



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า
สำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

โดย

กลุ่มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ร่วมกับ

กลุ่มอากาศ เสี่ยง และความสิ้นสะท้อน

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า
สำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

โดย

อัศมน ลิมสกุล	หัวหน้าโครงการวิจัย
ศิรพงศ์ สุขทวี	ผู้ร่วมวิจัย
อ่อนจันทร์ โคตรพงษ์	ผู้ร่วมวิจัย
วุฒิชัย แพงแก้ว	ผู้ร่วมวิจัย
อัศดร คำเมือง	ผู้ร่วมวิจัย
อดุลย์เดช ปัดภัย	ผู้ร่วมวิจัย
สุธีระ บุญญาพิทักษ์	ผู้ร่วมวิจัย
นิรัน เปี่ยมไย	ผู้ร่วมวิจัย
นิตาลักษณ์ อรุณจันทร์	ผู้ร่วมวิจัย
จิราภรณ์ นันทะจันทร์	ผู้ร่วมวิจัย

กลุ่มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ร่วมกับ

กลุ่มอากาศ เสียง และความสันสะเทือน

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

บทคัดย่อ

ระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าที่พัฒนาขึ้น มีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อน (HI) ที่คำนวณจากข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้า และค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน (PM10) จากแบบจำลอง The Weather Research Forecast (WRF-Chem) โดยระบบดังกล่าวจะนำเข้าข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนและความเข้มข้นของ PM10 ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน จำนวน 112 สถานีในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือตอนบน และแสดงผลในแผนที่ google map หน้าเว็บไซต์ <http://www.tccnprogram.webgraphicdesignerthailand.com/> โดยแบ่งเกณฑ์การเตือนภัยด้วยค่า HI และ PM10 ออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้ (1) ระดับเฝ้าระวัง (HI 27-32 °C และ PM10 0-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (2) ระดับเตือนภัย (HI 32-41 °C และ PM10 50-120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (3) ระดับอันตราย (HI 41-54 °C และ PM10 121-350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ (4) ระดับอันตรายมาก (HI > 54 °C และ PM10 > 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ผลการทดสอบความแม่นยำของค่าพยากรณ์ HI และ PM10 ด้วยการเปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดจริงจากสถานีอุตุนิยมวิทยา 9 สถานี และสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 6 สถานี พบว่าค่าพยากรณ์ HI ล่วงหน้า 1 วัน มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error; RMSE) ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Error; MAE) และความเอนเอียง (Bias) เท่ากับ 2.8 2.4 และ -1.9 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และสามารถนำไปใช้สื่อสารในพื้นที่ได้ในขณะที่ค่าพยากรณ์ PM10 ล่วงหน้า 1 วัน มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงมากจนกระทั่งไม่สามารถนำไปเตือนภัยในพื้นที่ได้ (RMSE เท่ากับ 799 MAE เท่ากับ 519 และ Bias เท่ากับ -515 ตามลำดับ) ทั้งนี้ อาจมีสาเหตุเนื่องจากข้อมูลเบื้องต้นที่นำเข้าเป็นฐานข้อมูลระดับประเทศและภูมิภาคซึ่งมีความละเอียดและความแม่นยำไม่เพียงพอกับพื้นที่ศึกษาที่ลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศมีความสลับซับซ้อน จากการทดลองพยากรณ์ PM10 ด้วยโมเดลทางสถิติเบื้องต้นที่ใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอนุกรมข้อมูลรายวันในช่วง 3 เดือนก่อนหน้านั้น พบว่า ให้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ที่ใกล้เคียงกับค่าการตรวจวัดของวันนั้นๆ มากกว่าแบบจำลอง WRF-Chem และสามารถนำมาใช้งานในระดับพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม (RMSE เท่ากับ 40.4 MAE เท่ากับ 26.6 และ Bias เท่ากับ 2.6 ตามลำดับ)

ค่าพยากรณ์ HI และค่าพยากรณ์ PM10 จากโมเดลทางสถิติซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควัน ที่แปลงเป็นชุดข้อมูลข่าวสารเตือนภัยในรูปแบบของสื่อต่างๆ ดังนี้ (1) Info Graphic รายงานค่าพยากรณ์ HI และ PM10 ล่วงหน้า (2) แผ่นป้ายพยากรณ์ HI และ PM10 ล่วงหน้า และ (3) บทความเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารเตือนภัยผ่านหอกระจายเสียงและวิทยุชุมชน ได้ถูกทดลองใช้งานในพื้นที่อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา ผลการศึกษา พบว่า สื่อทั้ง 3 ชนิด

มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้สื่อสารข้อมูลเตือนภัยในระดับชุมชน เนื่องจากใช้ภาษาที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจของผู้ใช้งานแต่ละระดับ เนื้อหาและรูปภาพประกอบมีสัดส่วนเหมาะสม เลือกใช้สีกระตุ้นความสนใจ ออกแบบสัญลักษณ์แสดงความรู้สึกได้ชัดเจนทำให้สื่อสารกับประชาชนได้สะดวก มีการอัปเดตข้อมูลอย่างต่อเนื่องและสามารถนำเสนอข้อมูลได้รวดเร็วทันต่อสถานการณ์ สำหรับกลไกการดำเนินงานผ่านหน่วยงานของกระทรวงสาธารณสุขในพื้นที่และผู้นำชุมชนผ่าน line application นับเป็นช่องทางการสื่อสารที่สะดวก รวดเร็ว ชัดเจน และเข้าใจง่าย ดังนั้น สื่อ กลไกการดำเนินงาน และช่องทางการสื่อสารข้อมูลที่นำมาทดลองใช้ในพื้นที่นำร่องสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นได้ อย่างไรก็ตาม จากการพัฒนาระบบเตือนภัยฯ และทดลองสื่อสารข้อมูลจากระบบดังกล่าวในพื้นที่ที่มีข้อเสนอแนะว่า ควรมีการพัฒนาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเครื่องมือติดตามและแจ้งเตือนสถานการณ์ ความร้อนระดับชุมชน การพยากรณ์หมอกควันด้วยเทคนิคทางสถิติ และแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานผ่านโทรศัพท์มือถือ เพื่อช่วยให้หน่วยงานในพื้นที่และชุมชนมีเครื่องมือที่ใช้ในการตั้งรับและปรับตัวต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและหมอกควันได้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ดัชนีความร้อน ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน เกณฑ์ระดับการเตือนภัย ระบบเตือนภัย การสื่อสารข้อมูลเตือนภัย

Abstract

This study has developed the heat haze early warning system. The system developed has 2 main components which are the forecasted heat index (HI) calculated from the forecasted values of temperature and relative humidity and the forecasted concentration of particulate matter less than 10 micron (PM10) simulated by The Weather Research and Forecasting Model with Chemistry (WRF-Chem), respectively. The system will import the forecasted HI and PM10 concentration data for next 1 day, 3 days and 5 days at the selected 112 stations in 9 provinces over the upper part of northern Thailand. The forecasted HI and PM10 data have been classified into four warning levels which are 1) caution level (HI=27-32 °C and PM10=0-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 2) warning level (HI=32-41 °C and PM10=50-120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 3) danger levels (HI= 41-54 °C and PM10=121-350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), and 4) extreme danger level (HI> 54 °C and PM10 > 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), respectively. These data are displayed on the google map at the web page of <http://www.tccnprogram.webgraphicdesignerthailand.com/>.

Verification of forecasted HI and PM10 data with observed data from nine meteorological stations and six air quality monitoring stations showed that the forecasted next 1-day HI had acceptable values of the averages of Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and Bias (2.8, 2.4 and -1.9, respectively). These results indicate that the forecasted HI can be used to translate to climate information for warning at community level. Whereas, the forecasted next 1-day PM10 had so substantial error (RMSE, MAE, and Bias=799, 519, and -515, respectively) that cannot be used to warn at community level. One reason may be due to the coarse input data that cannot capture complex geographical and climate settings in the upper part of northern Thailand. However, initial development of forecasted next 1-day PM10 concentration using a statistical model based on the observed PM10 data from monitoring stations found that the forecasted next 1-day values were closer to the measured values of that day (RMSE, MAE, and Bias=40.4, 26.6, and 2.6, respectively) than the values simulated by the WRF-Chem model. This indicates that a statistical model constructed from observed data has a potential as a simple tool for forecasted information used to warn at the local level.

The final product of the heat haze early warning system in the form of the forecasted HI and PM10 values from statistical models was translated into heat and haze warning information in various formats of media such as: 1) Info Graphic of forecasted HI and PM10 values 2) information boards for HI and PM10 and 3) announcement of warning information via the broadcasting tower and community radio. They were used in the pilot area of the Mae Chai District, Payao Province. The study found that all 3 types of media were suitable for communication with warning information to residents in the local community. Due to easy language used, the residents could clearly understand. The content and accompanying images were properly balanced. Selected colors could stimulate their interest. The symbol design shows feelings clearly, making it easy to communicate with people. Moreover, forecasted data are continuously updated, and the data can be presented quickly in time.

Communication via line application through the organization network of Ministry of Public Health in the pilot area as an implementation mechanism is a convenient, fast, clear, and easy to understand. The communication channel of forecasted information tested in the pilot study can be therefore applied to other areas. However, further development should be made this tool more convenient for community to monitor heat and haze forecasting by further applying statistical techniques. Development of this tool as an application that can be used via mobile phone will help agencies and communities in the local area having an efficient and smart tool in preventing and adapting to climate change-related heat and haze.

