที่ยว (Askew, 2002: 49) หลังปี พ.ศ. 2493 ระยะเวลา 10 ปีต่อมา การพัฒนาเศรษฐกิจเน้นที่บริการ เช่น การค้าขาย การธนาคาร ในเวลาเดียวกันมีการนำเข้าสินค้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของชนชั้นกลาง-สูง (Ingram, 1971) ตัวอย่างเช่นระหว่างปี พ.ศ. 2490 ถึงปี พ.ศ. 2500 จำนวนรถยนต์ส่วนตัวในเขตกรุงเทพมหานครเพิ่มขึ้นมากกว่า 650% หรือคิดเป็น 87% ของรถยนต์ส่วนตัวของประเทศ (Bongsadadt, 1973)

ความสำคัญของนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจในปีพ.ศ. 2500 มีการสนับสนุนความช่วยเหลือด้านเทคนิคและเงินทุนจากพ่อค้าชาวจีนและพวกนายทุนต่างๆ (Darling, 1965; Phongpaichit and Baker, 1995) เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตทางอุตสาหกรรม การลงทุนต่างชาติและความหลากหลายในเศรษฐกิจชาติ จึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติขึ้น (National Economic and Social Development Board: NESDB) และคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (the Board of Investment: BOI) ในปีพ.ศ. 2501 ด้วยความร่วมมือจากสหรัฐอเมริกาและความช่วยเหลือผ่านองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศ (USOM) ได้ว่าจ้างที่ปรึกษา Litchfield Whiting Browne and Associates ร่วมกับเจ้าหน้าที่เทศบาลนครกรุงเทพและธนบุรี จัดทำผังแม่บทฉบับแรกเมื่อ พ.ศ. 2503 คือ Greater Bangkok Plan 2533 หรือเรียกว่า ผังลิทซ์ฟิลด์ (Keyes, 1987; Ingram, 1971; วรรณรินทร์, 2543) แผนดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อจัดโซนนิ่งการใช้ที่ดินและวางแนวทางการพัฒนากรุงเทพมหานครใน 3 ทศวรรษหน้า อย่างไรก็ตามไม่เคยได้ปฏิบัติ

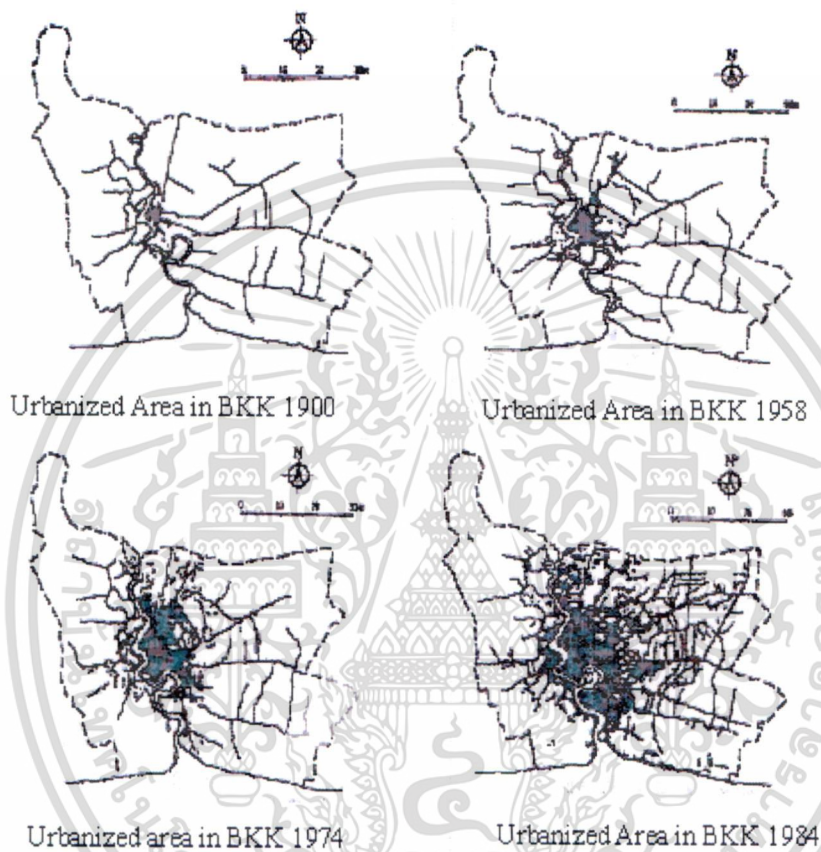
พื้นที่กรุงเทพมหานครเพิ่มขึ้นสามเท่าจาก 13 ตร.กม. ในปี พ.ศ. 2443 เป็น 43 ตร.กม. ในปี พ.ศ. 2479 (Mekvichai, 1998: 242) ในปี พ.ศ. 2490 กรุงเทพมหานครมีพื้นที่เพิ่มเป็น 60-70 ตร.กม. และเป็น 90 ตร.กม. ในปี พ.ศ. 2503 และมีประชากรมากกว่า 2 ล้านคน (Donner, 1978) และปี พ.ศ. 2513 พื้นที่เมืองขยายเป็น 184 ตร.กม. (Sternstein, 1976) พื้นที่เมืองได้ขยายตัวอย่างไร้ทิศทางและมีความซับซ้อนมากขึ้นเป็น 239 ตร.กม. ในปี พ.ศ. 2523 (รูป 2.1 ประกอบ) ปัจจุบันพื้นที่กรุงเทพมหานครมีพื้นที่ 1,568.737 ตร.กม.

อย่างไรก็ตามผังพัฒนาเมืองของกรุงเทพมหานครที่ปรับปรุงในปี พ.ศ. 2535 เป็นเพียงแค่แบบฝึกหัดที่ใช้สัญลักษณ์ต่างๆ ในการวางแผนเท่านั้น Nim (1963) ได้ให้ข้อสังเกตในช่วงต้นๆ ว่า ถึงแม้ว่าจำนวนของนักวางแผน นักวิชาชีพ นักวิชาการไทย ที่ได้รับการศึกษาจากทางตะวันตกจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นแต่แผนก็ยังคงยากต่อการตรวจสอบและการทำแผนที่ที่ทำอยู่บนกระดาษ โดยการควบคุมจากการระบายสี แต่ไม่ได้ควบคุมการใช้ที่ดินตามสภาพความเป็นจริงเนื่องจากพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มีการวิพากษ์วิจารณ์กันว่าความผิดพลาดของการเจริญเติบโตของกรุงเทพมหานครอย่างต่อเนื่องนั้นเนื่องจากการใช้แบบจำลองการขยายตัวของชาติตะวันตกเพื่อกำหนดเมืองเก่าแก่ เช่น กรุงเทพมหานคร (Bello et al., 1998) ด้วยการสนับสนุนของภาครัฐ ภาคอุตสาหกรรม และภาคการเมือง รวมถึงชนชั้นกลาง อีกปัจจัยหนึ่งคือการขาดกรอบทางกฎหมายหรือความตั้งใจของนักการเมืองในการบังคับใช้ผังเมือง

นอกเหนือจากนี้ ตัวแทนภาครัฐก็มีบทบาทสำคัญที่กระตุ้นให้เกิดการอพยพ เช่น นโยบายที่ส่งเสริมความเป็นประเทศอุตสาหกรรมของประเทศไทย หรือที่รู้จักกันในชื่อ NICs (Newly Industrialized Countries) รวมถึงนโยบายการกระจายอำนาจ ในอีกแง่หนึ่ง ความต้องการแรงงานในภาคอุตสาหกรรม การก่อสร้างและการบริการดึงดูดแรงงานรวมถึงแรงงานเด็ก และแรงงานผู้หญิงจากชนบทสู่เมือง (Askew, 2002: 68-69) ในอีกแง่หนึ่งการกำหนดกรอบการพัฒนาสามารถชี้นำการกระจายความเจริญเติบโตไปสู่ชนบทและประเทศเพื่อนบ้าน โดยการพัฒนาทางด้านพลังงานและการขนส่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับรายจ่ายและเงินกู้ยืมของประเทศ (Phongpaichit, 1980) การก่อสร้างถนนไฮเวย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เชื่อมต่อกับประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อนบ้าน ได้รับความสนใจอย่างมาก เช่น ถนนสุขุมวิท ที่เชื่อมระหว่างชายแดนประเทศไทยและกัมพูชา ถนนมิตรภาพที่เชื่อมระหว่างเมืองหลวงและจังหวัดหนองคาย ซึ่งไม่เพียงแต่จะกระตุ้นการค้าและการคมนาคมขนส่งแต่ยังทำให้ประชาชนเดินทางเข้าเมืองหลวงสะดวกมากยิ่งขึ้น (Muscat, 1990; Porphant, 1994) การหลั่งไหลของคน สินค้า และการบริการนำไปสู่ความแออัดของประชากร และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างต่อเนื่องซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิของเมืองที่เปลี่ยนแปลง

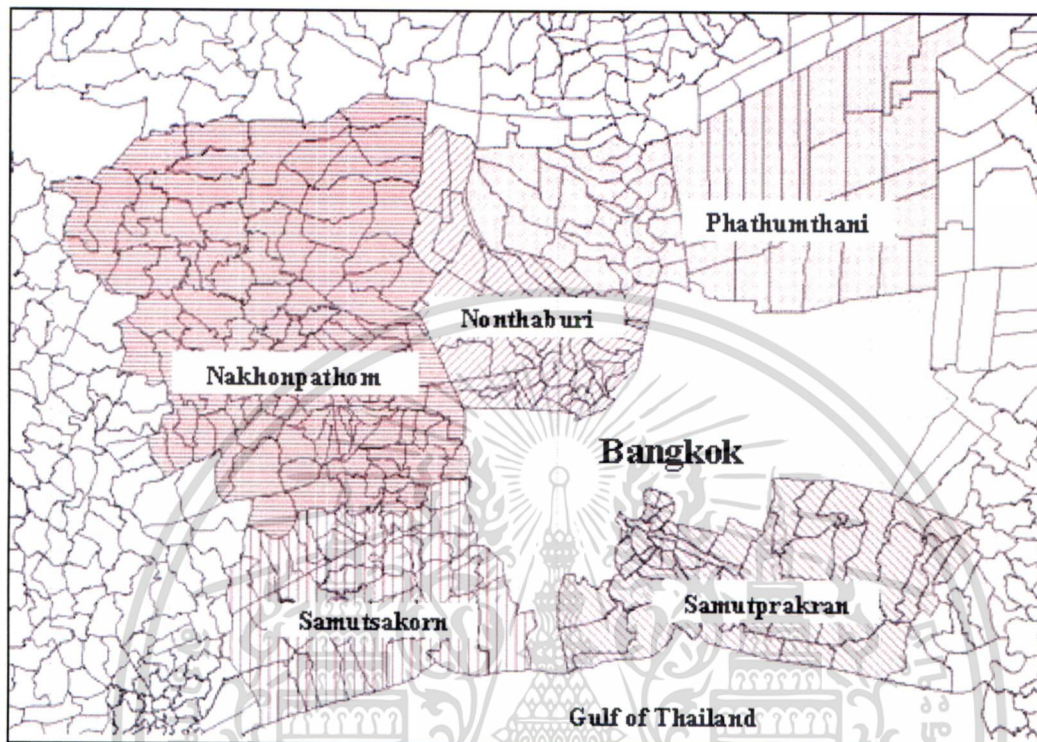


ภาพที่ 2-1 การขยายตัวของกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี พ.ศ. 2443-2533

ที่มา: JICA (1996)

กรุงเทพมหานครเป็นที่ตั้งของเมืองหลวง กิจกรรมในชีวิตประจำวันและการใช้พื้นที่ที่ปกครองโดย กรุงเทพมหานคร (Bangkok Metropolitan Administration: BMA) ไม่สามารถจะหลีกเลี่ยงการขยายอาณาเขตเป็นกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่รู้จักกันในภาษาอังกฤษที่ว่า 'Bangkok Metropolitan Region' (BMR) ซึ่งหมายถึง พื้นที่ที่ปกครองกรุงเทพมหานครกับ 5 จังหวัดใกล้เคียง ประกอบด้วย สมุทรปราการ สมุทรสาคร ปทุมธานี นนทบุรี และ นครปฐม (ดูรูป 4.2 และ 4.3 ประกอบ) นอกจากนี้การปรับโครงสร้างทางเศรษฐกิจในช่วงปลายศตวรรษที่ 20 กรุงเทพมหานครได้รับการขนานนามจากคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติใหม่ว่า 'Mega-urban Region' or 'Extended Bangkok' เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Metropolitan Region' (EBMR) ตามการแผ่ขยายของกรุงเทพมหานครไปทางเหนือสู่อยุธยา ตะวันออกไป  
ติดฉะเชิงเทรา และไปตามชายฝั่งไปติดระยอง (Nophakhun, 1993; Kaothien, 1995)



ภาพที่ 2-2 พื้นที่กรุงเทพมหานครและ 5 จังหวัดปริมณฑล



ใกล้เคียง เช่น สมุทรปราการ ปทุมธานี ระยอง เป็นต้น ข้อมูลประชากรกรุงเทพมหานครและประเทศไทย แยกตามอายุในปีพ.ศ. 2551 พบว่าโครงสร้างอายุที่อยู่ในวัยแรงงาน (15-59 ปี) มี 3.804 ล้านคน คิดเป็น ร้อยละ 65.1 และที่ไม่ได้อยู่ในวัยแรงงาน (น้อยกว่า 15 ปี และมากกว่า 59 ปี) มี 1.637 ล้านคน หรือร้อยละ 28.1 (กรุงเทพมหานคร, 2552) โดยประชากรกรุงเทพมหานครคิดเป็นร้อยละ 9.01 ของประชากรทั้งประเทศ

ศูนย์กลางธุรกิจการค้าของกรุงเทพมหานครครอบคลุมพื้นที่สี่ลม สาทร สุรวงศ์ ปทุมวัน เพลินจิต สุขุมวิท โดยคิดเป็นพื้นที่ CBD ประมาณ 20.2 ตร.กม. การจ้างงานในเขต CBD ตามข้อมูลปีพ.ศ. 2533 มี 271,944 คน ในขณะที่ความหนาแน่นของการจ้างงานในเขต CBD มีประมาณ 13,200 งานต่อตร.กม. (Pornchokchai and Chandoevit, 2003) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่อุตสาหกรรมในเขต CBD จะเป็นอุตสาหกรรมบริการ แต่หากเป็นอุตสาหกรรมการผลิตจะตั้งอยู่ที่เขตรอบนอก และจังหวัดใกล้เคียง เช่น สมุทรปราการ ปทุมธานี และอิสรเทิร์นชีบอร์ด์

ในระหว่างปีพ.ศ. 2532-2537 กรุงเทพมหานครมีอัตราการขยายตัวของสาขาการผลิตเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 13.08 โดยอัตราการขยายตัวเฉลี่ยในสาขาการธนาคาร ประกันภัย และอสังหาริมทรัพย์สูงสุดต่อปีคิดเป็น ร้อยละ 36.91 หลังจากเกิดวิกฤติเศรษฐกิจในปีพ.ศ. 2537-2541 อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจติดลบ โดยเฉลี่ย 2.26 ต่อปี โดยสาขาการธนาคาร ประกันภัยและอสังหาริมทรัพย์ลดลงมากที่สุด

จากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติ พบว่าในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา กรุงเทพมหานครมีจำนวนผู้มีงานทำในสาขาที่สำคัญ 3 สาขา คือ พาณิชยกรรม บริการ และอุตสาหกรรม รวมกันถึงกว่าร้อยละ 80 และเมื่อดูสัดส่วนของผู้มีงานทำของกรุงเทพมหานครเทียบกับสัดส่วนผู้มีงานทำในภาคมหานครพบว่ากรุงเทพฯ ยังคงเป็นแหล่งการจ้างงานที่สำคัญของภาคมหานคร ผู้มีงานทำในภาคมหานครเป็นผู้มีงานทำในกรุงเทพฯ ร้อยละ 67.52 ในปีพ.ศ. 2537 และร้อยละ 66.13 ในปีพ.ศ. 2542 ในปี พ.ศ. 2542 มีสาขาประกอบการทั้ง ประเทศ 362,683 แห่ง โดยเป็นสถานประกอบการที่อยู่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลถึงร้อยละ 54 โดยอยู่ในกรุงเทพมหานครประมาณร้อยละ 46 และอีกร้อยละ 8 กระจายอยู่ตามจังหวัดในปริมณฑล และมีจำนวนการจ้างงานในปี พ.ศ. 2542 ประมาณ 8.134 ล้านคน และลดลงในปี พ.ศ. 2543 เหลือ 7.807 ล้านคน เนื่องจากการเลิกกิจกรรมของสถานประกอบการจำนวนหนึ่งในช่วงวิกฤติเศรษฐกิจ

## 2.2.2 ระดับการศึกษาและระดับรายได้

ในปีพ.ศ. 2543 กรุงเทพมหานคร มีประชากร 5,562,368 คน โดยมีระดับการศึกษาดังนี้ ผู้ที่จบ การศึกษาระดับประถม มี 2,095,219 คน หรือ 35.34% ผู้จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษา มีจำนวน 1,801,452 คน หรือ 30.39% และผู้ที่จบการศึกษาระดับอุดมศึกษามีจำนวน 1,564,322 คน หรือ 26.39% (จากการทำ สัมภาษณ์ประชากรและที่อยู่อาศัยปีพ.ศ. 2543)

จากการสำรวจภาวะเศรษฐกิจและสังคมของครัวเรือน พ.ศ. 2543 สำนักงานสถิติแห่งชาติสำนักนายกรัฐมนตรี พบว่ากรุงเทพมหานครมีขนาดครัวเรือนเฉลี่ย 3.03 คนต่อครัวเรือน มีรายได้เฉลี่ยครัวเรือนต่อเดือน 26,909 บาท หรือรายได้เฉลี่ยต่อคน 8,154 บาท ในส่วนค่าใช้จ่ายต่อครัวเรือนเฉลี่ยอยู่ที่ 20,448 บาท และค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 6,284 บาทต่อคน ที่มาของรายได้ตามสัดส่วนครัวเรือน พบว่ากรุงเทพมหานครมีสัดส่วนครัวเรือน ทำงานเป็นเสมียน พนักงานขายและให้บริการมากที่สุด ร้อยละ 29.2 รองลงมา ครัวเรือนดำเนินธุรกิจของตนเอง ร้อยละ 24.4 ปฏิบัติงานวิชาชีพ นักวิชาการและนักบริหาร ร้อยละ 18.5 ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต ร้อยละ 15.5 ทำการเกษตร สัดส่วนมีน้อยที่สุด ร้อยละ 0.1 รายได้เฉลี่ยต่อคนต่อเดือน จำแนกตามอาชีพ พบว่าปฏิบัติงานวิชาชีพ นักวิชาการและนักบริหารมีรายได้เฉลี่ยสูงที่สุด 12,853 บาทต่อคนต่อเดือน ในขณะที่ทำการเกษตรรายได้เฉลี่ยต่ำสุด 1,566 บาทต่อคนต่อเดือน (กรุงเทพมหานคร, 2552)

### 2.3 ภาวะความร้อนในบรรยากาศและภาวะความสบายในพื้นที่เมือง

สถานการณ์ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ได้สร้างความตระหนักถึงความจำเป็นในการหาทางป้องกันแก้ไขแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งพื้นที่เมืองเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด เนื่องจากปรากฏการณ์ ที่อุณหภูมิในเมืองโดยทั่วไปจะสูงกว่าอุณหภูมิในชนบทที่ล้อมพื้นที่เมือง ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นั้นว่า ภาวะ โดมแห่งความร้อน (Urban Heat Island) (Oke 1987) รายงานการศึกษาหลายฉบับ รายงานถึงแนวโน้มอุณหภูมิในเมืองที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากหลายเมืองทั่วโลก เช่น Madrid ประเทศ Spain อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดรายปี มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น 0.024 องศาเซลเซียสต่อปี (Yague et al, 1991) เช่นเดียวกับ เมือง Granada ประเทศ Spain พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดรายปี มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น (Montavez et al., 2000) นอกจากนั้น ที่เมือง Guadalajara ประเทศ Mexico พบว่า มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด และสูงสุด เพิ่มขึ้น 0.05 และ 0.02 องศาเซลเซียส ต่อปี ตามลำดับ (Tereshchenko and Filonov 2001) เป็นต้น แนวโน้มของอุณหภูมิของเมืองที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นสัญลักษณ์ที่ชี้ถึงความจำเป็นเร่งด่วน ในการหาแนวทางป้องกันความรุนแรงของภาวะอากาศที่ไม่เหมาะสมที่จะเกิดขึ้น ได้ในอนาคต

ปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ภาวะ โดมแห่งความร้อน (Urban Heat Island) สามารถสรุปได้จาก 3 องค์ประกอบของเมืองที่ส่งผลให้อุณหภูมิในพื้นที่เมืองสูงกว่าอุณหภูมิในพื้นที่ชนบท ประกอบด้วย ชนิดของสิ่งปกคลุมพื้นผิว ลักษณะ โครงสร้างของพื้นที่ และประเภทการใช้ที่ดิน

1) ชนิดของสิ่งปกคลุมพื้นผิวของเมืองและชนบทที่แตกต่างกันส่งผลถึงความแตกต่างของอุณหภูมิของสองพื้นที่ ตัวแปรสำคัญที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างชนิดของพื้นที่ผิวที่แตกต่างกันประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลัก ปัจจัยแรกคือคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานและปลดปล่อยพลังงาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

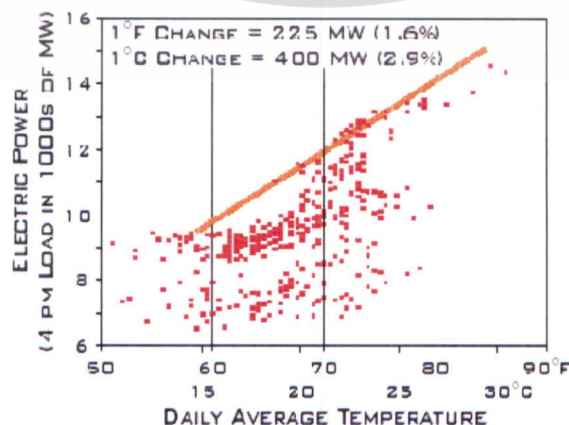
ของวัตถุพื้นผิว ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเรียกว่า “Thermal Admittance” กล่าวคือวัตถุปกคลุมพื้นผิว เช่น อาคารสิ่งปลูกสร้างต่างๆ และพื้นคอนกรีต หรือยางมะตอย เป็นวัสดุส่วนใหญ่ที่ปกคลุมพื้นผิวของพื้นที่เมือง วัสดุดังกล่าวมีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวันได้ในอัตราส่วนที่มากกว่า วัสดุธรรมชาติ เช่น พืช ดิน น้ำ ซึ่งปกคลุมพื้นที่ส่วนมากของพื้นที่ชนบท ในขณะที่ในเวลากลางคืนอาคาร สิ่งปลูกสร้างปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่เก็บไว้ตอนกลางวันออกมาสู่บรรยากาศได้มากกว่าวัสดุธรรมชาติ จากคุณสมบัติดังกล่าว จึงทำให้พื้นที่เมืองคงระดับความร้อนในบรรยากาศที่สูงกว่าชนบทแม้ว่าพระอาทิตย์จะลับขอบฟ้าไปแล้ว (Oke et al., 1991) ปัจจัยที่สอง คือสภาวะความชื้นของพื้นผิว วัสดุอาคาร สิ่งปลูกสร้างมีสภาพพื้นผิวที่อุ้มความชื้นในตัวเองของวัตถุ กล่าวคือ ความชื้นในวัตถุจะระเหยจนหมด ตัวอย่างเช่น ในเวลาหลังจากฝนตก พื้นผิวของอาคารสิ่งปลูกสร้างจะเปียกและแห้งลงภายในเวลาไม่กี่ ชั่วโมง ในทางตรงกันข้ามพื้นผิวธรรมชาติ เช่น พืช หรือ ดิน จะเก็บกักความชื้นไว้ในตัว และจะค่อยๆแห้งลงหากมีพลังงานความร้อนเพียงพอ แต่ใช้ระยะเวลาในการทำให้พื้นผิวแห้งนานกว่าพื้นผิวอาคารสิ่งปลูกสร้าง (Oke, 1987) ลักษณะดังกล่าวทำให้ความร้อนสะสมในบรรยากาศของพื้นที่เมืองสูงกว่าในบรรยากาศของพื้นที่ชนบทเนื่องจากความร้อนในบรรยากาศถูกนำไประเหยความชื้นในพื้นผิวของอาคารสิ่งปลูกสร้างในเมืองน้อยกว่าพื้นผิวของดินและพืชในชนบท

2) ลักษณะ โครงสร้างของพื้นที่ อาคารสูงที่มีอยู่จำนวนมากในเมืองซึ่งจะวางตัวตามแนวของถนนทั้งสองฟาก ก่อให้เกิดลักษณะเช่นเดียวกับหุบเขา ซึ่งเรียกว่า “Urban Canyon” ลักษณะของช่องถนนระหว่างอาคารสูงในเมืองนี้ เป็นการเพิ่มพื้นที่สำหรับการดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน จากเดิมที่พลังงานถูกดูดซับที่พื้นผิวเพียงแห่งเดียวในที่โล่ง แต่ในช่องถนนระหว่างอาคารในเมือง พลังงานจะถูกดูดซับเพิ่มมากขึ้น โดยพื้นที่ผนังของอาคาร โดยเฉพาะด้านที่ติดกับถนนทั้งสองฟาก และพลังงานที่ถูกดูดซับไว้ทั้งจากพื้นผิวและผนังอาคารจะถูกปลดปล่อยออกมาในช่วงเวลากลางคืนในปริมาณที่มากกว่าในที่โล่ง นอกจากนั้นแนวของอาคารสูงยังมีคุณสมบัติในการปิดกั้นลม หรือลดความสามารถในการระบายความร้อนออกจากช่องถนนระหว่างอาคาร (Oke, 1982) ซึ่งส่งเสริมให้เกิดความแตกต่างของความร้อนระหว่างเมืองกับชนบทยิ่งขึ้น

3) ประเภทการใช้ที่ดินเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมให้อุณหภูมิในเมืองสูงกว่าชนบท กิจกรรมของประชากรในเมืองหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรม พาณิชยกรรม การขนส่ง และ ที่อยู่อาศัยหนาแน่นสูง เป็นต้น ส่งผลต่อการเพิ่มความร้อนให้แก่พื้นที่ในเมืองจากการปลดปล่อยความร้อนจากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม ความร้อนจากคอมเพลกซ์เซอร์แอร์คอนดิชันที่ทำความเย็นในอาคาร พาณิชยกรรมและที่พักอาศัย หรือ ความร้อนที่ปล่อยออกจากท่อไอเสียยานพาหนะ สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นแหล่งความเอกซอสเป็นเอกซอสที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์เมื่อรวมกับความร้อนตามธรรมชาติที่มาจากพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นการเพิ่มระดับความร้อนในบรรยากาศของพื้นที่เมืองให้สูงกว่าบรรยากาศในพื้นที่ชนบท (Oke, 1982)

ผลของสภาวะโดมความร้อนส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ในเมืองอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งในแง่ของความรู้สึกที่ไม่สบายเนื่องจากความร้อน ซึ่งเพิ่มความต้องการในด้านการทำความเย็นในบ้าน ส่งผลต่อปริมาณความต้องการใช้พลังงานในเมืองที่เพิ่มมากขึ้น สภาวะอากาศที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยมีความแตกต่างกันตามภูมิภาค ตัวอย่างเช่น งานศึกษา ใน Dhaka ประเทศบังกลาเทศ รายงานว่า อุณหภูมิที่ผู้คนรู้สึกสบายควรอยู่ ระหว่าง 27-32 °C และ ความชื้นสัมพัทธ์ควรอยู่ระหว่าง 50 - 80% (ในร่ม) (Ahmed 2003) ประเทศ Indonesia จากรายงานแนะนำระดับความสบายอยู่ที่ 23.5-29.0 °C (Karyono, 1995) อ้างถึงใน (Evans, 2003) สำหรับ กรุงเทพฯ รายงานการศึกษา เสนอระดับความสบายอยู่ที่ 24.0 - 26.5 °C สำหรับอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ และ 23.5 - 30 °C สำหรับอาคารทั่วไป (Busch, 1995) อ้างถึงใน (Evans, 2003) สภาวะความสบายมีผลต่อความต้องการใช้พลังงานในเมือง ตัวอย่างเช่น รายงานการศึกษา ในประเทศอังกฤษ พบว่า การบริโภคพลังงานในอาคารมีมากกว่า ร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับ การใช้พลังงานทั้งหมดในเมือง (Stemers, 2003) ในประเทศอินเดีย พบว่าพลังงานที่ใช้สำหรับ แอร์คอนดิชันหรือเครื่องปรับอากาศ สูงถึง 40-50% เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในอาคาร (Majumdar, 2004) จากรายงานการศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ กับ การใช้พลังงาน ของ Edison, Southern California ในปี 1988 พบว่า การเพิ่มของอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้พลังงาน และต้องใช้พลังงาน 400 megawatts ในการรักษาระดับอุณหภูมิให้คงเดิม จากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุก 1°C (รูปที่ 2.4) (Heat Island Group 2000) นอกจากนี้ยังพบว่า ใน Los Angeles ประเทศสหรัฐอเมริกา มีปริมาณความต้องการพลังงานสูงสุดสำหรับการทำความเย็นในอาคาร เพิ่มขึ้น 3% ในการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุกๆ 1 °C ที่สูงกว่า 18 °C (Rosenfeld et al., 1995)



ภาพที่ 2-4 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความต้องการความสบาย (Heat Island Group 2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรักษาระดับสภาพอากาศให้อยู่ในสภาวะความสบายซึ่งนำไปสู่การลดพลังงานในที่สุด จึงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจในการศึกษา ซึ่งผลการศึกษาจากหลายงานวิจัย ได้รายงานผลที่ตรงกัน คือ การบรรเทาความร้อนในเมืองอันเนื่องมาจากปัญหาสภาวะ โคมแห่งความร้อนสามารถทำได้ด้วยการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ (Estes et al., 1999; Solecki et al., 2004) จากการศึกษา ใน เมือง Gabornone, Botswana พบว่าความแตกต่างของปริมาณพืชในแต่ละบริเวณของเมือง มีผลทำให้อุณหภูมิแตกต่างกัน ระหว่าง 2-4 °C (Jonsson, 2004) ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างบริเวณพื้นที่สีเขียว กับ ย่านใจกลางเมือง ของ สิงคโปร์ พบว่าสูงที่สุดถึง 4.01 °C (Wong and Yu, 2005)

