



รายงานฉบับสมบูรณ์
(Final Report)

โครงการ

“การพัฒนาดัชนีความร้อนและการประยุกต์ใช้ศึกษาค้นความร้อนในประเทศไทย”

โดย

กลุ่มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ
ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

กันยายน 2558

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญรูป	(4)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษาวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	2
1.4 สมมุติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 การทบทวนเอกสารงานวิจัย	6
2.1 คลื่นความร้อน	6
2.2 Heat Index ที่ใช้ติดตามและศึกษาคลื่นความร้อน	7
2.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคลื่นความร้อน	9
2.4 ผลกระทบของคลื่นความร้อน	14
2.5 ปัญหาสุขภาพที่สัมพันธ์กับความร้อน	16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 กรอบแนวคิดและขอบเขตของการศึกษา	27
3.1 กรอบแนวคิดและขอบเขตของการศึกษา	27
3.2 ประเภทและแหล่งข้อมูลที่ใช้	30
3.3 การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล	35
3.4 ดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ	37
3.5 วิธีการและเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล	37
3.6 กรอบแนวคิดและวิธีการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน	41
3.7 วิธีเก็บข้อมูลปฐมภูมิในพื้นที่นำร่อง	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	44
4.1 ผลการตรวจสอบและปรับแก้ลักษณะเอกพันธ์ของข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย	44
4.2 การคัดเลือกและพัฒนาดัชนีความร้อนสำหรับประเทศไทย	49
4.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์และ HI ในประเทศไทย	58
4.4 ลักษณะความแปรปรวนร่วมเชิงพื้นที่และเวลาของ HI ในประเทศไทยจากการวิเคราะห์ EOF และความสัมพันธ์กับดัชนี MEI	69
4.5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบต่างๆ	72
4.6 การเปลี่ยนแปลงของดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทยและความสัมพันธ์กับ HI	79
4.7 การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน	83
4.8 ผลกระทบของอุณหภูมิความร้อนต่อสุขภาพ สภาพแวดล้อมของประชาชนในพื้นที่ศึกษา (จ.ภูเก็ต)	110
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผล	121
5.1 การตรวจสอบและปรับแก้ลักษณะเอกพันธ์ของข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย	121
5.2 การคัดเลือกและพัฒนาดัชนีความร้อนสำหรับประเทศไทย	121
5.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์และ HI ในประเทศไทย	122
5.4 ลักษณะความแปรปรวนร่วมเชิงพื้นที่และเวลาของ HI ในประเทศไทยจากการวิเคราะห์ EOF และความสัมพันธ์กับดัชนี MEI	123
5.5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI	123
5.6 การเปลี่ยนแปลงของดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทยและความสัมพันธ์กับ HI	124
5.7 การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน	125
5.8 ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชน (Heat-Health Early Warning System)	126
5.9 ผลกระทบของอุณหภูมิความร้อนต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อมของประชาชน	126
5.10 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคตและการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์เชิงนโยบาย	127
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 2	
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างดัชนีความร้อนที่ใช้ติดตามและศึกษาคลิ้นความร้อนในพื้นที่ต่างๆ	8
ตารางที่ 2.2 คลิ้นความร้อนที่เกิดขึ้นในภูมิภาคต่างๆ ของโลกที่บันทึกในฐานข้อมูล EM-DAT ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2000-2007	10
บทที่ 3	
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ	37
บทที่ 4	
ตารางที่ 4.1 กระบอบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อร่างกายมนุษย์ของค่า HI ในช่วงต่างๆ	53
ตารางที่ 4.2 สรุปช่วงและค่าเฉลี่ยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง รวมทั้งจำนวนสถานที่ที่เพิ่มขึ้น และลดลงอย่างมีนัยสำคัญของอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์และ HI ในแต่ละเดือน ตามรายสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิวทั่วทุกภาคของประเทศไทย	67
ตารางที่ 4.3 สถานีตรวจวัดอุณหภูมิมหาวิทยาลัย 50 สถานี	85
ตารางที่ 4.4 ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อร่างกายมนุษย์ของค่าดัชนีความร้อนในช่วงต่างๆ	92
ตารางที่ 4.5 การตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 20 สถานี ในจังหวัดภูเก็ต	97
ตารางที่ 4.6 การจัดเตรียม Format ข้อมูล	107
ตารางที่ 4.7 สรุปข้อมูลย้อนหลัง 4 ปี (พ.ศ. 2554-2557) เกี่ยวกับโรคที่เกี่ยวข้องกับความร้อน จากข้อมูลสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ (สปสช.)	110
ตารางที่ 4.8 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามข้อมูลทั่วไป	112
ตารางที่ 4.9 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามข้อมูลด้านสุขภาพ	114
ตารางที่ 4.10 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมทั่วไป ของครัวเรือน	116
ตารางที่ 4.11 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามข้อมูลด้านอุณหภูมิความร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	120

สารบัญรูป

	หน้า
บทที่ 1	
รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดในภาพรวมและขั้นตอน/กิจกรรมหลักการศึกษาของโครงการวิจัย	4
บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 จำนวนการเกิดเหตุการณ์คลื่นความร้อนรวมรายปีของโลกที่บันทึกในฐานข้อมูล Emergency Events Database (EM-DAT)	12
รูปที่ 2.2 ลักษณะของคลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2003 ด้วยค่าผิดปกติ ของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมจากค่าเฉลี่ยในช่วงปี ค.ศ. 1961-1990	13
รูปที่ 2.3 การแจกแจงความถี่ของอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงฤดูร้อนระหว่างปี ค.ศ. 1864-2003 ในประเทศสวีตเซอร์แลนด์	13
รูปที่ 2.4 จำนวนผู้เสียชีวิตรวมรายปีของโลกจากเหตุการณ์คลื่นความร้อนที่บันทึกในฐานข้อมูล Emergency Events Database (EM-DAT)	15
รูปที่ 2.5 ความเสียหายรวมรายปีที่ของโลกที่เกิดจากเหตุการณ์คลื่นความร้อนที่บันทึกในฐานข้อมูล Emergency Events Database (EM-DAT)	15
รูปที่ 2.6 อัตราผู้ป่วยในจากอากาศร้อนต่อ 100,000 คน ปี พ.ศ. 2550-2555	21
รูปที่ 2.7 อัตราผู้ป่วยในจากอากาศร้อนต่อ 100,000 คน จำแนกตามรหัส ICD-10 ปี พ.ศ. 2550-2555	21
รูปที่ 2.8 อัตราผู้ป่วยนอกจากอากาศร้อนต่อ 100,000 คน ปี พ.ศ. 2553-2555	22
รูปที่ 2.9 อัตราผู้ป่วยนอกจากอากาศร้อน จำแนกรายจังหวัดสูงสุด 10 อันดับแรก ปี พ.ศ. 2553	22
รูปที่ 2.10 อัตราผู้ป่วยนอกจากอากาศร้อน จำแนกรายจังหวัดสูงสุด 10 อันดับแรก ปี พ.ศ. 2554	23
รูปที่ 2.11 อัตราผู้ป่วยนอกจากอากาศร้อน จำแนกรายจังหวัดสูงสุด 10 อันดับแรก ปี พ.ศ. 2555	23
รูปที่ 2.12 จำนวนผู้เจ็บป่วยจากการสัมผัสอากาศร้อน จำแนกตามกลุ่มอายุระหว่าง ปี พ.ศ.2546-2555	24
บทที่ 3	
รูปที่ 3.1 กรอบแนวคิดและองค์ประกอบหลักๆ ของโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาดัชนีความร้อน และการประยุกต์ใช้ศึกษาค้นคว้าในประเทศไทย	29
รูปที่ 3.2 ขอบเขตการศึกษาและขั้นตอนดำเนินงานหลักๆ ของโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาดัชนี ความร้อนและการประยุกต์ใช้ศึกษาค้นคว้าในประเทศไทย	29
รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงที่ตั้งของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศผิวพื้น และที่ตั้งเครื่อง Weather Station	31
รูปที่ 3.4 เครื่อง Weather Station	31
รูปที่ 3.5 สถานีติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบจังหวัดภูเก็ต	32

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.6 data logger บันทึกข้อมูล	33
รูปที่ 3.7 แสดงโดเมนของข้อมูล Sea-level pressure (P), Zonal wind component (U), Meridional wind component (V), Sea surface temperature (S), Near-surface temperature (A) และ Cloudiness fraction of the sky (C) ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิกที่ใช้คำนวณดัชนี MEI	33
รูปที่ 3.8 ผลการทดสอบเอกพันธ์ของอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยที่เฉลี่ยทุกสถานีในประเทศไทย ด้วยเทคนิค Penalized maximal T และ F Tests	36
รูปที่ 3.9 แสดงสมการถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย ซึ่งถูกคัดเลือกเพื่อลดความแตกต่าง (residual; e) ระหว่างเส้นตรงและจุดข้อมูล ทั้งนี้ OLS regression เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ผลรวมของ squared ของเส้นแนวตั้งระหว่างเส้นตรงและจุดของข้อมูล	40
รูปที่ 3.10 กรอบแนวคิดและวิธีการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน/ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อน	42
รูปที่ 3.11 แบบสอบถามเพื่อการวิจัย	43
บทที่ 4	
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยที่สถานีนครสวรรค์และจันทบุรี ก่อนและหลังข้อมูล ได้ปรับแก้ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูลจากการรัน R-based source code ด้วยฟังก์ชัน FindU ซึ่งเป็นการทดสอบ type-1 changepoint ในอนุกรมข้อมูลรายเดือนด้วย the penalized maximal F (PMF) test และปรับแก้ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูลด้วย multiphase regression model และ quantile-matching (QM) algorithm	46
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบเอกพันธ์ของอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนที่เฉลี่ยจาก 72 สถานีทั่วประเทศไทย หลังจากข้อมูลได้ปรับแก้ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูลด้วยเทคนิค multiphase regression model และ quantile-matching (QM) algorithm	47
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบอนุกรมข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่สถานีเกษตรตากฟ้าและหนองคาย ก่อนและหลังข้อมูลได้ปรับแก้ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ด้วยเทคนิค Penalized maximal F/t Test และ multiphase regression model และ quantile-matching (QM) algorithm โดยใช้สถานีใกล้เคียงที่ข้อมูลมีลักษณะเอกพันธ์ เป็นสถานีอ้างอิงในการปรับแก้	48
รูปที่ 4.4 Histogram ของข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของทุกสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิวของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศไทยที่ข้อมูลได้ตรวจวัดและเก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่อง ในห้วงเวลา 1970-2014	52

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 Histogram ของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายวันของทุกสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิวของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศที่ข้อมูลได้ตรวจวัดและเก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่องในห้วงเวลา 1970-2014	52
รูปที่ 4.6 HI Chart สำหรับช่วงของอุณหภูมิตั้งแต่ 26-43 oC และความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 40-100%	53
รูปที่ 4.7 Relative frequency histogram ของค่า HI ที่คำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตรวจวัดรายวันของสถานีผิวพื้นของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 69 สถานี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013	54
รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว (1970-2013) รายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของประเทศไทยที่คำนวณจาก 65 สถานี ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 เส้นปะสีแดงแสดงระดับ Extreme caution (32.2 °C)	54
รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว (1970-2013) รายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของภาคกลางที่คำนวณจาก 65 สถานี ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 เส้นปะสีแดง แสดงระดับ Extreme caution (32.2 °C)	55
รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว (1970-2013) รายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่คำนวณจาก 65 สถานี ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 เส้นปะสีแดง แสดงระดับ Extreme caution (32.2 °C)	55
รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว (1970-2013) รายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของภาคเหนือที่คำนวณจาก 65 สถานี ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 เส้นปะสีแดง แสดงระดับ Extreme caution (32.2 °C)	56
รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว (1970-2013) รายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่คำนวณจาก 65 สถานี ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 เส้นปะสีแดง แสดงระดับ Extreme caution (32.2 °C)	56
รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว (1970-2013) รายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของภาคใต้ที่คำนวณจาก 65 สถานี ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 เส้นปะสีแดง แสดงระดับ Extreme caution (32.2 oC)	57
รูปที่ 4.14 สัดส่วนของค่า HI เฉลี่ยรายภาคในกลุ่มต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.1	57
รูปที่ 4.15 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง (°C/decade) รายเดือนของอุณหภูมิเฉลี่ยในห้วงเวลา 1970-2014	61

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.16 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง ($^{\circ}$ C/decade) ของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีตาม รายสถานีในห้วงเวลา 1970-2014 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของอนุกรมข้อมูล อุณหภูมิเฉลี่ยที่เฉลี่ยทั้งประเทศไทยสำหรับข้อมูลที่ได้ปรับแก้และไม่ได้ปรับแก้เอกพันธ์ของข้อมูล	62
รูปที่ 4.17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง (%/decade) รายเดือนของความชื้นสัมพัทธ์ ในห้วงเวลา 1970-2014	63
รูปที่ 4.18 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง (%/decade) ของความชื้นสัมพัทธ์รายปีตาม รายสถานีในห้วงเวลา 1970-2014 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของอนุกรม ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่เฉลี่ยทั้งประเทศไทยสำหรับข้อมูลที่ได้ปรับแก้เอกพันธ์ด้วยเทคนิค ทางสถิติแล้ว	64
รูปที่ 4.19 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง ($^{\circ}$ C/decade) รายเดือนของ HI ในห้วงเวลา 1970-2014	65
รูปที่ 4.20 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง (%/decade) ของ HI รายปีตามรายสถานีใน ห้วงเวลา 1970-2014 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของอนุกรมข้อมูล HI ที่เฉลี่ยทั้งประเทศไทยที่คำนวณจากฐานข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ ปรับแก้เอกพันธ์ด้วยเทคนิคทางสถิติแล้ว	66
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงรายสถานีระหว่าง HI อุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์รายปี	68
รูปที่ 4.22 โครงสร้างเชิงพื้นที่ (Component loading) ในรูปสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง EOF โหมดที่ 1 และอนุกรมข้อมูล HI ของแต่ละสถานี และอนุกรมเชิงเวลา (Time-varying amplitude) ของ EOF โหมดที่ 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ EOF บนพื้นฐานเมตริกซ์ anomaly ของ HI (540 เดือน x 71 สถานี) Residual series หมายถึง Original series ที่ได้หักลบ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงแล้ว	71
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง Residual series ของ EOF1 time coefficient ของ HI ในประเทศไทยและดัชนี MEI	72
รูปที่ 4.24 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบ ‘Normal’ ในห้วงเวลา 1970-2013	74
รูปที่ 4.25 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบ ‘Caution’ ในห้วงเวลา 1970-2013	75

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.26 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบ ‘Extreme Caution’ ในห้วงเวลา 1970-2013	76
รูปที่ 4.27 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบ ‘Danger’ ในห้วงเวลา 1970-2013	77
รูปที่ 4.28 โครงสร้างเชิงพื้นที่ (Component loading) ในรูปสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง EOF โหมดที่ 1 และอนุกรมข้อมูลแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในแต่ละระดับผลกระทบ และ Principal Component score ของ EOF โหมดที่ 1 ที่แสดงขนาดการเปลี่ยนแปลงใน แต่ละระดับผลกระทบที่ได้จากการวิเคราะห์ EOF บนพื้นฐานเมตริกซ์ซึ่งมีขนาด (74 สถานี x 4 ระดับ)	78
รูปที่ 4.29 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (จำนวนคืนต่อทศวรรษ) ของดัชนีจำนวนคืนที่อบอุ่นตาม รายสถานีในห้วงเวลา 1970-2014	80
รูปที่ 4.30 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (จำนวนวันต่อทศวรรษ) ของดัชนีจำนวนวันที่อบอุ่นตาม รายสถานีในห้วงเวลา 1970-2014	81
รูปที่ 4.31 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมดัชนีจำนวนคืนและจำนวนวันที่อบอุ่น (TN90p และ TX90p) และอนุกรม HI ตามรายสถานีในห้วงเวลา 1970-2014	82
รูปที่ 4.32 รูปแบบการแสดงค่า Heat Index ตามสถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	84
รูปที่ 4.33 เกณฑ์ระดับความรุนแรงของค่า Heat Index	84
รูปที่ 4.34 การตั้งค่า sampling rate ให้เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลในทุก 30 นาที	87
รูปที่ 4.35 วิธีการเชื่อมต่อเพื่อนำเข้าข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยโปรแกรมเชื่อมต่อ RC-4HC	88
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลอุณหภูมิของสถานีอุตุนิยมวิทยากับเครื่อง Weather Station	89
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสถานีอุตุนิยมวิทยากับเครื่อง Weather Station	89
รูปที่ 4.38 แบนเนอร์โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนสำหรับประเทศไทย	90
รูปที่ 4.39 รูปแบบการแสดงผล Heat Index ของประเทศไทย (50 สถานี)	91
รูปที่ 4.40 ค่า Heat Index ที่คำนวณของแต่ละสถานี	93
รูปที่ 4.41 ค่า Heat Index ที่ข้อมูลเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย Heat Index ระยะยาว	93

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.42 การเลือกดาวน์โหลดข้อมูลที่ทำกรตรวจวัดตามรายสถานี	94
รูปที่ 4.43 Microsoft Excel File	94
รูปที่ 4.44 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงของดัชนี HI รายปีตามรายสถานี ในช่วงระหว่าง ค.ศ. 1970-2013	95
รูปที่ 4.45 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต (กะทู้)	97
รูปที่ 4.46 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต (สะพานหิน)	98
รูปที่ 4.47 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและ ชายฝั่งทะเลอันดามัน	98
รูปที่ 4.48 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลราไวย์	98
รูปที่ 4.49 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลรัชฎา	99
รูปที่ 4.50 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเกาะแก้ว	99
รูปที่ 4.51 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลวิชิต	99
รูปที่ 4.52 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลป่าคอก	100
รูปที่ 4.53 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเชิงทะเล	100
รูปที่ 4.54 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลกะรน	100
รูปที่ 4.55 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลไม้ขาว	101
รูปที่ 4.56 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลกมลา	101
รูปที่ 4.57 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านบางเทา	101
รูปที่ 4.58 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีสำนักงานสาธารณสุขอำเภอถลาง	102
รูปที่ 4.59 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านแหลมชั้น	102
รูปที่ 4.60 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพเฉลิมพระเกียรติ ๖๐ พรรษา นวมินทร์ราชินี	102
รูปที่ 4.61 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านมาหนัก	103
รูปที่ 4.62 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านพารา	103
รูปที่ 4.63 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีขอนแก่นเรสลิเดนท์ หาดป่าตอง	103
รูปที่ 4.64 อุดหนุนภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีอุทยานแห่งชาติสิรินาถ (หาดในยาง)	104
รูปที่ 4.65 การแสดงผลในแผนที่ Google Map ของระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชน	105
รูปที่ 4.66 การ Login เข้าสู่ระบบการบริหารจัดการระบบตรวจวัดคลื่นความร้อน	106
รูปที่ 4.67 เมนูหลักของระบบบริหารจัดการระบบตรวจวัดคลื่นความร้อน	106
รูปที่ 4.68 ขั้นตอนการเลือก Import Data	107

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.69 การเลือกไฟล์และการนำเข้าไฟล์ข้อมูล	108
รูปที่ 4.70 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลที่นำเข้า	108
รูปที่ 4.71 การเลือกปรับปรุงข้อมูลสถานี	109
รูปที่ 4.72 ขั้นตอนการปรับปรุง longitude และ latitude	109
รูปที่ 4.73 ประเภทบานเดี่ยว	117
รูปที่ 4.74 ประเภททาวนเฮาส์	118
รูปที่ 4.75 แพลต/อพาร์ทเมนต์	118
รูปที่ 4.76 อาคารพาณิชย์/ ตึกแถว	118

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษาวิจัย

สภาพภูมิอากาศ มีอิทธิพลอย่างใกล้ชิดต่อการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ ซึ่งการควบคุมและรักษาสมดุลความร้อนระหว่างร่างกายและสิ่งแวดล้อมภายนอก นับเป็นกลไกที่สำคัญของการปฏิสัมพันธ์ (Matthies et al., 2008; Lundgren et al., 2013) โดยสภาพลมฟ้าอากาศที่ร้อนจัดและมีความชื้นสูง มักส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อการระบายความร้อนออกจากร่างกายและระบบเมตาบอลิซึมซึ่งอาจล้มเหลวถึงขั้นเสียชีวิตได้ (Parsons, 2009) เป็นที่ประจักษ์กันโดยทั่วไปว่า สภาวะสุดขีดของความร้อน (Thermal extreme) และสภาวะความรุนแรงของตัวแปรลมฟ้าอากาศ (Weather extreme) ทั้งที่เกิดจากความแปรปรวนตามธรรมชาติของระบบภูมิอากาศหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ สามารถส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อสุขภาพของประชาชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้สูงอายุและคนยากจน ซึ่งเป็นกลุ่มประชากรที่มีข้อจำกัดของความสามารถและศักยภาพในการปรับตัวต่อสภาวะความรุนแรงดังกล่าว (Field et al., 2012; IPCC, 2013; IPCC, 2014) ทั้งนี้ คลื่นความร้อน (Heat wave) นับเป็นสภาวะสุดขีดของความร้อนและสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน และสร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจและสังคมนับมูลค่ามหาศาล ตลอดจนเป็นสาเหตุหลักการเสียชีวิตของประชาชนในหลายประเทศ (Koppe et al., 2004; Field et al., 2012; IPCC, 2014) ตัวอย่างเช่น คลื่นความร้อนครั้งรุนแรงที่สุดในประวัติศาสตร์ที่เกิดขึ้นในทวีปยุโรปในช่วงฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2003 ได้ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 70,000 คน (Stott et al., 2004; Robine et al., 2008; Field et al., 2012) นอกจากนี้ ผู้เสียชีวิตในประเทศสหรัฐอเมริกาจาก คลื่นความร้อนในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1992-2001 มีจำนวนที่สูงกว่าผู้เสียชีวิตจากอุทกภัยและจากพายุเฮอริเคนทั้งสองเหตุการณ์รวมกัน (Global greenhouse warming, 2012) หลักฐานทางวิทยาศาสตร์จากผลการศึกษาที่ผ่านมา ระบุว่า เหตุการณ์คลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากความร้อน (Thermal stress) ในช่วงหลังของศตวรรษที่ 20 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในหลายภูมิภาคของโลก ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นควบคู่กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก (Field et al., 2012; IPCC, 2013; IPCC, 2014) นอกจากนี้ แบบจำลองทางภูมิอากาศ ยังบ่งชี้ว่าคลื่นความร้อนในศตวรรษที่ 21 จะทวีความรุนแรงและมีความถี่ของการเกิดเพิ่มขึ้น รวมทั้งมีระยะเวลาของการเกิดที่ยาวนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องและเป็นไปตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ และสภาวะของระบบภูมิอากาศโลกที่มีความแปรปรวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลความร้อน จากปรากฏการณ์เรือนกระจก (Meehl and Tebaldi, 2004; Field et al., 2012; IPCC, 2013; IPCC, 2014) บนพื้นฐานของผลการศึกษาจำนวนมากในช่วงที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์ต่างเห็นพ้องต้องกันว่า คลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากอากาศร้อน จัดเป็นปัจจัยคุกคามที่สำคัญจากสภาวะโลกร้อนที่มีผลต่อสุขภาพและการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งกลายเป็นประเด็นที่ท้าทายในการกำหนดมาตรการตั้งรับและปรับตัว เพื่อช่วยลดผลกระทบและความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สิน (IPCC, 2014)

สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการศึกษามากนักที่บ่งชี้ถึงความรุนแรงและความถี่ของการเกิดคลื่นความร้อนและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาวะเครียดจากอากาศร้อนจัด แต่ข้อมูลจากการศึกษาของแสงจันทร์และคณะ (2553) และจากรายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 แสดงถึงโอกาสเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่กำหนดการเกิดคลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากความร้อน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในประเทศไทย โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในประเทศไทย นับว่ามีอัตราที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยของโลก (อัศมน ลิมสกุล และคณะ, 2554) นอกจากนี้ ดัชนีอุณหภูมิที่ร่างกายมนุษย์รู้สึกได้ซึ่งคำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ยังแสดงความเสี่ยงต่อสภาวะความเครียดจากความร้อนในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรอบ 42 ปีที่ผ่านมา (แสงจันทร์และคณะ, 2553) Tawatsupa et al. (2012) พบความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและอัตราการตายของคนไทยในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1999-2008 โดยอุณหภูมิสูงสุดเป็นปัจจัยที่สำคัญในการคาดการณ์อัตราการตาย ด้วยเหตุผลดังกล่าว ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้เล็งเห็นความสำคัญของปรากฏการณ์คลื่นความร้อนและสภาวะความเครียดจากอากาศร้อนจัด ซึ่งอาจกลายเป็นปัญหาสุขภาพของคนไทยและนักท่องเที่ยวต่างชาติที่สำคัญภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จึงริเริ่มโครงการพัฒนาดัชนีความร้อนเพื่อประยุกต์ใช้ศึกษาความแปรปรวนของคลื่นความร้อนและสภาวะความเครียด จากอากาศร้อนจัดในประเทศไทย เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจในประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้องให้ชัดเจน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายการสร้างความตระหนักรู้แก่ประชาชน และการศึกษาต่อยอดในบริบทของผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อสุขภาพของประชาชน รวมทั้งการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน อย่างง่ายสำหรับเจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการของหน่วยงานส่วนท้องถิ่น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือติดตามตรวจสอบและเตือนภัยล่วงหน้าในระดับชุมชนจากปรากฏการณ์คลื่นความร้อนและสภาวะความเครียดจากอากาศร้อนจัด

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาดัชนีความร้อนที่เหมาะสมสำหรับติดตามตรวจสอบปรากฏการณ์คลื่นความร้อนและสภาวะความเครียดจากอากาศร้อนจัดในประเทศไทย
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของดัชนีความร้อนในประเทศไทย
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดอย่างง่ายในการศึกษาลักษณะความแปรปรวนและความรุนแรงของเหตุการณ์คลื่นความร้อนและสภาวะความเครียดจากอากาศร้อนจัดในพื้นที่วิกฤติ
- 1.2.4 เพื่อพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนอย่างง่ายสำหรับหน่วยงานส่วนท้องถิ่น

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

โครงการวิจัยนี้ มีขอบเขตการศึกษา ซึ่งประกอบด้วย

- 1.3.1 การพัฒนาดัชนีความร้อนที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย บนพื้นฐานของฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น จากสถานีตรวจวัดผิวพื้นที่ทั้งหมด (ประมาณ 70 สถานี) ของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ได้เก็บรวบรวมตั้งแต่ ค.ศ. 1970 ถึงปัจจุบัน

1.3.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้นในภาพรวมและแต่ละภาคของประเทศไทย โดยประยุกต์ใช้เทคนิคฟังก์ชันตั้งฉากเชิงประจักษ์ (Empirical Orthogonal Function; EOF) ซึ่งเป็นสถิติเชิงพหุที่นิยมใช้อธิบายความแปรปรวนร่วมเชิงพื้นที่และเวลาของตัวแปรทางภูมิอากาศ ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์จะใช้แสดงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อคลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากอากาศร้อนจัด รวมทั้งพื้นที่วิกฤติที่ดัชนีความร้อนมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นทั้งความถี่และความรุนแรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

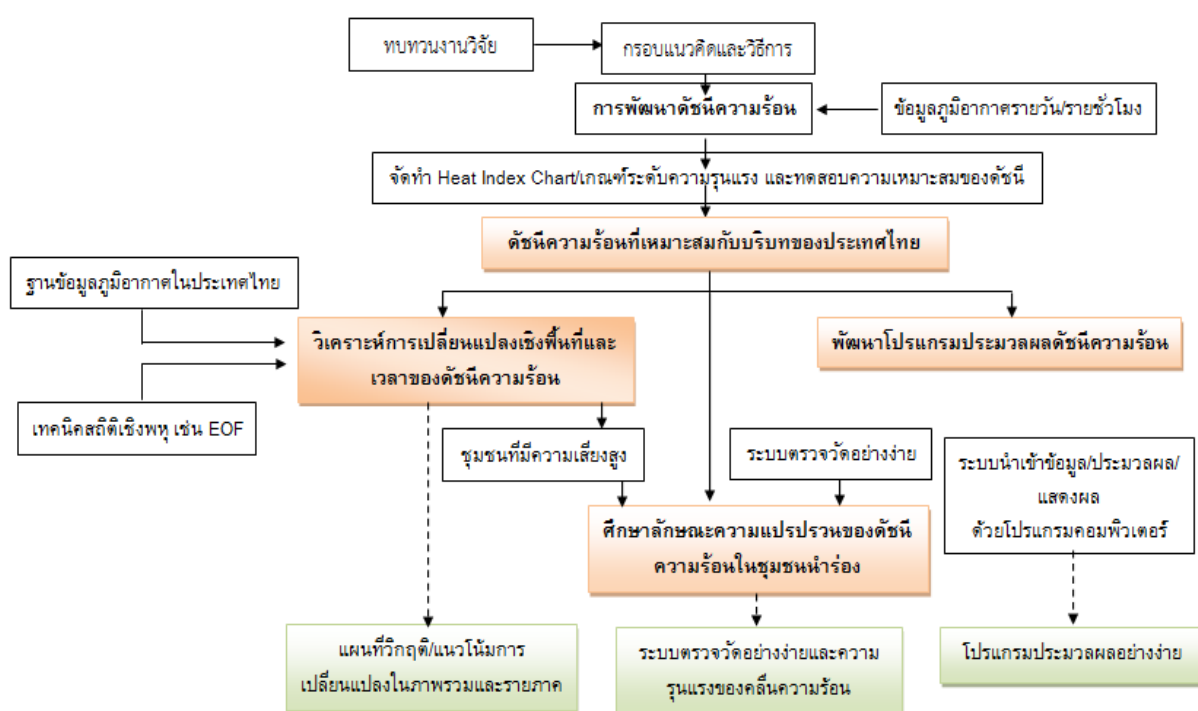
1.3.3 การประยุกต์ใช้ดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้นในพื้นที่นาร่อง เพื่อใช้วิเคราะห์ผลกระทบและความแปรปรวนของคลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากอากาศร้อนจัดในระดับชุมชน และความสัมพันธ์กับสุขภาพของประชาชน รวมทั้งพัฒนาระบบตรวจวัดปรากฏการณ์ดังกล่าวอย่างง่ายสำหรับชุมชนและองค์กรส่วนท้องถิ่น

1.3.4 การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนอย่างง่าย เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับหน่วยงานส่วนท้องถิ่นในการติดตามตรวจสอบและเตือนภัยคลื่นความร้อนและสภาวะความเครียดจากอากาศร้อนจัดในระดับชุมชน

1.4 สมมุติฐานและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

กรอบแนวคิดงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างองค์ความรู้และพัฒนาเครื่องมือเพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม ทั้งนี้ วิธีการพัฒนาดัชนีความร้อนหลายๆ ดัชนีที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบันและถูกแนะนำให้ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศต่างๆ ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาดัชนีความร้อนสำหรับประเทศไทย โดยดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้นจะคำนวณจากข้อมูลรายวันและรายชั่วโมงของตัวแปรทางภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ จากสถานีตรวจวัดผิวของกรมอุตุนิยมวิทยา (ประมาณ 70 สถานี) ซึ่งเก็บรวบรวมตั้งแต่ ค.ศ. 1970 ถึงปัจจุบัน และข้อมูลภูมิอากาศรายชั่วโมง ที่เก็บรวบรวมโดยตรง ด้วยสถานีตรวจวัดเคลื่อนที่และเครื่องมือวัดอย่างง่ายในพื้นที่ศึกษานาร่อง ทั้งนี้ ดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้น จะถูกนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อจัดทำ Heat Index Chart และประมาณระดับความรุนแรงสำหรับใช้เป็นเกณฑ์บ่งชี้ระดับความเสี่ยงและอันตรายจากคลื่นความร้อนและสภาวะความเครียดจากอากาศร้อนจัดสำหรับประเทศไทย ทั้งนี้ ดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้นจะเป็นเครื่องมือสำหรับการศึกษาวิจัยองค์ประกอบหลักอื่นๆ ซึ่งประกอบด้วย (1) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของดัชนีความร้อน โดยคำนวณจากฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวันในประเทศไทยที่ตรวจวัดจากสถานี ผิวพื้นของกรมอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ถึงปัจจุบัน แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรง (Linear trend) ของดัชนีความร้อนในแต่ละสถานี จะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธี Non-parametric Kendall's tau based slope estimator (Sen, 1968) และ Kendall's test ใช้ประเมินนัยสำคัญ ทางสถิติของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากทั้งสองวิธี เป็นเทคนิค Non-parametric statistics ที่สามารถจัดการกับ autocorrelation ที่มีปรากฏในอนุกรมข้อมูลได้ดี มีความทนทานและไม่ได้รับผลกระทบจากค่าผิดปกติ (outliers) และเหมาะสมต่อข้อมูลที่มีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่สมมาตร (non-normal distribution) (Wang and Sawi, 2001; Zhang et al., 2000) นอกจากนี้ เทคนิค Empirical Orthogonal Function (EOF) ซึ่งเป็นสถิติพหุเชิงพรรณนาที่สามารถจัดการกับฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีหลายตัวแปรและหลายมิติได้ดี (Hanachi et al., 2007) เทคนิค EOF มีหลักการบนพื้นฐานการสกัด

และแยกฐานข้อมูลขนาดใหญ่ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันพื้นฐานของ orthogonal (eigenvalue/eigenvector) ด้วยการแปลงเชิงเส้นตรง เพื่อลดมิติของจำนวนตัวแปรให้เหลือจำนวนน้อยลง แต่สามารถอธิบายความแปรปรวนส่วนใหญ่ในฐานข้อมูลเดิม (Preisendorfer, 1988; Hannachi et al., 2007) (2) พัฒนาและติดตั้งระบบตรวจวัดอย่างง่าย เพื่อศึกษาลักษณะความแปรปรวนและความรุนแรงของเหตุการณ์คลื่นความร้อนและสภาวะความเครียดจากอากาศร้อนจัดในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงสูง โดยพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดตัวแปรภูมิอากาศอย่างง่าย เพื่อติดตั้งตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอย่างละเอียดและต่อเนื่อง สำหรับวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนีความร้อนในคาบเวลาความถี่สูง ซึ่งผลการวิเคราะห์จะนำไปหาความเชื่อมโยงกับจำนวนผู้ป่วยที่มีสาเหตุจาก heat-related illness รวมทั้งข้อมูลโครงสร้างประชากรและข้อมูลทางสังคมที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของประชาชนในชุมชน และ (3) พัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนอย่างง่ายสำหรับหน่วยงานส่วนท้องถิ่น เพื่อพัฒนาระบบประมวลผลดัชนีความร้อนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ให้ง่ายและสะดวกแก่การใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการของหน่วยงานส่วนท้องถิ่นกรอบแนวคิดในภาพรวมและขั้นตอน/กิจกรรมหลักการศึกษาของโครงวิจัย แสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กรอบแนวคิดในภาพรวมและขั้นตอน/กิจกรรมหลักการศึกษาของโครงวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ดัชนีความร้อนที่เหมาะสมสำหรับใช้ติดตามตรวจสอบคลื่นความร้อนและสถานะความเครียดจากอากาศร้อนจัดในประเทศไทย

1.5.2 ได้แผนที่การเปลี่ยนแปลงของดัชนีความร้อนในภาพรวมและแต่ละภาคของประเทศไทย

1.5.3 ได้ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนและสถานะความเครียดจากอากาศร้อนจัดอย่างง่ายสำหรับชุมชน

1.5.4 ได้โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนสำหรับเจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการของหน่วยงานส่วนท้องถิ่น

1.5.5 ได้เอกสารทางวิชาการที่นำเสนอในการประชุมวิชาการภายในประเทศและต่างประเทศ รวมทั้งตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการ

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารงานวิจัย

2.1 คลื่นความร้อน

คลื่นความร้อน จัดเป็นสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศซึ่งตามนิยามโดยทั่วไปแล้ว หมายถึง ลักษณะที่สภาพอากาศร้อนผิดปกติและสะสมอยู่ที่พื้นที่บริเวณหนึ่งเป็นระยะเวลาานาน ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นมาพร้อมกับอากาศที่มีความชื้นสูงและอบอ้าว คลื่นความร้อน มีนิยามและคำจำกัดความที่หลากหลายและแตกต่างกันค่อนข้างมากในแต่ละภูมิภาคและพื้นที่ (Meehl and Tebaldi, 2004) โดยทั่วไปคลื่นความร้อนมักถูกตรวจวัดและเปรียบเทียบกับลักษณะสภาพอากาศในพื้นที่นั้นๆ และ/หรือเปรียบเทียบกับอุณหภูมิปกติในแต่ละฤดูกาล อุณหภูมิที่ผู้คนจากสภาพภูมิอากาศที่ร้อน เช่น เขตร้อนของโลก พิจารณาว่าเป็นอุณหภูมิปกติ อาจจัดอยู่ในช่วงที่เกิดคลื่นความร้อนได้ในบริเวณพื้นที่ที่เย็น เช่น เขตขั้วโลก ถ้าหากค่าอุณหภูมินั้นๆ อยู่นอกสภาพภูมิอากาศปกติสำหรับพื้นที่นั้น (Robinson, 2001) องค์กรอุตุนิยมวิทยาโลกและ Frich et al. (2002) ได้ให้คำจำกัดความของคลื่นความร้อน คือ ช่วงระยะเวลาอย่างน้อย 5 วันที่มีอุณหภูมิสูงสุดเกิน 25°C (77°F) โดยมีเวลาอย่างน้อย 3 วัน ในช่วงอุณหภูมิสูงสุดเกิน 30°C (86°F) ซึ่งเป็นนิยามที่ประยุกต์ใช้กันโดยทั่วไปในทวีปยุโรป (WMO-WHO, 2010) สำหรับประเทศอเมริกา คลื่นความร้อนปกติ กำหนดให้ช่วงระยะเวลา 3 วัน หรือมากกว่า 3 วันติดต่อกัน ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 32°C (90°F) (Lau and Nath, 2012; NOAA, 2014) ในช่วงระยะเวลาเกิดคลื่นความร้อนไม่เพียงอุณหภูมิกลางวันที่สูงขึ้น แต่อุณหภูมิและความชื้นตอนกลางคืนอาจเพิ่มขึ้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยระยะยาว เช่นกัน ภายใต้มุมมองของอุตุนิยมวิทยาแล้ว คลื่นความร้อน เกี่ยวข้องกับการไหลเวียนของมวลอากาศแบบ quasi-stationary anticyclonic ที่ผิดปกติ ซึ่งส่งผลให้มวลอากาศอุ่นจมตัวลง ท้องฟ้าโปร่งใส และเกิดอากาศใกล้พื้นดินร้อนอบอ้าวเป็นระยะเวลาานาน (Fischer et al., 2007; Barriopedro et al., 2011) เนื่องจากลักษณะสภาพอากาศโดยทั่วไปเหล่านี้ คลื่นความร้อน สามารถเกิดขึ้นได้ในส่วนต่างๆ ของโลก (Fischer et al., 2012a, 2012b; Vizi and Cook, 2012)

คลื่นความร้อนที่มีสภาพอากาศแบบแห้ง มักจะเกี่ยวข้องกับช่วงระยะเวลาที่ลักษณะสภาพอากาศนิ่งสงบ ท้องฟ้าโปร่งใสและมีแสงอาทิตย์ส่องลงมาพื้นดินมากกว่าปกติ สภาพอากาศร้อนและแห้ง อาจจะมาพร้อมกับสภาพลมแรงซึ่งสามารถเพิ่มความเครียดในระดับความร้อนที่มากเกินไป (WMO-WHO, 2010) คลื่นความร้อนแบบแห้ง มักเกิดขึ้นในสถานที่ที่มีลักษณะภูมิอากาศแบบภาคพื้นทวีปหรือทะเลเมดิเตอร์เรเนียน หรือสถานที่ที่มีอากาศอบอุ่นที่เกิดจากกระบวนการ adiabatic ส่วนคลื่นความร้อนแบบชื้น มีลักษณะที่ร้อนอบอ้าวและชื้นตลอดทั้งวันและคืน โดยมักจะมีเมฆปกคลุม ซึ่งลักษณะดังกล่าว ทำให้ความร้อนที่สะสมตลอดทั้งวันสลายเพียงเล็กน้อยตอนกลางคืน (WMO-WHO, 2010) คลื่นความร้อนดังกล่าว มักเป็นลักษณะภูมิอากาศบริเวณ mid-latitude และชายฝั่งทะเล ด้วยลักษณะที่กล่าวมาข้างต้น คลื่นความร้อนมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในสถานที่ที่สภาพภูมิอากาศในช่วงฤดูร้อนมีความแปรปรวนสูงหรือร้อนอย่างชัดเจน (WMO-WHO, 2010; Koppe et al., 2004; Matthies et al., 2008) อย่างไรก็ตาม สถานที่ที่ปราศจากลักษณะสภาพอากาศแบบนี้ อาจมีโอกาสเกิดคลื่นความร้อนได้เช่นกัน ในบางครั้ง ความผิดปกติร่วมกันระหว่างมหาสมุทร พื้นดิน และ

บรรยากาศ อาจทำให้ลมฟ้าอากาศในระยะสั้นมีความผิดปกติ ซึ่งนำไปสู่การเกิดสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิและความชื้น ระยะเวลาของเหตุการณ์ที่เกิดคลื่นความร้อน ก็อาจจะเกี่ยวข้องกับบางส่วนกับลักษณะสภาพภูมิอากาศ โดยทั่วไปของพื้นที่นั้นๆ เช่น คลื่นความร้อนที่รุนแรงในทวีปเอเชียใต้ เกิดขึ้นช่วงต้นของฤดูร้อนก่อนที่จะเข้าสู่ฤดูมรสุมฤดูร้อน (WMO-WHO, 2010; Koppe et al., 2004; Matthies et al., 2008)

ไม่เหมือนกับภัยคุกคามทางภูมิอากาศอื่นๆ เช่น พายุเฮอริเคน ทอร์นาโด พายุฝนฟ้าคะนอง และน้ำท่วม คลื่นความร้อน เกิดขึ้นในพื้นที่ขนาดใหญ่และกระจายตัวทางภูมิศาสตร์ อย่างไรก็ตาม ผลกระทบจากช่วงที่อากาศร้อนผิดปกติ อาจจะทำเลวร้ายมากขึ้นในพื้นที่ขนาดใหญ่ในเมือง เนื่องจากผลกระทบเสริมของโดมความร้อนในระดับท้องถิ่น (WMO-WHO, 2010; Koppe et al., 2004) อุณหภูมิตอนกลางคืนในเขตเมือง อาจจะสูงกว่าอุณหภูมิของภูมิภาคหลายองศาในระหว่างเกิดคลื่นความร้อน เนื่องจากผลกระทบของโดมความร้อนที่สะสมความร้อนจากดวงอาทิตย์ในเขตเมืองตอนกลางวันและค่อยๆ ระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมตอนกลางคืนและขาดการระบายความร้อนจากกระบวนการระเหย ปรากฏการณ์นี้ มีนัยที่สำคัญไม่เพียงประชาชนที่อาศัยในเมืองเท่านั้น แต่ระบบชีวะกายภาพของเมืองอีกด้วย (WMO-WHO, 2010)

2.2 Heat Index ที่ใช้ติดตามและศึกษาคลิ้นความร้อน

แนวทางและเทคนิคที่ใช้ศึกษาและประเมินคลื่นความร้อนและผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ มีหลากหลายวิธีซึ่งอาจแบ่งออกเป็นวิธีที่ง่าย (simple approach) และวิธีที่ซับซ้อน (complex approach) (Koppe et al., 2004) ทั้งนี้ เทคนิคทั้งหมดโดยส่วนใหญ่ อาศัย Heat index เป็นเครื่องมือบ่งชี้ถึงสถานการณ์ ความถี่ ความรุนแรง ระยะเวลาการเกิดและแนวโน้มที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ (Robinson, 2001; Koppe et al., 2004; WMO-WHO, 2010) Heat index หลายดัชนีที่พัฒนาขึ้น ตั้งอยู่บนพื้นฐานความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะของภูมิอากาศและความรู้สึกต่อความร้อนของมนุษย์ ซึ่งเน้นความสำคัญของสมมูลความร้อนของร่างกายมนุษย์ (Robinson, 2001) โดยอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และแสงอาทิตย์ มาพิจารณาร่วมกับข้อมูล non-meteorological เช่น ชนิดของเสื้อผ้า ประเภทของกิจกรรม และการปรับตัวต่อสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ เป็นต้น สำหรับการติดตามคลื่นความร้อนในระยะยาวในระดับประเทศ ดัชนีที่อาศัยเฉพาะข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัดเป็นประจำของสถานีผิวพื้น น่าจะเป็นดัชนีที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น National Weather Service ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้เลือกใช้ดัชนีที่คำนวณจากอุณหภูมิและความชื้นเท่านั้น เพื่อประมาณระดับความร้อนต่อร่างกายของมนุษย์ที่รู้สึกได้ ซึ่งดัชนีนี้ได้พัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Steadman (1979) และรู้จักกันในนาม 'Apparent temperature; Ta' ทั้งนี้ ดัชนี Ta ได้ถูกพัฒนาและดัดแปลงเพื่อเหมาะสมต่อการประยุกต์ในพื้นที่ต่างๆ อย่างต่อเนื่อง ส่วนวิธีที่ซับซ้อนมักอาศัยดัชนีที่รวมทุกองค์ประกอบของปัจจัยอุตุนิยมวิทยาและกายภาพ เพื่อใช้อธิบายความร้อนด้านสรีรวิทยาและปัจจัยทางภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เพิ่มเติมให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างของดัชนีที่ซับซ้อน เช่น Heat budget model และ Physiological equivalent temperature index เป็นต้น ตารางที่ 2.1 สรุปดัชนีความร้อนที่ใช้ติดตามและศึกษาคลิ้นความร้อนในประเทศต่างๆ

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างดัชนีความร้อนที่ใช้ติดตามและศึกษาคลื่นความร้อนในพื้นที่ต่างๆ

ชื่อดัชนี	สูตร	อ้างอิง
1. Heat index (HI)	$-42.379 + 2.04901523*T + 10.14333127*RH - 0.22475541*T*RH - 6.83783 \times 10^{-3}*T^2 - 5.481717 \times 10^{-2} * RH^2 + 1.22874 \times 10^{-3}*T^2*RH + 8.5282 \times 10^{-4}*T*RH^2 - 1.99 \times 10^{-6} * T^2 * RH^2$ <p>T: air temperature, RH: relative humidity</p>	Choi et al. (2005), Zahid and Rasul (2010), Rajib et al. (2011)
2. Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)	$WBGT=0.7*Tw + 0.1*Ta + 0.2*Tg$ <p>Tw=wet-bulb temperature Ta=dry-bulb temperature Tg=black globe temperature</p>	Epstein and Moran (2006), Pradhan et al. (2013)
3. Discomfort Index (DI)	$DI=0.5*Tw + 0.5*Ta$ <p>Tw=wet-bulb temperature Ta=dry-bulb temperature</p>	Epstein and Moran (2006)
4. Modification of Steadman's Apparent Temperature (H)	$H= 16.923+ 0.185212*T+ 5.37941*RH - 20.100254*T*RH+9.4169 \times 10^{-3}*T^2 + 7.28898 \times 10^{-3}*R^2 + 3.45372 \times 10^{-4}*T^2*RH - 8.14971 \times 10^{-4}*T*RH^2 + 1.02102 \times 10^{-5}*T^2*RH^2 - 3.8646 \times 10^{-5}*T^3 + 2.91583 \times 10^{-5}*RH^3 + 1.42721 \times 10^{-6}*T^3*RH + 1.97483 \times 10^{-7}*T*RH^3 - 2.18429 \times 10^{-8}*T^3*RH^2 + 8.43296 \times 10^{-10}*T^2*RH^3 - 4.81975 \times 10^{-11}*T^3*RH^3 + 0.5$ <p>T: air temperature, RH: relative humidity</p>	Robinson (2001), Pradhan et al. (2013)
5. Kysely's heat wave definition	Daily maximum air temperature (TMAX) is higher than 30.0 °C on at least 3 days; and mean TMAX over the whole period is higher than 30.0 °C ; and TMAX does not drop below 25.0 °C.	Kysely (2002)
6. Apparent temperature (Ta)	$Ta = -1.3 + 0.92*T + 2.2*e$; water-vapor pressure	Gaffen and Ross (1998)
7. Heat Wave Index	A period of more than 5 consecutive days with daily maximum temperature ≥ 5 °C above the mean daily maximum for the normal climatic period 1961–1990	Frich et al. (2002), Radinović and Čurić, (2012), Shevchenko et al., (2014)
8. Humidex	=(air temperature) + h $h = (0.5555)*(e-10.0)$; $e = 6.11 * \exp(5417.7530 * ((1/273.16) - (1/\text{dewpoint})))$	Pradhan et al. (2013)
9. Net Effective Temperature (NET)	$NET = 37 - (37-T)/(0.68 - 0.0014*RH + 1/(1.76 + 1.4*v0.75)) - 0.29*T*(1-0.001*RH)$ <p>T: air temperature, RH: relative humidity</p>	WMO-WHO (2010)
10. Excess Heat Index	$EHI_{sig} = (T_i + T_{i+1} + T_{i+2})/3 - T_{95}$ $DMT = (T_{max} + T_{min})/2$	Narin and Fawcett. (2013)

2.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคลื่นความร้อน

ความแปรปรวน คือ ลักษณะทางธรรมชาติที่รู้จักกันดีของระบบภูมิอากาศ ซึ่งคลื่นความร้อนเป็นรูปแบบหนึ่งของความผันแปรดังกล่าว นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ยังเป็นปัจจัยเสริมที่สำคัญต่อแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคลื่นความร้อน ผลการศึกษาที่ผ่านมาจำนวนมากในช่วงหนึ่งถึงสองทศวรรษที่ผ่านมา ได้วิเคราะห์ในรายละเอียดถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นหลายๆ วันอย่างต่อเนื่องในระดับท้องถิ่นและระดับภูมิภาค เพื่ออธิบายลักษณะต่างๆ ของคลื่นความร้อน เช่น ความถี่ ความรุนแรง ระยะเวลา และขอบเขตเชิงพื้นที่ (Field et al., 2012; IPCC, 2013) เหตุการณ์คลื่นความร้อนที่มีขนาดใหญ่และมีระดับรุนแรง ได้เกิดขึ้นหลายครั้งในช่วงทศวรรษเร็วๆ นี้ อาทิเช่น ในทวีปยุโรปในปี ค.ศ. 2003, 2006 และ 2010 (Beniston, 2004; Schär et al., 2004; Stott et al., 2004; Robine et al., 2008; Rebetz et al., 2009; Kyselý, 2010; Barriopedro, et al., 2011; Grumm, 2011; Rahmstorf and Coumou, 2011; Field et al., 2012; Otto et al., 2012; Monteiro et al., 2013) ประเทศออสเตรเลียในปี ค.ศ. 2009 (Pezza et al., 2012) ประเทศรัสเซียในปี ค.ศ. 2010 (Barriopedro et al., 2011; Dole et al., 2011; Trenberth and Fasullo, 2012) และประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 2010/2011 (Hoerling et al., 2012) ตารางที่ 2.2 แสดงคลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในภูมิภาคต่างๆ ของโลกในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2000-2007 จากข้อมูลในตารางที่ 2.2 พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของ subtropical และ mid-latitude ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์คลื่นความร้อน ทั้งนี้ เอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทวีปยุโรป และทวีปอเมริกาเหนือ จัดเป็น hot spot ของคลื่นความร้อน ส่วนจำนวนการเกิดเหตุการณ์คลื่นความร้อนรวมรายปีของโลกที่บันทึกในฐานข้อมูล Emergency Events Database (EM-DAT) ของ The International Disaster Database ระหว่างช่วงปี ค.ศ. 1980-2013 แสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งบ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของเหตุการณ์คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นทั่วโลก โดยเฉพาะหลังจากปี ค.ศ. 2000 ผลการประเมินข้อมูลวิทยาศาสตร์ในภาพรวม พบว่า จำนวนเหตุการณ์คลื่น ความร้อนได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นเป็นบริเวณกว้างของจำนวนคืนที่อบอุ่น (Field et al., 2012; IPCC, 2013) โดยมีความเป็นไปได้ที่คลื่นความร้อนมีแนวโน้มความถี่ของการเกิดเพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงหลังของศตวรรษที่ 20 ในทวีปยุโรป ออสเตรเลีย และพื้นที่ส่วนใหญ่ของทวีปเอเชีย อย่างไรก็ตาม ความมั่นใจในระดับโลกยังอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากยังขาดการศึกษาในทวีปแอฟริกาและทวีปอเมริกาใต้ รวมทั้งผลการศึกษาแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับนิยามของคลื่นความร้อน (Perkins et al., 2012) คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2003 นับเป็นเหตุการณ์ที่รุนแรงที่สุดในรอบ 3,500 ปีของทวีปยุโรป ซึ่งส่งผลกระทบเป็นบริเวณกว้างในหลายประเทศ (รูปที่ 2.2) (Beniston, 2004; Schär et al., 2004; Stott et al., 2004) อุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อน (เดือนมิถุนายน กรกฎาคม และสิงหาคม) ของปี ค.ศ. 2003 สูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงปี ค.ศ. 1961-1990 ถึง 3°C ซึ่งเกินกว่า 5 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (รูปที่ 2.3) (Schär et al., 2004) ทั้งนี้ มีความเป็นไปได้สูงที่คลื่นความร้อน มีความถี่ของการเกิด ความรุนแรงและระยะเวลาการเกิดที่ยาวนานขึ้น ภายใต้อุณหภูมิโลกที่ร้อนขึ้นของสภาพภูมิอากาศในอนาคต (Field et al., 2012) โดยมีหลักฐานบางส่วนที่แสดงถึงกิจกรรมมนุษย์ อาจเป็นสาเหตุที่มีอิทธิพลต่อคลื่นความร้อน Rahmstorf and Coumou (2011) พบว่า มีความเป็นไปได้ถึง 80% ที่คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณฝั่งตะวันตกของรัสเซียในช่วงฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2010 เกิดจากการเพิ่มขึ้น

เป็นบริเวณกว้างของอุณหภูมิโลกหลังจากปี ค.ศ. 1980 ผลการจำลองผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อคลื่นความร้อนในทวีปอเมริกาเหนือในศตวรรษที่ 21 พบว่า ความถี่และระยะเวลาของคลื่นความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นภายใต้การเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก จากกิจกรรมของมนุษย์ ทั้งนี้ เมื่อเพิ่มแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิรายวันในแบบจำลองเหตุการณ์คลื่นความร้อนที่จะเกิดขึ้นในทวีปอเมริกาเหนือ ปรากฏชัดเจนมากขึ้นตั้งแต่ทศวรรษแรกๆ ของศตวรรษที่ 21 (Lau and Nath, 2012)

ตารางที่ 2.2 คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในภูมิภาคต่างๆ ของโลกที่บันทึกในฐานข้อมูล EM-DAT ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2000-2007

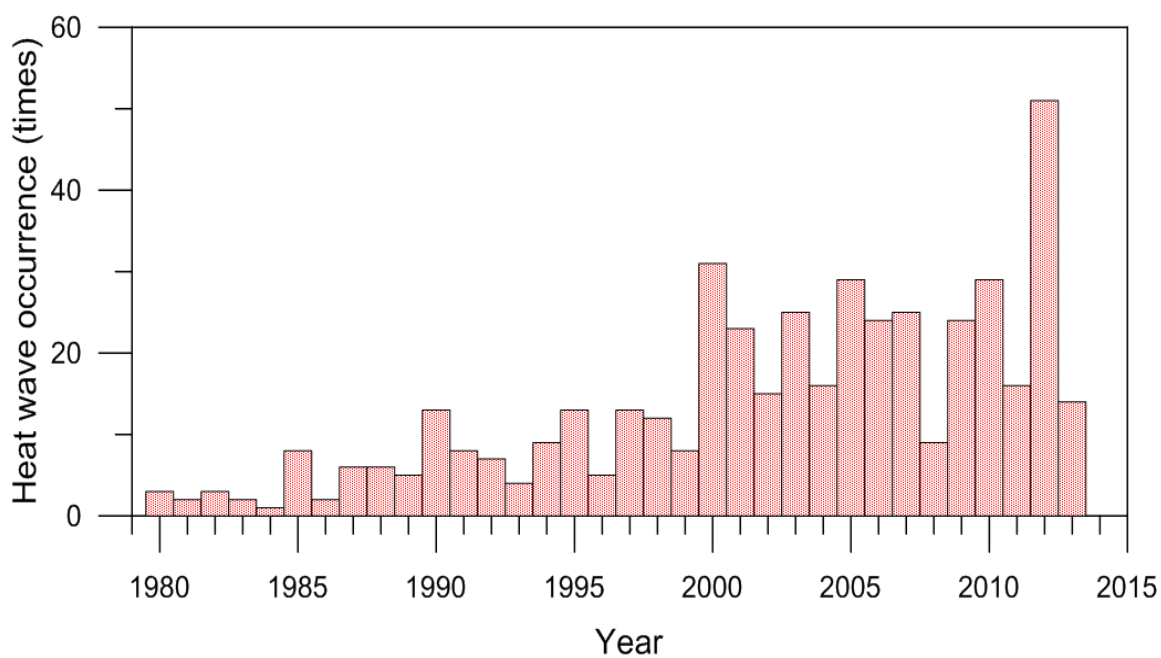
Region	Country	Date	Killed	Injured	Damage (US\$)
North Africa	Algeria	July 2003	40		809,000,000
	Morocco	August 2003			
East Africa	Nigeria	June 2002	60		
North America	USA	Jul-Aug 2006	24		
	USA	Jul-Aug 2006	164		
	USA	July 2005	33		
	USA	June 2002	14		
	USA	August 2001	56		
	USA	July 2000	35		
East Asia	China	May-Sep 2006	134		2,900,000,000
	China	July 2005		200	
	China	July 2004	39		
	China	July 2002	7	3500	
	Japan	July 2004	10	300	
Southern Asia	Bangladesh	July 2005			4,000,000,000
	Bangladesh	May-Jun 2003	62		
	India	May 2006	47		
	India	June 2005	329		
	India	May-Jun 2003	1210		
	India	May 2002	1030		
	India	April 2000	7		
	Pakistan	May 2006	84	100	
	Pakistan	June 2005	106	200	
	Pakistan	May-Jun 2003	200		
	Pakistan	May 2002	113	24	
	Pakistan	June 2000	24		

ตารางที่ 2.2 คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในภูมิภาคต่างๆ ของโลกที่บันทึกในฐานข้อมูล EM-DAT ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2000-2007 (ต่อ)

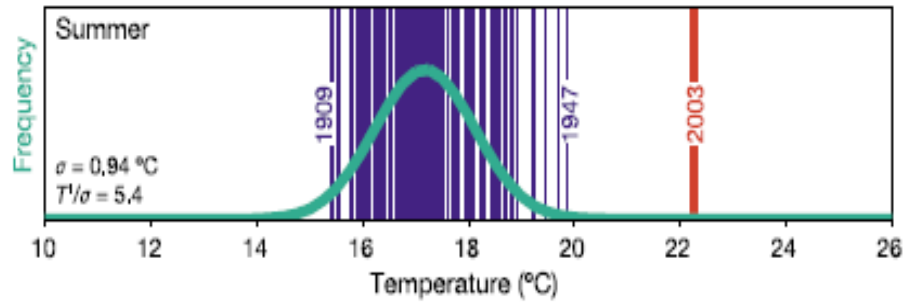
Region	Country	Date	Killed	Injured	Damage (US\$)
Western Asia	Cyprus	July 2000	5	400	
	Israel	July 2000			
	Jordan	July 2000		12	
	Turkey	July 2000	15	300	
Eastern Europe	Bulgaria	Jun-July 2000	7		
	Romania	Jun-Jul 2006	26	200	
	Romania	Jul-Aug 2005	13	500	
	Romania	July 2004	27		
	Russia	July 2001	276		
	Slovakia	Jul-Aug 2003			150,000,000
	Czech Rep	July 2003	418		
	Hungary	July 2007	500		
North Europe	UK	August 2003	2045		
Southern Europe	Albania	July 2004	3		
	Albania	July 2007	150		
	Canary Islands	July 2004	13	113	
	Croatia	July 2000	40	200	240,000,000
	Croatia	July 2007	788		
	Greece	July 2000	27	176	
	Italy	Jul-Aug 2003	20089		4,400,000,000
	Italy	June 2007	6		
	Macedonia	July 2004	15		
	Portugal	July 2006	41		
	Portugal	August 2003	2096		
	Serbia-Montenegro	July 2000	3	70	
	Slovenia	August 2003	289		80,000,000
	Spain	July 2006	21		
	Spain	July 2004	26		
Spain	August 2003	15090	20	880,000,000	

ตารางที่ 2.2 คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในภูมิภาคต่างๆ ของโลกที่บันทึกในฐานข้อมูล EM-DAT ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2000-2007 (ต่อ)

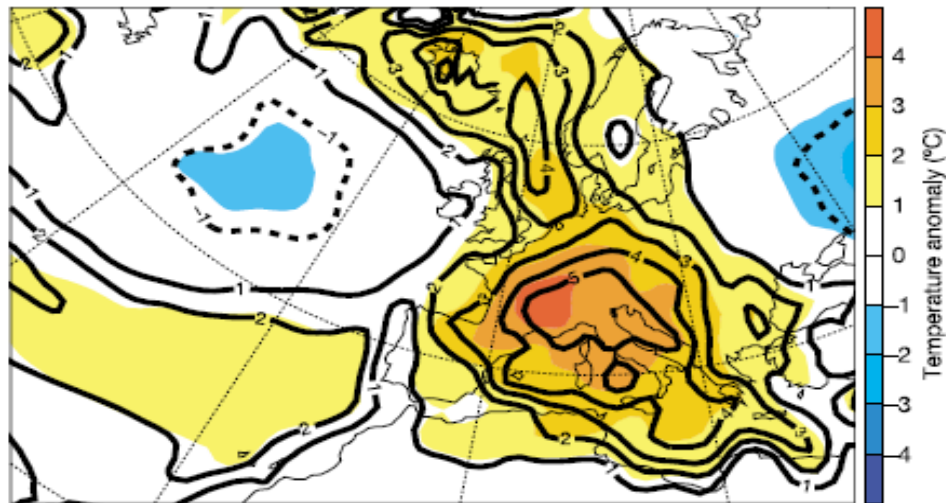
Region	Country	Date	Killed	Injured	Damage (US\$)
Western Europe	Austria	Jul-Aug 2003	345		280,000,000
	Belgium	July 2006	940		
	Belgium	August 2003	1175		
	France	July 2006	9		
	France	August 2004	19490		
	France	July 2003	1388		
	Luxembourg	July 2003	170		
	Switzerland	July 2003	1039		
	Germany	July 2006	2		
	Germany	August 2003	9355		
	Netherlands	July 2006	1000		
	Netherlands	August 2003	1200		



รูปที่ 2.1 จำนวนการเกิดเหตุการณ์คลื่นความร้อนรวมรายปีของโลกที่บันทึกในฐานข้อมูล Emergency Events Database (EM-DAT) ของ The International Disaster Database (<http://www.emdat.be/>)



รูปที่ 2.2 ลักษณะของคลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2003 ด้วยค่าผิดปกติของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมจากค่าเฉลี่ยในช่วงปี ค.ศ. 1961-1990 (ที่มาของข้อมูล: Schär et al., 2004)



รูปที่ 2.3 การแจกแจงความถี่ของอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงฤดูร้อนระหว่างปี ค.ศ. 1864-2003 ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ (ที่มาของข้อมูล : Schär et al., 2004)

นอกจากนี้ จากการติดตามข้อมูลข่าวสารยังพบว่าในปี พ.ศ. 2558 ได้เกิดเหตุการณ์คลื่นความร้อนในหลายประเทศทั่วโลก โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ประเทศอินเดีย เกิดวิกฤตคลื่นความร้อนในช่วงเดือนพฤษภาคม ปี พ.ศ. 2558 โดยอุณหภูมิในหลายเมืองสูงถึง 48 องศาเซลเซียส อุณหภูมิโดยเฉลี่ยทั้งภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สูงกว่าค่าเฉลี่ยปกติ 2-5 องศาเซลเซียส ยอดผู้เสียชีวิตอย่างเป็นทางการจากวิกฤตคลื่นความร้อนไม่น้อยกว่า 2,330 ราย โดยรัฐอธรรประเทศบนชายฝั่งทางตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด โดยมีผู้เสียชีวิต 1,719 ราย ขณะที่ในรัฐคัลลังกานาซึ่งอยู่ติดกันมีผู้เสียชีวิต 585 รายและในรัฐโอริสสาทางภาคเหนือมีผู้เสียชีวิตทั้งสิ้น 26 ราย

2. ประเทศปากีสถาน เกิดวิกฤตคลื่นความร้อนในช่วงเดือนมิถุนายน ปี พ.ศ. 2558 ทำให้มีผู้เสียชีวิตราว 2,000 ราย เจ้าหน้าที่ทางการแพทย์เผยว่าโรงพยาบาลต่างๆ ของการารจี ทำการรักษาประชาชนที่ได้รับผลกระทบจากโรคลมแดดและภาวะร่างกายขาดน้ำเกือบ 80,000 คน โดยอุณหภูมิระดับ 45 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่านั้นถือเป็นเรื่องธรรมดาในพื้นที่อื่นๆ ในปากีสถาน แต่สำหรับการารจีแล้วนับเป็นเรื่องที่แปลกเนื่องจากปกติแล้วเมืองแห่งนี้มักมีอากาศเย็นกว่าที่อื่นๆ เนื่องจากตั้งอยู่ริมชายฝั่ง

3. ในทวีปยุโรปเกิดคลื่นความร้อนในประเทศฝรั่งเศส เยอรมัน อิตาลี อังกฤษ สเปน โปรตุเกส เนเธอร์แลนด์ และภาคใต้ของสวีเดน ในช่วงต้นเดือนกรกฎาคม ปี พ.ศ. 2558 โดยอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ประชาชนหลายคนเป็นลมหน้ามืดหมดสติ

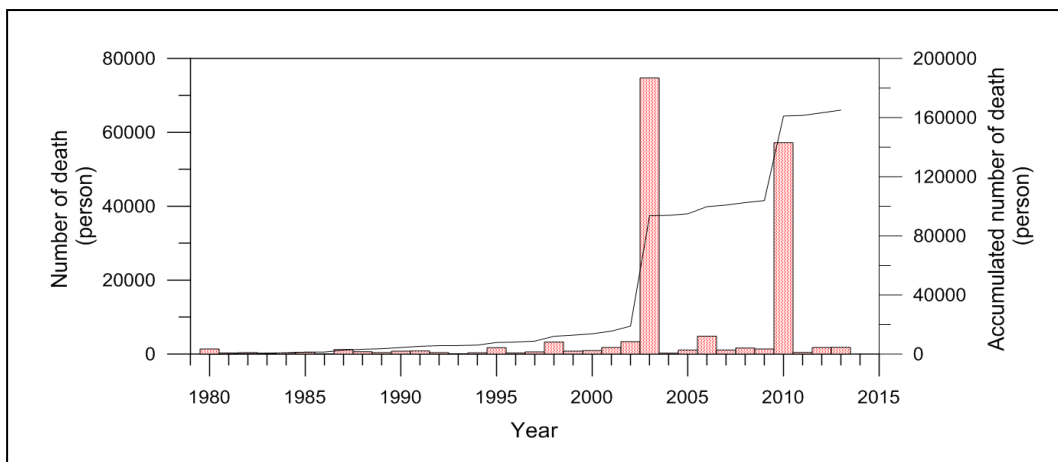
4. ประเทศอียิปต์ คลื่นความร้อนในประเทศอียิปต์เกิดขึ้นในช่วงเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2558 ทำให้มีผู้เสียชีวิตไม่น้อยกว่า 93 รายแล้ว ส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุและผู้ป่วยในโรงพยาบาลจิตเวช ขณะที่โดยตลอดช่วงที่ผ่านมา มีประชาชนอีกกว่า 1,300 คน ต้องเข้าโรงพยาบาลเพื่อรักษาภาวะเป็นลมแดดและอ่อนเพลียจากความร้อน ประเทศอียิปต์เผชิญคลื่นความร้อนตั้งแต่ปลายเดือนกรกฎาคมที่ผ่านมา อุณหภูมิในสัปดาห์ที่ผ่านมาพุ่งสูงถึง 46 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะในเขตทางภาคใต้

5. ประเทศญี่ปุ่น เกิดสถานการณ์คลื่นความร้อนปกคลุมหลายพื้นที่ในช่วงต้นเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2558 ส่งผลให้ชาวเมืองโตเกียวต้องเผชิญอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นานติดกันถึง 5 วัน ซึ่งถือว่ายาวนานที่สุด ตั้งแต่มีการเก็บข้อมูลสถิติมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2418 และกรุงโตเกียวต้องตกอยู่ในสภาพอากาศที่ร้อนระอุถึง 36.7 องศาเซลเซียส ทำให้ประชาชนในเมืองต้องเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลกว่า 3,307 คน จากสาเหตุอากาศร้อน ขณะที่เมืองโตโยะ ใน จ.อิบารากิ ทางภาพเหนือของประเทศ ต้องเผชิญกับอุณหภูมิที่สูงถึง 38 องศาเซลเซียส มีรายงานผู้เสียชีวิตแล้ว 55 ราย และมียอดผู้ป่วยทั่วประเทศกว่า 11,637 ราย ที่ต้องเข้าโรงพยาบาลเนื่องจากเป็นลมแดด

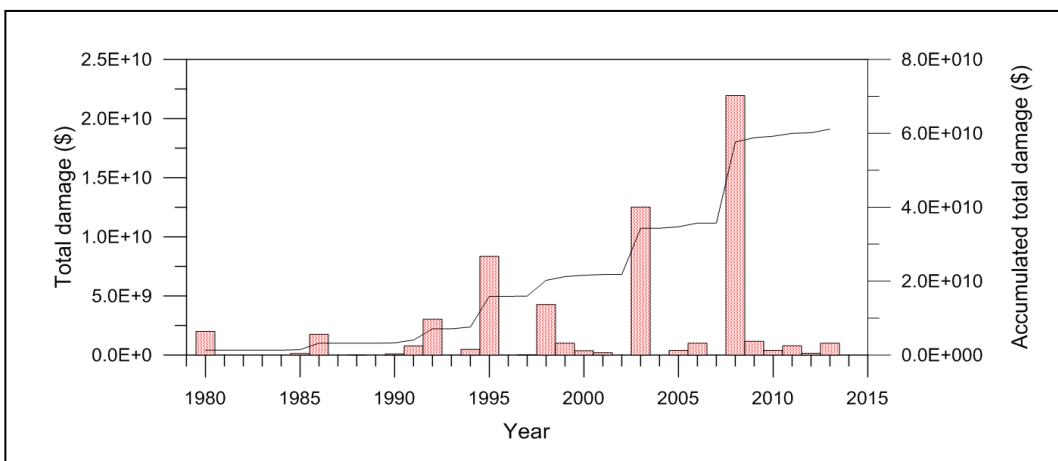
2.4 ผลกระทบของคลื่นความร้อน

คลื่นความร้อน นับเป็นภัยคุกคามทางภูมิอากาศที่สามารถส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสังคม โดยส่วนใหญ่ รู้จักกันถึงผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ (Kovats and Hajat, 2008) คลื่นความร้อนมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ของประชาชน รวมทั้งประสิทธิภาพและสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งสามารถนำไปสู่การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะสั้นของการเจ็บป่วยและเสียชีวิต (Kovats and Ebi, 2006; Basu, 2009; Gosling et al., 2009) โดยเฉพาะในพื้นที่เขตเมืองที่ประชาชนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น กลุ่มเสี่ยงที่มีความอ่อนแอต่อคลื่นความร้อน เช่น ผู้สูงอายุหรือกลุ่มที่มีโรคประจำตัว มักได้รับผลกระทบโดยตรงที่ค่อนข้างรุนแรงกว่ากลุ่มอื่นๆ ถึงแม้ว่าปัจจัยหลักของความอ่อนแอต่อคลื่นความร้อนแตกต่างกันเชิงภูมิศาสตร์ซึ่งขึ้นอยู่กับบริบททางด้านสังคม เศรษฐกิจ และการเมือง แต่ยังมีปัจจัยร่วมที่เหมือนกันในแง่ปัจจัยเสี่ยงต่อคลื่นความร้อนข้ามประเทศและภูมิภาค ซึ่งรวมถึงผู้สูงอายุที่เป็นโรคหัวใจและระบบหายใจมาก่อนอาศัยตามลำพังและทำงานนอกสถานที่

รูปที่ 2.4 แสดงสถิติจำนวนผู้ชีวิตรวมรายปีของโลกที่เกิดจากเหตุการณ์คลื่นความร้อนที่บันทึกในฐานข้อมูล Emergency Events Database (EM-DAT) ของ The International Disaster Database จากข้อมูล พบว่า ในช่วงระหว่าง 1980 ถึง 2013 มียอดผู้เสียชีวิตสะสม ประมาณ 160,000 คน โดยคลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2003 และ 2010 เป็นสองเหตุการณ์ที่มีผู้เสียชีวิตสูงสุด (รูปที่ 2.4) ผลกระทบโดยรวมของคลื่นความร้อน ซึ่งไม่เพียงเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์อย่างเดียว แต่ยังนำไปสู่การสูญเสียในภาคเศรษฐกิจ เช่น การเกษตร หรือป่าไม้ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนของปัจจัยรวมทั้งจำนวนและขนาดของคลื่นความร้อน ช่วงเวลาการเกิด การปรับตัวของมนุษย์กับเหตุการณ์คลื่นความร้อนและการตอบสนองต่อสุขภาพของประชาชน (Shevchenko et al., 2014) ทั้งนี้ สถิติความเสียหายทั้งหมด ที่เกิดจากเหตุการณ์คลื่นความร้อนขยับสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ต้นทศวรรษที่ 1990 (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.4 จำนวนผู้เสียชีวิตรวมรายปีของโลกจากเหตุการณ์คลื่นความร้อนที่บันทึกในฐานข้อมูล Emergency Events Database (EM-DAT) ของ The International Disaster Database (<http://www.emdat.be/>).