Keywords: heat index, particulate matter less than 10 micron, warning system, data communication

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการพัฒนาระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะทำงานทุกท่าน และเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกให้แก่คณะผู้วิจัย นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่ใจ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ทั้ง 9 แห่ง ในอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา ภาคประชาชนในพื้นที่ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินการในโครงการฯ ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรมอนามัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สื่อและเอกสารที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัย หวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะประโยชน์ต่อประชาชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และขอขอบคุณ ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ที่ให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยฯ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณคณะผู้วิจัยทุกๆ ท่าน ที่ร่วมกันดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย

กันยายน 2562

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(1)
บทคัดย่อภาษาไทย	(2)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพ	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 คำถามการวิจัย	4
1.5 ขั้นตอนการวิจัย	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ความร้อนและสภาพอากาศร้อนจัด	6
2.2 การประเมินและตรวจวัดความร้อนและสภาพอากาศร้อนจัด	8
2.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคลื่นความร้อน	14
2.4 ผลกระทบต่อสุขภาพจากคลื่นความร้อน	20
2.5 สถานการณ์และปัญหาหมอกควันในประเทศไทย	26
2.6 การพยากรณ์สถานการณ์หมอกควันด้วยแบบจำลอง WRF-Chem	36
2.7 ระบบเตือนภัยสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน	44
2.8 เกณฑ์การเตือนภัยความร้อนและหมอกควัน	57
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	68
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	77
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย	77
3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	81
3.3 พื้นที่ดำเนินการวิจัย	86
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	87
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	89

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	91
4.1 แหล่งข้อมูลนำเข้าสำหรับพยากรณ์ดัชนีความร้อน	91
4.2 ระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า	95
4.3 เกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน	108
4.4 การทวนสอบความแม่นยำของค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควัน	113
4.5 การใช้งานระบบเตือนภัยในพื้นที่นำร่อง (อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา)	121
4.6 การปรับแก้ระบบเตือนภัยหลังทดลองใช้งาน	134
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	143
5.1 สรุปผลการวิจัย	143
5.2 ข้อเสนอแนะ	144
เอกสารอ้างอิง	147
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แหล่งข้อมูลการพยากรณ์สภาพอากาศล่วงหน้า	159
ภาคผนวก ข ตำแหน่งพิกัดระดับอำเภอ	176

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ดัชนีความร้อนที่ใช้ติดตามและศึกษาค้นหาความร้อนในพื้นที่ต่างๆ (แยกออกเป็น 2 ประเภท)	9
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณธงสี ดัชนีความร้อน ระยะเวลาการฝึกและการดื่ม	11
2.3 ค้นหาค้นหาที่เกิดขึ้นในภูมิภาคเอเชียในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2000-2018	16
2.4 โรคที่สัมพันธ์กับความร้อน อาการ อาการแสดง และกลไก รวมทั้งการจัดการ	24
2.5 จำนวนวันที่มีค่า PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงเกินค่ามาตรฐานของ WHO (50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ เปรียบเทียบระหว่างปี 2557, 2558 และ 2559	34
2.6 การประมาณจำพวกทางเคมีของกลไก MOZART ไปยังกลไกอื่น ๆ	43
2.7 เกณฑ์การเตือนภัยความร้อนและสุขภาพ	58
2.8 เกณฑ์การเตือนภัยสุขภาพจากความร้อนของประเทศไทยของกรมอนามัย	63
2.9 WHO AQGs and Interim Targets ค่าเฉลี่ย PM10 ใน 24 ชั่วโมง	64
2.10 กำหนดค่าเป้าหมายผลกระทบต่อสุขภาพจาก PM10	66
2.11 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศสิงคโปร์ มาเลเซีย และบรูไน (PSI หรือ API)	67
4.1 สรุปคุณลักษณะของเว็บไซต์พยากรณ์อากาศ	94
4.2 ผลการทดสอบข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อน ล่วงหน้า 1 วัน กับค่าดัชนีความร้อนที่คำนวณจากอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ตรวจวัดจากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา	114
4.3 ผลการทดสอบข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อน ล่วงหน้า 3 วัน กับค่าดัชนีความร้อนที่คำนวณจากอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ตรวจวัดจากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา	115
4.4 ผลการทดสอบข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อน ล่วงหน้า 1 วัน กับค่าดัชนีความร้อนที่คำนวณจากอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ จากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (RC-4HC) ในพื้นที่	117
4.5 ผลการทดสอบข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อน ล่วงหน้า 3 วัน กับค่าดัชนีความร้อนที่คำนวณจากอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ จากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (RC-4HC) ในพื้นที่	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.6 ผลการทวนสอบข้อมูลพยากรณ์ PM10 ล่วงหน้า 1 วัน กับข้อมูล PM10 ที่ตรวจวัดจากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ	119
4.7 ผลการทวนสอบข้อมูลพยากรณ์ PM10 ล่วงหน้า 3 วัน กับข้อมูล PM10 ที่ตรวจวัดจากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ	119
4.8 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของค่าพยากรณ์ PM10 จากแบบจำลอง WRF-Chem และโมเดลทางสถิติ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดที่สถานีจังหวัดพะเยา	133
4.9 เกณฑ์ระดับการเตือนภัย	135
4.10 การปรับสัญลักษณ์และแฝงความหมายเชิงสัญลักษณ์	135
4.11 โครงสร้างการให้บริการข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควัน ระดับจังหวัด ล่วงหน้า 1 วัน	139

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1.1	ขั้นตอนการดำเนินงานในภาพรวมของการวิจัย	5
2.1	Heat Index Chart	12
2.2	Heat Index Chart	13
2.3	KKP Heat Index Model	14
2.4	ลักษณะของคลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2003 ด้วยค่าผิดปกติของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมจากค่าเฉลี่ย ในช่วงปี ค.ศ. 1961-1990	15
2.5	การแจกแจงความถี่ของอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงฤดูร้อนระหว่างปี ค.ศ. 1864-2003 ในประเทศสวีตเซอร์แลนด์	15
2.6	จำนวนการเกิดเหตุการณ์คลื่นความร้อนรวมรายปีของโลกที่บันทึกในฐานข้อมูล Emergency Events Database (EM-DAT) ของ The International Disaster Database	18
2.7	การเกิดคลื่นความร้อนในประเทศอินเดีย	20
2.8	กลไกการตอบสนองของร่างกายต่อความร้อน	21
2.9	ปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อน	22
2.10	ปริมาณฝุ่นละออง PM10 เฉลี่ยรายปี 2561 และแนวโน้มปริมาณ PM10 พ.ศ. 2551-2561	30
2.11	ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในพื้นที่กรุงเทพฯ ปี 2559-2562	31
2.12	ผลการตรวจวัดฝุ่นละออง PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในพื้นที่ ตำบลหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี ปี 2560-2561	31
2.13	ปริมาณฝุ่นละออง PM10 เฉลี่ยรายปี ปี 2551-2561	32
2.14	ปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 เฉลี่ยรายปี ปี 2554-2561	32
2.15	ร้อยละของจำนวนวันที่พบปริมาณ PM10 เกินค่ามาตรฐาน ช่วงเดือนมกราคม-พฤษภาคม เปรียบเทียบปี พ.ศ. 2557 และ ปี พ.ศ. 2558	33

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.9 เครื่องวัดดัชนีความร้อนในภาคสนาม	87
3.10 เครื่องคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง	88
3.11 เครื่องตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา	88
4.1 เกณฑ์การคัดเลือกแหล่งข้อมูลพยากรณ์อากาศ	91
4.2 โครงสร้างระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า	95
4.3 ตัวอย่างคำสั่ง PHP ที่ใช้สำหรับดาวน์โหลดข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้า	96
4.4 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ดาวน์โหลด	97
4.5 ชุดคำสั่งสำหรับคำนวณดัชนีความร้อน	98
4.6 ตัวอย่างผลการคำนวณดัชนีความร้อนในฐานข้อมูล MySQL	98
4.7 การกำหนดรายชื่อและพิกัดทางภูมิศาสตร์	99
4.8 ฐานข้อมูลพยากรณ์ PM10	99
4.9 ตัวอย่างชุดคำสั่งตรวจสอบข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ	101
4.10 ข้อมูลแนะนำและคำอธิบายสรุปที่มาและความสำคัญของระบบเตือนภัยฯ	102
4.11 ตำแหน่งพิกัดของอำเภอทั้ง 112 อำเภอ 9 จังหวัด	102
4.12 การดาวน์โหลดข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และดัชนีความร้อน	103
4.13 หน้าจอหลักแสดงโครงสร้าง ระดับผลกระทบ และเกณฑ์การเตือนภัย	105
4.14 แบนเนอร์สำหรับเข้าถึงระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า	106
4.15 หน้าจอแสดงผลดัชนีความร้อน หมอกควัน และดัชนีความร้อนร่วมกับหมอกควัน	107
4.16 ระดับผลกระทบต่อสุขภาพ	108
4.17 การป้องกันอันตรายจากมลพิษหมอกควันและการเผาในที่โล่ง	109
4.18 การประชุมรับฟังข้อเสนอแนะต่อการพัฒนาเกณฑ์การเตือนภัย และผลกระทบต่อสุขภาพ	111
4.19 ระดับค่าดัชนีความร้อน ปริมาณ PM10 ระดับความเสี่ยงและผลกระทบต่อสุขภาพ	113
4.20 เกณฑ์การเตือนภัยของระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า	113
4.21 แสดงค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 1 วัน จากสถานีของ กรมอุตุนิยมวิทยา	115
4.22 แสดงค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 3 วัน จากสถานีของ กรมอุตุนิยมวิทยา	116