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่สีเขียวกับการใช้พลังงาน จากการศึกษาในหลายพื้นที่พบว่า ผลจากการมีต้นไม้ขนาด 25 ฟุต 2 ต้น อยู่ทางทิศตะวันตก และอีก 1 ต้น ทางทิศตะวันออก ของอาคาร ทำให้ประหยัดเงินสำหรับการใช้พลังงานได้ 46 ดอลลาร์ต่อปี ซึ่งคิดเป็น 1 ใน 3 ของค่าใช้จ่ายสำหรับการทำความเย็นในอาคาร (El Toro, California, USA) (McPherson et al., 2000) สำหรับการศึกษาใน Sacramento, California ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า การสร้างร่มเงาให้กับอาคารด้วยต้นไม้ ช่วยประหยัดพลังงานในการทำความเย็นในแต่ละฤดู ได้ประมาณ 30% (Akbari et al., 1997) นอกจากนี้ ยังพบว่า การเพิ่มต้นไม้ 1 ต้น ต่อบ้าน จะช่วยประหยัดพลังงานสำหรับการทำความเย็นของทั้งเมืองได้ 12-24% และถ้าเพิ่มบ้านละ 3 ต้น จะช่วยประหยัดพลังงานได้ 17-57% (Akbari et al., 1992 อ้างถึงใน Santamouris, 2001) ในขณะที่การปลูกพืชบนหลังคาของอาคารพาณิชย์พบว่าสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานทั้งปีได้ 1-15% คิดเป็น 17-79% ของพลังงานสำหรับการทำความเย็น (Wong et al., 2003)

#### 2.4 การตรวจสอบสภาพความร้อนบนพื้นผิวด้วยข้อมูลจากดาวเทียม

ภาพถ่ายดาวเทียมสามารถให้ข้อมูลอุณหภูมิที่ครอบคลุมพื้นที่เมือง ณ เวลาตรวจวัดเวลาเดียวกันทุกพื้นที่ ซึ่งการตรวจวัดอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัดอากาศไม่สามารถให้ข้อมูลในลักษณะนี้ได้ นอกจากนั้น การตรวจวัดอุณหภูมิจากสถานีตรวจวัดไม่มีวัตถุประสงค์สำหรับการตรวจสอบปรากฏการณ์โคมแห่งความร้อน เนื่องจากสถานีตรวจวัดไม่ได้คำนึงถึงอิทธิพลของลักษณะอาคารสิ่งปลูกสร้างโดยรอบ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมยังมีประเด็นที่ต้องพิจารณาสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งสามารถสรุปได้ 3 ประเด็น ประกอบด้วย ความเข้าใจถึงธรรมชาติของข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมว่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้เป็นค่าเฉลี่ยของพลังงานที่สะท้อนจากพื้นผิวโลก (Lee, 1993) ซึ่งชนิดและลักษณะ โครงสร้างของวัตถุพื้นผิว รวมถึงการใช้ที่ดินมีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ตรวจวัดได้ ลักษณะดังกล่าวนำไปสู่ประเด็นที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมอีกเรื่องหนึ่งคือ ความละเอียดทางด้านพื้นที่ของข้อมูลที่ได้จากภาพถ่าย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวเทียมแต่ละดวง กล่าวคือ ข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพสูงจะสามารถลดความหลากหลายของ สิ่งปกคลุมพื้นผิว กล่าวอีกนัยหนึ่ง สามารถแยกแยะอิทธิพลของชนิดและ โครงสร้างของวัตถุ และการใช้ ที่ดินในแต่ละบริเวณ ได้ดีกว่าข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำ (Li et al., 2004) ปัจจุบันข้อมูลอุณหภูมิที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงที่สุดอยู่ที่ 60 x 60 เมตร ได้จากดาวเทียม Landsat7 ลักษณะดังกล่าวเป็นข้อจำกัดที่ต้องยอมรับของการประยุกต์ใช้ข้อมูลอุณหภูมิจากภาพถ่ายดาวเทียม (Carlson, 2003) ประเด็นสุดท้ายที่ต้อง พิจารณา คือเวลาที่ตรวจวัดและความถี่ในการตรวจวัดของดาวเทียมซึ่งแตกต่างกันตามชนิดของดาวเทียม ตัวอย่างเช่น การตรวจวัดของดาวเทียม ทำการตรวจวัดในเวลาประมาณ 09.15 – 10.15 น. ของเวลาที่ท้องถิ่น ในความถี่ทุกๆ 16 วัน ลักษณะดังกล่าวเป็นข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมเมื่อเปรียบเทียบกับ ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดที่มีความถี่ในการตรวจวัดสูงกว่าข้อมูลจากดาวเทียมมาก ทั้งนี้การประยุกต์ ข้อมูลจากทั้งสองแหล่งข้อมูลร่วมกันจึงเป็นการลดข้อจำกัดของแหล่งข้อมูลทั้งสองแหล่งดังกล่าว

ข้อมูลอุณหภูมิจากภาพถ่ายดาวเทียม ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในการศึกษาความร้อนในเมือง ซึ่งอาจสรุปประเด็นความสนใจของการศึกษาที่เกี่ยวข้องได้ใน 3 ลักษณะ ประกอบด้วย 1) การศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบความร้อนของเมืองกับลักษณะของพื้นผิวเมือง 2) การศึกษาสมดุลของ พลังงานความร้อนของพื้นที่เมือง และ 3) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์โดมแห่งความร้อนที่ เกิดขึ้นในบรรยากาศและบนพื้นผิวของเมือง (Voogt and Oke, 2003) ตัวอย่างการศึกษาในกลุ่มแรก เช่น การศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิในพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยต้นไม้กับพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยอาคาร สิ่งปลูกสร้าง ในประเทศสิงคโปร์โดยใช้ข้อมูลจาก Landsat TM ซึ่งพบว่าพื้นที่แนวต้นไม้ริมถนนแสดง ระดับอากาศที่เย็นกว่าพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยอาคารสิ่งปลูกสร้างอื่น (Nichol, 2003) หรือในกรณีการศึกษา บริเวณมณฑล กวางซู ประเทศจีน โดย Weng (2003) และ Weng and Yang (2004) พบอากาศร้อนในบริเวณ พื้นที่สิ่งปลูกสร้างในเมือง และอากาศเย็นในพื้นที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อยในชนบท เป็นต้น

สำหรับการประยุกต์ข้อมูลดาวเทียมในการสำรวจในประเด็นการศึกษาของกลุ่มที่สอง ตัวอย่างเช่น การศึกษาเพื่อประเมินปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศใน เมืองนาโกยา ประเทศญี่ปุ่น (Kato and Yamaguchi, 2005) โดยใช้ข้อมูล ASTER และ Landsat ร่วมกับข้อมูล สภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัด บนพื้นฐานของความสัมพันธ์ของพลังงานที่พลังงานตกกระทบในพื้นที่ หนึ่งหน่วยต้องเท่ากับพลังงานที่สะท้อนกลับ ซึ่งพลังงานสะท้อนกลับสามารถแยกออกเป็นพลังงานใน 3 ลักษณะดังนี้ 1) พลังงานที่ถูกนำพาไปสู่ชั้นดินที่ลึกลงไป (storage heat fluxes) 2) พลังงานที่ถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำที่อยู่ภายในวัตถุ (latent heat fluxes) และ 3) พลังงานที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศ (sensible heat fluxes) อย่างไรก็ตามเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าในพื้นที่เมืองที่มีกิจกรรมของประชากรหนาแน่นพลังงานตก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กระทบ ไม่มีเพียงแค่พลังงานแสงอาทิตย์แต่ยังประกอบด้วยพลังงานที่ปล่อยออกมาจากอาคาร และ ยานพาหนะ ดังนั้นพลังงานที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์จึงเท่ากับพลังงานที่เหลือจากผลรวมของพลังงาน สะท้อนกลับทั้งสามชนิด ผลที่ได้จากการศึกษาดังกล่าวพบว่า พลังงานที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ใน ศูนย์กลางของย่านพาณิชย์กรรมต่ำกว่าพื้นที่โดยรอบในเวลากลางวัน แต่จะสูงกว่าในเวลากลางคืน ซึ่ง เหตุผลที่อธิบายถึงลักษณะดังกล่าวสรุปได้ว่า คุณสมบัติในการดูดซับความร้อนสูงของวัสดุปกคลุมพื้นที่ใน ย่านพาณิชย์ที่ประกอบด้วยอาคารสิ่งปลูกสร้างจนเต็มพื้นที่ดูดซับเอาพลังงานความร้อนจากทั้งแสงอาทิตย์ และพลังงานที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ไว้ในเวลากลางวัน ประกอบกับอาคารสูงในพื้นที่ย่าน พาณิชยกรรมได้ปิดกั้นแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องถึงพื้น ได้อย่างที่ควรจะเป็น จึงทำให้พลังงานที่เกิดจากกิจกรรม ของมนุษย์ในพื้นที่ย่านพาณิชย์ต่ำ ในขณะที่พลังงานที่ดูดซับไว้ทั้งหมดในเวลากลางวันจะถูกปล่อยออกมาสู่ บรรยากาศในเวลากลางคืนจึงทำให้ช่วงเวลาดังกล่าวมีพลังงานที่ปล่อยออกมาจากอาคารสูง

ตัวอย่างประเด็นความสนใจในกลุ่มที่สามเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิ พื้นผิว Kawashima et al (2000) ใช้ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่าย Landsat TM ร่วมกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัด หา ความสัมพันธ์อุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิพื้นผิวในบริเวณศูนย์กลางของประเทศญี่ปุ่น บริเวณที่ราบ จากานโตและภูเขาโดยรอบ พบว่าอุณหภูมิอากาศมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิพื้นผิวที่ระดับสูง โดยมีค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ 0.75 -0.85 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Nichol (2005) ที่พบว่าค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิของพื้นผิวสูงถึง 0.81 - 0.94

องค์ความรู้ที่ได้จากทบทวนรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการสำรวจสภาพพื้นผิวโดยการประยุกต์ใช้ ข้อมูลดาวเทียม โดยเฉพาะผลการศึกษากลุ่มแรกแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการกำหนดแนว ทิศทางการบรรเทาระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์โดมแห่งความร้อนในเมืองให้มีผลกระทบต่อประชกร น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามองค์ความรู้ที่ค้นพบยังขาดข้อมูลเชิงปริมาณซึ่งทำให้การนำเอาองค์ความรู้ที่ค้นพบ ไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติยังมีข้อจำกัดอยู่มาก ซึ่งความรู้เชิงปริมาณเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับสิ่งปกคลุมดินจะช่วยให้การนำความรู้ไปสู่การปฏิบัติ โดยการวางแผนการใช้ที่ดินที่ไม่ส่งเสริมการ เกิดสภาวะ โดมแห่งความร้อนได้อย่างถูกต้อง

### 2.5 ความสำคัญของสถานการณ์บรรยากาศในเมืองต่อการวางผังเมือง

ปรากฏการณ์โดมแห่งความร้อนที่เกิดขึ้นในเมืองส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรและ เพิ่มความต้องการใช้พลังงานในเมือง (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 2.3) จากรายงานการศึกษาพบว่าหลายเมืองใน โลกกำลังเผชิญกับภาวะขาดแคลนพลังงานอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในเมืองที่ผิดปกติ ซึ่งการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 115216 จึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วางผังเมืองจำเป็นต้องพัฒนารูปแบบใหม่โดยการพิจารณาข้อมูลด้านภูมิอากาศเมืองร่วมอยู่ในกระบวนการวางผังเมืองในอนาคตเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น (Blakely, 2007) ดังที่กล่าวใน Blakely (2007) แม้ว่าจะมีผู้เชี่ยวชาญหลายคนแสดงความตระหนักต่อการผสมผสานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในกระบวนการออกแบบและวางผังเมือง แต่ยังคงขาดแคลนการเชื่อมโยงสถานการณ์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ และภาวะคุกคามจากภัยธรรมชาติต่อที่อยู่อาศัยของประชากรในงานการออกแบบวางผังเมือง Geis (2000) สนับสนุนการนำข้อมูลด้านภูมิอากาศร่วมพิจารณาในกระบวนการวางผังเมือง เขากล่าวไว้ว่า ความมั่นคงแข็งแรงของอาคารไม่สามารถมั่นคงอยู่ได้หากชุมชนไม่มีความปลอดภัยจากภัยธรรมชาติ ดังนั้นการวางผังเมืองจึงจำเป็นต้องทำให้ชุมชนมีความปลอดภัยจากภัยธรรมชาติต่างๆ โดยได้เสนอหลักการออกแบบเมืองผ่านทางมาตรการและกลไกการวางผังเมือง ประกอบด้วยรายละเอียดที่ต้องพิจารณาในการวางผังเมืองดังนี้

- ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปลูกสร้าง และสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ
- ลักษณะ ลำดับชั้น ตำแหน่ง และมาตราส่วนของระบบขนส่ง และระบบสาธารณูปโภคอื่นๆ
- รูปทรง และรูปแบบของทีโล่ง
- รูปทรงทั่วไปของอาคารที่พักอาศัย เพื่อนบ้าน และชุมชน
- รูปทรง และตำแหน่งของสาธารณูปการของชุมชน เช่น โรงพยาบาล สถานีดับเพลิง สถานีตำรวจ และสำนักงานบริหาร เป็นต้น

ปัจจุบันความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ที่มีอยู่เกี่ยวกับทางเลือกของการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศยังไม่เพียงพอ เช่น ความรู้เกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ผลกระทบจากภาวะโดมแห่งความร้อน มลพิษทางอากาศ การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล พายุ น้ำท่วม และไฟป่า เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องนำมาพิจารณาร่วมกันในการกำหนดแนวทางลดผลกระทบจากภัยธรรมชาติที่มีต่อชุมชน โดยการจัดเก็บและจัดการความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ดังกล่าวอย่างเป็นระบบ เพื่อที่จะสามารถนำไปสร้างแบบจำลองที่สามารถทำให้เข้าใจถึงสภาพแวดล้อมและเงื่อนไขต่างๆ ของเมืองที่จะนำไปสู่ทางเลือกใหม่ในการวางรูปแบบของเมืองได้อย่างถูกต้องและครบถ้วนสมบูรณ์ (Blakely, 2007)

### บทที่ 3

## ระเบียบวิธีวิจัย

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินที่เหมาะสมเพื่อกำหนดสถานะแวดล้อมของเมืองให้มีความสบาย และน่าอยู่เป็นประเด็นที่ท้าทายสำหรับนักวางผังเมือง และนักนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดแนวทางการใช้ที่ดิน เนื่องจากปัจจุบันประชากรโลกกำลังเผชิญกับสถานะอากาศที่ร้อนขึ้น (Global Warming) จากสาเหตุการสะสมตัวของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยกิจกรรมของมนุษย์ ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาพื้นที่ที่เจาะจงลงไปเฉพาะในพื้นที่เมือง พบว่ายังมีปรากฏการณ์ที่พื้นที่เมืองมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ธรรมชาติโดยรอบ (Urban Heat Island) โดยสาเหตุสำคัญเกิดจากความแตกต่างของวัสดุคลุมพื้นผิวดินในเมืองที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยคอนกรีต หรือวัสดุก่อสร้างต่างๆ กับพื้นที่ชนบทที่พื้นที่ปกคลุมดินเป็นวัสดุธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งผลกระทบที่สำคัญคือผู้ที่อาศัยอยู่ในเมืองต้องเผชิญกับสถานะอากาศที่ร้อนกว่าปกติ และส่งผลต่อเนื้อที่สำคัญคือทำให้มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพื่อการทำความเย็นในอาคารเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าโดยรวมของเมืองเพิ่มมากขึ้นกว่าที่ควรจะเป็น

งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งประเด็นความสนใจเฉพาะปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของความร้อนในเมืองที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้ที่อาศัยอยู่ในเมืองเท่านั้น ซึ่งมีสามประเด็นที่ต้องการนำเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้ ประกอบด้วย 3.1 ในเบื้องต้นเป็นการศึกษาสถานการณ์ของความร้อนในกรุงเทพฯ ต่อสถานะความสบายของคนที่อาศัยอยู่ในเมือง ซึ่งจะชี้ถึงความจำเป็นเร่งด่วนต่อความต้องการแนวทางการควบคุมสถานะความร้อนในกรุงเทพฯ และจากความรู้ที่ยอมรับว่าความร้อนในเมืองที่ผิดปกติเกิดจากสัดส่วนพื้นที่คลุมดินที่เป็นวัสดุอาคารที่มากกว่าพื้นที่ธรรมชาติ (พื้นดิน พื้นน้ำ และพืช) คำตอบที่พยายามค้นหาในการวิจัยนี้ คือ 3.2 สัดส่วนเท่าไรที่พื้นที่คลุมดินแบบธรรมชาติจำเป็นต้องรักษาไว้ หรือเพิ่มในพื้นที่เมืองเพื่อรักษาอุณหภูมิของเมืองให้คงอุณหภูมิในระดับความสบายต่อความรู้สึกของผู้คนที่อาศัยอยู่ในเมือง ประเด็นสุดท้ายที่ต้องการอภิปรายในงานชิ้นนี้ คือ 3.3 ความเป็นไปได้ในการนำความรู้เรื่องการกำหนดสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินตามธรรมชาติในกระบวนการพัฒนาเมือง การผังเมือง เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องโดยตรงต่อทิศทาง หรือแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมดินในเมือง ดังนั้น การศึกษาถึงข้อจำกัดในการนำปัจจัยทางภูมิอากาศมาใช้ในกระบวนการวางผังเมืองเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องการสร้างความสำเร็จ ที่จะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ความรู้

ทางด้านภูมิอากาศในกระบวนการวางผังเมืองที่นำไปสู่การสร้างสภาวะอากาศในเมืองที่มีสภาวะอากาศที่สบาย ไม่กระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้คนที่อยู่ในเมือง

### 3.1 การศึกษาสภาวะความสบายพื้นที่กรุงเทพฯ

การรับรู้ความรู้สึกเย็นหรือร้อนของร่างกายมนุษย์ที่แท้จริงขึ้นอยู่กับตัวแปรทางภูมิอากาศ 2 ปัจจัย ประกอบด้วย อุณหภูมิ กับ ความชื้นสัมพัทธ์ ดังนั้นดัชนีชี้วัดสภาวะความสบาย (Heat Index) จึงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นในบรรยากาศ ที่ใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบสภาวะความสบายในแต่ละชั่วโมงตลอดทั้งปี (NOAA's Nation Weather Service, 2006) โดยแบ่งระดับสภาวะความสบายออกเป็น 4 ระดับ ซึ่งแต่ละระดับของดัชนีสภาวะความสบายส่งผลกระทบต่อร่างกายในระดับที่แตกต่างกัน รายละเอียดปรากฏในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ระดับของดัชนีสภาวะความสบาย (Heat Index)

ระดับ		ค่าดัชนี	ความเป็นไปได้ในการเกิดการขึ้นสูง เมื่อถูกผลกระทบจากความร้อน
I	ร้อนที่สุด	130°F ขึ้นไป (54.4°C ขึ้นไป)	ลมแดด
II	ร้อนมาก	105 - 129°F (40.6 - 53.9°C)	ลมแดด และ/หรือ เพลี้ยแดด/ตะคริวแดด/เหน้อยล้า
III	ร้อน	90 - 105°F (32.2 - 40.6°C)	ลมแดด และ/หรือ เพลี้ยแดด/ตะคริวแดด/เหน้อยล้า
IV	อบอุ่น	80 - 90°F (26.7 - 32.2°C)	เหน้อยล้า

ที่มา : NOAA's Nation Weather Service (2006)

Rothfuzs (1990) ได้เสนอสมการสำหรับการคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดสภาวะความสบาย ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายในภูมิภาคที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่อย่างน้อย 26°C และ ร้อยละ 39 ตามลำดับ (Cristo et al., 2007) Cristo et al. (2007) เองได้ใช้สูตรนี้คำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดสภาวะความสบาย

ในเนपालและเมืองตอนใต้ของอิตาลี Delworth et al. (1999) ใช้หาค่าดัชนีชี้วัดสภาวะความสบายในหลายภูมิภาค ประกอบด้วยภาคใต้ของอเมริกา อินเดีย ภาคเหนือของออสเตรเลีย รวมถึงในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งสมการดัชนีชี้วัดสภาวะความสบายที่ Rothfuzs (1990) เสนอไว้มีดังต่อไปนี้

$$HI = C1 + C2T + C3R + C4TR + C5T^2 + C6R^2 + C7T^2R + C8TR^2 + C9T^2R^2$$

สมการที่ 3-1

เมื่อ:

HI = ดัชนีชี้วัดสภาวะความสบาย (หน่วยเป็นองศาฟาเรนไฮต์)

T = อุณหภูมิกระเปราะแห้ง (หน่วยเป็นองศาฟาเรนไฮต์)

R = ความชื้นสัมพัทธ์ (หน่วยเป็นค่าร้อยละ)

C1 = -42.379

C2 = 2.04901523

C3 = 10.14333127

C4 = -0.22475541

C5 =  $-6.83783 \times 10^{-3}$

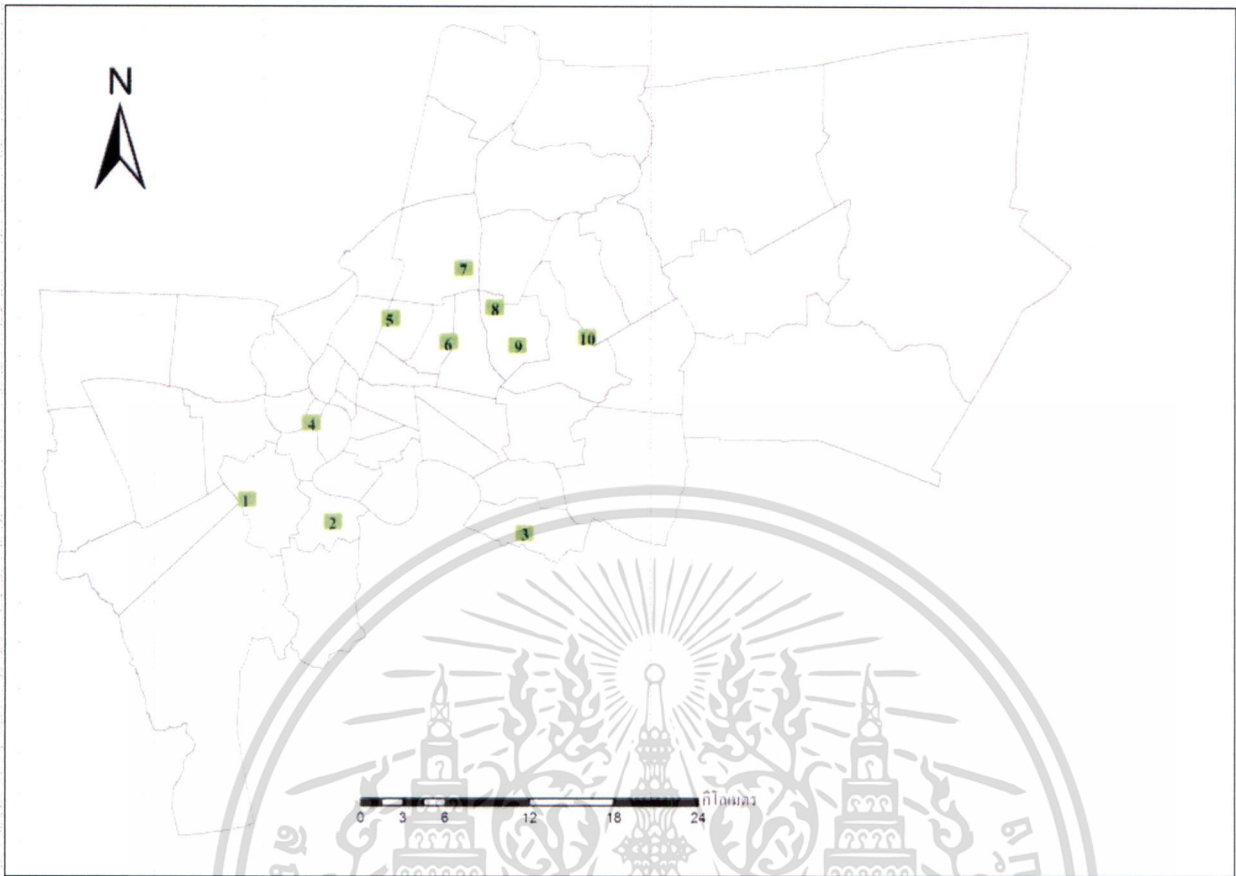
C6 =  $-5.481717 \times 10^{-2}$

C7 =  $1.22874 \times 10^{-3}$

C8 =  $8.5282 \times 10^{-4}$

C9 =  $-1.99 \times 10^{-6}$

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นข้อมูลที่บันทึกรายชั่วโมงในช่วงเวลา 5 ปีย้อนหลังระหว่างปี พ.ศ. 2548 - 2552 จำนวน 10 สถานีที่กระจายตัวในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยกรมควบคุมมลพิษ (ภาพที่ 3-1) ซึ่งข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์จำเป็นต้องถูกนำไปหาค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงในหนึ่งวันของแต่ละเดือนในหนึ่งปี เพื่อใช้เป็นตัวแทนข้อมูลลักษณะภูมิอากาศของพื้นที่กรุงเทพมหานครและใช้สำหรับการหาค่าความสบาย (Heat Index) ของพื้นที่กรุงเทพมหานครต่อไป ผลลัพธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยนำเสนอในตารางที่ 3-2 และ 3-3



**สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ**

- |                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| 1. โรงเรียนสิงหราช       | 6. ห้วยขวาง            |
| 2. ไปรษณีย์ราชบุรีณะ     | 7. ราชภัฏจันทรเกษม     |
| 3. กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา | 8. ลาดพร้าว            |
| 4. อินทรพิทักษ์          | 9. โรงเรียนบดินทร์เดชา |
| 5. กรมประชาสัมพันธ์      | 10. เกษะคลองจั่น       |

ภาพที่ 3-1 การกระจายตัวของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 3-2 ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ (%) ในช่วงปี 2548-2552 จาก 10 สถานี ในกรุงเทพมหานคร

ชั่วโมงที่	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	69.85	76.54	75.30	75.36	77.73	77.29	75.25	75.63	80.98	80.45	71.94	67.21
2	71.55	77.81	76.05	76.29	78.33	77.93	75.89	76.51	81.74	81.51	73.21	68.94
3	72.92	78.74	76.59	77.01	78.99	78.52	76.71	77.26	82.26	82.39	74.33	70.36
4	73.93	79.45	77.17	77.78	79.75	79.07	77.59	78.00	82.66	83.17	75.44	71.66
5	75.07	80.23	77.93	78.64	80.30	79.54	78.30	78.67	83.16	83.90	76.52	72.94
6	75.87	81.02	78.61	79.60	80.87	79.85	78.79	79.09	83.60	84.33	77.30	73.94
7	76.28	81.55	79.00	79.90	80.39	79.22	78.39	78.74	83.38	84.22	77.43	74.53
8	75.03	80.30	76.72	76.88	76.76	75.38	75.33	75.71	80.53	81.12	74.47	72.52
9	69.85	74.96	70.44	70.91	70.85	69.77	70.46	70.61	75.42	75.41	68.28	66.62
10	62.92	67.40	63.80	64.93	64.95	64.72	65.74	65.32	69.60	69.66	61.83	59.97
11	56.60	61.07	58.50	60.10	60.88	60.85	61.84	61.22	64.84	64.85	56.81	54.40
12	51.70	56.53	55.05	56.71	59.10	58.19	59.37	58.43	61.83	61.67	53.60	50.33
13	48.40	53.29	52.83	54.60	58.55	56.98	58.57	56.86	60.23	60.39	51.86	47.60
14	46.48	51.26	51.44	53.90	58.22	57.40	58.90	56.71	59.45	60.38	51.54	46.04
15	45.81	49.94	50.57	53.60	58.17	59.32	59.80	58.30	59.90	60.93	51.99	45.80
16	46.16	49.90	50.77	53.74	58.57	61.02	62.27	60.02	61.48	62.28	53.32	46.38
17	47.82	51.30	52.75	55.40	60.47	62.97	64.58	62.23	64.05	64.59	55.06	48.03
18	50.92	55.09	56.70	59.16	63.87	66.29	67.32	65.45	67.56	67.85	58.24	51.08
19	55.56	61.08	62.44	63.98	68.05	69.82	70.41	68.45	71.42	71.22	61.75	54.98
20	59.50	65.99	66.90	67.84	71.24	72.73	72.91	70.93	74.50	73.69	64.37	57.94
21	62.36	69.36	69.71	70.37	73.16	74.45	73.97	72.51	76.59	75.44	66.18	60.20
22	64.85	71.89	71.64	72.10	74.69	75.17	74.34	73.79	78.36	76.97	67.64	62.19
23	66.60	73.78	72.98	73.20	75.75	75.82	74.53	74.34	79.30	78.29	68.90	63.96
24	68.29	75.15	74.17	74.27	76.75	76.33	74.67	74.74	80.33	79.29	70.28	65.70

ตารางที่ 3-3 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (ฟาเรนไฮต์) ในช่วงปี 2548-2552 จาก 10 สถานี ในกรุงเทพมหานคร

ชั่วโมงที่	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	77.70	80.81	82.99	84.18	83.01	83.03	82.05	82.49	80.90	80.74	79.73	78.16
2	76.97	80.29	82.59	83.79	82.66	82.67	81.73	82.13	80.56	80.26	79.14	77.39
3	76.28	79.83	82.23	83.42	82.29	82.21	81.41	81.73	80.21	79.85	78.58	76.70
4	75.68	79.39	81.87	83.04	81.91	81.85	81.08	81.31	79.91	79.44	78.05	76.04
5	75.16	79.03	81.55	82.71	81.58	81.55	80.87	80.96	79.63	79.12	77.56	75.47
6	74.74	78.65	81.25	82.40	81.35	81.40	80.73	80.72	79.41	78.93	77.15	74.92
7	74.38	78.38	81.13	82.43	81.70	81.83	81.06	80.90	79.59	79.08	77.06	74.57
8	74.98	79.11	82.30	83.89	83.33	83.54	82.51	82.27	80.90	80.55	78.39	75.56
9	77.20	81.28	84.64	86.28	85.64	85.76	84.50	84.32	82.95	82.92	80.93	78.08
10	80.04	83.96	87.12	88.62	87.99	87.79	86.44	86.46	85.23	85.28	83.62	81.03
11	82.77	86.29	89.21	90.53	89.56	89.45	87.97	88.27	87.19	87.17	85.81	83.65
12	85.08	88.13	90.74	92.02	90.48	90.67	89.14	89.60	88.59	88.45	87.42	85.76
13	86.76	89.53	91.78	92.95	90.91	91.32	89.65	90.41	89.42	88.98	88.37	87.19
14	87.80	90.40	92.35	93.17	91.19	91.28	89.74	90.61	89.89	89.06	88.66	88.04
15	88.22	90.83	92.59	93.16	91.25	90.61	89.49	90.18	89.83	88.86	88.48	88.19
16	87.99	90.60	92.21	92.91	90.97	89.97	88.48	89.52	89.14	88.22	87.86	87.79
17	87.05	89.65	91.11	91.89	90.05	89.07	87.52	88.62	87.91	87.14	86.90	86.77
18	85.35	87.78	89.24	90.14	88.52	87.55	86.35	87.18	86.40	85.70	85.36	85.13
19	83.25	85.51	86.99	88.16	86.73	86.01	84.93	85.80	84.83	84.32	83.91	83.44
20	81.82	84.03	85.63	86.87	85.45	84.91	83.85	84.77	83.61	83.44	82.94	82.34
21	80.82	83.15	84.90	86.21	84.87	84.36	83.40	84.11	82.84	82.84	82.24	81.43
22	79.97	82.52	84.34	85.67	84.39	84.09	83.11	83.63	82.26	82.23	81.56	80.58
23	79.21	81.93	83.89	85.18	84.00	83.74	82.78	83.30	81.83	81.61	80.90	79.73
24	78.52	81.41	83.44	84.74	83.62	83.47	82.49	83.00	81.40	81.21	80.29	78.99