รูปที่ 2.5 ความเสียหายรวมรายปีที่ของโลกที่เกิดจากเหตุการณ์คลื่นความร้อนที่บันทึกในฐานข้อมูล Emergency Events Database (EM-DAT) ของ The International Disaster Database (<http://www.emdat.be/>).

2.5 ปัญหาสุขภาพที่สัมพันธ์กับความร้อน

ในปัจจุบันร่างกายเกิดการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งจะทำให้ร่างกายเกิดภาวะอ่อนเพลียและทำให้อุณหภูมิร่างกายสูงขึ้น ผลคือการตอบสนองของร่างกายโดยหลอดเลือดมีการขยายตัว อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้น (กรมแพทยทหารบก, 2555) ปัจจุบันภาวะโรคร้อนเป็นปัญหาที่ทุกคนให้ความสำคัญ นับวันอุณหภูมิโลกก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ สภาพอากาศร้อนจัดเป็นปัญหาสำคัญที่มีผลต่อสุขภาพที่ทำให้เกิดการเจ็บป่วยและเสียชีวิตเพิ่มขึ้นมากขึ้นในแต่ละปี ใน พ.ศ. 2546 มีประชาชนแถบยุโรปเสียชีวิตจากการอากาศที่ร้อนจัด ถึง 5,000 ราย และระหว่าง พ.ศ. 2522-2546 ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีผู้เสียชีวิตประมาณ 8,015 ราย ซึ่งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตที่พบได้มากกว่าการเสียชีวิตจากพายุเฮอริเคน ทอร์นาโด น้ำท่วม และแผ่นดินไหวรวมกัน จากสภาพอากาศที่ร้อนขึ้นในด้านทางกายภาพจะมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง ถ้าวร่างกายปรับตัวไม่ทันจึงเกิดผลทำให้ เจ็บป่วยและเสียชีวิตได้ ซึ่งกลุ่มคนที่เสี่ยงต่อภาวะนี้ ได้แก่ ผู้ป่วยโรคหัวใจ โรคเบาหวาน โรคอ้วนไข้ ภาวะขาดน้ำภาวะทางจิต การดื่มสุรา และโรคเรื้อรังอื่นๆ รวมทั้งการออกกำลังกายที่อากาศร้อนและมากเกินไปทำให้ร่างกายเกิดภาวะเครียด ผลที่ตามมา พบว่าร่างกายมีภาวะขาดน้ำ อ่อนเพลีย (สำนักกระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค, 2556) โดยที่ปัจจัยเสี่ยงของผู้ป่วยที่เกิดการเจ็บป่วยจากความร้อนนั้น สามารถแบ่งตามสภาวะต่างๆ ได้ 2 สภาวะ ดังนี้

(1) สภาวะของผู้ป่วย ได้แก่

- ดิตแอลกอฮอล์ (alcoholism)
- เบื่ออาหาร (anorexia)
- โรคเกี่ยวกับหัวใจ (cardiac disease)
- โรคที่มีการผลิตเยื่อเมือกในทางเดินหายใจมากเกินไป (cystic fibrosis)
- มีการสูญเสียน้ำ (dehydration)
- โรคเบาจืด (diabetes insipidus)
- มีความผิดปกติเกี่ยวกับการทานอาหารโดยมีพฤติกรรมการกินอาหาร และพฤติกรรมควบคุมน้ำหนักผิดปกติอย่างมาก (eating disorders)
- อายุมากๆ
- มีไข้ (febrile illness)
- ทางเดินอาหารอักเสบ (gastroenteritis)
- มีประวัติเคยเป็น heat stroke มาก่อน
- ระดับโพแทสเซียมในเลือดต่ำ (hypokalemia)
- อ้วน
- มีการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมช้า
- มีปัญหาเกี่ยวกับการนอนหลับ
- โคนแดดเผา
- การบกพร่องของการทำงานของต่อมเหงื่อ
- โรคเบาหวานที่ควบคุมไม่ได้

- ความดันโลหิตสูงหรือความผิดปกติของต่อมไทรอยด์ที่ควบคุมไม่ได้และการติดเชื้อที่บริเวณทางเดินหายใจส่วนบน

(2) ยาหรือสารที่ได้รับ ได้แก่

- แอลกอฮอล์

- ยากลุ่ม alpha adrenergics เช่น phenylephrine, methoxamine เป็นต้น

- ยากลุ่ม anticholinergics เช่น benztropine, biperiden, trihexyphenidyl เป็นต้น

- ยากลุ่ม antihistamines เช่น chlorpheniramine, cetirizine เป็นต้น

- ยากลุ่ม benzodiazepines เช่น diazepam, lorazepam เป็นต้น

- ยากลุ่ม beta blockers เช่น propanolol, atenolol เป็นต้น

- ยากลุ่ม calcium channel blockers เช่น diltiazem, verapamil เป็นต้น

- ยากลุ่ม neuroleptics เช่น clozapine, haloperidol เป็นต้น

- ยากลุ่ม phenothiazine เช่น prochlorperazine, promethazine เป็นต้น

- ยากลุ่ม diuretics เช่น furosemide, hydrochlorothiazide เป็นต้น

- ยากลุ่ม tricyclic antidepressants เช่น imipramine, clomipramine เป็นต้น

ซึ่งสภาวะโรคและยาเหล่านี้ อาจทำให้ความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิของร่างกายลดลงจนอุณหภูมิร่างกายสูงขึ้นและเกิดอันตรายแก่ชีวิตได้

Emergent Field Medicine ได้ให้ความหมายของ heat related illness ไว้ว่า คือ ผลจากร่างกายที่มีอุณหภูมิมากกว่า 38 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้ 3 ประเภท ได้แก่

1. Heat cramp (โรคตะคริวความร้อน) อาการที่อาจเกิดได้แก่ ตะคริวหรือปวดที่กล้ามเนื้อโดยเฉพาะที่หน้าท้องและขา อุณหภูมิร่างกายเปลี่ยนไป เหงื่อออกมา กระหายน้ำหรือหัวใจเต้นเร็ว โดยผู้ช่วยมักจะมีอาการหลังจากออกกำลังกายหนัก ซึ่งเกิดจากการเสียน้ำและเกลือแร่ทางเหงื่อที่มากเกินไป นอกจากนี้ยังคาดว่าอาการเกิดตะคริวอาจมาจากการที่สูญเสียโซเดียมได้ โดยในนักกรีฑาที่ดื่มน้ำเป็นจำนวนมากโดยไม่ชดเชยเกลือแร่ อาจทำให้เกิดการเจือจางของอิเล็กโทรไลต์และทำให้กระตุ้นการเกิดตะคริวขึ้นได้ อย่างไรก็ตามมีการแนะนำวิธีรักษาคือการชดเชยด้วยน้ำ แต่อาจทำให้เกิด hyponatremia ในผู้ที่มีการสูญเสียเกลือแล้วยังไม่ได้รับการชดเชยได้

2. Heat exhaustion (โรคเพลียความร้อน) เป็นโรคที่เกิดขึ้นในขณะที่ร่างกายต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงหรือจากการออกกำลังกายหนักจนทำให้อุณหภูมิ (core temperature) ในร่างกายสูง > 37 องศาเซลเซียส และ < 40 องศาเซลเซียส ร่างกายจะขาดน้ำและเกลือแร่ ทำให้เกิดอาการแสดงของโรคแบบ heat stroke แต่ความรุนแรงน้อยกว่า อาการที่อาจแสดง ได้แก่ เมื่อยล้า อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน วิดกกังวล สับสน ปวดศีรษะ ความดันต่ำ หน้ามืด ไวต่อสิ่งเร้าง่าย นอกจากนี้ยังอาจมีผลต่อระบบไหลเวียนและทำให้อุณหภูมิในร่างกายสูงมากได้

Heat exhaustion อาจแบ่งย่อยได้ 2 ประเภท ได้แก่ การสูญเสีย น้ำ และการสูญเสียโซเดียม โดยการสูญเสียน้ำนั้น ส่วนใหญ่จะเกิดในผู้สูงอายุโดยเฉพาะผู้ที่มีสภาวะโรคหรือไชยาที่อาจทำให้เกิดการสูญเสียน้ำร่วมอยู่และไม่ได้ดื่มน้ำให้เพียงพอ ส่วนการสูญเสียโซเดียมนั้น ส่วนใหญ่เกิดในผู้ที่มีปริมาณน้ำเพียงพอ แต่มีการสูญเสียโซเดียมออกทางเหงื่อมากเกินไป คนกลุ่มนี้บางครั้งอาจถูกเรียกว่า “hyperhydrated”

3. Heat stroke (โรคลมความร้อน) เป็นโรคที่รุนแรงเกิดจากความร้อนในร่างกาย (core temperature) สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส อาการคล้ายกับ heat exhaustion แต่มีรุนแรงกว่าคือมีอาการต่างๆ เพิ่มมา ได้แก่ ภาวะขาดเหงื่อ (anhidrosis) เพ้อ (delirium) ชัก (seizure) ไม่รู้สึกตัว (coma) ไตล้มเหลว (renal failure) มีการตายของเซลล์ตับ (hepatocellular necrosis) หายใจเร็ว (hyperventilation) มีการบวมบริเวณปอดจากการคั่งของของเหลว (pulmonary edema) หัวใจเต้นผิดจังหวะ (arrhythmia) การสลายกล้ามเนื้อลาย (rhabdomyolysis) ช็อก (shock) และเกิดการผลิตและสะสมของ fibrin จนไปอุดตันหลอดเลือดขนาดเล็ก และทำให้เกิดการลิ่มเลือดของอวัยวะต่างๆ ได้ (disseminated intravascular coagulation) heat stroke แบ่งตามสาเหตุการเกิดโรคออกเป็น 2 ประเภท คือ classical heat stroke และ exertional heatstroke

Classical heat stroke เกิดจากความร้อนในสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่มากเกินไป ส่วนใหญ่เกิดในช่วงที่มีอากาศร้อนพบได้บ่อยในผู้ที่มีอายุมากและมีโรคเรื้อรัง มักเกี่ยวกับความผิดปกติของระบบประสาทส่วนกลาง อาการที่สำคัญมี 3 อาการ คือ อุณหภูมิร่างกายสูง (hyperpyrexia), anhidrosis (ไม่มีเหงื่อ) และมีการเปลี่ยนแปลงของ mental status การเกิดโรคมักจะค่อยเป็นค่อยไป

Exertional heatstroke เกิดจากการออกกำลังกายที่หักโหมเกินไป ส่วนใหญ่เกิดในหน้าร้อนโดยเฉพาะกลุ่มผู้ใช้แรงงานและนักกรีฑา อาการคล้ายกับ classical แต่มีสิ่งแตกต่างที่สำคัญ คือ กลุ่มผู้ป่วยประเภทนี้จะมีเหงื่อออก นอกจากนี้ยังพบการเกิดการสลายเซลล์กล้ามเนื้อลาย (rhabdomyolysis) และอาการแทรกซ้อนได้แก่ ระดับโพแทสเซียมในเลือดสูง ระดับฟอสฟอรัสในเลือดสูง ระดับแคลเซียมในเลือดต่ำและพบไมโอโกลบินในปัสสาวะ (myoglobinuria) ในผู้ป่วยกลุ่มนี้ด้วย การเกิดโรคมักจะเกิดภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว

วติมา วรณวัฒน์เมธา และอัญชลี เพิ่มสุวรรณ ได้อธิบายถึงกระบวนการที่ร่างกายทำเพื่อลดความร้อนที่เกินของร่างกายมี 4 กระบวนการ คือ

1. การนำความร้อน (conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนให้ผ่านผิวที่สัมผัสสิ่งที่ยึด ความร้อนจะถ่ายผ่านไปสิ่งที่ยึดกว่าเช่น น้ำแข็ง วิธีนี้ถ่ายเทความร้อนได้ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ของความร้อนที่สามารถถ่ายเททั้งหมด

2. การพาความร้อน (convection) คือ การถ่ายเทความร้อนโดยการพัดผ่านของอากาศ ซึ่งจะนำเอาความร้อนออกไปจากร่างกาย เช่น เมื่อมีลมพัดผ่านหรือการใช้พัด เป็นต้น วิธีนี้ถ่ายเทความร้อนได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของความร้อนที่สามารถถ่ายเททั้งหมด

3. การแผ่ความร้อน (radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่ความร้อนโดยไม่ต้องการตัวกลางใดๆ แต่อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจะต้องต่ำกว่าอุณหภูมิของร่างกาย วิธีนี้เป็นวิธีสำคัญที่สุดของการระบายความร้อนของร่างกาย คือประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ของความร้อนที่สามารถถ่ายเททั้งหมด แต่ถ้าอุณหภูมิความร้อนมากกว่า 35 องศาเซลเซียส ร่างกายจะไม่สามารถใช้การระบายความร้อนวิธีนี้ได้เลย

4. การระเหยความร้อน (evaporation) เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการระเหยของน้ำ ในที่นี้หมายถึงการสร้างเหงื่อเพื่อช่วยลดอุณหภูมิของร่างกาย การลดความร้อนด้วยวิธีนี้เป็น การควบคุมอุณหภูมิของร่างกายระหว่างออกกำลังกายและเป็นกลไกการควบคุมอุณหภูมิวิธีแรกๆ เมื่ออุณหภูมิของร่างกายสูงขึ้น วิธีนี้เป็นวิธีที่ร่างกายใช้ระบายความร้อนออกประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของความร้อนที่สามารถถ่ายเททั้งหมด

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงพยาธิสรีระวิทยาของการเกิดโรค โดยทั่วไปร่างกายจะพยายามควบคุมอุณหภูมิร่างกายไว้ประมาณ 37 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของร่างกายจะถูกควบคุมโดยไฮโปทาลามัส (hypothalamus) ระบบพาราซิมพาเธติก (parasympathetic) จะเป็นตัวควบคุมการหลั่งของเหงื่อ ส่วนระบบซิมพาเธติก (sympathetic) จะเป็นตัวควบคุมการเพิ่มเลือดที่ไหลเวียนและขยายตัวของหลอดเลือดเพื่อช่วยให้ความร้อนลดลง นอกจากนี้ยังอาจขึ้นอยู่กับโรคเรื้อรังต่างๆ สภาวะร่างกายที่อ่อนแอ และสารหรือยาที่ใช้อยู่ เนื่องจากยาเหล่านั้นอาจจะไปลดปริมาณเลือดที่มีอุณหภูมิสูงจากอวัยวะภายในไปยังผิวหนัง

การวินิจฉัยโรคลมร้อนกรณีผู้ป่วยด้วยอาการตัวร้อน หมดสติ ในช่วงที่มีอากาศร้อน ควรคำนึงถึงโรคลมร้อน Heat Stroke เป็นอันดับแรก ขั้นตอนการวินิจฉัยเพื่อลดอัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วย ดังนี้

1. การซักประวัติการทำงาน
2. การตรวจอุณหภูมิร่างกายพบมากกว่า 40 องศาเซลเซียส (ทางทวารหนัก)
3. ภาวะไม่มีเหงื่อออก ปกติร่างกายจะสร้างเหงื่อเพื่อช่วยระบายความร้อน แต่ถ้าอุณหภูมิสูงมากถึงระดับหนึ่งจะทำให้การทำงานของต่อมเหงื่อเสียไปจนไม่สามารถสร้างเหงื่อได้

4. ระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งควบคุมการขยายตัวของหลอดเลือด รวมทั้งการกระตุ้นให้ต่อมเหงื่อสร้างเหงื่อ มักพบภาวะไตวายเฉียบพลัน ระบบหายใจล้มเหลวดับถูกทำลาย กลไกการแข็งตัวของเลือดบกพร่องเนื่องจาก coagulation factor และเกล็ดเลือดถูกทำลาย

อาการแสดงของโรคลมร้อนนั้นแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มอาการ ได้แก่

1. Hyperthermia โดยการวัดอุณหภูมิแกนร่างกายทางทวารหนักได้สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส
2. Encephalopathy อาการที่สำคัญ คือ การเปลี่ยนแปลงการรู้สติที่เริ่มจากอาการกระสับกระส่าย สับสน ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ เดินเซ ถ้าเป็นมากจะมีอาการชักและหมดสติได้ ในบางรายอาจมีอาการกล้ามเนื้อเกร็งได้เช่นกัน

3. Multiorgan dysfunction syndrome มีอาการของอวัยวะต่างๆ ท างานล้มเหลว ได้แก่ ความดันโลหิตต่ำ (hypotension), กล้ามเนื้อสลายตัว ปวดกล้ามเนื้อ (rhabdomyolysis), ไตวาย (renal failure), ปอด บวม (pulmonary edema), เลือดออก (bleeding tendency), intestinal ischemia, การบาดเจ็บที่ตับ หรือตับอ่อน (hepato-cellular or pancreatic injury)

การช่วยเหลือและการรักษาพยาบาล

1. ผู้ป่วย Heat cramp (โรคตะคริวความร้อน) ให้เครื่องดื่มเกลือแร่ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดหรือใช้สูตรที่ทำเองโดยใช้เกลือ 1 ช้อนชาผสม กับน้ำ 500 มิลลิลิตร เพื่อช่วยป้องกันการสูญเสียเกลือแร่มากเกินไป

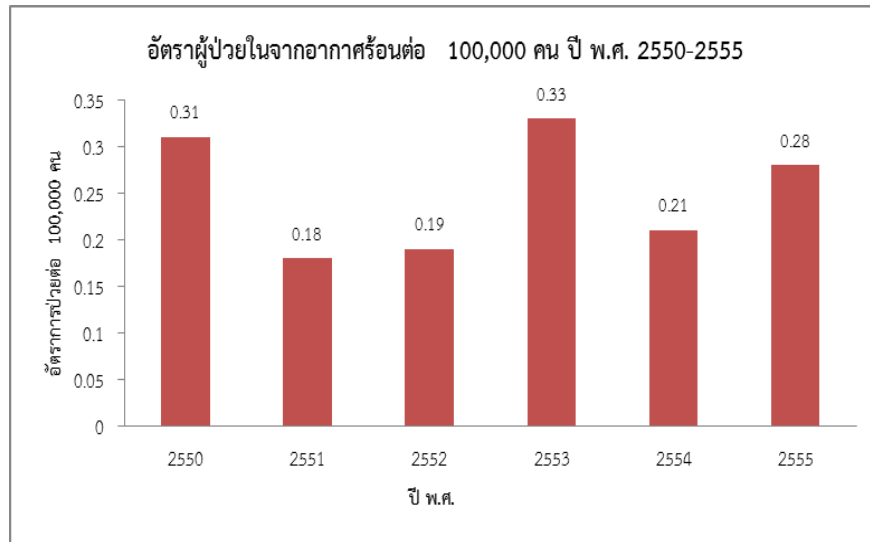
2. ผู้ป่วย Heat exhaustion (โรคเพลียความร้อน) แบ่งออกเป็น 2 อาการ คือ
 - อาการไม่รุนแรง การสูญเสียของเหลวแต่ไม่มีภาวะของ dehydrated สัญญาณชีพปกติ ไม่มีอาเจียน อาจแก้ไขโดยให้อยู่ในที่ที่เย็นสบาย บางรายอาจให้ชดเชยด้วยน้ำ และเกลือแร่
 - อาการรุนแรง มีการเปลี่ยนแปลงของจิตใจ (mental) หัวใจเต้นผิดจังหวะ
3. ผู้ป่วย Heat stroke (โรคลมความร้อน) ให้พาไปพื้นที่ที่มีอากาศเย็น ถ่ายเทสะดวก พยายามทำให้ผู้ป่วยมีอุณหภูมิเย็นขึ้น เช่น ถอดเสื้อผ้าที่ไม่จำเป็นออก นำน้ำมาประคบตามข้อพับต่างๆ เป็นต้น หลังจากนั้นต้องรีบนำตัวผู้ป่วย ส่งโรงพยาบาลทันทีเนื่องจาก heat stroke อาจมีผลต่ออวัยวะต่างๆ อาจเกิดการล้มเหลวของไตได้

วิธีการป้องกัน

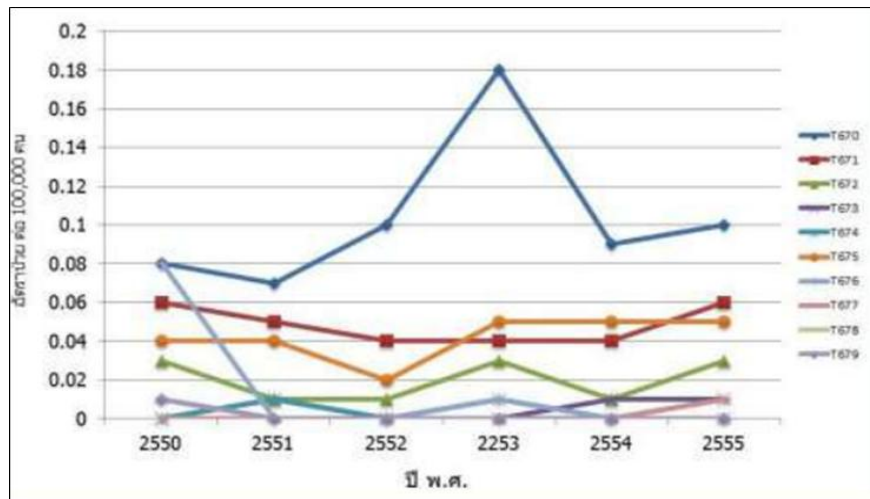
1. ดื่มน้ำให้เพียงพอ
2. หากจะออกกำลังกายไม่ควรออกขณะแดดร้อนจัด
3. สวมเสื้อผ้าที่เหมาะสมกับสภาพอากาศ
4. ควรมีการปรับตัวล่วงหน้าประมาณ 2 สัปดาห์ ก่อนออกกำลังกายในที่ที่มีอากาศร้อน

จากการศึกษาข้อมูลผู้ป่วยในที่ใช้สิทธิ์ประกันสุขภาพถ้วนหน้าของสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ พบว่า มีอัตราผู้ป่วยในจากอากาศร้อนต่อประชากร 100,000 คน จากผู้ใช้สิทธิ์ประกันสุขภาพถ้วนหน้า (รูปที่ 2.6) ข้อมูลอัตราผู้ป่วยใน ในปี พ.ศ. 2550-2555 ส่วนใหญ่เกิดอาการเป็นลม รองลงมาคือ หมดสติชั่วคราว ซึ่งมีสาเหตุมาจากความร้อนและเป็นลมแดด ข้อมูลผู้ป่วยในที่ใช้สิทธิ์ประกันสุขภาพถ้วนหน้าของสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ ที่เกิดจากปัญหาเป็นลมเพราะความร้อนจะเกิดสูงสุดในปี พ.ศ. 2553 (รูปที่ 2.7) โดยจำนวนและอัตราป่วยจากความร้อนจำแนกสาเหตุโรคที่เกิดจากความร้อน ปี พ.ศ. 2550-2555 ได้ตามรหัส ดังนี้

- T670 เป็นลมเพราะความร้อนและเป็นลมแดด
- T671 หมดสติชั่วคราวเพราะความร้อน
- T672 ตะคริวเพราะความร้อน
- T673 หมดแรงเพราะความร้อนจากการขาดน้ำ
- T674 หมดแรงเพราะความร้อนจากการขาดเกลือ
- T675 หมดแรงเพราะความร้อน ไม่ระบุรายละเอียด
- T676 ล้าเพราะความร้อน ชั่วคราว
- T677 บวมเพราะความร้อน
- T678 ผลอื่นของความร้อนและแสง
- T679 ผลของความร้อนและแสง

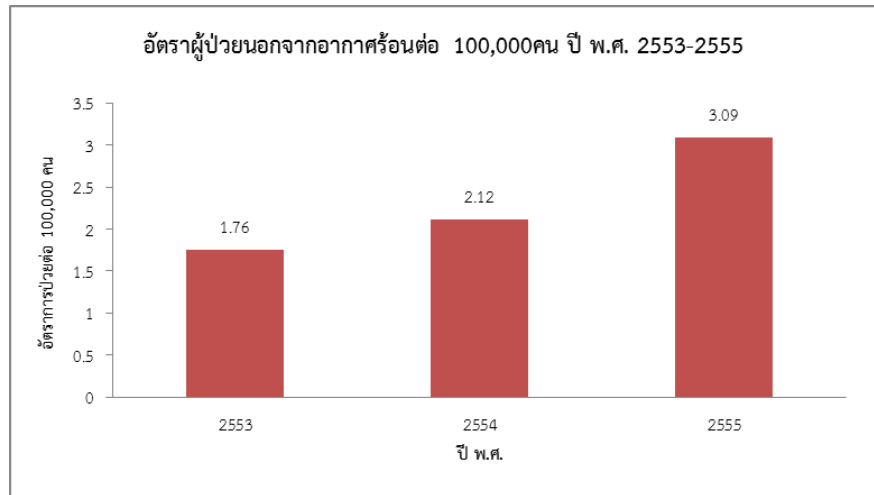


รูปที่ 2.6 อัตราผู้ป่วยในจากอากาศร้อนต่อ 100,000 คน ปี พ.ศ. 2550-2555



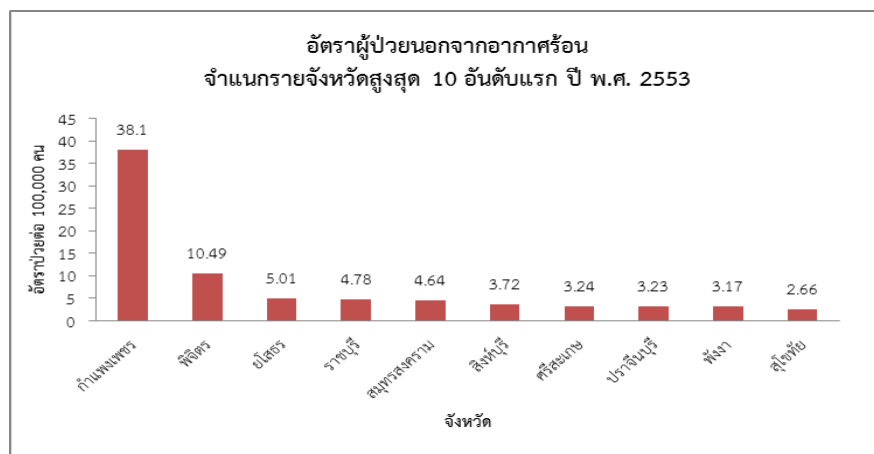
รูปที่ 2.7 อัตราผู้ป่วยในจากอากาศร้อนต่อ 100,000 คน จำแนกตามรหัส ICD-10 ปี พ.ศ. 2550-2555

จากผู้ใช้สิทธิ์ประกันสุขภาพถ้วนหน้า ข้อมูลอัตราผู้ป่วยใน ในปี พ.ศ. 2550-2555 รูปที่ 2.7 จะสูงสุดในปี พ.ศ. 2553 (อัตรา 0.33) และรองลงมาในปี พ.ศ. 2550 (อัตรา 0.31) และปี พ.ศ. 2555 (อัตรา 0.28) ตามลำดับ อัตราผู้ป่วยในแต่ละปีส่วนใหญ่เกิดจากปัญหาเป็นลมเพราะความร้อนและเป็นลมแดด รองลงมาจะหมดสติชั่วคราวเนื่องจากความร้อน อัตราผู้ป่วยในที่เกิดจากปัญหาเป็นลมเพราะความร้อนจะเกิดสูงสุดในปี พ.ศ. 2553

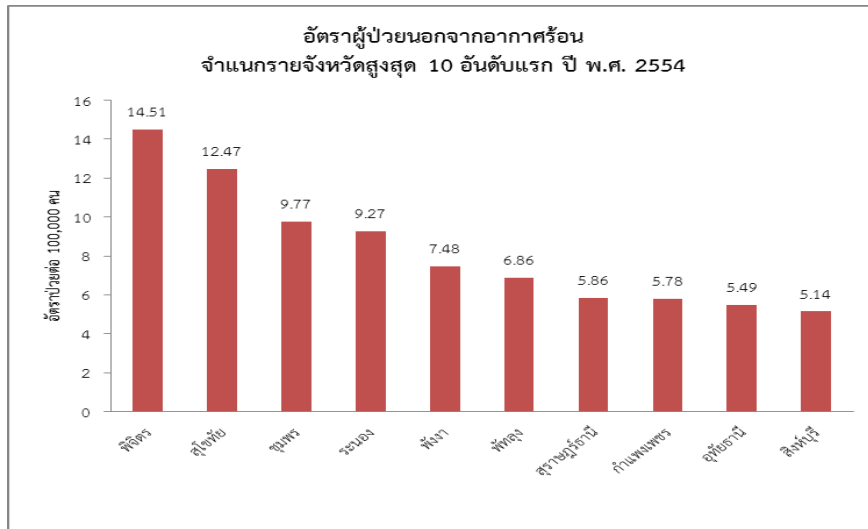


รูปที่ 2.8 อัตราผู้ป่วยนอกจากอากาศร้อนต่อ 100,000 คน ปี พ.ศ. 2553-2555

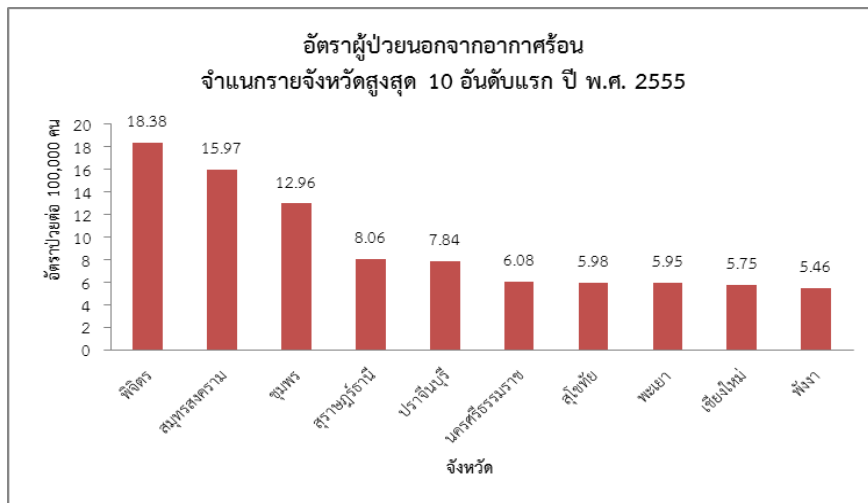
จากการรวบรวมสถิติข้อมูลอัตราผู้ป่วยนอกจากอากาศร้อน จำแนกรายจังหวัดสูงสุด 10 อันดับแรก ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2553-2555 (รูปที่ 2.9 2.10 และ 2.11) พบว่า ในปี พ.ศ. 2553 พบอัตราผู้ป่วยนอก สูงสุดที่จังหวัดกำแพงเพชร รองลงมา ได้แก่ จังหวัดพิจิตร ยโสธร ราชบุรี และสมุทรสงคราม ตามลำดับ ในขณะที่ปี พ.ศ. 2554 พบอัตราผู้ป่วยนอกสูงสุดที่จังหวัดพิจิตร รองลงมา ได้แก่ จังหวัดสุโขทัย ชุมพร ระนอง และพังงา และในปี พ.ศ. 2555 พบอัตราผู้ป่วยนอกสูงสุดที่จังหวัดพิจิตร รองลงมา ได้แก่ จังหวัดสมุทรสงคราม ชุมพร สุราษฎร์ธานี และปราจีนบุรี นอกจากนี้ จำนวนเจ็บป่วยจากการสัมผัสกับอากาศร้อนแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.9 อัตราผู้ป่วยนอกจากอากาศร้อน จำแนกรายจังหวัดสูงสุด 10 อันดับแรก ปี พ.ศ. 2553

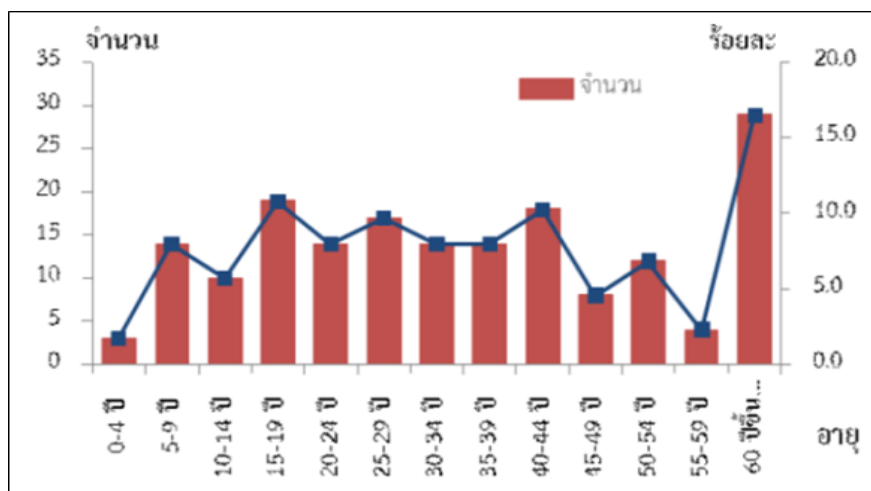


รูปที่ 2.10 อัตราผู้ป่วยนอกจากอากาศร้อน จำแนกรายจังหวัดสูงสุด 10 อันดับแรก ปี พ.ศ. 2554



รูปที่ 2.11 อัตราผู้ป่วยนอกจากอากาศร้อน จำแนกรายจังหวัดสูงสุด 10 อันดับแรก ปี พ.ศ. 2555

นอกจากนั้น การเจ็บป่วยจากการสัมผัสกับอากาศร้อน จากข้อมูลเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา พบว่าระหว่าง ปี พ.ศ.2554-2555 มีรายงานผู้ป่วยทั้งสิ้น 176 ราย เป็นผู้สูงอายุ ร้อยละ 16 และส่วนใหญ่มีอาชีพรับจ้าง มีโรคประจำตัวและการดื่มสุราประจำ



รูปที่ 2.12 จำนวนผู้เจ็บป่วยจากการสัมผัสอากาศร้อน จำแนกตามกลุ่มอายุระหว่าง ปี พ.ศ.2546-2555

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิรนนท์ จะเกรียง และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ผลกระทบต่อสุขภาพกายจากการสัมผัสพลังงานความร้อนขณะทำงานในกลุ่มคนทำนาเกลือจังหวัดสมุทรสงคราม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินขนาดและความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพกายและหาความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานในสภาพอากาศร้อนกับผลกระทบต่อสุขภาพกายของคนทำนาเกลือในจังหวัดสมุทรสงคราม โดยเก็บข้อมูลระหว่างเดือนเมษายนถึงสิงหาคม 2552 ทำการวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมด้วยดัชนีกะเปาะเปียกและโกลบ (WBGT) รุ่น RSS-214DL แบบรายพื้นที่จำนวน 18 ตัวอย่าง สัมภาษณ์ข้อมูลส่วนบุคคล ประวัติการทำงาน ลักษณะการทำงาน และอาการที่เกิดขึ้นจากการทำงานในสภาพอากาศร้อน วัดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาโดยวัดอุณหภูมิร่างกายด้วยเทอร์โมมิเตอร์ทางช่องหู วัดความดันโลหิต ซึพจรด้วยเครื่องวัดความดันโลหิตแบบดิจิตอล และตรวจระดับความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะด้วยเครื่อง Refractometer จำนวน 171 คน ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสภาพแวดล้อมกับการทำงานเท่ากับ 33.83 ± 0.95 องศาเซลเซียส สำหรับผลกระทบต่อสุขภาพกายของกลุ่มตัวอย่าง 171 คน พบว่า กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 35.67 มีอาการที่เกิดจากการทำงานในสภาพอากาศร้อน ในจำนวนนี้มีอาการที่พบมากที่สุด คือ ร้อยละ 67.18 มีอาการเพลียร้อน ร้อยละ 26.56 เป็นเม็ดผด และร้อยละ 6.25 เป็นตะคริวเนื่องจากความร้อนตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสภาพความร้อนในการทำงานกับผลกระทบต่อสุขภาพ พบว่า ค่าเฉลี่ยระดับความถ่วงจำเพาะของปัสสาวะโดยควบคุมปริมาณน้ำดื่มในขณะที่ทำงาน พบว่า แปรผันตรงและมีความสัมพันธ์กันมากกับสภาพความร้อนในการทำงาน ($r = 0.89$, $p\text{-value} < 0.001$) ตามลำดับ ผลการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าความร้อนในสภาพแวดล้อมการทำงานส่งผลกระทบต่อสุขภาพกายในกลุ่มคนทำนาเกลือ ประเด็นที่น่าสนใจ คือ การศึกษานี้ไม่พบผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากพลังงานความร้อนในระดับที่รุนแรง เช่น โรคลมร้อน อาจเนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น กลุ่มตัวอย่างมีความพร้อมในการทำงานหนักกลางแดดและมีการทำงานที่มีการปรับตัวให้เคยชินกับความร้อนมาแล้ว รวมถึงอาชีพทำนา

เกลือเป็นอาซิฟอสิระ คนทำนาเกลือสามารถที่จะหยุดพักเหนื่อยและดื่มน้ำได้ตามเวลาและปริมาณที่ตนเองต้องการ ประกอบกับสถานที่ทำงานเป็นที่โล่งแจ้ง มีลมธรรมชาติช่วยในการระเหยของเหงื่อจึงช่วยในการลดอุณหภูมิของร่างกาย

พ.อ.รศ.มทิรุทธ มุ่งถิ่น และคณะ (2555) ได้จัดทำรายงานโครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาเชิงคุณภาพ เพื่อหาแนวทางในการป้องกันโรคลมร้อนในทหารกองประจำการ โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อค้นหาแนวทางในการป้องกันการเกิดการเจ็บป่วยจากโรคลมร้อนและการเสียชีวิตจากโรคลมร้อน เป็นการดำเนินงานวิจัยการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยการสัมภาษณ์กลุ่ม และ/หรือ การสัมภาษณ์เชิงลึก โดยใช้เทคนิคการรวมกลุ่มสนทนา (Focus Group Discussion) เพื่อให้เห็นความคิดเห็น ความรู้ความเข้าใจและประสบการณ์เกี่ยวกับโรคที่เกิดจากความร้อนและ/หรือ การทำการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interview) ปัจจัยตัวบุคคล ปัจจัยของสิ่งแวดล้อม และลักษณะของโรคที่เกิดจากความร้อนภายในหน่วยฝึกทหารใหม่จังหวัดกาญจนบุรี ผลการศึกษา พบว่า แนวทางในการป้องกันโรคลมร้อนในทหารกองประจำการ คือ ก่อนทำการฝึก หน่วยฝึกทหารใหม่ควรทำการฝึกสร้างความเคยชินกับความร้อน ใน 2 สัปดาห์แรก ให้ความรู้ทหารผู้รับการฝึก เรื่องอาการเจ็บป่วยจากความร้อน การประเมินอาการเจ็บป่วยจากความร้อน การปฐมพยาบาลตามอาการ และการสังเกตอาการเจ็บป่วยด้วยตนเองและสามารถบอกอาการที่เกิดขึ้นให้กับเพื่อนผู้รับการฝึกข้างเคียง (คู่บัดดี้) ครูฝึก ผู้ช่วยครูฝึก เพื่อให้การช่วยเหลือได้ทันทั่วทั้ง ในระหว่างการฝึกควรเลือกสถานที่ฝึกที่มีลมพัดผ่านอากาศถ่ายเทได้ดี เป็นพื้นหญ้า ดีกว่า พื้นซีเมนต์/ถนน ฝึกกลางแดดมีลมพัด ดีกว่า ฝึกในร่มมีลมร้อนๆ ดีกว่า ฝึกในร่มแต่อบลม ให้มีการวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อแปลค่าเป็นสัญญาณธง ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการฝึกและปริมาณน้ำที่ต้องดื่มในแต่ละช่วงเวลา ในกรณีที่พบความผิดปกติของทหารใหม่ เช่น ไม่ทำตามคำสั่ง มีน พุทธิกรรมเปลี่ยนแปลง ซ้ำ ซึม ห้ามซ่อม ให้รีบส่ง โรงพยาบาลทันที เพื่อให้แพทย์เป็นผู้วินิจฉัยและลงความเห็นทำให้ฝึกต่อหรืองดฝึกแล้วรีบไว้รักษาตัวในโรงพยาบาล เมื่อมีไข้ ให้งดการฝึกทุกกรณี แม้จะทานยาลดไข้ ไข้ลดแล้วก็ตาม เมื่อมีอาการเจ็บป่วยเกี่ยวกับความร้อนให้รีบส่ง โรงพยาบาลที่อยู่ใกล้ที่สุดทันที

อริสรา อยู่รุ่ง และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อนของผู้ทำการฝึกพลทหารกองประจำการในกองทัพบก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์และปัจจัยที่ใช้ในการทำนายพฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อนของผู้ทำการฝึกพลทหารกองประจำการในกองทัพบกระหว่างตัวแปร ประกอบด้วยปัจจัยส่วนบุคคล (ระดับการศึกษา อายุ ระดับชั้นยศ ประสบการณ์ของผู้ทำการฝึก) การสนับสนุนของหน่วยงาน ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อนของผู้ทำการฝึกในกองทัพบก เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบสอบถามที่คณะผู้วิจัยสร้างขึ้นตามกรอบแนวคิดในการวิจัยแบ่งเป็น 6 ส่วน มีค่าความเชื่อมั่น 0.809 กลุ่มตัวอย่างคือ ผู้ทำการฝึกพลทหารกองประจำการในกองทัพบก 4 กองทัพภาค (ยกเว้นกรุงเทพมหานคร) ในพลัด 2 ประจำปี 2555 ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นเป็นสัดส่วนตามภาคหน่วย และชั้นยศ ตามตารางสำเร็จรูปของ Taro Yamane ได้กลุ่มตัวอย่าง 391 คน เก็บข้อมูลระหว่าง ธันวาคม 2555 - กุมภาพันธ์ 2556 ผลการวิจัยพบว่า

1. ระดับการศึกษา มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันการเจ็บป่วยจากความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนอายุ ชั้นยศ ประสบการณ์ของผู้ทำการฝึกไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. การสนับสนุนจากหน่วยงาน ความรู้ และทัศนคติของผู้ทำการฝึก ในการเฝ้าระวังการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามลำดับ ($r = 0.352, 0.377, 0.312$)

3. ความรู้ ทัศนคติ การสนับสนุนจากหน่วยงาน เป็นตัวแปรที่ร่วมกันพยากรณ์พฤติกรรมการเฝ้าระวังป้องกันการเจ็บป่วยจากความร้อนได้ร้อยละ 20.3 ($R^2 = 0.203$)

บทที่ 3

กรอบแนวคิดและขอบเขตของการศึกษา

3.1 กรอบแนวคิดและขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาวิจัยภายใต้โครงการนี้ อาศัยกรอบแนวคิดเชิงบูรณาการด้านคลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากอากาศร้อนที่เป็นผลพวงมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาวะโลกร้อน โดยมุ่งเป้าเพื่อนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรมและครบวงจร ผ่านการสร้างเชื่อมโยงผลการศึกษาสู่การพัฒนาาระบบและเครื่องมืออย่างง่าย สำหรับใช้ติดตามและเฝ้าระวังสถานการณ์คลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากอากาศร้อนจัด เพื่อช่วยเตรียมความพร้อมให้กับประชาชนและสนับสนุนภาคส่วนต่างๆ โดยเฉพาะหน่วยงานส่วนท้องถิ่น ในการตั้งรับและจัดการกับปัญหาคลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากอากาศร้อนจัดที่อาจเพิ่มความเสี่ยงและความถี่ของการเกิดในอนาคต กรอบแนวคิดและขอบเขตของการศึกษา ประกอบด้วย

3.1.1 การพัฒนาและจัดทำดัชนีความร้อนที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย

โดยหลักคิดและวิธีการพัฒนาดัชนีความร้อนหลายๆ ดัชนีที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบันและถูกเสนอแนะให้ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศต่างๆ เช่น Apparent Temperature Index, Heat Index ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นกรอบและแนวทางในการพัฒนาและจัดทำดัชนีความร้อนสำหรับประเทศไทย ดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้น จะถูกนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อจัดทำ Heat Index Chart และเกณฑ์ระดับความเสี่ยง ซึ่งเป็นตารางประกอบกับดัชนีความร้อนเพื่อแสดงและบ่งชี้ถึงระดับความเสี่ยงและอันตรายจากคลื่นความร้อนและสภาวะความเครียดจากอากาศร้อนจัด สำหรับประเทศไทยในระดับต่างๆ กัน ให้ผู้กำหนดนโยบายและสาธารณสุขโดยทั่วไป สามารถเข้าใจและแปลความได้ง่าย ทั้งนี้ ดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้นนี้ จะคำนวณจากข้อมูลรายวันของตัวแปรทางภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ จากสถานีตรวจวัดอากาศผิวพื้น สถานีหลักๆ ของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งได้ดำเนินการตรวจวัดและเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ ค.ศ. 1970 ถึงปัจจุบันและมีการกระจายตัวของสถานีครอบคลุมทั่วทุกภาคของประเทศไทย นอกจากนี้ ดัชนีความร้อนดังกล่าว จะยังคำนวณจากข้อมูลรายชั่วโมง ที่ทำการตรวจวัดในพื้นที่นำร่อง ด้วยสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาแบบเคลื่อนที่และเครื่องมือตรวจวัดอย่างง่ายแบบติดตั้งและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ

3.1.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้น

โดยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของดัชนีความร้อนทั้งในภาพรวมของประเทศไทยและรายละเอียดในแต่ละภาครวมทั้งรายจังหวัด โดยประยุกต์ใช้เทคนิคสถิติเชิงพหุที่นิยมใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมเชิงพื้นที่และเวลาของตัวแปรทางภูมิอากาศ เช่น เทคนิคฟังก์ชันตั้งฉากเชิงประจักษ์ (Empirical Orthogonal Function; EOF) และเทคนิคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ จะใช้แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความร้อนในแต่ละพื้นที่ และบ่งชี้ถึงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อคลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากอากาศร้อนจัด รวมทั้งพื้นที่วิกฤติที่ดัชนีความร้อนมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นทั้งความถี่และความรุนแรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

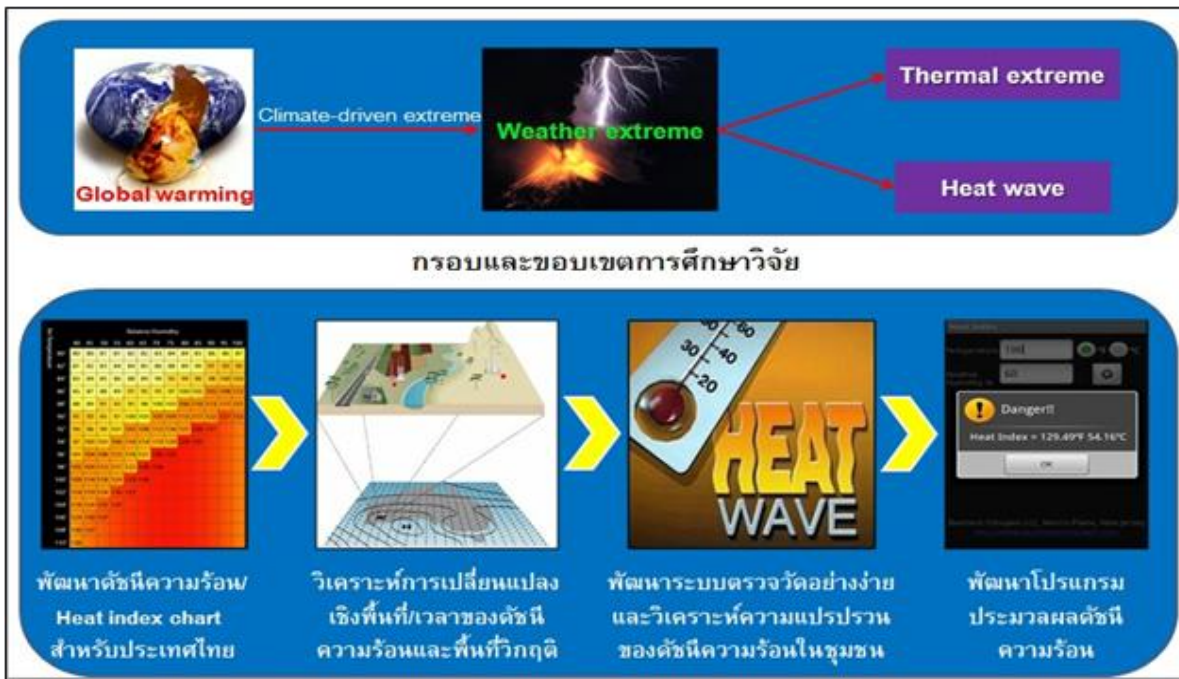
3.1.3 การนำดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่นาร่อง

โดยการนำดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่นาร่องผ่านการพัฒนาระบบตรวจวัดปรากฏการณ์ดังกล่าวสำหรับชุมชนและองค์กรส่วนท้องถิ่น ด้วยสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาแบบเคลื่อนที่และเครื่องมือตรวจวัดอย่างง่ายแบบติดตั้งและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ เพื่อติดตามความแปรปรวนของคลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากอากาศร้อนจัดในระดับชุมชนรายชั่วโมง โดยนำข้อมูลดังกล่าว มาวิเคราะห์เพิ่มเติมร่วมกับข้อมูลทางด้านสาธารณสุข เพื่อหาความสัมพันธ์และความเกี่ยวข้องกับผลกระทบทางด้านสุขภาพของประชาชน พร้อมทั้งกลไกอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

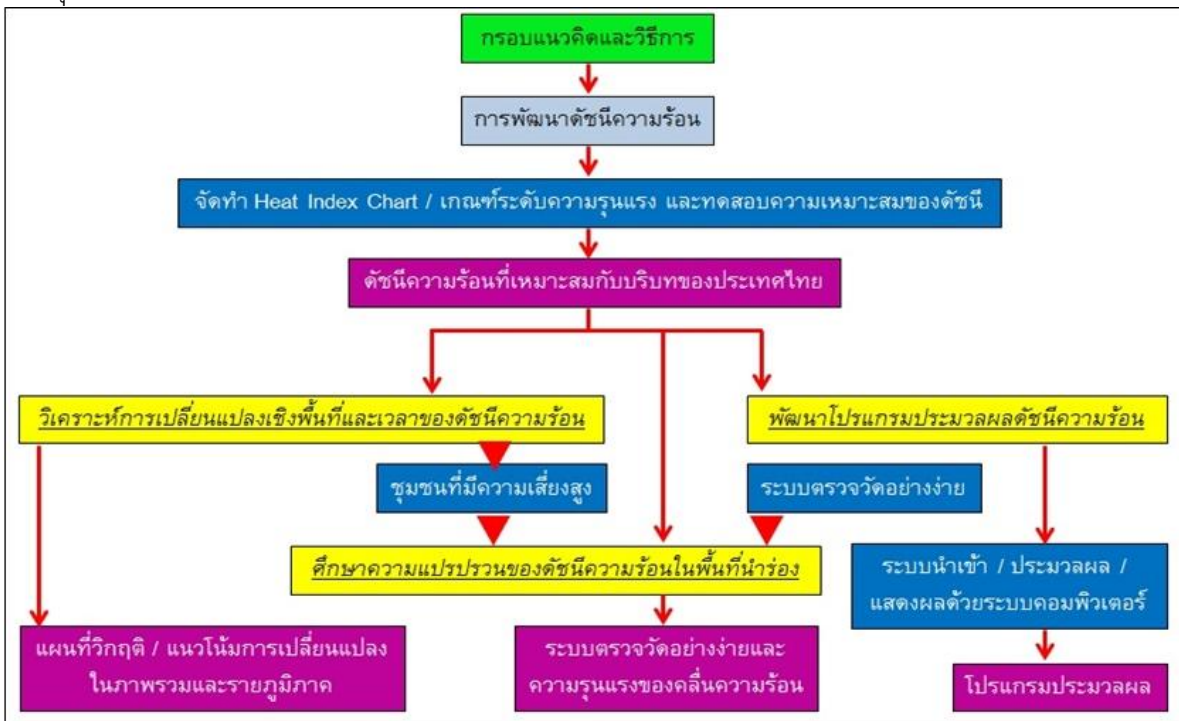
3.1.4 การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนอย่างง่าย

โดยพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณและประมวลผลดัชนีความร้อน สำหรับหน่วยงานต่างๆ โดยเฉพาะหน่วยงานส่วนท้องถิ่น ในการติดตามตรวจสอบและเตือนภัยคลื่นความร้อนและสภาวะความเครียดจากอากาศร้อนจัด ในพื้นที่และระดับชุมชน โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้น จะเป็นโปรแกรมที่ติดตั้งอยู่บนเว็บไซต์ ซึ่งทำการคำนวณและประมวล พร้อมทั้งอัปเดตผลดัชนีความร้อนจากสถานีตรวจวัดอากาศผิวพื้นสถานีหลักๆ ของกรมอุตุนิยมวิทยา อัตโนมัติรายวัน การคำนวณดัชนีความร้อนในพื้นที่นาร่องซึ่งมีจุดตรวจวัดที่ละเอียดระดับชุมชนและความละเอียดการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลรายชั่วโมง ด้วยข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาแบบเคลื่อนที่และเครื่องมือตรวจวัดอย่างง่ายแบบติดตั้งและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ เป็นอีกส่วนหนึ่งของโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน ทั้งนี้โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้นนี้ จะมีส่วนของการแสดงผลในรูปแบบของกราฟิกและตารางที่สามารถดาวน์โหลดข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์และใช้ประโยชน์เพิ่มเติมได้

กรอบแนวคิดและองค์ประกอบหลักๆ ของโครงการวิจัยในภาพรวม ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ส่วนขอบเขตการศึกษาและขั้นตอนดำเนินงานหลักๆ ของการศึกษาวิจัย อธิบายในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 กรอบแนวคิดและองค์ประกอบหลักๆ ของโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาดัชนีความร้อนและการประยุกต์ใช้ศึกษาค้นคว้าความร้อนในประเทศไทย



รูปที่ 3.2 ขอบเขตการศึกษาและขั้นตอนดำเนินงานหลักๆ ของโครงการวิจัย เรื่อง การพัฒนาดัชนีความร้อนและการประยุกต์ใช้ศึกษาค้นคว้าความร้อนในประเทศไทย

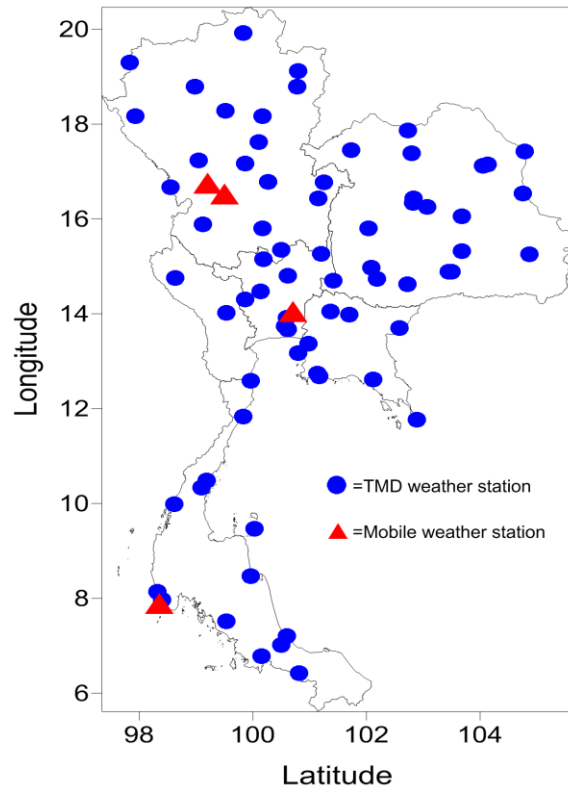
3.2 ประเภทและแหล่งข้อมูลที่ใช้

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย

3.2.1 ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์รายวัน จากสถานีตรวจวัดภูมิอากาศผิวพื้นทั่วประเทศของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยคัดเลือกเฉพาะสถานีที่ตรวจวัดและเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ถึงปัจจุบัน ซึ่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศผิวพื้นที่ได้คัดเลือกสำหรับการศึกษาี้ แสดงในรูปที่ 3.3 (สัญลักษณ์วงกลมสีน้ำเงิน)

3.2.2 ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และตัวแปรภูมิอากาศอื่นๆ ที่ตรวจวัดด้วยเครื่อง Weather Station (รูปที่ 3.4) โดยกำหนดค่า sampling rate ให้ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลในทุกๆ 1 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่องโดยตรวจวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน พลังงานแสงอาทิตย์ ความเร็วลม และทิศทางลม พร้อมตรวจสอบการทำงานของเครื่อง Weather Station ให้สามารถตรวจวัดและบันทึกข้อมูลได้ตาม sampling rate ที่กำหนด และทำการติดตั้งเครื่อง Weather Station ในพื้นที่ 4 จังหวัด (แสดงในรูปที่ 3.3 สัญลักษณ์สามเหลี่ยมสีแดง) ซึ่งประกอบไปด้วย

1. บริเวณลานหญ้าด้านหน้าคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ในช่วงระหว่างวันที่ 3-10 กรกฎาคม 2557 และวันที่ 10 เมษายน 2558 - 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2558
2. บริเวณลานหญ้าภายในศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ในช่วงระหว่างวันที่ 10 พฤษภาคม 2557 - 15 สิงหาคม พ.ศ. 2557
3. บริเวณลานหญ้าภายในสำนักงานปศุสัตว์ อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร ในช่วงระหว่างวันที่ 6-19 มีนาคม 2557 และวันที่ 4 - 13 มิถุนายน พ.ศ. 2557
4. บริเวณลานหญ้าภายในวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีตาก อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก ในช่วงระหว่างวันที่ 7-12 มีนาคม 2557 และวันที่ 4 - 13 มิถุนายน พ.ศ. 2557

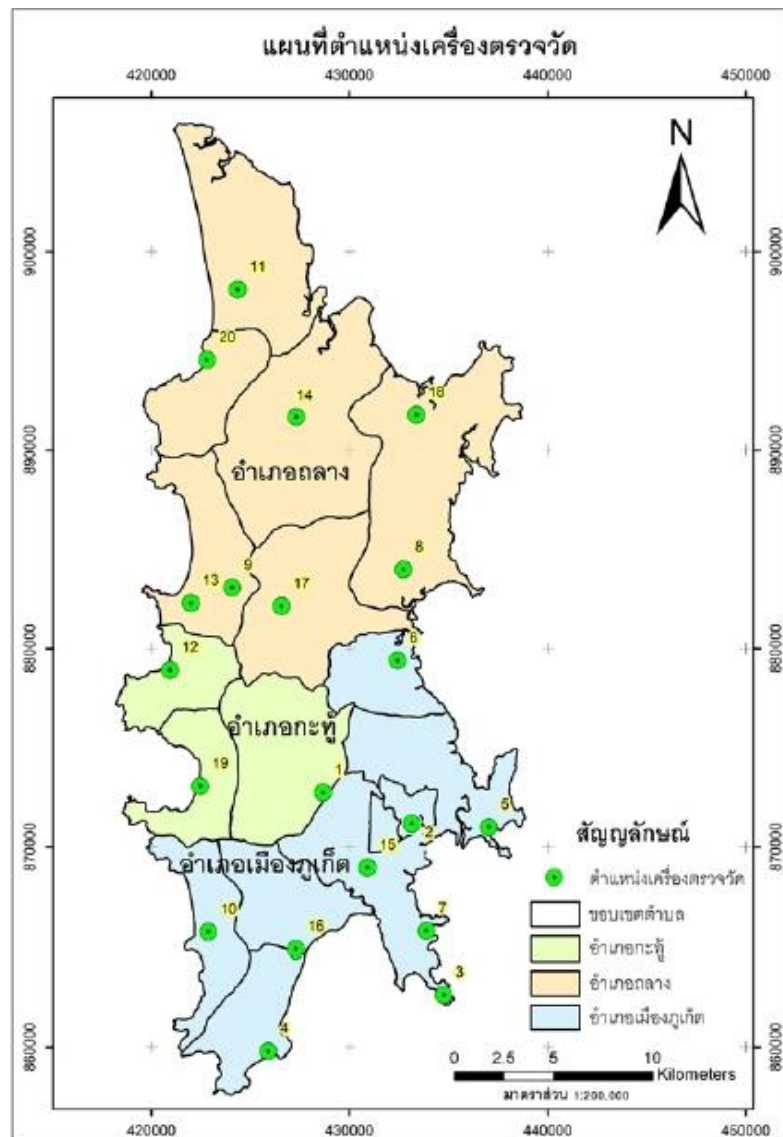


รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงที่ตั้งของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศผิวพื้น และที่ตั้งเครื่อง Weather Station



รูปที่ 3.4 เครื่อง Weather Station

3.2.3 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่นาร่อง (จังหวัดภูเก็ต) ด้วยเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อย่างง่ายแบบติดตั้งที่มี data logger บันทึกข้อมูล โดยทำการติดตั้งเครื่องมือที่ระดับความสูง 2 เมตรจากพื้นดิน จำนวน 20 สถานี ครอบคลุมพื้นที่ 3 อำเภอ 17 ตำบล โดยรอบจังหวัดภูเก็ต (รูปที่ 3.6) ซึ่งทำการกำหนดค่า sampling rate ให้เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลในทุกๆ 30 นาทีอย่างต่อเนื่อง ในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2558 พร้อมกับตรวจสอบการทำงานของเครื่องให้สามารถตรวจวัดและบันทึกข้อมูลได้ตาม sampling rate ที่กำหนดไว้ และดาวน์โหลดข้อมูลจาก data logger ทุกสัปดาห์ (data logger บันทึกข้อมูลแสดงในรูปที่ 3.6)

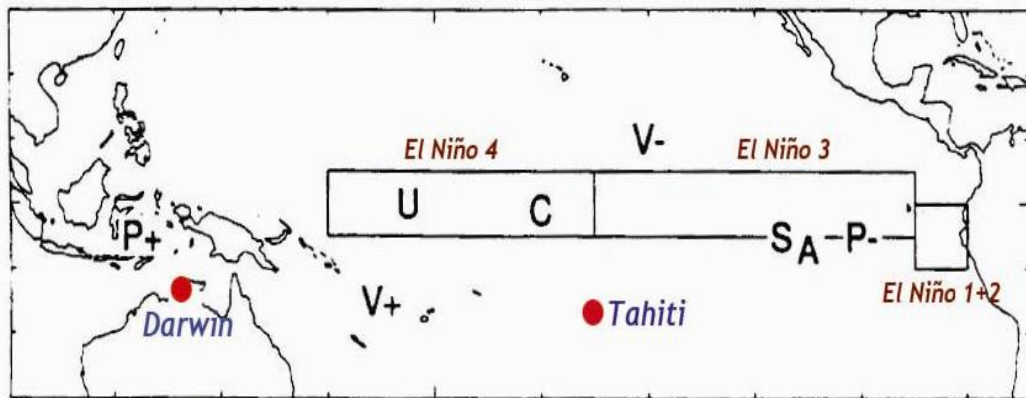


รูปที่ 3.5 สถานีติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบจังหวัดภูเก็ต



รูปที่ 3.6 data logger บันทึกข้อมูล

3.2.4 Multivariate ENSO Index (MEI) เป็นดัชนีที่ใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงควบคู่ระหว่างมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิกและความผันแปรของซีกโลกใต้ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์เอนโซ่ ซึ่งคำนวณจากข้อมูล Sea-level pressure (P), Zonal wind component (U), Meridional wind component (V), Sea surface temperature (S), Near-surface temperature (A) และ Cloudiness fraction of the sky (C) ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิก (รูปที่ 3.7) ด้วยเทคนิค Principal Component Analysis (PCA) โดยดัชนี MEI คือ Leading PCA mode ของทั้ง 6 ตัวแปร (Wolter and Timlin, 1993, 1998) ค่าบวกและลบของดัชนี MEI บ่งชี้ถึงแนวโน้มการเกิดเหตุการณ์ El Niño และเหตุการณ์ La Niña ตามลำดับ



รูปที่ 3.7 แสดงโดเมนของข้อมูล Sea-level pressure (P), Zonal wind component (U), Meridional wind component (V), Sea surface temperature (S), Near-surface temperature (A) และ Cloudiness fraction of the sky (C) ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิกที่ใช้คำนวณดัชนี MEI

3.2.5 ข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ศึกษา (จังหวัดภูเก็ต)

ข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ศึกษา (จังหวัดภูเก็ต) ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ดังนี้

3.2.5.1 ข้อมูลพื้นฐานในมิติด้านกายภาพ เศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย (1) ข้อมูลทั่วไป เช่น ขนาดพื้นที่ การปกครอง ประชากร เส้นทางคมนาคม ภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน (2) ข้อมูลด้านเศรษฐกิจ เช่น ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) พลังงาน สื่อสารและโทรคมนาคม การเงินการธนาคาร การค้า และการบริการ ประปา ไฟฟ้า (3) ข้อมูลด้านสังคม เช่น การศึกษา สาธารณสุข แรงงาน (4) ข้อมูลด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เช่น ป่าไม้ แหล่งน้ำ เป็นต้น

3.2.5.2 ข้อมูลสถิติและข้อมูลของโรคและปัญหาสุขภาพต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความร้อน เช่น โรคระคริวความร้อน (Heat cramp) โรคลมเพลียความร้อน (Heat exhaustion) โรคลมแดด (Heat stroke) โรคลมชัก ปวดศีรษะ หรือโรคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิความร้อน จากแหล่งข้อมูลในพื้นที่ศึกษา รวมทั้งฐานข้อมูลของกระทรวงสาธารณสุขโดยศึกษาข้อมูลย้อนหลัง 4 ปี (2554-2557) เกี่ยวกับโรคที่เกี่ยวข้องกับความร้อนจากข้อมูลสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ (สปสช.)