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.23 แสดงค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 1 วัน จาก เครื่องตรวจวัด อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	118
4.24 แสดงค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 3 วัน จาก เครื่องตรวจวัด อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	118
4.25 แสดงค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 1 วัน จากสถานีของ กรมควบคุมมลพิษ	120
4.26 แสดงค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 3 วัน จากสถานีของ กรมควบคุมมลพิษ	120
4.27 โปสเตอร์ infographic รายงานสถานการณ์ความร้อนและ PM10 ล่วงหน้า	123
4.28 แผ่นป้ายพยากรณ์สถานการณ์ความร้อนและ PM10	124
4.29 Template บทความเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารความร้อนและ PM10 ที่ผู้นำชุมชนในอำเภอแม่ใจใช้ประชาสัมพันธ์ผ่านหอกระจายเสียงและวิทยุชุมชน	126
4.30 โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในอำเภอแม่ใจ จำนวน 9 แห่ง	128
4.31 โครงสร้างการดำเนินงานในภาพรวมการดำเนินงานสื่อสารเตือนภัยความร้อน และหมอกควัน	128
4.32 กลไกและขั้นตอนการดำเนินงานสื่อสารข้อมูลเตือนภัย	129
4.33 การประชุมวางแผนการดำเนินงานร่วมกับเจ้าหน้าที่สำนักงานสาธารณสุข อำเภอแม่ใจ	130
4.34 การปรับเข้มแสดงระดับค่าดัชนีความร้อนและหมอกควัน	130
4.35 การสื่อสารข้อมูลเตือนภัยความร้อนและหมอกควันโดยอาสาสมัครสาธารณสุข หมู่บ้านหรือผู้นำชุมชน	131
4.36 การสื่อสารให้ความรู้และรณรงค์ส่งเสริมการป้องกันภัยจากความร้อนและหมอกควัน	131
4.37 ค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 1 วัน จากสถานีของ กรมควบคุมมลพิษ จังหวัดพะเยา	133
4.38 ค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 3 วัน จากสถานีของ กรมควบคุมมลพิษ จังหวัดพะเยา	134
4.49 การปรับเปลี่ยนสัญลักษณ์ในส่วนของคำอธิบายในหน้าจอแสดงผลพยากรณ์ และแผนที่ Google map	136

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
4.40	เมนูพยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควันรายจังหวัด 1 วันล่วงหน้า	137
4.41	ข้อมูลดัชนีความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า 1 วัน (เฉลี่ยรายจังหวัด	138
4.42	การค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า 1 วัน ระดับจังหวัด	138
4.43	แสดงข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และดัชนีความร้อนเฉลี่ยรายจังหวัด	140
4.44	การดาวน์โหลดข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และดัชนีความร้อน เฉลี่ยรายจังหวัดย้อนหลัง	140
4.45	แสดงข้อมูลปริมาณ PM10 เฉลี่ยรายจังหวัด (ไม่มีข้อมูล เนื่องจากระบบ WRF ไม่ทำงาน)	141
4.46	การดาวน์โหลดข้อมูล PM10 เฉลี่ยรายจังหวัดย้อนหลัง	141
4.47	ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ดัชนีความร้อนเฉลี่ย และปริมาณ PM10 เฉลี่ยรายจังหวัด	142
4.48	การดาวน์โหลดอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ดัชนีความร้อนเฉลี่ย และ PM10 เฉลี่ยรายจังหวัดย้อนหลัง	142
5.1	ระบบเฝ้าระวังการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อนและหมอกควัน	146

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

คลื่นความร้อน (Heatwave) และสภาวะสุดขีดของความร้อน (Extreme Heat) นับเป็นผลพวงที่สำคัญจากภาวะโลกร้อน ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของประชาชนในหลายประเทศ (IPCC, 2012; Smith et al., 2014; WMO and WHO, 2015) จากรายงานการประเมินของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) ระบุว่า เหตุการณ์คลื่นความร้อนและสภาวะสุดขีดของความร้อนในช่วงครึ่งหลังของศตวรรษที่ 20 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในหลายภูมิภาคของโลก ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นควบคู่กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก (IPCC, 2013) นอกจากนี้แบบจำลองทางภูมิอากาศหลายๆ แบบจำลองยังบ่งชี้ไปในทิศทางเดียวกันว่าในศตวรรษที่ 21 เหตุการณ์ดังกล่าวข้างต้นจะทวีความรุนแรง มีความถี่ของการเกิดเพิ่มขึ้นและระยะเวลาของการเกิดยาวนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ (IPCC, 2013)

สภาวะสุดขีดของความร้อนมักเกิดขึ้นพร้อมๆ กับช่วงเวลาที่เกิดมลพิษทางอากาศอื่นๆ ซึ่งทั้งสองเหตุการณ์นี้มีความเชื่อมโยงและปฏิสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดและช่วยเสริมผลกระทบ (Synergistic Effect) ซึ่งกันและกันที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและความเจ็บป่วยของประชาชนให้มีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นหลายเท่าตัว (Harlan and Ruddell, 2011; Cheng and Kan, 2012; Shaposhnikov et al., 2014; WMO and WHO, 2015) ผลการศึกษาของ Paul et al. (2004) ระบุว่าช่วงที่เกิดคลื่นความร้อนครั้งใหญ่ในทวีปยุโรปช่วงฤดูร้อนปี ค.ศ. 2003 จำนวนผู้เสียชีวิตในประเทศเนเธอร์แลนด์ มีความสัมพันธ์กับมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะก๊าซโอโซนและปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ในสัดส่วน 400-600 ราย จากจำนวนผู้เสียชีวิตเฉลี่ย การศึกษาของ Analitis et al. (2014) พบว่า ผลกระทบจากคลื่นความร้อนส่งผลกระทบต่อสุขภาพจากการเสียชีวิตจากโรคหัวใจและโรคหลอดเลือด โดยเฉพาะกลุ่มผู้สูงอายุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวันที่ก๊าซโอโซนและ PM10 มีความเข้มข้นสูง นอกจากนี้ ในปี ค.ศ. 2010 เหตุการณ์คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นยาวนานถึง 44 วัน ร่วมกับมลพิษทางอากาศจากไฟป่าส่งผลให้ปริมาณ PM10 สูงกว่า 300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในกรุงมอสโก ประเทศรัสเซีย ได้ส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 2,000 คน (Shaposhnikov et al., 2014) ในส่วนของประเทศไทย อัครมน ลิ้มสกุล และคณะ (2558) ได้รายงาน ว่า ดัชนีความร้อน (Heat Index) ในภาคเหนือของประเทศไทยมีค่าสูงสุดในรอบปีตรงกับช่วงที่เกิดปัญหาหมอกควัน ซึ่งเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นประจำทุกปี (Sooktawee et al., 2015; อัจฉริย์ ทิพนธธรณินทร์, 2558) ทั้งนี้ สภาพอากาศร้อนจัดที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กับความรุนแรงของสถานการณ์หมอกควัน

ยอมเพิ่มระดับความเสี่ยงด้านสุขภาพและการเจ็บป่วยที่มีอยู่เดิมจากมลพิษจากหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือให้มีความรุนแรงมากขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมให้มีความซับซ้อนมากขึ้น

ในปี พ.ศ. 2557-2558 กลุ่มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และกลุ่มอากาศ เสียง และความสิ้นสะท้อน ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้ดำเนินงานวิจัย 2 เรื่อง คือ (1) การพัฒนาดัชนีความร้อนและการประยุกต์ใช้ศึกษาค้นคว้าความร้อนในประเทศไทย และ (2) ดำเนินการพัฒนาจัดตั้งระบบแบบจำลอง Weather Research and Forecasting Model (WRF-Chem) สำหรับทำนายปริมาณ PM10 ล่วงหน้า ซึ่งผลผลิตที่ได้จากโครงการทั้ง 2 นั้น ประกอบด้วย โปรแกรมประมวลผลดัชนีความร้อนอย่างง่ายเพื่อใช้ติดตามสถานการณ์ดัชนีความร้อนของประเทศไทย และข้อมูลพยากรณ์ปริมาณ PM10 ล่วงหน้า ทั้งนี้ ผลผลิตจากโครงการวิจัยดังกล่าว นับเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่สามารถพัฒนาเพิ่มเติมให้เป็นระบบเตือนภัยด้านสุขภาพจากความร้อน (Heat-Health Early Warning System) ได้หากนำข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และหมอกควัน ล่วงหน้าในคาบเวลา 1 ถึง 5 วัน รวมทั้งข้อมูลผลกระทบต่อสุขภาพที่เกี่ยวข้องเข้ามาผนวกไว้ด้วยกัน ดังนั้น การศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาระบบเตือนภัยล่วงหน้าจากทั้งสภาวะสุดขีดของความร้อนและมลพิษทางอากาศ จึงเป็นประเด็นสำคัญที่ควรเร่งดำเนินการ เพื่อช่วยลดผลกระทบต่อความสูญเสียทั้งชีวิต และทรัพย์สิน รวมทั้งเพิ่มมาตรการตั้งรับและปรับตัวให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ได้ระบุตามความตกลงปารีส (Paris Agreement) ซึ่งเป็นข้อตกลงฉบับใหม่ในการยกระดับการดำเนินงานการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกหลังปี ค.ศ. 2020 (UNFCCC, 2016)