### 3.2 การศึกษาอิทธิพลของสิ่งปกคลุมพื้นผิวที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่าพื้นผิวตามธรรมชาติ เช่น พื้นผิวน้ำ พื้นดิน และพื้นที่ที่ถูกปกคลุมโดยพืช นั้นมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าพื้นผิวที่ถูกปกคลุมด้วยคอนกรีต ยางมะตอย หรือวัสดุอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ (Nikom, 2010) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลหรือความรู้ที่ได้เผยแพร่ส่วนใหญ่มีได้นำเสนอในเชิงปริมาณ ซึ่งการประยุกต์ใช้ความรู้ในเรื่อง พื้นผิวธรรมชาติกับการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิ จึงยังคงเป็นอุปสรรคอยู่มาก ยกตัวอย่าง เช่น การยอมรับว่าพื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยพืชมีอุณหภูมิที่เย็นกว่าพื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยอาคารสิ่งปลูกสร้าง แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าหากพื้นที่ที่พืชหดหาย หรือเพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในพื้นที่ไปเท่าไร ดังนั้น การศึกษาในเชิงปริมาณ ของการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนพื้นที่พืชที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จึงมีความจำเป็นสำหรับการตอบคำถามถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชกับอุณหภูมิ

การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชกับอุณหภูมิ มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องสองตัว คือ สัดส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืช กับ อุณหภูมิ ซึ่งในการศึกษานี้ ใช้ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม มาหาความสัมพันธ์ดังกล่าว ซึ่งภาพถ่ายดาวเทียมสามารถให้ข้อมูลที่ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้งหมดในเวลาเดียวกันที่ทำการบันทึกข้อมูล ทั้งนี้ ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีข้อมูลที่ต้องการ(บันทึกข้อมูลทั้งในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและช่วงคลื่นความร้อน) มีหลายชนิด ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดของภาพสูง เช่น Landsat 7 ETM+ มีความละเอียดเชิงพื้นที่ ของภาพ 60x60 เมตร สำหรับช่วงคลื่นความร้อน แต่ความถี่ในการบันทึกภาพค่อนข้างต่ำ กล่าวคือการบันทึกภาพของ Landsat จะวนกลับมาบันทึกภาพซ้ำในพื้นที่เดิมในทุกๆ 16 วัน ในขณะที่ดาวเทียมที่บันทึกภาพที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำเช่น AVHRR (1.1 x1.1 เมตร สำหรับช่วงคลื่นความร้อน) จะทำการบันทึกข้อมูลซ้ำในพื้นที่เดียวกันวันละ 2 ครั้ง ในการศึกษาที่มีความต้องการข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลสูงเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับพื้นที่จริงมากที่สุด ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่บันทึกโดย Landsat จึงมีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นข้อมูลในการค้นหาความสัมพันธ์ระหว่าง สัดส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชกับอุณหภูมิ

#### 3.2.1 ข้อมูลและการจัดเตรียมข้อมูล

ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ ระดับ 1T path 129 row 50 และ path 129 row 51 บันทึกเมื่อวันที่ 9 มกราคม 2551 จำนวน 2 ภาพ ถูกเลือกใช้สำหรับการศึกษารั้งนี้ อนึ่งการเลือกภาพถ่ายดาวเทียม จำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพของภาพ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณเมฆในภาพ ทั้งนี้สภาพอากาศที่มีการกระจายตัวของอนุภาคในบรรยากาศจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม จำเป็นต้องผ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการปรับแก้ไขความถูกต้อง ซึ่งการปรับแก้ความถูกต้องของข้อมูลจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศหลายตัวแปรในเวลาเดียวกันกับที่ภาพถ่ายดาวเทียมบันทึกข้อมูล เช่น ค่าการแผ่รังสีของพื้นผิวโลก (Surface Emissivity) ค่าการสะท้อนรังสีของบรรยากาศ (Upwelling and Downwelling Atmospheric Radiance) ฯลฯ ซึ่งการให้ได้มาซึ่งข้อมูลดังกล่าวต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง โดยทั่วไปจะทำการสำรวจข้อมูลที่ใช้ในงานที่ต้องการความถูกต้องของข้อมูลสูง เช่น การปรับความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ตรวจรับภาพ (Sensor) ดังนั้นจากการค้นหาภาพในช่วงปีที่ทำการศึกษา ภาพที่บันทึกในวันที่ 9 มกราคม 2551 เป็นภาพที่มีปริมาณเมฆน้อยจึงมีคุณภาพเพียงพอสำหรับใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้

### 3.2.1.1 การจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น

ข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมเป็นค่าพลังงานที่สะท้อนพื้นผิวโลก ที่ถูกตรวจจับได้โดยอุปกรณ์ตรวจจับพลังงานที่ติดตั้งบนดาวเทียม (Sensors) การนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้โดยทั่วไปจำเป็นต้องมีการปรับแก้ไขข้อมูลใน 3 เรื่องหลัก คือ

- 1) การปรับแก้ไขเชิงแสง (Radiometric Correction) เป็นความคลาดเคลื่อนของพลังงานที่บันทึกได้ อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของตัวอุปกรณ์เอง ซึ่งศูนย์ควบคุมดาวเทียมแต่ละดวงต้องเป็นผู้ตรวจสอบก่อนการเผยแพร่ข้อมูลไปสู่ผู้ใช้
- 2) การปรับแก้ไขเชิงแสงอันเนื่องมาจากอิทธิพลของชั้นบรรยากาศที่พลังงานเดินทางผ่านก่อนสัมผัสเครื่องตรวจรับ (Atmospheric Correction)
- 3) การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้านเรขาคณิตของข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม (Geometric Correction)

สำหรับการศึกษานี้ใช้ข้อมูล Landsat 1T ซึ่งผ่านกระบวนการ Radiometric Correction โดยศูนย์ควบคุมภาคพื้นดินของดาวเทียม Landsat ก่อนเผยแพร่สู่ผู้ใช้ข้อมูล จึงไม่จำเป็นต้องทำการปรับแก้ไขในขั้นตอน Radiometric Correction อย่างไรก็ตามการใช้ข้อมูล Landsat 1T จำเป็นต้องแปลงข้อมูลให้กลับมาเป็นหน่วยของพลังงาน (Radiance Unit) ก่อนการนำไปกระบวนการวิเคราะห์ ซึ่งการแปลงข้อมูลดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้ (NASA, undated) :

$$L_{\lambda} = \left( \frac{(LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda})}{(QCALMAX - QCALMIN)} \right) \times (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda} \quad \text{สมการ 3-2}$$

เมื่อ:

- $L\lambda$  คือ ค่าพลังงานที่ตรวจรับ ณ อุปกรณ์ตรวจรับ มีหน่วย watts/(m<sup>2</sup>. ster .  $\mu$ m)
- QCAL คือ ค่าพลังงานที่ตรวจรับได้ในแต่ละจุดภาพ (pixel)
- $L_{MIN}\lambda$  คือ ค่าต่ำสุดของพลังงานที่อุปกรณ์สามารถตรวจรับได้ในแต่ละช่วงคลื่น มีหน่วย watts/(m<sup>2</sup>. ster .  $\mu$ m) (ตารางที่ 3-4)
- $L_{MAX}\lambda$  คือ ค่าสูงสุดของพลังงานที่อุปกรณ์สามารถตรวจรับได้ในแต่ละช่วงคลื่น มีหน่วย watts/(m<sup>2</sup>. ster .  $\mu$ m) (ตารางที่ 3-4)
- QCALMIN คือ ค่าต่ำสุดของข้อมูลในหนึ่งจุดภาพ
- QCALMAX คือ ค่าสูงสุดของข้อมูลในหนึ่งจุดภาพ

ตารางที่ 3-4 ค่าต่ำสุดและสูงสุดของพลังงานที่อุปกรณ์สามารถตรวจรับได้ ในแต่ละช่วงคลื่นของ Landsat 7

ETM+

Band	Gain	Lmin (Watt m <sup>2</sup> )	Lmax (Watt m <sup>2</sup> )
1	H	-6.2	191.6
2	H	-6.4	196.5
3	H	-5	152.9
4	H	-5.1	157.4
4	L	-5.1	241.1
5	H	-1	31.06
6	L	0	17.04
6	H	3.2	12.65
7	H	-0.35	10.8
8	L	-4.7	243.1

การปรับแก้เชิงแสงอันเนื่องมาจากอิทธิพลของชั้นบรรยากาศที่พลังงานเดินทางผ่านก่อนสัมผัสเครื่องตรวจรับ (Atmospheric Correction) พลังงานที่ตรวจรับได้ ณ เครื่องตรวจรับ เป็นผลรวมของพลังงานทั้งที่สะท้อนจากบรรยากาศและพื้นผิวที่อยู่โดยรอบพื้นที่เป้าหมาย หมายความว่า พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านบรรยากาศตกกระทบกับพื้นผิวโลกก่อนที่จะสะท้อนผ่านบรรยากาศไปตกกระทบเครื่องตรวจรับ การเดินทางของพลังงานที่สัมผัสกับบรรยากาศ ก่อให้เกิดการกระจายตัว การสะท้อน หรือการดูดซับพลังงานโดยอนุภาคในอากาศ และพื้นผิวโลก ดังนั้นพลังงานที่ตรวจรับได้ ณ เครื่องตรวจรับ

อาจจะมีค่าสูง หรือต่ำกว่าที่ค่าพลังงานของวัตถุเป้าหมายควรจะเป็น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานะของบรรยากาศในขณะที่พลังงานเดินทางผ่าน

การปรับแก้เชิงแสงอันเนื่องมาจากอิทธิพลของบรรยากาศมีวิธีการดำเนินการอยู่ 2 วิธีการ คือ การปรับแก้โดยยึดข้อมูลสภาพอากาศที่ตรงกับช่วงเวลาการบันทึกข้อมูลของดาวเทียมเป็นข้อมูลพื้นฐาน (Physically-based correction) และการปรับแก้โดยยึดข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมเป็นข้อมูลพื้นฐาน (Image-based correction) วิธีการแรกให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากที่สุด แต่มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้ระยะเวลาในการดำเนินการนาน ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลภูมิอากาศในขณะที่ดาวเทียมทำการบันทึกข้อมูลวิธีการที่สองจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้วิธีการการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนโดยยึดข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจเฉพาะช่วงคลื่นสั้น บริเวณช่วงคลื่นที่ตามองเห็นเท่านั้น ในขณะที่ช่วงคลื่นที่ยาวกว่านั้นพบว่าอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่มากกว่าการไม่ปรับแก้ข้อมูล (Moran et al., 1992) นอกจากนี้ในช่วงคลื่นความร้อน พบว่าในสถานะที่ท้องฟ้าโปร่งผลกระทบที่เกิดจากการดูดซับพลังงานของอนุภาคในบรรยากาศจะถูกชดเชยจากพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจากอนุภาคข้างเคียง ดังนั้นจึงอาจไม่จำเป็นต้องทำการปรับแก้เชิงแสงอันเนื่องมาจากอิทธิพลของบรรยากาศในกรณีที่ภาพถ่ายดาวเทียมถูกบันทึกในสถานะอากาศที่ท้องฟ้าโปร่ง (สภาพท้องฟ้าที่มีทัศนวิสัยที่มองเห็นได้ไกลและมีไอน้ำในบรรยากาศต่ำ) (Sugita and Brutsaert, 1993) ในการศึกษานี้ได้เลือกให้ภาพถ่ายในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ และไม่มีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบข้อมูลกับภาพที่บันทึกต่างเวลากับไม่มีข้อมูลสภาพอากาศในเวลาภาพถ่ายดาวเทียมบันทึกภาพประกอบกัน ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลที่ไม่มีการปรับแก้เชิงแสงอันเนื่องมาจากอิทธิพลของบรรยากาศ

ก่อนที่จะนำข้อมูลไปใช้ในกระบวนการต่อไปข้อมูลที่กล่าวไว้ในตอนต้น ซึ่งอยู่ในหน่วยของพลังงานรังสี (Radiance unit) จำเป็นต้องแปลงให้เป็นพลังงานในรูปของค่าสะท้อนของพื้นที่ผิวโลก ณ เครื่องตรวจรับ (at-satellite reflectance values;  $\rho_p$ ) ซึ่ง Markham และ Barker (1986) ได้นำเสนอวิธีการคำนวณไว้ดังนี้

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

สมการ 3-3

เมื่อ:

$L_\lambda$  คือ ค่า พลังงานรังสี ( $mW\ cm^{-2}\ ster^{-1}\ \mu m^{-1}$ ) ได้จาก สมการ 3-2

$d$  คือ ระยะทางจากดวงอาทิตย์ถึงโลก ในหน่วยทางดาราศาสตร์: ซึ่งสามารถคำนวณได้โดย:

$$d = 1.00014 - 0.01371 \cos G - 0.00014 \cos 2G; G = 357^\circ.528 + 0^\circ.9856003n; \text{ และ}$$

$$n = -4749.5 + \text{ลำดับของวันในหนึ่งปี} + \text{เศษเวลาในหนึ่งวัน}$$

ESUN คือ ค่าเฉลี่ยของรังสีที่ตกกระทบของดวงอาทิตย์ ( $\text{mW cm}^{-2} \text{ ster}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ) (แสดงไว้ใน Header file ของทุกภาพ)

$\theta_s$  คือ มุมของรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับพื้นโลก (แสดงไว้ใน Header file ของทุกภาพ)

สำหรับข้อมูลในช่วงคลื่นความร้อน ซึ่งค่าพลังงานรังสีที่ได้จากสมการ 3-2 จะถูกแปลงเป็นข้อมูลอุณหภูมิ ณ เครื่องตรวจรับ (at-sensor temperature) ซึ่งคำนวณได้ตามสูตรที่ Markham และ Barker (1986) เสนอไว้ดังนี้

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

สมการ 3-4

เมื่อ:

$K_1$  และ  $K_2$  คือ ค่าคงที่สำหรับการปรับแก้ก่อนการปล่อยดาวเทียม

การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้านเรขาคณิตของข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม (Geometric Correction) ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตโดยใช้วิธีแผนที่สู่ภาพ (Map to Image) โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point) จากแผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1: 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ลำดับชุดที่ L7018 และการสำรวจภาคสนามเพื่อตรวจเช็คความถูกต้องของพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยกำหนดค่าพิกัดให้อยู่ในระบบ UTM (Universal Transverse Mercator) โซน 47 โดยใช้สมการในการแปลงที่อยู่ในรูปของสมการโพลีโนเมียลดีกรีที่ 1 ควบคุมความผิดพลาดเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE) ที่ไม่เกิน 1/2 จุดภาพ และใช้วิธีสุ่มซ้ำ (Resampling) แบบ Nearest neighbor โดยกำหนดจุดภาพใหม่เท่ากับความละเอียดของภาพเดิม

ในการศึกษานี้ได้ตรึงพิกัดทางภูมิศาสตร์ของภาพ โดยกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point) จำนวน 20 จุด และจุดตรวจสอบความคลาดเคลื่อน (Check point) จำนวน 12 จุด ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของภาพ (rmse) จากจุดควบคุมเท่ากับ 0.207 และจากจุดตรวจสอบเท่ากับ 0.192 ตามลำดับ รายละเอียดแสดงในตาราง 3-5

ตารางที่ 3-5 ค่าความคลาดเคลื่อนด้านเรขาคณิตของภาพสำหรับจุดควบคุม (Ground Control Points)

Point	X Input	Y Input	X Ref.	Y Ref.	RMSE
1	667057.29	1518045.20	667404.41	1517692.52	0.099
2	666896.06	1532363.28	667306.82	1532060.99	0.005
3	648539.57	1515928.33	648920.32	1515549.21	0.154
4	687728.21	1527651.34	688069.96	1527353.36	0.393
5	644346.72	1524730.09	644776.60	1524377.86	0.419
6	654668.46	1510323.66	655010.34	1509930.74	0.323
7	688899.85	1517757.84	689195.02	1517426.48	0.036
8	677768.00	1516603.07	678083.71	1516256.24	0.257
9	677904.24	1522116.78	678244.52	1521789.50	0.309
10	677203.91	1531814.47	677588.23	1531521.02	0.246
11	673881.99	1524707.13	674242.61	1524385.07	0.170
12	661507.95	1524442.45	661896.17	1524106.62	0.126
13	652325.17	1524213.79	652733.83	1523867.91	0.072
14	660688.68	1515693.40	661040.35	1515326.02	0.110
15	677887.86	1511439.74	678181.05	1511074.84	0.283
16	674136.23	1512845.12	674443.98	1512481.61	0.296
17	664461.86	1513614.60	664795.51	1513243.57	0.068
18	666734.65	1515256.50	667070.52	1514893.89	0.323
19	658876.66	1521151.42	659256.32	1520801.23	0.294
20	670200.37	1526767.42	670578.62	1526448.68	0.159
	<b>Mean</b>				<b>0.207</b>

ตารางที่ 3-5 (ต่อ) ค่าความคลาดเคลื่อนด้านเรขาคณิตของภาพสำหรับจุดตรวจสอบ (Check points)

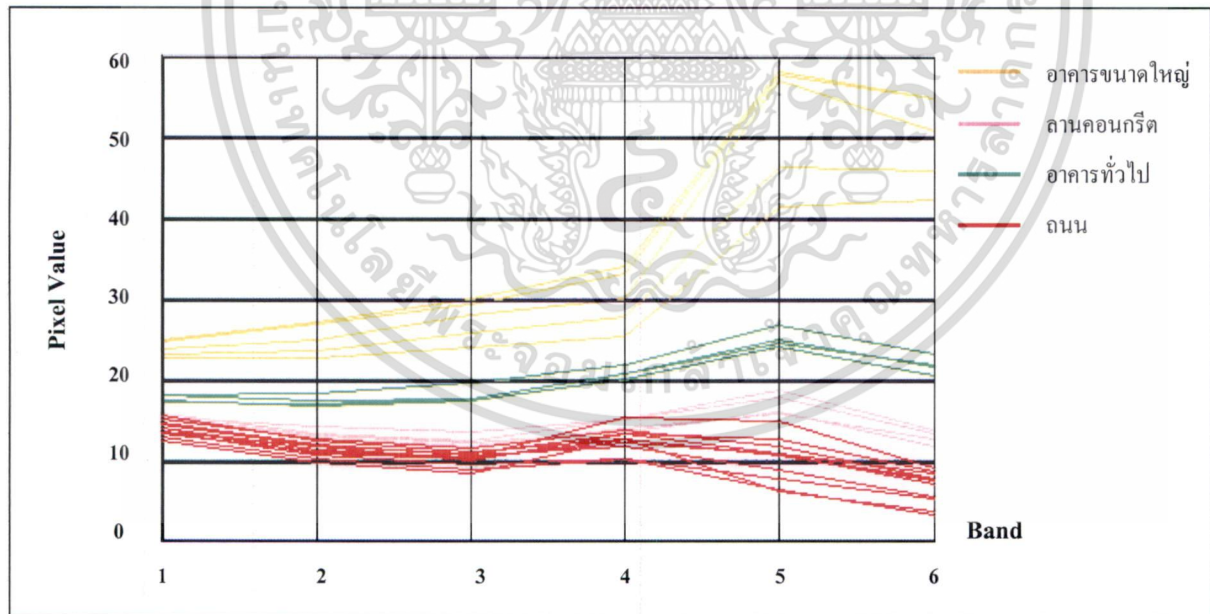
Point	X Input	Y Input	X Ref.	Y Ref.	RMSE
1	670246.50	1521013.82	670599.27	1520675.03	0.193
2	672790.91	1516357.87	673117.50	1516005.24	0.200
3	664932.92	1521988.26	665302.52	1521647.55	0.219
4	665332.48	1525438.70	665716.59	1525110.21	0.308
5	661720.71	1518913.36	662084.08	1518558.34	0.080
6	666549.91	1529492.93	666948.79	1529180.28	0.129
7	654457.66	1516447.24	654827.21	1516076.11	0.141
8	684152.45	1518839.42	684463.55	1518506.78	0.266
9	681950.87	1525453.71	682296.17	1525142.37	0.055
10	658758.67	1524774.80	659154.97	1524437.13	0.293
11	650833.86	1521289.07	651233.25	1520931.10	0.251
12	670820.31	1535474.19	671235.81	1535187.02	0.173
<b>Mean</b>					<b>0.192</b>

### 3.2.1.2 การจัดเตรียมข้อมูลสัดส่วนสิ่งปกคลุมดิน

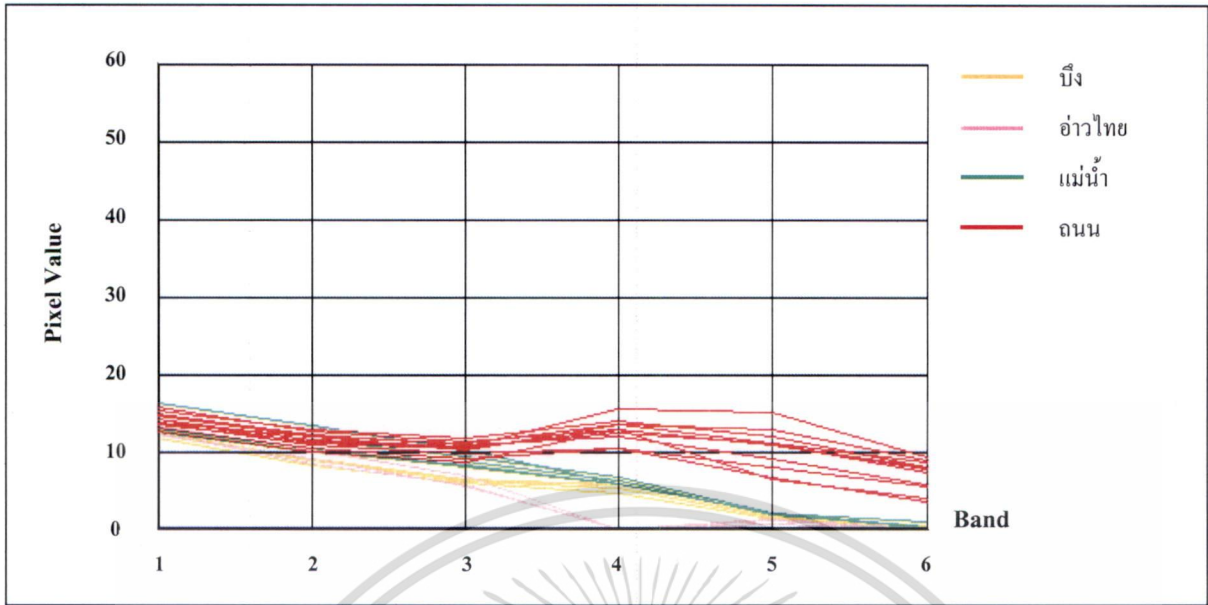
ข้อมูลสิ่งปกคลุมดินเป็นปัจจัยสำคัญที่จะใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิ ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักข้อหนึ่งของการศึกษานี้ ภาพถ่ายดาวเทียมถูกเลือกใช้สำหรับการจำแนกประเภทของสิ่งปกคลุมดิน เนื่องจากภาพถ่ายดาวเทียมให้ข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมดในเวลาการบันทึกภาพที่ตรงกันและสอดคล้องกับเวลาการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่การบันทึกข้อมูลสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิต้องทำการบันทึกในเวลาเดียวกัน มิฉะนั้นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองจะไม่สามารถตอบคำถามได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ภาพถ่ายดาวเทียมยังเป็นแหล่งข้อมูลที่มีราคาถูกและไม่สิ้นเปลืองเวลาหากเปรียบเทียบกับ การสำรวจภาคสนาม

การจำแนกสิ่งปกคลุมดินในการศึกษานี้ใช้วิธี การจำแนกแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากสมการ 3-2 ในกระบวนการจำแนกสิ่งปกคลุมดิน และอ้างอิงข้อมูลสภาพสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่จริงจากแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง IKONOS (สเปซ อิมเมจิง เซาธ์อีส เอเชีย และคณะ, 2547) และการสำรวจภาคสนามในกรณีที่สภาพสิ่งปกคลุมดินในแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง IKONOS ไม่มีความชัดเจนมากพอที่จะระบุประเภทของสิ่งปกคลุมดินได้

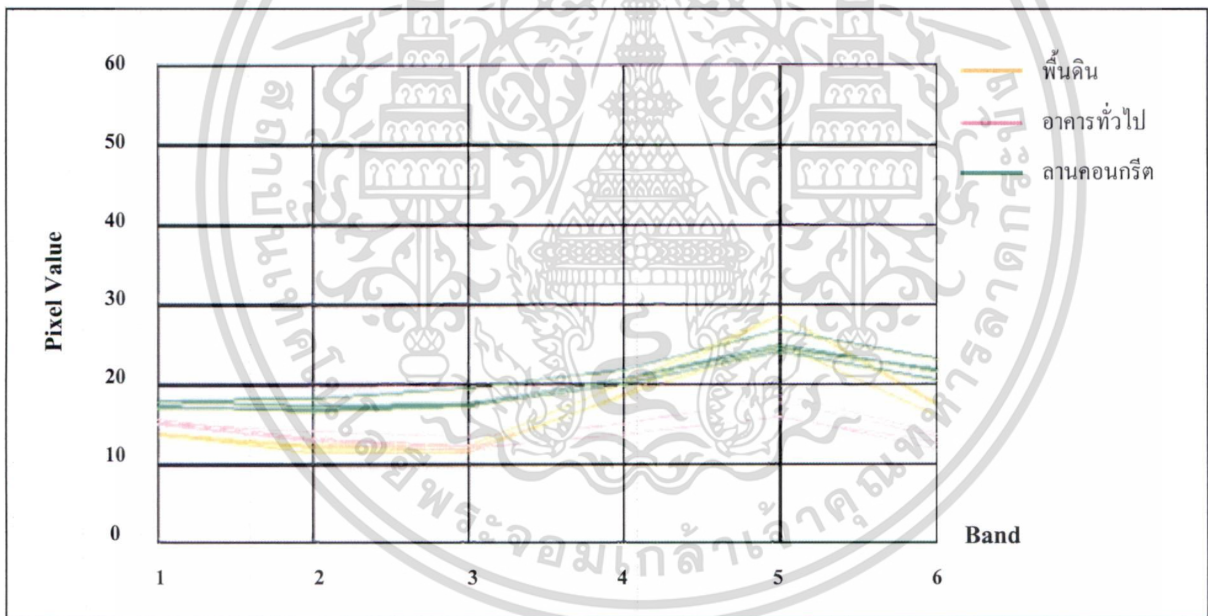
กระบวนการจำแนกสิ่งปกคลุมดินในเบื้องต้น ได้พิจารณาลักษณะของรังสีสะท้อน(Spectral Signatures) ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท ซึ่งพบว่ารังสีสะท้อนของสิ่งปกคลุมดิน เช่น วัสดุก่อสร้าง รังสีสะท้อนมีการกระจายตัวในช่วงร้อยละของค่ารังสีที่กว้าง ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 4 กลุ่ม (ภาพที่ 3-2) ประกอบด้วยรังสีสะท้อนของอาคารขนาดใหญ่ มีการสะท้อนรังสีค่อนข้างสูงในทุกช่วงคลื่น ในขณะที่ถนนมีค่ารังสีสะท้อนค่อนข้างต่ำจนใกล้เคียงกับค่ารังสีสะท้อนของน้ำ (ภาพที่ 3-3) ส่วนอีก 2 ประเภท คือ ลานคอนกรีต และอาคารทั่วไป มีค่าสะท้อนอยู่ในช่วงประมาณ ร้อยละ 10-20 ซึ่งมีลักษณะการกระจายตัวของรังสีสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นที่ใกล้เคียงกันกับการกระจายตัวของรังสีสะท้อนของพื้นดิน (ภาพที่ 3-4) ในกรณีรังสีสะท้อนของพืชสามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย กลุ่มต้นไม้ยืนต้น นาข้าว และ สนาบหญ้า (ภาพที่ 3-5) เช่นเดียวกับพื้นน้ำสามารถจัดกลุ่มรังสีสะท้อนออกได้เป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย บึง แม่น้ำ อ่าวไทย และที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (ภาพที่ 3-6) จากลักษณะของรังสีสะท้อนของสิ่งปกคลุมดินที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษานี้ จึงกำหนดประเภทสิ่งปกคลุมดินเพื่อใช้จำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินในภาพถ่ายดาวเทียมออกเป็นทั้งหมด 12 ประเภท ดังตารางที่ 3-6 และผลการจำแนกสิ่งปกคลุมดินแสดงในภาพที่ 3-7



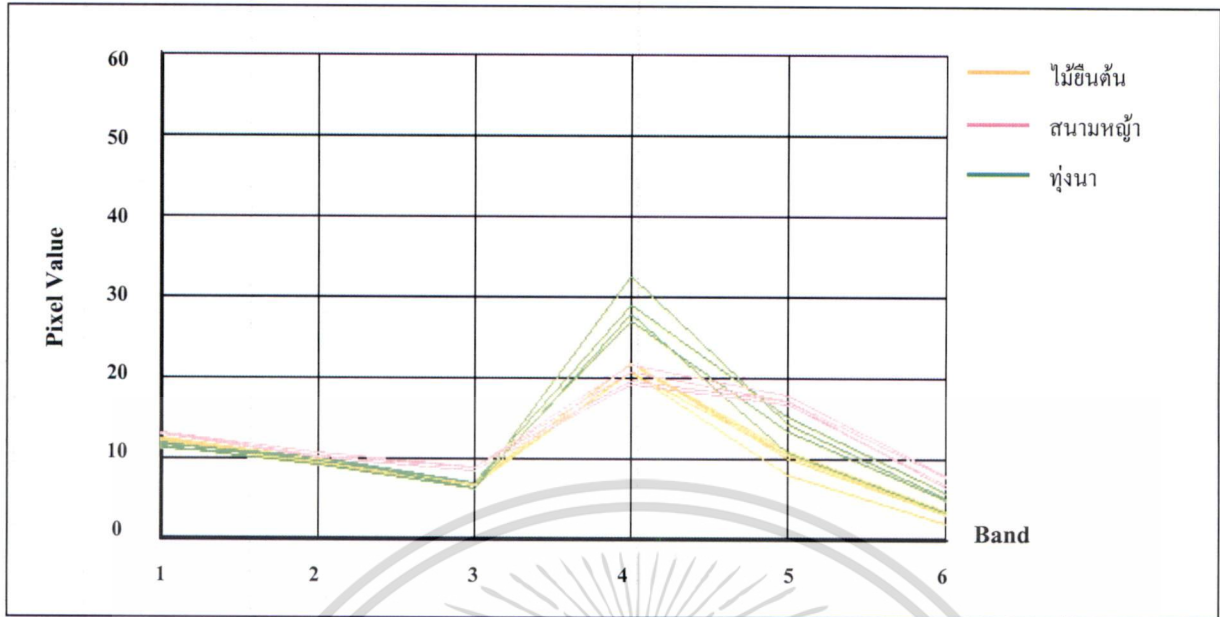
ภาพที่ 3-2 ค่ารังสีสะท้อนของกลุ่มอาคารสิ่งปลูกสร้าง