3.2.6 ข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการสำรวจในพื้นที่ศึกษา (จังหวัดภูเก็ต)

ข้อมูลอุณหภูมิความร้อน สุขภาพ สภาพแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ของประชาชนต่อภาวะความร้อนในจังหวัดภูเก็ตโดยใช้แบบสอบถามซึ่งมีเนื้อหาแบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

3.2.6.1 ข้อมูลส่วนตัว ประกอบด้วย ชื่อ ที่อยู่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้ อาชีพ และภูมิลำเนา

3.2.6.2 ข้อมูลด้านสุขภาพ ประกอบด้วย อายุ น้ำหนัก ประวัติการตรวจร่างกาย โรคประจำตัว อาการเป็นโรคลมชัก สถานที่รักษา การสูบบุหรี่ การดื่มสุรา การรับประทานอาหาร การดื่มน้ำ การออกกำลังกาย การพักผ่อน และปัญหาสุขภาพในปัจจุบัน

3.2.6.3 ข้อมูลด้านสภาพแวดล้อม ประกอบด้วย ประเภทบ้าน วัสดุที่ใช้สร้างบ้าน วัสดุผนังหลังคา ฉนวนกันความร้อน การจัดสวนต่างๆ ของบ้าน การปลูกต้นไม้ รั้วบ้าน การถ่ายเทอากาศ แสงสว่าง การติดตั้งเครื่องปรับอากาศ พัดลมดูดอากาศ และวิธีการลดอุณหภูมิภายในบ้าน

3.2.6.4 ข้อมูลด้านอุณหภูมิความร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประกอบด้วย ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ คลื่นความร้อน สาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ผลกระทบที่ได้รับ และการสัมผัสอากาศร้อน

โดยทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการคัดเลือกแบบมีจุดประสงค์/เฉพาะเจาะจง (Purposive Selection) สำหรับคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจงตามหลักการของเหตุผลโดยให้มีความสอดคล้องกับปัญหาการวิจัยด้านคลื่นความร้อนและสุขภาพ รวมทั้งดำเนินการจัดทำรายละเอียด (profile) ของประชากรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 50 ตัวอย่าง ประกอบด้วย พิกัดที่อยู่อาศัย ลักษณะและสภาพแวดล้อมทางกายภาพโดยทั่วไปของที่อยู่อาศัย และข้อมูลด้านสุขภาพ

3.3 การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล

ข้อมูลภูมิอากาศที่รวบรวมจากฐานข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาและตรวจวัดด้วยเครื่อง Weather Station และเครื่องตรวจวัดอย่างง่ายแบบติดตั้งที่มี data logger บันทึกข้อมูล ได้ถูกนำเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลทางสถิติ โดยประยุกต์ใช้วิธีมาตรฐานสำหรับการควบคุมและประกันคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศ (Peterson and Vose, 1997; Peterson et al., 1998; Vincent and Gullett, 1999; Auger et al., 2003; Wijngaard et al., 2003; Feng et al., 2004) ซึ่งมีขั้นตอนประกอบด้วย

3.3.1 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนโดยรวม (Gross error check) ประกอบด้วย ความสอดคล้องของวันตามปฏิทิน เช่น จำนวนวันต่อปีและจำนวนวันต่อเดือน และค่าสูงหรือต่ำผิดปกติของข้อมูล (High-low extreme value) ซึ่งเป็นการตรวจเช็คค่าผิดปกติของข้อมูลในแต่ละสถานี โดยค่าที่สูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงจะมีการตรวจในรายละเอียด และอาจถือว่าเป็นค่าผิดปกติในฐานข้อมูลที่ไม่ถูกนำไปใช้ในการทดสอบคุณภาพข้อมูลในขั้นตอนต่อไป หากไม่สามารถอธิบายสาเหตุได้

3.3.2 การตรวจสอบความสอดคล้องภายในของข้อมูล (Internal consistency check) สำหรับอนุกรมข้อมูลแต่ละสถานี ด้วยวิธีและเทคนิคที่ได้ระบุและเสนอแนะโดย Reek et al. (1992) ประกอบด้วย ความไม่สอดคล้องภายในของข้อมูล (Internal inconsistency) ซึ่งเป็นการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในกรณีที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่ามากกว่าอุณหภูมิสูงสุดหรือน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำสุด ช่วงอุณหภูมิรอบวันที่สูงผิดปกติ (Excess diurnal temperature range)

3.3.3 การตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลา (Temporal outlier check) เนื่องจากวิธีการควบคุมคุณภาพที่กล่าวมาในข้อ 1 และ 2 ข้างต้นนั้น สามารถตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนที่ปรากฏอย่างชัดเจนในอนุกรมของข้อมูลเท่านั้น แต่ไม่สามารถตรวจเช็คค่าผิดปกติของข้อมูลที่มีค่ามากหรือน้อยกว่าค่าข้อมูลใกล้เคียงแต่ไม่เกินขอบเขต (Threshold) และการเปลี่ยนแปลงลักษณะก้าวกระโดด (Step change) ระหว่างข้อมูลสองค่าที่อยู่ติดกันได้ ดังนั้น ค่าผิดปกติในเชิงเวลาทั้งสองกรณีสำหรับข้อมูลรายวัน สามารถตรวจเช็คได้ด้วยวิธีประเมินความแปรปรวนของข้อมูลในแต่ละเดือน ซึ่งสถิติที่เหมาะสมต่อข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ คือ เทคนิคค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ (Inter-Quartile Range; IQR) ที่เสนอแนะโดย Eischeid et al. (1995) สำหรับอนุกรมข้อมูลแต่ละสถานี ซึ่งข้อมูลที่มีค่าผิดปกติในกรณีนี้ :

$$X_{ij} - q50_j > f * IR_j \quad (1)$$

เมื่อ X_{ij} = ค่าข้อมูลวันที่ i ในเดือน j

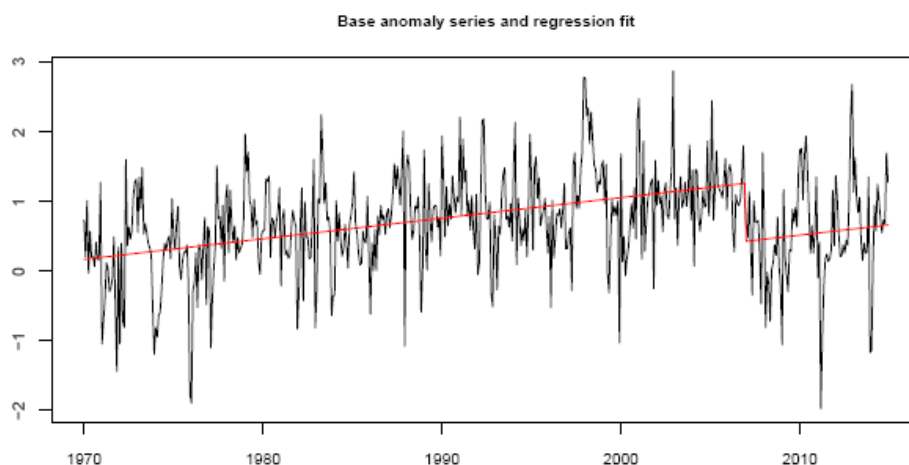
$q50_j$ = ค่ามัธยฐานหรือค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของข้อมูลเดือน j

f = ช่วงความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ ปกติจะมีค่าระหว่าง 3 ถึง 5 ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของข้อมูล

IR_j = Inter-Quartile Range (ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 ลบด้วยเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25)

3.3.4 การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล (Homogeneity check) Penalized maximal T และ F Tests (Wang et al., 2007; Wang, 2008) ซึ่งถูกพัฒนาและปรับปรุงให้เป็นวิธีมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบและปรับแก้ความเป็นเอกพันธ์ (Homogeneity) ของข้อมูลภูมิอากาศภายใต้โครงการ Joint World Meteorological Organization (WMO) Commission for Climatology (CCI)/ World Climate Research Program (WCRP) Climate Variability and Predictability (CLIVAR) Project's Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI) (<http://www.clivar.org/organization/etccdi/indices.php>) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ พร้อมทำการปรับแก้อนุกรมข้อมูลในสถานีที่มีลักษณะไม่เป็นอนุพันธ์ จากการตรวจสอบลักษณะอนุพันธ์ของข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยเบื้องต้น พบว่า ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาส่วนใหญ่ในประเทศ มีลักษณะไม่เป็นอนุพันธ์ระหว่างห้วงเวลาก่อนและหลังกลางปลายทศวรรษที่ 2000 (รูปที่ 3.8) เนื่องจากจากการเปลี่ยนแปลงการคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยจากเดิมใช้ข้อมูลสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเพียงสองค่าเท่านั้น เป็นการคำนวณจากข้อมูลตรวจวัดในรอบวัน หลักการของเทคนิค Penalized maximal T และ F Tests ในการระบุการเปลี่ยนแปลงแบบก้าวกระโดดในอนุกรมข้อมูล โดยทำการเปรียบเทียบ Goodness of fit ระหว่างโมเดล Two-phase regression กับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงของอนุกรมข้อมูลทั้งหมด Wang et al. (2007) และ Wang (2008) ได้อธิบายรายละเอียดและขั้นตอนของ Penalized maximal T และ F Tests และ FORTRAN source code มีรายละเอียดใน <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml> เทคนิค Penalized maximal T และ F Tests

3.3.5 การประมาณค่า Missing value ในอนุกรมข้อมูลของแต่ละสถานี ด้วยเทคนิค Nearby station จำนวนอย่างน้อย 3 สถานี (Eischeid et al., 1995; Hubbard, 2001; Feng et al., 2004) ซึ่งสถานีใกล้เคียงที่เลือกมาเพื่อประมาณค่า Missing value จะต้องมีความสัมพันธ์กับสถานีที่ต้องการประมาณค่า Missing value



รูปที่ 3.8 ผลการทดสอบเอกพันธ์ของอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยที่เฉลี่ยทุกสถานีในประเทศไทย ด้วยเทคนิค Penalized maximal T และ F Tests

3.4 ดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ

ดัชนีสถานะความรุนแรงของภูมิอากาศที่นิยามและเสนอแนะโดย Joint World Meteorological Organization (WMO) Commission for Climatology (CCI)/World Climate Research Program (WCRP) Climate Variability and Predictability (CLIVAR) Project's Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI) (Peterson, 2005; Klein Tank et al., 2009) ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิของข้อมูลที่ตรวจวัดจากสถานีผิวพื้น ประกอบด้วย ดัชนีสำหรับสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ 6 ดัชนี (ตารางที่ 3.1) ซึ่งดัชนีทั้งหมดดังกล่าว ถูกคำนวณจากอนุกรมข้อมูลรายวัน เพื่อแสดงจำนวนเหตุการณ์สถานะความรุนแรงของอุณหภูมิในรูปแบบต่างๆ ในคาบเวลารอบหนึ่งปี (annual time scale)

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ

ID	Indicator name	Definitions	Units
1.	Warm days (TX90p)	Percentage of days when TX > 90 th percentile	Days
2.	Warm nights (TN90p)	Percentage of days when TN > 90 th percentile	Days
3.	Cool days (TX10p)	Percentage of days when TX < 10 th percentile	Days
4.	Cool nights (TN10p)	Percentage of days when TN < 10 th percentile	Days
5.	Warm spell duration indicator (WSDI)	Annual count of days with at least 6 consecutive days when TX > 90 th percentile	Days
6.	SU38	Annual count when TX > 38°C	Days

3.5 วิธีการและเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล

เทคนิคทางสถิติพหุเชิงพรรณนา (Descriptive multivariate statistic) ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศบางเทคนิค ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และความแปรปรวนเชิงเวลาในคาบเวลาดั้งแต่ระหว่างเดือน ระหว่างปีแม้กระทั่งระหว่างทศวรรษ ตลอดจนสกัดลักษณะความแปรปรวนที่โดดเด่น เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงกับดัชนี MEI ซึ่งเป็นดัชนีที่แสดงถึงความผันแปรของโหมดภูมิอากาศที่สำคัญในภูมิภาคอินโด-แปซิฟิก รวมทั้งหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวเชิงเส้นตรง ซึ่งเทคนิคทางสถิติพหุเชิงพรรณนา ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย

3.5.1 เทคนิคฟังก์ชันตั้งฉากเชิงประจักษ์ (Empirical Orthogonal Function; EOF)

เทคนิค EOF หรือรู้จักกันในนามของเทคนิค PCA มีหลักการบนพื้นฐานการสกัดและแยกฐานข้อมูลขนาดใหญ่ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันพื้นฐานของ Orthogonal (Eigenvalue/Eigenvector) ด้วยการแปลงเชิงเส้นตรงเพื่อลดมิติของจำนวนตัวแปรให้เหลือจำนวนน้อยลง แต่สามารถอธิบายความแปรปรวนส่วนใหญ่ในฐานข้อมูลเดิม (Preisendorfer, 1988; Hannachi et al., 2007) โดย EOF ของเมตริกซ์ข้อมูล $F(t,x)$ สำหรับตัวแปร t

($t = t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$) ที่ตำแหน่ง $x (x_1, x_2, x_3, \dots, x_p)$ ในกรณีของการศึกษานี้ คือ ดัชนีความร้อนรายเดือนของทุกสถานีสามารถแสดงในสมการที่ 2

$$F(t, x) = \sum_{j=1}^p a_j(t)(u_j(x)), \quad (2)$$

โดยที่ p =จำนวนโหมดของ $u_j(x)$ ส่วน $a_j(t)$ = Principal score ในโหมด j สำหรับ a_1u_1 = ผลรวมเชิงเส้นโหมดที่ 1 ของเมตริกซ์ F ที่มีความแปรปรวนสูงสุดในขณะที่ a_2u_2 = ผลรวมเชิงเส้นโหมดที่ 2 ของเมตริกซ์ F ที่มีความแปรปรวนเป็นลำดับที่ 2 ทั้งนี้ แต่ละโหมดที่ถูกสกัดออกจากฐานข้อมูลเดิม เป็นอิสระต่อกัน หรือมีคุณสมบัติ Orthogonality ซึ่งผลรวมความแปรปรวนในแต่ละโหมด จะเท่ากับความแปรปรวนในฐานข้อมูลเดิม โดยปกติ ความแปรปรวนส่วนใหญ่ มักปรากฏอยู่ในโหมดแรกๆ ของ EOF (Preisendorfer, 1988; Jolliffe, 2002; Hannachi et al., 2007) วิธี EOF คำนวณจากเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix) ของฐานข้อมูลเดิม เพื่อจำแนกข้อมูลเดิมออกเป็นค่า Eigenvalue, Eigenvector และ Principal score สมการสำหรับการวิเคราะห์ PCA สรุปได้ดังนี้

$$Z^*E = E^*L \text{ หรือ } (Z-L)^*E = 0 \quad (3)$$

$$A = Z^*E \quad (4)$$

$$E^*ET = ET^*E = I \quad (5)$$

$$AT^*A = L \quad (6)$$

โดยที่ Z = เมตริกซ์ขนาด $n \times p$ โดย n =เวลา และ p =สถานีทั้งหมด

E = เมตริกซ์ของ Eigenvector ขนาด $p \times p$

L = เมตริกซ์ทแยงของ Eigenvalue ขนาด $p \times p$ โดยตำแหน่ง off-diagonal มีค่าเป็นศูนย์

A = เมตริกซ์ของ principal score ขนาด $p \times p$

I = เมตริกซ์ทแยงที่ตำแหน่ง diagonal มีค่าเป็นหนึ่ง ในขณะที่ ตำแหน่ง off-diagonal มีค่าเป็นศูนย์

3.5.2 Kendall's tau correlation (τ)

เป็นเทคนิคทางสถิติแบบนอนพาราเมตริก (Non-parametric) ที่ใช้วิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร ซึ่งความสัมพันธ์ถูกวิเคราะห์บนพื้นฐานของชุดข้อมูลที่ได้จัดเรียงลำดับ (rank) เช่นเดียวกับ Spearman's rank correlation (Kendall, 1990) สมการที่ 7 ใช้คำนวณสัมประสิทธิ์ของ Kendall's tau correlation

$$\tau = \frac{C - D}{C + D} = \frac{C - D}{\frac{n \cdot (n-1)}{2}} = \frac{C - D}{\binom{n}{2}} = \frac{C - D}{\frac{n!}{2!(n-2)!}} \quad (7)$$

โดยที่ C = Concordant pairs (rank ของตัวแปรที่สองมากกว่า rank ของตัวแปรก่อนหน้า)

D = Discordant pairs (rank เท่ากับหรือน้อยกว่า rank ของตัวแปรแรก)

Kendall's tau correlation มักถูกแปลผลในบริบทของความน่าจะเป็นระหว่าง Concordant และ Discordant pairs ซึ่งค่อนข้างแตกต่างจาก Pearson และ Spearman correlation สัมประสิทธิ์ของ Kendall's tau correlation มีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 โดยที่ค่า τ แสดงถึงระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างสองตัวแปร

3.5.3 Ordinary Least Square (OLS) regression

เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ความชันของเส้นตรง หรือรู้จักกันในนามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง (Linear trend) ที่ใช้ fit ชุดข้อมูลด้วยสมการถดถอย (Linear regression) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร โดยเทคนิค OLS เลือกเฉพาะเส้นตรงที่ fit ข้อมูลแล้ว ทำให้ผลรวมของ squared error มีค่าน้อยที่สุด (Wilks, 2006) สำหรับชุดข้อมูล (x,y) เส้นตรงที่ใช้ fit ข้อมูลแล้ว ทำให้ squared ของเส้นแนวตั้งระหว่างเส้นตรงและจุดของข้อมูลมีค่าน้อย ได้ดังนี้

$$\hat{y} = a + bx, \quad (8)$$

รูปที่ 3.9 แสดงระยะทางตามแนวตั้งระหว่างจุดข้อมูลและเส้นตรง หรือค่า error (residual) ซึ่งนิยามได้ดังนี้

$$e_i = y_i - \hat{y}(x_i). \quad (9)$$

ทั้งนี้ เมื่อรวมสมการที่ 8 และ 9 เข้าด้วยกันแล้ว ได้สมการถดถอย ดังแสดงในสมการที่ 10

$$y_i = y_i + e_i = a + bx_i + e_i, \quad (10)$$

ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ค่าที่แท้จริงของ Predictand คือ ผลรวมของค่าพยากรณ์ (8) และค่า error ดังนั้น ค่า intercept (a) และ slope (b) สามารถประมาณ เพื่อให้ผลรวมของ squared residual มีค่าน้อยที่สุด ได้ดังนี้

$$\sum_{i=1}^n (e_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - [a + bx_i])^2, \quad (11)$$

ขั้นตอนต่อไป เป็นการแก้ปัญหาในเชิงแคลคูลัส (Calculus) เพื่อลด residual ให้มีค่าน้อยที่สุดของสองตัวแปรของสมการถดถอย คือ a และ b โดยการประยุกต์ใช้ differential calculus เพื่อคำนวณค่า a และ b จากอนุพันธ์ (derivative) ของสมการที่ 11 ในกรณีที่ทั้งสองค่าถูกกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ ทั้งนี้ อนุพันธ์ของสมการที่ 11 สำหรับตัวแปร a และ b ที่ทราบค่า คือ

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (e_i)^2}{\partial a} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0 \quad (12)$$

และ

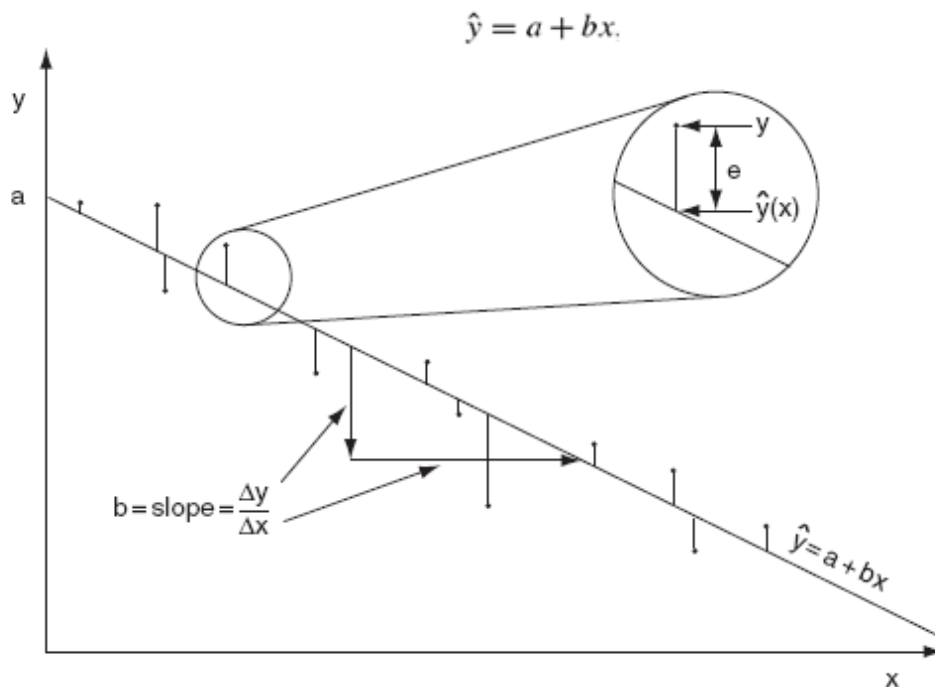
$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (e_i)^2}{\partial b} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n [x_i (y_i - a - bx_i)] = 0. \quad (13)$$

ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการประมาณค่า a และ b ด้วย

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2} \quad (14)$$

และ

$$a = \bar{y} - b\bar{x}. \quad (15)$$



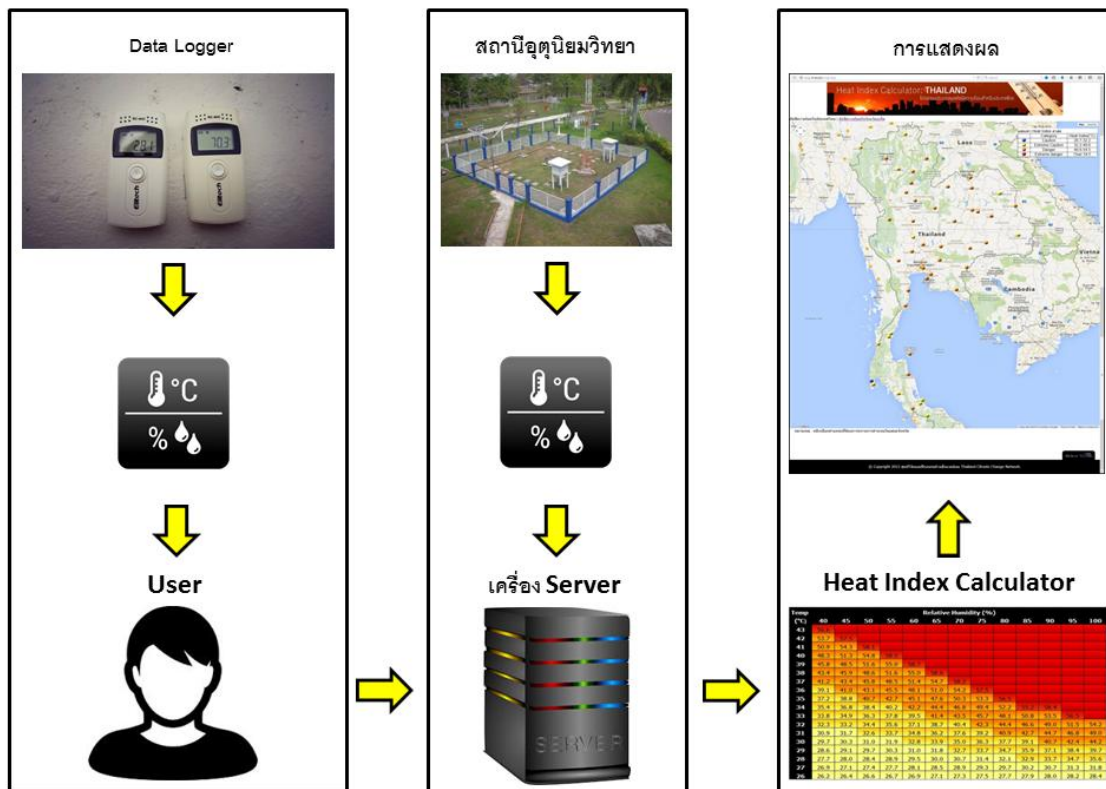
รูปที่ 3.9 แสดงสมการถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย ซึ่งถูกคัดเลือกเพื่อลดความแตกต่าง (residual; e) ระหว่างเส้นตรงและจุดข้อมูล ทั้งนี้ OLS regression เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ผลรวมของ squared ของเส้นแนวตั้งระหว่างเส้นตรงและจุดของข้อมูล

3.6 กรอบแนวคิดและวิธีการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน

การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้น เป็นการพัฒนาระบบโปรแกรมไมโครซอฟท์ ไอไอเอส (Microsoft IIS = Internet Information Server) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการจำลองเครื่องคอมพิวเตอร์ให้กลายเป็นเครื่องเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้ฐานข้อมูล MySQL ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของระบบบริหารจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (RDBMS : Relational Database Management System) และใช้ ASP.NET Web Pages ช่วยในการสร้าง Web Application ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามการเขียนคำสั่งและเงื่อนไขต่างๆ ได้ตามต้องการ

โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน จะถูกกำหนดเงื่อนไขการทำงานโดยให้ทำการดาวน์โหลดข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์แบบอัตโนมัติ (ข้อมูลรายวัน ช่วงเวลา 15.00 น.) จากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาที่แสดงบนหน้า http://www.tmd.go.th/daily_forecast_forweb_guide.php โดยข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะถูกดึงเข้าสู่ระบบการคำนวณ ทำการคำนวณดัชนีความร้อนในสูตร Heat Index calculator และผลลัพธ์ที่ได้จากสูตรคำนวณจะถูกจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล MySQL และแสดงผลในรูปแบบแผนที่ Google map ที่แสดงเกณฑ์ระดับความรุนแรงของค่า Heat Index โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ caution / extreme caution / danger / extreme danger แสดงบนหน้า <http://deqp.it-biz.biz/map.aspx> โครงสร้างการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน

ในขณะที่ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชนยังเป็นองค์ประกอบย่อยที่ถูกบรรจุเข้าไปในโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนโดยมีข้อแตกต่างในลักษณะของการนำเข้าข้อมูล ซึ่งระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชนจำเป็นต้องใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบ Data Logger ตรวจวัดและบันทึกค่าที่ได้ จากนั้นต้องนำข้อมูลจาก Data Logger เข้าสู่โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนด้วย user ซึ่งจะมีความแตกต่างกับการดาวน์โหลดข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์แบบอัตโนมัติของโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน เมื่อนำเข้าข้อมูลที่ตรวจวัดข้อมูลดังกล่าวจะถูกดึงเข้าสู่ระบบการคำนวณ ทำการคำนวณดัชนีความร้อนในสูตร Heat Index calculator และแสดงผลในรูปแบบแผนที่ Google map เช่นกัน (รูปที่ 3.10)



รูปที่ 3.10 กรอบแนวคิดและวิธีการพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน/ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อน

3.7 วิธีเก็บข้อมูลปฐมภูมิในพื้นที่นำร่อง

การเก็บข้อมูลปฐมภูมิในพื้นที่นำร่อง เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านสุขภาพและข้อมูลสภาพแวดล้อม ของประชาชนที่เสี่ยงต่อภาวะความร้อนในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตด้วยแบบสอบถาม ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบมีจุดประสงค์/เฉพาะเจาะจง (Purposive Selection) สำหรับคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจงตามหลักการของเหตุผล โดยให้มีความสอดคล้องกับปัญหาการวิจัยด้านคลื่นความร้อนและสุขภาพ รวมทั้งดำเนินการจัดทำรายละเอียด (profile) ของประชากรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 50 ตัวอย่าง ประกอบด้วย พิกัดที่อยู่อาศัย ลักษณะและสภาพแวดล้อมทางกายภาพโดยทั่วไปของที่อยู่อาศัย

ลงพื้นที่สัมภาษณ์ประชากรกลุ่มตัวอย่างด้วยแบบสอบถามที่ได้พัฒนาขึ้น (รูปที่ 3.11) ซึ่งมี 4 หัวข้อ ดังนี้ (1) ข้อมูลส่วนตัวทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (2) ข้อมูลด้านสุขภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม (3) ข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมทั่วไปของครัวเรือน และ (4) ข้อมูลด้านอุณหภูมิความร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทั้งสิ้นจำนวน 50 ตัวอย่าง และดำเนินการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม และจัดทำสรุปความเสี่ยงและผลกระทบของอุณหภูมิความร้อนที่สูงขึ้นที่มีอาจมีผลต่อประชาชนในพื้นที่

แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

เรื่อง อุณหภูมิความร้อน สุขภาพ สภาพแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ของประชาชนต่อภาวะ
 ความร้อนในจังหวัดภูเก็ต

คำชี้แจง : แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการสัมภาษณ์ประชาชนในชุมชนเกี่ยวกับอุณหภูมิความร้อน สุขภาพ
 สภาพแวดล้อม รวมถึงความรู้ความเข้าใจและความคิดเห็นเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จึงขอความ
 ร่วมมือจากท่าน ในการตอบและกรอกแบบสอบถามตามข้อเท็จจริงมากที่สุด เพื่อจะได้นำมาผลไปวิเคราะห์ความ
 เสี่ยงและผลกระทบของอุณหภูมิความร้อนที่สูงขึ้นของประชาชนที่เสี่ยงต่อภาวะความร้อนในจังหวัดภูเก็ต

รายละเอียด : แบบสอบถามชุดนี้มี ๔ ตอน ดังนี้

- ตอนที่ ๑ ข้อมูลส่วนตัวทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
- ตอนที่ ๒ ข้อมูลด้านสุขภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม
- ตอนที่ ๓ ข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมทั่วไปของครัวเรือน
- ตอนที่ ๔ ข้อมูลด้านอุณหภูมิความร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

รูปที่ 3.11 แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

บทที่ 4

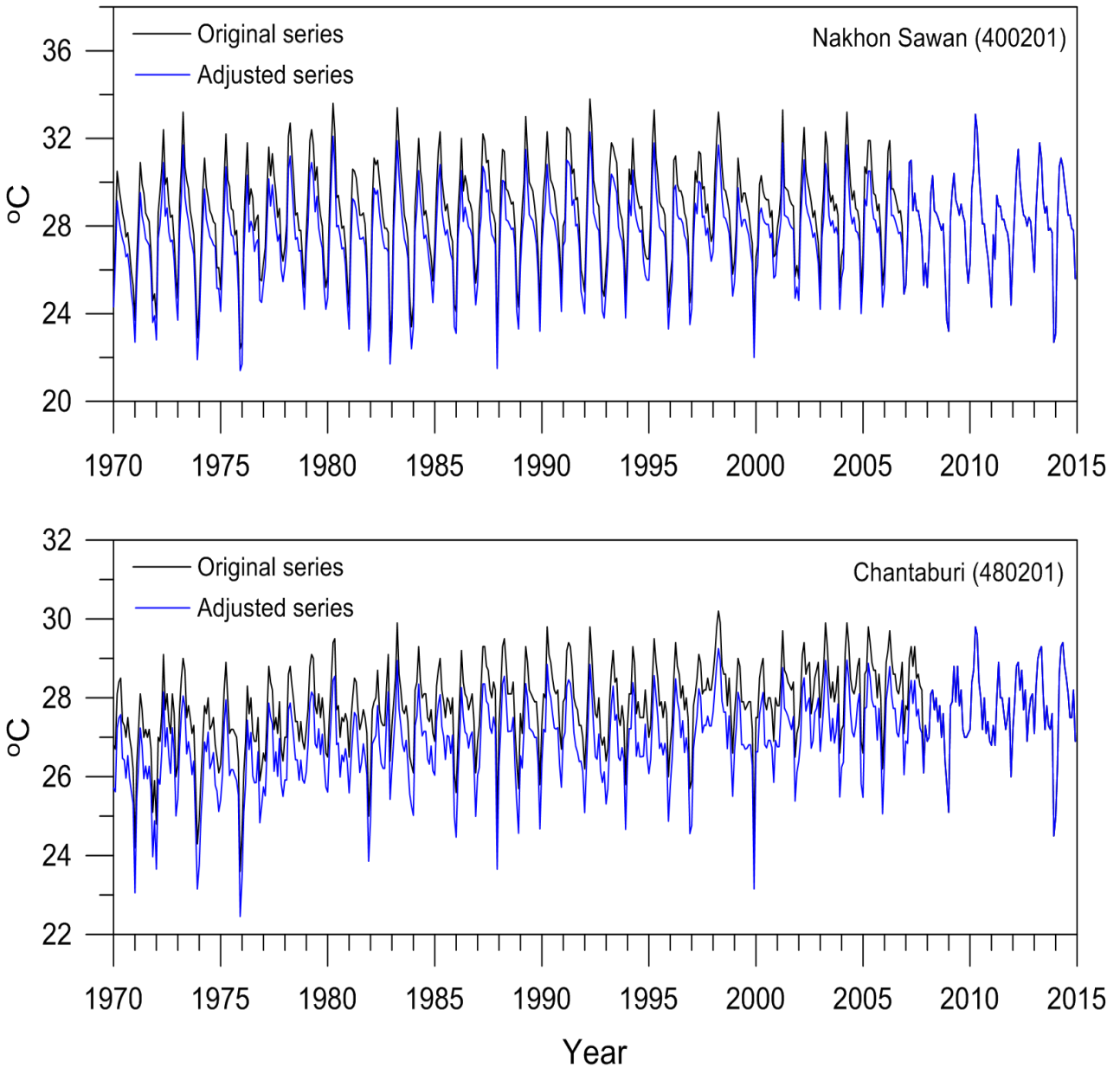
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลการตรวจสอบและปรับแก้ลักษณะเอกพันธ์ของข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย

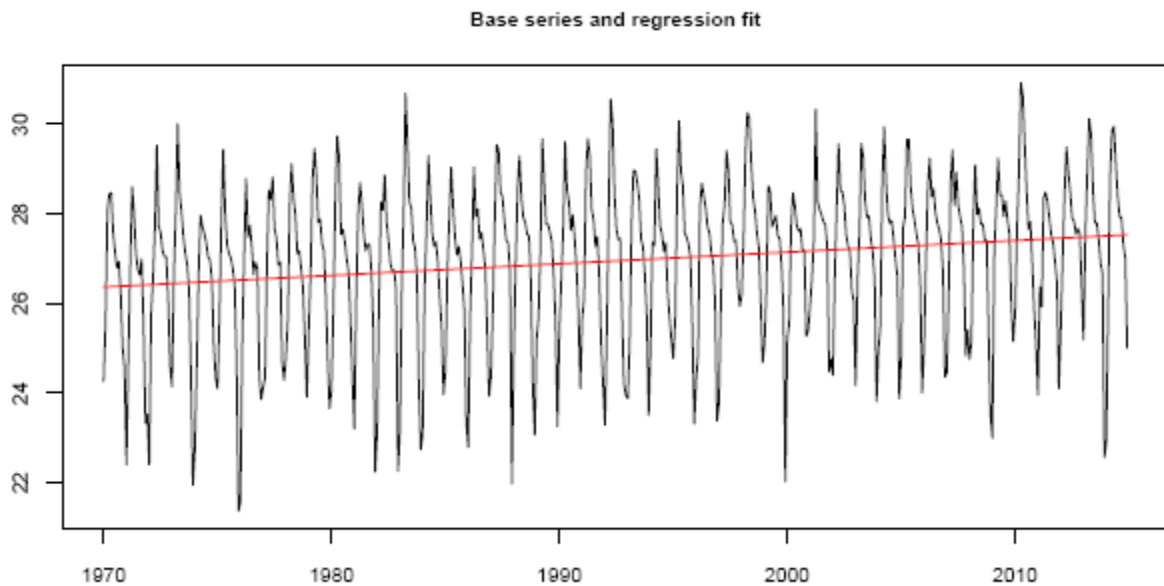
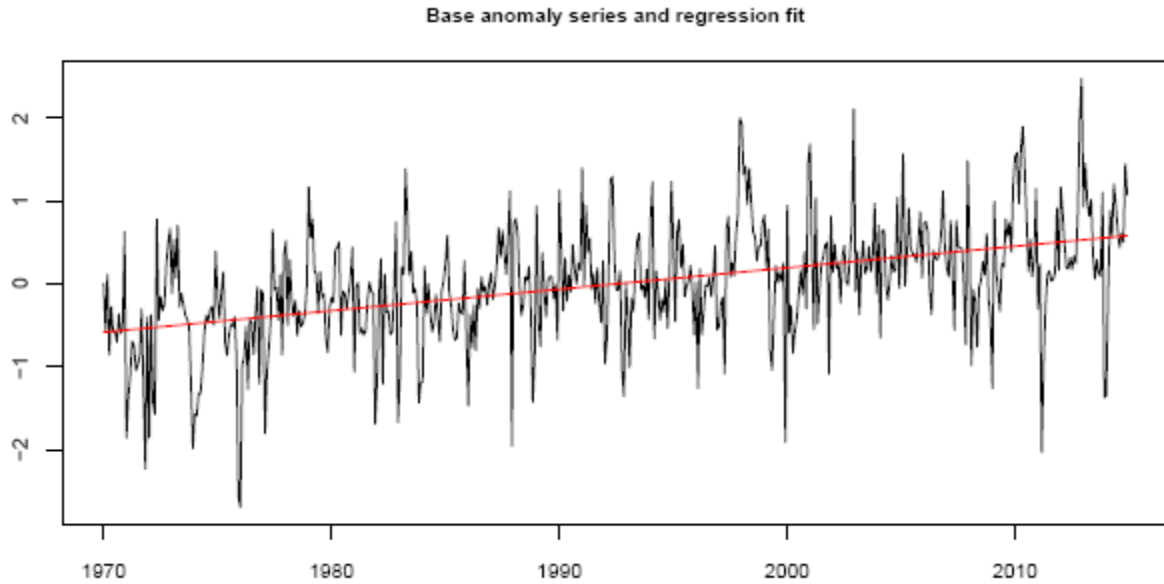
รายละเอียดของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิว และข้อมูลภูมิอากาศรายวันแต่ละตัวแปรที่รวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยา ในตารางที่ 1 ของภาคผนวกที่ 1 ในขณะที่ผลการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ missing value รวมของแต่ละสถานี ความคลาดเคลื่อนในภาพรวมของข้อมูล ความสอดคล้องภายในของข้อมูลและค่าผิดปกติในเชิงเวลาของแต่ละตัวแปร สรุปในตารางที่ 2-5 ของภาคผนวกที่ 1 ผลการตรวจสอบลักษณะเอกพันธ์ของอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน เฉพาะสถานีที่ข้อมูลถูกเก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่องในห้วงเวลา 1970 ถึง 2014 จำนวน 72 สถานี ด้วย Penalized maximal F Test ซึ่งเป็นเทคนิคตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแบบ undocumented mean shift ของอนุกรมข้อมูล (Type-1 Changepoints) (Wang, 2008) โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นทางสถิติของการตรวจสอบที่ระดับ 99% ($p=0.01$) พบว่า เพียง 11 สถานีเท่านั้นที่อนุกรมของข้อมูลมีลักษณะเอกพันธ์ ส่วนอนุกรมของข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยที่เหลือ มีลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ (ตารางที่ 6 ของภาคผนวกที่ 1) โดยตรวจพบการเปลี่ยนแปลงแบบก้าวกระโดดของค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในปี 2006/2007 (รูปที่ 3.6 และตารางที่ 6 ของภาคผนวกที่ 1) ตรวจสอบเพิ่มเติมในรายละเอียดกับกรมอุตุนิยมวิทยาซึ่งเป็นเจ้าของฐานข้อมูลแล้ว พบว่า การเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏในอนุกรมของข้อมูลดังกล่าว อาจสืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงวิธีการคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยจากเดิมใช้อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดเพียงสองค่าเท่านั้น เป็นการคำนวณจากข้อมูลตรวจวัดในรอบวัน ดังนั้น ก่อนที่จะนำข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยไปวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงและคำนวณดัชนีความร้อน ได้ทำการปรับแก้ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูลรายสถานี ด้วยเทคนิค multiphase regression model และ quantile-matching (QM) algorithm (Wang et al., 2007; Wang, 2008; Wang et al., 2010) ซึ่งใช้ข้อมูลหลังจากปี 2007 เป็นอนุกรมฐาน (reference base) เพื่อใช้สำหรับปรับแก้ข้อมูลก่อนห้วงเวลานี้ รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยก่อนและหลังปรับแก้ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูลด้วยเทคนิค multiphase regression model และ quantile-matching (QM) algorithm กรณีตัวอย่างข้อมูลรายเดือนของสถานี นครสวรรค์และจันทบุรี ส่วนผลการทดสอบเอกพันธ์ของอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยที่เฉลี่ยทุกสถานีในประเทศไทย หลังจากข้อมูลได้ปรับแก้ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูลแล้ว แสดงในรูปที่ 4.2

การตรวจสอบและปรับแก้ลักษณะเอกพันธ์ของอนุกรมข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ มีขั้นตอนที่แตกต่างจากข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย โดยมีขั้นตอนหลักอยู่ 2 ขั้นตอน เริ่มต้นด้วยการตรวจสอบลักษณะเอกพันธ์ของอนุกรมข้อมูลรายเดือนด้วย Penalized maximal F Test ซึ่งรัน R-based source code ด้วยฟังก์ชัน FindU

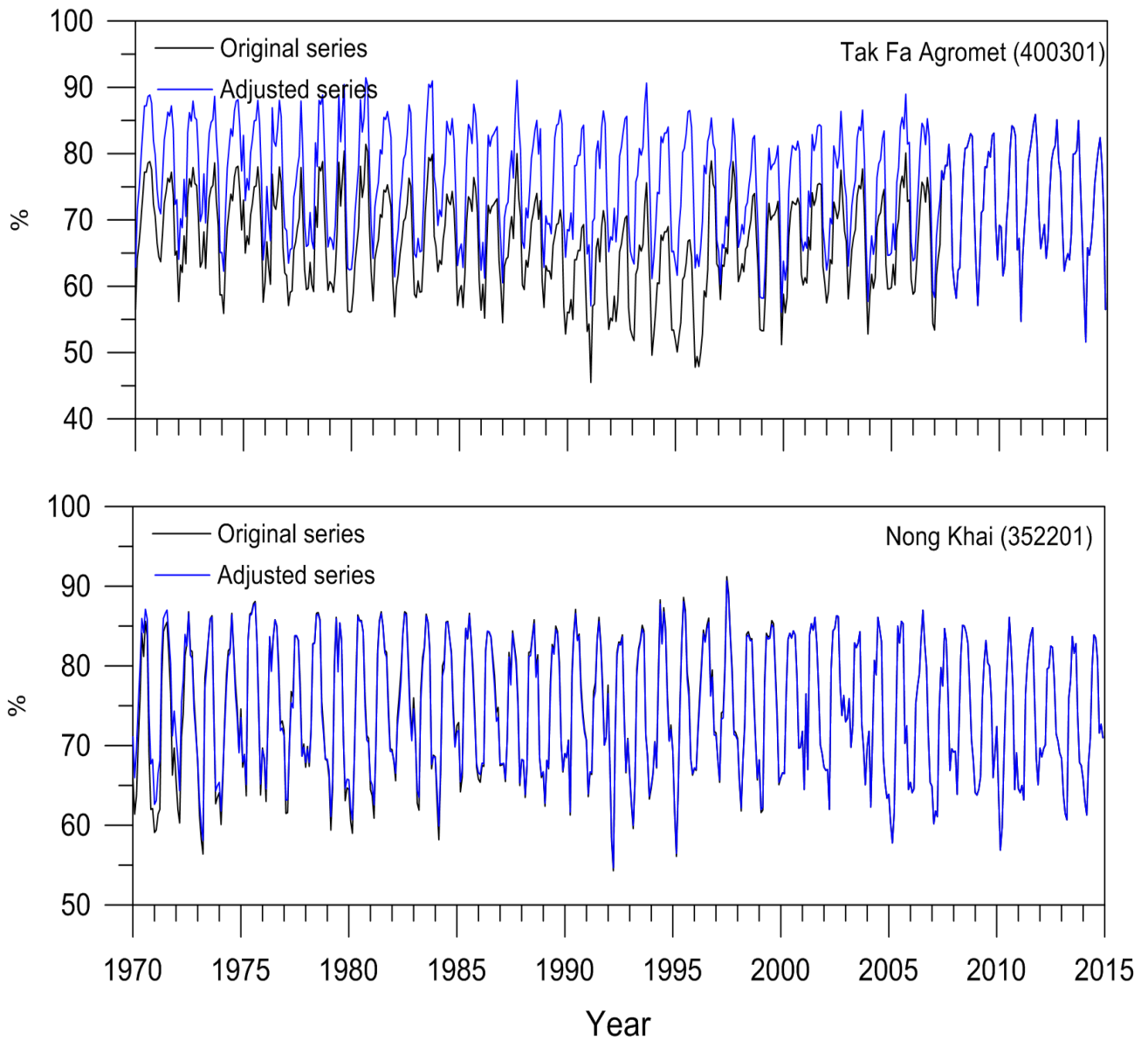
เพื่อหาอนุกรมข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนที่มีลักษณะเอกพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติของการตรวจสอบที่ระดับ 99% ($p=0.01$) (Wang et al., 2007; Wang, 2008) ผลการตรวจสอบอนุกรมข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่ข้อมูลถูกเก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ 1970 ถึง 2014 จำนวน 72 สถานี พบว่า 32 สถานีที่อนุกรมข้อมูลมีลักษณะเอกพันธ์ ส่วนอนุกรมข้อมูลที่เหลือที่ไม่เป็นเอกพันธ์ส่วนใหญ่มีลักษณะ multi-change (ตารางที่ 7 ของภาคผนวกที่ 1) ขั้นตอนหลักถัดไป เป็นการปรับแก้อนุกรมข้อมูลที่ไม่เป็นเอกพันธ์ โดยใช้เทคนิค nearby reference station (e.g., Peterson et al., 1998; Aguilar et al., 2003; Cao and Yan, 2012) ซึ่งใช้อนุกรมข้อมูลที่มีลักษณะเอกพันธ์ทั้ง 32 สถานี เป็นสถานีใกล้เคียงอ้างอิงเพื่อใช้ปรับแก้อนุกรมข้อมูลที่มีลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ที่เหลือ ด้วยเทคนิค multiphase regression model และ quantile-matching (QM) algorithm (Wang et al., 2007; Wang, 2008; Wang et al., 2010) ทั้งนี้ การคัดเลือกสถานีใกล้เคียงเพื่อเป็นสถานีอ้างอิงของแต่ละอนุกรมข้อมูลที่ไม่เป็นเอกพันธ์ ได้พิจารณาจาก 2 หลักเกณฑ์เป็นหลัก คือ ระยะทางที่ใกล้ที่สุดระหว่างสถานีที่ต้องการตรวจสอบลักษณะเอกพันธ์และสถานีใกล้เคียงโดยรอบ และความสัมพันธ์ที่สูงที่สุดระหว่างอนุกรมข้อมูลของสถานีที่ต้องการตรวจสอบลักษณะเอกพันธ์และอนุกรมข้อมูลของสถานีใกล้เคียงโดยรอบ (ตารางที่ 7 ของภาคผนวกที่ 1) รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบอนุกรมข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ก่อนและหลังปรับแก้ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูล ด้วยเทคนิค multiphase regression model และ quantile-matching (QM) algorithm กรณีตัวอย่างข้อมูลรายเดือนของสถานีเกษตรตากฟ้าและหนองคาย



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยที่สถานีนครสวรรค์และจันทบุรี ก่อนและหลังข้อมูลได้ปรับแก้ ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูลจากการรัน R-based source code ด้วยฟังก์ชัน FindU ซึ่งเป็นการทดสอบ type-1 changepoint ในอนุกรมข้อมูลรายเดือนด้วย the penalized maximal F (PMF) test และปรับแก้ ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูลด้วย multiphase regression model และ quantile-matching (QM) algorithm



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบเอกพันธ์ของอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนที่เฉลี่ยจาก 72 สถานีทั่วประเทศไทย หลังจากข้อมูลได้ปรับแก้ลักษณะไม่เป็นอนุพันธ์ของข้อมูลด้วยเทคนิค multiphase regression model และ quantile-matching (QM) algorithm



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบอนุกรมข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่สถานีเกษตรตากฟ้าและหนองคาย ก่อนและหลังข้อมูลได้ปรับแก้ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ด้วยเทคนิค Penalized maximal F/t Test และ multiphase regression model และ quantile-matching (QM) algorithm โดยใช้สถานีใกล้เคียงที่ข้อมูลมีลักษณะเอกพันธ์ เป็นสถานีอ้างอิงในการปรับแก้

4.2 การคัดเลือกและพัฒนาดัชนีความร้อนสำหรับประเทศไทย

สืบเนื่องจากอุณหภูมิอากาศเพียงตัวแปรเดียว ยังไม่ได้รับการยอมรับว่าเป็นดัชนีบ่งบอกที่ดีต่อสภาพแวดล้อมด้านความร้อนของมนุษย์ ดังนั้น Thermal Index (TI) ซึ่งส่วนใหญ่คำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นที่ตรวจวัดในรูปแบบต่างๆ ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่ออธิบายเงื่อนไขและความเชื่อมโยงที่ซับซ้อนระหว่างการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างร่างกายมนุษย์และสิ่งแวดล้อมโดยรอบ (Anderson et al., 2013; WMO and WHO, 2015) WMO and WHO (2015) ได้สรุปชุด TI ที่มีอยู่ในปัจจุบันที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ประเมินความร้อนและอธิบายกระบวนการควบคุมอุณหภูมิและภาวะความร้อนในหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุตุนิยมวิทยาทั้งส่วนกลางและส่วนท้องถิ่น ซึ่ง TI ที่ใช้ในปัจจุบันมีหลากหลายตั้งแต่ดัชนีอย่างง่ายที่คำนวณจากตัวแปรภูมิอากาศพื้นฐานที่ตรวจวัดกันโดยทั่วไป ไปจนถึงดัชนีที่คำนวณจากตัวแปรภูมิอากาศหลายตัวแปรหรือคำนวณ บนพื้นฐานของโมเดลสมดุลความร้อนหรือโมเดลทางด้านสรีรวิทยาความร้อนและอุณหภูมิของมนุษย์ (Anderson et al., 2013; WMO and WHO, 2015) จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง พบว่า Steadman's apparent temperature เป็นหนึ่งในบรรดา TI ที่นิยมมากที่สุด สำหรับการวิจัยด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมซึ่งสามารถคำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิอากาศและความชื้น โดยแปลงสภาพอากาศปัจจุบันให้เป็นอุณหภูมิที่ทุกคนรู้สึกได้เหมือนกันในกรณีที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างมีค่าเท่ากับ 14.0 °C (Steadman 1979a, 1979b, 1984; Rothfus 1990) อย่างไรก็ตาม Steadman's apparent temperature ได้พัฒนาเพื่อวัดความสะดวกสบายจากความร้อนมากกว่าใช้ศึกษาสุขภาพของมนุษย์ (Steadman 1994) อัลกอริทึมและสมการเชิงตัวเลขที่ใช้คำนวณค่า Apparent temperature ในกรณีที่อุณหภูมิและความชื้นมีค่าต่างๆ กันเป็นทางเลือกหนึ่งที่ยง่ายกว่าการใช้ตาราง Steadman ในการมองหาค่าดัชนีความร้อน Anderson et al. (2013) ได้ทำการเปรียบเทียบอัลกอริทึมและสมการที่แตกต่างกันถึง 21 วิธีที่ใช้คำนวณ Heat Index (HI) ที่พบในเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อตรวจสอบว่าอัลกอริทึมและสมการที่แตกต่างกันนั้น ให้ค่าดัชนีความร้อนที่สอดคล้องกับแนวคิดทางทฤษฎีของ apparent temperature หรือไม่และให้ผลการคำนวณค่าดัชนีความร้อนที่คล้ายคลึงกันหรือไม่ ซึ่งผลการศึกษา พบว่า อัลกอริทึมและสมการส่วนใหญ่ของ HI ให้ค่าดัชนีความร้อนที่สอดคล้องกับ apparent temperature และให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงและสามารถเปรียบเทียบผลกันได้

ในการศึกษานี้ ได้คัดเลือก HI เป็นดัชนีความร้อนที่ใช้ศึกษาในประเทศไทย เนื่องจากเป็นดัชนีที่อาศัยเฉพาะข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งเป็นตัวแปรภูมิอากาศพื้นฐานที่ตรวจวัดเป็นประจำของสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาพื้นผิว อีกทั้ง เป็นดัชนีที่สามารถใช้ติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคลื่นความร้อนในระยะยาวได้ บนพื้นฐานของฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวันที่ได้ตรวจวัดและเก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ทั้งนี้ HI เป็นดัชนีที่ถูกพัฒนาบนพื้นฐานของ Apparent temperature ซึ่งได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ทั้งการศึกษาวิจัยและการติดตามตรวจสอบอย่างแพร่หลายในหน่วยงานต่างๆ ตัวอย่างเช่น National

Weather Service ของประเทศสหรัฐอเมริกา HI สามารถคำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยสมการคำนวณ แสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 HI (^{\circ}F) = & -42.379 + 2.04901523 * T + 10.14333127 * RH - 0.22475541 * T * RH \\
 & - 6.83783 \times 10^{-3} * T^2 - 5.481717 \times 10^{-2} * RH^2 + 1.22874 \times 10^{-3} * T^2 * RH \\
 & + 8.5282 \times 10^{-4} * T * RH^2 - 1.99 \times 10^{-6} * T^2 * RH^2 \quad 1 \\
 C = & 5/9 * (F^{\circ} - 32) \quad 2
 \end{aligned}$$

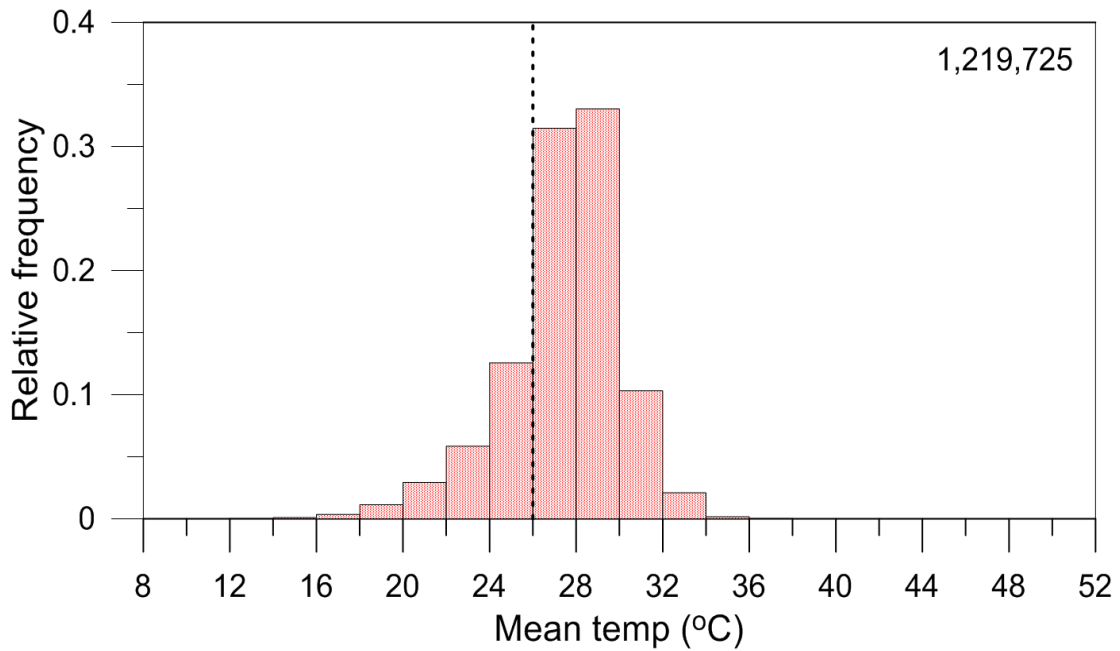
HI: heat index ($^{\circ}F$), T: air temperature ($^{\circ}F$), RH: relative humidity (%)

F: Fahrenheit, C: Celsius

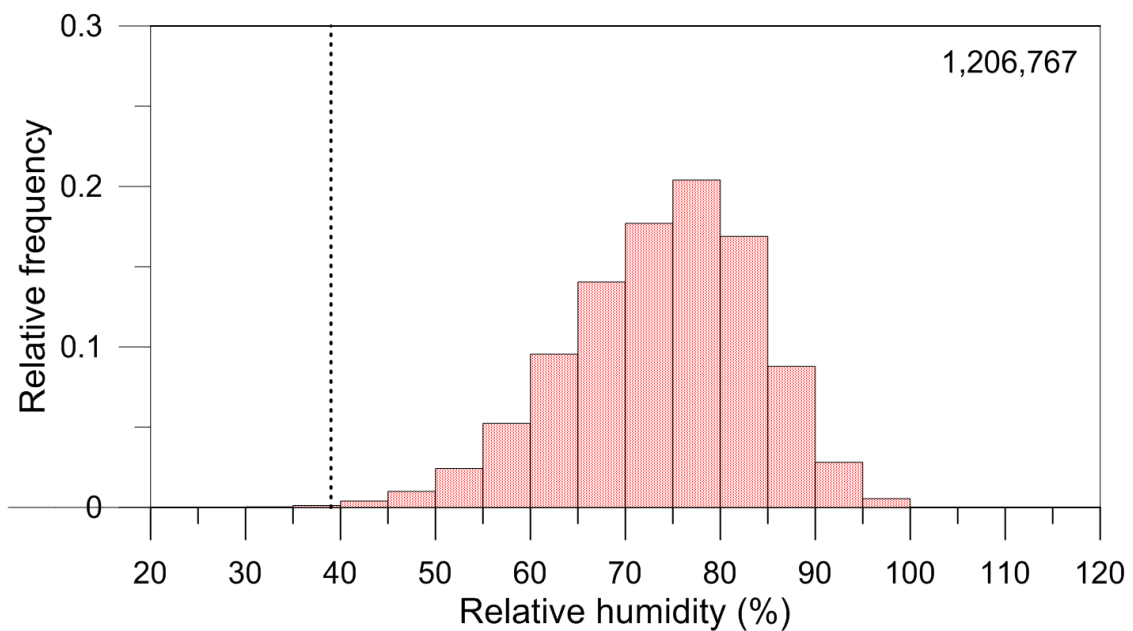
สมการข้างต้น เป็นอัลกอริทึมถดถอยพหุคูณ (Multiple regression) ประกอบด้วย 9-term multiple regression model ที่สามารถประยุกต์ใช้คำนวณ HI ได้ดี เมื่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า $26^{\circ}C$ และ 39% ตามลำดับ ดังนั้น มีข้อเสนอแนะให้ปรับความถูกต้องของค่า $HI = T$ ในกรณีที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าค่าดังกล่าว (Patricola and Cook 2010; Zahid and Rasul, 2010; Oka, 2011; Rajib et al., 2011) สำหรับข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของสถานีตรวจวัดอุตุฯ ทั่วประเทศไทยในห้วงเวลา 1970-2014 ประมาณ 24.3% ที่มีค่าต่ำกว่า $26^{\circ}C$ (รูปที่ 4.4) ส่วนข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายวันในห้วงเวลาเดียว พบเพียง 0.13% ที่มีค่าน้อยกว่า 39% (รูปที่ 4.5) ซึ่งต้องปรับความถูกต้องเมื่อกำหนดค่า HI จากสมการ 1 ความผิดพลาดของการคำนวณ HI มีค่า $\pm 1.3^{\circ}F$ (Zahid and Rasul, 2010; Rajib et al., 2011) เนื่องจาก HI เป็นการคำนวณจากข้อมูลในตาราง Steadman ด้วยสมการถดถอยพหุคูณ ทั้งนี้ ค่าของ HI สามารถแปลงกลับมาเป็นหน่วยองศาเซลเซียสได้ด้วยสมการที่ 2 HI ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ศึกษาในพื้นที่ใกล้เคียงกับประเทศไทย อาทิเช่น ประเทศปากีสถาน (Zahid and Rasul, 2010) ประเทศบังคลาเทศ (Rajib et al., 2011) และประเทศเกาหลีใต้ (Choi et al., 2005) เพื่อให้ HI สามารถถูกนำไปใช้งานได้ง่ายขึ้น ได้มีการพัฒนา Chart ที่แสดงค่าของ HI ในช่วงของอุณหภูมิตั้งแต่ $26-43^{\circ}C$ และความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 40-100% เพิ่มเติม ดังแสดงในรูปที่ 4.6 โดยระดับผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อร่างกายมนุษย์ของค่า HI ในช่วงต่างๆ สรุปในตารางที่ 4.1 ซึ่งผลกระทบดังกล่าว ยังได้แสดงใน Chart ของ HI ด้วยระดับความเข้มของสีที่ต่างกัน (รูปที่ 4.6)

ผลการคำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตรวจวัดรายวันของสถานีพื้นผิว ของกรมอุตุฯ จำนวน 69 สถานี ในห้วงเวลาดังแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 พบว่า HI ในประเทศไทย มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $13.1 - 64.2^{\circ}C$ แต่ค่า HI ส่วนใหญ่ตกอยู่ในช่วง $27 - 35^{\circ}C$ (รูปที่ 4.7) ทั้งนี้ HI ที่คำนวณสำหรับประเทศไทยในอดีตถึงปัจจุบัน มีค่าอยู่ในช่วงผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อ

ร่างกายมนุษย์ตั้งแต่ Caution ถึง Extreme danger โดย 25.5% ของข้อมูลทั้งหมดมีค่า HI สูงกว่า 32.2 °C หรือระดับ Extreme caution (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.7) รูปที่ 4.8 – 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยระยะยาวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของประเทศไทย ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ ตามลำดับ สำหรับประเทศไทยในภาพรวมแล้ว ช่วงที่ HI มีค่าสูงกว่าระดับ Extreme caution เกิดขึ้นตั้งแต่ประมาณปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงประมาณเดือนกรกฎาคม (รูปที่ 4.8) ภาคกลางและภาคตะวันออก มีช่วงที่ HI มีค่าสูงกว่าระดับ Extreme caution กว้างกว่าภาคอื่นๆ พร้อมทั้งมีค่าสูงสุดสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาคอื่นๆ (รูปที่ 4.9-4.13) ทั้งนี้ ค่า HI ในระดับ Extreme caution (> 32.2 °C) ในภาคกลางและภาคตะวันออก มีสัดส่วนที่สูงกว่าภาคอื่นๆ เช่นกัน (รูปที่ 4.14)



รูปที่ 4.4 Histogram ของข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันของทุกสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิวของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศไทยที่ข้อมูลได้ตรวจวัดและเก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่องในห้วงเวลา 1970-2014



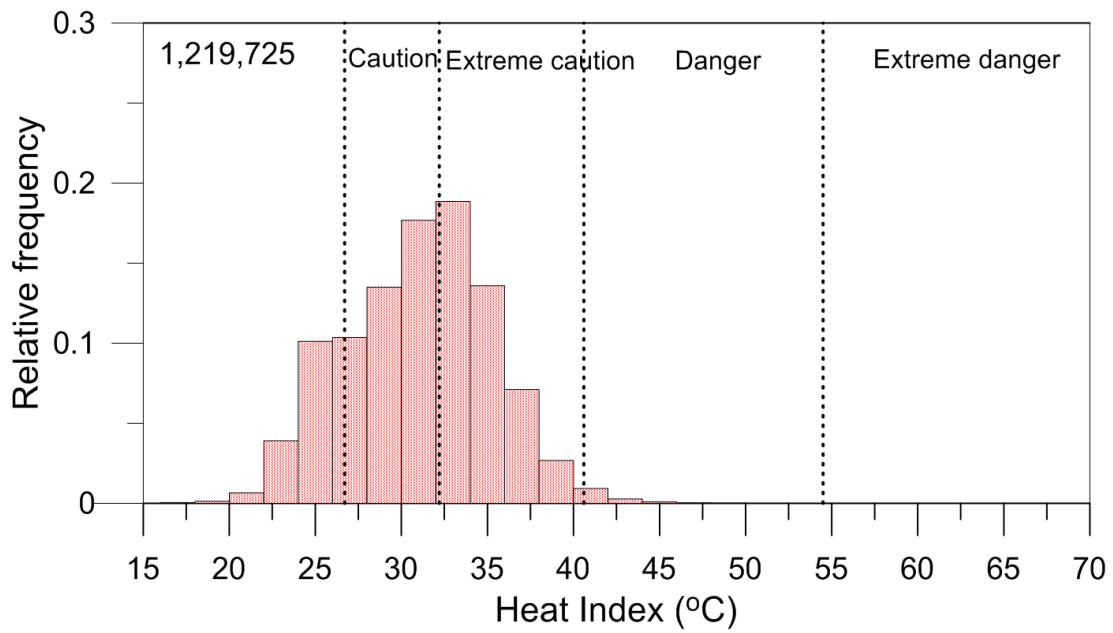
รูปที่ 4.5 Histogram ของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายวันของทุกสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิวของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศไทยที่ข้อมูลได้ตรวจวัดและเก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่องในห้วงเวลา 1970-2014

Temp (°C)	Relative Humidity (%)												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
43	56.6												
42	53.7	57.5											
41	50.9	54.3	58.1										
40	48.3	51.3	54.8	58.5									
39	45.8	48.5	51.6	55.0	58.7								
38	43.4	45.9	48.6	51.6	55.0	58.6							
37	41.2	43.4	45.8	48.5	51.4	54.7	58.2						
36	39.1	41.0	43.1	45.5	48.1	51.0	54.2	57.5					
35	37.2	38.8	40.7	42.7	45.1	47.6	50.3	53.3	56.5				
34	35.4	36.8	38.4	40.2	42.2	44.4	46.8	49.4	52.2	55.2	58.4		
33	33.8	34.9	36.3	37.8	39.5	41.4	43.5	45.7	48.1	50.8	53.5	56.5	
32	32.3	33.2	34.4	35.6	37.1	38.7	40.4	42.3	44.4	46.6	49.0	51.5	54.2
31	30.9	31.7	32.6	33.7	34.8	36.2	37.6	39.2	40.9	42.7	44.7	46.8	49.0
30	29.7	30.3	31.0	31.9	32.8	33.9	35.0	36.3	37.7	39.1	40.7	42.4	44.2
29	28.6	29.1	29.7	30.3	31.0	31.8	32.7	33.7	34.7	35.9	37.1	38.4	39.7
28	27.7	28.0	28.4	28.9	29.5	30.0	30.7	31.4	32.1	32.9	33.7	34.7	35.6
27	26.9	27.1	27.4	27.7	28.1	28.5	28.9	29.3	29.7	30.2	30.7	31.3	31.8
26	26.2	26.4	26.6	26.7	26.9	27.1	27.3	27.5	27.7	27.9	28.0	28.2	28.4

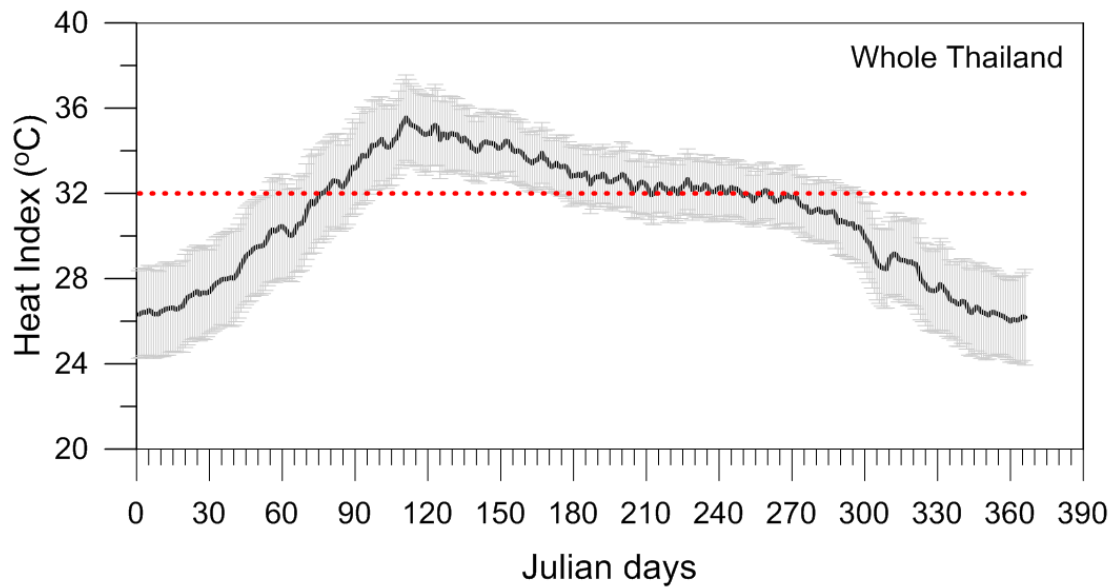
รูปที่ 4.6 HI Chart สำหรับช่วงของอุณหภูมิตั้งแต่ 26-43 oC และความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 40-100%

ตารางที่ 4.1 กระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อร่างกายมนุษย์ของค่า HI ในช่วงต่างๆ (Choi et al., 2005; Zahid and Rasul, 2010)

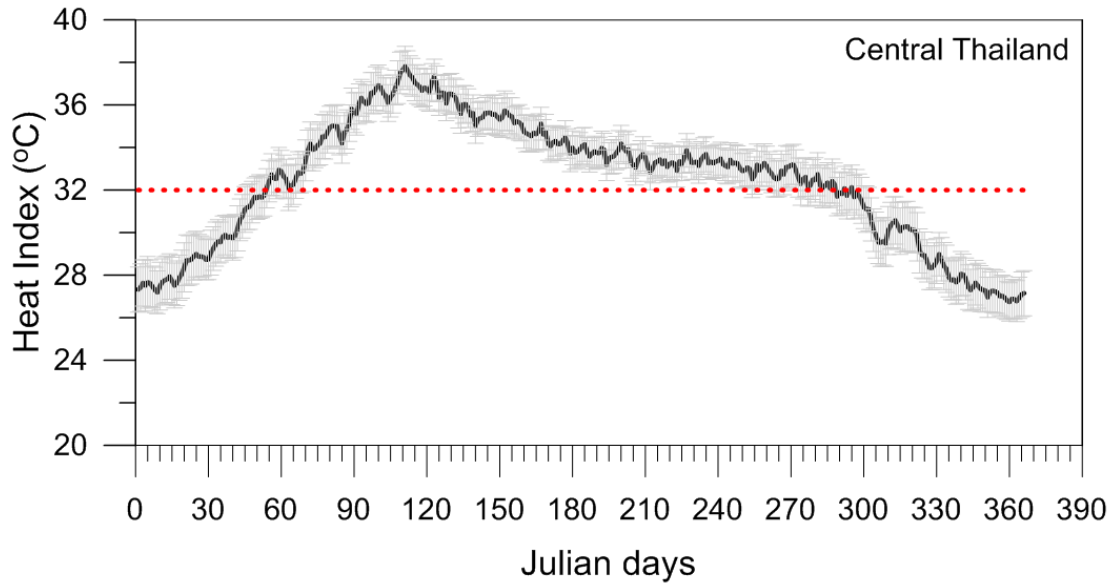
Category	Heat Index (°C)	Possible symptom
Caution	26.7 - 32.2	Fatigue with prolonged exposure and physical activity
Extreme caution	32.2 - 40.6	Sunstroke, Heat cramps and heat exhaustion with prolonged exposure and physical activity under these conditions
Danger	40.6 - 54.5	Sunstroke, heat cramps or heat exhaustion are likely. Heatstroke with prolonged exposure and physical activity
Extreme danger	Over 54.5	Heatstroke or sunstroke are imminent



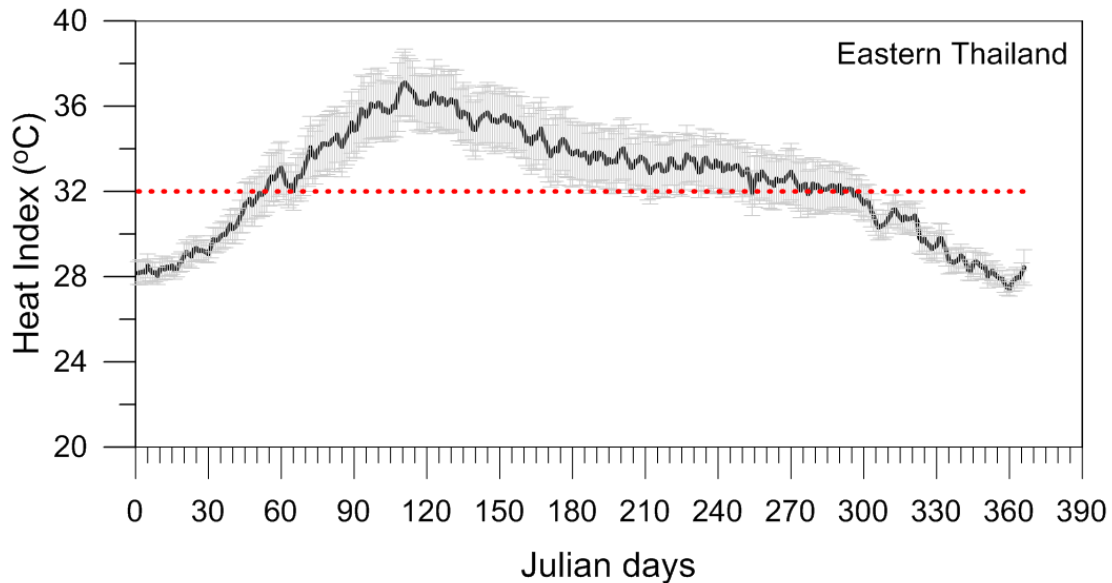
รูปที่ 4.7 Relative frequency histogram ของค่า HI ที่คำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ตรวจวัดรายวันของสถานีผิวพื้นของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 69 สถานี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013



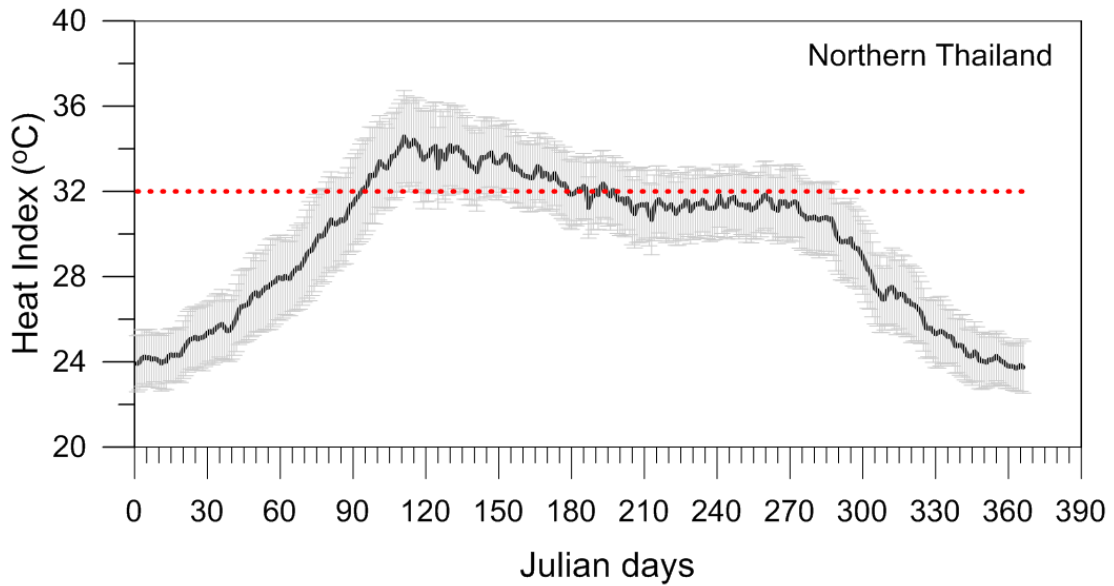
รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว (1970-2013) รายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของประเทศไทยที่คำนวณจาก 65 สถานี ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 เส้นปะสีแดง แสดงระดับ Extreme caution (32.2 °C)



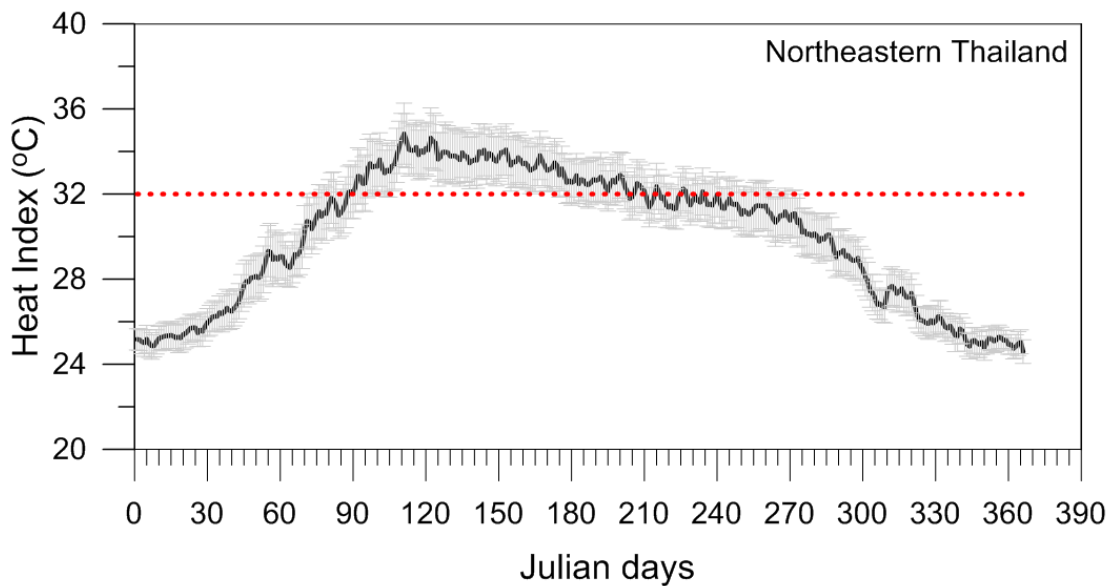
รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว (1970-2013) รายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของภาคกลางที่คำนวณจาก 65 สถานี ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 เส้นปะสีแดง แสดงระดับ Extreme caution (32.2 °C)



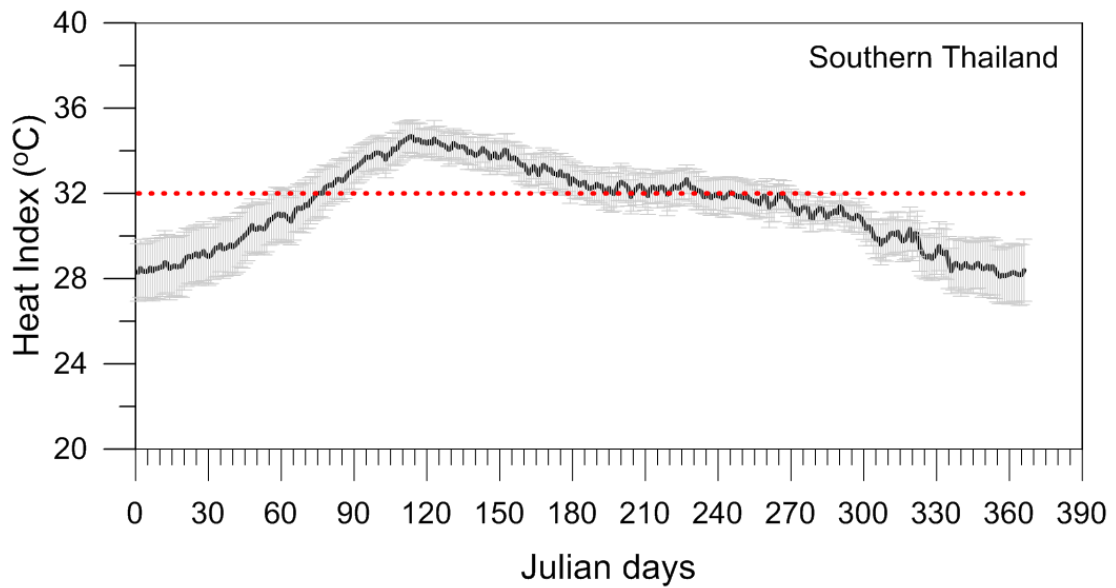
รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว (1970-2013) รายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของภาคตะวันออกที่คำนวณจาก 65 สถานี ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 เส้นปะสีแดง แสดงระดับ Extreme caution (32.2 °C)



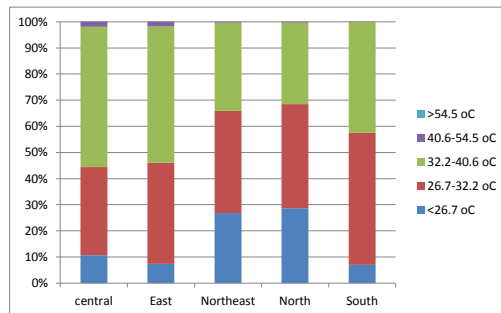
รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว (1970-2013) รายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของภาคเหนือที่คำนวณจาก 65 สถานี ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 เส้นปะสีแดง แสดงระดับ Extreme caution (32.2 °C)



รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว (1970-2013) รายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่คำนวณจาก 65 สถานี ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 เส้นปะสีแดง แสดงระดับ Extreme caution (32.2 °C)



รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระยะยาว (1970-2013) รายวันในรอบปีของ HI ในภาพรวมของภาคใต้ที่คำนวณจาก 65 สถานี ในช่วงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 เส้นประสีแดง แสดงระดับ Extreme caution (32.2 °C)



รูปที่ 4.14 สัดส่วนของค่า HI เฉลี่ยรายภาคในกลุ่มต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.1

4.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์และ HI ในประเทศไทย

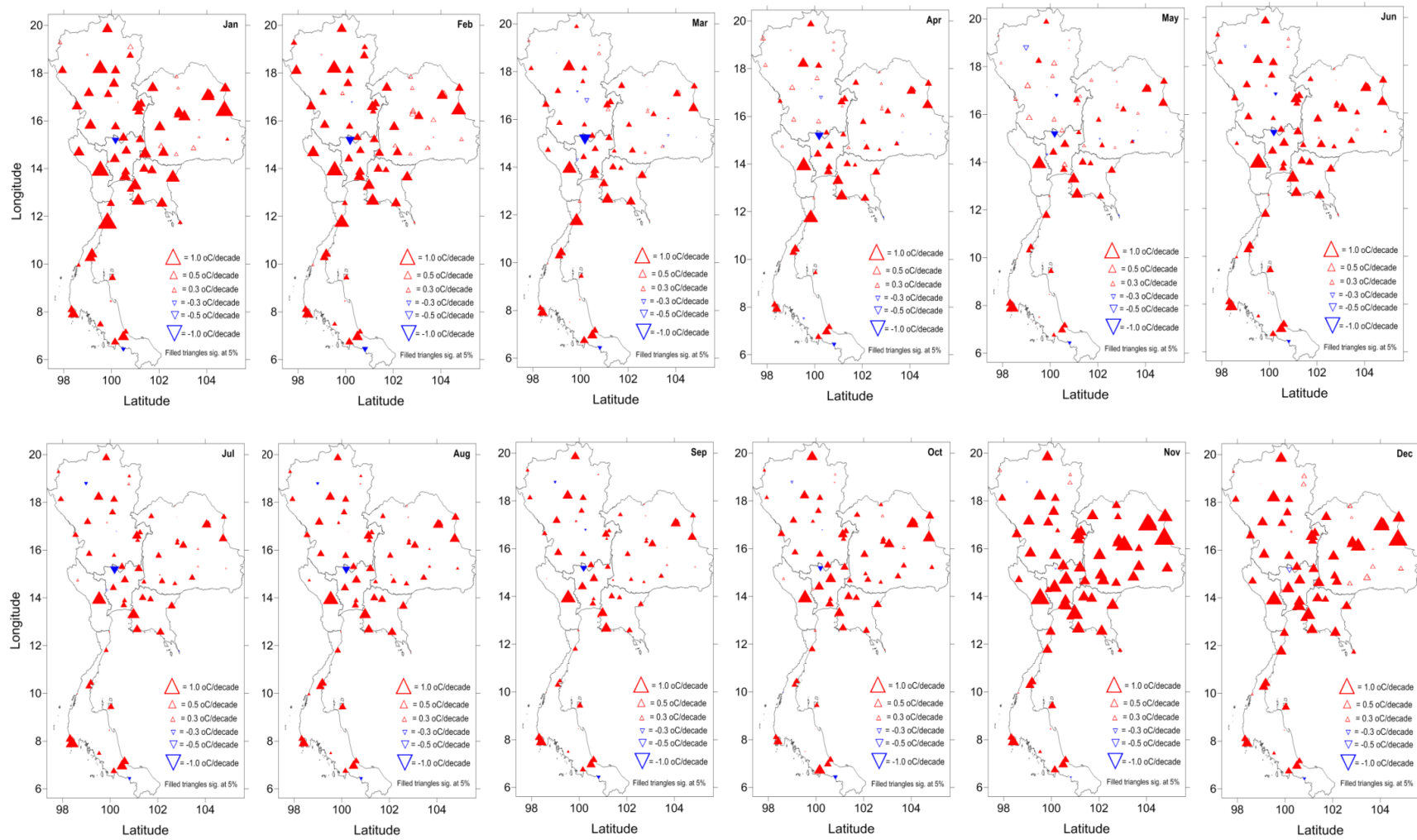
แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงในแต่ละเดือนของอุณหภูมิเฉลี่ย ที่คำนวณตามรายสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิว จำนวน 72 สถานีทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทยในห้วงเวลา 1970-2014 แสดงในรูปที่ 4.15 จากผลการวิเคราะห์ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยในรอบปี ณ สถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิวส่วนใหญ่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกเดือนในรอบ 45 ปีที่ผ่านมา (รูปที่ 4.15) โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม มกราคม และกุมภาพันธ์ มีทั้งจำนวนสถานีและขนาดการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเดือนอื่นๆ (ตารางที่ 4.2) รูปแบบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว บ่งชี้ถึงแนวโน้มการร้อนของประเทศไทยเกิดขึ้นทุกเดือนในรอบปี โดยในช่วงฤดูหนาวของซีกโลกเหนือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงกว่าฤดูกาลอื่น ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศที่สังเกตพบในภูมิภาคอินโด-แปซิฟิกและภูมิภาคอื่นๆ ของโลก (Choi et al., 2009; IPCC, 2013; Jones et al., 2013) ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี คำนวณตามรายสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิวในห้วงเวลา 1970-2014 แสดงในรูปที่ 4.16 จากผลการศึกษา พบว่า 90% ของสถานีตรวจวัดอากาศพื้นผิวของกรมอุตุนิยมวิทยาแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในอัตรา 0.06 ถึง 0.66 °C ต่อทศวรรษ โดยภาคตะวันออก และภาคกลาง มีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับภาคอื่น ๆ รองลงมา ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ (รูปที่ 4.16) เมื่อพิจารณาอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีที่เฉลี่ยทั้งประเทศไทยแล้ว พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยในภาพรวมของประเทศไทยหลังจากได้ปรับแก้ความไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (0.26 °C ต่อทศวรรษ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติซึ่งมีอัตราที่สูงกว่าข้อมูลที่ยังไม่ได้ปรับแก้ความไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูล (รูปที่ 4.16) แต่อยู่ในช่วงที่สามารถเปรียบเทียบผลกันได้กับการศึกษาของ Limjirakan and Limsakul (2012) ที่พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้น (0.23 °C ต่อทศวรรษ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีจากการวิเคราะห์ข้อมูลรายวันของสถานีตรวจวัดอากาศพื้นผิวจำนวน 65 สถานี ในห้วงเวลา 1970-2009

การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงในแต่ละเดือนของความชื้นสัมพัทธ์ ที่คำนวณตามรายสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิวในห้วงเวลา 1970-2014 บนพื้นฐานของฐานข้อมูลที่ได้ตรวจสอบและปรับแก้เอกพันธ์ของข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติแล้ว ให้ผลที่แตกต่างจากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ย กล่าวคือ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงของความชื้นสัมพัทธ์ในประเทศไทย มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และแต่ละเดือนทั้งในแง่อัตราและรูปแบบ (รูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.2) โดยทั่วไปแล้ว แนวโน้มของความชื้นสัมพัทธ์ในประเทศไทย มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงและสอดคล้องกันในพื้นที่บริเวณกว้างน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ย (รูปที่ 4.15, 4.17 และตารางที่ 4.2) จำนวนสถานีที่ความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละเดือนแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างมีนัยสำคัญ มีค่าอยู่ในช่วง 4-20 สถานี

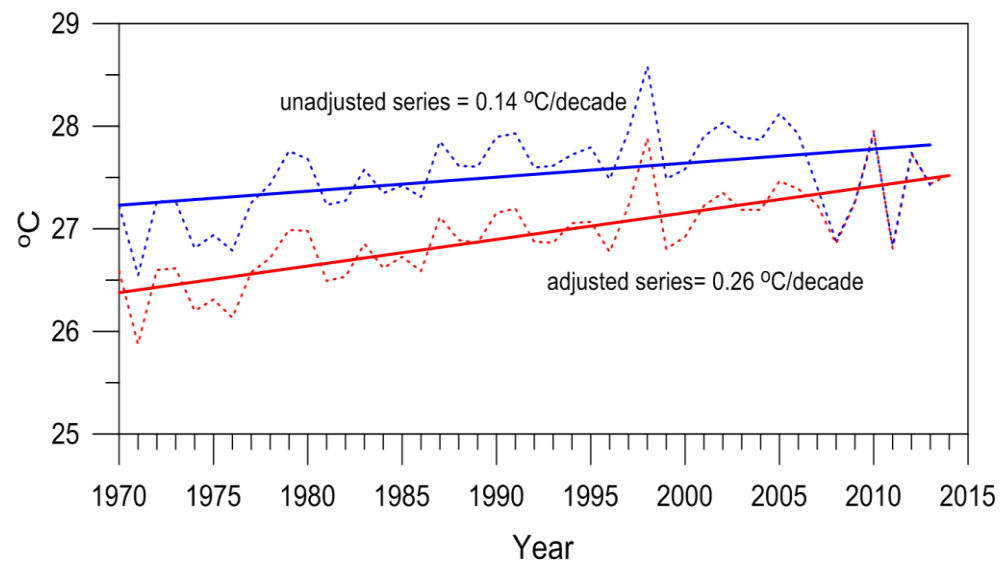
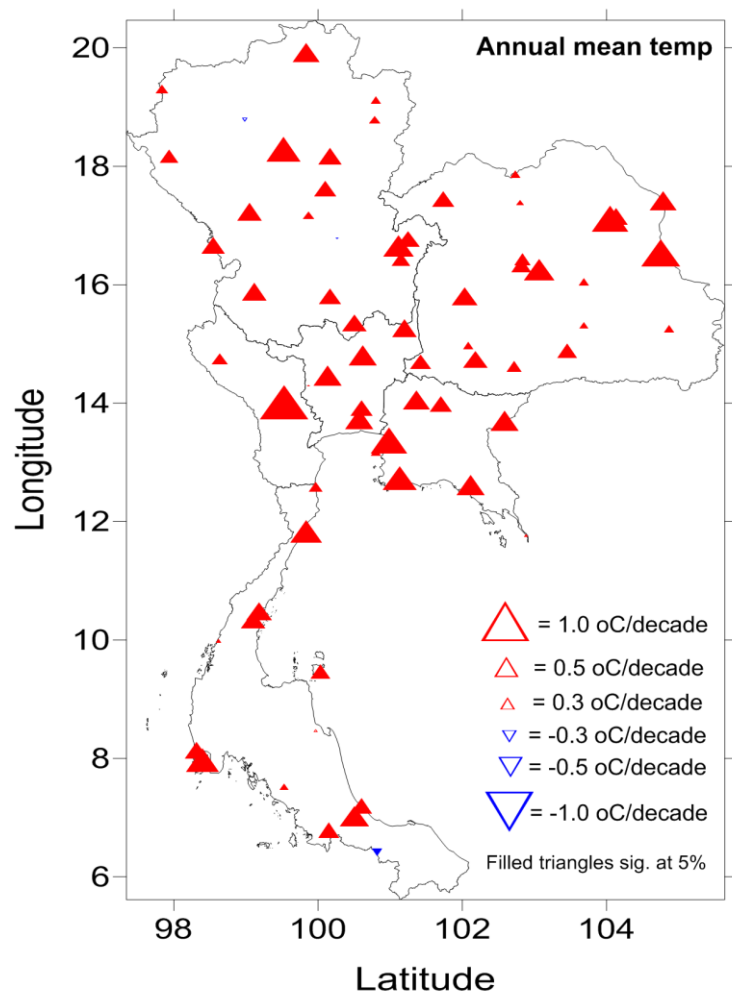
และ 5-22 สถานี ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) เดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน เป็นช่วงระยะเวลาที่จำนวนสถานีที่ความชื้นสัมพัทธ์แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญมากที่สุดในรอบปี (รูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.2) แต่การเปลี่ยนแปลงที่ตรงกันข้ามเกิดขึ้นในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของหลายสถานีแสดงแนวโน้มการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.17 และตารางที่ 4.2) รูปแบบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวบ่งชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย มีลักษณะที่แตกต่างกันตามฤดูกาล ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ที่ผันแปรตามฤดูกาล เมื่อวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายปี พบว่า ค่าเฉลี่ยรายปีของเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ มีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างมีนัยสำคัญในหลายสถานีทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง มีการเปลี่ยนแปลงที่โดดเด่นที่สุด (รูปที่ 4.18) สถานีที่ค่าเฉลี่ยรายปีของเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ มีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมีสัดส่วน 27.8% และ 26.4% ของสถานีทั้งหมด ตามลำดับ เนื่องจากสถานีที่แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของความชื้นสัมพัทธ์มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของประเทศไทยเมื่อนำข้อมูลทุกสถานีมาหาค่าเฉลี่ย ไม่ปรากฏการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจน (รูปที่ 4.18) ผลการวิเคราะห์จากฐานข้อมูลที่ได้ตรวจสอบและปรับแก้เอกพันธ์ของข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิตินี้ ให้ผลที่แตกต่างจากผลการศึกษาที่ได้ประมวลในรายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ฉบับที่ 1 (Thailand's First Assessment Report on Climate Change; TARC) ซึ่งพบความชื้นสัมพัทธ์รายปีในภาพรวมของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในอัตรา 2.2% ในรอบ 42 ปี (1965-2006)

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงในแต่ละเดือนของ HI ตามรายสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิวจำนวน 71 สถานีทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทยในช่วงเวลา 1970-2014 ซึ่งคำนวณจากฐานข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ที่ผ่านการตรวจสอบและปรับแก้เอกพันธ์ของข้อมูลด้วยเทคนิคทางสถิติแล้ว แสดงในรูปที่ 4.19 และสรุปผลในตารางที่ 4.2 จากผลการวิเคราะห์ พบว่า HI ในแต่ละเดือนมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงและไปในทิศทางเดียวกันเป็นพื้นที่บริเวณกว้างทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย สอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ย (รูปที่ 4.15 และ 4.19) ความสอดคล้องดังกล่าว อาจบ่งชี้ถึงการร้อนขึ้นในประเทศไทย เป็นปัจจัยหลักที่มีส่วนทำให้ HI เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในรอบ 45 ปีที่ผ่านมา จากผลการวิเคราะห์ พบว่า มากกว่า 88% ของ HI ตามรายสถานีตรวจอากาศพื้นผิวของกรมอุตุนิยมวิทยาแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและปรากฏทุกเดือนในรอบปี (รูปที่ 4.19) ซึ่งสถานีที่ HI มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีค่าอยู่ในช่วง 41-60 สถานี หรือ 57.7% -84.5% (ตารางที่ 4.2) โดย HI ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายน มีการเปลี่ยนแปลงที่โดดเด่นที่สุดในรอบปี (รูปที่ 4.19) ทั้งนี้ ค่าเฉลี่ยรายเดือนของแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ HI มีค่าอยู่ในช่วง 0.32 - 0.61 °C ต่อทศวรรษ (ตารางที่ 4.2)

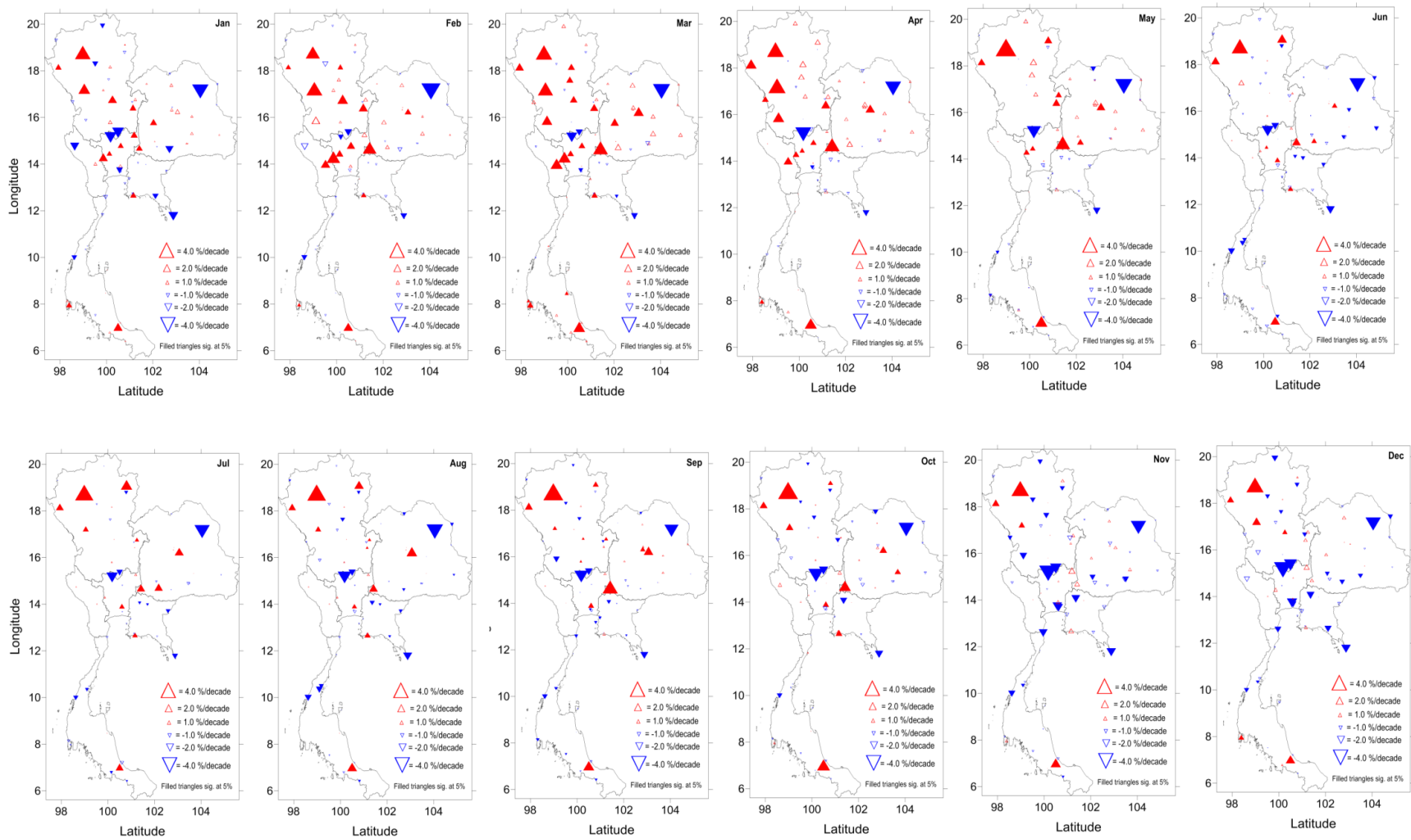
ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงของ HI รายปีตามรายสถานี พบว่า 83% ของสถานีตรวจอากาศพื้นผิวทั้งหมดแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในอัตรา 0.17 – 1.2 °C ต่อทศวรรษ (รูปที่ 4.20) ทั้งนี้ ภาคกลางและภาคตะวันออก มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าภูมิภาคอื่น ๆ (รูปที่ 4.20) เมื่อพิจารณาประเทศไทยในภาพรวมแล้ว ดัชนี HI ที่เฉลี่ยทุกสถานี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ p-value น้อยกว่า 0.01 ในอัตรา 0.46 °C ต่อทศวรรษ หรือ 2.1 °C ในรอบ 45 ปีที่ผ่านมา (รูปที่ 4.20) แม้ว่า HI ในภาพรวมของประเทศไทยในห้วงเวลา 45 ปีตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน อยู่ในระดับ Caution แต่มีแนวโน้มที่จะขยับขึ้นในระดับ Extreme caution ในอนาคตอันใกล้ (รูปที่ 4.20) ซึ่งบ่งชี้ถึงความเสี่ยงทางด้านสุขภาพของประชาชนที่เพิ่มขึ้นจากภาวะความร้อน Zahid and Rasul (2010) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ HI ในประเทศปากีสถานในห้วงเวลา 1961 ถึง 2007 และพบ HI มีการเพิ่มขึ้นเป็นบริเวณกว้างเช่นกันกับที่สังเกตพบในประเทศไทย โดย HI ในภาพรวมของประเทศไทยในช่วงฤดูร้อน (พฤษภาคมถึงกันยายน) เพิ่มขึ้น 3 °C ในรอบ 47 ปี นอกจากนี้ Rajib et al. (2011) พบว่า HI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเกือบทุกพื้นที่ของประเทศบังคลาเทศในห้วงเวลา 1960-2010 โดย HI ในช่วงฤดูร้อน (พฤษภาคมถึงกันยายน) เพิ่มขึ้นสูงสุด (5 °C และ 4 °C) ในพื้นที่ตะวันตกเฉียงใต้และตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศบังคลาเทศ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงของ HI รายปีที่คำนวณตามรายสถานี มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ย แต่มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพันธ์ (รูปที่ 4.21) เมื่อพิจารณาในรายละเอียดถึงความสัมพันธ์รายเดือนเพิ่มเติม ปรากฏว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ HI ยังมีความสัมพันธ์ระดับสูงและมีนัยสำคัญกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ย ในขณะที่ ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่าง HI และความชื้นสัมพันธ์ พบเฉพาะช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายนเท่านั้น จากผลการศึกษาดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ เป็นปัจจัยหลักของการเพิ่มขึ้นของ HI ในประเทศไทย



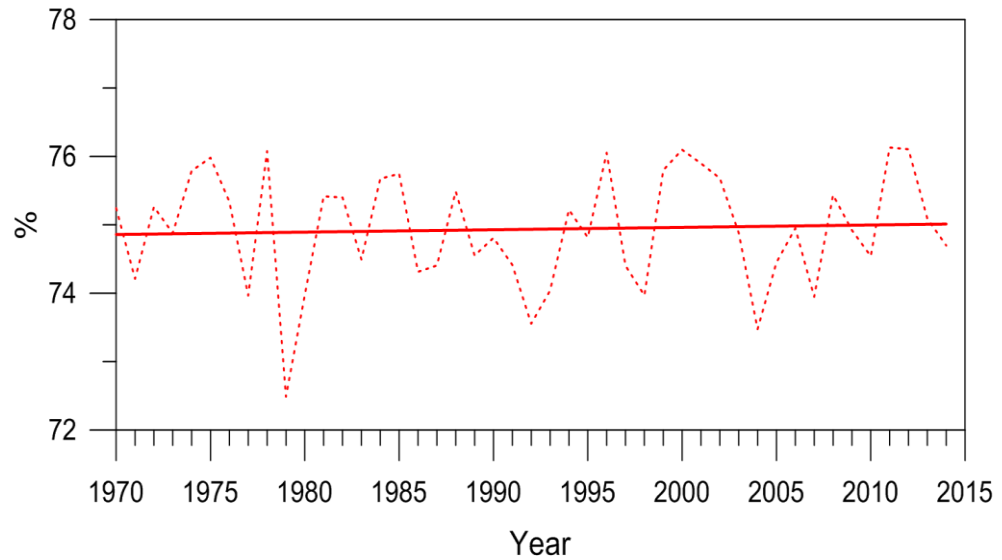
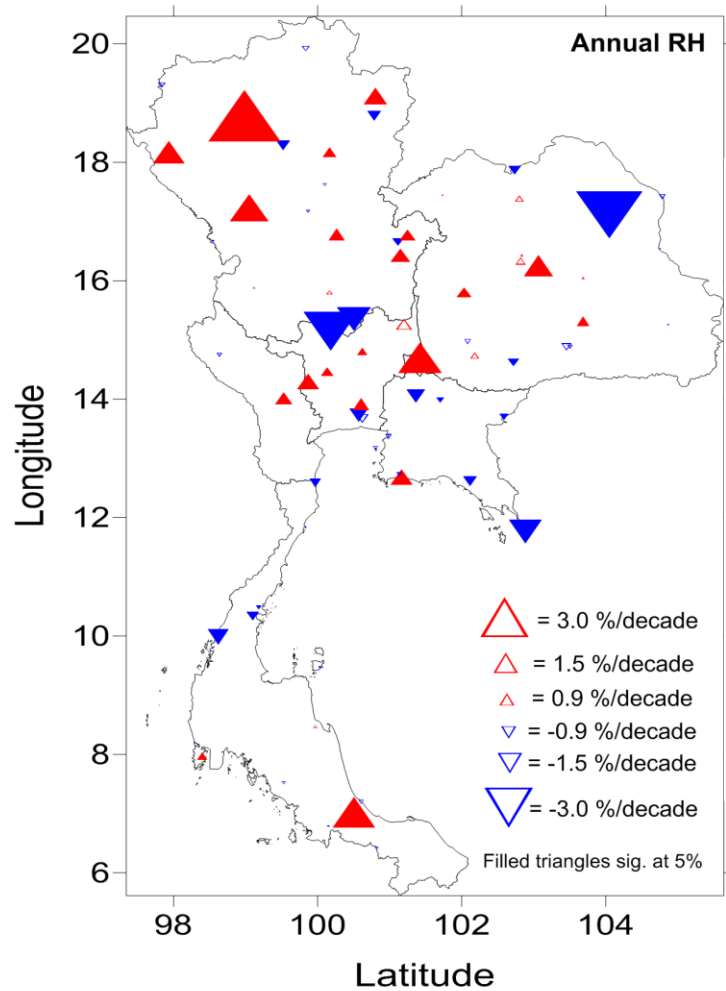
รูปที่ 4.15 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง ($^{\circ}$ /decade) รายเดือนของอุณหภูมิเฉลี่ยในห้วงเวลา 1970-2014



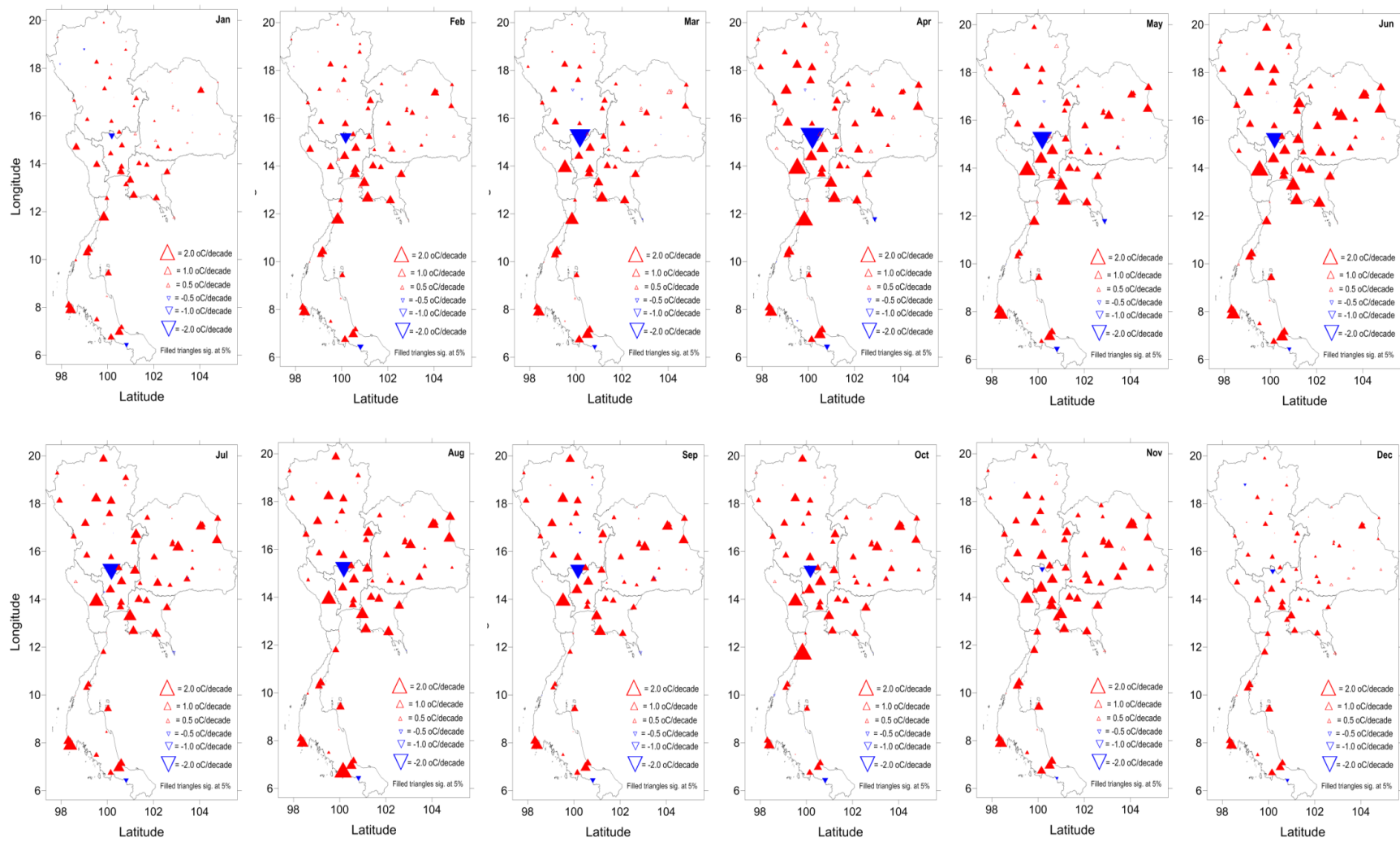
รูปที่ 4.16 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง (°C/decade) ของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีตามรายสถานีในห้วงเวลา 1970-2014 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยที่เฉลี่ยทั้งประเทศไทยสำหรับข้อมูลที่ได้ปรับแก้และไม่ได้ปรับแก้เอกพันธ์ของข้อมูล



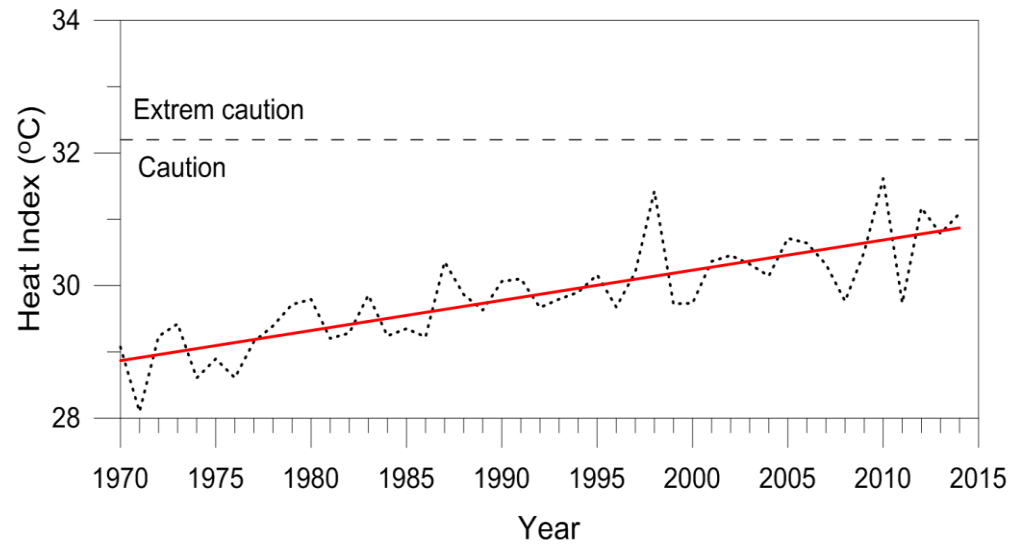
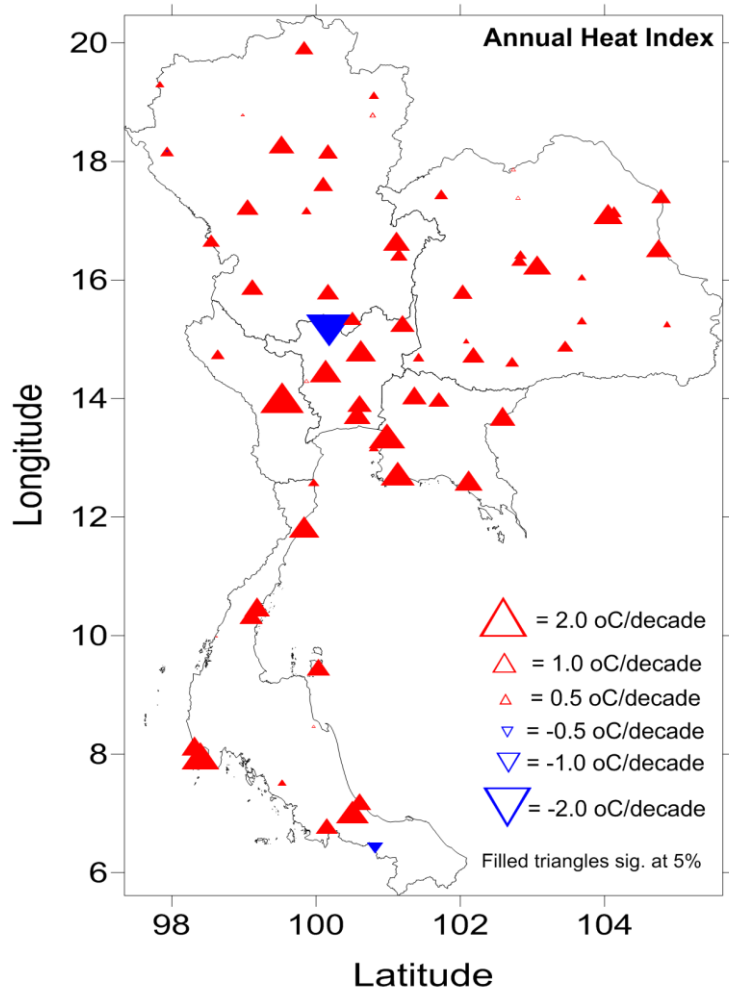
รูปที่ 4.17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง (%/decade) รายเดือนของความชื้นสัมพัทธ์ในห้วงเวลา 1970-2014



รูปที่ 4.18 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง (%/decade) ของความชื้นสัมพัทธ์รายปีตามรายสถานีในห้วงเวลา 1970-2014 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของอนุกรมข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่เฉลี่ยทั้งประเทศไทยสำหรับข้อมูลที่ได้ปรับแก้เอกพันธ์ด้วยเทคนิคทางสถิติแล้ว



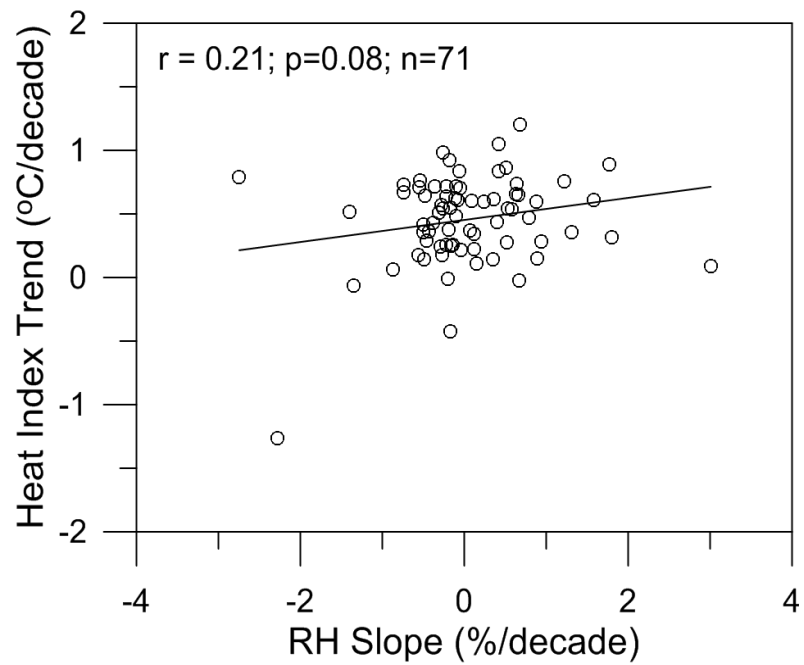
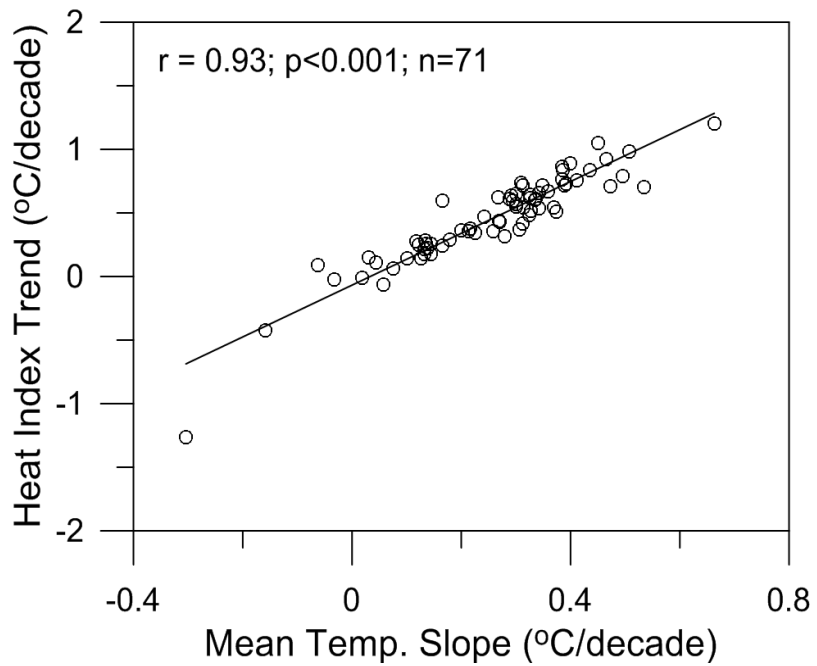
รูปที่ 4.19 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง ($^{\circ}\text{C}/\text{decade}$) รายเดือนของ HI ในห้วงเวลา 1970-2014



รูปที่ 4.20 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง (%/decade) ของ HI รายปีตามรายสถานีในห้วงเวลา 1970-2014 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของอนุกรมข้อมูล HI ที่เฉลี่ยทั้งประเทศไทยที่คำนวณจากฐานข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ปรับแก้เอกพันธ์ด้วยเทคนิคทางสถิติแล้ว

ตารางที่ 4.2 สรุปช่วงและค่าเฉลี่ยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง รวมทั้งจำนวนสถานีที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างมีนัยสำคัญของอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์และ HI ในแต่ละเดือนตามรายสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิวทั่วทุกภาคของประเทศไทย

เดือน	อุณหภูมิเฉลี่ย		ความชื้นสัมพัทธ์		HI	
	ช่วง/ค่าเฉลี่ยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (°C/decade)	จำนวนสถานีที่เพิ่มขึ้น/ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ	ช่วง/ค่าเฉลี่ยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (%/decade)	จำนวนสถานีที่เพิ่มขึ้น/ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ	ช่วง/ค่าเฉลี่ยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (°C/decade)	จำนวนสถานีที่เพิ่มขึ้น/ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
มกราคม	-0.32 – 0.81 (0.35)	55/2	-2.78 – 2.64 (0.05)	14/12	-0.55 – 0.95 (0.32)	41/3
กุมภาพันธ์	-0.39 – 0.70 (0.30)	50/2	-3.25 – 2.71 (0.22)	15/5	-1.02 – 1.12 (0.43)	51/2
มีนาคม	-0.49 – 0.59 (0.20)	43/2	-2.91 – 1.14 (0.43)	20/6	-1.80 – 1.24 (0.38)	42/2
เมษายน	-0.38 – 0.63 (0.20)	38/2	-2.73 – 2.94 (0.34)	14/4	-2.06 – 1.57 (0.47)	47/3
พฤษภาคม	-0.31 – 0.60 (0.17)	31/3	-2.95 – 3.52 (0.16)	11/7	-1.71 – 1.44 (0.44)	45/3
มิถุนายน	-0.31 – 0.72 (0.26)	55/2	-2.77 – 2.83 (-0.17)	10/16	-1.49 – 1.53 (0.59)	53/2
กรกฎาคม	-0.37 – 0.61 (0.21)	51/3	-2.60 – 3.14 (0.10)	11/12	-1.57 – 1.28 (0.48)	53/2
สิงหาคม	-0.32 – 0.64 (0.23)	58/3	-2.82 – 3.20 (-0.07)	11/19	-1.50 – 1.50 (0.58)	56/2
กันยายน	-0.28 – 0.62 (0.19)	53/4	-2.39 – 3.38 (-0.02)	12/22	-1.36 – 1.31 (0.43)	52/3
ตุลาคม	-0.23 – 0.46 (0.26)	55/2	-2.62 – 3.37 (-0.05)	10/13	-1.20 -1.65 (0.55)	54/2
พฤศจิกายน	-0.09 – 0.85 (0.42)	64/-	-3.07 – 2.99 (-0.29)	4/20	-0.48 – 1.16 (0.61)	60/2
ธันวาคม	-0.13 – 0.79 (0.35)	53/1	-3.04 – 2.95 (-0.25)	6/21	-0.47 – 0.95 (0.34)	48/3

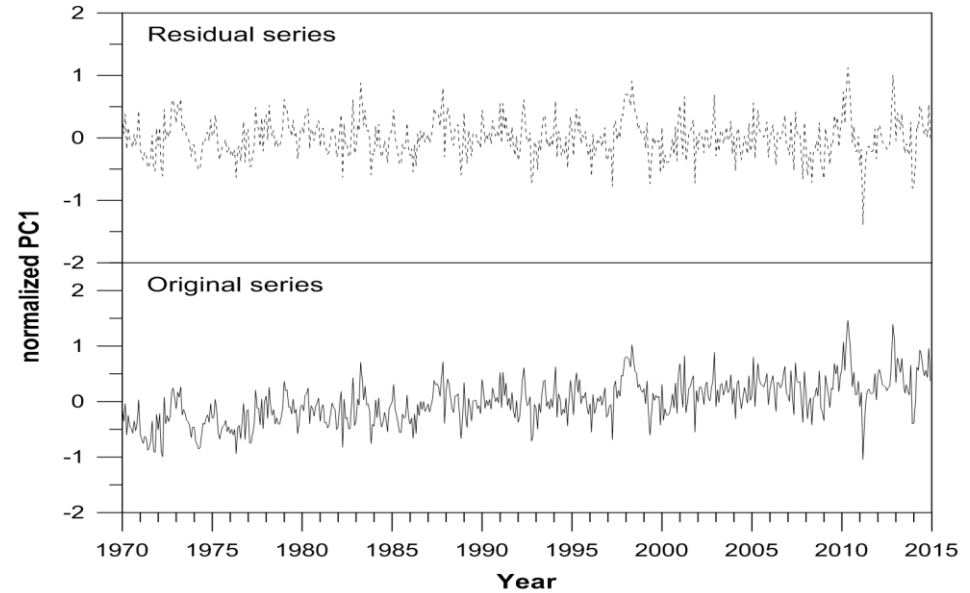
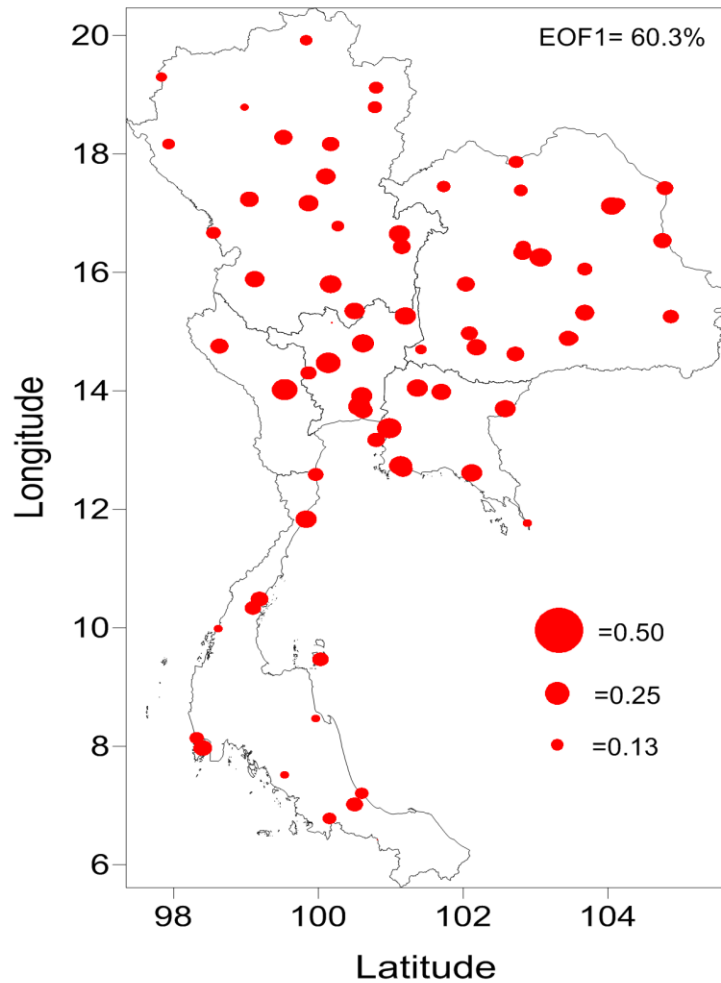


รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงรายสถานีระหว่าง HI อุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์รายปี

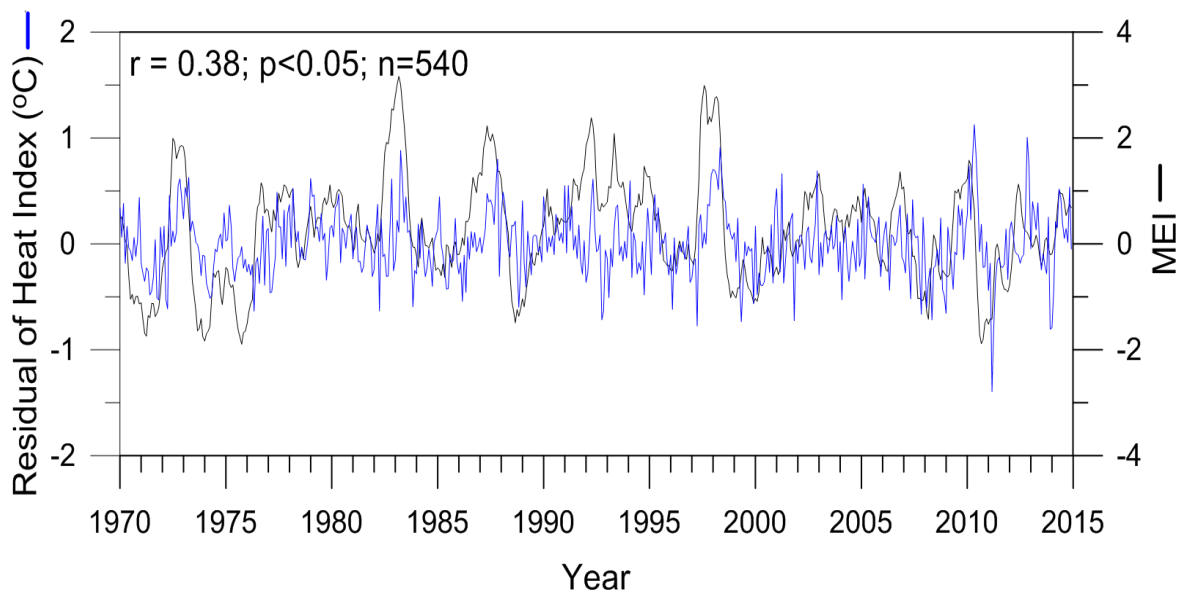
4.4 ลักษณะความแปรปรวนร่วมเชิงพื้นที่และเวลาของ HI ในประเทศไทยจากการวิเคราะห์ EOF และความสัมพันธ์กับดัชนี MEI

อนุกรมข้อมูลรายเดือนของ HI ทุกสถานีในห้วงเวลา 1970-2014 ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟังก์ชันตั้งฉากเชิงประจักษ์ หรือ EOF เพิ่มเติม เพื่ออธิบายลักษณะความแปรปรวนร่วมเชิงพื้นที่และเวลา (Spatiotemporal variance) ที่โดดเด่นของ HI ในประเทศไทย ทั้งนี้ ก่อนดำเนินการวิเคราะห์ EOF ข้อมูลในแต่ละเดือนของแต่ละสถานี ได้ถูกคำนวณหาค่า anomaly โดยลบด้วยค่าเฉลี่ยระยะยาวรายเดือนของสถานีนั้นๆ และจัดเรียงข้อมูลใหม่ให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ที่มีขนาดเท่ากับ $n \times m$ (n =จำนวนเดือนและ m =จำนวนสถานีของอนุกรมข้อมูล) จากผลการวิเคราะห์ พบว่า EOF โหมดที่ 1 สามารถอธิบายลักษณะความแปรปรวนร่วมเชิงพื้นที่และเวลาของ HI รายเดือน ได้ร้อยละ 60.3 ของความแปรปรวนทั้งหมดในข้อมูลเดิม ส่วนโหมดอื่นๆ ที่เหลือสามารถอธิบายความแปรปรวนส่วนที่เหลือของข้อมูลลดน้อยลงตามลำดับ ดังตัวอย่างเช่น โหมดที่ 2 และ 3 อธิบายความแปรปรวน ได้เพียงร้อยละ 10.9 และ 4.1 ของความแปรปรวนทั้งหมดในข้อมูลเดิม ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า EOF โหมดที่ 1 เป็นโหมดที่แสดงความแปรปรวนที่โดดเด่นของ HI ในประเทศไทย ดังนั้น EOF โหมดที่ 1 เป็นโหมดที่เหมาะสมสำหรับนำไปวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อหาความเชื่อมโยงระยะไกล (Teleconnection) และความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนของ HI ส่วนใหญ่ในภาพรวมของประเทศไทยกับความผันแปรของระบบภูมิอากาศโลกในโหมดต่างๆ โครงสร้างเชิงพื้นที่ (Component loading) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง EOF โหมดที่ 1 และอนุกรมข้อมูล HI ของแต่ละสถานี และอนุกรมเชิงเวลา (Time-varying EOF time coefficient) ของ EOF โหมดที่ 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ EOF บนพื้นฐานเมตริกซ์ anomaly ของ HI (540 เดือน \times 71 สถานี) ดังแสดงในรูปที่ 4.22 จากรูปที่ 4.22 พบว่า ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของ HI ในประเทศไทยที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 1 มีลักษณะที่สอดคล้องกันเป็นบริเวณกว้างทั่วทุกภาคของประเทศไทย ซึ่งมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงของ HI ตามรายสถานี (รูปที่ 4.19 และ 4.20) กล่าวคือ HI ทุกสถานี มีความสัมพันธ์เชิงบวกหรือแปรผันโดยตรงกับ EOF โหมดที่ 1 (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นบวก) ทั้งนี้ โครงสร้างเชิงพื้นที่ของ EOF โหมดที่ 1 แสดงถึงความแปรปรวนของ HI บริเวณภาคกลางและภาคตะวันออก มีค่าสูงกว่าพื้นที่บริเวณอื่นๆ ของประเทศไทย (รูปที่ 4.22) อนุกรมเชิงเวลาของ EOF โหมดที่ 1 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ HI ในประเทศไทยทั้งระหว่างปี/ทศวรรษและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง ทั้งนี้ ค่า EOF1 time coefficient ที่ต่ำหรือมากกว่าศูนย์ หมายถึง HI ในพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยต่ำและสูงกว่าปกติ ตามลำดับ การวิเคราะห์ variance ของอนุกรม EOF1 time coefficient เพิ่มเติม พบว่า ประมาณ 62.4% ของความแปรปรวนในอนุกรมเชิงเวลาของ EOF โหมดที่ 1 เป็นคาบเวลาระหว่างปี/ทศวรรษ ในขณะที่ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงในอนุกรมดังกล่าว มีสัดส่วนประมาณ 37.5% เมื่อนำ Residual series ของ EOF1 time coefficient หลังจากได้หักลบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงออกจาก Original series แล้ว ไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับดัชนี MEI พบว่า ความแปรปรวนในระยะสั้นของ HI

ในประเทศไทยที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 1 มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับดัชนี MEI ที่บ่งชี้ถึงสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์เอนโซ (รูปที่ 4.23) โดยสรุป พบว่า HI มีแนวโน้มสูงกว่าปกติในช่วงที่เกิดเหตุการณ์ El Niño แต่มีแนวโน้มต่ำกว่าปกติในช่วงที่เกิดเหตุการณ์ La Niña จากผลการศึกษาดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่านอกจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกที่เกิดจากปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจกแล้ว ปรากฏการณ์เอนโซซึ่งเป็นความผันแปรตามธรรมชาติของระบบภูมิอากาศ ยังส่งผลต่อความแปรปรวนในระยะสั้นของ HI ในประเทศไทยอีกด้วย



รูปที่ 4.22 โครงสร้างเชิงพื้นที่ (Component loading) ในรูปสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง EOF โหมดที่ 1 และอนุกรมข้อมูล HI ของแต่ละสถานี และอนุกรมเชิงเวลา (Time-varying amplitude) ของ EOF โหมดที่ 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์ EOF บนพื้นฐานเมตริกซ์ anomaly ของ HI (540 เดือน x 71 สถานี) Residual series หมายถึง Original series ที่ได้ห้กลับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงแล้ว



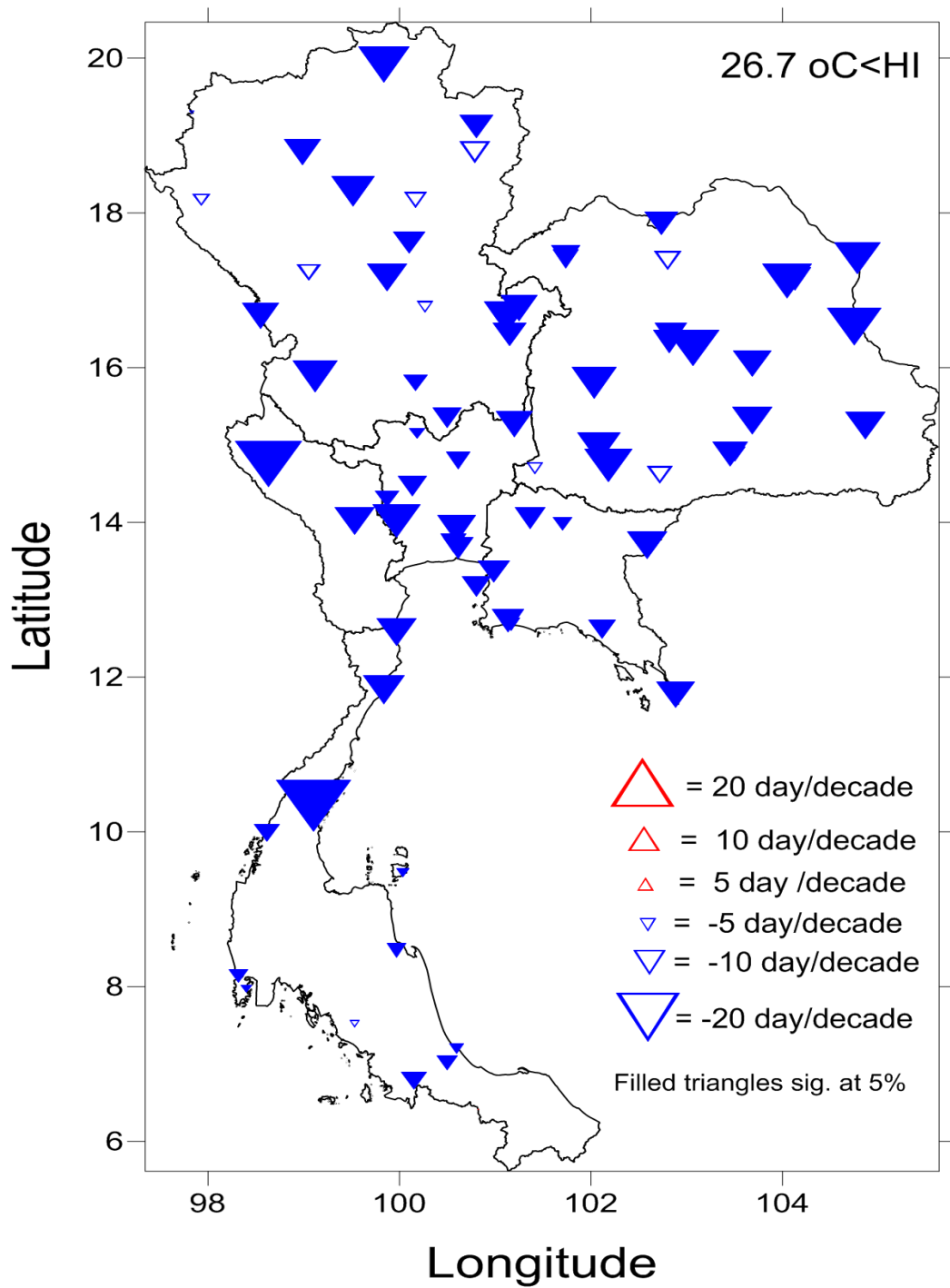
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง Residual series ของ EOF1 time coefficient ของ HI ในประเทศไทยและดัชนี MEI

4.5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบต่างๆ

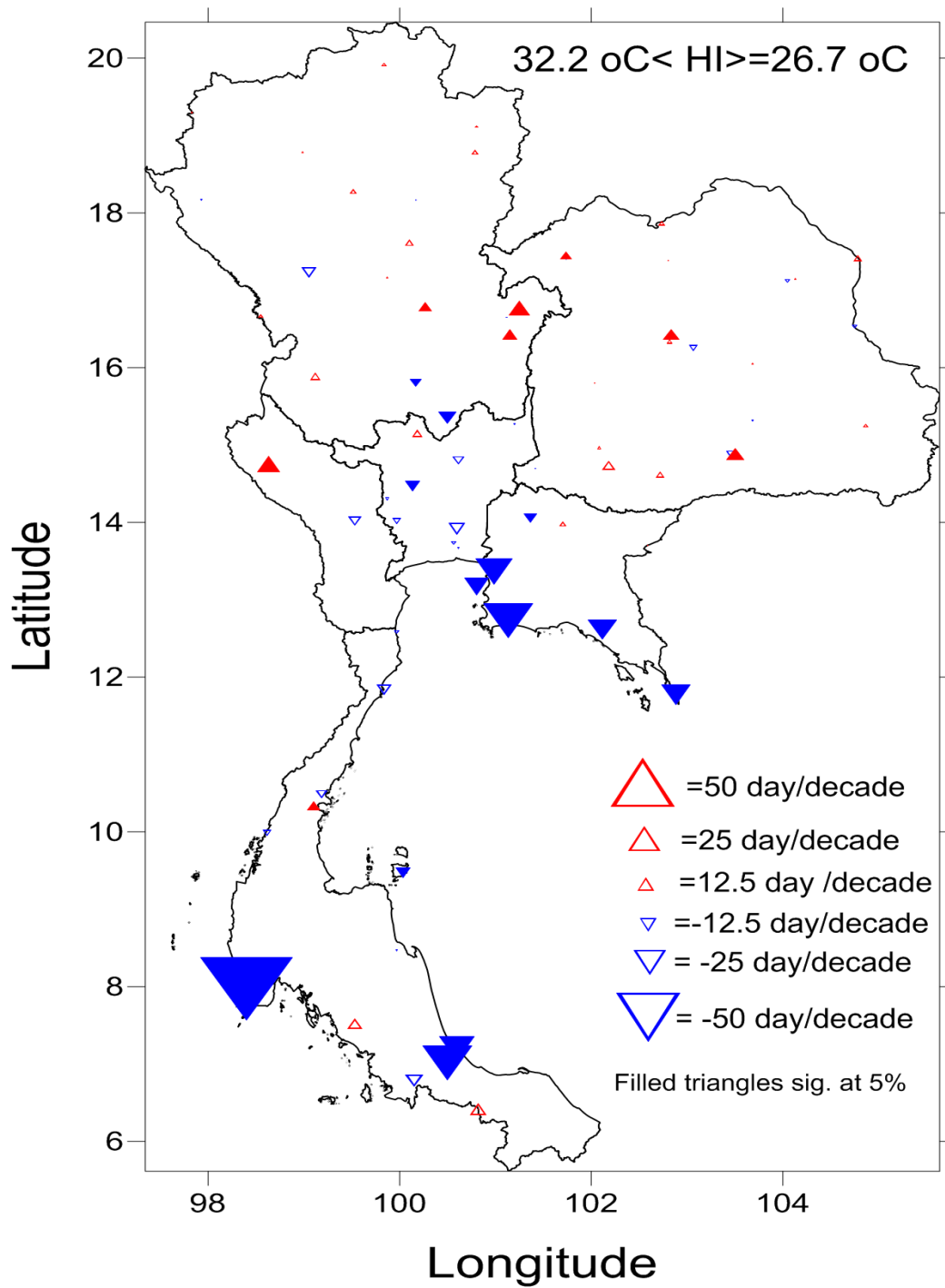
แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในแต่ละระดับผลกระทบ 4 ระดับ ตามนิยามในตารางที่ 4.1 คือ Normal ($HI < 26.7^{\circ}C$) Caution ($26.7^{\circ}C \leq HI < 32.2^{\circ}C$) Extreme caution ($32.2^{\circ}C \leq HI < 40.6^{\circ}C$) และ Danger ($HI \geq 40.6^{\circ}C$) ได้ถูกวิเคราะห์ในแต่ละสถานีเพื่ออธิบายถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในแต่ละระดับผลกระทบ รูปที่ 4.24 ถึง 4.27 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแต่ละระดับผลกระทบที่วิเคราะห์ตามรายสถานี ผลการวิเคราะห์ พบว่า ความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบ 'Normal' ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเกือบทุกสถานีในอัตราเฉลี่ย 6.7 วันต่อทศวรรษ (รูปที่ 4.24) ซึ่งมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ตรงกันข้ามกับการเพิ่มขึ้นของ HI และการร้อนขึ้นในประเทศไทย ในขณะที่ ความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบ 'Caution' ลดลงอย่างชัดเจนเช่นกันในภาคใต้และภาคตะวันออก แต่กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในพื้นที่บางส่วนของภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 4.25) สิ่งที่น่าสนใจประการหนึ่งจากผลการวิเคราะห์นี้ คือ ความถี่ของ HI ได้ขยับเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในระดับผลกระทบ 'Extreme caution' ซึ่งเกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้างทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยพื้นที่ภาคใต้ ภาคตะวันออกและภาคกลาง เป็นพื้นที่ที่มีอัตราการเพิ่มที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาคอื่นๆ (รูปที่ 4.26) สำหรับความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบ 'Danger' พบเพียงบางสถานีในภาคกลางซึ่ง

รวมถึงสถานที่กรุงเทพมหานคร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่บางสถานีในภาคกลางและพื้นที่บางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.27)

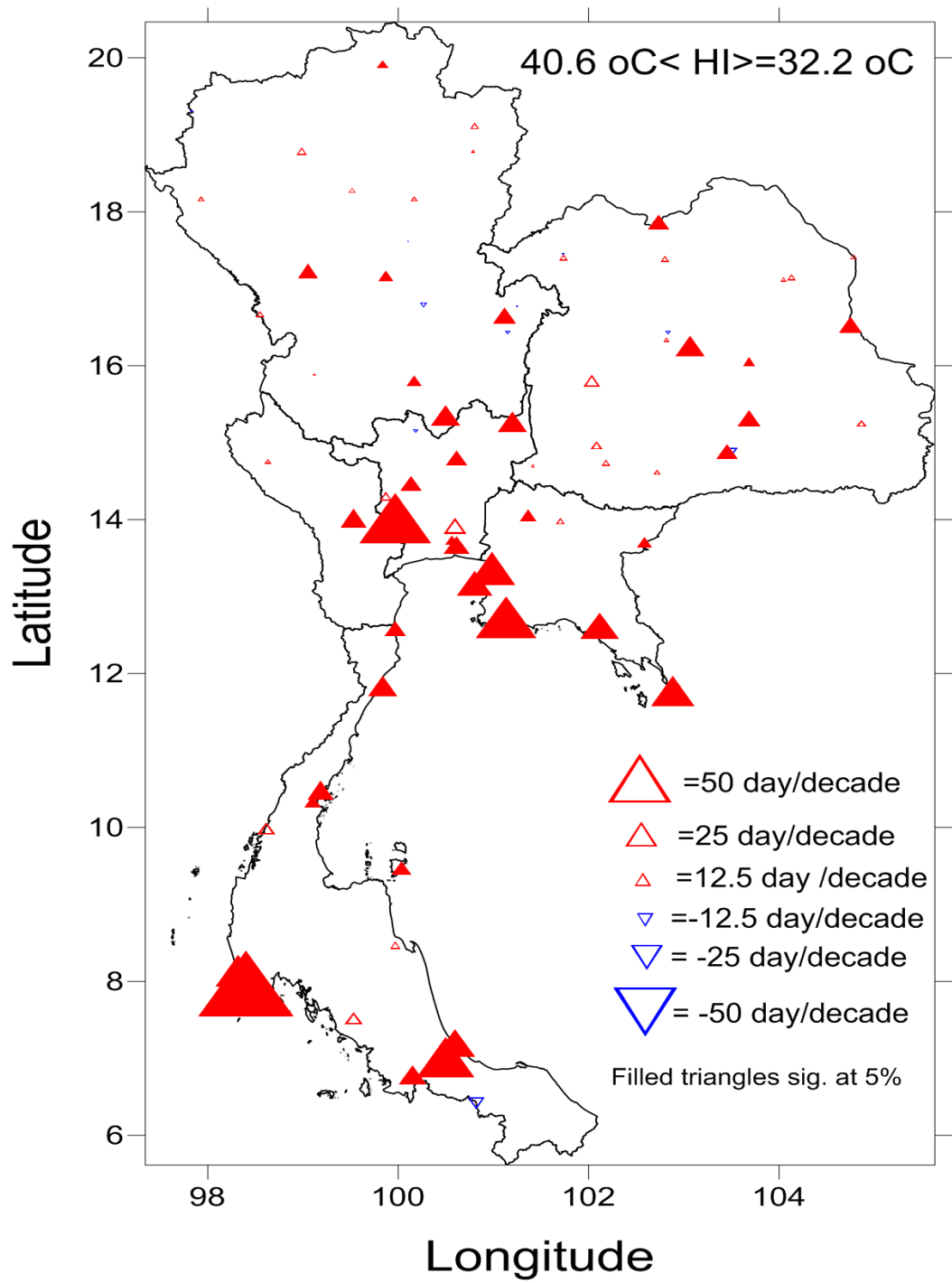
แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ในแต่ละระดับผลกระทบของทุกสถานี ได้นำไปวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วยเทคนิค EOF เพื่ออธิบายลักษณะที่โดดเด่นของการเปลี่ยนแปลงร่วมเชิงพื้นที่และระดับ (level-spatial variation) ซึ่งได้ประยุกต์วิธีการของ Osborn et al. (2000) และ Maraun et al. (2008) ที่ได้ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความถี่และความแรงของฝนในคลาสต่าง ๆ ทั้งนี้ การวิเคราะห์ EOF ได้คำนวณบนพื้นฐานของเมตริกซ์ซึ่งมีขนาด (74 สถานี x 4 ระดับ) ผลการวิเคราะห์ พบว่า EOF โหมดที่ 1 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ถึง 80% ซึ่งเป็นรูปแบบที่โดดเด่นของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบต่าง ๆ ในภาพรวมของประเทศไทย โดย Principal component score ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบต่างๆ ของ EOF โหมดที่ 1 ในรูปของจำนวนวันต่อปี ระบุถึงการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของ HI ในระดับผลกระทบ 'Extreme caution' ในอัตรา 6.5 วันต่อปี แต่ HI ในระดับผลกระทบ 'Normal' และ 'Caution' กลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในอัตรา 2.1 และ 4.2 วันต่อปี ตามลำดับ (รูปที่ 4.28) ส่วน Principal component score ของ HI ในระดับผลกระทบ 'Danger' มีค่ามากกว่าศูนย์เพียงเล็กน้อยซึ่งบ่งบอกทิศทางแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบนี้ การวิเคราะห์ EOF นี้ ให้ผลที่สอดคล้องอย่างดีกับผลการศึกษาที่ได้แสดงในรูปที่ 4.24 ถึง 4.27 โครงสร้างเชิงพื้นที่ของ EOF โหมดที่ 1 ของความถี่ HI ในแต่ละระดับผลกระทบในประเทศไทยซึ่งบ่งชี้ถึง 'hotspot' ของการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏใน Principal component score (รูปที่ 4.28) แสดงสถานี 'hotspot' ของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้างในภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง โดยสถานีภูเก็ตมีการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ สถานีหาดใหญ่ และสถานีสงขลา ตามลำดับ (รูปที่ 4.28)



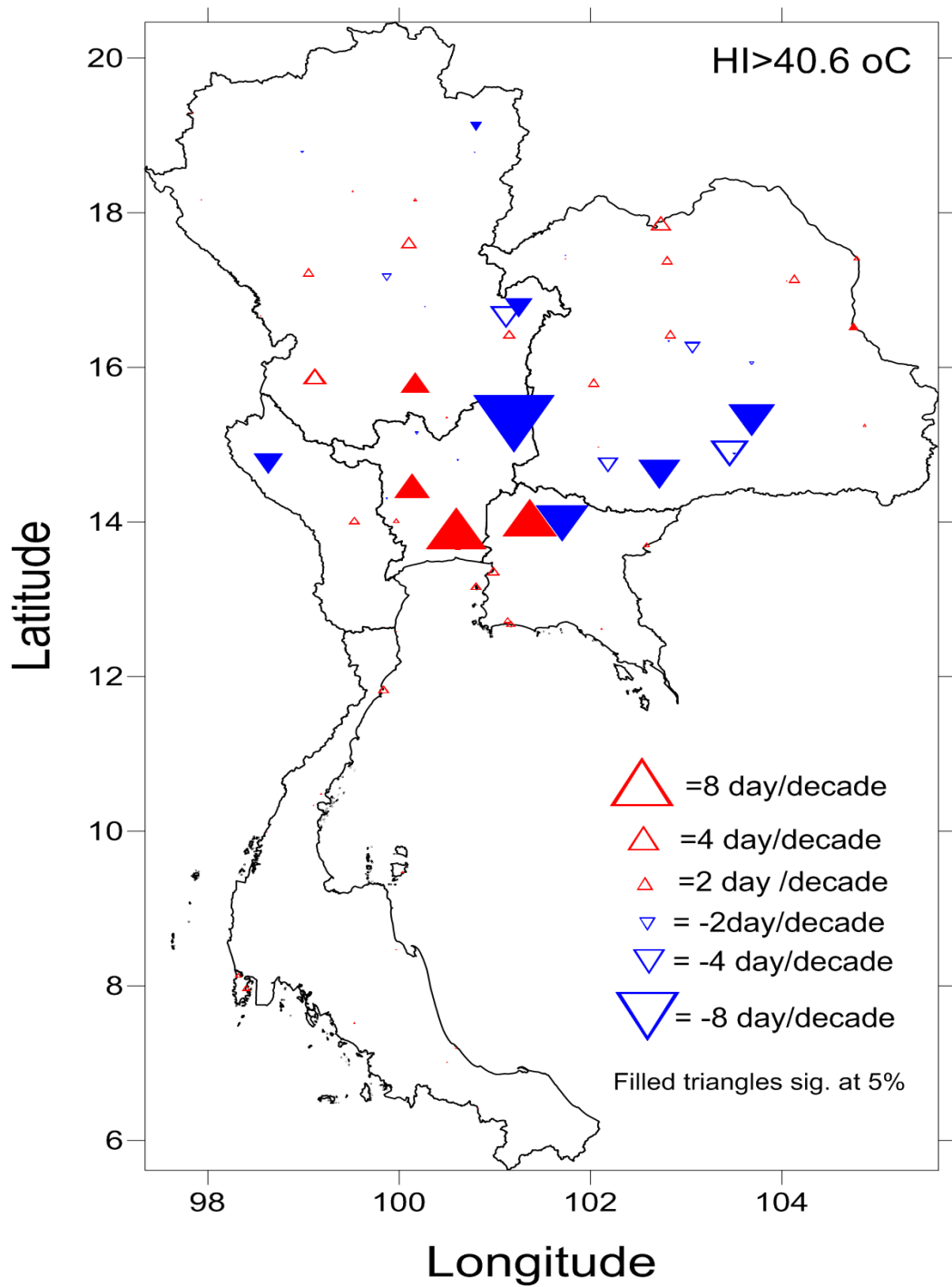
รูปที่ 4.24 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบ 'Normal' ในห้วงเวลา 1970-2013



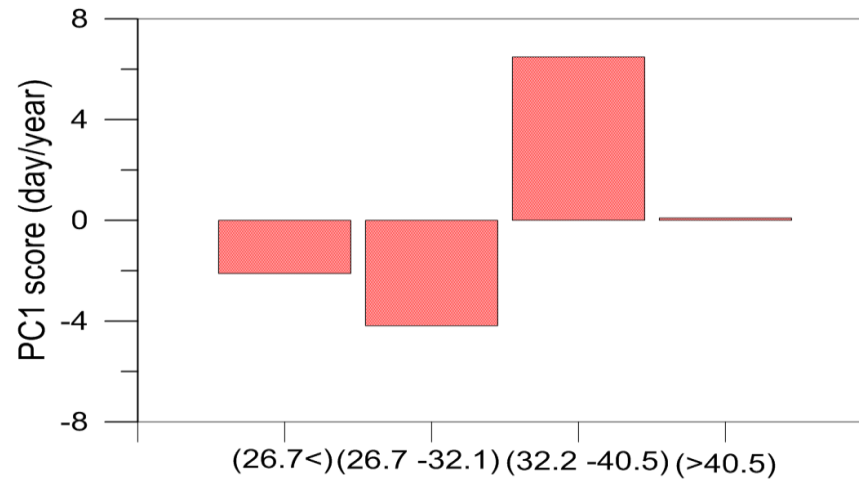
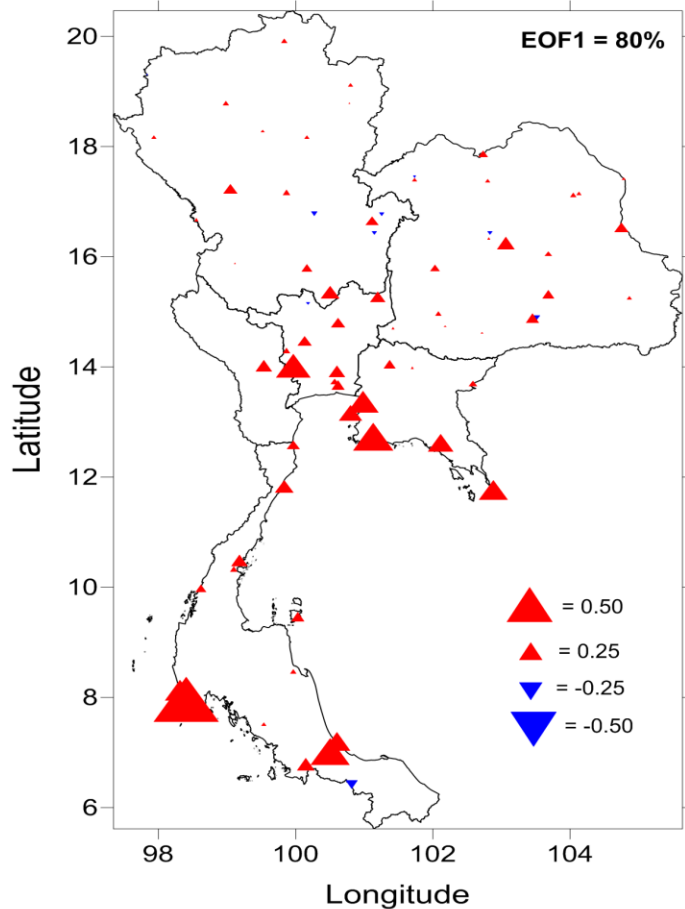
รูปที่ 4.25 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบ 'Caution' ในห้วงเวลา 1970-2013



รูปที่ 4.26 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบ 'Extreme Caution' ในห้วงเวลา 1970-2013



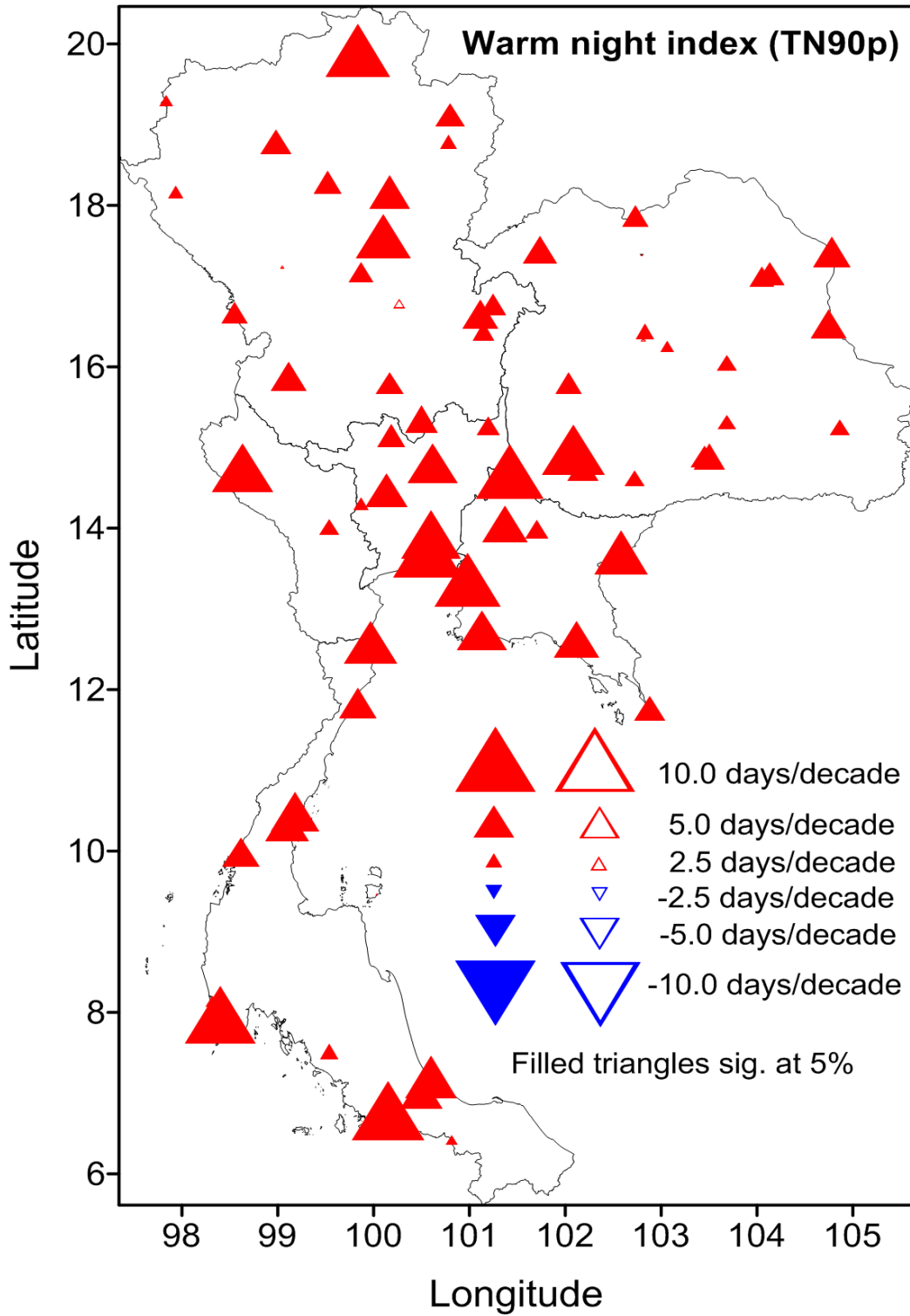
รูปที่ 4.27 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบ 'Danger' ในห้วงเวลา 1970-2013



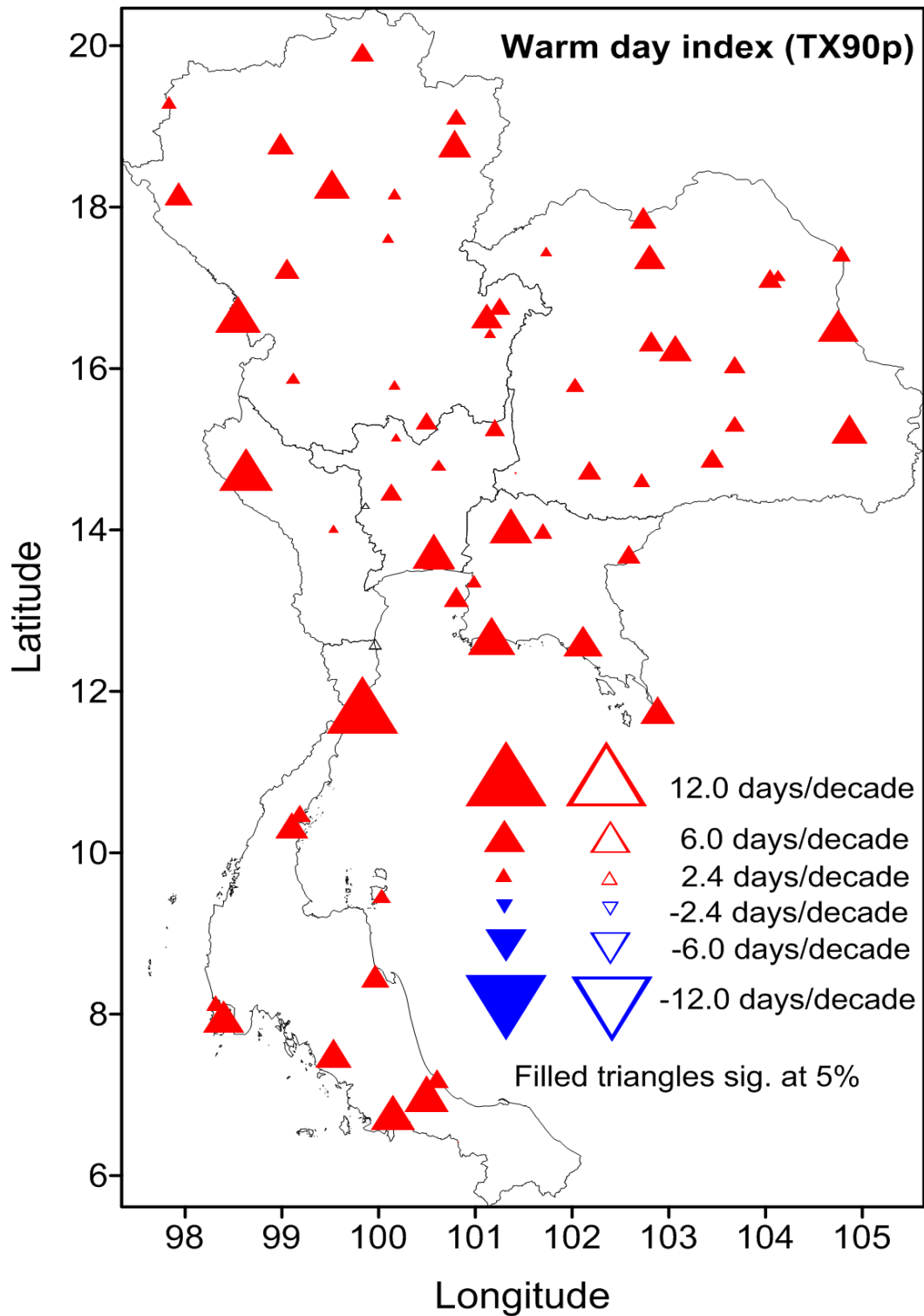
รูปที่ 4.28 โครงสร้างเชิงพื้นที่ (Component loading) ในรูปสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง EOF โหมดที่ 1 และอนุกรมข้อมูลแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในแต่ละระดับผลกระทบ และ Principal Component score ของ EOF โหมดที่ 1 ที่แสดงขนาดการเปลี่ยนแปลงในแต่ละระดับผลกระทบที่ได้จากการวิเคราะห์ EOF บนพื้นฐานเมตริกซ์ซึ่งมีขนาด (74 สถานี x 4 ระดับ)

4.6 การเปลี่ยนแปลงของดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทยและความสัมพันธ์กับ HI

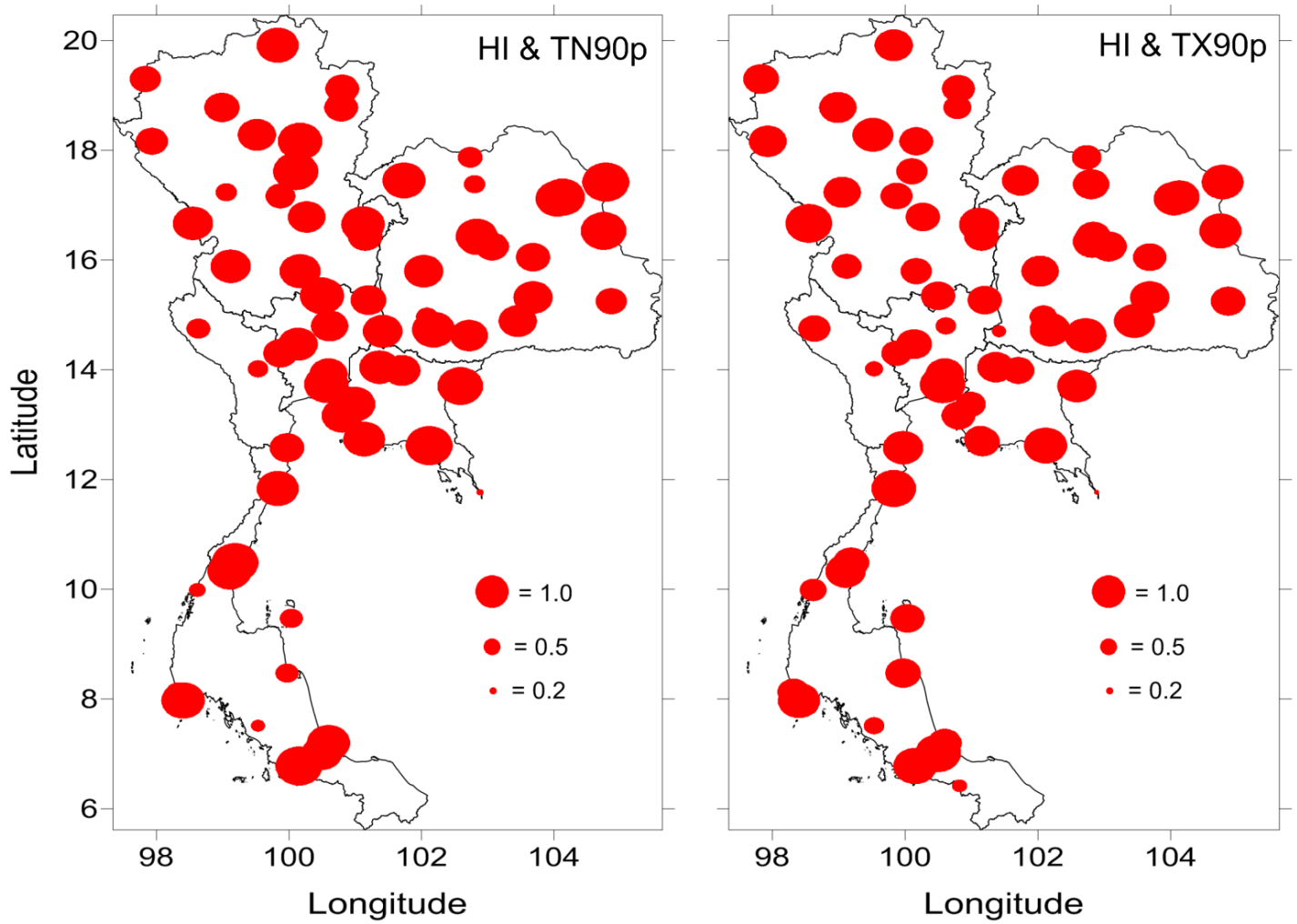
เพื่ออธิบายความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงระหว่าง HI และสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิเพิ่มเติม จากความสัมพันธ์ที่พบระหว่าง HI และอุณหภูมิเฉลี่ย (รูปที่ 4.21) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับ mean state ของอุณหภูมิเท่านั้น ดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิที่บ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงความถี่ของเหตุการณ์บริเวณ ปลายด้านขวาของการแจกแจงความถี่ของข้อมูลอุณหภูมิ ได้แก่ ดัชนีจำนวนคืนและวันที่อบอุ่น ได้วิเคราะห์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์กับ HI ตามรายสถานี ทั้งนี้ จำนวนคืนและวันที่อบอุ่น มักมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นควบคู่กับการขยับตัวสูงขึ้นของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ และเป็นดัชนีสถานะความรุนแรงของ อุณหภูมิอย่างง่ายที่บ่งบอกถึงสถานการณ์ร้อนขึ้นของสภาพอากาศทั้งตอนกลางวันและกลางคืน ซึ่งนิยามบน พื้นฐานของเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 ของอุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุด ผลการวิเคราะห์ พบว่า 92% และ 86% ของสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศผิวพื้นทั้งหมดของกรมอุตุนิยมวิทยา แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ของดัชนีจำนวนคืนและจำนวนวันที่อบอุ่น ในอัตรา 1.5-9 และ 1.4-10.7 วันต่อทศวรรษ ตามลำดับ (รูปที่ 4.29 และ 4.30) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามรายสถานีสำหรับอนุกรมข้อมูลในห้วงเวลา 1970-2014 พบว่า ดัชนี จำนวนคืนและวันที่อบอุ่น มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญในระดับสูงกับ HI (รูปที่ 4.31) ซึ่งค่าเฉลี่ยของ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.72 และ 0. ตามลำดับ แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของดัชนีจำนวนคืนและวันที่ อบอุ่นทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทยซึ่งมีลักษณะที่สอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตในอุณหภูมิเฉลี่ย มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับ HI นี้ (รูปที่ 4.16 4.20 4.29 4.30 และ 4.31) บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิด ควบคู่ในทิศทางเดียวกันของอุณหภูมิและเหตุการณ์สถานะความรุนแรงที่เกี่ยวข้องปรากฏการณ์ความร้อนในห้วง 45 ปีที่ผ่านมาในประเทศไทย



รูปที่ 4.29 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (จำนวนคืนต่อทศวรรษ) ของดัชนีจำนวนคืนที่อบอุ่นตามรายสถานีในห่วงเวลา 1970-2014



รูปที่ 4.30 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (จำนวนวันต่อทศวรรษ) ของดัชนีจำนวนวันที่อบอุ่นตามรายสถานีในห่วงเวลา 1970-2014



รูปที่ 4.31 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอนุกรมดัชนีจำนวนคืนและจำนวนวันที่อบอุ่น (TN90p และ TX90p) และอนุกรม HI ตามรายสถานีในห้วงเวลา 1970-2014

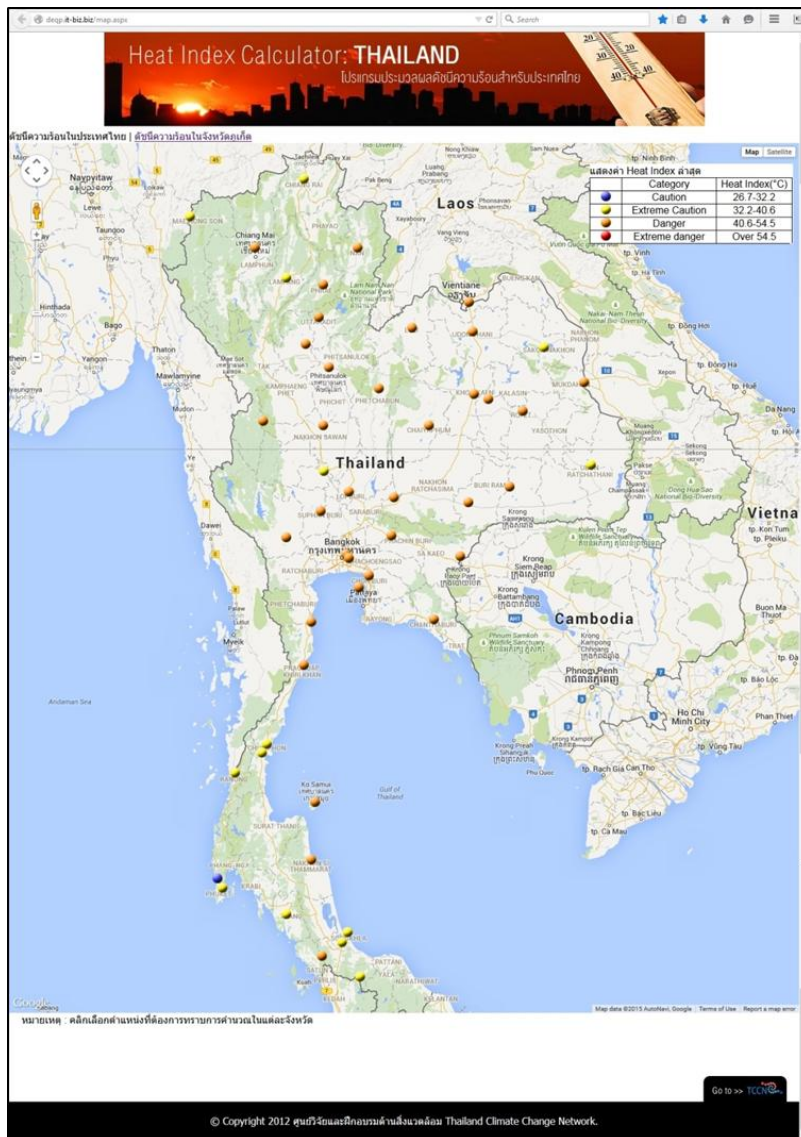
4.7 การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน

คลื่นความร้อน (Heat wave) นับเป็นภาวะสุดขีดของความร้อนและสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและสร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจและสังคมนับเป็นมูลค่ามหาศาล ตลอดจนเป็นสาเหตุหลักการเสียชีวิตของประชาชนในหลายประเทศ สำหรับประเทศไทยยังไม่มีหลักฐานการศึกษาที่บ่งชี้ถึงความรุนแรงและความถี่ของการเกิดคลื่นความร้อนและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาวะเครียดจากอากาศร้อนจัด แต่ข้อมูลจากการศึกษาของแสงจันทร์และคณะ (2553) และจากรายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 แสดงถึงโอกาสเป็นไปได้สูงที่จะเกิดขึ้นในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่กำหนดการเกิดคลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากความร้อน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในประเทศไทย โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในประเทศไทย นับว่ามีอัตราที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยของโลก (อัศมน ลิมสกุล และคณะ, 2554) ดังนั้น คณะวิจัยฯ จึงได้พัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนสำหรับประเทศไทย เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณและประมวลผลดัชนีความร้อน สำหรับหน่วยงานต่างๆ โดยเฉพาะหน่วยงานส่วนท้องถิ่น ได้นำไปใช้ติดตามตรวจสอบและเตือนภัยคลื่นความร้อนและสภาวะความเครียดจากอากาศร้อนจัดได้ทั้งในระดับจังหวัดและชุมชน



4.7.1 การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนและระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชน

โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้น เป็นการพัฒนามาบนโปรแกรมไมโครซอฟท์ไอไอเอส (Microsoft IIS = Internet Information Server) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการจำลองเครื่องคอมพิวเตอร์ให้กลายเป็นเครื่องเว็บเซิร์ฟเวอร์ โดยใช้ฐานข้อมูล MySQL ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของระบบบริหารจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (RDBMS : Relational Database Management System) และใช้ ASP.NET Web Pages ช่วยในการสร้าง Web Application ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามการเขียนคำสั่งและเงื่อนไขต่างๆ ได้ตามต้องการ โดยการกำหนดขั้นตอนให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานโดยมีโครงสร้างการควบคุมพื้นฐาน 3 หลักการ ได้แก่ การทำงานแบบตามลำดับ (Sequence) การเลือกกระทำตามเงื่อนไข (Decision) และการทำซ้ำ (Loop)

โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนจะถูกตั้งค่าเพื่อกำหนดเงื่อนไขการทำงาน โดยให้โปรแกรมทำการดาวน์โหลดข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์แบบอัตโนมัติ การตั้งเวลาในการดึงข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาจะใช้ task schedule ของ windows ในการทำงานแล้วทำการเรียก code ทำงาน (ดึงข้อมูลแบบรายวัน ในช่วงเวลา 15.00 น.) จากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยที่กรมอุตุนิยมวิทยาให้บริการข้อมูลผ่าน Web API โดยแสดงผลแบบ XML โดยภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมดึงข้อมูล คือ ASP.NET และจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลด้วย MySQL โดยข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะถูกดึงเข้าสู่ระบบการคำนวณทำการคำนวณดัชนีความร้อนในสูตร Heat Index calculator และผลลัพธ์ที่ได้จากสูตรคำนวณจะถูกจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล MySQL (รูปที่ 3.1 บทที่ 3) และแสดงค่า heat index บนแผนที่ซึ่งได้มา Google map (รูปที่ 4.32) มาใช้งานสำหรับการแสดงผล โดย Google map จะมี API ในการเชื่อมต่อ ซึ่งรูปแบบการแสดงผลจะมีตารางที่แสดงเกณฑ์ระดับความรุนแรงของค่า Heat Index โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ caution สีฟ้า / extreme caution สีเหลือง / danger สีส้ม / extreme danger สีแดง (รูปที่ 4.33) โดยแสดงบริเวณจังหวัดต่างๆ ทั้งสิ้น 50 สถานี (ตารางที่ 4.6.1) แสดงบนหน้า <http://deqp.it-biz.biz/map.aspx>



รูปที่ 4.32 รูปแบบการแสดงค่า Heat Index ตามสถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา

แสดงค่า Heat Index ล่าสุด		
	Category	Heat Index(°C)
	Caution	26.7-32.2
	Extreme Caution	32.2-40.6
	Danger	40.6-54.5
	Extreme danger	Over 54.5

รูปที่ 4.33 เกณฑ์ระดับความรุนแรงของค่า Heat Index

ตารางที่ 4.3 สถานีตรวจวัดอุตุวิทยามหาวิทยาลัย 50 สถานี

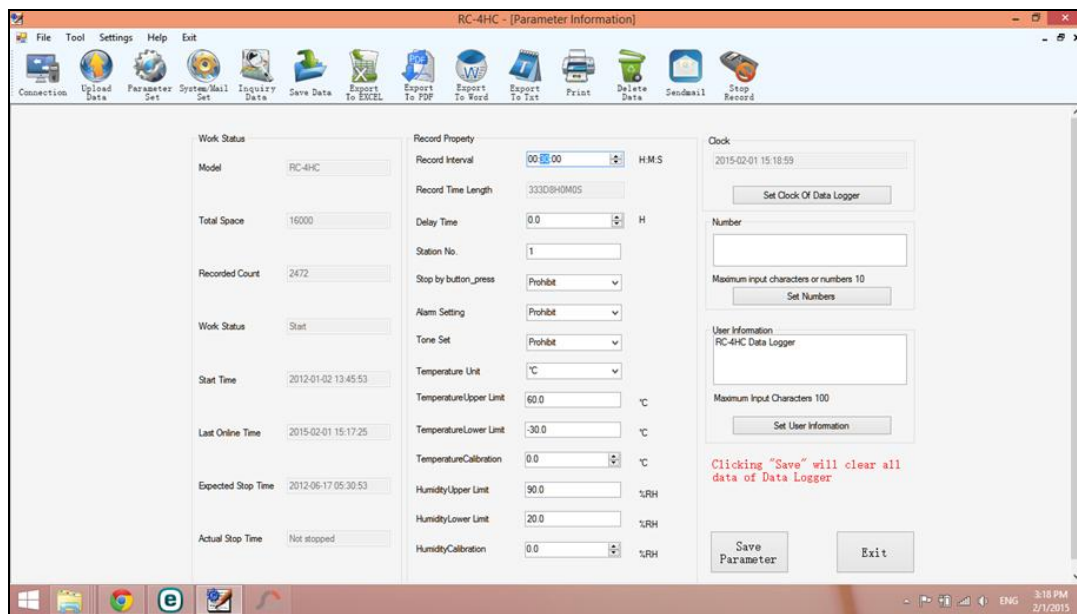
ภาคเหนือ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด
แม่ฮ่องสอน	300201	Mae Hong Son	97.83	19.3
เชียงใหม่	303201	Chiang Rai	99.83	19.92
เชียงใหม่	327501	Chiang Mai	98.98	18.78
ลำปาง	328201	Lampang	99.52	18.28
แพร่	330201	Phrae	100.17	18.17
น่าน	331201	Nan	100.78	18.78
อุตรดิตถ์	351201	Uttaradit	100.1	17.62
ตาก	376201	Tak	99.12	15.88
พิษณุโลก	378201	Phitsanulok	100.27	16.78
เพชรบูรณ์	379201	Phetchabun	101.15	16.43
สุโขทัย	373301	Si Samrong Agromet	99.87	17.17
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ				
เลย	353201	Loei	101.733	17.45
อุดรธานี	354201	Udon Thani	102.8	17.383
มุกดาหาร	383201	Mukdahan	104.75	16.533
ชัยภูมิ	403201	Chaiyaphum	102.033	15.8
ร้อยเอ็ด	405201	Roi Et	103.683	16.05
หนองคาย	352201	Nong Khai	102.73	17.87
สกลนคร	356301	Sakon Nakhon Agromet	104.05	17.12
ขอนแก่น	381301	Tha Phra Agromet	102.82	16.33
โกสุมพิสัย (มหาสารคาม)	387401	Kosum Phisai	103.07	16.25
นครราชสีมา	431301	Pak Chong Agromet	101.42	14.7
สุรินทร์	432301	Surin Agromet	103.45	14.88
นางรอง (บุรีรัมย์)	436401	Nang Rong	102.72	14.62
อุบลราชธานี	407501	Ubon Ratchathani	104.87	15.25

ตารางที่ 4.3 สถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา 50 สถานี (ต่อ)

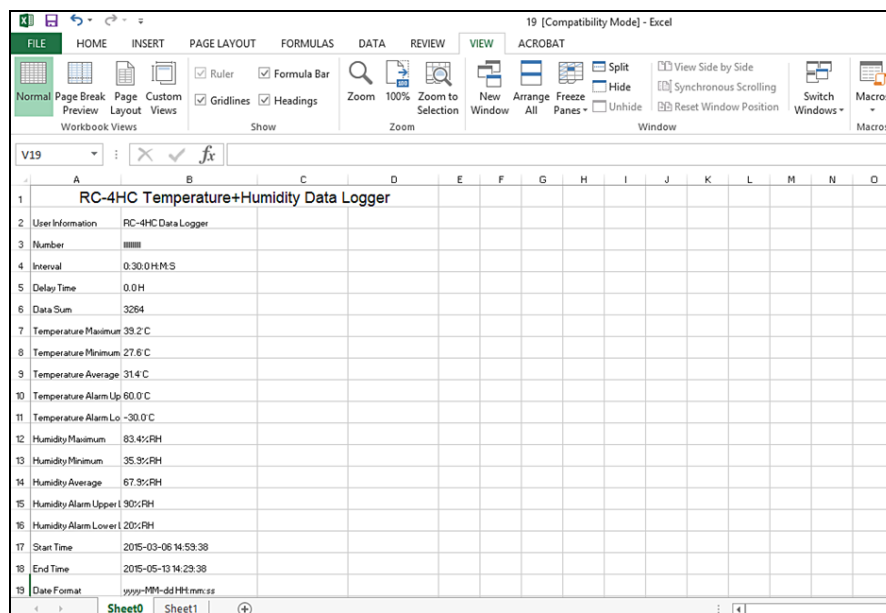
ภาคกลาง	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด
นครสวรรค์	400201	Nakhon Sawan	100.17	15.8
ชัยนาท	402301	Chai Nat	100.18	15.15
สุพรรณบุรี	425201	Suphan Buri	100.13	14.47
ลพบุรี	426201	Lop Buri	100.62	14.8
กาญจนบุรี	450201	Kanchanaburi	99.53	14.02
กรุงเทพมหานคร	455201	Bangkok Metropolis	100.57	13.73
บางนา	455301	Bang Na	100.62	13.67
ภาคตะวันออกเฉียง				
ปราจีนบุรี	430201	Prachin Buri	101.37	14.05
สระแก้ว	440201	Aranyaprathet	102.58	13.7
ชลบุรี	459201	Chon Buri	100.98	13.37
เกาะสีชัง	459202	Ko Sichang	100.8	13.17
จันทบุรี	480201	Chanthaburi	102.117	12.617
ภาคใต้				
ประจวบคีรีขันธ์	500201	Prachuap Khiri Khan	11.83	4
หัวหิน	500202	Hua Hin	99.97	12.58
ชุมพร	517201	Chumphon	99.18	10.48
ระนอง	532201	Ranong	98.62	9.98
นครศรีธรรมราช	552201	Nakhon Si Thammarat	99.97	8.47
ภูเก็ต	564201	Phuket	98.4	7.97
ภูเก็ต (สนามบิน)	564202	Phuket Airport	98.32	8.13
ตรัง	567201	Trang Airport	99.53	7.52
ปัตตานี	580201	Pattani Airport	100.15	6.78
นราธิวาส	583201	Narathiwat	100.82	6.42
สวี	517301	Sawi Agromet	99.1	10.33
เกาะสมุย	551203	Ko Samui	100.03	9.47
คอหงส์	568301	Kho Hong Agromet	100.5	7.02
สงขลา	568501	Songkhla	100.6	7.2

ในขณะที่ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อน เป็นองค์ประกอบย่อยที่ถูกบรรจุเข้าไปในโปรแกรมประมวลผล ดชนีความร้อน โดยมีข้อแตกต่างในลักษณะของการนำเข้าข้อมูล ซึ่งระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชน จำเป็นต้องใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบ Data Logger ตรวจวัดและบันทึกค่า (การศึกษาที่ใช้ เครื่องวัดและบันทึกข้อมูลยี่ห้อ RC-4HC Data logger Internal NTC thermal resistor) โดยทำการกำหนด Sampling rate ให้มีการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทุกๆ 30 นาที (รูปที่ 4.34)

โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ระดับความสูง 2 เมตรจากพื้นดิน ในบริเวณพื้นที่ที่มีความเหมาะสมและ ปลอดภัย จำนวน 20 สถานี (รูปที่ 3.5 บทที่ 3) ในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2558 พร้อมทั้ง ตรวจสอบการทำงานของเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้สามารถตรวจวัดและบันทึกข้อมูลได้ ตาม sampling rate ที่กำหนดไว้ จากนั้น ผู้ใช้งานต้องดึงข้อมูลจาก Data Logger ด้วยโปรแกรมเชื่อมต่อ RC-4HC (รูปที่ 4.35) ข้อมูลที่ได้จะมาจากกรนำเข้าข้อมูลด้วยไฟล์ excelและนำเข้าข้อมูลดังกล่าวเข้าสู่โปรแกรม ประมวลผลดัชนีความร้อนทำการคำนวณดัชนีความร้อนในสูตร Heat Index calculator และแสดงผลใน รูปแบบแผนที่ Google map เช่นกัน ทั้งนี้ ข้อแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนกับ ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนนั้นคือ การนำเข้าข้อมูลแบบอัตโนมัติกับการนำเข้าข้อมูลด้วยผู้ใช้งานตามลำดับ

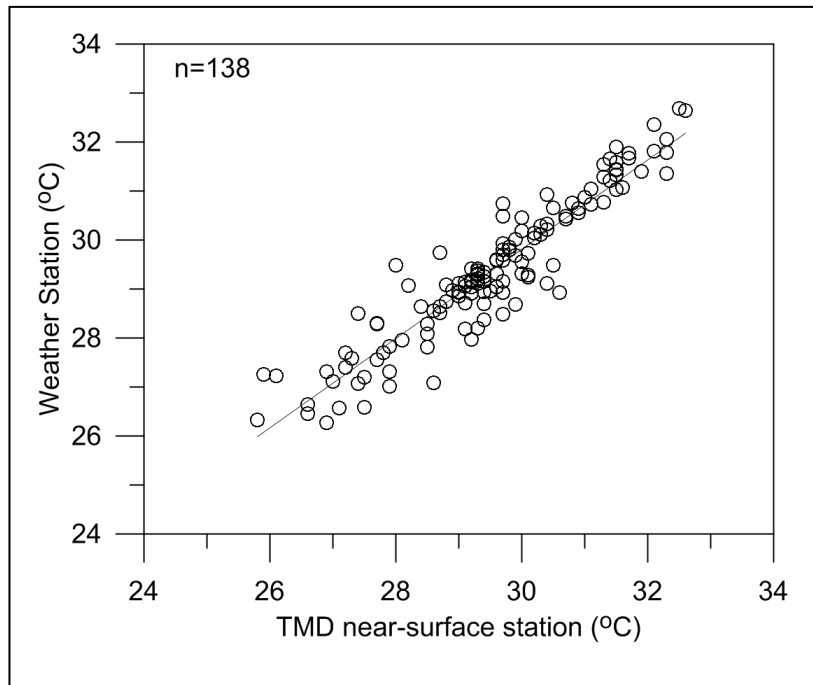


รูปที่ 4.34 การตั้งค่า sampling rate ให้เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ทำการตรวจวัดและ บันทึกข้อมูลในทุก 30 นาที