ดังนั้น เพื่อเป็นการขยายผลและต่อยอดงานวิจัยที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้ดำเนินการไว้แล้วและเป็นการพัฒนางานวิจัยเชิงบูรณาการเพิ่มเติมในประเด็นความร้อนและหมอกควัน ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญทั้งในปัจจุบันและอนาคตของประเทศไทย คณะผู้วิจัยจึงได้ดำเนินโครงการพัฒนาระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้การจัดการทั้งปัญหาความร้อนและหมอกควันในระดับจังหวัด และชุมชนในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงได้รับผลกระทบจากทั้งสองเหตุการณ์ในเวลาเดียวกันได้อย่างเป็นรูปธรรม อีกทั้งยังช่วยลดอัตราการเจ็บป่วย การตาย และการสูญเสียจากปัญหาความร้อนและหมอกควันได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษานี้ ยังครอบคลุมถึงการพัฒนารูปแบบ และวิธีการสื่อสารข้อมูลการเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า พร้อมทั้งพัฒนาระบบเฝ้าระวังการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อนและหมอกควันผ่านการมีส่วนร่วมของชุมชน

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาและจัดทำระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

1.2.2 เพื่อทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าที่พัฒนาขึ้นในพื้นที่

1.2.3 เพื่อพัฒนารูปแบบและวิธีการสื่อสารข้อมูลการเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าในระดับชุมชน พร้อมทั้งพัฒนาระบบเฝ้าระวังการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อนและหมอกควัน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยภายใต้โครงการนี้ เป็นการวิจัยเชิงบูรณาการที่นำผลการศึกษาที่ได้ดำเนินการไว้แล้วมาศึกษาต่อยอด เพื่อพัฒนาระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า บนพื้นฐานโจทย์วิจัยของเหตุการณ์ที่มีความคาบเกี่ยวและมักเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ซึ่งการดำเนินงานวิจัย มีขอบเขตหลักๆ ดังนี้

1.3.1 การพัฒนาและจัดทำระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยประยุกต์ใช้กรอบแนวคิด Heat waves and health: Guidance on warning system development ขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลกและองค์การอนามัยโลก (WMO and WHO, 2015) เป็นกรอบหลักในการพัฒนาและจัดทำระบบเตือนภัยล่วงหน้า โดยระบบจะนำเข้าผลการพยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควันผนวกเข้าด้วยกัน

1.3.2 การทดสอบการทำงานของระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าที่พัฒนาขึ้น ด้วยการทดลองนำไปใช้งานในพื้นที่นาร่องบริเวณภาคเหนือตอนบน โดยผลการพยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควันจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดอากาศผิวพื้นกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ และเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่

1.3.3 การพัฒนารูปแบบและวิธีการสื่อสารข้อมูลการเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าในระดับชุมชน เป็นการนำผลการเตือนภัยจากระบบที่พัฒนาขึ้น ไปประยุกต์ใช้และจัดทำเป็นข้อมูลข่าวสารเตือนภัยที่ง่ายต่อการสื่อสารและการสร้างความรู้ความเข้าใจแก่ประชาชนในพื้นที่ พร้อมทั้งการออกแบบและพัฒนาระบบเฝ้าระวังการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อนและหมอกควัน

1.4 คำถามการวิจัย

1.4.1 ระบบเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับความร้อนและหมอกควันในกรณีของภาคเหนือตอนบน ควรมีลักษณะเช่นใด ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญอะไรบ้าง

1.4.2 การทำงานและประสิทธิภาพของระบบเตือนภัยล่วงหน้าที่พัฒนาขึ้นในพื้นที่เป็นอย่างไร และการสื่อสารข้อมูลเตือนภัยล่วงหน้าให้กับชุมชนควรมีรูปแบบและกลไกอย่างไร

1.4.3 รูปแบบและวิธีการสื่อสารข้อมูลการเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าในระดับชุมชน ระบบเฝ้าระวังการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อนและหมอกควันที่เหมาะสมควรเป็นอย่างไร

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนาระบบเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับความร้อนและหมอกควันในกรณีของภาคเหนือตอนบน มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

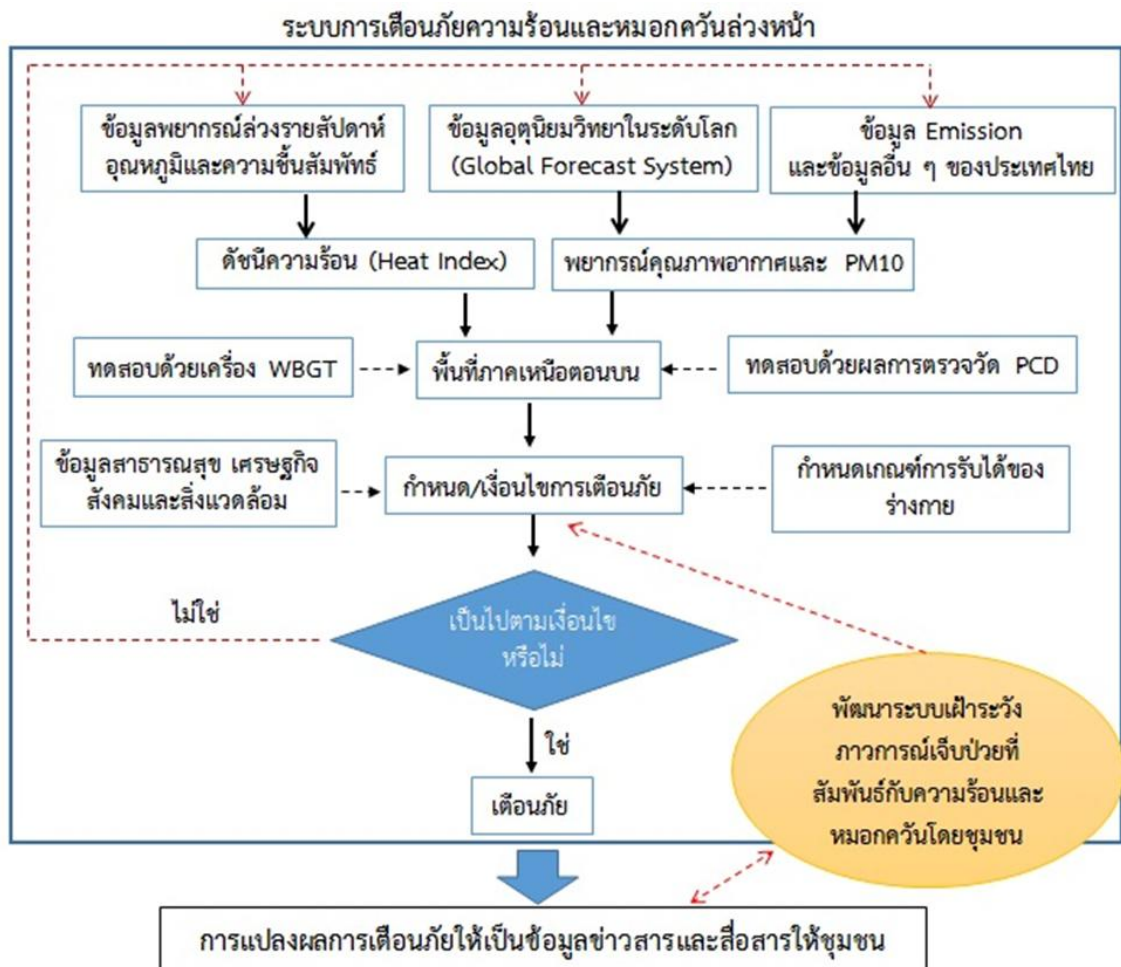
1.5.1 การคัดเลือกแหล่งข้อมูลและข้อมูลนำเข้า ทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความร้อนและหมอกควัน เพื่อใช้สำหรับจัดทำระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า

1.5.2 การพัฒนาระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า ด้วยการใช้ข้อมูลพยากรณ์อากาศและคุณภาพอากาศล่วงหน้า โดยกำหนดเงื่อนไขเกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน การออกแบบโครงสร้างของระบบเตือนภัยด้วยการนำข้อมูลจาก 2 ส่วน คือ ข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนและข้อมูลคุณภาพอากาศและมลพิษจากหมอกควันที่พยากรณ์ล่วงหน้า

1.5.3 การจัดทำเกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน ด้วยวิธีการทบทวนเอกสารงานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเกณฑ์ระดับการเตือนภัยความร้อนและหมอกควันจากหน่วยงานต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

1.5.4 การทดสอบการทำงานของระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน เป็นการนำระบบเตือนภัยล่วงหน้าที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้งานจริงในพื้นที่นำร่องเพื่อทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของแต่ละองค์ประกอบของระบบเตือนภัยล่วงหน้าว่ามีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด

1.5.5 การพัฒนารูปแบบและวิธีการสื่อสารข้อมูลการเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าในระดับชุมชน เป็นลักษณะของการนำผลการเตือนภัยจากระบบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้และจัดทำเป็นข้อมูลข่าวสารเตือนภัยที่ง่ายต่อการสื่อสารและการเข้าใจของประชาชน พร้อมทั้งพัฒนาระบบเฝ้าระวังการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อนและหมอกควัน ทั้งนี้ ขั้นตอนการดำเนินงานในภาพรวมดังแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานในภาพรวมของการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 องค์กรความรู้ด้านการพัฒนาระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า
- 1.6.2 ระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควัน 1 วัน 3 วัน และ 5 วันล่วงหน้า สำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบน
- 1.6.3 ข้อมูลเกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน
- 1.6.4 รูปแบบและวิธีการสื่อสารข้อมูลการเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าในระดับชุมชน
- 1.6.5 ระบบเฝ้าระวังการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อนและหมอกควันในระดับชุมชน

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความร้อนและสภาพอากาศร้อนจัด

ความร้อนและสภาพอากาศร้อนจัดที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหลาย ๆ วัน หรือรู้จักกันในนาม คลื่นความร้อน นับเป็นสภาวะสุดขีดของความร้อน ซึ่งมีสาเหตุเกิดจากความแปรปรวนตามธรรมชาติของสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยสภาพอากาศร้อนจัดและสภาวะสุดขีดของความร้อนนี้ มีอิทธิพลอย่างใกล้ชิดต่อพื้นฐานการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์และเป็นประเด็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อระบบสุขภาพหรือสภาวะของประชาชนทั้งในลักษณะแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง สภาพอากาศที่ร้อนจัดในสภาวะที่ความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีค่าสูง มักส่งผลกระทบต่อระบบควบคุมอุณหภูมิของร่างกายและกระบวนการระบายความร้อนของร่างกาย ซึ่งอาจล้มเหลวและเป็นสาเหตุของการบาดเจ็บและเสียชีวิตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มผู้สูงอายุ คนยากจน และเด็กทารก ซึ่งเป็นกลุ่มประชากรที่มีขีดจำกัดของความสามารถและศักยภาพในการปรับตัวต่อสภาวะรุนแรงดังกล่าว (Kovats and Ebi, 2006; Pinacho and Velazquez, 2014; Gronlund et al., 2014; Smith et al., 2014; WMO and WHO, 2015)

คลื่นความร้อน เป็นปรากฏการณ์ที่ผู้คนในพื้นที่นั้นๆ รู้สึกว่าอากาศร้อนผิดปกติเป็นเวลานานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีนิยามและคำจำกัดความที่หลากหลายและแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาคและพื้นที่ (Meehl and Tebaldi, 2004) ตามปกติแล้ว นิยามของ “คลื่นความร้อน” ไม่สามารถระบุได้ว่าอุณหภูมิเท่าใดจึงจะเรียกว่าเป็นคลื่นความร้อน เนื่องจากแต่ละพื้นที่มีอุณหภูมิของอากาศแตกต่างกัน และลักษณะของคลื่นความร้อน จะขึ้นกับลักษณะอากาศปกติของพื้นที่นั้น โดยอุณหภูมิของอากาศในพื้นที่ที่มีอากาศร้อนปกติ อาจเป็นช่วงที่เกิดคลื่นความร้อนสำหรับพื้นที่ที่มีอุณหภูมิปกติค่อนข้างต่ำก็ได้ (นันทวัน สมสุข, 2559) คลื่นความร้อน คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดจากอากาศร้อนจัดสะสมอยู่บริเวณใดบริเวณหนึ่งบนแผ่นดินหรือพัดพามาจากกระแสลมแรงจากทะเลทรายเกิดเป็นคลื่นความร้อนทำให้เกิดความแปรปรวนของความร้อนในอากาศอุณหภูมิสูงกว่าปกติอยู่เป็นเวลาหลายวันหรือหลายสัปดาห์ ทั้งนี้ คลื่นความร้อนมีอันตรายร้ายแรงต่อชีวิตของมนุษย์ โดยส่งผลต่อร่างกายของมนุษย์ ตั้งแต่ระดับอ่อนเพลีย เหงื่อออกและเสียชีวิตด้วยโรคลมร้อน หรือ Heat Stroke (สำนักวิชาการ, 2559) องค์การอุตุนิยมวิทยาโลกและองค์การอนามัยโลกได้ให้คำจำกัดความคลื่นความร้อน หมายถึง อุณหภูมิความร้อนและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่สูงขึ้นอย่างผิดปกติ ซึ่งเกี่ยวข้องกับช่วงระยะเวลาจำนวนวันที่เกิดเหตุการณ์และส่งผลกระทบต่อดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดช่วงระยะเวลา 3 วัน หรือมากกว่า 3 วันติดต่อกัน ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 32 องศาเซลเซียส

(90 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นช่วงที่เกิดคลื่นความร้อน (Lau and Nath, 2012; NOAA, 2014) ในส่วนของประเทศเม็กซิโก กำหนดเกณฑ์ว่าคลื่นความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่อค่าอุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ในช่วงระยะเวลาติดต่อกัน 3 วัน หรือมากกว่า (Diaz and Lázaro, 2011) เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้ว คลื่นความร้อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ (1) คลื่นความร้อนที่มีสภาพอากาศแบบแห้ง ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับช่วงระยะเวลาที่ลักษณะสภาพอากาศสงบนิ่ง ท้องฟ้าโปร่งใส และรังสีดวงอาทิตย์ส่องลงมายังผืนแผ่นดินมากกว่าปกติ สภาพอากาศร้อนและแห้งอาจจะเกิดขึ้นพร้อมกับสภาพลมแรง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดสภาวะความเครียดให้แก่ประชาชนที่ได้รับผลกระทบเพิ่มมากขึ้น (WMO and WHO, 2010) คลื่นความร้อนแบบแห้ง มักเกิดขึ้นในสถานที่ที่มีลักษณะภูมิอากาศแบบภาคพื้นทวีป ทะเลเมดิเตอร์เรเนียนหรือสถานที่ที่มีอากาศอบอุ่นที่เกิดจากกระบวนการ adiabatic และ (2) คลื่นความร้อนแบบชื้น จะมีลักษณะที่ร้อนอบอ้าว มีความชื้นสูงตลอดทั้งกลางวันและกลางคืน และมักจะมีเมฆปกคลุม ลักษณะดังกล่าวทำให้ความร้อนที่สะสมมาตลอดทั้งวันสามารถระบายความร้อนออกได้เพียงเล็กน้อยในช่วงกลางคืน (WMO and WHO, 2010) โดยที่คลื่นความร้อนแบบชื้นมักเกิดขึ้นในบริเวณ mid-latitude และพื้นที่ชายฝั่งทะเล

สาเหตุการเกิดคลื่นความร้อนและสภาพอากาศร้อนจัด ในด้านอุตุนิยมวิทยาสามารถอธิบายได้ว่า คลื่นความร้อน เกี่ยวข้องกับการไหลเวียนของมวลอากาศแบบ quasi-stationary anticyclonic ที่ผิดปกติ ซึ่งมักจะส่งผลให้มวลอากาศอุ่นจมตัวลง ท้องฟ้าโปร่งใส และทำให้เกิดอากาศร้อนอบอ้าว บริเวณใกล้พื้นดินเป็นระยะเวลายาวนาน (Fischer et al., 2007; Barriopedro et al., 2011) และจากการไหลเวียนที่ผิดปกตินี้ ทำให้คลื่นความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกส่วนต่างๆ ของโลก ความผิดปกติพร้อมกันระหว่างมหาสมุทร พื้นดิน และบรรยากาศ อาจทำให้สภาพภูมิอากาศในระยะสั้นมีความผิดปกติ ซึ่งนำไปสู่การเกิดสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เช่น คลื่นความร้อนที่รุนแรงในทวีปเอเชียใต้ เกิดขึ้นช่วงต้นของฤดูร้อนก่อนที่จะเข้าสู่ฤดูมรสุมฤดูร้อน (อัศมน ลิมสกุล และคณะ, 2558) นอกจากนี้ การผันแปรตามวัฏจักรธรรมชาติเกิดขึ้นจากบริเวณความกดอากาศสูงของอากาศชั้นบนร่วมกับความกดอากาศสูงบริเวณพื้นผิวโลกเกิดการหยุดนิ่งครอบคลุมอาณาเขตแผ่กว้าง ซึ่งแบบแผนทางด้านอุตุนิยมวิทยาถือเป็นเรื่องความวิบัติของอากาศ โดยเป็นการเกิดปรากฏการณ์กลับกันจากสภาวะปกติ จึงเป็นเหตุให้คลื่นความร้อนก่อตัวขึ้น ส่งผลให้มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นพร้อมๆ กัน (สำนักวิชาการ, 2559)

คลื่นความร้อน นับเป็นภัยคุกคามทางภูมิอากาศที่แตกต่างจากภัยคุกคามทางภูมิศาสตร์อื่นๆ เช่น พายุต่างๆ ที่เกิดขึ้น ฝนฟ้าคะนอง และน้ำท่วม เป็นต้น คลื่นความร้อน สามารถส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อสังคม มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพชีวิต ความเป็นอยู่ และสุขภาวะของประชาชน ซึ่งสามารถนำไปสู่การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะสั้นของการเจ็บป่วยและเสียชีวิต (วุฒิชัย แพงแก้ว และคณะ, 2559) ผลการศึกษาที่ผ่านมา ระบุว่า เหตุการณ์คลื่นความร้อน