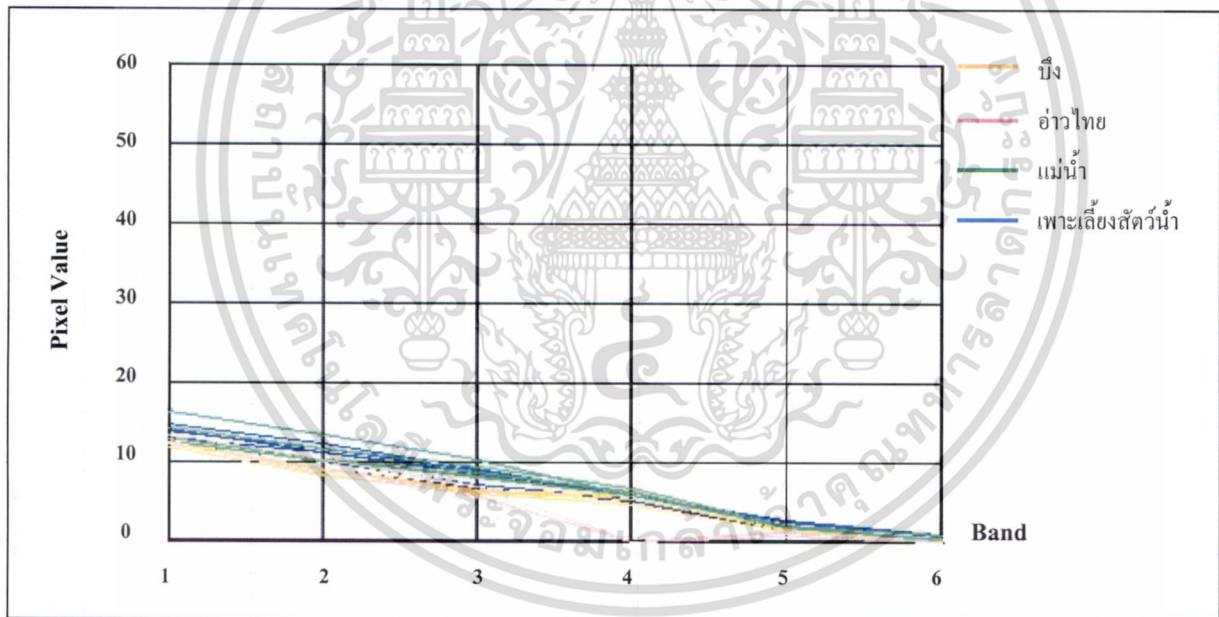
ภาพที่ 3-3 ค่ารังสีสะท้อนของถนน และ พื้นน้ำ



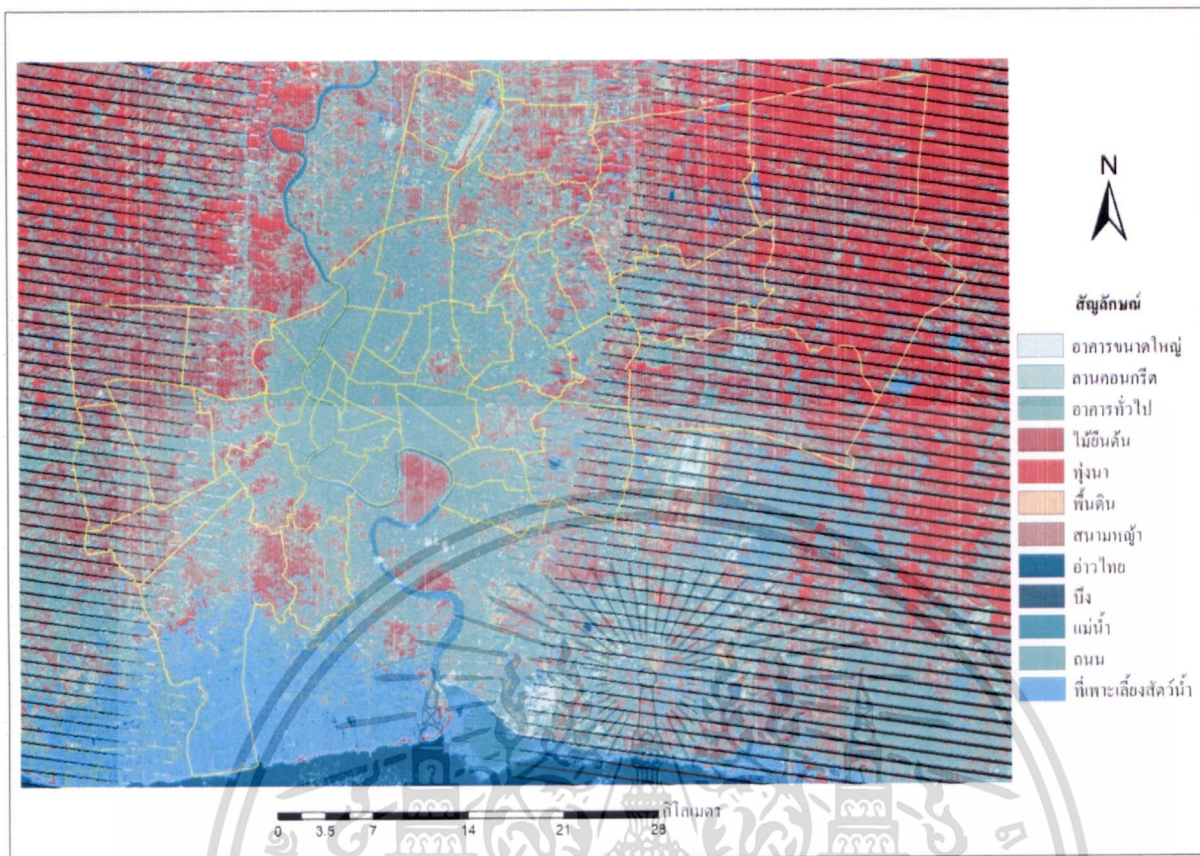
ภาพที่ 3-4 ค่ารังสีสะท้อนของลานคอนกรีต อาคารทั่วไป และพื้นดิน



ภาพที่ 3-5 ค่ารังสีสะท้อนของพืช



ภาพที่ 3-6 ค่ารังสีสะท้อนของพื้นน้ำ



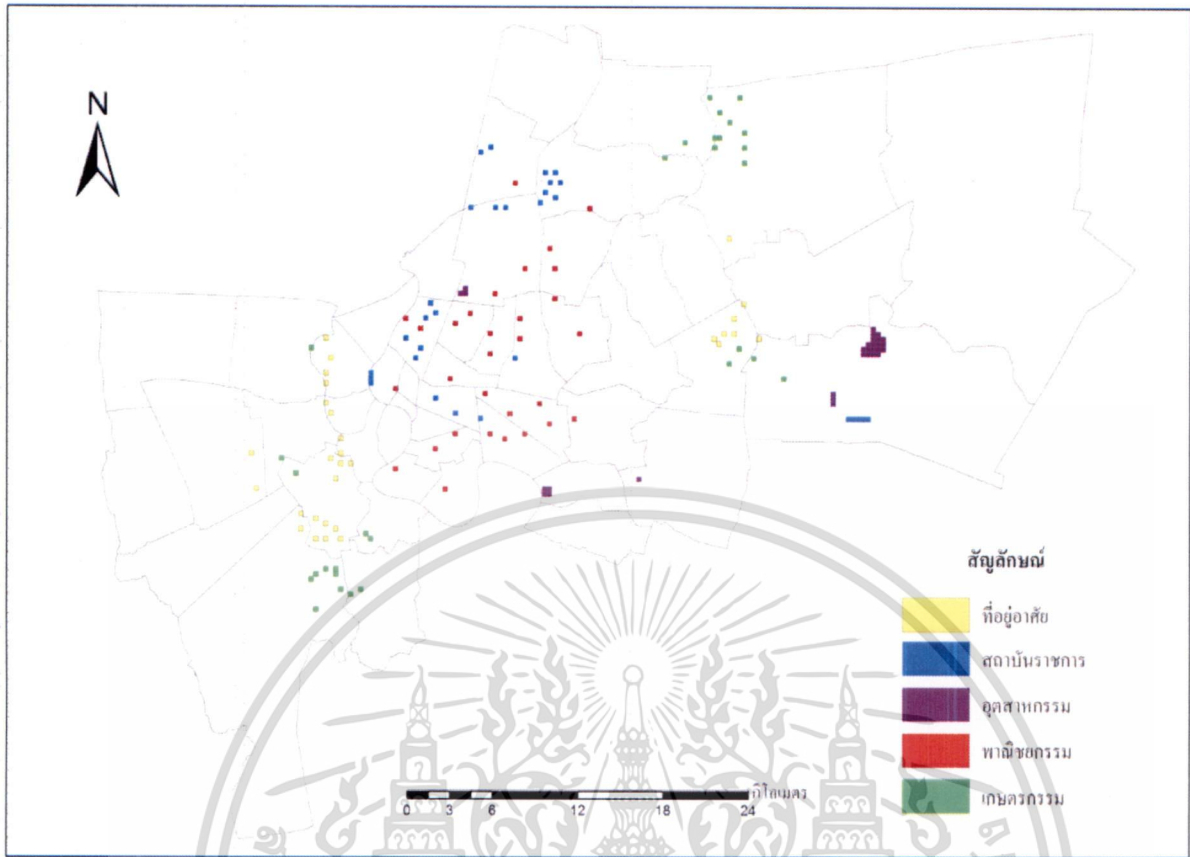
ภาพที่ 3-7 แผนที่แสดงสิ่งปกคลุมดิน

ตารางที่ 3-6 ประเภทสิ่งปกคลุมดิน

ลำดับที่	ประเภทสิ่งปกคลุมดิน
1	อาคารขนาดใหญ่
2	ลานคอนกรีต
3	อาคารทั่วไป
4	ไม้ยืนต้น
5	ทุ่งนา
6	พื้นดิน
7	สนามหญ้า
8	อ่าวไทย
9	บึง
10	แม่น้ำ
11	ถนน
12	ที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน 35 คำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

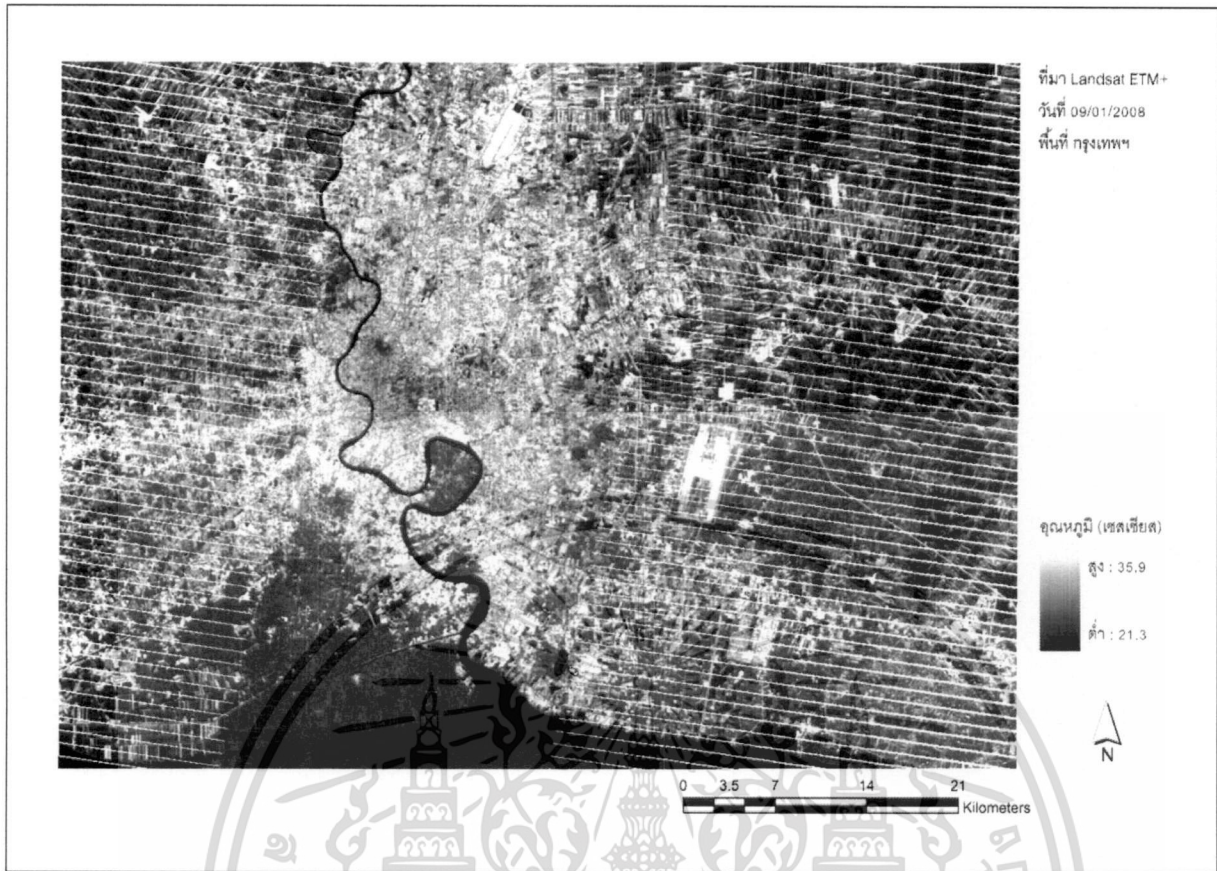
เพื่อให้ได้สัดส่วนพื้นที่ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทสำหรับการหาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในพื้นที่เดียวกัน ตารางกริดขนาดพื้นที่ 316 x 316 เมตร ซึ่ง Eliasson (1996) พบว่าพื้นที่ขนาดดังกล่าวสามารถสร้างลักษณะภูมิอากาศเฉพาะพื้นที่ขึ้นมาได้ ซึ่งนำไปสู่การแลกเปลี่ยนอากาศกับพื้นที่ข้างเคียง ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นกรอบของพื้นที่สำหรับนับจำนวนข้อมูลสัดส่วนพื้นที่ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทที่อยู่ภายในกริด โดยการซ้อนทับตารางกริดลงบนแผนที่สิ่งปกคลุมดิน ซึ่งในหนึ่งกริดจะประกอบด้วยจุดภาพ (Pixel) ของสิ่งปกคลุมดินอยู่ 100 จุดภาพซึ่งเท่ากับร้อยเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินในแต่ละกริด เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่การนำข้อมูลในทุกกริดมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นเรื่องที่ต้องใช้เวลานานจนเกิดความจำเป็น ดังนั้นในการศึกษานี้จึงทำการคัดเลือกข้อมูลกริดโดยการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยการสุ่มกริดจำนวน 30 กริด ในแต่ละพื้นที่การใช้ที่ดินประเภท ที่อยู่อาศัย พาณิชยกรรม อุตสาหกรรม สถาบันราชการ และพื้นที่เกษตรกรรม รวมจำนวนกริดทั้งหมดจากการสุ่ม 150 กริด (ภาพที่ 3-8) ข้อมูลสัดส่วนร้อยละของพื้นที่การใช้ที่ดินแต่ละประเภท รวมถึงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละกริดได้นำเสนอในภาคผนวก ก นอกจากนี้ เพื่อเป็นการทดสอบความแม่นยำในการคาดการณ์อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินของสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมพื้นผิวกับอุณหภูมิ กริดอีกจำนวนหนึ่งถูกสุ่มขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบสมการ โดยสุ่มกริดอีกจำนวน 10 กริดในแต่ละพื้นที่การใช้ที่ดินในลักษณะเดียวกัน รวม 50 กริด



ภาพที่ 3-8 กริดที่สุ่มในพื้นที่การใช้ที่ดินแต่ละประเภท

### 3.2.1.3 การจัดเตรียมข้อมูลอุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักอีกตัวแปรหนึ่งสำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิ ซึ่งแผนที่อุณหภูมิถูกสร้างขึ้นจากสมการ 3-4 (ภาพที่ 3-9) เมื่อนำแผนที่อุณหภูมิที่ได้ซ้อนทับด้วยตารางกริดที่ได้จากการสุ่ม (ภาพที่ 3-8) จะได้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละกริด ซึ่งนำไปสู่การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ร่วมกับข้อมูลสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินที่นับได้ในกริดเดียวกันต่อไป



ภาพที่ 3-9 ค่าอุณหภูมิในอากาศของกรุงเทพมหานคร

### 3.2.2 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิ

สมการเส้นถดถอย (Least Square Regression) จะใช้ในการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิเฉลี่ย จากข้อมูลสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินและอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้มา จากกริดตัวอย่างที่สุ่มจากพื้นที่การใช้ที่ดินในแต่ละประเภทดังที่ได้นำเสนอรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.1.2 ซึ่งสมการที่ได้จะชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนพื้นที่สิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ อย่างไรก็ตามสมการที่ได้จะถูกตรวจสอบระดับความแม่นยำในการคาดการณ์อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนพื้นที่สิ่งปกคลุมดิน โดยการนำสมการดังกล่าวไปคำนวณหาอุณหภูมิของกริดที่เตรียมไว้สำหรับการทดสอบความแม่นยำในการคาดการณ์ของสมการที่ได้ (ดูหัวข้อ 3.2.1.1) แล้วเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมของแต่ละกริด ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ได้จากสมการเส้นถดถอยกับอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละกริด

### 3.3 ทบทวนปัจจัยด้านภูมิอากาศเมืองที่ใช้ในการวางผังเมือง

เป็นที่ยอมรับกัน โดยทั่วไปในแวดวงนักภูมิอากาศถึงลักษณะภูมิอากาศในเมืองว่าเป็นผลสืบเนื่องมาจากลักษณะกายภาพของเมืองนั่นเอง ภูมิอากาศในเมืองส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้ที่อาศัยอยู่ในเมืองอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในเรื่องของสภาวะความไม่สบายอันเนื่องมาจากอากาศร้อน เรื่องของคุณภาพอากาศ และการเพิ่มปริมาณความต้องการพลังงานในเมืองที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการวางผังเมือง ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญในการกำหนดรูปแบบและลักษณะกายภาพของเมืองยังให้ความสำคัญต่อปัจจัยด้านภูมิอากาศในกระบวนการวางผังเมืองในระดับต่ำ (Eliasson, 2000) ในการศึกษาอื่นนอกจากจะนำเสนอสภาวะอากาศในกรุงเทพฯ และเสนอแนวทางการลดอุณหภูมิเชิงปริมาณแล้ว การศึกษาทัศนคติของผู้ที่เกี่ยวข้องในการวางผังเมืองต่อการพิจารณาปัจจัยด้านภูมิอากาศ ในการกระบวนการวางผังเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่จะได้นำเสนอในงานการศึกษานี้

การศึกษาถึงกระบวนการวางผังเมืองในปัจจุบันในกรุงเทพฯ ว่าได้ให้ความสำคัญต่อปัจจัยด้านภูมิอากาศในกระบวนการวางผังเมืองมากน้อยแค่ไหน ในการศึกษาอื่นจะเป็นการทบทวนเอกสาร รายงานการศึกษาทั่วไปทั้งในกรุงเทพฯ และที่อื่นๆ ที่ให้ความสำคัญต่อปัจจัยด้านภูมิอากาศกับการวางผังเมือง ซึ่งรวมไปถึงปัญหา และอุปสรรค ที่ทำให้ปัจจัยด้านภูมิอากาศไม่ถูกนำไปพิจารณาในกระบวนการวางผังเมืองอย่างที่ควรจะเป็น และยังรวมไปถึงการสัมภาษณ์กับบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการวางผังเมือง ซึ่งในการศึกษานี้ได้รับการอนุเคราะห์จากนักผังเมืองจากกรมการผังเมือง และสำนักผังเมือง กรุงเทพฯ จำนวน 2 ท่าน เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศเมืองกับกระบวนการวางผังเมือง ผู้วิจัยตระหนักดีว่า จำนวนผู้ที่สัมภาษณ์นั้นน้อยกว่าที่ควรจะเป็น แต่ด้วยข้อจำกัดที่มีอยู่ทั้งในด้านเวลาและงบประมาณ ที่มากไปกว่านั้นคือเจตนาหลักของประเด็นการศึกษานี้ ก็เพื่อมุ่งหวังที่จะจุดประเด็นที่เกี่ยวกับการให้ความสำคัญต่อปัจจัยด้านภูมิอากาศในกระบวนการวางผังเมืองในประเทศไทย ซึ่งจะเป็นการออกแบบเมืองที่คำนึงถึงคุณภาพชีวิตของคนที่อยู่อาศัยในเมืองในอนาคตที่จะไม่ต้องเผชิญกับสภาวะความไม่สบายของภูมิอากาศมากกว่าที่ควรจะเป็น

## บทที่ 4

### สถานการณ์ความร้อนในบรรยากาศกรุงเทพมหานครและแนวทางแก้ไข

สภาวะความร้อนในบรรยากาศมีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้คน ในพื้นที่เขตร้อนความต้องการพลังงานเพื่อใช้ทำความเย็นในอาคารในพื้นที่เมืองเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงกว่าในพื้นที่ชนบท (Ahmed, 2003) ซึ่งมีข้อมูลหรือรายงานการศึกษาที่สรุปตรงกันว่า มีอุณหภูมิในพื้นที่เมืองสูงกว่าพื้นที่ชนบท (Oke, 1987; Watkins, 1999; Taha, 1997; Liang, 2004) ลักษณะดังกล่าวทำให้ผู้ที่อาศัยในเมืองต้องเผชิญกับสภาวะความไม่สบายของบรรยากาศมากกว่าผู้ที่อาศัยในชนบท กรุงเทพมหานครเป็นเมืองใหญ่ มีความหนาแน่นสูง และตั้งอยู่ในภูมิอากาศเขตร้อน จึงได้รับผลกระทบด้านสภาวะความไม่สบายจากความร้อนในบรรยากาศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ในการศึกษานี้พยายามนำเสนอสถานการณ์ปัจจุบันของสภาวะความร้อนในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร โดยได้นำเสนอข้อมูลสถานการณ์ปัจจุบันของอุณหภูมิเฉลี่ยของกรุงเทพฯ ตลอด 5 ปีที่แล้ว วิเคราะห์ค่าดัชนีความร้อนที่ชี้วัดสภาวะความสบาย (Heat Index) ซึ่งเป็นค่าความรู้สึกร้อนหรือเย็นที่แท้จริงของร่างกายมนุษย์ที่เป็นมาจากปัจจัยของอุณหภูมิกับความชื้นในบรรยากาศร่วมกัน ค่าดัชนี Heat Index ในกรุงเทพฯ ชี้ให้เห็นถึงสถานการณ์ด้านความร้อนของอากาศในกรุงเทพฯ ที่มีอิทธิพลต่อการดำเนินชีวิตของประชากรที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพฯ ว่ามีความจำเป็นเร่งด่วนแค่ไหนสำหรับการหาแนวทางแก้ไข ซึ่งรายละเอียดของแนวทางการแก้ไขปัญหา เพื่อลดระดับความร้อนของอากาศในกรุงเทพฯ จะได้นำเสนอในหัวข้อถัดไป โดยมีรายละเอียดของการนำเสนอสมการคณิตศาสตร์เชิงปริมาณที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ง่ายไม่ซับซ้อนในทางปฏิบัติ ในการกำหนดสัดส่วนการใช้ที่ดินในเมืองที่จะทำให้เมืองมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสม ไม่ส่งผลกระทบต่อประชากรผู้อยู่อาศัยมากเกินไปกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งการกำหนดสัดส่วนการใช้ที่ดินเป็นกระบวนการด้านการวางผังเมืองที่จะได้นำเสนอในส่วนสุดท้ายของการศึกษานี้ รายละเอียดประกอบด้วยการนำเสนอประเด็นเกี่ยวกับปัญหา และอุปสรรค ของกระบวนการวางผังเมืองที่คำนึงถึงความสำคัญของสภาพภูมิอากาศเมือง

#### 4.1 สถานการณ์ปัจจุบันของสภาวะความร้อนในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร

สภาพภูมิอากาศในแต่ละชั่วโมงของแต่ละวันส่งผลต่อวิถีการดำเนินชีวิตของผู้คน เมืองที่มีชั่วโมงที่อากาศร้อนยาวนานทำให้ผู้คนใช้เวลาอยู่ในอาคารนานขึ้น ส่งผลต่อกิจกรรมที่ต้องพบปะสังสรรค์นอกอาคารน้อยลง และทำให้ความต้องการพลังงานในอาคารเพิ่มมากขึ้น ทั้งในด้านแสงสว่างและการทำความเย็นในอาคาร ความเข้าใจถึงสถานการณ์ของบรรยากาศปัจจุบันของเมืองเป็นสิ่งจำเป็นที่ผู้มีหน้าที่วางแผนและผังพัฒนาเมืองควรเข้าใจ ซึ่งการกำหนดแผนและผังที่ส่งเสริมสภาพภูมิอากาศของเมืองให้มีความสบายไม่ร้อนกว่าสภาพตามธรรมชาติ เป็นการส่งเสริมคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้คนที่อยู่อาศัยในเมืองนั้น และนำไปสู่การประหยัดพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากความต้องการทำความเย็นในอาคาร

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจาก 10 สถานีตรวจวัดในกรุงเทพมหานครที่บันทึกข้อมูลในช่วง พ.ศ. 2548-2552 พบว่ากรุงเทพฯ มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีสูงสุดที่  $32.3^{\circ}$  เซลเซียส ในเวลา 15 นาฬิกา และอุณหภูมิลดลงจนถึงจุดต่ำสุดที่  $26.3^{\circ}$  เซลเซียส ณ เวลา 7.00 นาฬิกาของแต่ละวัน เมื่อพิจารณาข้อมูลในรายเดือน เดือนเมษายนเป็นเดือนที่ร้อนที่สุดอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด ณ เวลา 15.00 นาฬิกา ที่  $34.0^{\circ}$  เซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดที่  $28.0^{\circ}$  เซลเซียส ณ เวลา 7.00 นาฬิกา เดือนที่มีอากาศเย็นที่สุดพบในเดือนมกราคมโดยอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ  $31.2^{\circ}$  เซลเซียส ณ เวลา 15.00 นาฬิกา อุณหภูมิต่ำสุดพบในเวลา 23.5<sup>o</sup> เซลเซียส ณ เวลา 7.00 นาฬิกา ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของเดือนธันวาคม

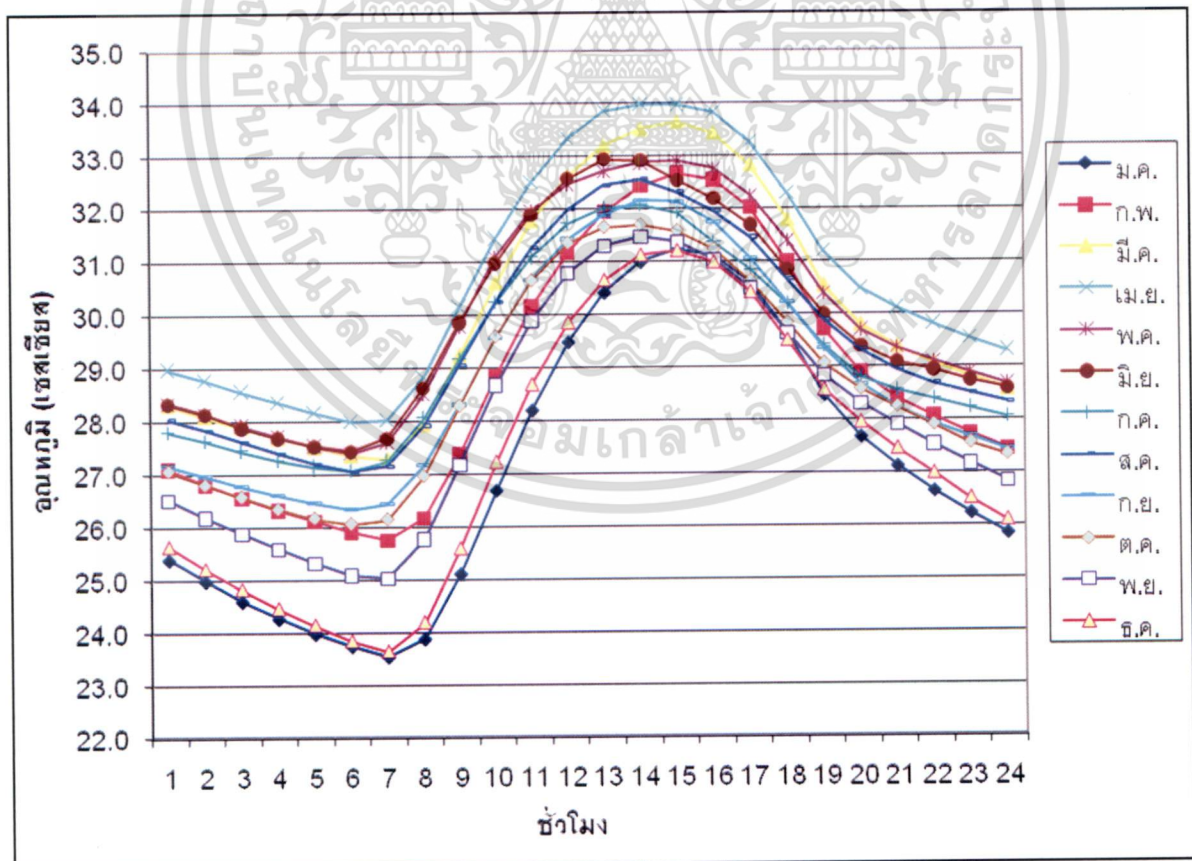
หากพิจารณาความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเดือนที่มีอากาศร้อนกับเดือนที่มีอากาศเย็น จะพบว่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดของเดือนที่ร้อนที่สุด (เมษายน) และเดือนที่เย็นที่สุด (มกราคม) ต่างกัน  $2.8^{\circ}$  เซลเซียส ในขณะที่ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำสุดของเดือนของเดือนที่ร้อนที่สุดและเดือนที่เย็นที่สุด ต่างกัน  $4.5^{\circ}$  เซลเซียส (ภาพที่ 4-1 และตารางที่ 4-1) นอกจากนี้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีแสดงให้เห็นว่ากรุงเทพฯ มีช่วงเวลาที่อากาศเย็นเพียงแคในช่วงเดือนมกราคมกับเดือนธันวาคม หากพิจารณาให้เดือนมกราคมเป็นเดือนฐานของความแตกต่างระหว่างความร้อนของเดือนอื่นๆ (ตารางที่ 4-2) พบว่าเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงปลายฝนต้นหนาว อุณหภูมิในช่วงหลังพระอาทิตย์ตกดินถึงก่อนเที่ยงวัน ขยับสูงขึ้นจากเดือนฐานประมาณ  $1-2^{\circ}$  เซลเซียส ยกเว้นเวลาในช่วงบ่ายไปจนถึงเย็นของแต่ละวันอุณหภูมิก็อยู่ในระดับใกล้เคียงกับเดือนฐาน ในกรณีเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูหนาวจะเข้าสู่ฤดูร้อนอุณหภูมิสูงกว่าเดือนฐาน ซึ่งเป็นเดือนที่มีอากาศเย็นที่สุดประมาณ  $2^{\circ}$  เซลเซียส ตลอดทั้งวัน ในขณะที่เดือนเมษายน ซึ่งเป็นเดือนที่ร้อนที่สุดมีอุณหภูมิสูงกว่าเดือนฐานประมาณ  $3-4^{\circ}$  เซลเซียส ในเวลากลางคืนและเพิ่มถึง  $5^{\circ}$  เซลเซียส ในเวลากลางวัน ในส่วนของเดือนมีนาคมและเดือนพฤษภาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนลักษณะการกระจายตัวของความร้อนในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง คล้ายกับเดือนเมษายน พบความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายปีจากเดือนธันวาคม 2-3° เซลเซียส ในเวลากลางคืนและในเวลากลางวัน พบความแตกต่างที่ 2-4° เซลเซียส ส่วนในเดือนที่เหลืองซึ่งเป็นช่วงของฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน) ช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิโดยเฉลี่ยจากเดือนธันวาคมในเวลากลางวันค่อนข้างกว้าง ประมาณ 1-4° เซลเซียส และแคบลงเป็น 2-3° เซลเซียส ในเวลากลางคืน ความแตกต่างสูงสุดของอุณหภูมิเฉลี่ยจากเดือนธันวาคมเกิดขึ้นในช่วงเวลาก่อนเที่ยงวัน และจะลดลงเหลือความแตกต่างน้อยที่สุดในช่วงเวลาเย็นของทุกวัน ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของเมฆและฝน ในช่วงเวลาดังกล่าวที่ส่งผลให้อุณหภูมิในช่วงเวลาบ่ายของเดือนในฤดูฝนลดลงจากที่ควรจะเป็น