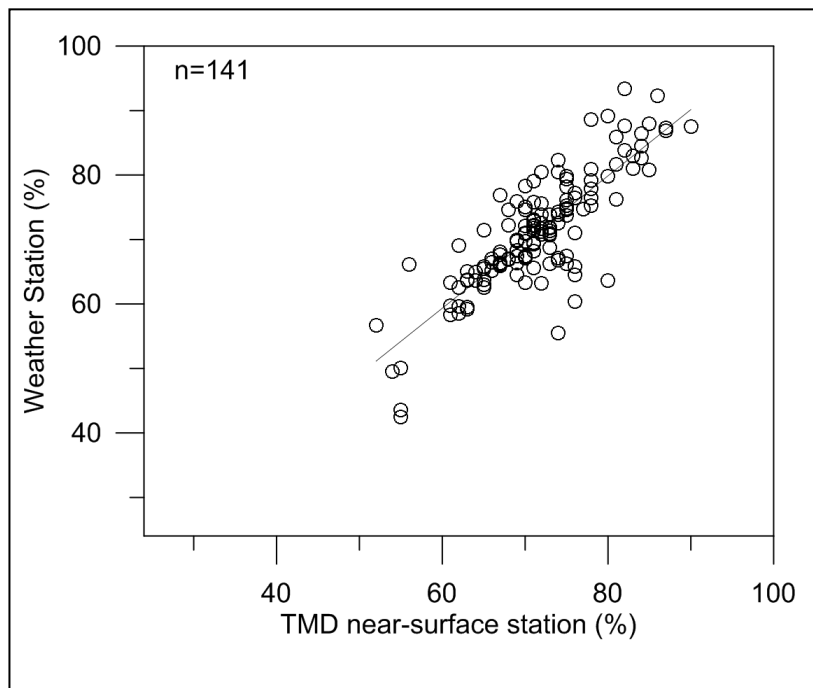


รูปที่ 4.35 วิธีการเชื่อมต่อเพื่อนำเข้าข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยโปรแกรมเชื่อมต่อ RC-4HC

นอกจากนี้ ได้ทำการติดตั้งเครื่อง Weather Station ทำการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใน 4 พื้นที่ ประกอบด้วย (1) คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ในช่วงระหว่างวันที่ 3-10 กรกฎาคม 2557 และวันที่ 10 เมษายน 2558 - 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 (2) ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ตำบลคลองห้า อำเภอลำทับ จังหวัดปทุมธานี ในช่วงระหว่างวันที่ 10 พฤษภาคม 2557 - 15 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (3) สำนักงานปศุสัตว์ อำเภอมะนัง จังหวัดกำแพงเพชร ในช่วงระหว่างวันที่ 6-19 มีนาคม 2557 และวันที่ 4 - 13 มิถุนายน พ.ศ. 2557 และ (4) วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีตาก อำเภอวังเจ้า จังหวัดตาก ในช่วงระหว่างวันที่ 7-12 มีนาคม 2557 และวันที่ 4 - 13 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ทั้งนี้ การติดตั้งเครื่อง Weather Station ตรวจวัดและบันทึกค่าข้อมูลตามพื้นที่ต่างๆ ดำเนินการเพื่อให้ได้ซึ่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับนำมาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยากับเครื่อง Weather Station ที่ติดตั้งในพื้นที่ โดยเลือกสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ที่ดำเนินการติดตั้งเครื่อง Weather Station และนำข้อมูลที่ได้นำมาเปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ของชุดข้อมูล การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของชุดข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากสถานีอุตุนิยมวิทยากับเครื่อง Weather Station พบว่า ชุดข้อมูลทั้ง 2 มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน (รูปที่ 4.36 และ 4.37) ดังนั้น สามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลที่ดำเนินการตรวจวัดในพื้นที่ที่มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชนได้

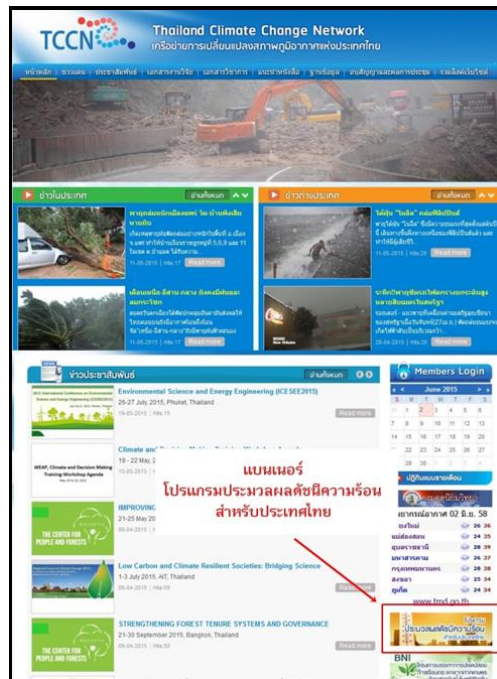


รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลอุณหภูมิของสถานีอุตุนิยมวิทยากับเครื่อง Weather Station

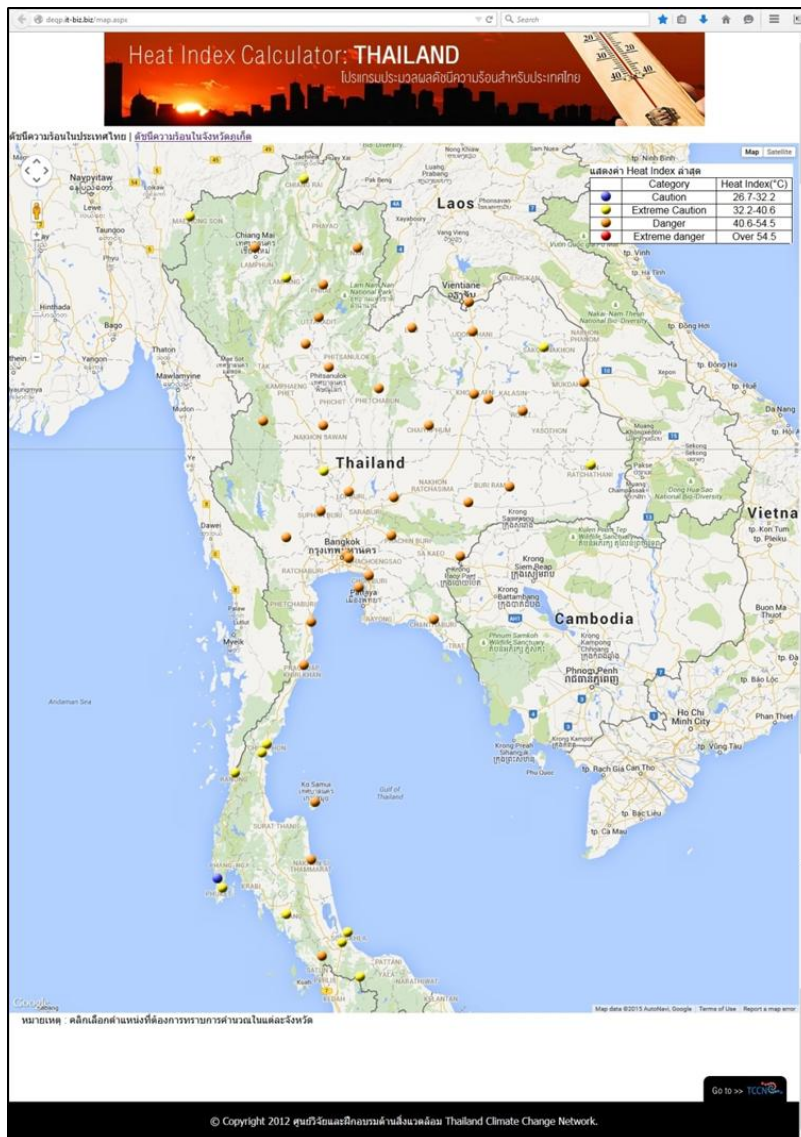


รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ของสถานีอุตุนิยมวิทยากับเครื่อง Weather Station

4.7.2 การทำงานของโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนและระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชน
 โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนจะถูกเชื่อมโยงเข้ากับเว็บไซต์เครือข่ายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไทย www.tccnclimate.com โดยจะปรากฏเป็นแบนเนอร์โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนสำหรับประเทศไทย (รูปที่ 4.38) และเมื่อคลิกเลือกแบนเนอร์จะเชื่อมโยงเข้าสู่หน้าแสดงผลในรูปแบบแผนที่ Google map <http://deqp.it-biz.biz/map.aspx> (รูปที่ 4.39)



รูปที่ 4.38 แบนเนอร์โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนสำหรับประเทศไทย



รูปที่ 4.39 รูปแบบการแสดงผล Heat Index ของประเทศไทย (50 สถานี)

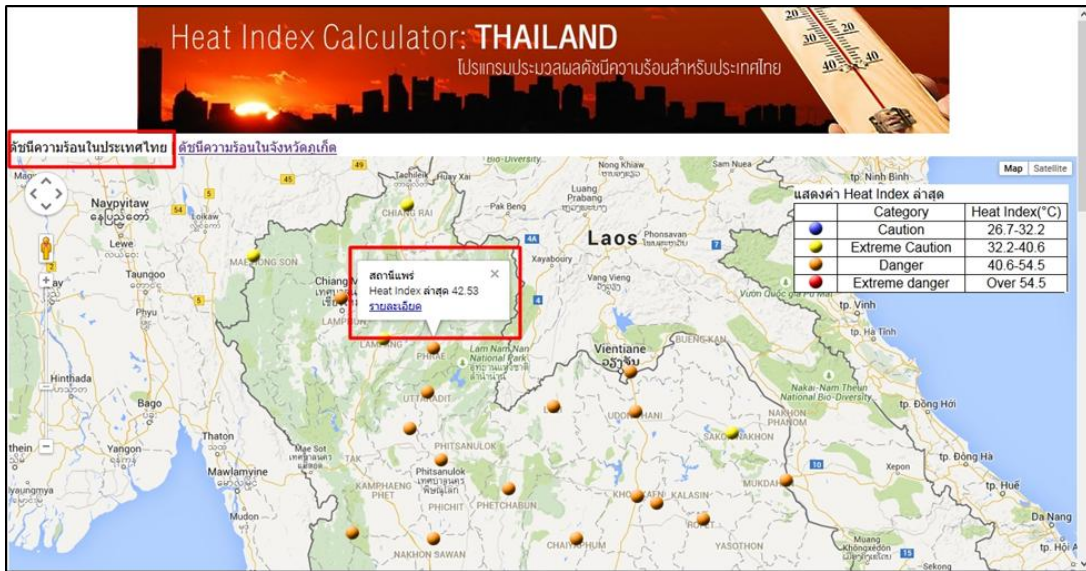
ดังที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนดาวนิโหลดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (ค่าตรวจวัดในช่วงเวลา 15.00 น. และดาวนิโหลดข้อมูลรายวันอย่างต่อเนื่อง) จากสถานีอุตุนิยมวิทยาเข้าสู่กระบวนการประมวลผลด้วย Heat Index Calculator และทำการแสดงผลในแผนที่ Google Map ดังแสดงในรูปที่ 4.37 โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนจะแสดงผลค่า Heat Index ตามรายสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา (50 สถานี) โดยผู้ใช้งานโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนจะทราบถึงสถานการณ์ความร้อนในภาพรวมของระดับจังหวัดตามเฉดสีที่มีความแตกต่างกัน การกำหนดเกณฑ์ระดับความรุนแรงของค่า

Heat Index จะถูกจำแนกออกเป็น 4 ระดับ ตามช่วงชั้นของผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นกับร่างกายของมนุษย์ ประกอบด้วย วงกลมสีฟ้า caution วงกลมสีเหลือง extreme caution วงกลมสีส้ม danger และวงกลมสีแดง extreme danger โดยเฉดสีที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่จะแสดงถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อร่างกายมนุษย์ของค่าดัชนีความร้อนในช่วงต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

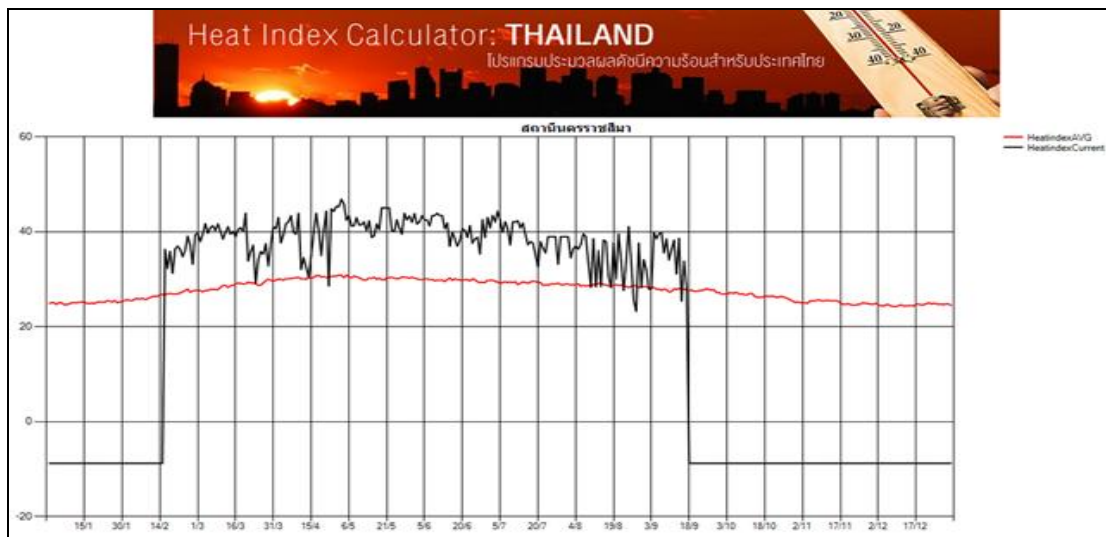
ตารางที่ 4.4 ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อร่างกายมนุษย์ของค่าดัชนีความร้อนในช่วงต่างๆ

ลำดับชั้น	ค่าความร้อน Heat Index (°C)	ความเป็นไปได้ ในการเกิดอาการขั้นสูง เมื่อถูกผลกระทบจากความร้อน
Caution แจ้งเตือน	26.7 - 32.2	เหนียวล้า
Extreme caution แจ้งเตือนร้ายแรง	32.2 - 40.6	ลมแดด และ/หรือ เพลี้ยแดด / ตะคริวแดด / เหนียวล้า
Danger อันตราย	40.6 - 54.5	ลมแดด และ/หรือ เพลี้ยแดด / ตะคริวแดด / เหนียวล้า
Extreme danger อันตรายร้ายแรง	> 54.5	ลมแดด

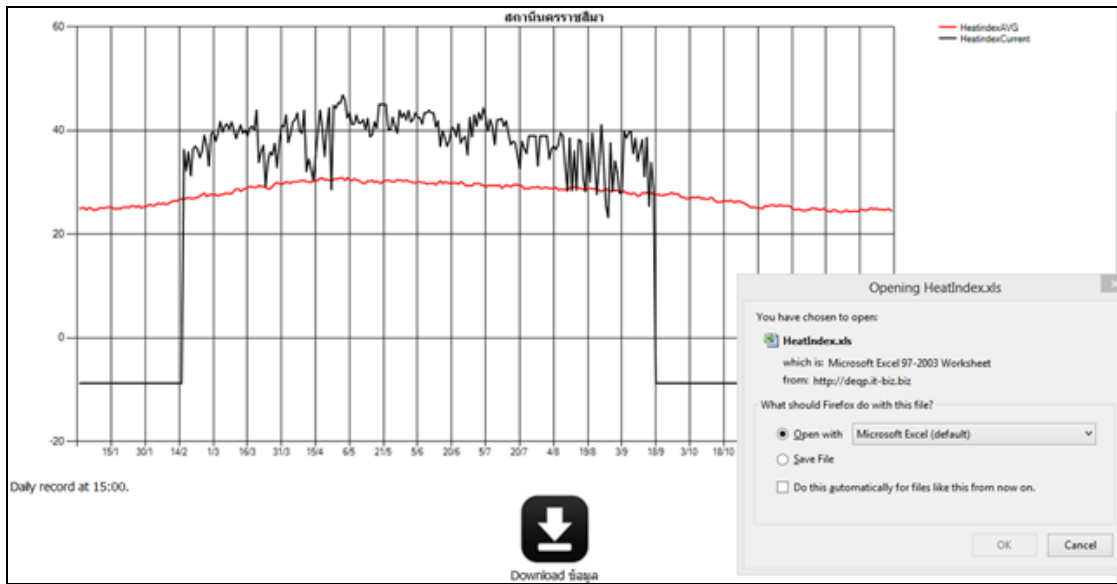
นอกจากนี้ โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนยังสามารถแสดงค่าข้อมูล Heat Index ในรูปแบบตัวเลข โดยเมื่อนำลูกศร (mouse) ไปชี้ที่จุดแสดงรายละเอียดของแต่ละสถานี โปรแกรมจะแสดงค่า Heat Index ที่คำนวณในวันล่าสุดให้เห็น (รูปที่ 4.40) และหากคลิกเลือกรายละเอียดของสถานี โปรแกรมจะแสดงผลค่า Heat Index ตั้งแต่ช่วงที่โปรแกรมเริ่มดาวน์โหลดวิเคราะห์และแสดงผล (16 กุมภาพันธ์ 2558 – ปัจจุบัน) โดยโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนจะแสดงผลในรูปแบบกราฟเส้นซึ่งกราฟเส้นสีดำจะแสดงค่า Heat Index ที่ตรวจวัดในรอบวันปัจจุบัน ส่วนกราฟเส้นสีแดงจะแสดงค่าเฉลี่ย Heat Index ระยะยาว ซึ่งผู้ใช้งานจะสามารถเปรียบเทียบค่า Heat Index ในปัจจุบันกับค่าเฉลี่ยรอบ 30 ปี ได้ (รูปที่ 4.41) นอกจากนี้ โปรแกรมยังมีฟังก์ชันให้สามารถเลือกดาวน์โหลดข้อมูลผ่านการวิเคราะห์ค่า Heat Index ซึ่งสามารถดาวน์โหลดข้อมูลออกมาในรูปแบบของ Microsoft Excel File (รูปที่ 4.42-4.43) ทั้งนี้ File ที่ดึงออกมาจากโปรแกรมในช่วงที่ไม่มีการดึงข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมจะแสดงค่าเป็น -8.78



รูปที่ 4.40 ค่า Heat Index ที่คำนวณของแต่ละสถานี



รูปที่ 4.41 ค่า Heat Index ที่ข้อมูลเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย Heat Index ระยะเวลา

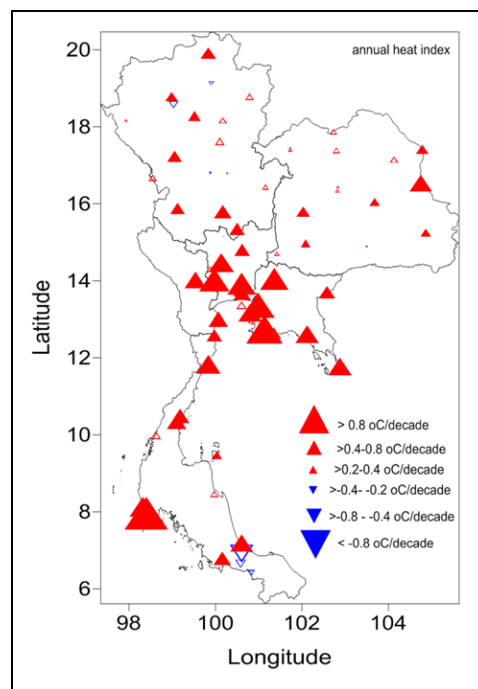


รูปที่ 4.42 การเลือกดาวน์โหลดข้อมูลที่ทำกรตรวจวัดตามรายสถานี

	A1		Date																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
61	1	3	32.49	Phrae																
62	2	3	38.49	Phrae																
63	3	3	40.29	Phrae																
64	4	3	38.15	Phrae																
65	5	3	38.03	Phrae																
66	6	3	36.33	Phrae																
67	7	3	38.16	Phrae																
68	8	3	39.54	Phrae																
69	9	3	38.83	Phrae																
70	10	3	40.48	Phrae																
71	11	3	39.02	Phrae																
72	12	3	37.22	Phrae																
73	13	3	38.16	Phrae																
74	14	3	38.03	Phrae																
75	15	3	37.42	Phrae																
76	16	3	34.06	Phrae																
77	17	3	36.89	Phrae																
78	18	3	40.29	Phrae																
79	19	3	39.18	Phrae																
80	20	3	44.37	Phrae																
81	21	3	43.42	Phrae																
82	22	3	39.91	Phrae																
83	23	3	40.68	Phrae																
84	24	3	34.78	Phrae																
85	25	3	29.62	Phrae																
86	26	3	21.49	Phrae																
87	27	3	33.22	Phrae																

รูปที่ 4.43 Microsoft Excel File

อย่างไรก็ตาม โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้น เป็นโปรแกรมที่สามารถแสดงผลเพื่อติดตามตรวจสอบสถานการณ์คลื่นความร้อนในระดับพื้นที่ได้ในภาพรวมซึ่งจะมีความแม่นยำเฉพาะพื้นที่และอาจมีปัญหาการเข้าถึงของหน่วยงานและประชาชนในพื้นที่ ประกอบกับงานวิจัยนี้มุ่งเป้าสู่การนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้ในระดับชุมชน ดังนั้น คณะวิจัยฯ ได้คัดเลือกจังหวัดภูเก็ตเป็นพื้นที่นำร่องในการพัฒนาระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชน เนื่องจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรทางภูมิอากาศ ทำให้ทราบว่า จังหวัดภูเก็ตเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อคลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากอากาศร้อนจัด (รูปที่ 4.44) รวมทั้งเป็นพื้นที่วิกฤติที่ดัชนีความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งความถี่และความรุนแรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.44 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรงของดัชนี HI รายปีตามรายสถานีในช่วงระหว่าง ค.ศ. 1970-2013

ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชนที่พัฒนาขึ้น ใช้เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ชนิดบันทึกข้อมูลได้ (Data Logger) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ราคาไม่สูงและมีคุณภาพเพียงพอต่อการดำเนินงาน รวมทั้งมีความเหมาะสมหากหน่วยงาน องค์กร หรือชุมชนให้ความสนใจจะสามารถเข้าถึงได้อย่างสะดวก โดยดำเนินการการคัดเลือกสถานที่ติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (survey) ที่ครอบคลุมพื้นที่ 3 อำเภอ 17 ตำบล ในจังหวัดภูเก็ต ทั้งสิ้น 20 สถานี โดยมีรายละเอียดดังนี้

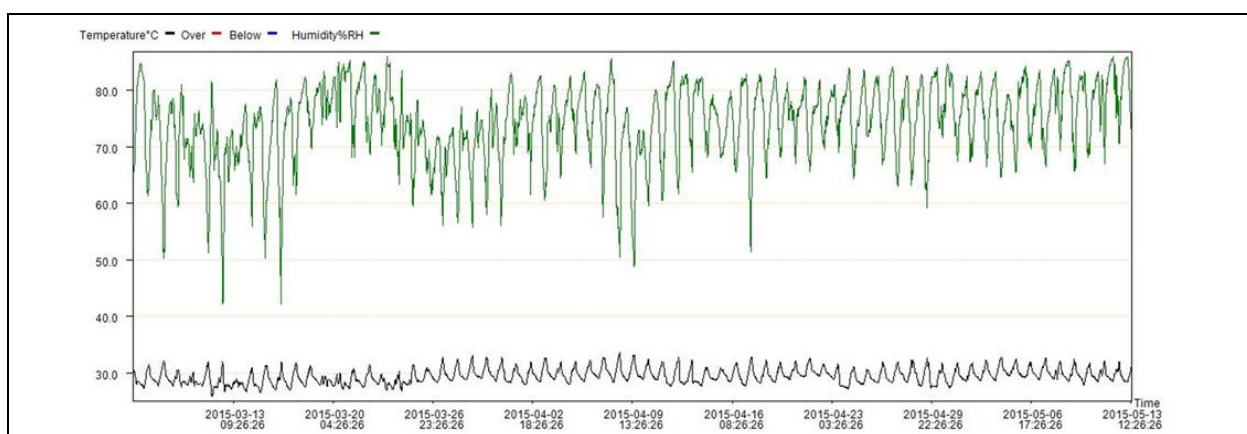
สถานีติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ดังนี้

1. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต (กะทู้)
2. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต (สะพานหิน)
3. ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน
4. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลราไวย์
5. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลรัชฎา
6. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเกาะแก้ว
7. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลวิชิต
8. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลป่าคลอก
9. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเชิงทะเล
10. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลกระรน
11. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลไม้ขาว
12. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลกมลา
13. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านบางเทา
14. สำนักงานสาธารณสุขอำเภอถลาง
15. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านแหลมชั้น
16. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพเฉลิมพระเกียรติ ๖๐ พรรษา นวมินทราชินี
17. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านมาหานิก
18. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านพารา
19. ซอนย่าเรสซิเดนซ์ หาดป่าตอง
20. อุทยานแห่งชาติสิรินาถ (หาดในยาง)

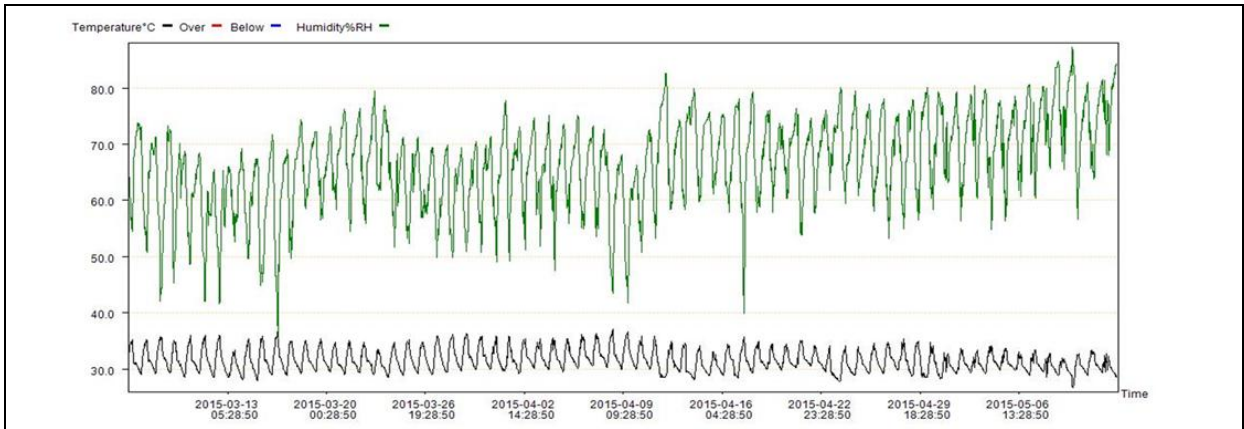
เมื่อทำการติดตั้งเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และตั้งค่าการบันทึก (Sampling rate) ให้ตรวจวัดและบันทึกข้อมูลทุกๆ 30 นาที คณะวิจัยฯ ได้ตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงระหว่างวันที่ 6 มกราคม 2558 - 13 พฤษภาคม 2558 (ตารางที่ 4.5) โดยพบว่า สถานีที่มีอุณหภูมิสูงสุดพบที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเกาะแก้ว มีอุณหภูมิสูงสุด 40.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดพบที่สถานีสาธารณสุขอำเภอถลาง พบอุณหภูมิต่ำสุดมีค่า 22.1 องศาเซลเซียส ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดมีค่า 90.8 พบที่สถานีสาธารณสุขอำเภอถลาง ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดมีค่า 21.5 พบที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเกาะแก้ว (รูปที่ 4.45-4.64 แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ราย 30 นาที ที่ตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา 20 สถานี)

ตารางที่ 4.5 การตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 20 สถานี ในจังหวัดภูเก็ต

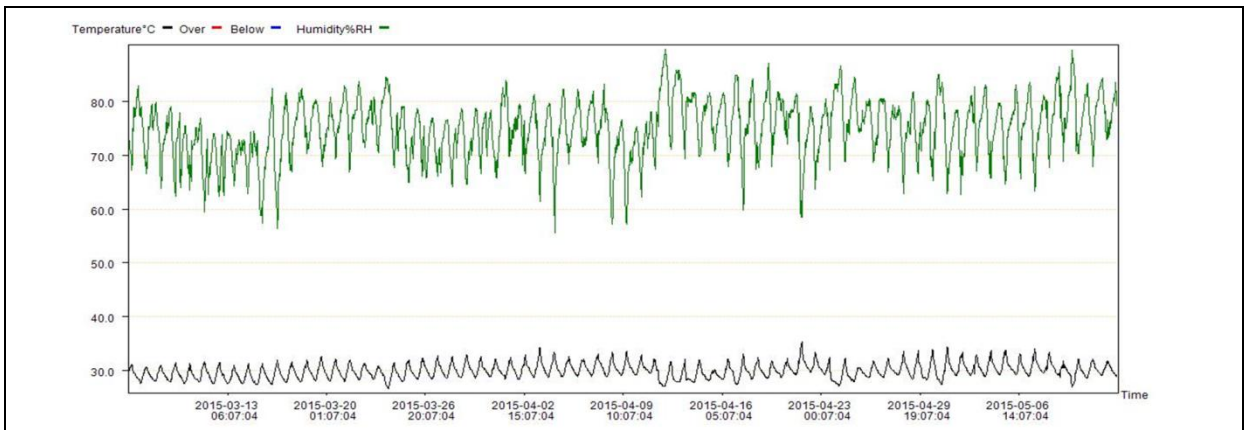
รายชื่อสถานี	อุณหภูมิ (C°)			ความชื้นสัมพัทธ์		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
1. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต (กะทู้)	33.6	25.8	29.5	86.0	42.2	74.4
2. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต (สะพานหิน)	37.0	26.7	31.6	87.2	35.4	66.6
3. ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน	35.4	26.7	30.0	89.6	55.6	74.9
4. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลราไวย์	39.6	25.5	31.4	89.9	39.0	69.2
5. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลรัชฎา	36.0	27.1	30.8	83.3	40.8	69.1
6. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเกาะแก้ว	40.2	26.3	32.0	84.3	21.5	64.2
7. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลวิชิต	38.8	25.5	31.2	90.0	30.1	68.8
8. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลป่าคลอก	35.3	26.9	31.0	85.2	36.8	68.0
9. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเชิงทะเล	35.9	26.3	31.1	85.2	39.6	68.9
10. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลกะรน	36.0	25.9	30.8	85.5	35.8	69.3
11. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลไม้ขาว	34.8	25.6	30.6	90.2	39.6	70.4
12. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลกมลา	35.6	26.9	31.4	85.7	38.5	68.3
13. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านบางเทา	36.3	26.7	31.0	85.6	37.5	68.8
14. สำนักงานสาธารณสุขอำเภอถลาง	35.6	22.1	29.6	90.8	34.0	72.1
15. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านแหลมชั้น	36.3	26.8	30.9	88.0	35.2	69.1
16. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพเฉลิมพระเกียรติ ๖๐ พรรษา	37.0	25.7	30.8	87.6	42.2	69.6
17. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านมาหนัก	34.5	25.7	30.3	87.5	38.5	71.3
18. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านพารา	36.6	26.6	30.8	87.6	34.7	68.5
19. ซอนย่าเรสซิเดนซ์ หาดป่าตอง	39.2	27.6	31.4	83.4	35.9	67.9
20. อุทยานแห่งชาติสิรินาถ (หาดในยาง)	35.8	26.1	30.5	88.9	37.5	71.6



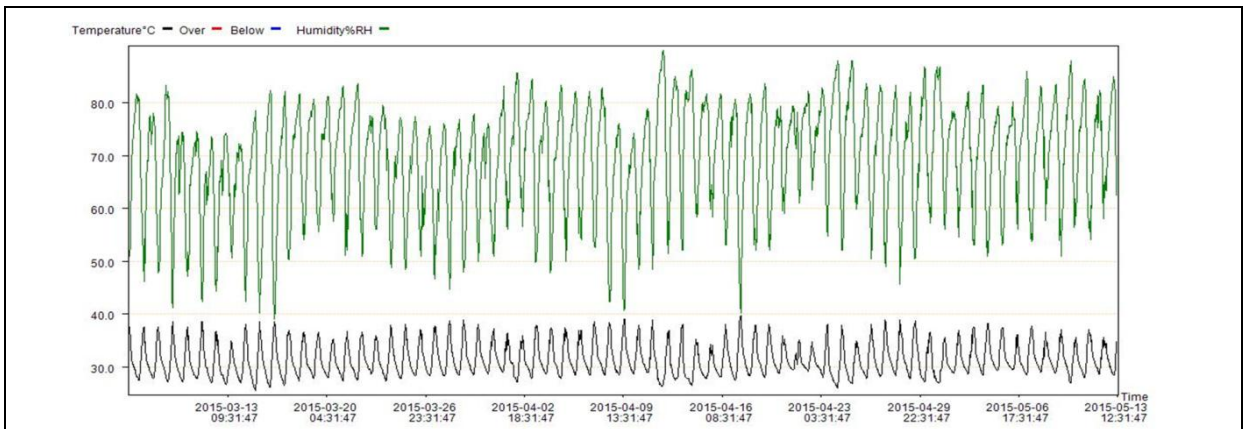
รูปที่ 4.45 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต (กะทู้)



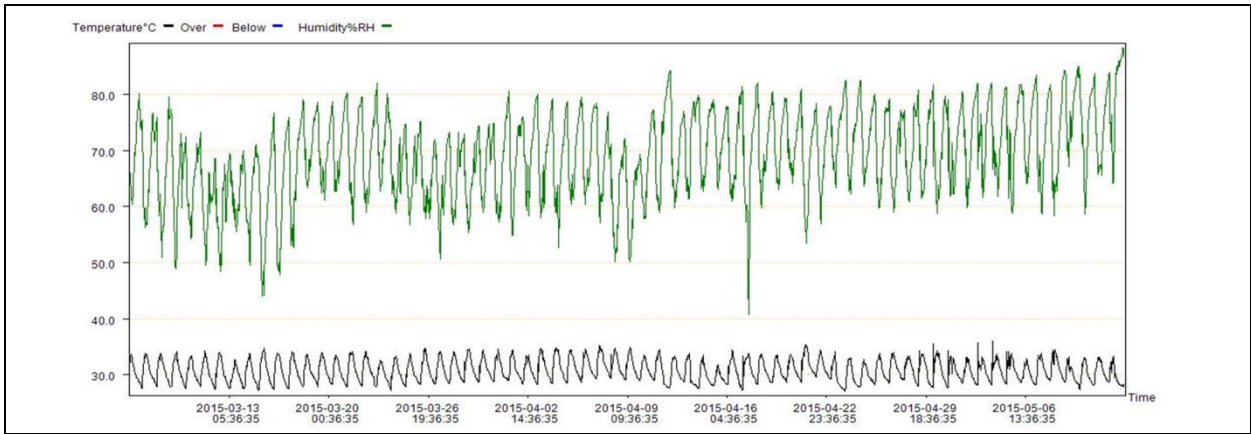
รูปที่ 4.46 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต (สะพานหิน)



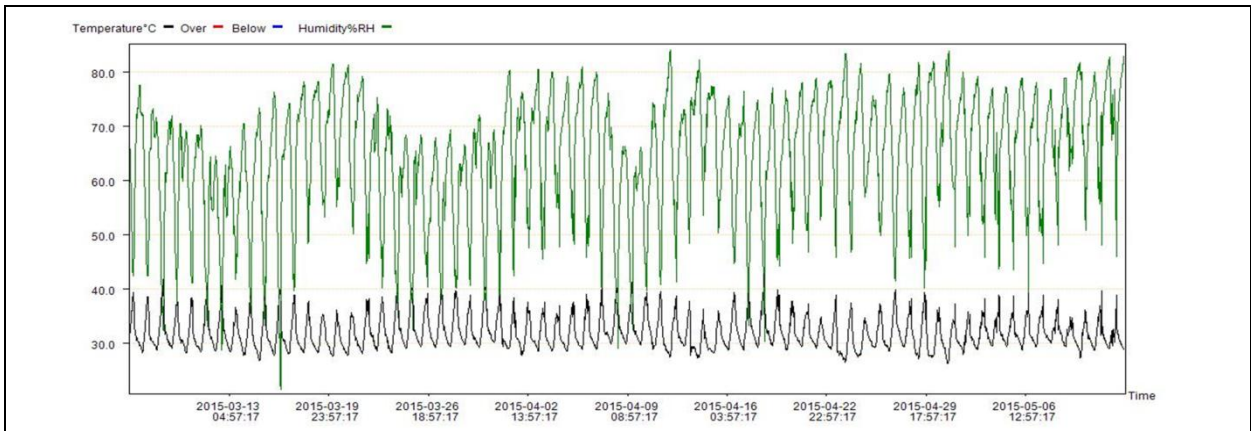
รูปที่ 4.47 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน



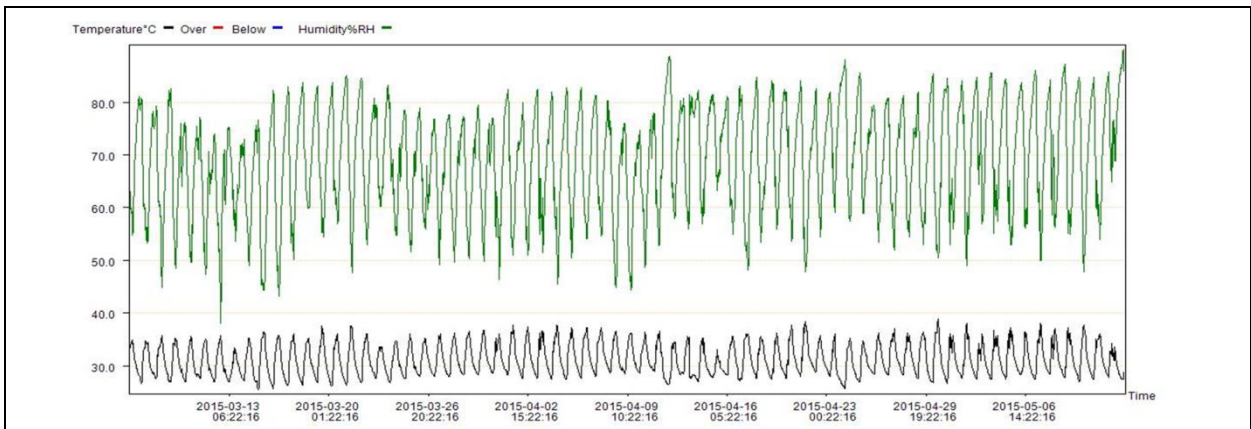
รูปที่ 4.48 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลราไวย์



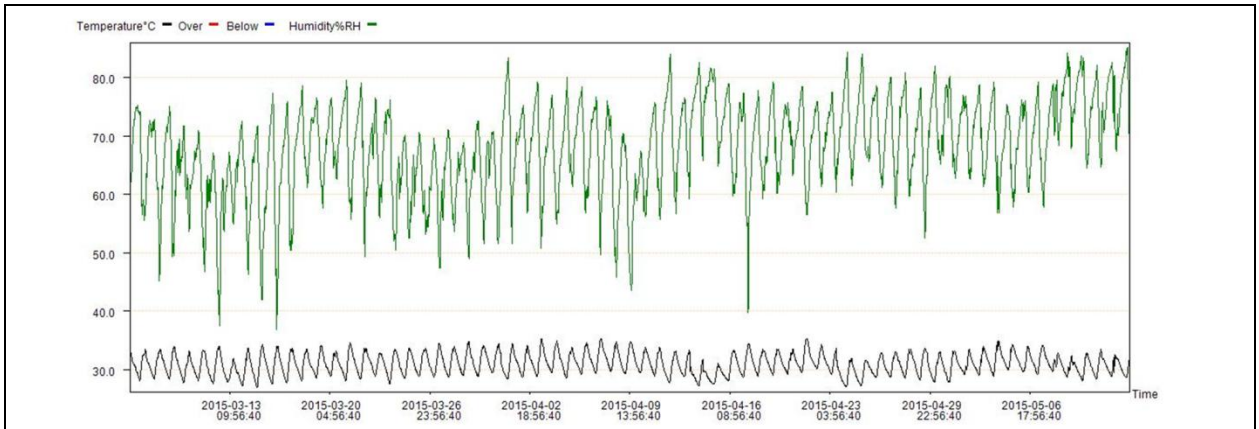
รูปที่ 4.49 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลรัชฎา



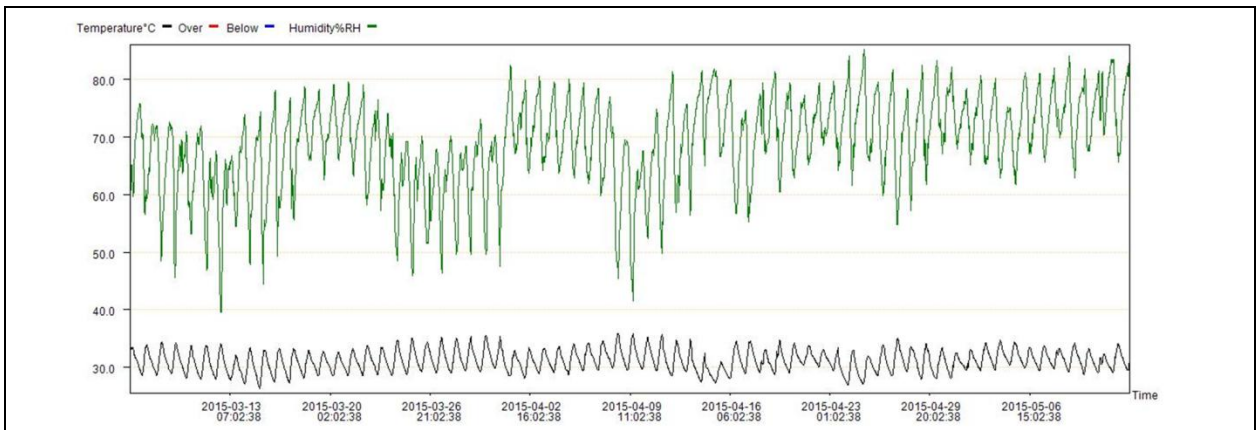
รูปที่ 4.50 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเกาะแก้ว



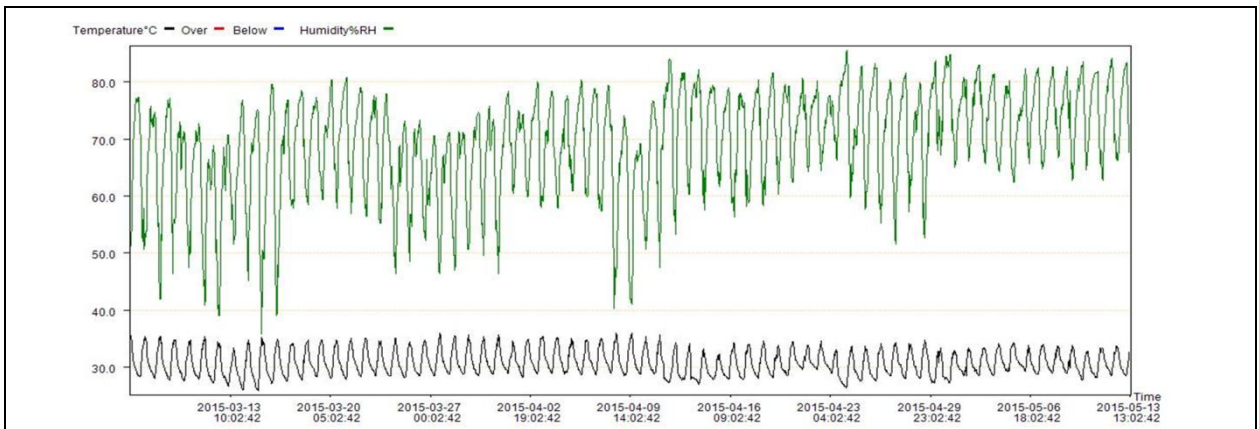
รูปที่ 4.51 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลวิชิต



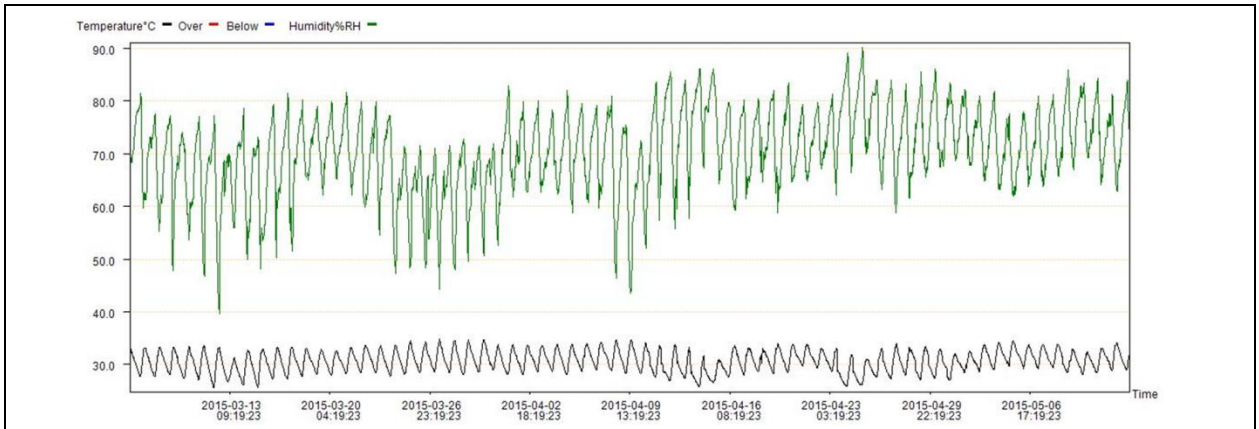
รูปที่ 4.52 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลป่าคลอก



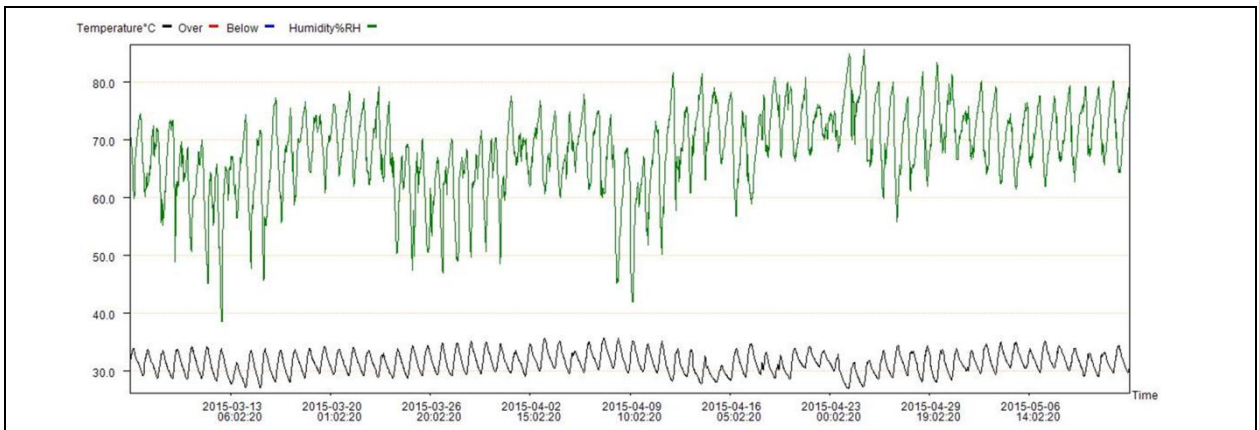
รูปที่ 4.53 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเชิงทะเล



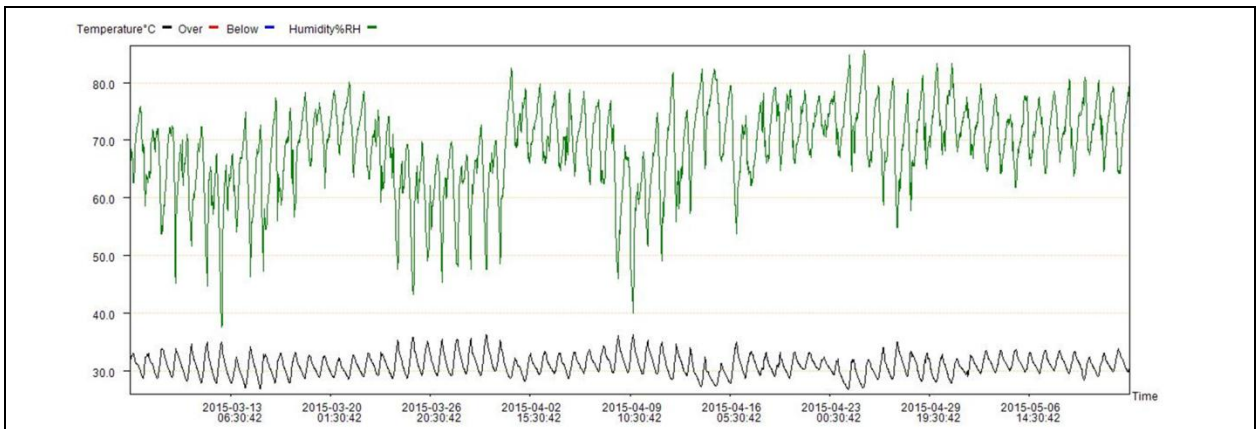
รูปที่ 4.54 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลกะรน



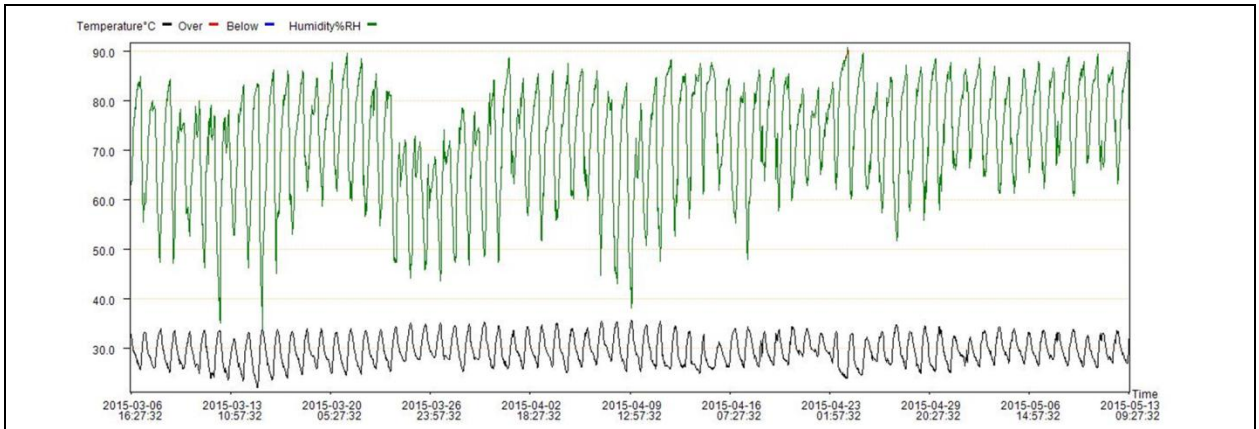
รูปที่ 4.55 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลไม้ขาว



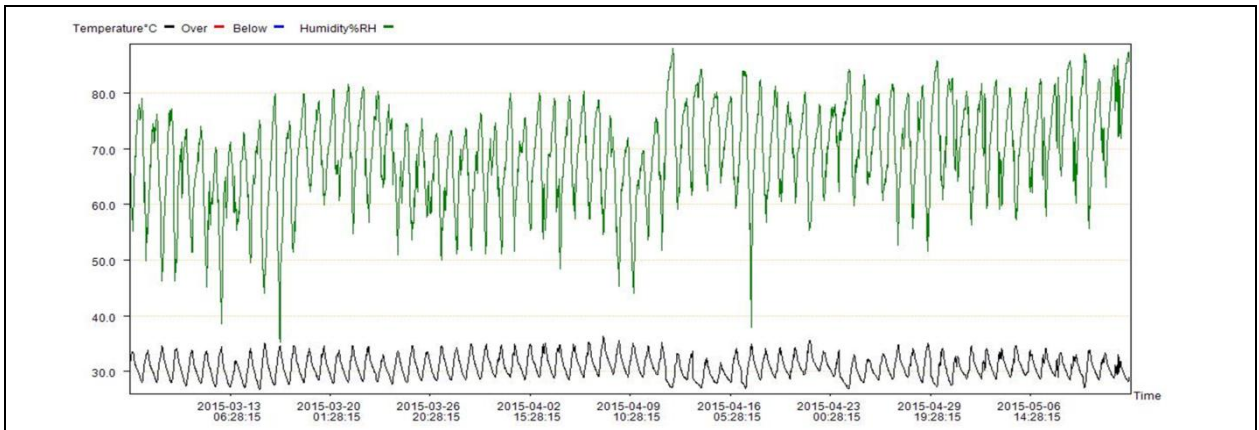
รูปที่ 4.56 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลกมลา



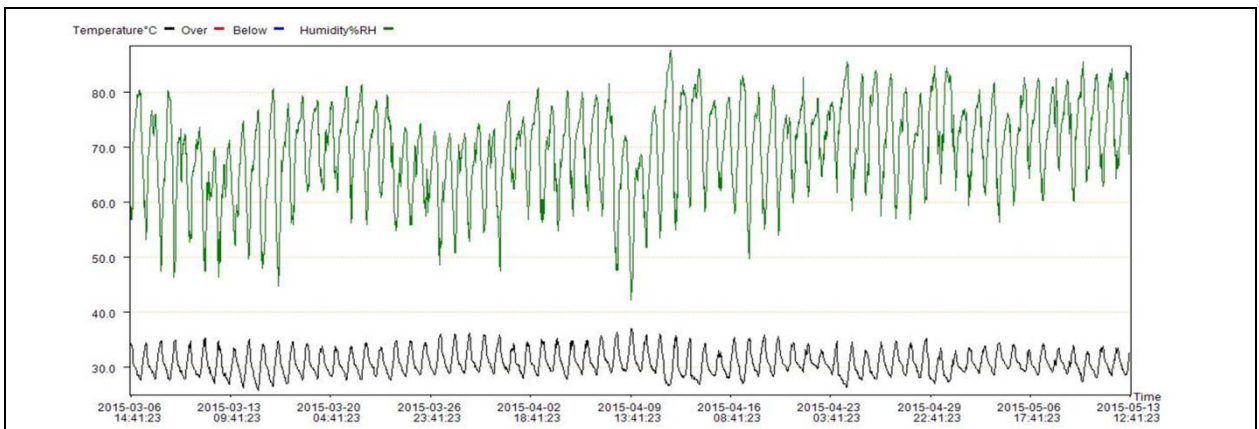
รูปที่ 4.57 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านบางเทา



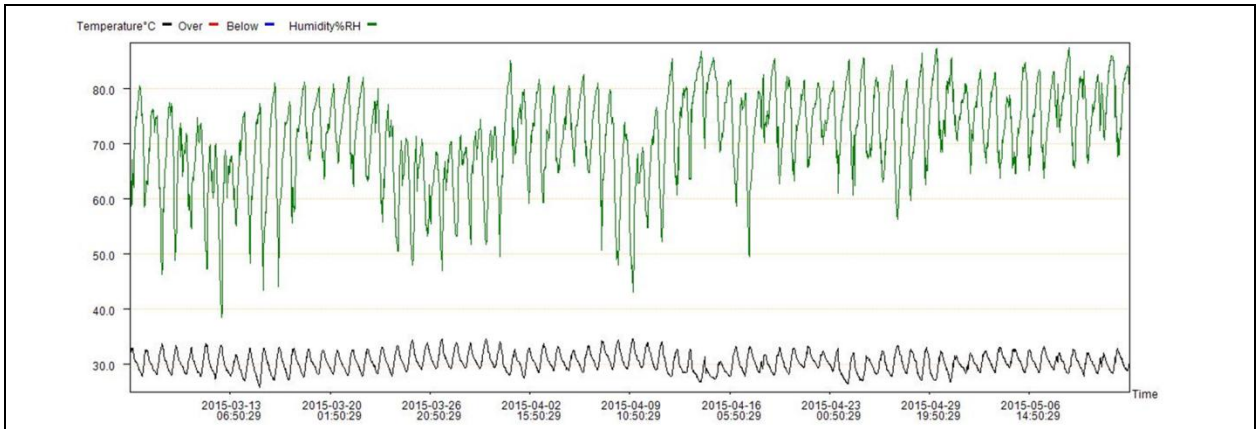
รูปที่ 4.58 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีสำนักงานสาธารณสุขอำเภอกลาง



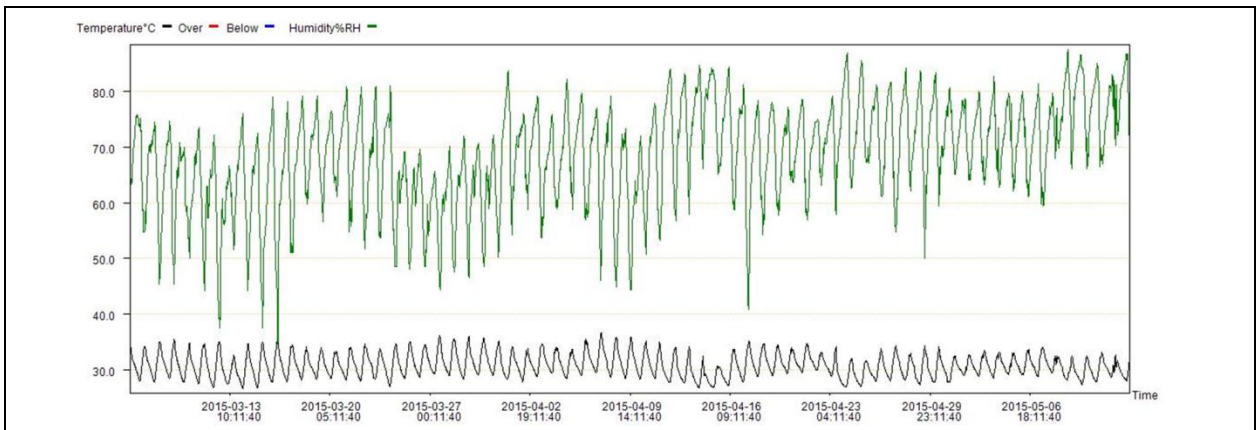
รูปที่ 4.59 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านแหลมชั้น



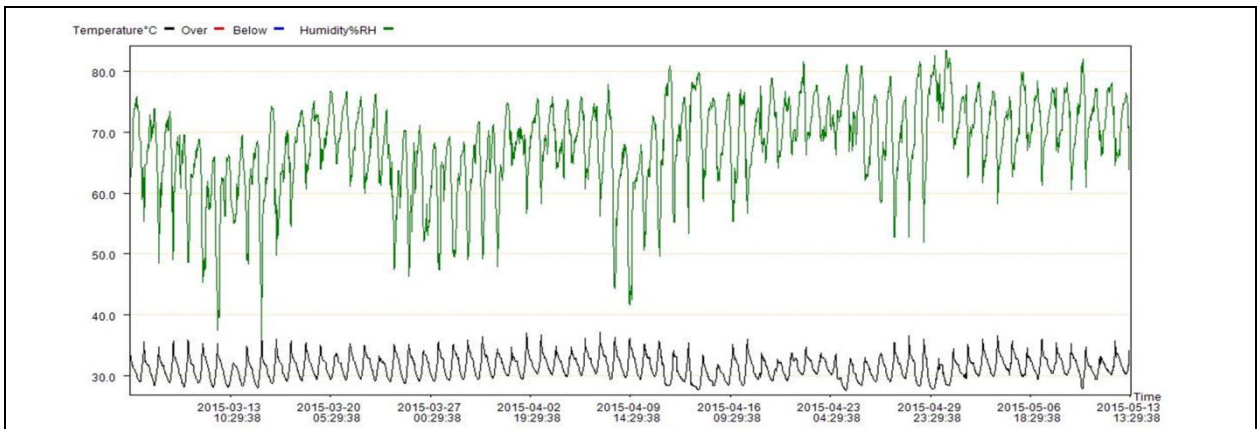
รูปที่ 4.60 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพเฉลิมพระเกียรติ ๖๐ พรรษา นวมินทราชินี



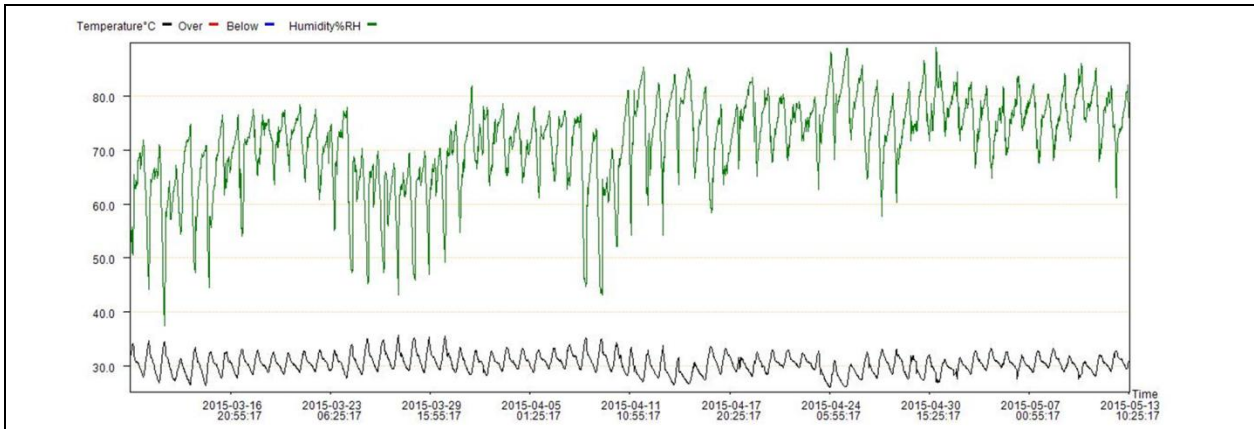
รูปที่ 4.61 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านมาหนัก



รูปที่ 4.62 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านพารา



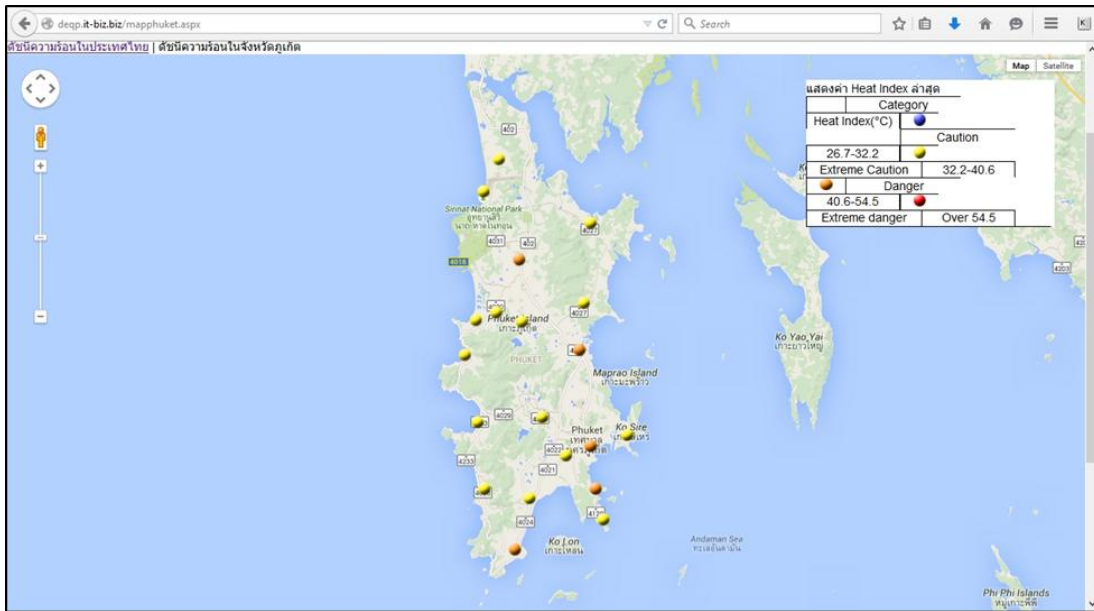
รูปที่ 4.63 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีขอนแก่นเรสซิเดนซ์ หาดป่าตอง



รูปที่ 4.64 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สถานีอุทยานแห่งชาติสิรินาถ (หาดในยาง)

เมื่อได้ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จาก Data Logger แล้ว ข้อมูลการตรวจวัดช่วง 15.00 น. จะถูกดึงเข้าสู่ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนซึ่งมีขั้นตอนวิธีการดำเนินงานที่เหมือนกัน คือ ข้อมูลที่ได้จะถูกดึงเข้าสู่ระบบการคำนวณ ทำการคำนวณดัชนีความร้อนในสูตร Heat Index calculator และผลลัพธ์ที่ได้จากสูตรคำนวณจะถูกจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล MySQL และแสดงค่า heat index บนแผนที่ซึ่งได้นำ Google map

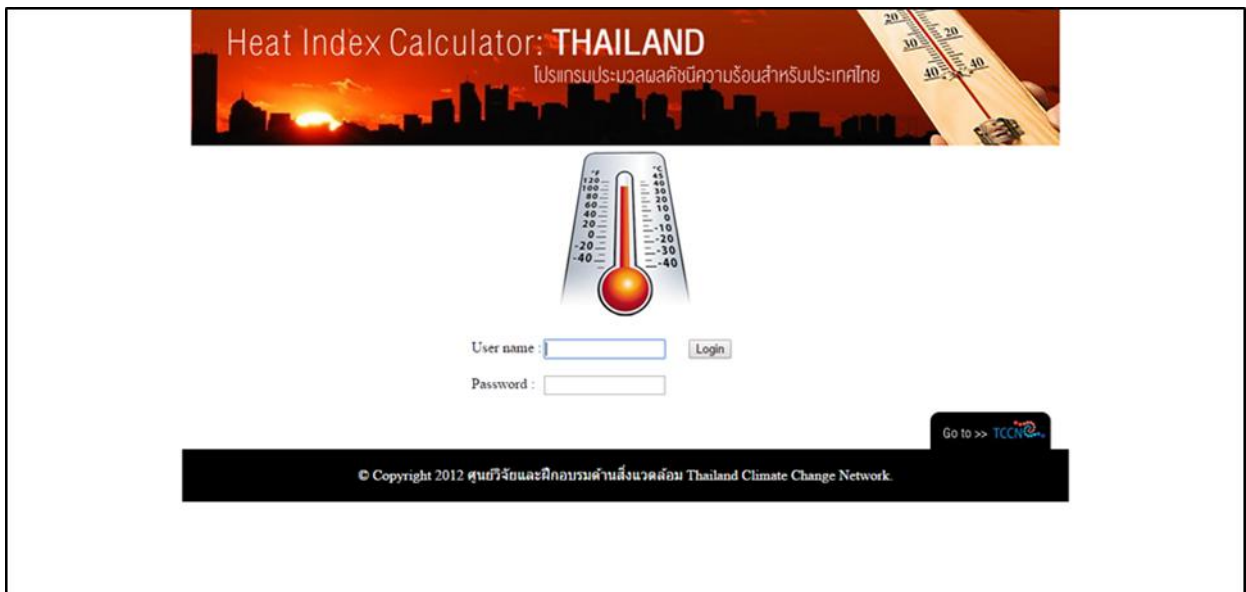
ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนสามารถแสดงค่าข้อมูล Heat Index ในรูปแบบตัวเลข โดยเมื่อนำลูกศร (mouse) ไปชี้ที่จุดแสดงรายละเอียดของแต่ละสถานี โปรแกรมจะแสดงค่า Heat Index ที่คำนวณในวันล่าสุดให้เห็น (รูปที่ 4.65) และหากคลิกเลือกรายละเอียดของสถานี โปรแกรมจะแสดงผลค่า Heat Index ตั้งแต่ช่วงที่โปรแกรมเริ่มดาวน์โหลดวิเคราะห์และแสดงผล (วันที่ 6-23 มีนาคม 2558) โดยระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนจะแสดงผลในรูปแบบกราฟเส้นซึ่งกราฟเส้นสีดำจะแสดงค่า Heat Index ที่ตรวจวัด ระบบตรวจวัดจะแสดงผลในแผนที่ Google Map โดยแบ่งออกตามลักษณะของแผนที่ที่แสดงถึงระดับความรุนแรงของค่า Heat Index จำแนกออกเป็น 4 ระดับ เช่นเดียวกับกับโปรแกรมคำนวณดัชนีความร้อน นอกจากนี้ ระบบตรวจวัดยังมีฟังก์ชันให้สามารถเลือกดาวน์โหลดข้อมูลที่ผ่านมาการวิเคราะห์ค่า Heat Index ซึ่งสามารถดาวน์โหลดข้อมูลออกมาในรูปแบบของ Microsoft Excel File เช่นเดียวกับกับโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน



รูปที่ 4.65 การแสดงผลในแผนที่ Google Map ของระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชน

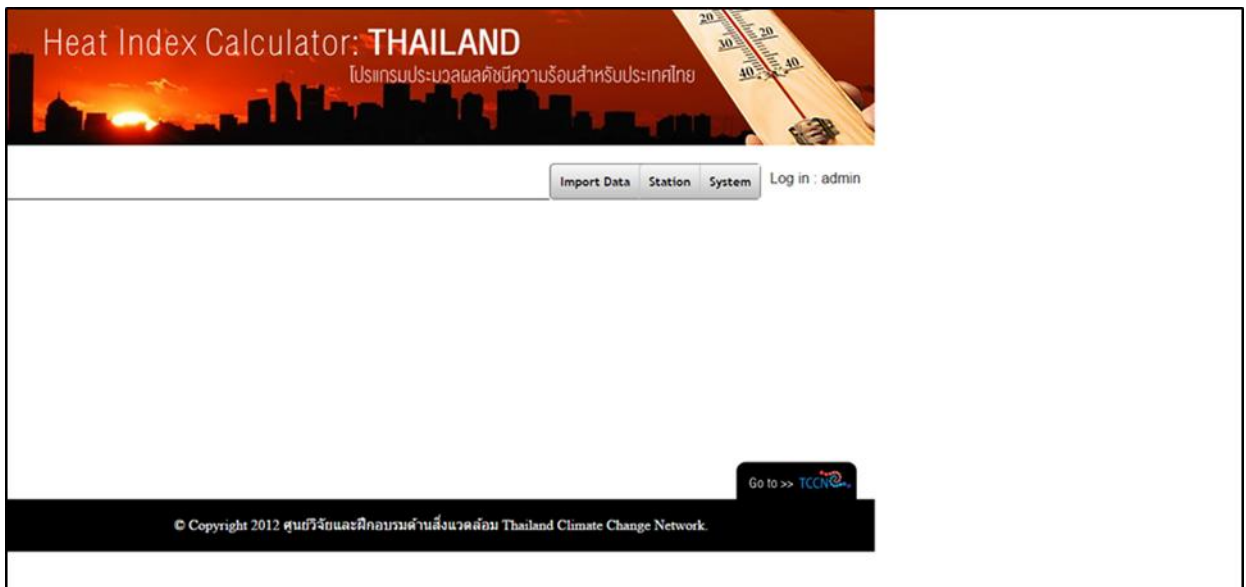
4.7.3 การปรับปรุงข้อมูลของโปรแกรมคำนวณดัชนีความร้อนและระบบตรวจวัดคลื่นความร้อน

โปรแกรมคำนวณดัชนีความร้อน เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สะดวกต่อการติดตามตรวจสอบสถานการณ์คลื่นความร้อนตามรายจังหวัดของประเทศไทย เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้อย่างสะดวก โปรแกรมจะทำงานแบบอัตโนมัติอัปเดตข้อมูลรายวันอย่างต่อเนื่อง ในส่วนนี้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้อย่างง่ายจึงไม่เปิดให้มีการเข้าไปแก้ไข source code หรือปรับปรุงข้อมูลแต่อย่างใด ในขณะที่ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชนเป็นระบบที่เปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานที่มีความสนใจสามารถเข้าไปปรับปรุงข้อมูล วิเคราะห์ และแสดงผลค่า Heat Index ในพื้นที่ที่สนใจได้ โดยสามารถเข้าไป Login เข้าสู่ระบบการบริหารจัดการระบบตรวจวัดได้ที่ <http://deqp.it-biz.biz/system/login.aspx> (รูปที่ 4.66) โดยมีขั้นตอนตามรูปที่ 4.67-4.72 และตารางที่ 4.6 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.66 การ Login เข้าสู่ระบบการบริหารจัดการระบบตรวจวัดคลื่นความร้อน

เมื่อผู้ใช้งานระบบทำการ login เข้าสู่ระบบแล้ว เมนูการใช้งานหลักๆ คือ การนำเข้าข้อมูลและปรับปรุงรายชื่อสถานี



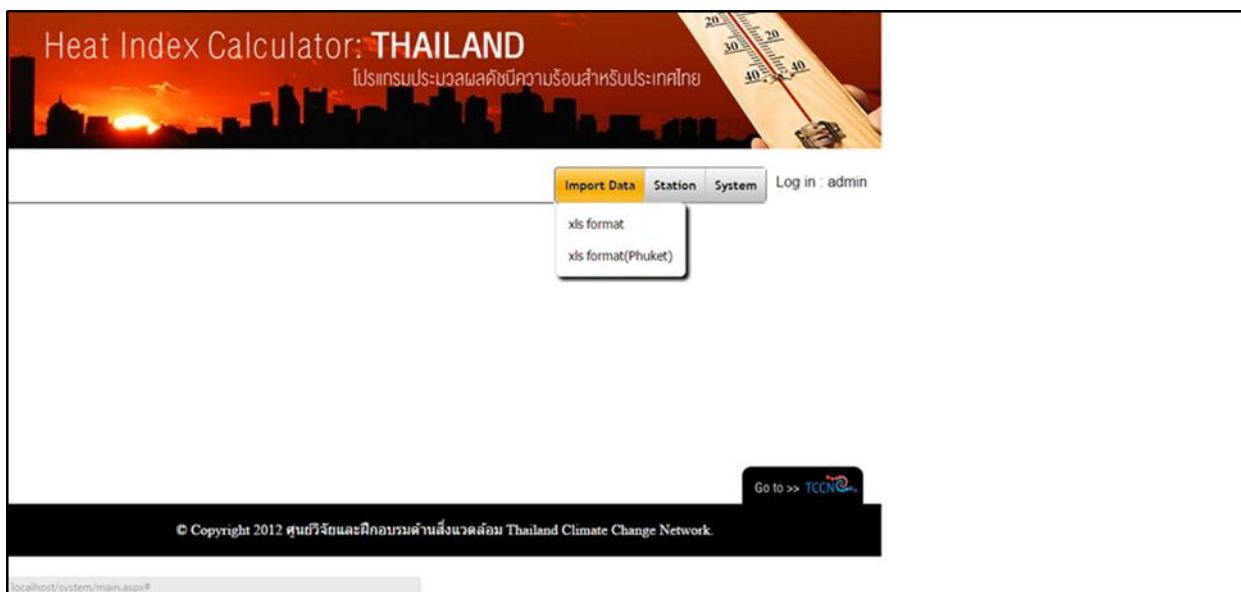
รูปที่ 4.67 เมนูหลักของระบบบริหารจัดการระบบตรวจวัดคลื่นความร้อน

ผู้ใช้งานจำเป็นต้องจัดเตรียม Format ข้อมูล โดยให้เรียงตาม วันที่-เดือน-ปี-อุณหภูมิ-ความชื้น-รหัสสถานี ซึ่งสามารถจัดเรียงข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft excel เพื่อ Import Data เข้าสู่ระบบได้ตามรูปแบบด้านล่างนี้

ตารางที่ 4.6 การจัดเตรียม Format ข้อมูล

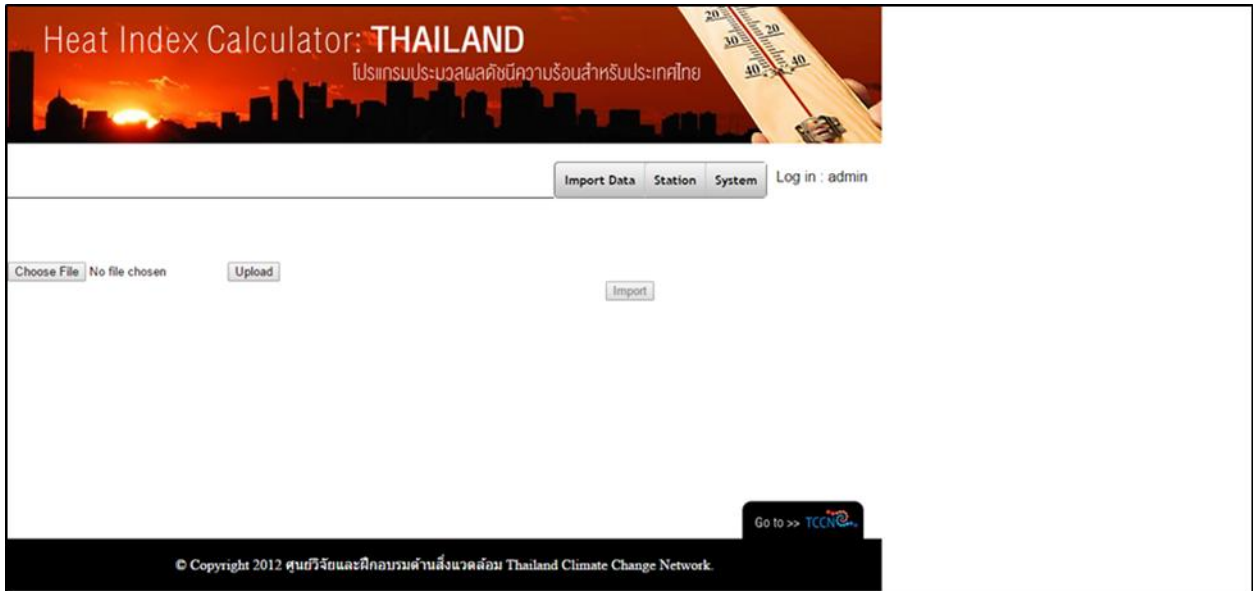
วันที่	เดือน	ปี	อุณหภูมิ °C	ความชื้น %	รหัสสถานี
1	12	2015	0	0	300201
1	12	2015	0	0	303201
1	12	2015	0	0	327501
1	12	2015	0	0	328201
1	12	2015	0	0	330201

วิธีการนำเข้าให้ผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนเลือกไปที่เมนู Import Data โดยทำการเลือกเมนูย่อยว่าจะนำเข้าข้อมูลเข้าหัวข้อใด



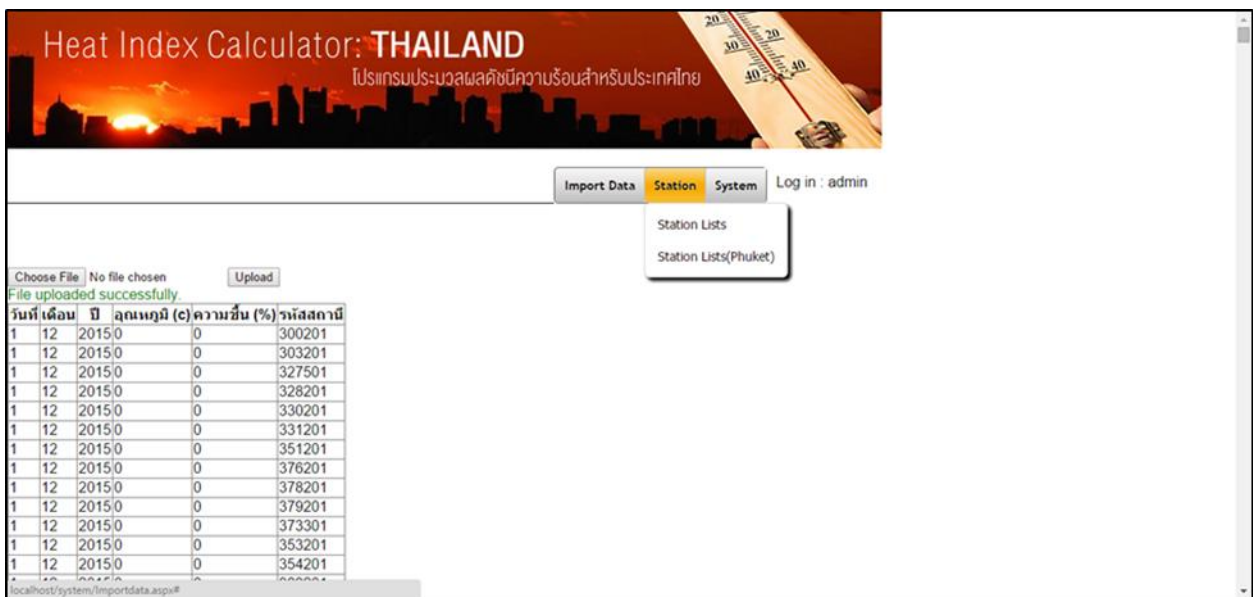
รูปที่ 4.68 ขั้นตอนการเลือก Import Data

ผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนทำการเลือกไฟล์ excel ที่ต้องการ Import (format การนำเข้าข้อมูลให้ดูข้างบน) โดยกดปุ่ม choose file จากนั้นทำการกดปุ่ม Upload



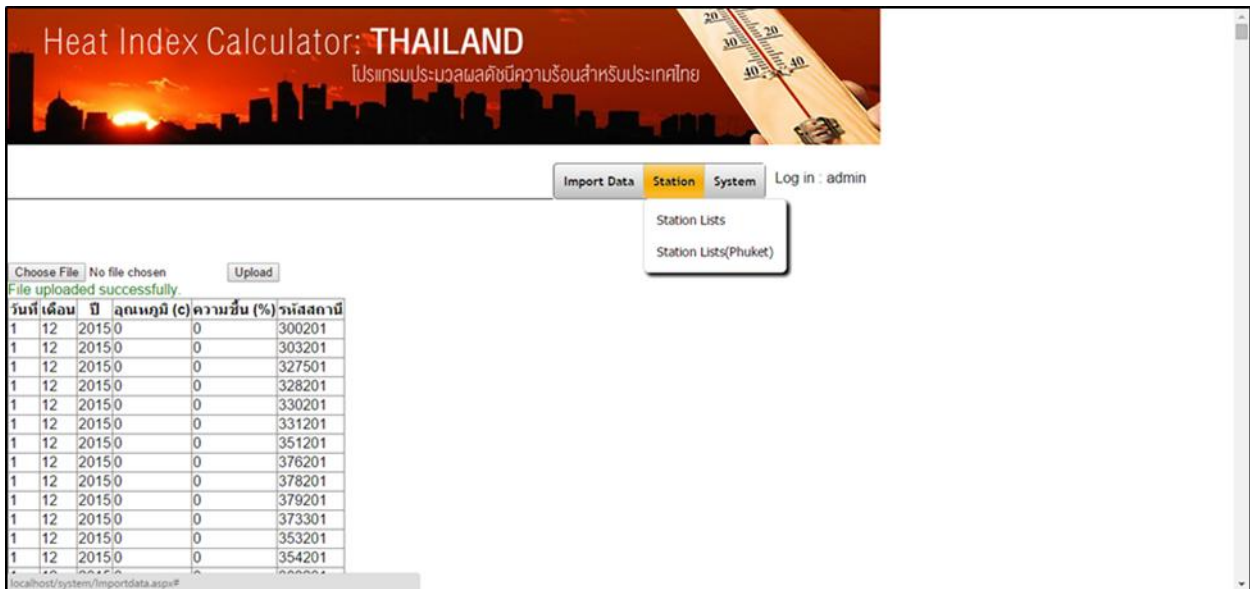
รูปที่ 4.69 การเลือกไฟล์และการนำเข้าไฟล์ข้อมูล

ผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนควรทำการตรวจสอบข้อมูลให้แน่ชัดอีกครั้ง ก่อนยืนยันนำเข้าข้อมูล เมื่อข้อมูลถูกต้องให้ทำการกดปุ่ม Import จากนั้นทำการรอจนกว่ามีข้อความปรากฏว่า import เรียบร้อยแล้ว



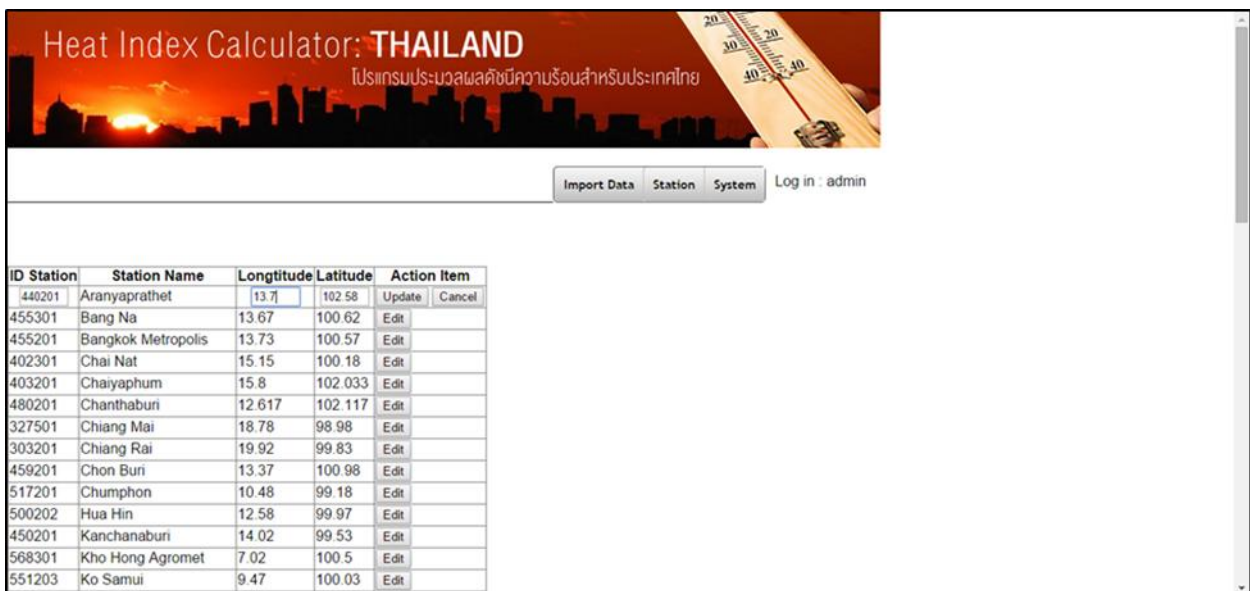
รูปที่ 4.70 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลที่นำเข้า

ผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการระบบตรวจวัดคลื่นความร้อน สามารถปรับปรุงข้อมูลสถานีได้โดยให้ทำการเลือกที่ station



รูปที่ 4.71 การเลือกปรับปรุงข้อมูลสถานี

หากผู้ใช้งานระบบบริหารจัดการระบบตรวจวัดคลื่นความร้อน ต้องการปรับปรุง longitude และ latitude ให้คลิกที่ Edit จากนั้นทำการแก้ไข เมื่อทำการแก้ไขเสร็จแล้วกดปุ่ม Update และเมื่อผู้ดูแลระบบต้องการออกจากระบบให้เลือก system และคลิกที่ logout ทุกครั้ง



รูปที่ 4.72 ขั้นตอนการปรับปรุง longitude และ latitude

4.8 ผลกระทบของอุณหภูมิความร้อนต่อสุขภาพ สภาพแวดล้อมของประชาชนในพื้นที่ศึกษา (จ.ภูเก็ต)

จังหวัดภูเก็ต เป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อคลื่นความร้อนและภาวะเครียดจากอากาศร้อนจัด รวมทั้งเป็นพื้นที่วิกฤติที่ดัชนีความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งความถี่และความรุนแรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น คณะวิจัยฯ ได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลสถิติผู้ป่วยและเสียชีวิตด้วยโรคของระบบประสาท เช่น โรคลมชัก ปวดศีรษะ หลอดเลือดสมอง หรือโรคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิความร้อน โดยได้รวบรวมข้อมูลย้อนหลัง 4 ปี (พ.ศ. 2554-2557) เกี่ยวกับโรคที่เกี่ยวข้องกับความร้อนจากข้อมูลสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ (สปสช.) พร้อมดำเนินการจำแนกช่วงอายุของผู้ที่ป่วย ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สรุปข้อมูลย้อนหลัง 4 ปี (พ.ศ. 2554-2557) เกี่ยวกับโรคที่เกี่ยวข้องกับความร้อนจากข้อมูลสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ (สปสช.)

วัน/เวลา	รหัสโรค	เพศ	อายุ	หมู่บ้าน	ตำบล	อำเภอ	สัญชาติ	อาชีพ	การศึกษา
29 พ.ย. 2554	T670	หญิง	41	เกาะมะพร้าว	เกาะแก้ว	เมือง	ไทย	รับจ้างทั่วไป	ประถมศึกษา
13 ก.พ. 2554	T670	หญิง	75	-	-	-	พม่า	รับจ้างทั่วไป	ก่อนประถมศึกษา
23 เม.ย. 2555	T670	ชาย	13	แหลมพรหมเทพ	ราไวย์	เมือง	ไทย	รับจ้างทั่วไป	ประถมศึกษา
1 มี.ค. 2556	T670	หญิง	77	ยอดสนธ์	ฉลอง	เมือง	ไทย	รับจ้างทั่วไป	มัธยมศึกษา
2 เม.ย. 2556	T670	ชาย	16	เขาน้อย	ฉลอง	เมือง	นอร์เวย์	-	มัธยมศึกษา
9 พ.ค. 2556	T670	ชาย	55	กะทู้	กะทู้	กะทู้	พม่า	รับจ้างทั่วไป	ไม่ได้ศึกษา
23 ก.ย. 2557	T670	หญิง	42	บางเทาใน	เชิงทะเล	กลาง	ไทย	-	ไม่ระบุ
8 ต.ค. 2555	T670	ชาย	57	ยามู	ป่าคลอก	กลาง	ไทย	-	ไม่ระบุ
14 พ.ค. 2554	T670	ชาย	68	ผักขี้ด	ป่าคลอก	กลาง	ไทย	-	ประถมศึกษา
7 กพ 2557	T670	หญิง	28	คอเอน	ไม้ขาว	กลาง	ไทย	-	ไม่ระบุ
8 ก.ย. 2554	T670	หญิง	66	ท่าฉัตรชัย	ไม้ขาว	กลาง	ไทย	-	ก่อนประถมศึกษา
29 ต.ค. 2554	T670	ชาย	70	ไม้ขาว	ไม้ขาว	กลาง	ไทย	รับจ้างทั่วไป	ไม่ระบุ
19 พ.ย. 2554	T670	หญิง	70	ไม้ขาว	ไม้ขาว	กลาง	ไทย	รับจ้างทั่วไป	ประถมศึกษา
30 ม.ค. 2555	T670	หญิง	33	ไม้ขาว	ไม้ขาว	กลาง	ไทย	เจ้าของร้านค้า	ประถมศึกษา
29 มี.ค. 2555	T670	หญิง	72	ไม้ขาว	ไม้ขาว	กลาง	ไทย	แม่บ้าน	ประถมศึกษา
13 พ.ค. 2555	T670	ชาย	18	ไม้ขาว	ไม้ขาว	กลาง	ไทย	นักศึกษา	มัธยมศึกษา
1 พ.ค. 2556	T670	หญิง	5	หมากปรก	ไม้ขาว	กลาง	ไทย	รับจ้างทั่วไป	ประถมศึกษา
17 ต.ค. 2556	T670	ชาย	26	ไม้ขาว	ไม้ขาว	กลาง	ไทย	รับจ้างทั่วไป	ประถมศึกษา
1 มี.ค. 2557	T670	หญิง	70	ไม้ขาว	ไม้ขาว	กลาง	ไทย	แม่บ้าน	ประถมศึกษา
16 พ.ย. 2555	T671	ชาย	33	-	ตลาดใหญ่	เมือง	พม่า	รับจ้างทั่วไป	ไม่ระบุ
10 ต.ค. 2555	T672	หญิง	72	-	-	-	ไทย	รับจ้างทั่วไป	ไม่ระบุ
21 ม.ค. 2556	T672	ชาย	18	-	ตลาดเหนือ	เมือง	ไทย	-	ไม่ระบุ
17 มี.ค. 2557	T678	ชาย	5	เกาะนาคา	ป่าคลอก	กลาง	ไทย	-	ก่อนประถมศึกษา
19 มี.ค. 2557	T679	ชาย	26	เกาะนาคา	ป่าคลอก	กลาง	ไทย	-	ไม่ระบุ

หมายเหตุ	รหัส	ชื่อโรค
	T670	Heatstroke and sunstroke
	T671	Heat syncope
	T672	Heat cramp
	T673	Heat exhaustion, anhydrotic
	T674	Heat exhaustion due to salt depletion
	T675	Heat exhaustion, unspecified
	T676	Heat fatigue, transient
	T677	Heat edema
	T678	Other effects of heat and light
	T679	Effect of heat and light, unspecified

จากข้อมูลดังกล่าว พบว่า มีผู้ป่วยจากโรคและปัญหาสุขภาพต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความร้อนในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต แต่ไม่มีผู้เสียชีวิตที่เกิดจากโรคความร้อน โดยพบเพียงผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลของรัฐจำนวน 24 ราย เป็นเพศชาย 12 ราย และเพศหญิง 12 ราย ซึ่งสังเกตได้ว่าผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาโดยส่วนใหญ่จะประกอบอาชีพรับจ้างทั่วไป และเป็นผู้ที่อยู่ในวัยผู้ใหญ่ตอนกลาง/วัยกลางคน 35-60 ปี และวัยผู้ใหญ่ตอนปลาย/วัยชรา อายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไปทั้งสิ้น 13 ราย ซึ่งบุคคลกลุ่มนี้จัดเป็นกลุ่มเสี่ยงเนื่องจากมีความต้านทานในการรับมือกับโรคและปัญหาสุขภาพต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความร้อนได้ต่ำ นอกจากนี้ จะพบว่ามีผู้ป่วยในเขตอำเภอถลางมีจำนวนมากที่สุด และเมื่อพิจารณาถึงเพศของผู้ป่วย พบว่า ทั้งเพศชายและเพศหญิงมีโอกาสเจ็บป่วยจากโรคและปัญหาสุขภาพต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความร้อนได้ไม่แตกต่างกัน

เมื่อทำการจำแนกจำนวนผู้ป่วยจากโรคและปัญหาสุขภาพต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความร้อนตามช่วงอายุของผู้ที่ป่วย สามารถแบ่งออกเป็น 6 ช่วงอายุ ดังนี้

(1) วัยเด็กเล็ก-วัยเด็กตอนต้น แรกเกิด- 6 ปี	มีจำนวนผู้ป่วย 2 ราย
(2) วัยเด็กตอนกลาง 6-12 ปี	มีจำนวนผู้ป่วย 0 ราย
(3) วัยรุ่น 12-18 ปี	มีจำนวนผู้ป่วย 4 ราย
(4) วัยผู้ใหญ่ตอนต้น 18-35 ปี	มีจำนวนผู้ป่วย 5 ราย
(5) วัยผู้ใหญ่ตอนกลาง/วัยกลางคน 35-60 ปี	มีจำนวนผู้ป่วย 4 ราย
(6) วัยผู้ใหญ่ตอนปลาย/วัยชรา อายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป	มีจำนวนผู้ป่วย 9 ราย

นอกจากการรวบรวมข้อมูลโรคที่เกี่ยวข้องกับความร้อนจากข้อมูลสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ (สปสช.) คณะวิจัยฯ ได้ดำเนินการสำรวจข้อมูลความร้อน ข้อมูลสุขภาพ และข้อมูลสภาพแวดล้อมอื่นๆ ของประชาชนที่เสี่ยงต่อภาวะความร้อนในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตด้วยแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้น โดยทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการคัดเลือกแบบมีจุดประสงค์/เฉพาะเจาะจง (Purposive Selection) สำหรับคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจงตามหลักการของเหตุผลโดยให้มีความสอดคล้องกับปัญหาการวิจัยด้านคลื่นความร้อนและสุขภาพ รวมทั้งดำเนินการจัดทำรายละเอียด (profile) ของประชากรกลุ่มตัวอย่าง

จำนวน 50 ตัวอย่าง ประกอบด้วย พิกัดที่อยู่อาศัย ลักษณะและสภาพแวดล้อมทางกายภาพโดยทั่วไปของที่อยู่อาศัย พร้อมรูปประกอบ ดังแสดงในภาคผนวก 2 พร้อมทั้งลงพื้นที่ดำเนินการสัมภาษณ์ประชากรกลุ่มตัวอย่างด้วยแบบสอบถามซึ่งมี 4 หัวข้อ ดังนี้ (1) ข้อมูลส่วนตัวทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (2) ข้อมูลด้านสุขภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม (3) ข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมทั่วไปของครัวเรือน และ (4) ข้อมูลด้านอุณหภูมิความร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผู้ตอบแบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับความร้อน สุขภาพ และข้อมูลสภาพแวดล้อมอื่นๆ ของประชาชนที่เสี่ยงต่อภาวะความร้อนในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตเป็นเพศหญิงร้อยละ 60 เพศชายร้อยละ 40 ผู้ที่มีอายุในช่วง 20-40 ปี เป็นกลุ่มที่ตอบแบบสอบถามที่สุดคิดเป็นร้อยละ 50 ของจำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด ในส่วนของระดับการศึกษา พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 30 เป็นผู้ที่มีการศึกษาในระดับ ป.4/ป.6 หรือเทียบเท่า รองลงมาคือ ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ปวช. หรือเทียบเท่า และระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย หรือเทียบเท่า ร้อยละ 10 เท่ากัน โดยมีผู้ที่เรียนสูงกว่าปริญญาตรีตอบแบบสอบถาม 1 ท่าน คิดเป็นร้อยละ 2 นอกจากนี้รายได้ (ประมาณการ) ของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ผู้ที่มีรายได้ไม่น้อยกว่า 30,000 บาท/ปี ตอบแบบสอบถามมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 24 รองลงมาคือ ผู้ที่มีรายได้อยู่ในช่วง 50,001-100,000 บาท/ปี คิดเป็นร้อยละ 22 โดยผู้ที่มีรายได้ระหว่าง 100,001-150,000 บาท/ปี เป็นกลุ่มที่ตอบแบบสอบถามน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 8 (ตารางที่ 4.8)

ตารางที่ 4.8 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามข้อมูลทั่วไป

ตัวแปร	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1. เพศ	50	100
1.1 ชาย	20	40.0
1.2 หญิง	30	60.0
2. ช่วงอายุ	50	100
2.1 น้อยกว่า 20 ปี	3	6.0
2.2 20-40 ปี	25	50.0
2.3 40-60 ปี	16	32.0
2.4 มากกว่า 60 ปี	6	12.0
3. ระดับการศึกษา	50	100
3.1 ไม่ได้เรียนหนังสือ	1	2.0
3.2 ป.4/ป.6 หรือเทียบเท่า	15	30.0
3.3 มัธยมศึกษาตอนต้น ปวช. หรือเทียบเท่า	5	10.0
3.4 มัธยมศึกษาตอนปลาย หรือเทียบเท่า	5	10.0
3.5 อนุปริญญา / ปวส. หรือเทียบเท่า	2	4.0
3.6 ปริญญาตรี	21	42.0
3.7 สูงกว่าปริญญาตรี	1	2.0
3.8 อื่นๆ	0	0

ตารางที่ 4.8 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามข้อมูลทั่วไป (ต่อ)

ตัวแปร	จำนวน(คน)	ร้อยละ
4. รายได้ (อาจใช้การประมาณการ)	50	100
4.1 น้อยกว่า 30,000 บาท/ปี	12	24.0
4.2 30,000 – 30,000 บาท/ปี	6	12.0
4.3 50,001 – 100,000 บาท/ปี	11	22.0
4.4 100,001- 150,000 บาท/ปี	4	8.0
4.5 150,001 - 200,000 บาท/ปี	7	14.0
4.6 200,001 - 300,000 บาท/ปี	5	10.0
4.7 มากกว่า 300,000 บาท/ปี	5	10.0

ส่วนที่ 2 ข้อมูลด้านสุขภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านสุขภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่า ในรอบ 1 ปี ที่ผ่านมาผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 54 หรือจำนวนทั้งสิ้น 27 ราย เคยเข้ารับการตรวจร่างกาย โดยแบ่งออกเป็นการตรวจร่างกายประจำปีร้อยละ 24 รองลงมาคือ ตรวจระดับความดันโลหิต/ตรวจระดับน้ำตาลในเลือดคิดเป็นร้อยละ 14 ตรวจระดับความดันโลหิตร้อยละ 8 ตรวจร่างกายประจำปี/ตรวจระดับความดันโลหิตร้อยละ 6 และตรวจร่างกายประจำปี/ตรวจระดับความดันโลหิต/ตรวจระดับน้ำตาลในเลือดน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 2 ในการสอบถามกรณีการมีโรคประจำตัว พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 43 ราย หรือคิดเป็นร้อยละ 86 ไม่มีโรคประจำตัว ส่วนผู้ตอบแบบสอบถามที่เคยมีอาการเป็นโรคลมชัก/เป็นลม หรือหมดสติพบทั้งสิ้น 5 ราย หรือคิดเป็นร้อยละ 10 ของจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด และเมื่อพิจารณาในรายละเอียดของผู้ที่เคยมีอาการเป็นโรคลมชัก/เป็นลม หรือหมดสติ พบว่า เมื่อเกิดอาการดังกล่าวผู้ตอบแบบสอบถามเข้ารับการบริการของโรงพยาบาลเอกชนมากที่สุด

นอกจากนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 35 ราย หรือคิดเป็นร้อยละ 70 เป็นผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ ในขณะที่ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 54 หรือมีจำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม 27 ราย ดื่มสุราหรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ในกรณีของการรับประทานอาหารที่มีรสจัด พบว่า ร้อยละ 50 ของผู้ตอบแบบสอบถามเป็นผู้ที่รับประทานอาหารรสจัด ได้แก่ เค็ม มัน หวาน เผ็ด ส่วนการดื่มน้ำสะอาดเพียงพออย่างน้อยวันละ 8 แก้ว พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 56 ดื่มน้ำสะอาดน้อยกว่าวันละ 8 แก้ว และจากข้อมูลการศึกษาายังพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 70 หรือผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 35 ราย เป็นผู้ที่ไม่ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาเป็นประจำ นอกจากนี้ กลุ่มตัวอย่างที่ตอบแบบสอบถามร้อยละ 66 นอนหลับพักผ่อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมงต่อวัน (ตารางที่ 4.9)

จากข้อมูลดังกล่าว อาจสามารถอธิบายในภาพรวมได้ว่า กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามโดยส่วนใหญ่เป็นผู้ที่อยู่ในช่วงวัยทำงาน (ช่วงอายุ 20-40 ปี) ซึ่งเป็นช่วงวัยที่ร่างกายยังคงไวซึ่งความแข็งแรงดังจะเห็นได้จากข้อมูลผู้ที่มีโรคประจำตัวที่มีจำนวนไม่มากและอาจเป็นสาเหตุของการละเลยหรือขาดความสนใจการตรวจสุขภาพ เป็นที่น่าสังเกตว่ากลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากเป็นผู้ที่ดื่มสุราหรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ทั้งนี้

อาจมีสาเหตุมาจากการใช้ชีวิตในช่วงวัยทำงาน อีกหนึ่งประเด็นที่น่าสนใจ คือ กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากไม่ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาเป็นประจำ ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ในอนาคต

ตารางที่ 4.9 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามข้อมูลด้านสุขภาพ

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ
1. ในรอบ 1 ปี ที่ผ่านมามีท่านเคยตรวจร่างกายหรือไม่	50	100
1.1 เคย	27	54.0
**ประเภทการตรวจ		
1. การตรวจร่างกายประจำปี	12	24.0
2. ตรวจระดับความดันโลหิต	4	8.0
3. ตรวจระดับน้ำตาลในเลือด	-	-
4. การตรวจร่างกายประจำปี/ตรวจระดับความดันโลหิต	3	6.0
5. การตรวจร่างกายประจำปี/ตรวจระดับน้ำตาลในเลือด	-	-
6. ตรวจระดับความดันโลหิต/ตรวจระดับน้ำตาลในเลือด	7	14.0
7. การตรวจร่างกายประจำปี/ตรวจระดับความดันโลหิต/ ตรวจระดับน้ำตาลในเลือด	1	2.0
1.2 ไม่เคย	23	46.0
2. ปัจจุบันท่านมีโรคประจำตัวหรือไม่	50	100
2.1 มี	7	14.0
2.2 ไม่มี	43	86.0
3. ท่านเคยมีอาการเป็นโรคลมชัก/เป็นลม หรือหมดสติ หรือไม่	50	100
3.1 เคย	5	10.0
**เมื่อท่านมีอาการลมชัก/เป็นลม หรือหมดสติ ท่านเข้ารับบริการของ		
1. สถานบริการของเอกชน	3	6.0
2. สถานบริการของรัฐบาล	-	-
3. คลินิก	1	2.0
4. อื่นๆ	1	2.0
3.2 ไม่เคย	45	90.0
4. ท่านสูบบุหรี่หรือไม่	50	100
4.1 สูบ	15	30.0
4.2 ไม่สูบ	35	70.0
5. ท่านดื่มสุราหรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์หรือไม่	50	100
5.1 ใช่	27	54.0
5.2 ไม่ใช่	23	46.0
6. ท่านชอบรับประทานอาหารที่มีรสจัด ได้แก่ เค็ม มัน หวาน เผ็ด	50	100
6.1 ใช่	25	50.0
6.2 ไม่ใช่	25	50.0

ตารางที่ 4.9 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามข้อมูลด้านสุขภาพ (ต่อ)

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ
7. ท่านดื่มน้ำสะอาดเพียงพออย่างน้อยวันละ 8 แก้ว	50	100
7.1 ใช่	22	44.0
7.2 ไม่ใช่	28	56.0
8. ท่านออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาเป็นประจำหรือไม่	50	100
8.1 ใช่	15	30.0
8.2 ไม่ใช่	35	70.0
9. ท่านนอนหลับพักผ่อนอย่างน้อย 8 ชั่วโมงต่อวัน หรือไม่	50	100
9.1 ใช่	33	66.0
9.2 ไม่ใช่	17	34.0

ส่วนที่ 3 ข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมทั่วไปของครัวเรือน

การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพแวดล้อมทั่วไปของครัวเรือนจากผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 50 ราย พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 64 อาศัยอยู่ในลักษณะบ้านเดี่ยว ร้อยละ 22 อาศัยในทาวน์เฮ้าส์ ส่วนผู้ที่อาศัยในแฟลตหรืออพาร์ทเมนต์คิดเป็นร้อยละ 12 อาคารพาณิชย์หรือตึกแถวร้อยละ 2 โดยไม่มีผู้ตอบแบบสอบถามอาศัยคอนโดมิเนียม (รูปที่ 4.73-4.76) ในส่วนของประเภทของบ้าน พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 84 หรือคิดเป็นจำนวน 42 ราย อาศัยในบ้านปูน และร้อยละ 8 อาศัยในบ้านไม้ ส่วนผู้ที่อาศัยในบ้านปูนผสมไม้คิดเป็นร้อยละ 8 เช่นกัน ในประเด็นของวัสดุผนังหลังคา พบว่า ร้อยละ 76 ของผู้ตอบแบบสอบถามเลือกใช้ กระเบื้องคอนกรีตหรือกระเบื้องซีเมนต์ ร้อยละ 12 ใช้กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน หรือกระเบื้องเอสเบสทอสซีเมนต์ และผู้ตอบแบบสอบถาม 37 ราย หรือคิดเป็นร้อยละ 74 ไม่ติดฉนวนกันความร้อนให้วัสดุผนังหลังคา ส่วนการจัดสัดส่วนต่างๆ ในบ้าน ได้แก่ ห้องนอน ส่วนนั่งเล่น ส่วนประกอบอาหาร ส่วนซักล้าง พบว่า ร้อยละ 80 ของผู้ตอบแบบสอบถามแบ่งสัดส่วนอย่างชัดเจน นอกจากนี้ ร้อยละ 66 ของผู้ตอบแบบสอบถามมีบริเวณรอบบ้านที่มีต้นไม้ สวนหย่อม หรือพื้นที่สีเขียว แบ่งเป็น ต้นไม้ที่มีทรงพุ่มสูงร้อยละ 36 ในส่วนของรั้วบ้าน พบว่า เป็นรั้วบ้านแบบโปร่งร้อยละ 40 แบบทึบร้อยละ 16 และประเภทอื่นๆ ร้อยละ 44 ส่วนเรื่องการถ่ายเทอากาศภายในบ้าน พบว่า บ้านของผู้ตอบแบบสอบถามมีอากาศถ่ายเทได้ดีร้อยละ 86 ส่วนอากาศถ่ายเทไม่ดี (ร้อนอบอ้าว) ร้อยละ 14 ในประเด็นของแสงสว่างภายในบ้าน พบว่า ร้อยละ 82 ของผู้ตอบแบบสอบถามได้รับแสงสว่างเพียงพอ ส่วนการติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในบ้าน พบว่า ร้อยละ 52 ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ส่วนร้อยละ 48 ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และเมื่อพิจารณาถึงการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 84 หรือคิดเป็น 42 ไม่ติดตั้งพัดลมดูดอากาศภายในบ้าน นอกจากนี้ ประเด็นการลดอุณหภูมิความร้อนภายในบ้าน ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 50 มีวิธีการลดความร้อนภายในบ้าน ส่วนอีกร้อยละ 50 ไม่มี (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.10 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมทั่วไปของครัวเรือน

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ
1. บ้านของท่านเป็นบ้านประเภทบ้าน	50	100
1.1 บ้านเดี่ยว	32	64.0
1.2 อาคารพาณิชย์หรือตึกแถว	1	2.0
1.3 ทาวน์เฮาส์	11	22.0
1.4 แฟลตหรืออพาร์ทเมนต์	6	12.0
1.5 คอนโดมิเนียม	0	0.0
1.6 อื่นๆ	0	0.0
2. บ้านของท่านเป็นบ้านที่สร้างด้วย	50	100
2.1 ปูน	42	84.0
2.2 ไม้	4	8.0
2.3 ปูนผสมไม้	4	8.0
2.4 อื่นๆ	0	0.0
3. บ้านของท่านใช้วัสดุผนังหลังคาแบบ	50	100
3.1 แผ่นกระเบื้องดินเผา	2	4.0
3.1 กระเบื้องคอนกรีตหรือกระเบื้องซีเมนต์	38	76.0
3.1 กระเบื้องลอนคู่	2	4.0
3.1 กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน หรือกระเบื้องเอสเบสทอสซีเมนต์	6	12.0
3.5 หลังคาโลหะ	1	2.0
3.6 อื่นๆ	1	2.0
4. ท่านติดตั้งฉนวนกันความร้อนหลังคาหรือไม่	50	100
4.1 มี	13	26.0
4.2 ไม่มี	37	74.0
5. การจัดส่วนต่างๆ ในบ้าน ได้แก่ ห้องนอน ส่วนนั่งเล่น ส่วนประกอบอาหาร ส่วนซักล้าง	50	100
5.1 จัดเป็นสัดส่วนชัดเจน	40	80.0
5.2 ใช้พื้นที่ร่วมกัน	10	20.0
6. บริเวณโดยรอบบ้านของท่านมีต้นไม้ สวนหย่อม หรือพื้นที่สีเขียวหรือไม่	50	100
6.1 มี	33	66.0
**ประเภทสวนหย่อม		
1. ต้นไม้ที่มีทรงพุ่มสูง	18	36.0
2. พืชคลุมดิน	5	10.0
3. อื่นๆ	10	20.0
6.2 ไม่มี	17	34.0

ตารางที่ 4.10 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมทั่วไปของครัวเรือน (ต่อ)

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ
7. รั้วบ้านของท่านเป็นแบบ	50	100
7.1 ทึบ	8	16.0
7.2 โปร่ง	20	40.0
7.3 อื่นๆ	22	44.0
8. การถ่ายเทอากาศภายในบ้านท่าน	50	100
8.1 อากาศถ่ายเทดี	43	86.0
8.2 อากาศถ่ายเทไม่ดี (ร้อนอบอ้าว)	7	14.0
9. แสงสว่างภายในบ้าน	50	100
9.1 เพียงพอ	41	82.0
9.2 ไม่เพียงพอ	9	18.0
10. ท่านติดตั้งเครื่องปรับอากาศ (Air condition) ภายในบ้านหรือไม่	50	100
10.1 มี	26	52.0
10.2 ไม่มี	24	48.0
11. ท่านติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่ฝ้าเพดานหรือไม่	50	100
11.1 มี	8	16.0
11.2 ไม่มี	42	84.0
12. ท่านมีวิธีการลดอุณหภูมิความร้อนภายในบ้านหรือไม่	50	100
12.1 มี	25	50.0
12.2 ไม่มี	25	50.0



รูปที่ 4.73 ประเภทบ้านเดี่ยว



รูปที่ 4.74 ประเภททาวน์เฮาส์



รูปที่ 4.75 แพลต/อพาร์ทเมนต์



รูปที่ 4.76 อาคารพาณิชย์/ ตึกแถว

ส่วนที่ 4 ข้อมูลด้านอุณหภูมิความร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามในเรื่องอุณหภูมิความร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของผู้ตอบแบบสอบถามในจังหวัดภูเก็ต พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 82 รู้จักและเข้าใจความหมายของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ร้อยละ 18 ไม่รู้จักและไม่เข้าใจ และเมื่อสอบถามถึงความหมายของ “คลื่นความร้อน” พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 56 รู้จักและเข้าใจ ซึ่งจากข้อมูลจะเห็นได้ว่าคลื่นความร้อนอาจเป็นข้อมูลใหม่ที่ผู้ตอบแบบสอบถามยังไม่รู้จักมากนักและอาจรู้จักจากข่าวทางวิทยุโทรทัศน์หรือสิ่งพิมพ์ต่างๆ ส่วนการสอบถามว่ามนุษย์เป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนนั้น ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 92 เห็นตรงกันว่ามนุษย์เป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน และเมื่อสอบถามอย่างต่อเนื่องอีกว่าปัญหาโลกร้อนยังเป็นเรื่องที่ไกลตัวใช่หรือไม่ ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 82 มีความเห็นว่าไม่ใช่เรื่องที่ไกลตัว และเมื่อสอบถามในภาพที่กว้างขึ้นว่าทั่วโลกตื่นตระหนกไปเอง จริงๆ แล้วโลกไม่ได้ร้อนขึ้น ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 86 ตอบว่าไม่ใช่ ข้อมูลส่วนนี้อาจอธิบายได้ว่า ภาวะโลกร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ส่งผลกระทบต่อตรงที่ประชาชนในพื้นที่สัมผัสได้ อาจหมายถึงการรณรงค์ เผยแพร่ สนับสนุนของภาครัฐ เอกชน หน่วยงานราชการ สถาบันการศึกษา สื่อสารมวลชน ที่เน้นประเด็นการลดภาวะโลกร้อน ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ประชาชนในพื้นที่เข้าใจในประเด็นนี้มากยิ่งขึ้น

ในส่วนของการสอบถามถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อตัวผู้ตอบแบบสอบถามอย่างชัดเจนในขณะนี้ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นเป็นผลกระทบหนักที่ผู้ตอบแบบสอบถามสัมผัสได้โดยตรงซึ่งคิดเป็นร้อยละ 46 ของจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด รองลงมา คือ ร้อยละ 38 เห็นว่าเกิดภัยธรรมชาติรุนแรงขึ้น และเมื่อถามในเรื่องของการสัมผัสกับอากาศร้อน ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 98 สัมผัสได้ว่าอากาศในปัจจุบันร้อนมากขึ้นกว่าในอดีต และเมื่อสอบถามเพิ่มเติมว่า เมื่ออยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิความร้อนสูงทำให้รู้สึกเครียด ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 90 มีความเครียดเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง และเมื่อสอบถามถึงในอนาคตว่าอุณหภูมิความร้อนจะสูงขึ้นกว่าในปัจจุบัน ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 92 มีความคิดเห็นตรงกันว่าความร้อนจะสูงขึ้นกว่าปัจจุบัน (ตารางที่ 4.11)

จากการสอบถามข้อมูลด้านอุณหภูมิความร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประชาชนในพื้นที่อาจสามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่า ประชาชนมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือภาวะโลกร้อนเพิ่มมากขึ้น อาจรวมถึงการที่ได้สัมผัสกับอุณหภูมิอากาศที่ร้อนที่เพิ่มมากขึ้นกว่าในอดีต ซึ่งอาจจะเป็นเหตุผลหลักที่ประชาชนเริ่มเล็งเห็นถึงปัญหาของคลื่นความร้อนที่มีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงขึ้นในพื้นที่ ซึ่งหมายถึงประเทศไทยจำเป็นต้องเตรียมพร้อม/ตั้งรับและสรรหามาตรการปรับตัวจากภัยคุกคามจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตทั้งในระดับจังหวัดและพื้นที่

ตารางที่ 4.11 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามแยกตามข้อมูลด้านอุณหภูมิความร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ
1. ท่านรู้จักและเข้าใจความหมายของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	50	100
1.1 รู้จักและเข้าใจ	41	82.0
1.2 ไม่รู้จัก	9	18.0
2. ท่านรู้จักและเข้าใจความหมายของ “คลื่นความร้อน”	50	100
2.1 รู้จักและเข้าใจ	28	56.0
2.2 ไม่รู้จัก	22	44.0
3. ท่านคิดว่ามนุษย์เป็นสาเหตุสำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน	50	100
3.1 ใช่	46	92.0
3.2 ไม่ใช่	6	8.0
4. ท่านคิดว่าปัญหาโลกร้อนยังเป็นเรื่องที่ไกลตัว	50	100
4.1 ใช่	9	18.0
4.2 ไม่ใช่	41	82.0
5. ท่านคิดว่าทั่วโลกตื่นตระหนกไปเอง จริงๆ แล้วโลกไม่ได้ร้อนขึ้น	50	100
5.1 ใช่	7	14.0
5.2 ไม่ใช่	43	86.0
6. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อท่านที่เด่นชัดที่สุดในขณะนี้	50	100
6.1 อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น	23	46.0
6.2 เกิดภัยธรรมชาติรุนแรงขึ้น	19	38.0
6.3 ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น	3	6.0
6.4 เกิดโรคระบาดชนิดใหม่	1	2.0
6.5 คิดว่าไม่มีผลกระทบ	1	2.0
6.6 อื่นๆ	3	6.0
7. ในปัจจุบันท่านสัมผัสได้ว่าอากาศร้อนขึ้น	50	100
7.1 ใช่	49	98.0
7.2 ไม่ใช่	1	2.0
8. ท่านมีความรู้สึกเครียดเมื่ออยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิความร้อนสูง	50	100
8.1 ใช่	45	90.0
8.2 ไม่ใช่	5	10.0
9. ท่านคิดว่าในอนาคต อุณหภูมิความร้อนจะสูงขึ้นกว่าในปัจจุบัน	50	100
9.1 ใช่	46	92.0
9.2 ไม่ใช่	4	8.0

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผล

5.1 การตรวจสอบและปรับแก้ลักษณะเอกพันธ์ของข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย

ผลการตรวจสอบลักษณะเอกพันธ์ของอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา เฉพาะในห้วงเวลา 1970 ถึง 2014 จำนวน 72 สถานี พบว่า มีเพียง 11 สถานีเท่านั้นที่อนุกรมของข้อมูลมี ลักษณะเอกพันธ์ ส่วนอนุกรมของข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยที่เหลือ มีลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่ ปรากฏในอนุกรมของข้อมูลดังกล่าว สืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงวิธีการคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยจากเดิม ดั้งนั้น ก่อนที่จะนำข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยไปวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงและคำนวณดัชนีความร้อน จึงได้ทำการปรับแก้ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูลรายสถานีด้วยเทคนิคทางสถิติ ก่อนนำมาทำการคำนวณ ค่าดัชนีความร้อน สำหรับการตรวจสอบลักษณะเอกพันธ์ของอนุกรมข้อมูลของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ จำนวน 72 สถานี ตั้งแต่ 1970 ถึง 2014 พบว่า 32 สถานีที่อนุกรมข้อมูลมีลักษณะเอกพันธ์ ส่วนอนุกรมข้อมูล ที่เหลือที่ไม่เป็นเอกพันธ์ซึ่งส่วนใหญ่มีลักษณะ multi-change จึงได้ทำการปรับแก้ลักษณะไม่เป็นเอกพันธ์โดย ใช้เทคนิคเดียวกันกับการปรับแก้ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของข้อมูลรายสถานีก่อนนำมาคำนวณค่าดัชนีความร้อน

5.2 การคัดเลือกและพัฒนาดัชนีความร้อนสำหรับประเทศไทย

การศึกษานี้ ได้เลือก Heat Index (HI) เป็นดัชนีความร้อนที่ใช้ศึกษาในประเทศไทย เนื่องจากเป็น ดัชนีที่อาศัยเฉพาะข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งเป็นตัวแปรภูมิอากาศพื้นฐานที่ตรวจวัดเป็นประจำของสถานี ตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาพื้นผิว อีกทั้ง ยังเป็นดัชนีที่สามารถใช้ติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคลื่นความร้อน ในระยะยาวบนพื้นฐานของฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวันที่ตรวจวัดและเก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตถึง ปัจจุบันได้ ผลการคำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตรวจวัดรายวันของสถานีพื้นผิวของกรม อุตุนิยมวิทยา จำนวน 69 สถานี ในห้วงเวลาดั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2013 พบว่า HI ในประเทศไทย มีค่าอยู่ในช่วง ระหว่าง 13.1 – 64.2 °C ซึ่งค่า HI ส่วนใหญ่ตกอยู่ในช่วง 27 – 35 °C ทั้งนี้ HI ที่คำนวณสำหรับประเทศไทย ในอดีตถึงปัจจุบัน มีค่าอยู่ในช่วงผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อร่างกายมนุษย์ตั้งแต่ Caution ถึง Extreme danger สำหรับประเทศไทยแล้ว ช่วงที่ HI มีค่าสูงกว่าระดับ Extreme caution เกิดขึ้นตั้งแต่ประมาณปลาย เดือนกุมภาพันธ์ถึงประมาณเดือนกรกฎาคม โดยภาคกลางและภาคตะวันออก มีช่วงที่ HI มีค่าสูงกว่าระดับ Extreme caution กว้างกว่าภาคอื่นๆ พร้อมทั้งมีค่าสูงสุดสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาคอื่นๆ ทั้งนี้ ค่า HI ใน ระดับ Extreme caution (> 32.2 °C) ในภาคกลางและภาคตะวันออก ก็มีสัดส่วนที่สูงกว่าภาคอื่นๆ เช่นกัน

5.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์และ HI ในประเทศไทย

ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนของอุณหภูมิเฉลี่ย ที่คำนวณตามรายสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิว จำนวน 72 สถานีทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทยในห้วงเวลา 1970-2014 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในรอบปี ณ สถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิวส่วนใหญ่ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกเดือนในรอบ 45 ปีที่ผ่านมา รูปแบบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว บ่งชี้ถึงแนวโน้มการร้อนของประเทศไทยเกิดขึ้นทุกเดือนในรอบปี ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี พบว่า 90% ของสถานีตรวจอากาศพื้นผิวของกรมอุตุนิยมวิทยามีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในอัตรา 0.06 ถึง 0.66 °C ต่อทศวรรษ โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง มีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับภาคอื่นๆ เมื่อพิจารณาอนุกรมข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีทั้งประเทศไทย พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยในภาพรวมของประเทศไทย หลังจากได้ปรับแก้ความไม่เป็นเอกพันธ์ของข้อมูลแล้ว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (0.26 °C ต่อทศวรรษ)

การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนของความชื้นสัมพัทธ์ ที่คำนวณตามรายสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิวในห้วงเวลา 1970-2014 ให้ผลที่แตกต่างจากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ย กล่าวคือ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ในประเทศไทย มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และแต่ละเดือนทั้งในแง่อัตราและรูปแบบ โดยทั่วไปแล้ว แนวโน้มของความชื้นสัมพัทธ์ในประเทศไทยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงและสอดคล้องกันในพื้นที่บริเวณกว้างน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ย เมื่อวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระยะยาวของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายปี พบว่า ค่าเฉลี่ยรายปีของเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ มีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างมีนัยสำคัญในหลายสถานีทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง มีการเปลี่ยนแปลงที่โดดเด่นที่สุด เนื่องจากสถานีที่แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของความชื้นสัมพัทธ์มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของประเทศไทยเมื่อนำข้อมูลทุกสถานีมาหาค่าเฉลี่ย ไม่ปรากฏการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจน

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนของ HI ตามรายสถานีตรวจวัดภูมิอากาศพื้นผิว จำนวน 71 สถานีทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทยในห้วงเวลา 1970-2014 พบว่า HI ในแต่ละเดือนมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงและไปในทิศทางเดียวกันเป็นพื้นที่บริเวณกว้างทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย สอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ย ผลการวิเคราะห์ ยังพบว่า มากกว่า 88% ของ HI ตามรายสถานีตรวจอากาศพื้นผิวของกรมอุตุนิยมวิทยาแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและปรากฏทุกเดือนในรอบปี โดยที่ HI ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายน มีการเปลี่ยนแปลงที่โดดเด่นที่สุดในรอบปี ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ HI รายปีตามรายสถานี พบว่า 83% ของสถานีตรวจอากาศพื้นผิวทั้งหมดแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในอัตรา 0.17 – 1.2 °C ต่อทศวรรษ ทั้งนี้ ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าภูมิภาคอื่นๆ เมื่อพิจารณาประเทศไทยในภาพรวมแล้ว ดัชนี HI ที่เฉลี่ยทุกสถานี

มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ ในอัตรา 0.46 °C ต่อทศวรรษ หรือ 2.1 °C ในรอบ 45 ปีที่ผ่านมา แม้ว่า HI ในภาพรวมของประเทศไทยในห้วงเวลา 45 ปีตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน อยู่ในระดับ Caution แต่มีแนวโน้มที่จะ ขยับขึ้นในระดับ Extreme caution ในอนาคตอันใกล้ ซึ่งบ่งชี้ถึงความเสี่ยงทางด้านสุขภาพของประชาชน ที่เพิ่มขึ้นจากภาวะความร้อน

5.4 ลักษณะความแปรปรวนร่วมเชิงพื้นที่และเวลาของ HI ในประเทศไทยจากการวิเคราะห์ EOF และความสัมพันธ์กับดัชนี MEI

ผลการวิเคราะห์ลักษณะความแปรปรวนร่วมเชิงพื้นที่และเวลาด้วยเทคนิค EOF พบว่า EOF โหมดที่ 1 เป็นโหมดที่แสดงความแปรปรวนที่โดดเด่นของ HI ในประเทศไทย ซึ่งเป็นโหมดที่เหมาะสมสำหรับนำไป วิเคราะห์ เพื่อหาความเชื่อมโยงระยะไกลและความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนของ HI ส่วนใหญ่ใน ภาพรวมของประเทศไทยกับความผันแปรของระบบภูมิอากาศโลกในโหมดต่างๆ ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ของ HI ในประเทศไทยที่ปรากฏใน EOF โหมดที่ 1 มีลักษณะที่สอดคล้องกันเป็นบริเวณกว้างทั่วทุกภาคของ ประเทศไทย โดยแสดงถึงความแปรปรวนของ HI บริเวณภาคกลางและภาคตะวันออก มีค่าสูงกว่าพื้นที่บริเวณ อื่นๆ ของประเทศไทย สำหรับความแปรปรวนเชิงเวลา พบว่า EOF โหมดที่ 1 มีลักษณะการความแปรปรวนทั้ง ระหว่างปี/ทศวรรษและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นตรง โดยความแปรปรวนระยะสั้น มีความสัมพันธ์ เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับดัชนีปรากฏการณ์เอนโซ จากผลการศึกษาดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่านอกจากการ เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกที่เกิดจากปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจกแล้ว ปรากฏการณ์เอนโซซึ่งเป็นความผันแปร ตามธรรมชาติของระบบภูมิอากาศ ยังส่งผลต่อความแปรปรวนในระยะสั้นของ HI ในประเทศไทยอีกด้วย

5.5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI พบว่า ความถี่ของ HI ในระดับ Normal ($HI < 26.7$ °C) ลดลงเกือบทุกสถานีในอัตราเฉลี่ย 6.7 วันต่อทศวรรษ ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ได้นี้ให้ผลลัพธ์ที่ตรงกัน ข้ามกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการร้อนขึ้นของประเทศไทยในปัจจุบัน ในขณะที่ความถี่ของ HI ในระดับ Caution (26.7 °C \leq HI < 32.2 °C) ลดลงอย่างชัดเจน ในภาคใต้และภาคตะวันออก แต่กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เล็กน้อยในพื้นที่บางส่วนของภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนความถี่ของ HI ในระดับ Extreme caution (32.2 °C \leq HI < 40.6 °C) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งเกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้างทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยพื้นที่ภาคใต้ ภาคตะวันออกและภาคกลาง เป็นพื้นที่ที่มีอัตราการเพิ่มที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาค อื่นๆ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับผลกระทบสำหรับ Extreme caution นี้บ่งชี้ให้เห็นว่าสถานการณ์การเพิ่มขึ้นของ อุณหภูมิและการร้อนขึ้นของประเทศไทยกำลังถูกยกระดับความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นแสดงให้เห็นว่าประเทศไทย ต้องหาแนวทางในการตั้งรับและปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ส่วนความถี่ของ HI ในระดับ Danger

(HI ≥ 40.6 °C) พบเพียงบางสถานีในภาคกลางซึ่งรวมถึงกรุงเทพมหานคร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่บางสถานีในภาคกลางและพื้นที่บางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือกลับลดลง แสดงให้เห็นว่าพื้นที่บางสถานีในภาคกลางและเขตกรุงเทพกำลังเผชิญกับอันตรายของคลื่นความร้อนในอนาคตอันใกล้อย่างแน่นอน

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่และระดับผลกระทบของทุกสถานีที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EOF เป็นการอธิบายลักษณะที่โดดเด่นของการเปลี่ยนแปลงร่วมเชิงพื้นที่ ซึ่งพบว่า EOF โหมดที่ 1 สามารถอธิบายความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงร่วมได้ถึง 80% ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นรูปแบบที่โดดเด่นของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบต่างๆ ในภาพรวมของประเทศไทย โดยที่ Principal component score แสดงถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความถี่ของ HI ในระดับผลกระทบต่าง ๆ ของ EOF โหมดที่ 1 ในรูปของจำนวนวันต่อปี โดยมีการเพิ่มขึ้นของ HI ในระดับ 'Extreme caution' ในอัตรา 6.5 วันต่อปี แต่ทว่า HI ในระดับ 'Normal' และ 'Caution' กลับลดลงในอัตรา 2.1 และ 4.2 วันต่อปี แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยกำลังจะเข้าสู่โซนอันตรายของคลื่นความร้อน ส่วน Principal component score ของ HI ในระดับ 'Danger' มีค่ามากกว่าศูนย์เพียงเล็กน้อยแต่ก็ทำให้บอกลถึงทิศทางแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความถี่ของ HI ในระดับที่อันตรายที่สุดนี้ว่าจะส่งผลกระทบในอนาคตอย่างแน่นอน การวิเคราะห์ EOF ให้ผลที่สอดคล้องกับโครงสร้างเชิงพื้นที่ของ EOF โหมดที่ 1 ของความถี่ HI ในแต่ละระดับผลกระทบในประเทศไทยซึ่งสามารถชี้ถึง 'hotspot' ของการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏใน Principal component score ที่เกิดขึ้นได้ โดยจะเกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้างในภาคใต้มากที่สุด ส่วนภาคตะวันออกเฉียงและภาคกลาง รองลงมา ตามลำดับ โดยสถานีในจังหวัดภูเก็ตมีการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ สถานีอำเภอหาดใหญ่ และสถานีจังหวัดสงขลา

5.6 การเปลี่ยนแปลงของดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทยและความสัมพันธ์กับ HI

ในการที่จะอธิบายความสัมพันธ์และความเชื่อมโยงระหว่าง HI กับสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิเพิ่มเติมจากความสัมพันธ์ที่พบระหว่าง HI และอุณหภูมิเฉลี่ยซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับ mean state ของอุณหภูมิอย่างเดียวนั้นยังไม่เพียงพอ ดังนั้น ต้องวิเคราะห์ดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิควบคู่กันไปอีกด้วย เพราะการวิเคราะห์ดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิจะสามารถบ่งบอกถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงความถี่ของข้อมูลอุณหภูมิคือการนำดัชนีจำนวนคืนและวันที่อบอุ่นที่ผ่านการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมาสร้างความสัมพันธ์กับ HI ตามรายสถานี ทั้งนี้ จำนวนคืนและวันที่อบอุ่นมักมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นควบคู่กับการขยับตัวสูงขึ้นของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ และเป็นดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิอย่างง่ายที่บ่งบอกถึงสถานการณ์การร้อนขึ้นของสภาพอากาศทั้งตอนกลางวันและกลางคืน ซึ่งนิยามบนพื้นฐานของเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 90 ของอุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุด ซึ่งพบว่า 92% และ 86% ของสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศผิวพื้นทั้งหมดของกรมอุตุนิยมวิทยา มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของดัชนีจำนวนคืนและจำนวนวันที่อบอุ่น ในอัตรา 1.5-9 และ 1.4-10.7 วันต่อทศวรรษ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตาม

รายงานนี้สำหรับข้อมูลในห้วงเวลา 1970-2014 พบว่า ดัชนีจำนวนคืนและวันที่อบอุ่น มีความสัมพันธ์ในระดับสูงกับค่า HI ซึ่งค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าเท่ากับ 0.72 และ 0.70 โดยที่แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของดัชนีจำนวนคืนและวันที่อบอุ่นทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย มีลักษณะที่สอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยความสอดคล้องนี้บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดควบคู่ในทิศทางเดียวกันของอุณหภูมิและเหตุการณ์สภาวะความรุนแรงที่เกี่ยวข้องปรากฏการณ์การร้อนขึ้นที่ผ่านมาในประเทศไทย

5.7 การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน

โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้เป็นเครื่องมือที่สะดวกต่อการเข้าถึงและง่ายต่อการทำความเข้าใจในเรื่องของการตรวจวัดระดับคลื่นความร้อนของผู้ใช้งาน (user) ซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งในหน่วยงานระดับท้องถิ่นและระดับจังหวัด โดยโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนมีระบบการทำงานแบบอัตโนมัติ โดยที่ตัวโปรแกรมเองจะถูกกำหนดตั้งค่าการทำงานอย่างเป็นระบบด้วยโครงสร้างการควบคุมพื้นฐาน 3 หลักการ ได้แก่ การทำงานแบบตามลำดับ (Sequence) การเลือกกระทำตามเงื่อนไข (Decision) และ การทำซ้ำ (Loop) หมายถึง โปรแกรมจะดาวน์โหลดข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยา นำเข้าข้อมูลที่ได้อ่านผ่านสมการเพื่อหาค่าดัชนีความร้อนและการแสดงผลออกตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้นนี้ เป็นโปรแกรมที่มีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการติดตามตรวจสอบ/เฝ้าระวังสถานการณ์คลื่นความร้อนระดับพื้นที่ในภาพรวม อย่างไรก็ตาม โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนนี้เป็นโปรแกรมทดลอง (Demo) ซึ่งหากเป็นไปได้ควรเพิ่ม (Add in) ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากสถานีตรวจวัดอื่นๆ ของหน่วยงานที่มีสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาเพื่อให้มีการกระจายตัวเชิงพื้นที่หรือครอบคลุมพื้นที่ของสถานีตรวจวัดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถติดตามสถานการณ์คลื่นความร้อนเชิงพื้นที่ได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้นนี้ เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการแสดงผลแบบรายวัน (Daily) โดยใช้ข้อมูลตรวจวัดจากสถานีอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลา 15.00 น. นั้นหมายถึง ผู้ใช้งานจะทราบถึงสถานการณ์คลื่นความร้อนของแต่ละวันเท่านั้น ดังนั้น การศึกษาวิจัยต่อยอดในประเด็นของการพัฒนาระบบเฝ้าระวังคลื่นความร้อนด้วยการใช้ข้อมูลพยากรณ์จากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือตามหลักวิชาการมาพัฒนาให้เป็นโปรแกรมที่สามารถพยากรณ์สถานการณ์คลื่นความร้อนที่จะเกิดขึ้นในช่วง 3 วัน 5 วัน หรือ 7 วันล่วงหน้า ได้อย่างแม่นยำน่าจะเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการศึกษาและพัฒนาเพิ่มเติม

5.8 ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชน (Heat-Health Early Warning System)

ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชน เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นทางเลือกเสริม (Options) ที่อยู่ภายใต้ระบบการทำงานที่เหมือนกันกับโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อน โดยมีข้อแตกต่างกันในส่วนของ การนำเข้าข้อมูล (Input Data) ซึ่งต้องใช้เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบบันทึกค่าได้ (Data Logger) ติดตั้งในพื้นที่หรือแหล่งชุมชนและผู้ใช้งานต้องเป็นผู้ดำเนินการจัดเรียงและนำเข้าข้อมูลเท่านั้น ซึ่งเมื่อ ผู้ใช้งานนำเข้าข้อมูลผ่านระบบบริหารจัดการระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนระดับชุมชนแล้ว ระบบจะแสดงผล แบบเดียวกับโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนในลักษณะของแผนที่และเฉดสีแสดงระดับค่า Heat Index ในพื้นที่หรือชุมชนนั้นๆ ประเด็นที่ควรพิจารณาถึง คือ ผู้ใช้งานระดับพื้นที่จำเป็นต้องมีเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งภายใต้โครงการนี้ได้เลือกใช้เครื่องตรวจวัดที่มีราคาถูกแต่ยังคงไว้ซึ่งคุณภาพและสามารถรองรับการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งหน่วยงานต่างๆ สามารถจัดหาเพื่อนำมาใช้ได้อย่างสะดวก รวมถึง บางพื้นที่หรือหน่วยงานอาจจำเป็นต้องประยุกต์วิธีการใช้งานระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนให้เหมาะสมกับ บริบทของชุมชนมากขึ้น เช่น กรณีที่ขาดแคลนเจ้าหน้าที่ที่มีความรู้ความสามารถเรื่องคอมพิวเตอร์ก็ปรับเปลี่ยน เป็นนำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ นำค่าที่ได้มาเทียบกับ Heat Index Chart เพื่อให้ได้ค่า Heat Index และใช้ระบบการเตือนภัยคลื่นความร้อนในรูปแบบของธงแสดงเฉดสีความอันตรายตามพื้นที่หรือแหล่ง ชุมชนต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ ระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนที่พัฒนาขึ้นจะเป็นเครื่องมืออย่างง่ายประเภทหนึ่ง ที่จะมีประโยชน์อย่างสูงหากถูกติดตั้งในพื้นที่หรือชุมชนที่มีสังคมผู้สูงอายุและเด็กอาศัยอยู่หรือหัวเมืองที่เป็น แหล่งท่องเที่ยวของนิคมของชาวต่างชาติ รวมถึงผู้ใช้แรงงานกลางแจ้งเช่นกัน ทั้งนี้ หากหน่วยงานต่างๆ มีความรู้และเข้าใจเรื่องคลื่นความร้อนมากขึ้นก็จะเกิดแนวทางวิธีการป้องกันปัญหาได้อย่างเป็นระบบ

5.9 ผลกระทบของอุณหภูมิความร้อนต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อมของประชาชน

การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับโรคที่เกี่ยวข้องกับความร้อนจากข้อมูลสำนักงานหลักประกันสุขภาพ แห่งชาติ (สปสช.) ในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตโดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 4 ปี (พ.ศ. 2554-2557) พบว่า มีผู้ป่วยจากโรค และปัญหาสุขภาพต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความร้อนในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตแต่ไม่มีผู้เสียชีวิตจากโรคความร้อน โดย ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลของรัฐ จำนวน 24 ราย เป็นเพศชาย 12 ราย และเพศหญิง 12 ราย ซึ่ง ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาโดยส่วนใหญ่จะประกอบอาชีพรับจ้างทั่วไป และเป็นผู้ที่อยู่ในช่วงวัยผู้ใหญ่ตอนกลาง/ วัยกลางคน 35-60 ปี และวัยผู้ใหญ่ตอนปลาย/วัยชรา อายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป ซึ่งบุคคลกลุ่มนี้จัดเป็นกลุ่มเสี่ยง เนื่องจากมีความต้านทานในการรับมือกับโรคและปัญหาสุขภาพต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความร้อนได้ต่ำ ทั้งนี้ รหัส T670 โรค Heatstroke and sunstroke เป็นอาการที่พบมากที่สุด นอกจากนี้ ได้ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง แบบมีจุดประสงค์/เฉพาะเจาะจง (Purposive Selection) สำหรับคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะ เฉพาะเจาะจงตามหลักการของเหตุผลโดยให้มีความสอดคล้องกับปัญหาการวิจัยด้านคลื่นความร้อนและ สุขภาพทั้งสิ้น 50 ตัวอย่าง และสัมภาษณ์ประชาชนในพื้นที่ต่างๆ โดยรอบบริเวณจังหวัดภูเก็ตซึ่งเป็นจังหวัดที่

จัดเป็นพื้นที่วิกฤติที่ดัชนีความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งความถี่และความรุนแรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาในประเด็นที่สำคัญ พบว่า ร้อยละ 54 ของผู้ตอบแบบสอบถามได้รับการตรวจร่างกายประจำปีซึ่งถือเป็นเรื่องที่ต้องพัฒนาส่งเสริมให้ประชาชนในพื้นที่ที่ได้รับการตรวจสุขภาพประจำปีอย่างทั่วถึงมากขึ้น ผู้ตอบแบบสอบถามที่เคยมีอาการเป็นโรคลมชัก/เป็นลม หรือหมดสติพบทั้งสิ้น 5 ราย หรือคิดเป็นร้อยละ 10 และเมื่อพิจารณาในรายละเอียดของผู้ที่เคยมีอาการเป็นโรคลมชัก/เป็นลม หรือหมดสติ พบว่า เมื่อเกิดอาการดังกล่าวผู้ตอบแบบสอบถามเข้ารับบริการของโรงพยาบาลเอกชนมากที่สุด และผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 70 ไม่ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาเป็นประจำซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ในอนาคต ในประเด็นสภาพแวดล้อมทั่วไปของครัวเรือน พบว่า กลุ่มตัวอย่างโดยส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 60) อาศัยอยู่ในบ้านเดี่ยว ซึ่งเป็นบ้านปูนและเลือกใช้กระเบื้องคอนกรีตหรือกระเบื้องซีเมนต์เป็นวัสดุผนังหลังคาแต่ไม่ติดฉนวนกันความร้อน ทั้งนี้ ร้อยละ 52 ติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในบ้าน นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิความร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พบว่า ร้อยละ 82 รู้จักและเข้าใจความหมายของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและเมื่อสอบถามถึงความหมายของ “คลื่นความร้อน” พบว่า ร้อยละ 56 รู้จักและเข้าใจ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าคลื่นความร้อนอาจเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ผู้ตอบแบบสอบถามยังไม่รู้จักมากนักและอาจรู้จักจากภาพข่าวทางวิทยุโทรทัศน์หรือสิ่งพิมพ์ต่างๆ เนื่องจากภายในรอบปี พ.ศ. 2558 เกิดปัญหาคลื่นความร้อนในหลายประเทศในทวีปเอเชีย ทั้งนี้ ผลการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปภาพรวมในระดับพื้นที่ได้ว่า ประชาชนมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือภาวะโลกร้อนเพิ่มมากขึ้น อาจรวมถึงการได้สัมผัสกับอุณหภูมิอากาศที่ร้อนที่เพิ่มมากขึ้นกว่าในอดีต ซึ่งอาจจะเป็นเหตุผลหลักที่ประชาชนเริ่มเล็งเห็นถึงปัญหาของคลื่นความร้อนที่มีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงขึ้นในพื้นที่ ซึ่งหมายถึงประเทศไทยจำเป็นต้องเตรียมพร้อม/ตั้งรับและสรรหามาตรการปรับตัวจากภัยคุกคามจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตทั้งในระดับจังหวัดและพื้นที่

5.10 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคตและการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์เชิงนโยบาย

ควรศึกษาวิจัยต่อยอดในประเด็นของการพัฒนาระบบเฝ้าระวังคลื่นความร้อนด้วยการใช้ข้อมูลพยากรณ์จากแหล่งข้อมูลของหน่วยงานอื่นๆ มาพัฒนาให้เป็นโปรแกรมที่สามารถพยากรณ์สถานการณ์คลื่นความร้อนที่จะเกิดขึ้นในช่วง 3 วัน 5 วัน หรือ 7 วันล่วงหน้า เพราะโปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนที่พัฒนาขึ้นนี้ เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการแสดงผลแบบรายวัน (Daily) โดยใช้ข้อมูลตรวจวัดจากสถานีอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลา 15.00 น. เท่านั้น

ควรเพิ่ม (Add in) ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากสถานีตรวจวัดอื่นๆ ของหน่วยงานที่มี สถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาเพื่อให้มีการกระจายตัวเชิงพื้นที่หรือครอบคลุมพื้นที่ของสถานีตรวจวัดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้การคำนวณค่าดัชนีความร้อนมีความถูกต้องสมบูรณ์และสามารถติดตามสถานการณ์คลื่นความร้อน เชิงพื้นที่ได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น

ควรติดตั้งระบบตรวจวัดคลื่นความร้อนที่พัฒนาขึ้นนี้ ในพื้นที่หรือชุมชนที่มีสังคมผู้สูงอายุและเด็ก อาศัยอยู่หรือเมืองที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวของคนต่างชาติ รวมถึงผู้ใช้แรงงานกลางแจ้ง เพราะเป็น เครื่องมืออย่างง่ายประเภทหนึ่งที่จะมีประโยชน์อย่างสูง ในการแจ้งเตือนระดับของคลื่นความร้อนที่จะเป็น อันตราย

ทั้งนี้ ผลการศึกษาวิจัยนี้ มีนัยเชิงนโยบายอย่างน้อยในฐานะองค์ความรู้ใหม่ที่ช่วยสร้างความเข้าใจ ให้แก่ผู้กำหนดนโยบายและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เกิดการรับรู้และความตระหนักรู้ต่อผลกระทบของการ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้านอุณหภูมิความร้อน อันจะนำไปสู่การริเริ่มกำหนดแนวทางและมาตรการเพื่อ ตั้งรับและปรับตัวจากภัยคุกคามจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทั้งในระดับนโยบายและระดับปฏิบัติการ ในพื้นที่ นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังเป็นข้อมูลทางวิชาการ ที่ใช้ประกอบการจัดทำแผนยุทธศาสตร์ด้านการ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศ และประกอบการตัดสินใจเชิงนโยบายในบริบทการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมแพทยทหารบก. 2555. คู่มือการเฝ้าระวังป้องกันและการปฐมพยาบาลการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อน (สำหรับหน่วยสายแพทย์). กองส่งเสริมสุขภาพและเวชกรรมป้องกัน
- จิรนนท์ จะเกรียง. 2553. ผลกระทบต่อสุขภาพกายจากการสัมผัสพลังงานความร้อนขณะทำงานในกลุ่มคนทำนาเกลือจังหวัดสมุทรสงคราม. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอาชีวเวชศาสตร์. กรุงเทพฯ. บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- พ.อ.รศ.ม.ชิตูร มุ่งถิ่น พ.อ.ยศ.ราม รังสินธุ์ น.ส.วรัชนี อิมใจจิตต์ พ.อ.หญิง ผศ.ปนัดดา หัตถโชติ พ.อ.รศ.สุธีพานิชกุล. 2555. การศึกษาเชิงคุณภาพเพื่อหาแนวทางในการป้องกันโรคลมร้อนในทหารกองประจำการ. สำนักงานพัฒนางานวิจัย วิทยาลัยแพทยศาสตร์พระมงกุฎเกล้า/โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า
- วติมา วรณวัฒน์เมธา และอัญชลี เพิ่มสุวรรณ
www.pharmacy.cmu.ac.th/dic/...5/heat%20related%20disease.pdf
- แสงจันทร์ ลิ้มจิรกาล, อัศมน ลิ้มสกุล และทิววงศ์ ศรีบุรี. 2553. การประเมินสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย: การวิเคราะห์ความเสี่ยงและความอ่อนแอของพื้นที่วิกฤติ. รายงานฉบับสมบูรณ์ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
- แสงโสม ศิริพานิช, กัญฉิกา ถิ่นทิพย์, สุชาดา มีศรี. 2557.การคาดการณ์และการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพในช่วงภาวะอากาศร้อน.สำนักกระบวนวิชา กรมควบคุมโรค
- อัศมน ลิ้มสกุล, อำนาจ ชิตโรสงและกัญฉรีย์ บุญประกอบ. 2554. รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทยครั้งที่ 1 คณะทำงานกลุ่มที่ 1 องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).
- อริสรา อยู่รุ่ง อมราภรณ์ หมีปาน พัชราภรณ์ อุ๋นเต๊ะแจ๊ แอน ไทยอุดม อุษณีย์ อังคะนาวิน และสุวีณา เบาะเปลี่ยน. 2557. ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมกรรมการเฝ้าระวังป้องกันเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อนของผู้ทำการฝึกพลทหารกองประจำการในกองทัพบก. วารสารพยาบาลทหารบก. ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 (ม.ค. - เม.ย.) 2557
- Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T.C., Wieringa, J. 2003. Guideline on climate metadata and homogenization. World Climate Programme Data and Monitoring WCDMP-No. 53. WMO-TD No. 1186, WMO, Geneva.
- Anderson, G.B., Bell, M.L., Peng, R.D. 2013. Methods to calculate the heat index as an exposure metric in environmental health research. Environmental Health Perspectives, 121, 1111-1119.
- Auger, I. et al. 2003. A new instrumental precipitation dataset for the Greater Alpine Region for the period 1800-2002. International Journal of Climatology, 25, 139-166.
- Barriopedro, D., Fischer, E.M., Luterbacher, J., Trigo, R.M., García-Herrera, R. 2011. The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. Science, 332, 220-224.
- Basu, R. 2009. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. Environmental Health, 8:40, DOI: 10.1186/1476-069X-8-40.

- Beniston, M. 2004. The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*, 31, L02202.
- Cao, L.-J., Yan, Z.-W. 2012. Progress in research on homogenization of climate data. *Advances Climate Change Research*, 3, 59-67.
- Choi, G., Choi, J. and Kwon, H.-J. 2005. The impact of high apparent temperature on the increase of summertime disease-related mortality in Seoul: 1991-2000. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 38(3), 283-290.
- Dole, R., et al., 2011. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? *Geophysical Research Letters*, 38, L06702.
- Epetein, Y. and Moran, D.S. 2006. Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health*, 44, 388-398.
- Eischeid, J.K., Baker, C.B., Karl, T.R. and Diaz, H.F. 1995. The quality control of long-term climatological data using objective data analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 34, 2787-2795.
- Feng, S., Hu. Q. and Qian, W. 2004. Quality control of daily metrological data in China, 1951-2000: A new dataset. *International Journal of Climatology*, 24, 853-870.
- Field, C.B., et al. (Eds.) 2012. *Intergovernmental Panel on Climate Change: Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge University Press: Cambridge; 1075 pp.
- Fischer, E.M., Oleson, K.W. and Lawrence, D.M. 2012a. Contrasting urban and rural heat stress responses to climate change. *Geophysical Research Letters* 39, L03705. DOI: 10.1029/2011GL050576.
- Fischer, E.M., Rajczak, J. and Schär, C. 2012b. Changes in European summer temperature variability revisited. *Geophysical Research Letters* 39, L19702. DOI: 10.1029/2012GL052730.
- Fischer, E.M., Seneviratne, S.I., Lüthi, D. and Schär, C. 2007. Contribution of land-atmosphere coupling to recent European summer heat waves. *Geophysical Research Letters* 34: L06707. DOI: 10.1029/2006GL029068.
- Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A.M.G. and Peterson, T. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19, 193-212.
- Feng, S., Hu. Q. and Qian, W. 2004. Quality control of daily metrological data in China, 1951-2000: A new dataset. *International Journal of Climatology*, 24, 853-870.

- Gaffen, D.J. and Ross, R.J. 1998. Increased summertime heat stress in the US. *Nature*, 396, 529-530.
- Global greenhouse warming (2012). Heatwaves and global warming. <http://www.global-greenhouse-warming.com/heatwaves.html>.
- Gosling SN, Lowe JA, McGregor GR, Pelling M, Malamud BD. 2009. Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: A critical review of the literature. *Climatic Change*, 92, 299–341.
- Grumm, R.H. 2011. The Central European and Russian heat event of July - August 2010. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92, 1285–1296.
- Hannachi, A., Jolliffe, I.T. and Stephenson, D.B. 2007. Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review. *International Journal of Climatology*. 27: 1119-1152.
- Hoerling, M., et al., 2012. Anatomy of an extreme event. *Journal of Climate*, 26, 2811–2832.
- Hubbard, K.G. 2001. Multiple station quality control procedures. In proceedings of Automated weather station for applications in agriculture and water resource management : current use and future perspectives, Hubbard, K.G. and Sivakumar, M.V.K. (eds.), Lincoln, Nebraska, USA, 6-10 March 2000, 133-136
- IPCC, 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V and Midgley PM). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2014. Climate change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Eds: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir, TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken, S, Mastrandrea PR, and White LL). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jolliffe, I.T. 2002. *Principal Component Analysis*, 2nd edition. Springer-Verlag New York, Inc., USA. 478 pp.
- Jones, P.D., Parker, D.E., Osborn, T.J., Briffa, K.R. 2013. Global and hemispheric temperature anomalies—land and marine instrumental records. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi: 10.3334/CDIAC/cli.002.

- Kendall, M. G., and Gibbons, J. D. 1990. Rank Correlation Methods (5th ed.). London: Edward Arnold.
- Klein Tank, A.M.G., Zwiers, F.W., Zhang, Z., 2009. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. WMO-TD No. 1500, 56 pp. (WCDMP-72, WMO-TD/No. 1500).
- Koppe, C., Kovats, S., Jendritzky, G. and Menne, B. 2004. Heat waves: Risk and response. Health and Global Environmental Change Series. No.2. World Health Organization. 123 pp.
- Kovats, R.S. and Ebi, K.L. 2006. Heatwaves and public health in Europe. *European Journal of Public Health*, 16, 592–599.
- Kovats, R.S. and Hajat, S. 2008. Heat stress and public health: A critical review. *Annual Review of Public Health*, 29, 41–55.
- Kyselý, J. 2002. Temporal fluctuations in heat waves at Prague-Klementinum, the Czech Republic, from 1901-97, and their relationships to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 22, 33–50.
- Kyselý, J. 2010. Recent severe heat waves in central Europe: How to view them in a long-term prospect? *International Journal of Climatology*, 30, 89–109.
- Lau, N.-C and Nath, M.J. 2012. A model study of heat waves over North America: Meteorological aspects and projections for the twenty-first century. *Journal of Climate*, 25, 4761–4784.
- Limjirakan, S., Limsakul, A. 2012. Observed trends in surface air temperature and their extremes in Thailand from 1970 to 2009. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 90, 647-662. doi: 10.2151/jmsj.2012-505.
- Lundgren, K., Kuklane, K., Gao, C. and Holmér, I. 2013. Effects of heat stress on working populations when facing climate change. *Industrial Health*, 51, 3–15.
- Matthies, F., Bickler, G., Marín, N.C. and Hales, S. 2008. Heat-health action plans: Guidance. The Regional Office for Europe of the World Health Organization. 45 pp.
- Meehl, G.A. and Tebaldi, C. 2004. More intense, more frequent and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*, 305, 994-997.
- Monteiro, A., Carvalho, V., Oliveira, T. and Sousa, C. 2013. Excess mortality and morbidity during the July 2006 heat wave in Porto, Portugal. *International Journal of Biometeorology*, 57, 155–167.
- NOAA, 2014. Heat wave. National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration. <http://www.weather.gov/>.

- Oka, M. 2011. The influence of urban street characteristics on pedestrian heat comfort levels in Philadelphia. *Trans GIS*, 15(1), 109–123.
- Otto, F.E.L., Massey, N., van Oldenborgh, G.J., Jones, R.G. and Allan, M.R. 2012. Reconciling two approaches to attribution of the 2010 Russian heat wave. *Geophysical Research Letters* 39, L04702. DOI: 10.1029/2011GL05042
- Parsons, K. 2009. Maintaining health, comfort and productivity in heat waves. *Global Health Action*. DOI: 10.3402/gha.v2i0.2057.
- Patricola, C.M., Cook, K.H. 2010. Northern African climate at the end of the twenty-first century: an integrated application of regional and global climate models. *Climate Dynamics*, 35,193–212.
- Perkins, S. E., Alexander, L.V. and Nairn, J.R. 2012. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. *Geophysical Research Letters*, 39. L20714.
- Pezza, A., van Rensch, P. and Cai, W. 2012. Severe heat waves in Southern Australia: Synoptic climatology and large scale connections. *Climate Dynamics*, 38, 209–224.
- Pradhan, B., Shrestha, S., Shrestha, R., Pradhanang, S., Kayasha, B. and Pradhan, P. 2013. Assessing climate change and heat stress responses in the Tarai region of Nepal. *Industrial Health* 2013, 51, 101–112.
- Preisendorfer, R.W. 1988. *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*. Elsevier: Amsterdam.
- Peterson, T.C. 2005. Climate change indices. *World Meteorological Organization Bulletin*. 54, 83-86.
- Peterson, T.C. and Vose, R.S 1997. An overview of the global historical climatology network temperature database. *Bulletin of the American Meteorological Society*,78,2837-2849.
- Peterson, T.C. and Vose, R., Schmoyer, R. and Razuvaev, V. 1998. Global historical climatology network (GHCN) quality control of monthly temperature data. *International Journal of Climatology*,18,1169-1179.
- Radinović, D. and Ćurić M. 2012. Criteria for heat and cold wave duration indexes. *Theoretical and Applied Climatology* 107: 505–510.
- Rahmstorf, S and Coumou, D. 2011. Increase of extreme events in a warming world. *PNAS* 108, 17905–17909.

- Rajib, M.A., Mortuza, M.R., Selmi, S., Ankur, A.K. and Rahman, M.M. 2011. Increase of heat index over Bangladesh: Impact of climate change. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 58, 402-405.
- Rebetez, M., Dupont, O. and Giroud, M. 2009. An analysis of the July 2006 heatwave extent in Europe compared to the record year of 2003. *Theoretical and Applied Climatology*, 95, 1–7.
- Reek, T., Doty, S.R. and Owen, T.W. 1992. A deterministic approach to the validation of historical daily temperature and precipitation data from the cooperative network. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 73, 753-762.
- Robine, J.-M., Cheung, S.L., Roy, S.L., Oyen, H.V., Griffiths, C., Michel, J.-P. and Hermann, F.R. 2008. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, 331, 171-178.
- Robinson, P.J. 2001. On the definition of a heat wave. *Journal of Applied Meteorology*, 40, 762-775.
- Rothfus, L.P. 1990. The Heat Index “Equation” (or, More Than You Ever Wanted to Know About Heat Index). SR 90–23. Fort Worth, TX:National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Meteorology.
- Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M.A. and Appenzeller, C. 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427, 332-336.
- Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall’s tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379– 1389.
- Shevchenko, O. Lee, H. Snizhko, S. and Mayer, H. 2014. Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology*, 34, 1642–1650.
- Steadman, R.G. 1984. A universal scale of apparent temperature. *J Clim Appl Meteorol*, 23,1674–1687.
- Steadman, R.G. 1994. Norms of apparent temperature in Australia. *Aust Met Mag*, 43, 1–16.
- Steadman, R.G. 1979a. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of Applied Meteorology*, 18, 861–873.
- Steadman, R.G. 1979b. The assessment of sultriness. Part II: Effects of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature. *Journal of Applied Meteorology*, 18, 874–885.

- Stott, P.A., Stone, D.A. and Allen, M.R. 2004. Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, 432, 610-613.
- Tawatsupa, B. Dear, K., Kjellstrom, T, and Sleight, A. 2012. The association between temperature and mortality in tropical middle income Thailand from 1999 to 2008. *International Journal of Biometeorology*, DOI 10.1007/s00484-012-0597-8.
- Trenberth, K. and Fasullo, J. 2012. Climate extremes and climate change: The Russian heat wave and other climate extremes of 2010. *Journal of Geophysical Research (Atmosphere)*, 117, D17103.
- Vincent, L.A. and Gullett, D.W. 1999. Canadian historical and homogeneous temperature datasets for climate change analyses. *International Journal of Climatology*, 19, 1375-1388.
- Vizy, E.K. and Cook, K.H. 2012. Mid-twenty-first-century changes in extreme events over northern and tropical Africa. *Journal of Climate* 25, 5748–5767.
- Wang XL. 2008. Accounting for autocorrelation in detecting mean shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 47: 2423–2444. DOI: 10.1175/2008JAMC1741.1.
- Wang, X. L. and Swail, V. R. 2001. Changes of extreme wave heights in Northern Hemisphere oceans and related atmospheric circulation regimes. *Journal of Climate*, 14, 2204–2220.
- Wang, X.L., Chen, H., Wu, Y., Feng, Y., Pu, Q. 2010. New techniques for the detection and adjustment of shifts in daily precipitation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49, 2416-2436.
- Wang XL, Wen QH, Wu Y. 2007. Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series. *Journal of Applied Meteorological Climatology* 46: 916-931. DOI:10.1175/JAM2504.1.
- Wijngaard, J.B., Klein, A.M.G. and Können, G.P. 2003. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 23, 679-692.
- Wilks, D.S. 2006. *Statistical methods in the atmospheric sciences*, 2nd edition. Elsevier Inc. 627 pp.
- WMO-WHO, 2010. Heat wave and health: Guidance on warning system development. The World Meteorological Organization and the World Health Organization. 88 pp.
- WMO (World Meteorological Organization) and WHO (World Health Organization), 2015. Heatwaves and health: Guidance on warning-system development. WMO-No. 1142. 96 pp.

- Wolter, K., Timlin, M.S. 1993. Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index. Proceeding the 17th Climate Diagnosis Workshop, Oklahoma, USA, pp. 52–57.
- Wolter, K., Timlin, M.S. 1998. Measuring the strength of ENSO—how does 1997/98 rank. *Weather*, 53, 315–324.
- Zahid, M. and Rasul, G. 2010. Rise in summer heat index over Pakistan. *Pakistan Journal of Meteorology*, 6 (12), 85-96.
- Zhang, X., Vincent, L. A., Hogg, W. D. and Niitsoo, A. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmosphere-Ocean*, 38, 395–429.

ตารางที่ 1 สรุปรายละเอียดข้อมูลภูมิอากาศรายวันที่รวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยา

ลำดับที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูง (เมตร)	ปีเริ่มต้น-ปีสิ้นสุด				
						T _{min}	T _{mean}	T _{max}	RH	T _{dew}
1	400201	Nakhon Sawan	100.17	15.80	34	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
2	400301	Tak Fa Agromet	100.50	15.35	87	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
3	402301	Chai Nat	100.18	15.15	15	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
4	425201	Suphan Buri	100.13	14.47	7	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
5	425301	U Thong Agromet	99.87	14.30	6	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
6	426201	Lop Buri	100.62	14.80	10	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
7	426401	Bua Chum	101.20	15.27	49	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
8	450201	Kanchanaburi	99.53	14.02	28	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
9	450401	Thong Pha Phum	98.63	14.75	97	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
10	455201	Bangkok Metropolis	100.57	13.73	3	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
11	455301	Bang Na	100.62	13.67	3	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
12	455601	Donmuang	100.60	13.92	4	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
13	451301	Kamphaeng Saen Agromet	99.97	14.02	7	1973-2013	1973-2013	1973-2013	1973-2013	1973-2013
14	429201	Pilot Station	100.60	13.37	14	1981-2013	1981-2013	1981-2013	1981-2013	1981-2013
15	430201	Prachin Buri	101.37	14.05	4	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
16	430401	Kabin Buri	101.70	13.98	10	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
17	440201	Aranyaprathet	102.58	13.70	47	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
18	459201	Chon Buri	100.98	13.37	1	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
19	459202	Ko Sichang	100.80	13.17	25	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013

T_{min}=อุณหภูมิต่ำสุด, T_{mean}=อุณหภูมิเฉลี่ย, T_{max}=อุณหภูมิสูงสุด, RH= ความชื้นสัมพัทธ์, T_{dew}=อุณหภูมิจุดน้ำค้าง

ตารางที่ 1 สรุปรายละเอียดข้อมูลภูมิอากาศรายวันที่รวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยา (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูง(เมตร)	ปีเริ่มต้น-ปีสิ้นสุด				
						T _{min}	T _{mean}	T _{max}	RH	T _{dew}
38	352201	Nong Khai	102.73	17.87	173	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
39	356301	Sakon Nakhon Agromet	104.05	17.12	190	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
40	381301	Tha Phra Agromet	102.82	16.33	166	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
41	387401	Kosum Phisai	103.07	16.25	153	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
42	431301	Pak Chong Agromet	101.42	14.70	356	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
43	431401	Chok Chai	102.18	14.73	190	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
44	432301	Surin Agromet	103.45	14.88	143	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
45	432401	Tha Tum	103.68	15.32	128	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
46	436401	Nang Rong	102.72	14.62	179	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
47	409301	Si Sa Ket Agromet	104.25	15.03	125	1983-2013	1983-2013	1983-2013	1983-2013	1983-2013
48	407501	Ubon Ratchathani	104.87	15.25	123	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
49	407301	Ubon Ratchatha Agromet	105.03	15.23	130	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
50	300201	Mae Hong Son	97.83	19.30	268	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
51	300202	Mae Sariang	97.93	18.17	211	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
52	303201	Chiang Rai	99.83	19.92	394	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
53	327501	Chiang Mai	98.98	18.78	312	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
54	328201	Lampang	99.52	18.28	242	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
55	330201	Phrae	100.17	18.17	161	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
56	331201	Nan	100.78	18.78	200	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013

ตารางที่ 1 สรุปรายละเอียดข้อมูลภูมิอากาศรายวันที่รวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยา (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูง(เมตร)	ปีเริ่มต้น-ปีสิ้นสุด				
						T _{min}	T _{mean}	T _{max}	RH	T _{dew}
57	351201	Uttaradit	100.10	17.62	63	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
58	376201	Tak	99.12	15.88	124	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
59	376202	Mae Sot	98.55	16.67	196	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
60	378201	Phitsanulok	100.27	16.78	44	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
61	379201	Phetchabun	101.15	16.43	114	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
62	331401	Tha Wang Pha	100.80	19.12	235	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
63	376203	Bhumibol Dam	99.05	17.23	144	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
64	379401	Lom Sak	101.25	16.77	143	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
65	379402	Wichian Buri	101.12	16.65	68	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
66	373301	Si Samrong Agromet	99.87	17.17	53	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
67	303301	Chiang Rai Agromet	99.78	19.87	416	1979-2013	1979-2013	1979-2013	1979-2013	1979-2013
68	331301	Nan Agromet	100.75	18.87	264	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
69	327301	Mae Jo	99.00	18.92	316	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
70	376401	Umphang	98.88	16.02	454	1977-2013	1977-2013	1977-2013	1977-2013	1977-2013
71	310201	Phayao	99.90	19.13	378	1981-2013	1981-2013	1981-2013	1981-2013	1981-2013
72	328301	Lampang Agromet	99.28	18.32	314	1982-2013	1982-2013	1982-2013	1982-2013	1982-2013
73	329201	Lamphun	99.03	18.57	296	1981-2013	1981-2013	1981-2013	1981-2013	1981-2013
74	380201	Kamphaeng Phet	99.88	16.80	80	1981-2013	1981-2013	1981-2013	1981-2013	1981-2013
75	500201	Prachuap Khiri Khan	11.83	4	4	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
76	500202	Hua Hin	99.97	12.58	5	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013

ตารางที่ 1 สรุปรายละเอียดข้อมูลภูมิอากาศรายวันที่รวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยา (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูง(เมตร)	ปีเริ่มต้น-ปีสิ้นสุด				
						T _{min}	T _{mean}	T _{max}	RH	T _{dew}
77	517201	Chumphon	99.18	10.48	3	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
78	532201	Ranong	98.62	9.98	7	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
79	552201	Nakhon Si Thammarat	99.97	8.47	4	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
80	564201	Phuket	98.40	7.97	2	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
81	564202	Phuket Airport	98.32	8.13	6	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
82	567201	Trang Airport	99.53	7.52	14	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
83	580201	Pattani Airport	100.15	6.78	5	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
84	583201	Narathiwat	100.82	6.42	2	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
85	517301	Sawi Agromet	99.10	10.33	13	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
86	551203	Ko Samui	100.03	9.47	4	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
87	568301	Kho Hong Agromet	100.50	7.02	7	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
88	568501	Songkhla	100.60	7.20	4	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013	1970-2013
89	500301	Nong Phlup Agromet	99.73	12.58	107	1975-2013	1975-2013	1975-2013	1975-2013	1975-2013
90	568502	Hat Yai Airport	100.60	6.92	27	2010-2013	1973-2013	1973-2013	1973-2013	1973-2013
91	465201	Phetchaburi	100.06	13.00	2	1981-2013	1981-2013	1981-2013	1981-2013	1981-2013
92	552301	Nakhorn Sri Thammarat Agromet	100.08	8.33	1	1984-2013	1984-2013	1984-2013	1984-2013	1984-2013
93	561201	Takua Pa	98.27	8.85	3	1981-2013	1981-2013	1981-2013	1981-2013	1981-2013
94	570201	Satun	100.58	6.65	4	1978-2013	1978-2013	1978-2013	1978-2013	1978-2013
95	581301	Yala Agromet	101.28	6.52	36	1982-2013	1982-2013	1982-2013	1982-2013	1982-2013

ตารางที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์ missing value รวมของแต่ละสถานี

ลำดับที่	รหัสสถานี	T _{min}	T _{mean}	T _{max}	RH	T _{dew}
1	400201	0.24	0.43	0.19	0.06	0.49
2	400301	0.77	0.78	0.78	1.67	2.06
3	402301	0.78	0.77	0.02	0.06	0.82
4	425201	0.64	0.67	0.24	0.07	0.67
5	425301	0.10	0.09	0.07	2.67	2.67
6	426201	1.77	1.79	0.57	0.02	1.79
7	426401	1.39	3.02	2.83	12.56	15.02
8	450201	0.98	1.09	1.09	0.95	1.10
9	450401	0.82	0.82	0.58	11.74	11.99
10	455201	0.23	0.24	0.24	0.20	0.24
11	455301	0.11	0.12	0.12	4.92	4.98
12	455601	1.28	1.28	1.28	1.43	1.46
13	451301	0.22	0.22	0.22	0.31	0.31
14	429201	0.11	0.21	0.21	0.01	0.24
15	430201	0	0.04	0.04	0.04	0.07
16	430401	0.06	2.33	2.33	11.72	13.99
17	440201	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05
18	459201	0.06	0.07	0.01	0.00	0.07
19	459202	1.97	1.97	0.00	0.00	1.97
20	459204	0.50	0.62	0.60	3.00	3.35
21	478301	0.34	0.39	0.39	3.17	3.52
22	480201	0.35	0.35	0.00	0.00	0.35
23	480301	2.26	1.08	0.89	5.42	5.60
24	501201	0.25	0.00	1.48	0.19	1.76
25	459203	1.97	3.82	2.11	0.00	3.82
26	478201	0.19	0.00	0.07	0.00	0.19
27	353201	0	0.00	0.00	0.19	0.19
28	353301	0.30	0.30	0.30	4.62	4.62
29	354201	0	0.12	0.12	0.19	0.32
30	356201	0.33	0.33	0.00	0.19	0.52
31	357201	0.01	0.01	0.00	0.19	0.20
32	381201	0.40	0.41	0.02	0.22	0.59

ตารางที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์ missing value รวมของแต่ละสถานี (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	T _{min}	T _{mean}	T _{max}	RH	T _{dew}
33	383201	0.19	1.14	1.14	0.19	1.14
34	403201	0.00	0.72	0.72	0.00	0.73
35	405201	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
36	431201	0.02	0.02	0.00	0.00	0.03
37	432201	0.00	0.12	0.12	0.00	0.12
38	352201	0.00	0.00	0.00	0.19	0.19
39	356301	2.44	2.60	2.12	5.84	6.50
40	381301	0.08	0.08	0.08	2.05	2.05
41	387401	0.87	0.88	0.31	11.57	12.25
42	431301	0.23	0.69	0.78	3.14	3.68
43	431401	0.19	2.51	2.51	11.55	13.88
44	432301	1.18	1.19	1.19	8.13	8.26
45	432401	0.10	2.78	2.68	11.36	14.14
46	436401	0.00	2.27	2.27	11.36	13.63
47	409301	2.12	2.47	1.89	6.25	7.19
48	407501	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
49	407301	5.04	5.23	5.23	15.33	16.17
50	300201	0.95	3.60	2.65	0.11	3.71
51	300202	1.28	1.28	0.19	0.22	1.69
52	303201	0.39	0.39	0.39	0.19	0.39
53	327501	0.02	0.03	0.01	0.00	0.03
54	328201	0.52	2.36	1.84	0.00	2.36
55	330201	0.19	0.90	0.90	0.19	0.90
56	331201	0.21	0.50	0.49	0.19	0.50
57	351201	0.39	0.40	0.21	0.19	0.40
58	376201	0.24	0.24	0.19	0.19	0.24
59	376202	1.59	0.40	0.40	0.19	0.40
60	378201	0.50	0.39	0.35	0.21	0.39
61	379201	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
62	331401	0.01	0.01	0.00	11.55	11.55
63	376203	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
64	379401	0.16	0.01	0.01	11.36	11.37

ตารางที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์ missing value รวมของแต่ละสถานี (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	T _{min}	T _{mean}	T _{max}	RH	T _{dew}
65	379402	0.01	0.02	0.01	11.36	11.64
66	373301	6.28	5.22	3.75	5.68	7.88
67	303301	0.49	1.82	1.65	1.92	3.43
68	331301	13.06	8.66	4.98	5.51	5.51
69	327301	13.95	13.95	13.95	14.72	14.72
70	376401	0.00	0.26	0.26	13.51	0.00
71	310201	0.26	0.69	0.69	0.26	0.26
72	328301	0.00	6.41	5.20	8.03	8.03
73	329201	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
74	380201	0.24	0.26	0.26	0.26	0.26
75	500201	0.32	0.63	0.53	0.18	0.63
76	500202	0.00	0.29	0.23	4.60	4.71
77	517201	0.02	0.31	0.32	0.29	0.33
78	532201	0.69	0.41	0.41	0.00	0.41
79	552201	0.20	0.03	0.02	0.02	0.04
80	564201	3.42	0.86	0.98	0.25	1.05
81	564202	0.01	0.43	0.42	0.00	0.43
82	567201	0.76	3.42	0.49	5.23	3.42
83	580201	0.53	0.02	0.01	0.00	0.02
84	583201	0.34	0.76	0.00	0.00	0.81
85	517301	1.40	1.12	0.97	2.50	2.96
86	551203	0.01	0.52	0.35	0.18	0.52
87	568301	0.46	1.40	0.19	6.20	7.39
88	568501	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02
89	500301	0.40	0.47	0.46	6.24	6.30
90	568502	3.25	0.01	1.23	0.00	0.01
91	465201	4.53	1.63	3.25	0.00	1.63
92	552301	0.97	3.25	6.17	5.48	3.24
93	561201	2.51	5.99	0.21	0.00	6.18
94	570201	0.01	1.18	2.52	0.51	1.56
95	581301	6.28	2.52	0.01	7.26	6.96

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในภาพรวมของข้อมูล

ลำดับที่	รหัสสถานี	ความซ้ำซ้อนของสถานี	ความสอดคล้องของวัน	ค่าสูงหรือต่ำกว่าปกติ
1	400201	x	/	x
2	400301	x	/	x
3	402301	x	/	x
4	425201	x	/	x
5	425301	x	/	x
6	426201	x	/	x
7	426401	x	/	x
8	450201	x	/	x
9	450401	x	/	x
10	455201	x	/	x
11	455301	x	/	x
12	455601	x	/	x
13	451301	x	/	x
14	429201	x	/	x
15	430201	x	/	x
16	430401	x	/	x
17	440201	x	/	x
18	459201	x	/	x
19	459202	x	/	x
20	459204	x	/	x
21	478301	x	/	x
22	480201	x	/	x
23	480301	x	/	x
24	501201	x	/	x
25	459203	x	/	x
26	478201	x	/	x
27	353201	x	/	x
28	353301	x	/	x
29	354201	x	/	x
30	356201	x	/	x
31	357201	x	/	x
32	381201	x	/	x

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในภาพรวมของข้อมูล (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	ความซ้ำซ้อนของสถานี	ความสอดคล้องของวัน	ค่าสูงหรือต่ำกว่าปกติ
33	383201	x	/	x
34	403201	x	/	x
35	405201	x	/	x
36	431201	x	/	x
37	432201	x	/	x
38	352201	x	/	x
39	356301	x	/	x
40	381301	x	/	x
41	387401	x	/	x
42	431301	x	/	x
43	431401	x	/	x
44	432301	x	/	x
45	432401	x	/	x
46	436401	x	/	x
47	409301	x	/	x
48	407501	x	/	x
49	407301	x	/	x
50	300201	x	/	x
51	300202	x	/	x
52	303201	x	/	x
53	327501	x	/	x
54	328201	x	/	x
55	330201	x	/	x
56	331201	x	/	x
57	351201	x	/	x
58	376201	x	/	x
59	376202	x	/	x
60	378201	x	/	x
61	379201	x	/	x
62	331401	x	/	x
63	376203	x	/	x
64	379401	x	/	x

ตารางที่ 3 ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในภาพรวมของข้อมูล (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	ความซ้ำซ้อนของสถานี	ความสอดคล้องของวัน	ค่าสูงหรือต่ำกว่าปกติ
65	379402	x	/	x
66	373301	x	/	x
67	303301	x	/	x
68	331301	x	/	x
69	327301	x	/	x
70	376401	x	/	x
71	310201	x	/	x
72	328301	x	/	x
73	329201	x	/	x
74	380201	x	/	x
75	500201	x	/	x
76	500202	x	/	x
77	517201	x	/	x
78	532201	x	/	x
79	552201	x	/	x
80	564201	x	/	x
81	564202	x	/	x
82	567201	x	/	x
83	580201	x	/	x
84	583201	x	/	x
85	517301	x	/	x
86	551203	x	/	x
87	568301	x	/	x
88	568501	x	/	x
89	500301	x	/	x
90	568502	x	/	x
91	465201	x	/	x
92	552301	x	/	x
93	561201	x	/	x
94	570201	x	/	x
95	581301	x	/	x

ตารางที่ 4 แสดงผลการตรวจสอบความสอดคล้องภายในของข้อมูล

ลำดับที่	รหัสสถานี	$T_{min} > T_{max}$	$T_{mean} > T_{max}$	$T_{min} > T_{mean}$	EDTR	Flat line
1	400201	x	x	x	x	x
2	400301	x	x	x	x	x
3	402301	x	x	x	x	x
4	425201	x	x	x	x	x
5	425301	x	x	x	x	x
6	426201	x	x	x	x	x
7	426401	x	x	x	x	x
8	450201	x	x	x	x	x
9	450401	x	x	x	x	x
10	455201	x	x	x	x	x
11	455301	x	x	x	x	x
12	455601	x	x	x	x	x
13	451301	x	x	x	x	x
14	429201	x	x	x	x	x
15	430201	x	x	x	x	x
16	430401	x	x	x	x	x
17	440201	x	x	x	x	x
18	459201	x	x	x	x	x
19	459202	x	x	x	x	x
20	459204	x	x	x	x	x
21	478301	x	x	x	x	x
22	480201	x	x	x	x	x
23	480301	x	x	x	x	x
24	501201	x	x	x	x	x
25	459203	x	x	x	x	x
26	478201	x	x	x	x	x
27	353201	x	x	x	x	x
28	353301	x	x	x	x	x
29	354201	x	x	x	x	x
30	356201	x	x	x	x	x
31	357201	x	x	x	x	x
32	381201	x	x	x	x	x

EDTR=Excess diurnal temperature range

ตารางที่ 4 แสดงผลการตรวจสอบความสอดคล้องภายในของข้อมูล (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	$T_{min} > T_{max}$	$T_{mean} > T_{max}$	$T_{min} > T_{mean}$	EDTR	Flat line
33	383201	x	x	x	x	x
34	403201	x	x	x	x	x
35	405201	x	x	x	x	x
36	431201	x	x	x	x	x
37	432201	x	x	x	x	x
38	352201	x	x	x	x	x
39	356301	x	x	x	x	x
40	381301	x	x	x	x	x
41	387401	x	x	x	x	x
42	431301	x	x	x	x	x
43	431401	x	x	x	x	x
44	432301	x	x	x	x	x
45	432401	x	x	x	x	x
46	436401	x	x	x	x	x
47	409301	x	x	x	x	x
48	407501	x	x	x	x	x
49	407301	x	x	x	x	x
50	300201	x	x	x	x	x
51	300202	x	x	x	x	x
52	303201	x	x	x	x	x
53	327501	x	x	x	x	x
54	328201	x	x	x	x	x
55	330201	x	x	x	x	x
56	331201	x	x	x	x	x
57	351201	x	x	x	x	x
58	376201	x	x	x	x	x
59	376202	x	x	x	x	x
60	378201	x	x	x	x	x
61	379201	x	x	x	x	x
62	331401	x	x	x	x	x
63	376203	x	x	x	x	x
64	379401	x	x	x	x	x

ตารางที่ 4 แสดงผลการตรวจสอบความสอดคล้องภายในของข้อมูล (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	$T_{min} > T_{max}$	$T_{mean} > T_{max}$	$T_{min} > T_{mean}$	EDTR	Flat line
65	379402	x	x	x	x	x
66	373301	x	x	x	x	x
67	303301	x	x	x	x	x
68	331301	x	x	x	x	x
69	327301	x	x	x	x	x
70	376401	x	x	x	x	x
71	310201	x	x	x	x	x
72	328301	x	x	x	x	x
73	329201	x	x	x	x	x
74	380201	x	x	x	x	x
75	500201	x	x	x	x	x
76	500202	x	x	x	x	x
77	517201	x	x	x	x	x
78	532201	x	x	x	x	x
79	552201	x	x	x	x	x
80	564201	x	x	x	x	x
81	564202	x	x	x	x	x
82	567201	x	x	x	x	x
83	580201	x	x	x	x	x
84	583201	x	x	x	x	x
85	517301	x	x	x	x	x
86	551203	x	x	x	x	x
87	568301	x	x	x	x	x
88	568501	x	x	x	x	x
89	500301	x	x	x	x	x
90	568502	x	x	x	x	x
91	465201	x	x	x	x	x
92	552301	x	x	x	x	x
93	561201	x	x	x	x	x
94	570201	x	x	x	x	x
95	581301	x	x	x	x	x

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนข้อมูลค่าผิดปกติในเชิงเวลาของแต่ละตัวแปรและแต่ละสถานี

ลำดับที่	รหัสสถานี	T _{min}	T _{mean}	T _{max}	RH	T _{dew}
1	400201	2	4	7	0	10
2	400301	3	4	9	61	23
3	402301	2	4	9	2	11
4	425201	4	8	10	1	19
5	425301	4	5	3	0	3
6	426201	3	3	13	0	30
7	426401	0	0	0	30	4
8	450201	15	3	4	0	5
9	450401	2	0	2	0	2
10	455201	0	6	9	1	34
11	455301	0	5	12	0	7
12	455601	1	2	4	0	10
13	451301	6	5	16	0	2
14	429201	9	7	4	8	28
15	430201	4	1	1	0	13
16	430401	6	0	2	0	9
17	440201	1	2	0	0	17
18	459201	1	0	4	0	28
19	459202	0	2	0	14	33
20	459204	2	1	2	35	15
21	478301	2	0	1	2	6
22	480201	2	2	8	12	40
23	480301	0	1	3	2	8
24	501201	1	0	3	10	25
25	459203	1	5	3	9	44
26	478201	4	0	0	3	11
27	353201	1	0	0	0	0
28	353301	5	0	0	0	0
29	354201	0	0	0	1	3
30	356201	0	0	0	0	2
31	357201	0	0	0	0	4
32	381201	0	0	0	2	2

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนข้อมูลค่าผิดปกติในเชิงเวลาของแต่ละตัวแปรและแต่ละสถานี (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	T _{min}	T _{mean}	T _{max}	RH	T _{dew}
33	383201	0	0	0	0	10
34	403201	1	0	0	0	3
35	405201	39	0	0	1	83
36	431201	0	0	0	4	4
37	432201	0	0	0	1	1
38	352201	0	0	0	0	0
39	356301	1	0	0	0	0
40	381301	1	0	0	0	0
41	387401	1	0	0	0	0
42	431301	2	6	0	0	6
43	431401	75	12	0	0	29
44	432301	0	0	0	0	2
45	432401	0	0	1	0	3
46	436401	0	0	0	0	1
47	409301	1	0	0	0	0
48	407501	0	0	1	0	2
49	407301	20	0	3	0	1
50	300201	0	0	7	2	1
51	300202	7	0	8	62	1
52	303201	0	0	8	31	1
53	327501	4	1	10	1	3
54	328201	3	2	6	0	1
55	330201	2	0	9	3	2
56	331201	0	0	7	0	0
57	351201	52	10	9	4	128
58	376201	32	7	1	7	34
59	376202	1	1	8	0	2
60	378201	2	2	6	1	5
61	379201	1	1	5	0	2
62	331401	1	0	6	2	1
63	376203	2	0	3	0	2
64	379401	1	2	4	1	1

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนข้อมูลค่าผิดปกติในเชิงเวลาของแต่ละตัวแปรและแต่ละสถานี (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	T _{min}	T _{mean}	T _{max}	RH	T _{dew}
65	379402	2	2	3	0	2
66	373301	3	2	8	3	1
67	303301	2	1	7	0	0
68	331301	0	12	6	0	17
69	327301	0	4	3	10	6
70	376401	2	0	3	0	0
71	310201	3	4	13	0	0
72	328301	2	0	6	0	0
73	329201	1	0	10	0	1
74	380201	4	4	5	0	0
75	500201	0	0	0	5	18
76	500202	0	4	3	6	20
77	517201	3	0	1	0	4
78	532201	2	0	2	0	1
79	552201	0	0	1	3	19
80	564201	0	0	0	31	0
81	564202	22	0	1	31	2
82	567201	1	0	0	0	42
83	580201	0	0	2	1	0
84	583201	2	0	2	8	0
85	517301	2	1	1	0	5
86	551203	0	0	0	0	2
87	568301	1	1	0	0	0
88	568501	1	0	1	0	0
89	500301	2	2	1	0	5
90	568502	0	0	5	0	0
91	465201	1	2	4	3	18
92	552301	1	0	1	1	2
93	561201	0	0	1	1	2
94	570201	4	0	4	0	0
95	581301	15	0	0	1	1

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของข้อมูลอนุกรมเวลาเฉลี่ยรายเดือนเฉพาะสถานที่ที่ข้อมูลเก็บรวบรวมตั้งแต่ปี 1970 ถึง 2014 ด้วยเทคนิค Penalized maximal F Test และปีที่มีการ shift ของข้อมูล

ลำดับที่	รหัสสถานี	ความเป็นลักษณะอนุพันธ์	ปีที่มีการ shift ของข้อมูล
1	400201	x	2006
2	400301	x	2007
3	402301	x	1986
4	425201	x	2006
5	425301	x	1997
6	426201	x	1999
7	426401	x	2007
8	450201	x	1999/2006
9	450401	/	-
10	455201	x	2007
11	455301	x	1997
12	455601	/	-
15	430201	x	2008
16	430401	x	2007
17	440201	x	2007
18	459201	x	2007
19	459202	/	-
20	459204	x	1983/1999/2007
21	478301	x	2007
22	480201	x	2007
24	501201	x	1997
27	353201	x	2007
29	354201	x	2007
30	356201	x	2006
31	357201	x	2006
32	381201	x	2007
33	383201	x	2006
34	403201	x	2007
35	405201	/	-
36	431201	/	-
37	432201	/	-
38	352201	/	-
39	356301	x	2006
40	381301	x	2006
41	387401	x	2006

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของข้อมูลอนุกรมเวลาเฉลี่ยรายเดือนเฉพาะสถานีที่ข้อมูลเก็บรวบรวมตั้งแต่ปี 1970 ถึง 2014 ด้วยเทคนิค Penalized maximal F Test และปีที่มีการ shift ของข้อมูล (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	ความเป็นลักษณะอนุพันธ์	ปีที่มีการ shift ของข้อมูล
42	431301	x	2007
43	431401	x	2007
44	432301	x	2007
45	432401	/	-
46	436401	x	2007
48	407501	/	-
50	300201	x	2006
51	300202	x	2006
52	303201	x	2006
53	327501	x	1978
54	328201	x	2006
55	330201	x	2006
56	331201	/	-
57	351201	x	2006
58	376201	x	2006
59	376202	x	2006
60	378201	x	1999
61	379201	x	2006
62	331401	/	-
63	376203	x	2006
64	379401	x	2006
65	379402	x	2006
66	373301	/	2006
75	356201	x	2006
76	357201	x	2006
77	517201	x	2007
78	532201	x	1999/2007
79	552201	x	1977/2007
80	564201	x	2007
81	564202	x	2006
82	567201	x	1989
83	580201	x	2007
84	583201	x	1977
85	517301	x	2008
86	551203	x	1992

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของข้อมูลอุณหภูมิจนเฉลี่ยรายเดือนเฉพาะสถานีที่ข้อมูลเก็บรวบรวมตั้งแต่ปี 1970 ถึง 2014 ด้วยเทคนิค Penalized maximal F Test และปีที่มีการ shift ของข้อมูล (ต่อ)

ลำดับที่	รหัสสถานี	ความเป็นลักษณะอนุพันธ์	ปีที่มีการ shift ของข้อมูล
87	568301	x	2007
88	568501	x	2006

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนเฉพาะสถานีที่ข้อมูลเก็บรวบรวมตั้งแต่ปี 1970 ถึง 2014 ด้วยเทคนิค Penalized maximal F/t Test โดยใช้สถานีใกล้เคียงที่ข้อมูลมีลักษณะอนุพันธ์ เป็นสถานีอ้างอิงในการปรับแก้

CS	ความเป็นลักษณะอนุพันธ์	ปีที่มีการ shift ของข้อมูล	RS	CS-RS distance (km)	CS-RS correlation
1	x	1997	58	112.6	0.81
2	x	1981/1989/1995/1996/1997/2007	6	62.4	0.83
3	x	1979/1992/1996/2002/2006/2013	6	60.8	0.72
4	/				
5	/				
6	/				
7	x	1970/1974	6	81.3	0.68
8	/				
9	x	1974	8	126.6	0.61
10	x	1972/1981	4	94.0	0.64
11	/				
12	x	1990/1995/2006	4	79.2	0.50
15	x	1984	18	86.5	0.83
16	x	1970/1971/1977/1978/1980/2001	17	100.3	0.80
17	/				
18	/				
19	x	1977/1994/2004/2006/2007	18	29.7	0.83
20	x	1986/1991	18	78.6	0.76
21	x	2006	18	72.3	0.71
22	/				
24	x	1976/1982/1993/2005	22	125.9	0.91
27	/				
29	/				
30	x	1976	31	75.2	0.92
31	/				
32	x	1971/1981/1993/2003	35	100.2	0.93
33	x	1972/1983/2009	35	125.8	0.92
34	/				
36	x	1975/2006	34	92.7	0.88
37	/				
38	x	1972/1987/1999	29	54.2	0.95
39	x	1978/1983/1986/1995/1997/2001/2006	31	84.6	0.78

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนเฉพาะสถานีที่ข้อมูลเก็บรวบรวมตั้งแต่ปี 1970 ถึง 2014 ด้วยเทคนิค Penalized maximal F/t Test โดยใช้สถานีใกล้เคียงที่ข้อมูลมีลักษณะอนุพันธ์ เป็นสถานีอ้างอิงในการปรับแก้ (ต่อ)

CS	ความเป็นลักษณะอนุพันธ์	ปีที่มีการ shift ของข้อมูล	RS	CS-RS distance (km)	CS-RS correlation
40	x	1984/1993/1996/2005	35	97.5	0.83
41	x	1970/1974/1980/2006	35	69.4	0.73
42	x	1972/1980/1985/1987/2001/2002	6	86.7	0.70
43	x	1970/1974	34	119.7	0.49
44	x	1973/2006	37	5.4	0.79
45	x	1970/1974/1977/1978/1980	48	127.1	0.77
46	x	1970/1974/1977/1978/1995/2009	37	88.8	0.71
48	/				
50	x	1985	52	220.3	0.91
51	x	1977/1995	63	157.4	0.84
52	/				
53	x	1978/2007	63	172.4	0.80
54	/				
55	/				
56	/				
57	/				
58	/				
59	/				
60	/				
61	/				
62	x	1970/1974/1977/1978/2000	56	37.0	0.67
63	/				
64	x	1970/1974/1977/1978	61	38.6	0.73
65	x	1970/1974/1977/1978/1997/2000	61	24.5	0.68
66	x	2000/2006/2008/2011	60	60.2	0.84
76	/				
77	/				
78	/				
79	/				
80	/				
81	/				

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนเฉพาะสถานีที่ข้อมูลเก็บรวบรวมตั้งแต่ปี 1970 ถึง 2014 ด้วยเทคนิค Penalized maximal F/t Test โดยใช้สถานีใกล้เคียงที่ข้อมูลมีลักษณะอนุพันธ์ เป็นสถานีอ้างอิงในการปรับแก้ (ต่อ)

CS	ความเป็นลักษณะอนุพันธ์	ปีที่มีการ shift ของข้อมูล	RS	CS-RS distance (km)	CS-RS correlation
82	x	1984	83	106.2	0.47
83	/				
84	x	1970/1976/1980/1985/1998/2005/2008	83	84.1	0.76
85	x	1976/1998/2000/2006	77	19.0	0.62
86	x	1982	79	111.3	0.69
87	x	1974/1985/1992/1995	83	46.5	0.60
88	x	1972/1985/1987/1988/2000	83	67.9	0.69

CS= Candidate station (สถานีที่ตรวจสอบลักษณะความเป็นอนุพันธ์ของข้อมูล)

RS =Reference station (สถานีใกล้เคียงที่มีลักษณะอนุพันธ์ที่ใช้เป็นสถานีอ้างอิงในการปรับแก้ความไม่เป็นอนุพันธ์ของข้อมูล)

รายละเอียดเชิงพื้นที่ (Site Profile) ของสถานที่ติดตั้งเครื่องตรวจวัด

ลำดับ

สถานที่

1.



- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต ภูเก็ต (กะทู้)
- ที่อยู่ : ตำบลกะทู้ อำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต, 82130
- พิกัด : 7°89'52.3"N, 98°35'21.2"E

2.



- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต ภูเก็ต (สะพานหิน)
- ที่อยู่ : ตำบลตลาดใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต
- พิกัด : 7°52'12.2"N 98°23'45.6"E

3.



- ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน (แหลมพันวา)
- ที่อยู่ : 51 หมู่ที่ 8 ตำบลวิชิต อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต, 83000
- พิกัด : 7°48'16.4"N 98°24'25.8"E

4.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลราไวย์
- ที่อยู่ : 32 หมู่ที่ 3 ตำบลราไวย์ อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต, 83130
- พิกัด : 7°46'39.9"N 98°19'40.9"E

5.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลรัชฎา
- ที่อยู่ : 18/1 หมู่ที่ 1 ตำบลรัชฎา อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต, 83000
- พิกัด : 7°52'45.6"N 98°25'43.8"E

6.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเกาะแก้ว
- ที่อยู่ : 7/1 หมู่ที่ 2 ถนนเทพกระษัตรี ตำบลเกาะแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต, 83000
- พิกัด : 7°57'19.2"N 98°23'10.6"E

7.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลวิชิต
- ที่อยู่ : 87 หมู่ที่ 7 ถนนศักดิเดช ตำบลวิชิต อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต, 83000
- พิกัด : 7°49'55.5"N 98°24'01.7"E

8.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลปากดง
- ที่อยู่ : หมู่ที่ 1 ตำบลปากดง อำเภอดงหลวง จังหวัดสุพรรณบุรี, 83110
- พิกัด : 7°59'48.3"N 98°23'22.6"E

9.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลเชิงทะเล
- ที่อยู่ : 45 ถนนศรีสุนทร ตำบลเชิงทะเล อำเภอดงหลวง จังหวัดสุพรรณบุรี, 83110
- พิกัด : 7°59'17.8"N 98°18'40.3"E

10.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลกระรน
- ที่อยู่ : 330 ถนนปฎัก ตำบลกระรน อำเภอดงหลวง จังหวัดสุพรรณบุรี
- พิกัด : 7°49'52.9"N 98°18'02.0"E

11.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลไม้ขาว
- ที่อยู่ : หมู่ที่ 2 ตำบลไม้ขาว อำเภอดงหลวง จังหวัดสุพรรณบุรี, 83110
- พิกัด : 8°07'26.9"N 98°18'48.5"E

12.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลกลมลา
- ที่อยู่ : 88/1 ตำบลกลมลา อำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต, 83150
- พิกัด : 7°57'02.4"N 98°16'57.9"E

13.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านบางเทา
- ที่อยู่ : 208/6 หมู่ที่ 2 ตำบลเชิงทะเล อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต, 83110
- พิกัด : 7°58'52.6"N 98°17'32.2"E

14.



- สำนักงานสาธารณสุขอำเภอถลาง
- ที่อยู่ : 234 หมู่ที่ 3 ถนนเทพกระษัตรี ตำบลเทพกระษัตรี อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต, 83110
- พิกัด : 8°02'08.0"N 98°19'55.1"E

15.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านแหลมชั้น
- ที่อยู่ : 103/3 หมู่ที่ 1 ตำบลวิชิต อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต, 83000
- พิกัด : 7°51'39.6"N 98°22'25.8"E

16.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพเฉลิมพระเกียรติ ๖๐ พรรษา นวมินทราชินี
- ที่อยู่ : 2 หมู่ที่ 8 ตำบลฉลอง อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต, 83130
- พิกัด : 7°49'25.3"N 98°20'26.1"E

17.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านมาหนัก
- ที่อยู่ : 1 หมู่ที่ 7 ตำบลศรีสุนทร อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต, 83110
- พิกัด : 7°58'47.7"N 98°20'01.7"E

18.



- โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านพารา
- ที่อยู่ : 33/1 หมู่ที่ 4 ตำบลป่าคอก อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต, 83110
- พิกัด : 8°04'02.4"N 98°23'44.6"E

19.



- ซอนย่าเรสซิเดนซ์ หาดป่าตอง
- ที่อยู่ : 80/11 ถนนทวิวงศ์ ซอยวัฒนา คลินิก ตำบลป่าตอง อำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต, 83150
- พิกัด : 7°53' 24" N 98°17' 38"E

20.



- อุทยานแห่งชาติสิรินาถ (หาดในยาง)
- ที่อยู่ : 89/1 หมู่ที่ 1 บ้านในยาง ตำบลสาकु อำเภอดงหลวง จังหวัดสุพรรณบุรี, 83140
- พิกัด : 8°05'43.4"N 98°17'57.8"E