และสภาวะเครียดจากอากาศร้อนในช่วงหลังของศตวรรษที่ 20 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในหลายภูมิภาคของโลก ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นควบคู่กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก (Field et al., 2012; IPCC, 2013; IPCC, 2014) นอกจากนี้ แบบจำลองทางภูมิอากาศ ยังบ่งชี้ว่า คลื่นความร้อนในศตวรรษที่ 21 จะทวีความรุนแรงและมีความถี่ของการเกิดเพิ่มขึ้น รวมทั้งมีระยะเวลาของการเกิดที่ยาวนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องและเป็นไปตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศและสภาวะของระบบภูมิอากาศโลกที่มีความแปรปรวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลความร้อนจากปรากฏการณ์เรือนกระจก (Meehl and Tebaldi, 2004; Field et al., 2012; IPCC, 2013; IPCC, 2014) บนพื้นฐานของผลการศึกษามากมายในช่วงที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์ต่างเห็นพ้องต้องกันว่า คลื่นความร้อนและสภาวะเครียดจากอากาศร้อน จัดเป็นปัจจัยคุกคามที่สำคัญจากสภาวะโลกร้อนที่มีผลต่อสุขภาพและการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งกลายเป็นประเด็นที่ท้าทายในการกำหนดมาตรการตั้งรับและปรับตัว เพื่อช่วยลดผลกระทบและความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สิน (IPCC, 2014)

2.2 การประเมินและตรวจวัดความร้อนและสภาพอากาศร้อนจัด

ความร้อนหรือสภาพอากาศร้อนจัด เป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนซึ่งเป็นผลพวงที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ ระหว่างแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ความเร็วลมหรือการระบายอากาศ (WMO and WHO, 2015) ถึงแม้ว่า คลื่นความร้อน ยังไม่มีคำจำกัดความที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากลอย่างชัดเจน แต่เป็นที่เข้าใจกันโดยทั่วไปว่า คลื่นความร้อน เป็นช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิทั้งในช่วงกลางวันและกลางคืนมีค่าสูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ด้วยระยะเวลาการเกิดอย่างต่อเนื่องอย่างน้อยสองวันขึ้นไป การประเมินระดับความเครียดจากความร้อนและผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ มีหลากหลายวิธีซึ่งอาจแบ่งออกเป็นวิธีที่ง่าย และวิธีที่ซับซ้อน (Koppe et al., 2004; WMO and WHO, 2015) โดยเทคนิคส่วนใหญ่ อาศัยชุดข้อมูลดัชนีชีวอุตุนิยมวิทยาเชิงประจักษ์ ซึ่งมักขึ้นอยู่กับตัวแปรอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วมวลอากาศเพียงอย่างเดียว หรือผลรวมของตัวแปรดังกล่าวทั้งหมด หรือผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านสมดุลความร้อนระหว่างร่างกายและสิ่งแวดล้อมภายนอก เป็นเครื่องมือบ่งชี้ถึงสถานการณ์ ความถี่ ความรุนแรง ระยะเวลาการเกิดและแนวโน้มที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ (Robinson, 2001; Koppe et al., 2004; Anderson et al., 2013; WMO and WHO, 2015) ทั้งนี้ การเลือกวิธีที่ใช้ประเมินนั้น ขึ้นอยู่กับความพร้อมของข้อมูลและฐานข้อมูลที่มีอยู่ สำหรับข้อมูลที่ต้องการสำหรับการประเมินความเครียดจากความร้อน มักอาศัยข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเมืองและสนามบิน ซึ่งไม่ได้มีการจัดตั้งขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะเจาะจงด้านการติดตามผลกระทบด้านสุขภาพจากสภาพภูมิอากาศ ดังนั้น จำเป็นต้องเข้าใจข้อจำกัดของข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำมาประเมินการสัมผัสกับความร้อนและอากาศร้อนจัด (WMO and WHO, 2015) ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์และการคาดการณ์

ความร้อนบนพื้นฐานข้อมูลตรวจวัดอากาศ สามารถพิจารณาได้แค่เพียงการประมาณภาวะความร้อนที่เกิดขึ้นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของเมืองและสภาพสิ่งแวดล้อมในร่ม

เป็นที่ยอมรับทางวิชาการว่าข้อมูลอุณหภูมิอากาศเพียงตัวแปรเดียว ไม่เป็นตัวบ่งชี้ที่ดีต่อการประเมินความรู้สึกต่อความร้อนของมนุษย์ ดังนั้น Thermal Indices ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดัชนีที่คำนวณจากสองตัวแปร ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่ออธิบายสภาพและเงื่อนไขที่ซับซ้อนของการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างร่างกายมนุษย์และสภาพแวดล้อม (WMO and WHO, 2015) สำหรับพื้นที่ที่มีสภาพอากาศแบบอบอุ่น ดัชนีความร้อนมักประกอบด้วยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ดัชนีหนึ่งๆได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับงานศึกษาวิจัยด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม คือ Apparent Temperature (Ta) (Anderson et al., 2013) ซึ่งได้พัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Steadman (1979) โดยดัชนี Ta ได้ถูกพัฒนาและดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมต่อการประยุกต์ในพื้นที่มีลักษณะสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันอย่างต่อเนื่อง หลักการของดัชนี Ta คือ การแปลงสภาพอากาศปัจจุบัน (อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) ให้เป็นอุณหภูมิที่ทุกคนรู้สึกได้เหมือนกัน ในกรณีที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างมีค่าเท่ากับ 14.0 องศาเซลเซียส หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง Ta แปลงผลรวมของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เป็นสเกลเดียวกันซึ่งมีหน่วยเหมือนกันกับอุณหภูมิ (Anderson et al., 2013) ทั้งนี้ Ta ได้มีการพัฒนาเพื่อวัดความสะดวกสบายทางความร้อนมากกว่าเพื่อใช้ศึกษาสุขภาพของมนุษย์ อย่างไรก็ตาม Ta ได้กลายเป็นตัวชี้วัดการสัมผัสด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะรูปสมการการประมาณ Heat Index หรือดัชนีความร้อน (Anderson et al., 2013) ดัชนีชีวอุตุนิยมวิทยาที่มีอยู่ในปัจจุบันและถูกนำมาใช้โดย หน่วยงานระหว่างประเทศและหน่วยงานท้องถิ่นต่างๆ แบ่งออกเป็น ดัชนีชีวอุตุนิยมวิทยาอย่างง่ายและแบบจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ดัชนีความร้อนที่ใช้ติดตามและศึกษาค้นคว้าความร้อนในพื้นที่ต่างๆ (แยกออกเป็น 2 ประเภท)

ชื่อดัชนี	สมการ	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)

ตารางที่ 2.1 ดัชนีความร้อนที่ใช้ติดตามและศึกษาค้นหาความร้อนในพื้นที่ต่างๆ (แยกออกเป็น 2 ประเภท) (ต่อ)

ชื่อดัชนี	สมการ	อ้างอิง
2. Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)	$WBGT=0.7*Tw + 0.1*Ta + 0.2*Tg$ Tw=wet-bulb temperature Ta=dry-bulb temperature Tg=black globe temperature	Epetein and Moran (2006), Pradhan et al. (2013)
3. Discomfort Index (DI)	$DI=0.5*Tw + 0.5*Ta$ Tw=wet-bulb temperature Ta=dry-bulb temperature	Epetein and Moran (2006)
4. Modification of Steadman's Apparent Temperature (H)	$H= 16.923+ 0.185212*T+ 5.37941*RH - 20.100254*T*RH+9.4169 \times 10^{-3}*T^2 + 7.28898 \times 10^{-3}*R^2 + 3.45372 \times 10^{-4}*T^2*RH - 8.14971 \times 10^{-4}*T*RH^2 + 1.02102 \times 10^{-5}*T^2*RH^2 - 3.8646 \times 10^{-5}*T^3 + 2.91583 \times 10^{-5}*RH^3 + 1.42721 \times 10^6*T^3*RH + 1.97483 \times 10^{-7}*T*RH^3 - 2.18429 \times 10^{-8}*T^3*RH^2 + 8.43296 \times 10^{-10}*T^2*RH^3 - 4.81975 \times 10^{-11}*T^3*RH^3 + 0.5$ T: air temperature, RH: relative humidity	Robinson (2001), Pradhan et al. (2013)
5. Kyselý'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.	Kyselý (2002)
6. Apparent temperature (Ta)	$Ta = -1.3 + 0.92*T + 2.2*e$; water-vapor pressure	Gaffen and Ross (1998)

ตารางที่ 2.1 ดัชนีความร้อนที่ใช้ติดตามและศึกษาคลื่นความร้อนในพื้นที่ต่างๆ (แยกออกเป็น 2 ประเภท) (ต่อ)

ชื่อดัชนี	สมการ	อ้างอิง
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	Humidex = (air temperature) + h h = (0.5555) * (e-10.0); e=6.11* exp (5417.7530* ((1/273.16)- (1/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) T: air temperature, RH: relative humidity	WMO and 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)

ดัชนีความร้อน ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ติดตามสถานการณ์คลื่นความร้อนอย่างแพร่หลาย โดยข้อดีของดัชนีความร้อน คือ เมื่ออ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งแล้วสามารถทำการคำนวณผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองค่าเพื่อนำค่าผลต่างไปเทียบเป็นค่าดัชนีความร้อน ทั้งนี้ กรมแพทย์ทหารบก (2560) ได้นำค่าดัชนีความร้อนมาเปรียบเทียบเป็นสัญญาณธงสี สำหรับกำหนดปริมาณการดื่มน้ำและช่วงเวลาฝึกของหน่วยฝึกทหารใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณธงสี ดัชนีความร้อน ห้วงเวลาการฝึกและการดื่มน้ำ