กล่าวโดยสรุป ลักษณะของความร้อนในบรรยากาศของกรุงเทพฯ อาจกล่าวได้ว่าในช่วงฤดูร้อนกรุงเทพฯ มีอุณหภูมิสูงอยู่ตลอดทั้งวัน อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในบรรยากาศเพียงอย่างเดียวไม่สามารถส่งผลต่อความรู้สึกร้อนหรือเย็นของมนุษย์ได้อย่างแท้จริง ซึ่งการรับรู้ความร้อนหรือเย็นที่แท้จริงของร่างกายมนุษย์เป็นผลรวมระหว่างสถานะของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ โดยผลลัพธ์ของสถานะดังกล่าวเป็นดัชนีชี้วัดความรู้สึกร้อนหรือเย็นที่แท้จริงของร่างกายมนุษย์ ซึ่งรายละเอียดจะนำเสนอในเรื่องของสถานะความสบาย



ภาพที่ 4-1 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 24 ชั่วโมง พ.ศ. 2548 – 2552

ตารางที่ 4-1 อุณหภูมิเฉลี่ยของกรุงเทพมหานครในช่วง พ.ศ. 2548 – 2552 (° เซลเซียส)

ชั่วโมงที่	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	25.4	27.1	28.3	29.0	28.3	28.3	27.8	28.0	27.2	27.1	26.5	25.6
2	25.0	26.8	28.1	28.8	28.1	28.2	27.6	27.8	27.0	26.8	26.2	25.2
3	24.6	26.6	27.9	28.6	27.9	27.9	27.4	27.6	26.8	26.6	25.9	24.8
4	24.3	26.3	27.7	28.4	27.7	27.7	27.3	27.4	26.6	26.4	25.6	24.5
5	24.0	26.1	27.5	28.2	27.5	27.5	27.1	27.2	26.5	26.2	25.3	24.1
6	23.7	25.9	27.4	28.0	27.4	27.4	27.1	27.1	26.3	26.1	25.1	23.8
7	23.5	25.8	27.3	28.0	27.6	27.7	27.3	27.2	26.4	26.2	25.0	23.7
8	23.9	26.2	27.9	28.8	28.5	28.6	28.1	27.9	27.2	27.0	25.8	24.2
9	25.1	27.4	29.2	30.2	29.8	29.9	29.2	29.1	28.3	28.3	27.2	25.6
10	26.7	28.9	30.6	31.5	31.1	31.0	30.2	30.3	29.6	29.6	28.7	27.2
11	28.2	30.2	31.8	32.5	32.0	31.9	31.1	31.3	30.7	30.7	29.9	28.7
12	29.5	31.2	32.6	33.3	32.5	32.6	31.7	32.0	31.4	31.4	30.8	29.9
13	30.4	32.0	33.2	33.9	32.7	33.0	32.0	32.5	31.9	31.7	31.3	30.7
14	31.0	32.4	33.5	34.0	32.9	32.9	32.1	32.6	32.2	31.7	31.5	31.1
15	31.2	32.7	33.7	34.0	32.9	32.6	31.9	32.3	32.1	31.6	31.4	31.2
16	31.1	32.6	33.5	33.8	32.8	32.2	31.4	32.0	31.7	31.2	31.0	31.0
17	30.6	32.0	32.8	33.3	32.3	31.7	30.8	31.5	31.1	30.6	30.5	30.4
18	29.6	31.0	31.8	32.3	31.4	30.9	30.2	30.7	30.2	29.8	29.6	29.5
19	28.5	29.7	30.5	31.2	30.4	30.0	29.4	29.9	29.4	29.1	28.8	28.6
20	27.7	28.9	29.8	30.5	29.7	29.4	28.8	29.3	28.7	28.6	28.3	28.0
21	27.1	28.4	29.4	30.1	29.4	29.1	28.6	29.0	28.2	28.2	27.9	27.5
22	26.6	28.1	29.1	29.8	29.1	28.9	28.4	28.7	27.9	27.9	27.5	27.0
23	26.2	27.7	28.8	29.5	28.9	28.7	28.2	28.5	27.7	27.6	27.2	26.5
24	25.8	27.4	28.6	29.3	28.7	28.6	28.1	28.3	27.4	27.3	26.8	26.1

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละเดือนที่มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุด (° เซลเซียส)

ชั่วโมงที่	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	0.0	1.7	2.9	3.6	2.9	3.0	2.4	2.7	1.8	1.7	1.1	0.3
2	0.0	1.8	3.1	3.8	3.2	3.2	2.6	2.9	2.0	1.8	1.2	0.2
3	0.0	2.0	3.3	4.0	3.3	3.3	2.9	3.0	2.2	2.0	1.3	0.2
4	0.0	2.1	3.4	4.1	3.5	3.4	3.0	3.1	2.3	2.1	1.3	0.2
5	0.0	2.1	3.5	4.2	3.6	3.6	3.2	3.2	2.5	2.2	1.3	0.2
6	0.0	2.2	3.6	4.3	3.7	3.7	3.3	3.3	2.6	2.3	1.3	0.1
7	0.0	2.2	3.8	4.5	4.1	4.1	3.7	3.6	2.9	2.6	1.5	0.1
8	0.0	2.3	4.1	4.9	4.6	4.8	4.2	4.1	3.3	3.1	1.9	0.3
9	0.0	2.3	4.1	5.0	4.7	4.8	4.1	4.0	3.2	3.2	2.1	0.5
10	0.0	2.2	3.9	4.8	4.4	4.3	3.6	3.6	2.9	2.9	2.0	0.5
11	0.0	2.0	3.6	4.3	3.8	3.7	2.9	3.1	2.5	2.4	1.7	0.5
12	0.0	1.7	3.1	3.9	3.0	3.1	2.3	2.5	1.9	1.9	1.3	0.4
13	0.0	1.5	2.8	3.4	2.3	2.5	1.6	2.0	1.5	1.2	0.9	0.2
14	0.0	1.4	2.5	3.0	1.9	1.9	1.1	1.6	1.2	0.7	0.5	0.1
15	0.0	1.5	2.4	2.7	1.7	1.3	0.7	1.1	0.9	0.4	0.1	0.0
16	0.0	1.5	2.3	2.7	1.7	1.1	0.3	0.8	0.6	0.1	-0.1	-0.1
17	0.0	1.4	2.3	2.7	1.7	1.1	0.3	0.9	0.5	0.0	-0.1	-0.2
18	0.0	1.4	2.2	2.7	1.8	1.2	0.6	1.0	0.6	0.2	0.0	-0.1
19	0.0	1.3	2.1	2.7	1.9	1.5	0.9	1.4	0.9	0.6	0.4	0.1
20	0.0	1.2	2.1	2.8	2.0	1.7	1.1	1.6	1.0	0.9	0.6	0.3
21	0.0	1.3	2.3	3.0	2.2	2.0	1.4	1.8	1.1	1.1	0.8	0.3
22	0.0	1.4	2.4	3.2	2.5	2.3	1.7	2.0	1.3	1.3	0.9	0.3
23	0.0	1.5	2.6	3.3	2.7	2.5	2.0	2.3	1.5	1.3	0.9	0.3
24	0.0	1.6	2.7	3.5	2.8	2.7	2.2	2.5	1.6	1.5	1.0	0.3

หมายเหตุ: เดือนมกราคมเป็นข้อมูลฐาน เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด

## 4.2 สภาวะความสบายในกรุงเทพมหานคร

อุณหภูมิในบรรยากาศมีอิทธิพลต่อสภาวะความสบายของผู้คน ซึ่งการรับรู้ความรู้สึกระดับความร้อนในบรรยากาศที่สบายหรือไม่ มีอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยด้านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ รวมถึงองค์ประกอบอื่น เช่น เชื้อชาติ กิจกรรมที่ทำ อายุ ผู้คนที่อาศัยในเขตหนาวจะรู้สึกร้อนในอุณหภูมิที่ต่ำ ผู้คนที่อาศัยในเขตร้อน ผู้ที่ต้องทำงานอยู่ในการแจ้งตลอดเวลาจะรู้สึกถึงอิทธิพลจากอากาศร้อนมากกว่าผู้ที่ทำงานในอาคาร คนแก่จะรู้สึกร้อน หรือหนาวในช่วงอุณหภูมิที่แคบกว่าคนหนุ่มสาว ดังนั้นคนแก่จะมีความเสี่ยงสูงต่อการเปลี่ยนแปลงของอากาศที่ร้อนขึ้น สมการ 3-1 เป็นการรวมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ เรียกผลลัพธ์ที่ได้ว่า ดัชนีความร้อน (Heat Index) (Rothfuzs, 1990) โดยผลลัพธ์แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ดังนี้ (1) อบอุ่นมาก (very warm class) ค่าดัชนีความร้อนอยู่ในช่วง 26.7 - 32.2° เซลเซียส มีผลทำให้ความเหน้อย่าง (2) ร้อน (hot class) ค่าดัชนีความร้อนอยู่ในช่วง 32.2-40.6° เซลเซียส อาจส่งผลให้เป็นลมหมดสติได้หรือเป็นตะคริวได้ (3) ร้อนมาก (very hot class) ค่าดัชนีความร้อนอยู่ในช่วง 40.6-53.9° เซลเซียส มีผลให้เป็นลมหมดสติหรือเป็นตะคริวได้ และ (4) ร้อนที่สุด (extremely hot class) ค่าดัชนีความร้อนมากกว่า 53.9° เซลเซียส มีความเสี่ยงสูงมากที่จะหมดสติหรือเป็นตะคริวได้ทันที (NOAA's National Weather Service, 2006) สอดคล้องกับระดับสภาวะสบายในอาคารที่กำหนดที่ระดับอุณหภูมิ ระหว่าง 24.0 - 26.5° เซลเซียส โดยกรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทย

จากข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิดังที่ได้แสดงในตารางที่ 3-2 และตารางที่ 3-3 โดยการประยุกต์ใช้สมการของ Rothfuzs (1990) (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 3.1) เพื่อคำนวณค่าดัชนีความร้อนเพื่อชี้วัดสภาวะความสบายในกรุงเทพมหานคร จากข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี ไม่พบว่าบรรยากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมงทั้งปีของกรุงเทพมหานครอยู่ในระดับร้อนมากและร้อนที่สุด แต่ในขณะเดียวกันก็พบว่าสภาวะอากาศที่ต่ำกว่าระดับค่าดัชนีความร้อนมีน้อยมาก ดังนั้นการรับรู้ความรู้สึกสภาวะความร้อนในบรรยากาศของกรุงเทพฯ อยู่ใน 2 ระดับ โดยส่วนใหญ่ โดยบรรยากาศของกรุงเทพมหานครอยู่ในระดับร้อน คิดเป็น ร้อยละ 48.3 ของชั่วโมงทั้งหมดในหนึ่งวัน และร้อยละ 45.1 อยู่ในระดับอบอุ่น มีชั่วโมงที่ค่าดัชนีความร้อนต่ำกว่าระดับอบอุ่นมาก คิดเป็นร้อยละ 6.6 ซึ่งเกิดขึ้นในเวลาหลังเที่ยงคืนเฉพาะเดือนธันวาคม มกราคม และกุมภาพันธ์เท่านั้น (ภาพที่ 4-2 และตาราง 4-3)

หากพิจารณาค่าดัชนีความร้อนที่ชี้วัดสภาวะความสบายเป็นรายเดือน ภาพที่ 4-2 แสดงค่าดัชนีความร้อนในรายชั่วโมงของแต่ละเดือน ซึ่งพบว่าเดือนเมษายนเป็นช่วงเวลาที่สภาวะความร้อนในบรรยากาศส่งผลต่อความรู้สึกไม่สบายของคนที่อาศัยในกรุงเทพมหานคร ในระดับวิกฤติสูงสุดเนื่องจากค่าดัชนีชี้วัดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะความสบายอยู่ในระดับร้อนเกือบตลอดทั้งวัน มีชั่วโมงที่อยู่ในระดับอบอุ่นมากเพียงแค่ 2 ชั่วโมง คือ ในชั่วโมงที่ 6.00 และ 7.00 นาฬิกา เดือนพฤษภาคมและมิถุนายนเป็นเดือนที่วิกฤติรองลงมาจากเดือนเมษายน ซึ่งค่าดัชนีความร้อนตกในระดับร้อน เริ่มตั้งแต่ 8.00 นาฬิกา ไปจนถึงเวลา 1.00 นาฬิกาของวันใหม่ รวมนาน 18 ชั่วโมง และอีก 6 ชั่วโมงที่เหลือหลังจาก 1.00 นาฬิกา ไปจนถึง 7.00 นาฬิกา ดัชนีความร้อนมีค่าอยู่ในระดับอบอุ่นมาก เดือนมีนาคมเป็นอีกเดือนหนึ่งที่มีค่าดัชนีความร้อนนานถึง 16 ชั่วโมงในหนึ่งวัน และ 8 ชั่วโมงที่เหลือ ดัชนีความร้อนอยู่ในระดับอบอุ่นมาก ในช่วงฤดูฝนซึ่งตรงกับเดือนมิถุนายนถึงประมาณเดือนตุลาคม ค่าดัชนีความร้อนแม้ว่ายังคงอยู่ในระดับร้อนกับระดับอบอุ่นมาก แต่ชั่วโมงที่ค่าดัชนีความร้อนที่ตกในระดับร้อนลดลงอยู่ที่ 11-15 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากได้รับอิทธิพลของฝนที่ช่วยลดอุณหภูมิในช่วงเวลาดังกล่าวลง เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความร้อนของเดือนในฤดูหนาว (พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์) พบว่าเดือนมกราคม ซึ่งช่วงเวลามีอุณหภูมิเย็นที่สุดของปี มีค่าดัชนีความร้อนตกอยู่ในระดับอบอุ่นมากในช่วงเวลาตั้งแต่ 10.00 นาฬิกา ไปจนถึงเที่ยงคืน และเวลาหลังจากนั้น ไปจนถึงเวลา 9.00 นาฬิกา ของวันใหม่ รวมเวลานาน 9 ชั่วโมง เป็นช่วงที่กรุงเทพฯ มีบรรยากาศที่เย็นสบาย เนื่องจากค่าความอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับอบอุ่นมาก เดือนธันวาคมซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยใกล้เคียงกับเดือนมกราคม ลักษณะของค่าดัชนีความร้อนแสดงในลักษณะที่คล้ายกัน เพียงแต่มีชั่วโมงที่เย็นสบายสั้นกว่าเดือนมกราคมอยู่ 2 ชั่วโมง ส่วนในกรณีของเดือนพฤศจิกายนซึ่งเป็นเดือนเริ่มต้นฤดูหนาว ค่าดัชนีความร้อนปรากฏอยู่ในระดับร้อนในช่วงตั้งแต่เที่ยงไปจนถึง 17.00 นาฬิกา และเวลาหลังจากนั้นดัชนีความร้อนเปลี่ยนเป็นระดับอบอุ่นมากไปจนถึงเวลา 4.00 นาฬิกาของวันใหม่ หลังจากนั้นค่าดัชนีความร้อนลดลงอยู่ในระดับเย็นสบาย แล้วจึงค่อยเพิ่มระดับเป็นระดับอบอุ่นมากอีกครั้งในเวลา 7.00 นาฬิกา และเพิ่มจนถึงระดับร้อนตอนเที่ยงวัน ในขณะที่เดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งกำลังจะหมดฤดูหนาวเข้าสู่ฤดูร้อน ไม่ปรากฏค่าดัชนีความร้อนในระดับเย็นสบายในช่วงเวลาหลังเที่ยงคืนเช่นในเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม ช่วงเวลาตั้งแต่หนึ่งชั่วโมงก่อนเที่ยงวันไปจนถึงหัวค่ำ (19.00 น.) ค่าดัชนีความร้อนแสดงในระดับร้อน และในชั่วโมงที่เหลือในเวลากลางคืนจนถึงช่วงเช้าของ อีกวันมีค่าดัชนีความร้อนในระดับอบอุ่นมาก

สถานการณ์ของสภาวะความสบายของบรรยากาศที่บ่งชี้โดยค่าดัชนีความร้อน (Heat Index) ในกรุงเทพฯ แสดงให้เห็นว่าผู้ที่อาศัยในกรุงเทพฯ ต้องเผชิญกับสภาพบรรยากาศที่ร้อนไม่มีความสบายในเวลากลางวันและกลางคืนในช่วงฤดูร้อน หรือแม้แต่ในฤดูฝนก็เช่นเดียวกัน เพียงแต่มีค่าความรอนน้อยกว่าในช่วงฤดูร้อน แต่ก็ไม่อยู่ในระดับที่มีความเย็นสบาย ช่วงเวลาที่บรรยากาศในกรุงเทพฯ มีความเย็นสบายปรากฏในช่วงเวลาเพียงสั้นๆ ในเวลาหลังเที่ยงคืนถึงเช้าในเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม เท่านั้น ข้อมูลเหล่านี้ได้แสดงถึงความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ที่เกี่ยวข้องในการกำหนดทิศทางการพัฒนาของกรุงเทพฯ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 46

ต้องให้ความสำคัญต่อแนวทางการพัฒนาสภาพของกรุงเทพฯ ที่ส่งเสริมให้เกิดบรรยากาศที่มีความเย็นสบายแก่ผู้คนที่อยู่อาศัย หรืออย่างน้อยที่สุดก็ไม่ทำให้บรรยากาศของกรุงเทพฯ แย่ลงไปมากกว่านี้ ซึ่งแนวทางการบรรเทาความร้อนในบรรยากาศในเมืองจะได้นำเสนอในหัวข้อต่อไป

ชั่วโมงที่	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	C	VW	VW	H	H	H	VW	VW	VW	VW	VW	VW
2	C	VW	VW	H	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	C
3	C	VW	VW	H	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	C
4	C	VW	VW	H	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	C
5	C	VW	VW	H	VW	VW	VW	VW	VW	VW	C	C
6	C	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	C	C
7	C	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	VW	C	C
8	C	VW	VW	H	H	H	VW	VW	VW	VW	VW	C
9	C	VW	H	H	H	H	H	H	VW	VW	VW	VW
10	VW	VW	H	H	H	H	H	H	H	H	VW	VW
11	VW	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VW	VW
12	VW	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VW
13	VW	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VW
14	VW	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VW
15	VW	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VW
16	VW	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VW
17	VW	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VW
18	VW	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VW	VW
19	VW	H	H	H	H	H	H	H	H	H	VW	VW
20	VW	VW	H	H	H	H	H	H	H	H	VW	VW
21	VW	VW	H	H	H	H	H	H	VW	VW	VW	VW
22	VW	VW	H	H	H	H	VW	H	VW	VW	VW	VW
23	VW	VW	H	H	H	H	VW	H	VW	VW	VW	VW
24	VW	VW	H	H	H	H	VW	VW	VW	VW	VW	VW

ภาพที่ 4-2 ค่าดัชนีความร้อนในรายชั่วโมงของแต่ละเดือน

ตารางที่ 4-3 จำนวนเฉลี่ยของชั่วโมงในหนึ่งวันในแต่ละเดือนที่ตกในแต่ละชั้นของค่าดัชนีความร้อน

ดัชนี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม (%)
ภาวะสบาย	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	6.6
อบอุ่นมาก	15	15	8	2	6	6	11	9	13	13	15	17	45.1
ร้อน	0	9	16	22	18	18	13	15	11	11	6	0	48.3
ร้อนมาก	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ร้อนที่สุด	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ชั่วโมง	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	

#### 4.3 แนวทางการลดระดับความร้อนของอากาศในกรุงเทพฯ

มีรายงานการศึกษาเผยแพร่อย่างแพร่หลายเกี่ยวกับลักษณะของอุณหภูมิในเมืองที่พบว่าในพื้นที่ที่มีต้นไม้จะปรากฏว่ามีอุณหภูมิต่ำกว่าในพื้นที่ที่ไม่มีต้นไม้ ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิในลักษณะที่แปรผกผันกัน (Kimura และ Takahashi, 1991; Eliasson, 1996; Asaeda et al., 1996; Svensson, 2002) ซึ่งเป็นที่สรุปได้ว่าวัสดุปกคลุมดินมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ Estes et al. (1999) และ Solecki et al. (2004) เสนอแนวทางการลดอุณหภูมิในเมืองว่า สามารถทำได้ใน 2 วิธี ประกอบด้วย (1) การเปลี่ยนสีของวัตถุในเมืองให้มีสีขาวเพื่อลดการสะสมความร้อนของวัสดุที่ปกคลุมพื้นผิว และ (2) การเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ในเมือง ความรู้เกี่ยวกับพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยต้นไม้มีอากาศเย็นกว่าพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยสิ่งปลูกสร้างเป็นการนำเสนอข้อมูลเชิงคุณภาพ ซึ่งไม่สามารถให้คำตอบได้ว่าขนาดพื้นที่เท่าใดที่จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ดังนั้นการนำข้อเสนอในการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ในเมืองไปสู่การปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงยังมีข้อจำกัด ประกอบกับกระบวนการที่จะประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมดินกับอุณหภูมิในการรักษาสภาพบรรยากาศในเมืองให้มีความสบาย สามารถทำได้โดยผ่านทางกระบวนการวางผังเมือง อย่างไรก็ตามเพียงแต่ความรู้ในเรื่องอากาศเย็นพบในบริเวณที่มีต้นไม้ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้กระบวนการวางผังเมืองให้ความสำคัญต่อการประยุกต์ใช้ความรู้นี้ในการกำหนดพื้นที่การใช้ที่ดินที่ส่งผลที่ดีต่อสถานะอากาศของเมือง ในการศึกษาวิจัยมุ่งประเด็นไปในเรื่องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสิ่งปกคลุมดิน ในเชิงปริมาณ โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์เส้นถดถอย (Linear Regression) ระหว่างอุณหภูมิกับสิ่งปกคลุมดินชนิดต่างๆ ทั้งนี้เพื่อนำเสนอแนวทางเชิงปริมาณที่สามารถกำหนดขนาดพื้นที่ที่จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเมืองอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนและประเภท

สิ่งปกคลุมดิน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการการวางผังเมืองในการกำหนดขนาดพื้นที่  
ธรรมชาติที่เมืองจำเป็นต้องมี เพื่อเป็นการรักษาภาวะอากาศที่ดีของเมืองไว้ รายละเอียดการสร้างสมการ  
ความสัมพันธ์ประกอบด้วยดังนี้

#### 4.3.1 การเลือกตัวแปรอิสระสำหรับสมการความถดถอยระหว่างอุณหภูมิกับสิ่งปกคลุมดิน

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ มีเงื่อนไขที่กำหนดให้ตัวแปรอิสระทุกตัวต้องเป็นอิสระกัน  
เนื่องจากตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันจะให้รายละเอียดที่คล้ายคลึงกันต่อตัวแปรตาม ซึ่งเป็นการยากที่  
จะแยกอิทธิพลของตัวแปรอิสระแต่ละตัว ซึ่งสามารถทดสอบเงื่อนไขนี้ได้ โดยการกำหนดให้ตัวแปรอิสระ  
ตัวใดตัวหนึ่งเป็นตัวแปรตาม และที่เหลือกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระทั้งหมด (กัลยา, 2546) โดยใช้ค่าสถิติ  
Tolerance และ VIF เป็นตัววัดระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ โดยที่ตัวแปรใดแสดงค่า Tolerance ที่  
ต่ำมากเข้าใกล้ 0 หรือ ค่า VIF มีค่าสูง แสดงว่าตัวแปรอิสระตัวนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ  
มาก

ในการศึกษานี้ ตัวแปรอิสระคือสัดส่วนของสิ่งปกคลุมดินที่ได้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม  
(ดูรายละเอียดในหัวข้อ 3.2) ซึ่งสิ่งปกคลุมดินถูกจำแนกออกเป็น 12 ชนิด (ตารางที่ 3-5) เพื่อทดสอบ  
ความเป็นอิสระต่อกันของตัวแปรอิสระ “พื้นดิน” ถูกเลือกใช้เป็นตัวแปรตามในสมการความถดถอย  
ทดสอบ ตารางที่ 4-4 แสดงค่า Tolerance และค่า VIF ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละตัว ซึ่งเป็นผลลัพธ์จาก SPSS  
ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สิ่งปกคลุมดินประเภทที่เป็นวัสดุก่อสร้าง ซึ่งประกอบด้วย สัดส่วนพื้นที่ประเภท “อาคาร  
ขนาดใหญ่” “อาคารทั่วไป” “ถนน” “พื้นที่ต้นไม้” และ “สนามหญ้า” มีค่า Tolerance ค่อนข้างต่ำ ซึ่งแสดงว่า  
ข้อมูลแต่ละกลุ่มมีความสัมพันธ์กัน ดังนั้น จึงทำการรวมข้อมูลที่มีลักษณะเดียวกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน  
เช่น สิ่งปกคลุมดิน ที่เป็นสิ่งปลูกสร้าง เช่น อาคารขนาดใหญ่ ลานคอนกรีต อาคารทั่วไป จัดให้เป็นกลุ่ม  
เดียวกัน ในขณะที่ถนนซึ่งมีลักษณะของสะท้อนพลังงาน (Spectral Signature) ใกล้เคียงกับสิ่งปกคลุมดิน  
ประเภทน้ำ ซึ่งส่งผลให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ดังนั้นจึงไม่ได้รวมข้อมูลให้เป็นกลุ่ม  
เดียวกันกับอาคารสิ่งปลูกสร้าง ไม่นำมาใช้ในการสร้างสมการความถดถอย

ตารางที่ 4-4 ค่า Tolerance และค่า VIF ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละตัว

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Collinearity Statistics	
		Tolerance	VIF
1	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	1.126
	แม่น้ำ	.654	1.528
	ถนน	.115	8.710
	เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	.875	1.142

a. Dependent Variable: พื้นดิน

ตาราง 4-5 แสดงแสดงค่า Tolerance และค่า VIF ของสิ่งปกคลุมดินที่ได้รวมข้อมูลในกรณีของ “พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง” และ “พื้นที่น้ำ” ทำให้ตัวแปรลดลงเหลือ “พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง” “พื้นที่น้ำ” “ต้นไม้ยืนต้น” “สนามหญ้า” และ “ทุ่งนา” โดยใช้ “พื้นดิน” เป็นตัวแปรตาม ซึ่งค่าของ ตัวแปรทุกตัวมากกว่า 0.5 ดังนั้นในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสิ่งปกคลุมดินจึงใช้ตัวแปรในกลุ่มนี้เป็นตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 4-5 ค่า Tolerance และค่า VIF ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละตัว

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Collinearity Statistics	
		Tolerance	VIF
1	พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง	.524	1.908
	พื้นที่น้ำ	.917	1.090
	ต้นไม้ยืนต้น	.799	1.252
	สนามหญ้า	.614	1.629
	ทุ่งนา	.905	1.105

a. Dependent Variable: พื้นดิน

#### 4.3.2 การสร้างสมการความถดถอย (Linear Regression)

การสร้างสมการเส้นถดถอยสามารถทำได้ในโปรแกรมทางสถิติทั่วไป ในการศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรม SPSS ในการสร้างสมการเส้นถดถอย ระหว่างอุณหภูมิและสัดส่วนสิ่งปกคลุมดิน โดยการเลือกตัวแปรอิสระ (ตารางที่ 4-4) เข้าสมการความถดถอยด้วยวิธี Stepwise ซึ่งเป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดเข้าสมการทีละตัว ภายใต้เกณฑ์ที่กำหนดระดับนัยสำคัญของสถิติทดสอบ  $F < 0.05$  จะนำตัวแปรอิสระนั้นเข้าสมการ ตารางที่ 4-6 แสดงผลลัพธ์สรุปของสมการความถดถอยที่ใช้อุณหภูมิเป็นตัวแปรตาม และมีตัวแปรอิสระดังในตาราง 4-4 สมการที่ 6 (f) ซึ่งตัวแปรอิสระทั้งหมดผ่านเกณฑ์ที่กำหนดและถูกเลือกเข้าสมการความถดถอย ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจ (R และ R Square) สูงที่สุด ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ผลลัพธ์ของสมการที่ 6 (f) โดยมีค่า R เท่ากับ 0.868 ซึ่งเข้าใกล้ 1 แสดงว่าอุณหภูมิจึงมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนสิ่งปกคลุมดินสูง ในขณะที่ R Square เท่ากับ 0.754 อธิบายได้ว่าร้อยละ 75.4 ของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เกิดจากอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนพื้นที่ของตัวแปรอิสระต่อไปนี้ “พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง” “พื้นที่น้ำ” “ต้นไม้ยืนต้น” “สนามหญ้า” “ทุ่งนา” และ “พื้นดิน” โดยที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่าอุณหภูมิจากสมการความถดถอย เท่ากับ  $0.68^{\circ}$  เซลเซียส ค่า Durbin – Watson ของสมการความถดถอยนี้เท่ากับ 1.59 ซึ่งมากกว่า 1.5 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน ซึ่งเป็นเงื่อนไขหนึ่งของการวิเคราะห์ความถดถอยที่กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระกัน

ตารางที่ 4-6 แสดงผลลัพธ์สรุปของสมการความถดถอย

Model Summary<sup>9</sup>

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics					Durbin-Watson
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change	
1	.698 <sup>a</sup>	.487	.483	.96703	.487	140.416	1	148	.000	
2	.795 <sup>b</sup>	.632	.627	.82215	.145	57.759	1	147	.000	
3	.828 <sup>c</sup>	.686	.680	.76112	.055	25.516	1	146	.000	
4	.855 <sup>d</sup>	.731	.723	.70797	.044	23.743	1	145	.000	
5	.862 <sup>e</sup>	.743	.734	.69363	.013	7.061	1	144	.009	
6	.868 <sup>f</sup>	.754	.744	.68120	.011	6.301	1	143	.013	1.590

a. Predictors: (Constant), พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง

b. Predictors: (Constant), พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง, ต้นไม้ยืนต้น

c. Predictors: (Constant), พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง, ต้นไม้ยืนต้น, พื้นที่น้ำ

d. Predictors: (Constant), พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง, ต้นไม้ยืนต้น, พื้นที่น้ำ, ทุ่งนา

e. Predictors: (Constant), พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง, ต้นไม้ยืนต้น, พื้นที่น้ำ, ทุ่งนา, สนามหญ้า

f. Predictors: (Constant), พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง, ต้นไม้ยืนต้น, พื้นที่น้ำ, ทุ่งนา, สนามหญ้า, พื้นดิน

g. Dependent Variable: อุณหภูมิ

ตารางที่ 4-7 แสดงผลลัพธ์ค่าทดสอบ F ของแต่ละสมการ ในที่นี้ ค่า Significance ของสมการความถดถอยสมการที่ 6 เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะทดสอบต่อไปว่า ตัวแปรอิสระใดบ้างที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งแสดงในตารางที่ 4-7 ประกอบด้วย ค่าคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยของสิ่งปกคลุมดินแต่ละตัวแปร โดยที่สมการความถดถอยที่ได้มีองค์ประกอบดังนี้

$$\text{อุณหภูมิ} (^{\circ}\text{เซลเซียส}) = 27 + 0.022 * \text{พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง} - 0.028 * \text{ต้นไม้ยืนต้น} - 0.053 * \text{พื้นที่น้ำ} - 0.038 * \text{ทุ่งนา} - 0.009 * \text{สนามหญ้า} + 0.016 * \text{พื้นดิน} \quad \text{สมการ 4-1}$$