สัญญาณธง	ดัชนีความร้อน (องศาเซลเซียส)	ปริมาณดื่มน้ำ (ลิตร/ ชั่วโมง)	เวลาใน 1 ชั่วโมง
ธงขาว	น้อยกว่า 27	อย่างน้อย ½ ลิตร (500 ซีซี)	ทำได้ต่อเนื่อง
ธงเขียว	27-32	อย่างน้อย ½ ลิตร (500 ซีซี)	ฝึก 50 นาที พัก 10 นาที
ธงเหลือง	33-39	อย่างน้อย 1 ลิตร (1,000 ซีซี)	ฝึก 45 นาที พัก 15 นาที
ธงแดง	40-51	อย่างน้อย 1 ลิตร (1,000 ซีซี)	ฝึก 30 นาที พัก 30 นาที
ธงดำ	มากกว่า 51	อย่างน้อย 1 ลิตร (1,000 ซีซี)	ฝึก 20 นาที พัก 40 นาที

ที่มา: ประกาศกรมแพทย์ทหารบก ณ วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2560

เพื่อให้ใช้งานได้อย่างสะดวกหน่วยงานต่างๆ ได้มีการพัฒนา Heat Index Chart แสดงค่าดัชนีความร้อนในช่วงของอุณหภูมิตั้งแต่ 26-43 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 40-100% โดยแบ่งระดับผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อร่างกายมนุษย์ตามช่วงค่าดัชนีความร้อนในระดับต่างๆ ด้วยสีที่แตกต่างกัน อัสมน ลิมสกุล และคณะ (2559) ได้เลือกใช้ดัชนีความร้อน ในการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับความร้อนและสภาวะเครียดจากความร้อนในประเทศไทย พร้อมทั้งได้มีการพัฒนา Heat Index Chart ที่แสดงค่าดัชนีความร้อน เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายขึ้น (ภาพที่ 2.1)

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

ภาพที่ 2.1 Heat Index Chart

ที่มา: อัสมน ลิมสกุล และคณะ (2559)

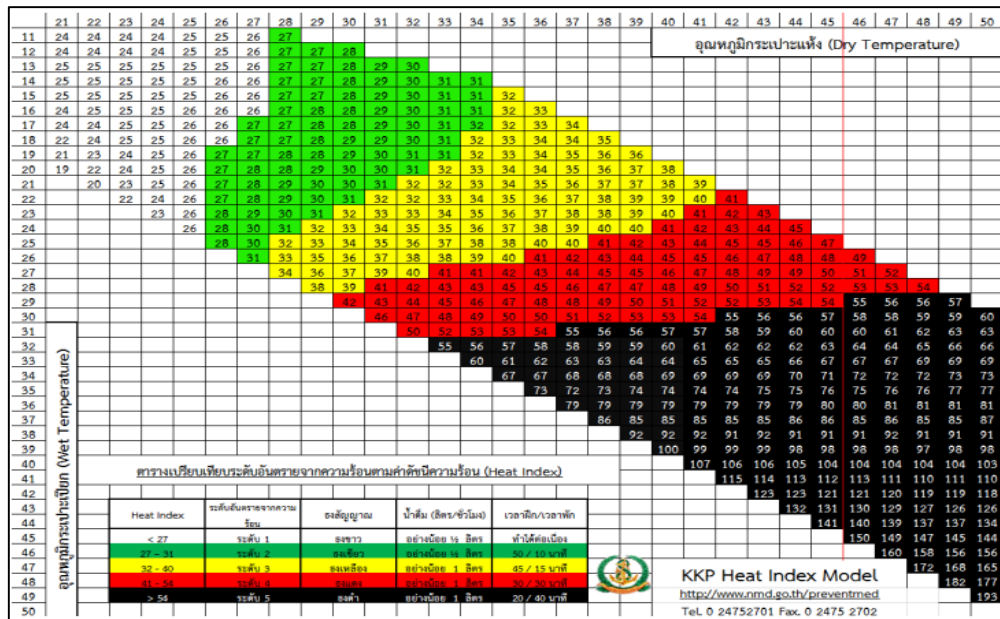
กองส่งเสริมสุขภาพและเวชกรรมป้องกัน กรมแพทยทหารบก ได้มีการใช้ตารางค่าดัชนีความร้อน ซึ่งกำหนดช่วงค่าอุณหภูมิตั้งแต่ 27-44 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 40-100% (แบ่งระดับตามข้อจำกัดการใช้งานของดัชนีความร้อนที่สามารถใช้งานได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 26 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 40%) และจัดทำประกาศกรมแพทยทหารบก เรื่อง คำแนะนำการป้องกัน การเฝ้าระวัง การปฐมพยาบาลและการรักษาพยาบาลการบาดเจ็บจากความร้อน ลงวันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2560 เพื่อให้ใช้เป็นแนวทางสำหรับการป้องกัน เฝ้าระวังการปฐมพยาบาล และการรักษาพยาบาลการบาดเจ็บจากความร้อนสำหรับหน่วยฝึกทหารใหม่ โดยค่าดัชนีความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ตามระดับความรุนแรง ตามเกณฑ์ ชาวเขียว เหลือง แดง และดำ

ปรอทแห้ง	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
ความชื้นสัมพัทธ์	40-44	27	28	29	30	31	32	34	35	37	39	41	43	46	48	51	54	57	60
	45-49	27	28	29	30	32	33	35	37	39	41	43	46	49	51	54	57	61	64
	50-54	27	28	30	31	33	34	36	38	41	43	46	49	52	55	58	62	65	69
	55-59	28	29	30	32	34	36	38	40	43	46	48	52	55	59	62	66	70	75
	60-64	28	29	31	33	35	37	40	42	45	48	51	55	59	63	67	71	76	81
	65-69	28	30	32	34	36	39	41	44	48	51	55	59	63	67	72	77	82	87
	70-74	29	31	33	35	38	40	43	47	50	54	58	63	67	72	77	82	88	94
	75-79	29	31	34	36	39	42	46	49	53	58	62	67	72	77	83	88	94	101
	80-84	30	32	35	38	41	44	48	52	57	61	66	71	77	83	89	95	101	108
	85-89	30	33	36	39	43	47	51	55	60	65	70	76	82	88	95	102	109	116
	90-91	31	34	37	41	45	49	54	58	64	69	75	81	88	95	102	109	117	125
	95-99	31	35	38	42	47	51	57	62	68	74	80	87	94	101	109	117	125	134
100	32	36	40	44	49	54	60	66	72	78	85	92	100	108	116	125	134	143	

ภาพที่ 2.2 Heat Index Chart

ที่มา: ประกาศกรมแพทยทหารบก ณ วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2560

กรมแพทยทหารเรือ (2560) ได้จัดทำคู่มือปฏิบัติงาน เพื่อกำหนดแนวทางการป้องกันโรคลมร้อนให้กับหน่วยแพทยทหารเรือ โดยการนำวิธีการหรือมาตรการต่างๆ มาใช้เพื่อช่วยไม่ให้เกิดโรคลมร้อนขึ้นในกำลังพลที่เข้ารับการฝึกในหลักสูตรต่างๆ ของกองทัพเรือ โดยทำการประเมินสภาพอากาศและมีระบบเตือนตลอดระยะเวลาการฝึกทุก 1 ชั่วโมง พร้อมทั้งวัดค่าดัชนีความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง โดยนำค่าอุณหภูมิที่อ่านได้มาเปรียบเทียบกับตาราง KKP Heat Index Model ก็จะได้ค่าดัชนีความร้อน แปลเป็นสีเขียว เหลือง แดง และดำ ดังแสดงในภาพที่ 2.3



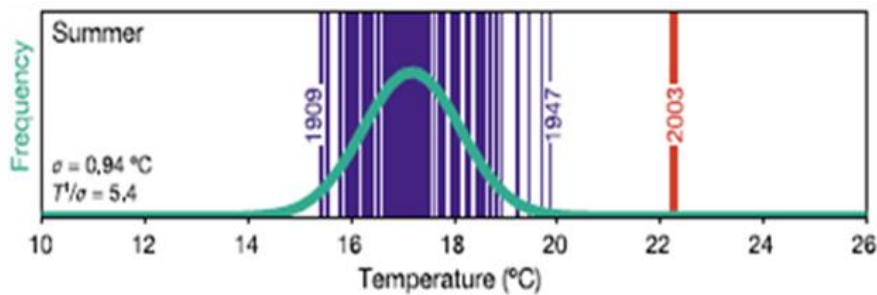
ภาพที่ 2.3 KKP Heat Index Model

ที่มา: กรมแพทยทหารเรือ (2560)

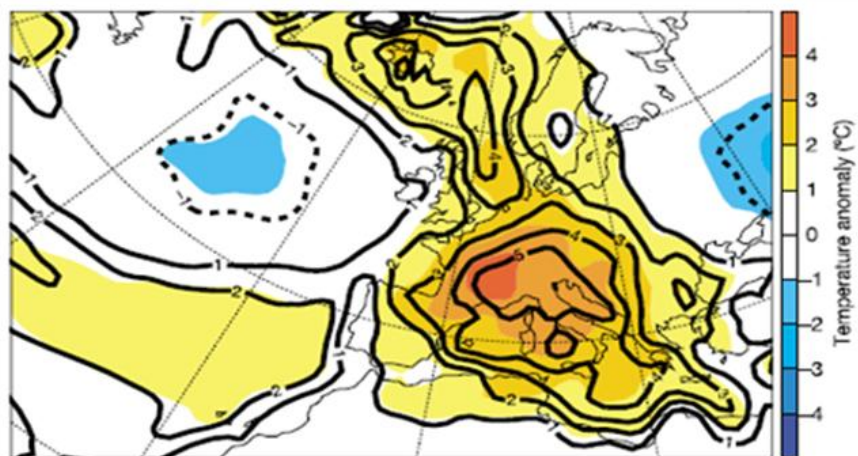
2.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคลื่นความร้อน