โดยที่ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าคงที่ 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 โดยที่ค่า Beta เป็นค่าที่ชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ของสิ่งปลูกสร้างกับอุณหภูมิมากไปหาน้อย กล่าวคือ พื้นที่สิ่งปลูกสร้างมีค่า Beta เท่ากับ 0.404 ซึ่งสูงที่สุดจึงสรุปได้ว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้างมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิมากที่สุดในขณะที่ พื้นดิน มีค่า Beta เท่ากับ 0.109 แสดงว่าพื้นดินมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้อยที่สุด ค่า significant ของสถิติทดสอบ t ของสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิด ประกอบด้วย ค่า sig ของ “พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง” “พื้นที่น้ำ” “ต้นไม้ยืนต้น” “ทุ่งนา” เท่ากับ 0.000 “สนามหญ้า” เท่ากับ 0.006 และ “พื้นดิน” เท่ากับ 0.013 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ทั้งหมด จึงสรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์กับ “พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง” “พื้นที่น้ำ” “ต้นไม้ยืนต้น” “สนามหญ้า” “ทุ่งนา” และ “พื้นดิน” ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งสอดคล้องกับค่าสถิติทดสอบ F ในตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-7 ผลลัพธ์ค่าทดสอบ F

**ANOVA<sup>g</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	131.310	1	131.310	140.416	.000 <sup>a</sup>
	Residual	138.401	148	.935		
	Total	269.711	149			
2	Regression	170.350	2	85.175	126.013	.000 <sup>b</sup>
	Residual	99.361	147	.676		
	Total	269.711	149			
3	Regression	185.132	3	61.711	106.525	.000 <sup>c</sup>
	Residual	84.579	146	.579		
	Total	269.711	149			
4	Regression	197.033	4	49.258	98.275	.000 <sup>d</sup>
	Residual	72.678	145	.501		
	Total	269.711	149			
5	Regression	200.430	5	40.086	83.319	.000 <sup>e</sup>
	Residual	69.281	144	.481		
	Total	269.711	149			
6	Regression	203.354	6	33.892	73.038	.000 <sup>f</sup>
	Residual	66.357	143	.464		
	Total	269.711	149			

- a. Predictors: (Constant), พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง
- b. Predictors: (Constant), พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง, ต้นไม้ยืนต้น
- c. Predictors: (Constant), พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง, ต้นไม้ยืนต้น, พื้นที่น้ำ
- d. Predictors: (Constant), พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง, ต้นไม้ยืนต้น, พื้นที่น้ำ, ทุ่งนา
- e. Predictors: (Constant), พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง, ต้นไม้ยืนต้น, พื้นที่น้ำ, ทุ่งนา, สนามหญ้า
- f. Predictors: (Constant), พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง, ต้นไม้ยืนต้น, พื้นที่น้ำ, ทุ่งนา, สนามหญ้า, พื้นดิน
- g. Dependent Variable: อุณหภูมิ

ตารางที่ 4-8 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสิ่งปกคลุมดินที่ละตัวแปร

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model	Unstandardized Coefficients		Std. Error	Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
	B	Std. Error					Beta	Zero-order	Partial	Part	Tolerance
1 (Constant) พื้นที่ลุ่มลูกสร้าง	26.126	.111	.698	236.034	.000	.698	.698	.698	1.000	1.000	1.000
	.038	.003	.536	11.850	.000	.698	.630	.493	.846	1.182	1.182
	26.581	.112	-.414	238.321	.000	.698	-.531	-.380	.846	1.182	1.182
2 (Constant) พื้นที่ลุ่มลูกสร้าง ต้นไม้ยืนต้น	.029	.003	.507	9.842	.000	.698	.638	.463	.836	1.197	1.197
	-.030	.004	-.431	-7.600	.000	.698	-.577	-.396	.842	1.187	1.187
	26.715	.107	-.236	250.581	.000	.698	-.386	-.234	.987	1.013	1.013
3 (Constant) พื้นที่ลุ่มลูกสร้าง ต้นไม้ยืนต้น พื้นที่น้ำ	.028	.003	.470	10.001	.000	.698	.632	.424	.814	1.228	1.228
	-.031	.004	-.388	-8.543	.000	.698	-.559	-.350	.813	1.230	1.230
	-.049	.010	-.231	-5.051	.000	.698	-.404	-.230	.986	1.014	1.014
4 (Constant) พื้นที่ลุ่มลูกสร้าง ต้นไม้ยืนต้น พื้นที่น้ำ ทุ่งนา	26.814	.101	-.221	264.898	.000	.698	-.375	-.210	.906	1.104	1.104
	.025	.003	.377	9.832	.000	.698	.474	.273	.524	1.908	1.908
	-.028	.003	-.404	-8.115	.000	.698	-.581	-.362	.799	1.252	1.252
5 (Constant) พื้นที่ลุ่มลูกสร้าง ต้นไม้ยืนต้น พื้นที่น้ำ ทุ่งนา สนามหญ้า	-.048	.009	-.262	-5.325	.000	.698	-.444	-.251	.917	1.090	1.090
	-.040	.008	-.224	-4.873	.000	.698	-.388	-.213	.905	1.105	1.105
	27.145	.159	-.143	170.633	.000	.698	-.216	-.112	.614	1.629	1.629
6 (Constant) พื้นที่ลุ่มลูกสร้าง ต้นไม้ยืนต้น พื้นที่น้ำ ทุ่งนา สนามหญ้า พื้นที่ดิน	.020	.003	.404	6.466	.000	.698	.502	.288	.507	1.974	1.974
	-.029	.003	-.378	-8.559	.000	.698	-.554	-.330	.761	1.315	1.315
	-.054	.009	-.255	-5.945	.000	.698	-.441	-.244	.914	1.095	1.095
สนามหญ้า	-.040	.008	-.212	-5.053	.000	.698	-.374	-.200	.893	1.120	1.120
	-.009	.003	-.147	-2.657	.009	.698	-.226	-.115	.613	1.631	1.631
	27.000	.166	.109	162.166	.000	.698	.205	.104	.905	1.105	1.105
พื้นที่ลุ่มลูกสร้าง	.022	.003	.404	6.932	.000	.698	.502	.288	.507	1.974	1.974
	-.028	.003	-.378	-7.954	.000	.698	-.554	-.330	.761	1.315	1.315
	-.053	.009	-.255	-5.880	.000	.698	-.441	-.244	.914	1.095	1.095
ทุ่งนา	-.038	.008	-.212	-4.818	.000	.698	-.374	-.200	.893	1.120	1.120
	-.009	.003	-.147	-2.776	.006	.698	-.226	-.115	.613	1.631	1.631
	.016	.007	.109	2.510	.013	.698	.205	.104	.905	1.105	1.105

a. Dependent Variable: อุณหภูมิ

### 4.3.3 ตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์การถดถอย

สมการความถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ คือ

$$\text{อุณหภูมิ ( }^{\circ}\text{เซลเซียส)} = 27 + 0.022 * \text{พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง} - 0.028 * \text{ต้นไม้ยืนต้น} - 0.053 * \text{พื้นที่น้ำ} - 0.038 * \text{ทุ่งนา} - 0.009 * \text{สนามหญ้า} + 0.016 * \text{พื้นดิน} \quad \text{สมการ 4-1}$$

ซึ่งจะมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ต้องตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยของเชิงเส้น ดังนี้

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

ตารางที่ 4-8 แสดงค่าค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนในสมการนี้ = 0 ในขณะที่ค่าความคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวใกล้เคียง เส้นตรงในลักษณะที่เป็นรูปแบบเล็กน้อย คืออยู่ได้เส้นในช่วง 0.00 - 0.25 และอยู่เหนือเส้นในช่วง 0.25 - 0.75 และกลับมาอยู่ได้เส้นในช่วง 0.75-1.00 ซึ่งมีความใกล้เคียงที่จะเป็นการแจกแจงแบบปกติ (ภาพที่4-3) ในกรณีการทดสอบค่าคลาดเคลื่อนที่ต้องเป็นอิสระกัน ค่า Durbin – Watson (ตารางที่ 4-5) ของสมการความถดถอยนี้เท่ากับ 1.59 ซึ่งมากกว่า 1.5 แสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน และเงื่อนไขสุดท้าย ค่าแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องคงที่ของทุกค่าของ X ภาพที่ 4-4 แสดงการลักษณะการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อน ที่กระจายตัวอยู่โดยรอบๆ ศูนย์ จึงถือว่าค่าแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนในกรณีนี้คงที่

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสมการความถดถอยที่ได้ (สมการที่ 4-1) มีความน่าเชื่อถือได้ว่าการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินส่งผลต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิ ถึงร้อยละ 75.4 ส่วนร้อยละ 24.5 ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นผลจากปัจจัยอื่น โดยที่อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้น  $0.022^{\circ}$  เซลเซียส และ  $0.016^{\circ}$  เซลเซียส ในทุกๆ 1 % ของการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนพื้นที่พื้นที่ “พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง” และ “พื้นดิน” ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิจะลดลง 0.028, 0.053, 0.038 และ 0.009 เซลเซียส สำหรับการเพิ่มขึ้น ในทุกๆ 1 % ของสัดส่วนพื้นที่ “ต้นไม้ยืนต้น” “พื้นที่น้ำ” “ทุ่งนา” “สนามหญ้า” ตามลำดับ

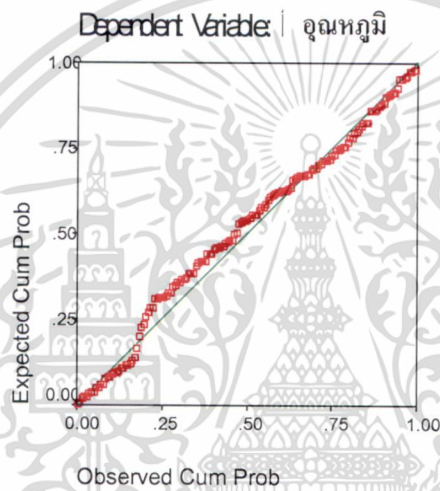
ตารางที่ 4-9 ค่าคลาดเคลื่อนของสมการ

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	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

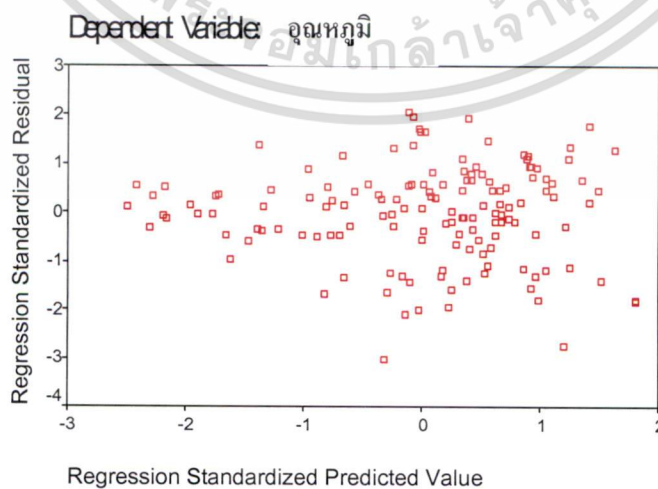
a. Dependent Variable: อุณหภูมิ

Normal P-P Plot of Regression Star



ภาพที่ 4-3 กราฟของค่าคลาดเคลื่อนเพื่อทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

Scatterplot



ภาพที่ 4-4 ลักษณะการกระจายตัวของค่าค่าแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อน

#### 4.3.4 การทดสอบความแม่นยำในการคาดการณ์ของสมการความถดถอย

เพื่อแสดงถึงความเป็นไปได้ในการนำสมการเส้นถดถอย (สมการที่ 4-1) ไปใช้ในทางปฏิบัติจริง สมการที่ได้ถูกนำไปทดสอบในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิในกรณีอื่นที่นอกเหนือจากกรณีที่ใช้ในการคำนวณหาสมการเส้นถดถอย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ปรากฏว่า อุณหภูมิที่คำนวณได้จากสมการมีทั้งค่าที่ต่ำกว่าและสูงกว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม โดยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ได้จากสมการเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม อยู่ระหว่าง  $-0.44^{\circ}$  เซลเซียส ถึง  $0.51^{\circ}$  เซลเซียส ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้จากสมการเส้นถดถอยมีความคลาดเคลื่อนจากอุณหภูมิที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม  $\pm 0.5^{\circ}$  เซลเซียส (ตารางที่ 4-10) สืบเนื่องจากการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศมีมากเพียงพอต่อการเริ่มต้นในการบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ดังนั้นจึงยอมรับผลของการศึกษาในเรื่องสภาวะอากาศที่โดยทั่วไปไม่สามารถให้ความแม่นยำได้ในระดับสูง (Carter, 2008) ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนในระดับ  $\pm 0.5^{\circ}$  เซลเซียส ของสมการที่ได้ถือได้ว่าเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานวางแผนและผัง เพื่อรักษาหรือบรรเทาผลกระทบจากสภาวะโดมแห่งความร้อนในกรุงเทพมหานคร โดยการกำหนดหรือรักษาสัดส่วนพื้นที่ธรรมชาติในพื้นที่เมืองที่ไม่ทำให้อุณหภูมิในเมืองเพิ่มสูงกว่าปกติที่ควรจะเป็น

ตารางที่ 4-10 ทดสอบค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้จากสมการ 4-1 เปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยจากภาพถ่ายดาวเทียม

ประเภทการใช้ที่ดิน	กริดที่	สัดส่วนพื้นที่สิ่งปกคลุมพื้นดินในแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน (%)				อุณหภูมิ °C			ความแตกต่าง (°C)		
		สิ่งปลูกสร้าง	ต้นไม้ยืนต้น	พื้นที่น้ำ	ทุ่งนา	สนามหญ้า	พื้นที่น้ำ	สมการ	ภาพถ่าย		
ที่อยู่อาศัย	1	8.264	0.000	0.000	0.000	28.926	4.132	26.988	26.265	0.72	-
	2	11.364	1.515	0.000	0.000	39.394	13.636	27.071	27.200	-	-0.13
	3	0.000	1.653	14.876	0.000	83.471	0.000	25.414	25.450	-	-0.04
	4	0.000	8.333	1.515	0.000	69.697	0.758	26.071	24.879	1.19	-
	5	0.694	0.000	2.083	0.000	44.444	14.583	26.738	27.529	-	-0.79
	6	4.545	0.000	0.000	0.000	72.727	6.061	26.542	26.294	0.25	-
	7	6.250	0.000	0.000	0.000	59.722	6.944	26.711	25.544	1.17	-
	8	5.303	0.000	0.000	0.000	25.758	7.576	27.006	27.418	-	-0.41
	9	60.417	0.000	0.000	0.000	11.111	4.167	28.296	28.221	0.07	-
	10	7.576	1.515	1.515	5.303	56.061	1.515	26.362	26.759	-	-0.40
พาณิชยกรรม	1	67.769	0.000	0.000	0.000	0.000	4.132	28.557	29.050	-	-0.49
	2	28.788	1.515	0.000	0.000	16.667	2.273	27.477	27.978	-	-0.50
	3	11.364	0.000	0.000	0.000	3.788	37.879	27.822	28.074	-	-0.25
	4	8.475	0.000	1.695	0.000	1.695	0.000	27.081	25.742	1.34	-
	5	6.944	0.000	0.694	0.000	0.000	0.000	27.116	26.666	0.45	-
	6	9.091	0.000	0.000	0.000	11.364	2.273	27.134	27.307	-	-0.17
	7	2.479	1.653	0.000	0.000	29.752	4.959	26.820	26.431	0.39	-
	8	20.139	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	27.443	26.625	0.82	-
	9	25.694	0.000	0.000	0.000	0.694	0.000	27.559	27.434	0.12	-
	10	62.121	0.000	0.000	0.000	3.030	0.000	28.339	28.726	-	-0.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-10 (ต่อ) ทดสอบค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้จากสมการ 4-1 เปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยจากภาพถ่ายดาวเทียม

ประเภทการใช้ที่ดิน	กริดที่	สัดส่วนพื้นที่สิ่งปกคลุมพื้นผิวในแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน (%)						อุณหภูมิ °C		ความแตกต่าง (°C)	
		สิ่งปลูกสร้าง	ต้นไม้ยืนต้น	พื้นที่น้ำ	ทุ่งนา	สนามหญ้า	พื้นที่น้ำ	สมการ	ภาพถ่าย		
อุตสาหกรรม	1	1.515	0.000	0.000	0.000	15.909	1.515	26.914	28.305	-	-1.39
	2	52.893	0.000	0.000	0.000	3.306	10.744	28.306	27.935	0.37	-
	3	0.694	0.694	0.000	0.000	67.361	4.861	26.467	26.129	0.34	-
	4	74.194	0.000	7.527	2.151	4.301	2.151	28.147	28.201	-	-0.05
	5	45.833	0.000	0.000	0.000	21.528	9.028	27.959	27.779	0.18	-
	6	6.818	3.030	0.000	0.000	54.545	7.576	26.695	25.585	1.11	-
	7	75.000	0.000	0.758	0.000	0.000	1.515	28.634	29.081	-	-0.45
	8	68.605	0.000	6.977	0.000	9.302	0.000	28.056	28.255	-	-0.20
	9	81.061	0.000	0.000	0.000	0.000	2.273	28.820	29.906	-	-1.09
	10	17.708	0.000	4.167	0.000	12.500	23.958	27.440	27.746	-	-0.31
องค์กรของรัฐ	1	30.556	0.694	0.000	0.000	36.111	4.861	27.406	27.625	-	-0.22
	2	0.694	0.000	0.000	0.000	18.056	15.972	27.108	27.118	-	-0.01
	3	8.333	0.000	18.182	0.000	0.758	17.424	26.492	26.555	-	-0.06
	4	2.479	0.000	0.006	0.000	17.355	3.306	26.951	27.544	-	-0.59
	5	32.576	0.000	0.000	0.000	34.091	6.818	27.519	27.877	-	-0.36
	6	7.576	3.030	0.000	0.000	29.545	1.515	26.840	26.707	0.13	-
	7	16.667	0.000	0.000	0.000	23.485	15.152	27.398	28.278	-	-0.88
	8	9.848	0.000	0.000	0.000	52.273	33.333	27.280	28.410	-	-1.13
	9	0.000	6.061	0.000	0.000	78.030	2.273	26.164	27.008	-	-0.84
	10	0.000	0.000	0.000	0.000	87.879	1.515	26.233	26.543	-	-0.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-10 (ต่อ) ทดสอบค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้จากสมการ 4-1 เปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยจากภาพถ่ายดาวเทียม

ประเภทการใช้ที่ดิน	กริดที่	สัดส่วนพื้นที่ที่ถึงปกคลุมพื้นผิวในแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน (%)					อุณหภูมิ °C			ความแตกต่าง (°C)	
		สิ่งปลูกสร้าง	ต้นไม้ยืนต้น	พื้นที่น้ำ	ทุ่งนา	สามหญ้า	พื้นที่น้ำ	สมการ	ภาพถ่าย		
เกษตรกรรม	1	0.694	29.167	0.000	3.472	47.222	3.472	25.697	25.615	0.08	-
	2	0.000	57.639	9.028	1.389	8.333	0.000	24.780	24.224	0.56	-
	3	0.000	22.727	8.333	0.000	30.303	0.000	25.649	24.991	0.66	-
	4	0.000	38.462	7.692	52.747	1.099	0.000	23.501	24.092	-	-0.59
	5	2.326	6.977	10.465	6.977	51.163	2.326	25.613	25.263	0.35	-
	6	0.000	46.970	0.000	8.333	43.939	0.000	24.973	24.894	0.08	-
	7	0.000	9.901	2.970	77.228	9.901	0.000	23.542	23.305	0.24	-
	8	0.000	25.000	0.000	67.424	7.576	0.000	23.670	24.040	-	-0.37
	9	0.000	25.191	0.763	71.756	2.290	0.000	23.507	23.689	-	-0.18
	10	0.000	16.049	2.469	25.926	32.099	13.580	25.363	25.545	-	-0.18
เฉลี่ย										0.51	-0.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.5 สถานการณ์ปัจจุบันของสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมพื้นผิวที่มีอิทธิพลต่อบรรยากาศของ กรุงเทพมหานคร

อิทธิพลของสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมพื้นผิวที่มีต่ออุณหภูมิ ไม่สามารถกำหนดขอบเขตของอิทธิพลได้ด้วยเขตการปกครอง ซึ่งไม่มีเขตที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตที่ชัดเจน จึงเป็นการยากที่จะแยกแยะอิทธิพลของพื้นที่ปกคลุมพื้นผิวที่อยู่นอกเขตกรุงเทพมหานคร ด้วยเหตุผลที่ว่าพื้นที่สิ่งปกคลุมพื้นผิวโดยรอบเขตกรุงเทพมหานคร ไม่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิของกรุงเทพมหานคร ดังนั้นข้อมูลสัดส่วนสิ่งปกคลุมพื้นผิวและอุณหภูมิที่ใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่กรุงเทพมหานคร จึงใช้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการสุ่มข้อมูลในกริด รวมจำนวน 150 กริด กระจายทั่วพื้นที่กรุงเทพฯ และสุ่มในจำนวนที่เท่ากันในแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน ข้อมูลสัดส่วนร้อยละของสิ่งปกคลุมพื้นที่และอุณหภูมิเฉลี่ยของกริดตัวแทนถูกนำเสนอไว้ในภาคผนวก ก

จากข้อมูลที่ได้จากตัวแทนกริดในพื้นที่กรุงเทพฯ ซึ่งได้จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ETM+ พบว่า โดยเฉลี่ยแล้วในพื้นที่กรุงเทพฯ มีสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมด้วยสิ่งปลูกสร้างร้อยละ 24.28 พื้นที่ต้นไม้ยืนต้นร้อยละ 8.01 พื้นที่ทุ่งนาร้อยละ 1.93 พื้นดินร้อยละ 5.57 พื้นที่สนามหญ้าร้อยละ 21.74 ซึ่งในที่นี้หมายรวมถึงพื้นที่ที่กว้างเปล่าที่มีหญ้าขึ้นปกคลุมด้วย และพื้นน้ำร้อยละ 1.77 โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 27.7 °เซลเซียส ซึ่งเป็นเวลาที่ Landsat 7 ETM+ บันทึกข้อมูล ณ เวลา 10.30 นาฬิกา (ตารางที่ 4-10) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ประชากรกรุงเทพฯยอมรับว่าไม่จำเป็นต้องเปิดแอร์คอนดิชันner เพื่อทำความเย็นในอาคาร ที่อยู่ในช่วง 24.0 – 26.5 °เซลเซียส สำหรับอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศ และ 23.5 - 30 °C สำหรับอาคารทั่วไป (ดูหัวข้อ 2.3) จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่า ณ เวลา 10.30 นาฬิกา บรรยากาศกรุงเทพฯในบางพื้นที่ร้อนเกินกว่าระดับที่ยอมรับว่ารู้สึกสบายสำหรับอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศอยู่ 1.2 °เซลเซียส แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ กรณีของอาคารทั่วไป หากพิจารณาในระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดใน 24 ชั่วโมงของกรุงเทพฯ พบว่าบรรยากาศในกรุงเทพฯ ร้อนที่สุดในช่วง 15 นาฬิกา โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 32.3 °เซลเซียส ซึ่งเท่ากับว่าอุณหภูมิในช่วงเวลาดังกล่าวสูงกว่าระดับอุณหภูมิที่ยอมรับว่าไม่ต้องการทำความเย็นในอาคารสำหรับอาคารทั่วไปอยู่ 2.3 °เซลเซียส (ดูหัวข้อ 4.1) ด้วยพื้นฐานของข้อมูลนี้ ประกอบกับสมการความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมพื้นผิวกับอุณหภูมิ (สมการที่ 4-1) แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการลดอุณหภูมิของกรุงเทพฯ โดยการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินที่ส่งเสริมให้อุณหภูมิของบรรยากาศในกรุงเทพฯ อยู่ในระดับที่ไม่ต้องใช้แอร์ทำความเย็นในอาคาร โดยการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ หรือพื้นที่ธรรมชาติอื่นๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์ในเชิงลบต่ออุณหภูมิ (ดูหัวข้อ 4.3.3) ซึ่งเท่ากับว่า กรุงเทพฯ ต้องการลดอุณหภูมิในช่วง 15 นาฬิกา ลง 2.3 °เซลเซียส เพื่อให้บรรยากาศมีความร้อนไม่เกิน 30°เซลเซียส

ในทางปฏิบัติการจะลดพื้นที่สิ่งปลูกสร้างโดยการรื้อถอนอาคารสิ่งปลูกสร้างออกเป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้ นอกจากนั้นพื้นที่สนามหญ้าซึ่งรวมพื้นที่ที่รกร้างว่างเปล่าที่มีต้นไม้ขึ้นปกคลุมพื้นผิว เป็นพื้นที่ที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงโดยแรงผลักดันจากความต้องการในการพัฒนาพื้นที่ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สนามหญ้าไปเป็นอาคารสิ่งปลูกสร้างได้มากกว่าการรักษาสภาพพื้นที่เดิมไว้ ซึ่งเท่ากับเป็นการส่งเสริมให้อุณหภูมิของกรุงเทพฯเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่พื้นที่ทุ่งนาที่ได้รับแรงผลักดันจากการพัฒนาที่ต้องการพื้นที่สำหรับรองรับที่อยู่อาศัย พาณิชยกรรม และอุตสาหกรรมส่งผลให้แนวโน้มของพื้นที่ทุ่งนาเป็นไปในทางลดลงมากกว่าที่จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้และพื้นที่น้ำปกคลุมพื้นผิวโดยรอบอาคารดูเป็นเรื่องที่มีความเป็นไปได้มากกว่า ในการศึกษานี้ได้แสดงทางเลือกของกำหนดสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินที่ส่งเสริมให้บรรยากาศในกรุงเทพฯ อยู่ในระดับไม่ส่งผลกระทบต่อภาวะความสบายของประชากรไว้ 10 ทางเลือก ดังตารางที่ 4-11 โดยเป้าหมายการลดอุณหภูมิเฉลี่ยของกรุงเทพฯ ณ เวลา 15.00 นาฬิกา ลง 2.3 °เซลเซียส สามารถทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ยืนต้น และ/หรือพื้นที่น้ำ เช่น หากกรุงเทพฯ มีพื้นที่ต้นไม้ยืนต้นปกคลุมร้อยละ 40 และพื้นที่น้ำร้อยละ 26 จะส่งผลให้บรรยากาศในกรุงเทพฯ โดยเฉลี่ยมีอุณหภูมิไม่เกิน 30°เซลเซียส อย่างไรก็ตามกลยุทธ์และแนวทางในการเพิ่มพื้นที่ต้นไม้ หรือ พื้นที่น้ำ เป็นรายละเอียดที่ไม่อยู่ในขอบเขตของการศึกษานี้ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องมีการศึกษา และเสนอแนะต่อไป

ตารางที่ 4-11 สัดส่วนร้อยละของพื้นที่ปกคลุมพื้นผิวในกรุงเทพมหานคร

ประเภทสิ่งปกคลุมดิน	สัดส่วนร้อยละ
สิ่งปลูกสร้าง	24.28
ต้นไม้ยืนต้น	8.01
ทุ่งนา	1.93
พื้นดิน	5.57
สนามหญ้า	21.74
พื้นน้ำ	1.77
อื่นๆ เช่น ถนน	36.71

ตารางที่ 4-12 สัดส่วนพื้นที่ปกคลุมพื้นผิวที่ส่งเสริมสภาวะความสบายของบรรยากาศในกรุงเทพมหานคร

ทางเลือก	สัดส่วนร้อยละของพื้นที่ซึ่งปกคลุมพื้นผิว		อุณหภูมิเป้าหมาย (°C)
	ต้นไม้ยืนต้น	พื้นน้ำ	
1	8	43	30
2	10	42	30
3	20	37	30
4	30	32	30
5	40	26	30
6	50	21	30
7	60	16	30
8	70	11	30
9	80	5	30
10	82	2	30

#### 4.4 ความรู้ด้านสภาพอากาศกับกระบวนการวางผังเมือง

ในขณะที่ประเด็นเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นที่สนใจอย่างกว้างขวางในสังคมทั่วไป ความพยายามในการรวมข้อมูลด้านภูมิอากาศไปสู่กระบวนการวางผังเมืองยังไม่ได้รับความสนใจจากนักผังเมืองอย่างเท่าที่ควร (Eliasson, 2000) ซึ่งมีสาเหตุจากหลายประการที่จะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไปนี้

##### 4.4.1 อุปสรรคและข้อจำกัดในการพิจารณาปัจจัยด้านภูมิอากาศในกระบวนการผังเมือง

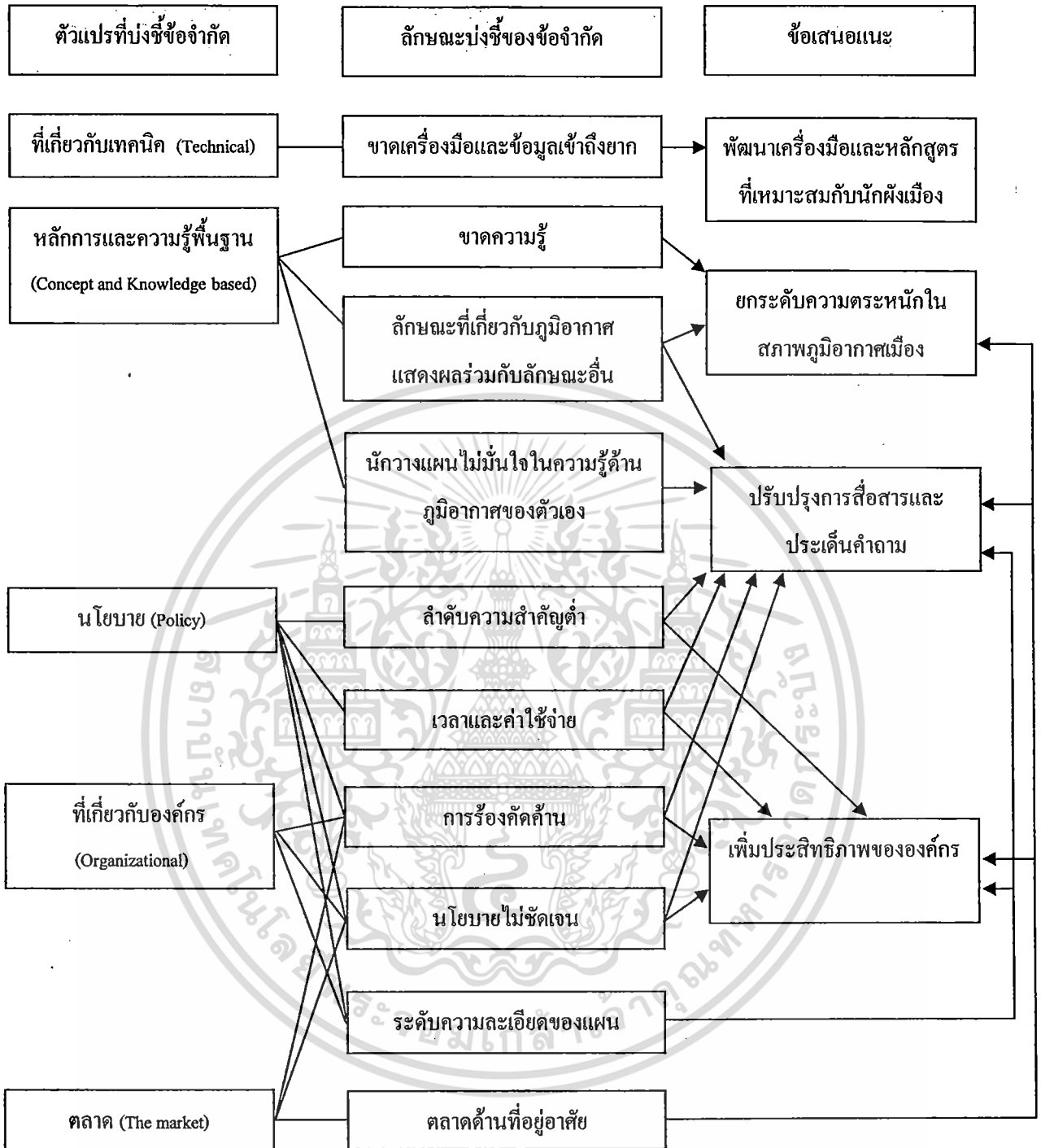
Eliasson (2000) ได้วิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นอุปสรรคในการนำผลกระทบจากภูมิอากาศไปสู่กระบวนการวางผังเมือง โดยแยกออกเป็น 7 สาเหตุหลัก ประกอบด้วย (1) ปัญหาในการสื่อสารระหว่างนักวางผัง นักลงทุนหรือนักการเมือง และในบางกรณีนักวางผังมีความรู้สึกละเลยไม่ได้รับข้อมูลที่ชัดเจนเพียงพอถึงความสำคัญของผลกระทบด้านภูมิอากาศ (2) ความขัดแย้งด้านผลประโยชน์ เช่นในหลายกรณีที่มีการดำเนินการ โครงการในพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม แม้ว่าจะมีการนำเสนอผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมด้านภูมิอากาศแล้วก็ตาม (3) ค่าใช้จ่าย ที่เพิ่มมากขึ้นสำหรับการศึกษาลักษณะภูมิอากาศ (4) การขาดความรู้เกี่ยวกับผลกระทบจากภูมิอากาศ ในกลุ่มผู้ที่เกี่ยวข้องทั้ง นักวางผัง นักลงทุน นักการเมือง และผู้ที่เกี่ยวข้อง (5) ลำดับความสำคัญของข้อมูลด้านภูมิอากาศ ในโครงการ ซึ่งโดยทั่วไปให้ความสำคัญกับข้อมูลด้านอาคาร และความปลอดภัยด้านจราจรเป็นอันดับแรก (6) ความไม่ชัดเจนของนโยบาย จากการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงนโยบายกลางบ่อย (7) เวลาที่ยืดเยื้อจากกระบวนการมีส่วนร่วมในกระบวนการวางแผนเมืองซึ่งทำให้ประเด็นด้านภูมิอากาศถูกลดความสำคัญลง

กล่าวโดยสรุป นักผังเมืองให้ความสนใจต่อการพิจารณาด้านลักษณะสภาพภูมิอากาศแต่การใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศยังไม่เป็นระบบ และในแง่ของผลกระทบที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศยังไม่วิกฤติมากพอที่จะทำให้การวางแผนเมืองต้องให้นำหนักความสำคัญในระดับสูง ซึ่งการตัดสินใจระดับความสำคัญของข้อมูลด้านภูมิอากาศที่มีระดับต่ำในกระบวนการวางแผนเมืองเป็นผลจากข้อจำกัดที่อธิบายได้ด้วยตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 5 ตัวแปร ประกอบด้วย (1) เทคนิคการใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศซึ่งปัจจุบันยากแก่การเข้าถึงข้อมูลและขาดเครื่องมือในการบันทึกและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกี่ยวข้องเนื่องจากสภาพภูมิอากาศ (2) หลักการและความรู้พื้นฐาน ปัจจุบันความรู้ด้านสภาพภูมิอากาศที่สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้ในกระบวนการวางแผนยังมีน้อย ในขณะที่ลักษณะของภูมิอากาศแสดงผลในลักษณะผสมผสานกับลักษณะอื่น ส่งผลให้นักวางแผนไม่มีความมั่นใจในความรู้ในเรื่องสภาพภูมิอากาศที่จะนำเข้าสู่กระบวนการวางแผนเมือง (3) นโยบาย ส่งผลต่อการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศ นอกจากนั้นการสืบค้นและวิเคราะห์ข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศยังเป็นการเพิ่มทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการวางแผนเมือง นอกจากนั้นอาจได้รับการคัดค้านมาตรการผังเมืองในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียซึ่งทำให้กระบวนการวางแผนเมืองต้องหยุดชะงักลง (4) เรื่องที่เกี่ยวข้องกับองค์กร ส่วนหนึ่งเชื่อมโยงกับผลจากนโยบาย การเปลี่ยนแปลงหรือการกำหนดนโยบายที่ปกติกมาจกนักการเมือง ส่งผลต่อทิศทางขององค์กรที่จะดำเนินการวางแผนเมืองให้เป็นไปตามนโยบายระดับสูง นอกจากนั้น สถานะของการวางแผนซึ่งมีการแยกระดับความละเอียดของมาตรการในแผนและผังก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้การนำตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศ ตัวแปรสุดท้าย (5) เรื่องของตลาด ซึ่งหมายถึงความต้องการในที่อยู่อาศัยที่มากขึ้นเป็นแรงบีบให้การวางแผนต้องลดระดับความเข้มข้นลง หรือแม้แต่ไม่สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศ ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการพื้นที่เพื่อการพัฒนาทั้งในด้านที่อยู่อาศัย พาณิชยกรรม หรืออื่นๆ ซึ่งการดำเนินการที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการ อาจส่งผลต่อการคัดค้านมาตรการผังเมือง ซึ่งจะนำไปสู่การหยุดชะงักของกระบวนการวางแผนในที่สุด ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวอาจปรับปรุงแก้ไขได้ด้วยการพัฒนาเครื่องมือและหลักสูตรที่เหมาะสมกับนักผังเมือง ประกอบกับต้องส่งเสริมให้มีการสร้างความตระหนักถึงผลกระทบของสภาพภูมิอากาศ ที่ซึ่งจะส่งผลต่อเมืองและผู้คนที่อาศัยอยู่ในเมืองต่อไป ซึ่งการจะทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องและคนทั่วไปเข้าใจถึงความสำคัญในลักษณะสภาพภูมิอากาศจำเป็นต้องมีการสื่อสารที่เหมาะสม และประเด็นโต้แย้งที่ชี้ถึงความสำคัญของข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศต่อการวางแผนเมืองอย่างชัดเจนกับผู้รับข้อมูลในแต่ละกลุ่ม และประเด็นสุดท้ายที่จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงคือ องค์กรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวางแผนเมืองต้องมีความชัดเจนในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นโยบายและมีความเป็นอิสระในการวางแผนและผัง จึงจะทำให้การดำเนินงานวางผังเมืองที่ตอบสนองต่อสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ดูรายละเอียดการเชื่อมโยงปัจจัยในภาพที่ 4-5)

ผลจากการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการกับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการวางผังเมืองของประเทศไทย ทั้งจากกรมโยธาธิการและผังเมือง และสำนักผังเมืองกรุงเทพมหานคร พบว่าการดำเนินการวางผังเมืองเป็นการดำเนินการตามหลักการวางผังเมือง ภายใต้พระราชบัญญัติการผังเมือง พ.ศ. 2518 ซึ่งกำหนดขั้นตอนการดำเนินการไว้ทั้งหมด 18 ขั้นตอน (ภาคผนวก ข) ซึ่งไม่ปรากฏว่ามีขั้นตอนใดที่ระบุถึงการนำปัจจัยทางด้านภูมิอากาศประกอบการพิจารณาในกระบวนการวางผังเมือง จึงกล่าวได้ว่าการวางผังเมืองที่ผ่านมาไม่มีการนำเอาปัจจัยทางด้านภูมิอากาศมาร่วมพิจารณาในกระบวนการดำเนินการวางผังเมือง อย่างไรก็ตาม มีความพยายามของเจ้าหน้าที่ที่พยายามนำข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศมาพิจารณาร่วมกับปัจจัยอื่นๆ ในกระบวนการวางผังเมือง แต่ก็มีข้อจำกัดหลายประการที่ทำให้การวางผังเมืองไม่ได้ให้ความสำคัญต่อปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ เช่น ด้านเทคนิคในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลด้านภูมิอากาศ นอกจากนั้นลักษณะข้อมูลด้านภูมิอากาศไม่มีความสอดคล้องกับลักษณะข้อมูลสำหรับการวางผังเมือง ทั้งนี้เนื่องจากความขาดแคลนจุดตรวจวัดข้อมูลในตำแหน่งที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศ ประกอบกับข้อมูลด้านภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและยังขึ้นอยู่กับอิทธิพลของลักษณะกายภาพโดยรอบสถานีตรวจวัด รวมถึงการขาดความรู้ด้านภูมิอากาศของเจ้าหน้าที่ และนโยบายระดับบริหารที่เชื่อมโยงกับกระแสการพัฒนาที่ต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างอาคารสิ่งปลูกสร้างมากกว่าความพยายามรักษาไว้ซึ่งพื้นที่ที่เป็นธรรมชาติ ซึ่งข้อจำกัดในการนำข้อมูลด้านภูมิอากาศไปสู่การวางผังเมืองของประเทศไทยมีลักษณะที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ของ Eliasson (2000) ดังที่ได้กล่าวมาในเบื้องต้น



ภาพที่ 4-5 แผนภาพแสดงการเชื่อมโยงปัจจัยข้อจำกัดของการนำข้อมูลด้านภูมิอากาศไปสู่กระบวนการวางผังเมือง (ที่มา Eliasson, 2000)

#### 4.4.2 ความจำเป็นของปัจจัยด้านภูมิอากาศในการวางผังเมือง

ปรากฏการณ์ที่อากาศในเมืองร้อนกว่าในชนบทเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป (Oke, 1987) นำไปสู่การศึกษามากมายที่มุ่งเน้นการศึกษา เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิในเมืองแสดงค่าที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในชนบท ซึ่งเรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า เกาะแห่งความร้อน (Urban Heat Island) แม้ว่าจะมีข้อบังคับทางกฎหมายควบคุมระดับมลพิษในเมือง แต่ไม่มีข้อกฎหมายใดที่สามารถให้ความมั่นใจได้ว่าคุณภาพอากาศจะดี เช่นกรณีการควบคุมมลพิษในเมืองที่สามารถควบคุมไม่ให้ค่ามลพิษเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ได้ แต่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพอากาศไม่ให้ต่ำจนกระทบต่อการดำเนินชีวิตของประชากรในเมืองได้ ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่สูงเกินปกติและอากาศไม่สามารถถูกระบายออกจากเมืองได้อย่างสะดวก ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของประชากร สภาวะความสบาย รวมถึงสุขภาพของผู้ที่อาศัยในเมือง แม้ว่าปรากฏการณ์เกาะแห่งความร้อนจะเป็นที่ยอมรับว่าเป็นลักษณะของสภาพภูมิอากาศในเมืองที่ผิดปกติและส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตของผู้ที่อาศัยในเมือง แต่ยังมี การนำความรู้ดังกล่าวมาประกอบการดำเนินการวางผังเมืองยังน้อยมาก (Eliasson, 2000; Mills, 2006) ดังนั้นเพื่อที่จะส่งเสริมและรักษาคุณภาพที่ดีของอากาศในเมือง แนวทางการปฏิบัติด้านภูมิอากาศสำหรับการวางผังเมืองจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการวางผังเมืองของแต่ละเมืองซึ่งมีลักษณะสภาพอากาศเฉพาะพื้นที่

ข้อมูลอุณหภูมิและการระบายอากาศในเมืองเป็นปัจจัยด้านภูมิอากาศที่สำคัญสำหรับกระบวนการวางผังเมืองที่ต้องการรักษาคุณภาพอากาศในเมือง เช่น Alcoforado (2008) ได้เสนอแนวทางการการปฏิบัติด้านภูมิอากาศสำหรับการวางผังเมือง กรณีเมืองลิสบอน ประเทศโปรตุเกส โดยที่มีวัตถุประสงค์หลักที่การบรรเทาปัญหาด้านอากาศในเมืองสองเรื่อง คือ การลดภาวะเกาะแห่งความร้อนและการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในเมือง ภาวะเกาะแห่งความร้อนเพิ่มระดับความไม่สบายและก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพของผู้ที่อาศัยในเมืองลิสบอน โดยยึดหลักการพัฒนาที่ไม่ควรปิดกั้นการระบายอากาศในพื้นที่ เนื่องจากการระบายอากาศที่ไม่ดีส่งผลให้คุณภาพอากาศในเมืองต่ำ แนวทางการปฏิบัติด้านภูมิอากาศสำหรับการวางผังเมือง มีรายละเอียดที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมของพื้นที่ ซึ่งแบ่งพื้นที่ออกเป็น 6 บริเวณและในแต่ละบริเวณ ประกอบด้วยมาตรการดังต่อไปนี้

- 1) พื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูง ของที่ราบด้านใต้ของเมืองลิสบอน เป็นศูนย์กลางเมืองเก่า มีที่โล่งน้อยมาก ประกอบด้วยมาตรการดังนี้ (i) หลีกเลี่ยงการเพิ่มความหนาแน่นของอาคารในพื้นที่ โดยไม่มีการศึกษาผลกระทบของเรื่องการระบายอากาศในพื้นที่ (ii) รักษาอัตราส่วนของความสูงอาคารต่อความกว้างของถนน ที่ระดับต่ำกว่า 1 (iii) เพิ่มพื้นที่พื้นผิวด้วยพืชให้มากที่สุด รวมถึงพื้นที่บนหลังคา เช่น การจัด

สวนหลังคา (Green roof Gardens) (iv) เปลี่ยนสีอาคารให้เป็นสีอ่อนเมื่อมีการทาสีใหม่ และการเปลี่ยนวัสดุอาคารด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติการดูดซับความร้อนต่ำ

2) พื้นที่ที่มีความหนาแน่นต่ำถึงปานกลาง ของที่ราบด้านใต้ของเมืองลิสบอน มีมาตรการดังต่อไปนี้ (i) จำกัดปริมาณการพัฒนาในพื้นที่ (ii) รักษาอัตราส่วนของความสูงอาคารต่อความกว้างของถนน ที่ระดับต่ำกว่า (iii) สร้างสวนสาธารณะขนาดกลางในพื้นที่

3) พื้นที่ที่มีความหนาแน่นต่ำถึงปานกลาง ของที่ราบด้านเหนือของเมืองลิสบอน เป็นพื้นที่รับลมของเมือง มาตรการมีดังต่อไปนี้ (i) อัตราส่วนของความสูงอาคารต่อความกว้างของถนนควรมีระดับต่ำกว่า 1 เสมอ (ii) ส่งเสริมพื้นที่โล่งริมถนนและพื้นที่ระหว่างย่านกิจกรรมเพื่อให้เกิดการไหลเวียนของลมที่ดี (iii) สร้างสวนสาธารณะขนาดใหญ่ใกล้กับพื้นที่พัฒนาใหม่ทั้ง 4 ด้าน

4) พื้นที่ริมน้ำ ที่ซึ่งมีความหนาแน่นของอาคารค่อนข้างสูงอยู่แล้ว ดังนั้นจึงควรรักษาพื้นที่ไว้สำหรับเป็นเส้นทางลมไหลเวียนของกระแสลมระหว่างพื้นที่เมืองกับลมที่พัดพาบริเวณปากแม่น้ำ

5) ร่องระบายลม พิจารณาจากลักษณะกายภาพของเมืองที่เป็นร่องหุบเขาในแนวเหนือ-ใต้ ร่วมกับพื้นที่ที่มีความหนาแน่นอาคารระดับต่ำ และอยู่ในทิศทางแนวเหนือ-ใต้ มีมาตรการประกอบด้วย (i) ห้ามก่อสร้างอาคารสูง โดยเฉพาะอาคารที่วางตัวในเหนือ-ใต้ หรือยกเว้น ได้ในกรณีที่มีการศึกษาผลกระทบของอาคารต่อการไหลเวียนของอากาศด้านใต้ลมภายหลังจากที่มีการก่อสร้างอาคารแล้ว (ii) การปลูกต้นไม้ต้องไม่หนาแน่นจนเป็นสิ่งที่กำบังลม

6) พื้นที่สวนสาธารณะ มาตรการมีดังต่อไปนี้ (i) รักษาพื้นที่สวนสาธารณะเดิม (ii) สร้างสวนสาธารณะใหม่ในทุกพื้นที่ที่สามารถทำได้ (iii) สวนสาธารณะใหม่ควรมีความหลากหลายของพันธุ์ไม้ (iv) ปลูกต้นไม้ให้มีความหนาแน่นมากเพื่อเป็นแนวกำบังลมในบริเวณด้านรับลมของสวนสาธารณะ

สำหรับกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นเมืองในระดับมหานครมีผู้อยู่อาศัยอยู่จำนวนมาก การรักษาคุณภาพอากาศให้มีคุณภาพที่ดีเป็นสิ่งจำเป็น ดังนั้นแนวทางการปฏิบัติด้านภูมิอากาศสำหรับการวางผังเมืองของกรุงเทพมหานครเป็นสิ่งจำเป็นที่ผู้ที่เกี่ยวข้องควรให้ความสนใจและกำหนดแนวทางดังกล่าวเพื่อส่งเสริมคุณภาพอากาศที่ดีของเมือง ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตการดำเนินงานในการศึกษานี้

## บทที่ 5

### บทสรุป

กรุงเทพมหานครเป็นเมืองศูนย์กลางการพัฒนาในด้านต่างๆ ของประเทศไทย ประกอบด้วยศูนย์กลางทางด้านการบริหารราชการ การเงินการคลัง การค้าพาณิชย์ การศึกษา สุขภาพ ฯลฯ ส่งผลให้มีปริมาณประชากรอาศัยในพื้นที่กรุงเทพมหานครจำนวนมาก มีความหนาแน่นสูง พื้นที่ธรรมชาติถูกทดแทนด้วยอาคารสิ่งปลูกสร้าง เพื่อสนองความต้องการในการพัฒนาเพื่อการอยู่อาศัย และการพาณิชย์อย่างรวดเร็ว และต่อเนื่อง ทำให้พื้นที่เมืองขยายตัวออกไปสู่ชานเมืองอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะพื้นที่ริมเส้นทางคมนาคมขนส่ง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของพื้นที่อาคารสิ่งปลูกสร้างในเมืองและที่ขยายตัวออกไปสู่ชานเมือง เป็นสาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในเมืองที่ร้อนกว่าพื้นที่ชนบทโดยรอบ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาวะความสบายของประชากรที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานคร และมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นในตัวอาคารในกรุงเทพมหานครในที่สุด รายละเอียดดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3 ในการศึกษาวิจัยได้มุ่งเน้นที่คำตอบใน 4 ประเด็น ดังที่ได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 1.2 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 5.1 สภาพปัจจุบันของสภาวะความร้อนกับสภาวะความสบายในกรุงเทพมหานคร

จากข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี สภาวะความร้อนของบรรยากาศในช่วง 24 ชั่วโมง ของกรุงเทพมหานครอยู่ระหว่าง  $26.3^{\circ} - 32.3^{\circ}$  เซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงอุณหภูมิที่ประชากรในกรุงเทพฯ รู้สึกว่าเป็นบรรยากาศที่ไม่รู้สึกว่าร้อนจนต้องการแอร์คอนดิชันสำหรับทำความเย็นในอาคารอยู่ในช่วง  $24.0^{\circ} - 26.5^{\circ}$  เซลเซียส (Busch, 1995 อ้างถึงใน Evans, 2003) แสดงให้เห็นถึงสภาวะของบรรยากาศในกรุงเทพฯ ที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะความสบายของประชากรเกือบตลอด 24 ชั่วโมง หากพิจารณาสถานการณ์ความร้อนเป็นรายเดือน จะพบว่าในช่วงฤดูร้อน โดยเฉพาะในเดือนเมษายน ประชากรได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศร้อนมากที่สุด ซึ่งในช่วงเวลาตลอดทั้งวันของเดือนนี้ อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน ในช่วง  $28.0^{\circ} - 34.0^{\circ}$  เซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในเดือนนี้สูงกว่าระดับอุณหภูมิที่ประชากรยอมรับว่าเป็นช่วงอุณหภูมิที่สบายถึง  $2^{\circ}$  เซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดสูงกว่าระดับอุณหภูมิที่สบายถึง  $8^{\circ}$  เซลเซียส หากพิจารณาเปรียบเทียบกับช่วงฤดูหนาว ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง  $23.5^{\circ} - 31.2^{\circ}$  เซลเซียส กรุงเทพฯ ในช่วงเวลานี้เป็นช่วงเวลาที่มึบรรยากาศที่สบายมากที่สุด อย่างไรก็ตามในช่วงเวลากลางวัน อากาศก็ยิ่งร้อนเกินกว่าระดับการยอมรับความสบายของคนกรุงเทพฯ

อย่างไรก็ตามระดับสภาวะความสบายของคนที่มีต่อระดับความร้อนในบรรยากาศ ไม่ได้พิจารณาจากอุณหภูมิเพียงปัจจัยเดียว หากแต่ความรู้สึกร้อนหรือเย็นที่แท้จริงของมนุษย์ต้องพิจารณาจากปัจจัยของอุณหภูมิร่วมกับระดับความชื้นในบรรยากาศ ซึ่งเรียกว่า ดัชนีความร้อน (Heat Index) รายละเอียดได้นำเสนอในหัวข้อ 3.1 ผลจากการคำนวณโดยใช้สมการ 3-1 แสดงให้เห็นว่าสภาวะบรรยากาศในกรุงเทพฯ ตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมง มีดัชนีความร้อนอยู่ในระดับร้อนถึง 48.3 % ในขณะที่ 45.1 % อยู่ในระดับอบอุ่น และมีเพียง 6.6 % หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง โดยเฉลี่ยในทุกๆ วัน บรรยากาศในกรุงเทพฯ อยู่ในระดับร้อนยาวนานถึง 12 ชั่วโมง โดยเฉพาะในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งมีผลต่อสุขภาพของประชากรในกรุงเทพฯ ที่อาจเป็นลมหมดสติได้ในทุกเวลา โดยเฉพาะกับเด็กและคนชราที่มีโอกาสได้รับผลกระทบมากที่สุด ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืนบรรยากาศในกรุงเทพฯ อยู่ในระดับอบอุ่นอีก 10 ชั่วโมง ซึ่งมีผลทำให้เหนื่อยง่าย แต่อย่างไรก็ตามเป็นช่วงเวลากลางคืนซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประชากรในด้านที่ทำให้นอนไม่สนิทมากกว่าในกรณีที่ไม่ได้ใช้แอร์คอนดิชัน และที่เหลืออีกเพียงแค่ 2 ชั่วโมง ในเวลาเช้านี้ที่บรรยากาศของกรุงเทพฯ อยู่ในระดับเย็นสบาย หากพิจารณารายเดือนจะพบว่า เดือนเมษายนซึ่งเป็นเดือนที่ร้อนที่สุดในรอบปีบรรยากาศของกรุงเทพฯ ในเดือนนี้อยู่ในระดับร้อนเกือบตลอด 24 ชั่วโมง มีเพียง 2 ชั่วโมงในเวลา 6.00-7.00 นาฬิกา เท่านั้นที่มีค่าดัชนีความร้อนอยู่ในระดับอบอุ่น จะเห็นว่าในประชากรกรุงเทพฯ ได้รับผลกระทบจากสภาวะความไม่สบายของบรรยากาศตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนที่มีผลกระทบมากที่สุดเกือบตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าบรรยากาศของกรุงเทพฯ มีความจำเป็นเร่งด่วนที่ต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไข หรือไม่ทำให้แย่ไปกว่านี้

## 5.2 อิทธิพลของวัตถุปกคลุมพื้นผิวเมืองที่อาจมีผลต่อการลดอุณหภูมิในเมือง

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า ชนิด รูปแบบของสิ่งปกคลุมพื้นผิว และลักษณะการใช้ที่ดินมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเมือง แต่ขาดแคลนข้อมูลในเชิงปริมาณของอิทธิพลของสิ่งปกคลุมพื้นผิวที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จากความสัมพันธ์ของสิ่งปกคลุมพื้นผิวกับอุณหภูมิที่ได้จากสมการ 4-1 แสดงให้เห็นว่า สิ่งปกคลุมพื้นผิวประเภทอาคารสิ่งปลูกสร้าง และพื้นดิน มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือ หากพื้นที่อาคารสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น อุณหภูมิก็จะเพิ่มสูงขึ้นตาม ในขณะที่สิ่งปกคลุมพื้นผิวประเภทพื้นที่ธรรมชาติ ประกอบด้วย ต้นไม้ยืนต้น สนามหญ้า พุ่มนา และพื้นน้ำ มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยที่ความน่าเชื่อถือของความสัมพันธ์ดังกล่าว สูงถึงร้อยละ 75.4 ซึ่งการเพิ่มพื้นที่สิ่งปลูกสร้างร้อยละ 1 จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $0.022^{\circ}$  เซลเซียส ในขณะที่การเพิ่มพื้นที่ดินร้อยละ 1 จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น  $0.016^{\circ}$  เซลเซียส ในทางตรงกันข้ามหากการเพิ่มขึ้นในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุกๆ 1% ของสัดส่วนพื้นที่ต้นไม้ยืนต้น พื้นที่น้ำ พื้นที่ทุ่งนา และพื้นที่สนามหญ้า จะทำให้อุณหภูมิลดลง 0.028, 0.053, 0.038, และ 0.009 ° เซลเซียส ตามลำดับ

### 5.3 เสนอแนะประเภทและ สัดส่วนสิ่งปกคลุมพื้นผิว ที่เหมาะสมสำหรับผังเมืองกรุงเทพฯ

จากความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งปกคลุมพื้นผิวกับอุณหภูมิ ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวในเชิงปริมาณ โดยสมการเส้นถดถอย (สมการ 4-1) แสดงให้เห็นถึงประเภทและสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมพื้นผิวที่จะทำให้บรรยากาศของกรุงเทพฯ อยู่ในระดับที่ยอมรับว่าไม่กระทบต่อความรู้สึกว่าร้อนจนต้องการการทำความเย็นในอาคาร จากสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมพื้นที่ในปัจจุบันพบว่ากรุงเทพฯ ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่ของพื้นที่ต้นไม้ร้อยละ 8.01 และพื้นที่น้ำร้อยละ 1.77 ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดใน 24 ชั่วโมงเท่ากับ 32.3 ° เซลเซียส ซึ่งสูงกว่าระดับอุณหภูมิที่ประชากรกรุงเทพฯ รู้สึกว่าสบายสำหรับอาคารทั่วไป 2.3 ° เซลเซียส ซึ่งการลดอุณหภูมิในบรรยากาศ โดยการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินที่ส่งเสริมให้อากาศเย็น เช่น พื้นที่ต้นไม้ และพื้นที่น้ำ เป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้ จากสมการที่ค้นพบในการศึกษานี้ แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการลดลงของอุณหภูมิ 0.028 และ 0.053 ° เซลเซียส ในทุกๆ ร้อยละ 1 ของการเพิ่มสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินประเภทต้นไม้และพื้นที่น้ำตามลำดับ จากข้อเท็จจริงที่ค้นพบนี้สามารถเสนอแนะสัดส่วนพื้นที่ปกคลุมดินของกรุงเทพฯ ที่จะทำให้บรรยากาศของกรุงเทพฯ ในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุดใน 24 ชั่วโมง โดยเฉลี่ยไม่เกิน 30 ° เซลเซียส โดยการกำหนดสัดส่วนพื้นที่ต้นไม้และพื้นที่น้ำให้เพียงพอตั้งเช่นทางเลือกที่ได้นำเสนอในตารางที่ 4-11 อย่างไรก็ตามแนวทางและกลยุทธ์ในการเพิ่มพื้นที่ดังกล่าวให้ได้สัดส่วนตามที่ต้องการสำหรับเมืองที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่นกรุงเทพฯ เป็นประเด็นที่ต้องทำการศึกษาต่อไปซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของการศึกษานี้

### 5.4 ปัจจัยที่เป็นอุปสรรคในการวางผังเมืองที่ลดปัญหาสภาพภูมิอากาศในเมือง

กลยุทธ์หนึ่งการกำหนดสัดส่วนพื้นที่สิ่งปกคลุมดินให้ส่งเสริมต่อสภาพบรรยากาศที่เย็นสบาย ไม่ก่อให้เกิดความร้อนในเมืองจนกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองคือการวางผังเมืองที่ได้คำนึงถึงการรักษาไว้ หรือการกำหนดให้มีซึ่งสัดส่วนของพื้นที่ธรรมชาติ เช่น พื้นที่ต้นไม้ หรือ พื้นที่น้ำที่เพียงพอสำหรับการส่งเสริมให้บรรยากาศมีความเย็นสบายตลอด 24 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามจากการทบทวนรายงานการศึกษา พบว่านักผังเมืองให้ความสนใจต่อการพิจารณาด้านลักษณะสภาพภูมิอากาศแต่การใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศยังไม่เป็นระบบ ประกอบกับผลกระทบที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศมีลักษณะแบบค่อย

เป็นค้อยไปไม่ใช้การเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน จึงทำให้นักผังเมืองต้องให้นำหนักความสำคัญต่อปัจจัยด้าน  
ภูมิอากาศในกระบวนการวางผังเมืองในระดับต่ำ ซึ่งการตัดสินใจระดับความสำคัญของข้อมูลด้านภูมิอากาศที่  
มีระดับต่ำในกระบวนการวางผังเมืองเป็นผลจากข้อจำกัดที่อธิบายได้ด้วยตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 5 ตัวแปร  
ประกอบด้วย (1) เทคนิคการใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศซึ่งปัจจุบันยากแก่การเข้าถึงข้อมูลและขาดเครื่องมือ  
ในการบันทึกและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกี่ยวข้องเนื่องจากสภาพภูมิอากาศ (2) หลักการและความรู้พื้นฐาน  
ปัจจุบันความรู้ด้านสภาพภูมิอากาศที่สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้ในกระบวนการวางผังยังมีน้อย (3)  
นโยบาย ส่งผลต่อการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศ (4) เรื่องที่เกี่ยวข้องกับองค์กร  
ส่วนหนึ่งเชื่อมโยงกับผลจากนโยบาย และ (5) เรื่องของตลาด ซึ่งหมายถึงความต้องการในที่อยู่อาศัยที่มาก  
ขึ้นเป็นแรงบีบให้การวางผังต้องลดระดับความเข้มข้นลง (รายละเอียดได้นำเสนอในหัวข้อ 4.4)

จากข้อเท็จจริงของผลกระทบที่มีต่อประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองที่ต้องเผชิญกับสภาวะความร้อนที่  
ผิดปกติในเมือง แม้ว่าจะสามารถออกกฎหมายข้อบังคับทางกฎหมายเพื่อควบคุมระดับมลพิษในเมือง แต่การ  
ควบคุมคุณภาพอากาศไม่ให้ต่ำจนกระทบต่อการดำเนินชีวิตของประชากรในเมืองเป็นสิ่งที่เกินกว่าข้อบังคับ  
จะสามารถควบคุมได้ร้อยเปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนที่สูงเกินปกติและอากาศไม่สามารถถูกระบาย  
ออกจากเมืองได้อย่างสะดวก ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของประชากร สภาวะความสบาย รวมถึงสุขภาพของ  
ผู้ที่อาศัยในเมือง แม้ว่าปรากฏการณ์เกาะแห่งความร้อนจะเป็นที่ยอมรับว่าเป็นลักษณะของสภาพภูมิอากาศ  
ในเมืองที่ผิดปกติและส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตของผู้ที่อาศัยในเมือง แต่ยังมี การนำความรู้ดังกล่าวมา  
ประกอบการดำเนินการวางผังเมืองยังมีน้อยมาก ดังนั้นเพื่อที่จะส่งเสริมและรักษาคุณภาพที่ดีของอากาศใน  
เมือง แนวทางการปฏิบัติด้านภูมิอากาศสำหรับการวางผังเมืองจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการวางผัง  
เมืองของแต่ละเมืองซึ่งมีลักษณะสภาพอากาศเฉพาะพื้นที่

## เอกสารอ้างอิง

- กัลยา วาณิชย์บัญชา. (2546) *การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล*, ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรุงเทพมหานคร. 2552. *ประชากรและลักษณะสังคมเศรษฐกิจ*. ข้อมูลจากเว็บไซต์ <http://203.155.220.118/info/NowBMA/frame.asp> เข้าถึงข้อมูลเมื่อวันที่ 5 พฤศจิกายน 2552.
- สเปซ อิมเมจจิง เซาธ์อีส เอเชีย และคณะ. (2547) *Space View แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง IKONOS กรุงเทพมหานคร*. บริษัท สเปซ อิมเมจจิง เซาธ์อีสเอเชีย จำกัด.
- วรรณรินทร์ พัฒนะอนเนก. 2543. *วิวัฒนาการชุมชนและการผังเมือง*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต.
- Akbari, H., Davis, S., Dorsano, S., Huang, J. & Winett, S. (1992) *Cooling our Communities - A Guidebook on Tree Planting and Lighting Colored Surfacing*, US Environmental Protection Agency. Office of Policy Analysis, Climate Chang Division.
- Akbari, H., Bretz, S., Kurn, D. M. & Hanford, J. (1997a) Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. *Energy and Buildings*, 25, 117-126.
- Akbari, H. & Konopacki, S. (2004) Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada. *Energy*, 29, 191-210.
- Ahmed, K. S. (2003) Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments. *Energy and Buildings*, 35, 103-110.
- Asaeda, T., CA, V. T. & Wake, A. (1996) Heat storage of pavement and its effect on the lower atmosphere. *Atmospheric Environment*, 30, 413-427.
- Askew, M. (2002). *Bangkok. place, practice and representation*. London and New York: Routledge.
- Alcoforado, M.J., Andrade, H., Lopes, A., Vasconcelos, J. (2008) Application of climatic guidelines to urban planning The example of Lisbon (Portugal). *Landscape and Urban Planning*, 90, 56-65
- Bangkok Metropolitan Administration (2007) *The Action Plan for Reduction of Global Warming Problem 2007-2012* (Thai). Bangkok Metropolitan Administration, Bangkok, Thailand.

- Bello, W., Cunningham, S., & Li Kheng Poh. (1998). *A Siamese tragedy, development and disintegration in modern Thailand*. London: Zed Books.
- Blakely, E.J. (2007). *Urban Planning for Climate Change*. Lincoln Institute of Land Policy Working Paper no. WP07EB1.
- Bongsadatt, M. (1973) *The analysis of Bangkok and Thonburi transportation*. Bangkok: Theera Press.
- Busch, J. F. (1995) Thermal comfort in Thai Air-Conditioned and Naturally ventilated Offices. In Nichol, F., Humpherys, M., Skyes, O. & Roaf, S. (Eds.) *Standard for Thermal Comfort, Indoor Temperatures for the 21th Century*. London, E&FN Spon.
- 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.
- Carlson, T. (2003) Applications of remote sensing to urban problems. *Remote Sensing of Environment*, 86, 273-274.
- Cater, Rebecca. (2008) *Land Use and the Changing Climate of the West*, Lincoln Institute of Land Policy Working Paper. Lincoln Institute of Land Policy.
- Chandoevit, W. (2003). *Labor Market Issues in Thailand*. Thailand Development Research Institute.
- Cristo, R. D., Mazarella, A. & Viola, R. (2007) An analysis of heat index over Naples (Southern Italy) in the context of European heat wave of 2003. *Nat Hazards*, 40, 373-379.
- Darling, F.C. (1965). *Thailand and the United States*. Washington DC: Public Affairs Press.
- Delworth, T. L., Mahiman, J. D. & Knutson, T. R. (1999) Changes in heat Index Associated with CO<sub>2</sub>-Induced Global Warming. *Climatic Change*, 43, 369-386.
- Donner, W. (1978). *The five faces of Thailand. An economic geography*. Queensland: University of Queensland Press.
- Eliasson, I. (1996) Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment*, 30, 379-392.
- Eliasson, I. (2000) The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and urban planning*, Vol. 48, pp. 31-44.

- Estes, M. G., Gorsevski, V., Russell, C., Quattrochi, D. & Luvall, J. (1999) the Urban Heat Island Phenomenon and Potential Mitigation Strategies. *1999 National Planning Conference Approaching The Millennium*. Seattle.
- Evans, J. M. (2003) Evaluating comfort with varying temperatures: a graphic design tool. *Energy and Buildings*, 35, 87-93.
- Geis, D. (2000) By Design: The disaster resistant and quality of life community, *Natural Hazards Review*, vol. 1, 151-161.
- Ingram, J.C. (1971). *Economic change in Thailand 1850-1970*. Standford: Stanford University Press.
- Interscience. 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.
- Jonsson, P. (2004) Vegetation as an urban climate control in the subtropical city of Gaborone, Botswana. *International Journal of Climatology*, 24, 1307-1322.
- Juan, P. M., Antonio Rodríguez, Juan I. Jiménez (2000) A study of the Urban Heat Island of Granada. *International Journal of Climatology*, 20, 899-911.
- Kaothien, U. (1995) The Bangkok metropolitan region: Policies and issues in the Seventh plan. In T.G. Kawashima, S., Ishida, T., Minomura, M. & Miwa, T. (2000) Relations between surface temperature and air temperature on a local scale during winter nights. *Journal of Applied Meteorology*, 39, 1570-1579.
- Karyono, T. H. (1995) Higher PMV causes higher energy consumption in air conditioned buildings: a case study in Jakarta, Indonesia. In Nichol, F.,
- Kato, S. & Yamagushi, Y. (2005) Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM+ Data: Separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux. *Remote Sensing of Environment*, 99, 44-54.
- Keyes, C. (1987). *Thailand. buddhist kingdom as modern nation-state*. Boulder: Westview Press.

- 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.
- Lee, H.-Y. (1993) An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of urban heat islands. *Atmospheric Environment*, 27B, 1-13.
- Li, F., Jackson, T. J., Kustas, W. P., Schmugge, T. J., French, A. N., Cosh, M. H. & Bindlish, R. (2004) Deriving land surface temperature from Landsat 5 and 7 during SMEX02/SMACEX. *Remote Sensing of Environment 2002 Soil Moisture Experiment (SMEX02)*, 92, 521-534.
- Liang, S. (2004) *Quantitative remote sensing of land surface*, New Jersey, Wiley - Interscience.
- Markham, B. L. & Barker, J. L. (1986) Landsat MSS and TM Post-calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectance and At-satellite Temperatures. EOSAT Landsat Data Users Notes, 4300 Forbes Boulevard, Lanham, MD 20706, USA.
- Majumdar, M. (2004) Energy efficiency in green building - An integrated approach to building design. *Green Business Directory*. New Delhi, Confederation of Indian Industries.
- McGee and I.M. Robinson (Eds.). *The mega-urban regions of Southeast Asia*. Vancouver: UBC Press.
- McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., Scott, K. I. & Xiao, Q. (2000) Tree guidelines for Coastal Southern California Communities. In Davis, D. (Ed.) *Excusive Summary*. US Environmental Protection Agency. Excusive Summary.
- Mills, G., (2006) Progress towards sustainable settlements: a role for urban climatology. *Theor. Appl. Climatol.* 84 (1-3), 69-76, doi: 10.1007/s00704-005-0145-0.
- Montavez, J. P., Rodriguez, A. & Jimenez, J. I. (2000) A study of the Urban Heat Island of Granada. *International Journal of Climatology*, 20, 899-911.
- Moran, M. S., Jackson, R. D., Slater, P. N. & Teillet, P. M. (1992) Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote Sensing of Environment*, 41, 169-184.
- Muscat, R.J. (1990) *Thailand and the United States. Development, security and foreign aid*. New York:

- Columbia University Press.
- NASA (undated) Level 1G Product. *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. National Aeronautics and Space Administration (NASA).
- Nichol, J. (2003) GIS and remote sensing in urban heat islands in the Third World. In Mesev, V. (Ed.) *REMOTELY SENSED CITIES*. London and New York, Taylor & Francis.
- Nichol, J. (2005) Remote sensing of urban heat islands by day and night. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71, 613-621.
- Nikorn, M., (2010) *Ground and satellite-based Measurement of Bangkok Intra-urban Temperature Dynamics in Relation to Human Comfort and Energy Demand* (Ph.D. Thesis). School of Civil Engineering and Geosciences, Faculty of Sciences, Agriculture and Engineering, Newcastle University, United Kingdom.
- Nims, C. (1963) *City planning in Thailand*. Bangkok: Ministry of Interior.
- NOAA'S National Weather Service (2006) *Heat Index*. KY, USA, Weather Forecast Office.
- Nophakhun, K. (1993) Out of the stranglehold. In D. Chotana, & P. Janviroj (Eds.), *Thailand 2010. Which way do we grow?*. Bangkok: The Nation Publishing Group.
- Oke, T. R. (1981) Canyon geometry and the nocturnal urban heat-island - Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1, 237-&.
- 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.
- Phongpaichit, P. (1980) *Economic and social transformation in Thailand 1957-1973*. Bangkok: Social Research Institute, Chulalongkorn University.
- Phongpaichit, P., and Baker, C. (1995). *Thailand. economy and society*. Kuala Lumpur: Oxford University

Press.

- Porphant, O. (1994) *Bangkok and Thai economic development: Aspects of change, 1820-1970*. (Doctoral dissertation, University of New England, 1994). New South Wales: University of New England.
- Rosenfeld, A. H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B. L., Kurn, D. M., Sailor, D. & Taha, H. (1995) Mitigation of Urban Heat Islands - Materials, Utility Programs, Updates. *Energy and Buildings*, 22, 255-265.
- Rothfuzs, L. P. (1990) The heat index equation (or, more than you ever wanted to know about heat index). Fort Worth, TX. National Weather Service Southern Region Technical Attachment, SR/SSD 90-23
- 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.
- Stemers, K. (2003a) Cities, energy and comfort: a PLEA 2000 review. *Energy and Buildings*, 35, 1-2.
- Stemers, K. (2003b) Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and Buildings*, 35, 3-14.
- Sternstein, L. (1976) *Thailand. The environment of modernization*. Sydney: McGraw Hill.
- Sugita, M. & Brutsaert, W. (1993) Comparison of Land-Surface Temperatures Derived from Satellite-Observations with Ground Truth During Fife. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1659-1676.
- 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.
- Tereshchenko, I. E. & Filonov, A. E. (2001) Air temperature fluctuations in Guadalajara, Mexico, from 1926 to 1994 in relation to urban growth. *International Journal of Climatology*, 21, 483-494.

- Unger, J., Sumeghy, Z. & Zoboki, J. (2001a) Temperature cross-section features in an urban area. *Atmospheric Research*, 58, 117-127.
- Unger, J., Sumeghy, Z., Gulyas, A., Bottyan, Z. & Mucsi, L. (2001b) Land-use and meteorological aspects of the urban heat island. *Meteorological Applications*, 8, 189-194.
- Voogt, J. A. & Oke, T. R. (2003) Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384.
- Wakins, R. (1999) *The impact of the urban environment on the energy demand for cooling buildings*. 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.
- Wong, N. H., Cheong, D.K.W., Yan, H., Soh, J., Ong, C.L. & Sia, A. (2003) The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. *Energy and Buildings*, 35, 353-364.
- Yague, C., Zurita, E. & Martinez, A. (1991) Statistical-analysis of the Madrid urban heat-island. *Atmospheric Environment Part B-Urban Atmosphere*, 25, 327-332.

ภาคผนวก ก.

ตารางแสดงข้อมูลสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ในแต่ละประเภทการใช้ที่ดินและอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละกริด

ประเภทการใช้ ที่ดิน	กริด	สัดส่วนร้อยละของพื้นที่							รวม	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)
		สิ่งปลูก สร้าง	ต้นไม้ ยืนต้น	ทุ่งนา	พื้นดิน	สนาม หญ้า	พืชน้ำ	ถนน		
ที่อยู่อาศัย	1	61.36	0.00	0.00	1.52	0.76	3.79	32.58	100	27.9
	2	52.27	0.00	0.00	1.52	6.06	0.00	40.15	100	28.7
	3	28.10	0.00	0.00	6.61	31.40	0.00	33.88	100	28.2
	4	10.61	2.27	0.00	12.12	49.24	0.00	25.76	100	27.3
	5	30.16	0.00	0.00	15.87	26.19	0.00	27.78	100	28.7
	6	62.20	0.00	0.79	3.15	5.51	0.00	28.35	100	28.7
	7	6.06	6.06	0.00	8.33	27.27	0.00	52.27	100	26.9
	8	9.72	0.00	0.00	9.72	13.89	0.00	66.67	100	27.6
	9	32.64	0.00	0.00	0.00	21.53	0.00	45.83	100	28.0
	10	10.42	17.36	0.00	2.78	59.03	0.00	10.42	100	26.4
	11	55.56	0.00	0.00	2.08	20.14	0.00	22.22	100	28.8
	12	0.00	6.25	0.00	0.00	75.69	0.00	18.06	100	26.3
	13	7.58	20.45	0.00	0.00	56.82	0.00	15.15	100	26.2
	14	19.70	8.33	0.00	0.00	63.64	0.00	8.33	100	26.8
	15	52.07	0.83	0.00	2.48	11.57	0.00	33.06	100	28.9
	16	21.97	6.82	0.00	6.06	30.30	0.00	34.85	100	27.3
	17	78.47	0.00	0.00	0.00	1.39	0.00	20.14	100	29.9
	18	6.61	0.00	0.00	14.05	28.93	0.00	50.41	100	27.4
	19	33.06	0.00	0.00	0.83	18.18	0.00	47.93	100	28.2
	20	51.24	0.00	0.00	0.00	1.65	0.00	47.11	100	28.7
	21	53.79	0.00	0.00	6.06	0.00	0.00	40.15	100	28.6
	22	52.07	0.00	0.00	0.83	14.88	0.00	32.23	100	28.2
	23	20.80	0.00	0.00	12.80	4.00	16.00	46.40	100	27.0
	24	0.00	0.00	0.00	14.58	71.53	0.00	13.89	100	26.8
	25	0.00	0.00	0.00	38.02	20.66	0.00	41.32	100	27.4
	26	16.67	0.00	0.00	26.52	40.91	0.00	15.91	100	27.7
	27	3.31	0.00	0.00	25.62	36.36	0.00	34.71	100	27.4
	28	4.55	0.00	0.00	24.24	51.52	0.00	19.70	100	27.1
	29	41.67	0.00	0.00	15.91	0.76	0.00	41.67	100	27.3
	30	0.00	0.76	0.00	10.61	56.82	0.00	31.82	100	26.6

ตาราง (ต่อ) แสดงข้อมูลสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ในแต่ละประเภทการใช้ที่ดินและอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละกริด

ประเภทการใช้ ที่ดิน	กริด	สัดส่วนร้อยละของพื้นที่							รวม	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)
		สิ่งปลูก สร้าง	ต้นไม้ ยืนต้น	ทุ่งนา	พื้นดิน	สนาม หญ้า	พื้นน้ำ	ถนน		
พณิชยกรรม	1	51.52	0.00	0.00	2.27	8.33	0.00	37.88	100	28.9
	2	15.70	0.00	0.00	0.00	11.57	0.00	72.73	100	26.3
	3	7.58	0.00	0.00	0.00	0.00	41.67	50.76	100	24.9
	4	36.81	0.00	0.00	0.00	4.17	0.00	59.03	100	27.4
	5	57.58	0.00	0.00	1.52	1.52	0.00	39.39	100	27.5
	6	77.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.22	100	28.8
	7	24.79	0.00	0.00	0.00	1.65	0.83	72.73	100	26.5
	8	6.82	0.00	0.00	0.00	1.52	2.27	89.39	100	25.6
	9	8.33	0.00	0.00	2.27	4.55	2.27	82.58	100	26.8
	10	41.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	58.68	100	27.8
	11	15.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.72	100	26.3
	12	38.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.98	100	27.8
	13	33.33	0.00	0.00	0.76	0.00	0.00	65.91	100	28.0
	14	47.93	0.00	0.00	1.65	2.48	0.00	47.93	100	27.3
	15	23.48	0.00	0.00	4.55	6.06	0.00	65.91	100	28.1
	16	28.47	0.00	0.00	2.08	13.19	0.00	56.25	100	27.3
	17	2.27	1.52	0.00	0.00	9.85	0.00	86.36	100	25.9
	18	23.48	0.00	0.00	6.82	13.64	0.00	56.06	100	28.8
	19	54.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.83	100	28.8
	20	22.92	0.00	0.00	1.39	4.17	0.00	71.53	100	27.9
	21	15.70	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	83.47	100	27.3
	22	0.76	0.00	0.00	4.55	37.88	0.00	56.82	100	27.7
	23	27.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72.22	100	27.2
	24	21.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.79	100	27.4
	25	69.70	0.00	0.00	0.76	3.79	0.00	25.76	100	29.4
	26	34.85	0.00	0.00	3.79	13.64	0.00	47.73	100	28.1
	27	51.52	0.00	0.00	0.76	0.76	0.00	46.97	100	28.6
	28	37.12	0.00	0.00	2.27	4.55	0.00	56.06	100	27.9
	29	40.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.85	100	28.2
	30	23.48	0.76	0.00	14.39	30.30	0.00	31.06	100	28.0

ตาราง (ต่อ) แสดงข้อมูลสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ในแต่ละประเภทการใช้ที่ดินและอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละกริด

ประเภทการใช้ ที่ดิน	กริด	สัดส่วนร้อยละของพื้นที่							รวม	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)
		สิ่งปลูก สร้าง	ต้นไม้ ยืนต้น	ทุ่งนา	พื้นดิน	สนาม หญ้า	พื้นน้ำ	ถนน		
อุตสาหกรรม	1	0.00	0.00	0.00	0.00	4.13	0.00	95.87	100	28.3
	2	6.82	0.00	0.00	0.76	0.76	0.00	91.67	100	27.7
	3	2.08	0.69	0.00	0.00	7.64	0.00	89.58	100	27.9
	4	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.91	34.09	100	26.4
	5	40.15	0.00	0.00	0.00	1.52	0.76	57.58	100	27.7
	6	82.64	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	16.67	100	27.9
	7	31.25	0.00	0.00	0.00	3.47	0.00	65.28	100	27.7
	8	31.82	1.52	0.00	3.03	21.97	0.00	41.67	100	27.0
	9	0.00	63.19	1.39	0.00	22.22	0.00	13.19	100	25.2
	10	45.83	0.00	0.00	9.03	21.53	0.00	23.61	100	27.8
	11	6.06	2.27	0.00	5.30	46.21	0.00	40.15	100	26.7
	12	36.36	0.00	0.00	5.30	21.21	0.00	37.12	100	26.9
	13	3.31	11.57	0.00	1.65	78.51	0.00	4.96	100	24.9
	14	97.92	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	1.39	100	27.9
	15	50.76	0.00	0.00	28.79	9.09	0.00	11.36	100	27.7
	16	0.00	34.71	20.66	0.00	24.79	9.92	9.92	100	24.4
	17	97.73	0.00	0.00	0.76	0.00	0.00	1.52	100	27.9
	18	48.76	0.00	0.00	13.22	9.92	0.00	28.10	100	27.0
	19	6.82	3.03	0.00	7.58	54.55	0.00	28.03	100	25.6
	20	74.24	0.00	0.00	9.85	0.00	0.00	15.91	100	29.1
	21	60.33	0.00	0.00	12.40	7.44	0.00	19.83	100	28.3
	22	75.00	0.00	0.00	1.52	0.00	0.76	22.73	100	29.1
	23	84.03	0.00	0.00	6.94	0.00	0.00	9.03	100	29.8
	24	63.64	0.00	0.00	7.58	7.58	0.00	21.21	100	26.6
	25	6.92	0.00	0.00	3.85	42.31	1.54	45.38	100	26.6
	26	64.58	0.00	0.00	4.86	0.00	0.00	30.56	100	29.2
	27	59.85	0.00	0.00	3.03	10.61	0.00	26.52	100	28.7
	28	38.60	0.00	0.00	18.42	16.67	3.51	22.81	100	28.1
	29	1.52	0.00	0.00	1.52	15.91	0.00	81.06	100	28.3
	30	57.58	1.52	0.76	3.79	15.15	0.00	21.21	100	27.1

ตาราง (ต่อ) แสดงข้อมูลสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ในแต่ละประเภทการใช้ที่ดินและอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละกริด

ประเภทการใช้ที่ดิน	กริด	สัดส่วนร้อยละของพื้นที่							รวม	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
		สิ่งปลูกสร้าง	ต้นไม้ยืนต้น	ทุ่งนา	พื้นดิน	สนามหญ้า	พื้นน้ำ	ถนน		
สถานที่ราชการ	1	31.94	0.00	0.00	0.00	0.00	27.78	40.28	100	25.9
	2	16.67	0.00	0.00	7.58	0.00	29.55	46.21	100	26.1
	3	18.06	0.00	0.00	1.39	0.00	45.14	35.42	100	25.3
	4	30.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.70	100	26.8
	5	0.00	0.00	0.00	2.48	34.71	0.00	62.81	100	25.9
	6	0.00	0.00	0.00	0.76	37.88	0.00	61.36	100	24.6
	7	37.12	0.00	0.00	0.00	5.30	0.00	57.58	100	27.8
	8	40.15	0.00	0.00	3.79	4.55	0.00	51.52	100	28.0
	9	14.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.95	100	26.0
	10	24.79	0.00	0.00	2.48	22.31	0.00	50.41	100	26.9
	11	1.39	0.00	0.00	0.00	16.67	0.00	81.94	100	25.5
	12	14.88	0.00	0.00	5.79	38.84	0.00	40.50	100	28.2
	13	59.85	0.00	0.00	2.27	0.00	0.00	37.88	100	28.6
	14	16.53	0.00	0.00	7.44	16.53	0.00	59.50	100	27.2
	15	6.82	0.00	0.00	39.39	8.33	0.00	45.45	100	27.2
	16	7.58	0.00	0.00	0.00	11.36	0.00	81.06	100	27.4
	17	23.48	0.00	0.00	12.88	19.70	0.00	43.94	100	27.5
	18	16.67	0.00	0.00	6.06	46.97	0.00	30.30	100	26.7
	19	4.86	0.69	0.00	10.42	39.58	0.00	44.44	100	27.3
	20	8.33	0.76	0.00	17.42	47.73	0.00	25.76	100	28.2
	21	30.58	0.00	0.00	0.00	3.31	0.00	66.12	100	28.2
	22	1.52	0.00	0.00	25.76	50.76	0.00	21.97	100	28.2
	23	0.00	5.79	0.00	10.74	45.45	9.09	28.93	100	25.8
	24	2.48	8.26	0.00	0.83	82.64	0.00	5.79	100	26.4
	25	0.76	12.88	2.27	0.00	75.00	0.00	9.09	100	26.5
	26	64.58	0.00	0.00	4.86	0.00	0.00	30.56	100	29.2
	27	59.85	0.00	0.00	3.03	10.61	0.00	26.52	100	28.7
	28	0.00	23.48	9.85	0.76	64.39	0.00	1.52	100	25.2
	29	1.52	0.00	0.00	1.52	15.91	0.00	81.06	100	28.3
	30	21.80	0.00	0.00	7.52	18.80	3.01	48.87	100	27.1

ตาราง (ต่อ) แสดงข้อมูลสัดส่วนร้อยละของพื้นที่ในแต่ละประเภทการใช้ที่ดินและอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละกริด

ประเภทการใช้ ที่ดิน	กริด	สัดส่วนร้อยละของพื้นที่							รวม	อุณหภูมิ เฉลี่ย (°C)
		สิ่งปลูก สร้าง	ต้นไม้ยืนต้น	ทุ่ง นา	พื้นดิน	สนามหญ้า	พื้น น้ำ	ถนน		
เกษตรกรรม	1	11.11	12.50	0.00	1.39	47.22	0.00	27.78	100	26.9
	2	9.09	55.30	0.00	2.27	18.94	0.00	14.39	100	25.8
	3	20.45	0.00	0.00	26.52	13.64	0.00	39.39	100	27.6
	4	11.57	17.36	4.96	3.31	42.98	0.00	19.83	100	27.0
	5	0.00	93.06	0.69	0.00	6.25	0.00	0.00	100	24.1
	6	30.30	8.33	0.00	13.64	28.03	0.00	19.70	100	27.1
	7	0.00	34.03	0.00	2.08	52.78	0.00	11.11	100	25.4
	8	0.00	78.79	9.09	0.00	12.12	0.00	0.00	100	24.6
	9	0.00	63.19	1.39	0.00	22.22	0.00	13.19	100	25.2
	10	0.00	78.03	5.30	0.00	16.67	0.00	0.00	100	24.8
	11	0.00	76.86	7.44	0.00	13.22	0.00	2.48	100	24.4
	12	0.00	35.61	2.27	0.76	33.33	6.06	21.97	100	24.9
	13	3.47	45.83	2.08	1.39	32.64	0.00	14.58	100	25.2
	14	0.76	75.00	0.76	0.00	19.70	0.00	3.79	100	24.8
	15	1.39	24.31	0.69	7.64	50.69	0.00	15.28	100	25.7
	16	0.00	34.71	20.66	0.00	24.79	9.92	9.92	100	24.4
	17	0.00	9.09	0.76	63.64	13.64	0.00	12.88	100	27.1
	18	0.00	12.12	6.82	18.18	27.27	19.70	15.91	100	26.3
	19	0.00	22.73	23.48	0.76	43.94	0.00	9.09	100	24.8
	20	0.00	4.86	66.67	0.00	21.53	0.00	6.94	100	24.2
	21	0.00	44.44	13.19	7.64	28.47	0.00	6.25	100	24.5
	22	0.69	0.00	0.69	0.69	81.94	0.00	15.97	100	25.4
	23	0.76	10.61	40.91	0.00	33.33	0.76	13.64	100	24.8
	24	8.33	6.06	0.00	18.18	52.27	0.00	15.15	100	26.0
	25	0.00	27.27	9.85	4.55	53.03	0.00	5.30	100	25.6
	26	0.00	0.76	1.52	10.61	81.82	0.00	5.30	100	26.7
	27	0.00	13.19	0.00	3.47	40.28	9.03	34.03	100	25.5
	28	0.00	23.48	9.85	0.76	64.39	0.00	1.52	100	25.2
	29	0.00	1.52	0.00	8.33	86.36	0.00	3.79	100	26.1
	30	0.00	51.24	24.79	1.65	15.70	5.79	0.83	100	24.6
เฉลี่ย		24.28	8.01	1.93	5.57	21.74	1.77	36.71	100	27.0

## ภาคผนวก ข.

### ขั้นตอนการวางและจัดทำผังเมืองรวม/ชุมชนตามพระราชบัญญัติการผังเมืองพ.ศ.2518

มี 18 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ตำรวจ กำหนดเขตผัง
2. วิเคราะห์ วางผังร่าง ปรีกษาส่วนผังเมืองและส่วนวิเคราะห์
3. ประชุมพิจารณาผังร่าง
  - 3.1 ประชุมคณะกรรมการพิจารณาด้านผังเมือง (กรมฯ)
  - 3.2 ประชุมคณะอนุกรรมการผังเมืองพิจารณาประสานงานวางและจัดทำผังเมืองรวม (อนุฯ ประสาน)
4. ประชุมรับฟังความคิดเห็นของประชาชน
  - 4.1 ประชุมคณะที่ปรึกษาผังเมืองรวม (ทปษ.)
  - 4.2 ประชุมประชาชน
5. ประชุมคณะกรรมการผังเมือง (พิจารณาร่างผังเมืองรวม)
  - 5.1 ประชุมคณะอนุกรรมการผังเมืองพิจารณางานวางและจัดทำผังเมืองรวม (อนุฯ วางผัง)
  - 5.2 ประชุมคณะกรรมการผังเมือง
6. ปิดประกาศพร้อมกำหนด 90 วัน
7. รวบรวม ตรวจสอบ พิจารณาคำร้อง และแจ้งผลการพิจารณาคำร้องต่อผู้ร้อง
  - 7.1 ประชุมคณะที่ปรึกษาผังเมืองรวม (ทปษ.)
  - 7.2 ประชุมคณะกรรมการพิจารณาด้านผังเมือง (กรมฯ)
  - 7.3 ประชุมคณะอนุกรรมการผังเมืองพิจารณาคำร้องของผู้มีส่วนได้เสียที่ร้องขอแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงหรือยกเลิกข้อกำหนดเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ที่ดินของผังเมือง (อนุฯ คำร้อง)
  - 7.4 ประชุมคณะกรรมการผังเมือง
  - 7.5 แจ้งผลการพิจารณาคำร้องต่อผู้ร้อง
8. จัดทำเอกสารเสนอกระทรวงมหาดไทย
9. เสนอคณะกรรมการร่างกฎหมายของกระทรวงมหาดไทย
  - 9.1 ประชุมคณะกรรมการร่างกฎหมายมหาดไทย
  - 9.2 ประชุมกระทรวงมหาดไทย
10. เสนอคณะรัฐมนตรีพิจารณารับหลักการ

11. คณะรัฐมนตรีพิจารณาเห็นชอบ และส่งให้สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา
12. สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกาตรวจพิจารณา
13. สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกานัดประชุมหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
14. กรมฯ จัดทำร่างกฎกระทรวงที่สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกาตรวจแล้ว
15. สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกาส่งให้กระทรวงมหาดไทย
16. เสนอกระทรวงฯ ให้รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยลงนาม
17. กรมฯ จัดพิมพ์แผนที่และแผนผัง
18. ส่งกฎกระทรวงไปประกาศราชกิจจานุเบกษา