คลื่นความร้อนเป็นภัยพิบัติรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ยังเป็นปัจจัยเสริมที่สำคัญต่อแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคลื่นความร้อน ผลการศึกษาในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นหลายๆ วันอย่างต่อเนื่อง ทั้งในระดับท้องถิ่นและภูมิภาค เพื่ออธิบายลักษณะต่างๆ ของคลื่นความร้อน เช่น ความถี่ ความรุนแรง ระยะเวลา และขอบเขตเชิงพื้นที่ (Field et al., 2012; IPCC, 2013) เหตุการณ์คลื่นความร้อนครั้งใหญ่ที่มีความรุนแรงได้เกิดขึ้นหลายครั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหตุการณ์คลื่นความร้อนในทวีปยุโรปเมื่อปี ค.ศ. 2003 ได้ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงเป็นบริเวณกว้างในหลายประเทศ ประกอบด้วย ออสเตรีย เบลเยียม โครเอเชีย สาธารณรัฐเช็ก ฝรั่งเศส เยอรมัน อิตาลี ลักเซมเบิร์ก เนเธอร์แลนด์ และโปรตุเกส ทำให้ประชาชนชีวิตประมาณ 70,000 ราย และในประเทศฝรั่งเศสประเทศเดียวนั้นมีผู้เสียชีวิตมากกว่า 19,000 ราย โดยภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะของคลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2003 โดยพบว่าค่าผิดปกติของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม สูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงปี ค.ศ. 1961-1990 ถึง 3 องศาเซลเซียส และสูงกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5 เท่า และภาพที่ 2.5 แสดงการแจกแจงความถี่ของอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงฤดูร้อนระหว่างปี ค.ศ. 1864-2003 ในประเทศสวีเดนแลนด์ (Schär et al., 2004) นอกจากนี้ เหตุการณ์

ครั้งที่สองเกิดขึ้นปี ค.ศ. 2010 ในสหพันธรัฐรัสเซีย โดยอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นกว่า 10 องศาเซลเซียส ทำให้ประชาชนเสียชีวิตราว 50,000 ราย ซึ่งมีสาเหตุจากสภาวะความเครียดจากความร้อนและโรคระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากในช่วงที่เกิดคลื่นความร้อนนั้นได้เกิดเหตุการณ์ไฟป่าครั้งรุนแรงเผาไหม้พื้นที่การเกษตรมากกว่า 1 ล้านเฮกตาร์ ส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจมากกว่า 1,500 ล้านเหรียญดอลลาร์สหรัฐ ทั้งนี้ ผลการศึกษาและแบบจำลองต่างๆ ได้สร้างความเชื่อมั่นในระดับสูงว่าเหตุการณ์คลื่น ความร้อนในอนาคตจะมีความถี่ของการเกิด ความรุนแรง และระยะเวลาการเกิดที่ยาวนานขึ้นในหลายภูมิภาคทั่วโลก ภายใต้การเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ (Rahmstorf and Coumou, 2011; Lau and Nath, 2012)



ภาพที่ 2.4 ลักษณะของคลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2003 ด้วยค่าผิดปกติของอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมจากค่าเฉลี่ยในช่วงปี ค.ศ. 1961-1990 ที่มา: Schär et al. (2004)



ภาพที่ 2.5 การแจกแจงความถี่ของอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงฤดูร้อนระหว่างปี ค.ศ. 1864-2003 ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ที่มา: Schär et al. (2004)

ฐานข้อมูล Emergency Events Database (EM-DAT) ของ The International Disaster Database ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลที่บันทึกเหตุการณ์คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นทั่วโลก ได้รายงานว่าในช่วงปี ค.ศ. 2000-2018 ภูมิภาคเอเชียใต้เกิดคลื่นความร้อนทั้งสิ้น 64 เหตุการณ์ ในพื้นที่ 10 ประเทศ ในสาธารณรัฐประชาชนจีน ญี่ปุ่น เกาหลี บังคลาเทศ อินเดีย ไชปรัส อิสราเอล จอร์แดน ตุรกี (ตารางที่ 2.3 และภาพที่ 2.6) โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วงเดือนมิถุนายน-สิงหาคม และมีนาคม-พฤษภาคม (มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งหมายถึงภูมิภาคเอเชียนับเป็นภูมิภาคที่เกิดเหตุการณ์คลื่นความร้อนบ่อยครั้งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาวงศ์ชัย แพงแก้ว (2562) ที่ได้รายงานว่า ในช่วงระยะเวลา 37 ปีที่ผ่านมา (ค.ศ.1980-2017) มีเหตุการณ์คลื่นความร้อนเกิดขึ้นประมาณ 160 เหตุการณ์ ในพื้นที่ 52 ประเทศทั่วโลก ส่งผลให้ประชาชนสูญเสียชีวิตราว 157,183 ราย ได้รับบาดเจ็บ 121,397 ราย ข้อมูลข้างต้นบ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของเหตุการณ์คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะหลังจากปี ค.ศ. 2000 นอกจากนี้ ผลการประเมินข้อมูลวิทยาศาสตร์ในภาพรวม พบว่า จำนวนเหตุการณ์คลื่นความร้อนได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นเป็นบริเวณกว้างของจำนวนคืนที่อบอุ่น (Field et al., 2012; IPCC, 2013) โดยมีความเป็นไปได้ที่คลื่นความร้อนมีแนวโน้มความถี่ของการเกิดเพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงหลังของศตวรรษที่ 20 ในทวีปยุโรป ออสเตรเลีย และพื้นที่ส่วนใหญ่ของทวีปเอเชีย อย่างไรก็ตาม ความมั่นใจในระดับโลกยังอยู่ในระดับปานกลางเนื่องจากยังขาดการศึกษาในทวีปแอฟริกาและอเมริกาใต้ รวมทั้งผลการศึกษาแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับนิยามของคลื่นความร้อน (Perkins et al., 2012)

ตารางที่ 2.3 คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในภูมิภาคเอเชียในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2000-2018

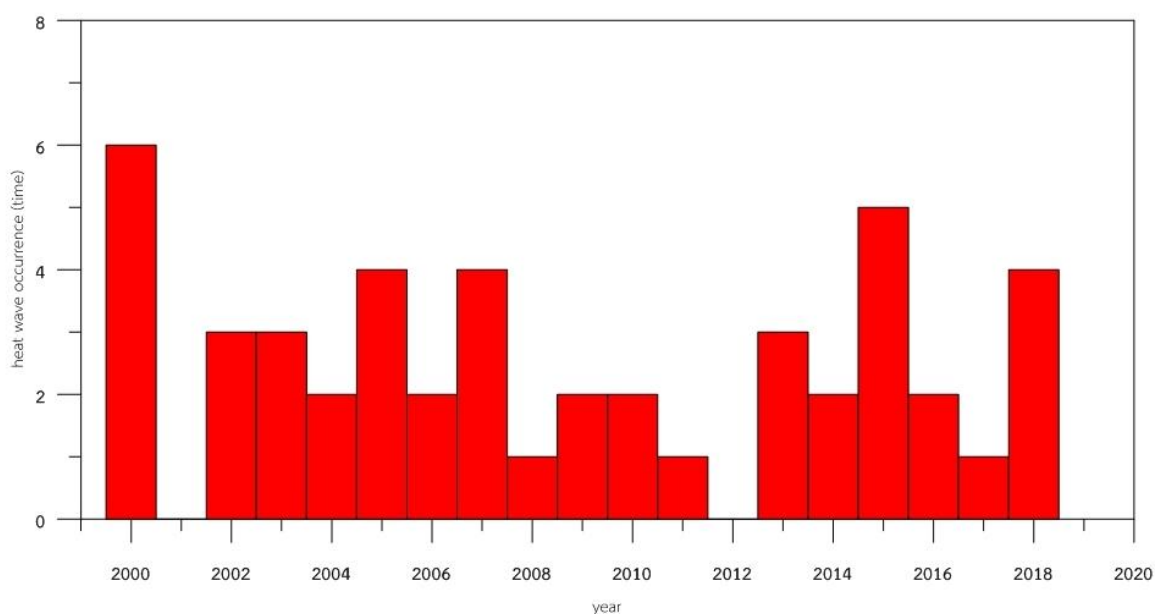
ภูมิภาค	ประเทศ	เดือน/ ปี	จำนวน ผู้เสียชีวิต	จำนวน ผู้บาดเจ็บ	ความเสียหาย (USD)
East Asia	China	July 2002	7	3,500	-
	China	July 2004	39	-	2,900,000,000
	China	July 2005	-	200	-
	China	May-Sep 2006	134	-	-
	China	July-Aug 2013	40	-	-
	Japan	July 2004	10	300	-
	Japan	Aug 2007	62	3,500	-
	Japan	July 2008	47	-	-
	Japan	July 2009	16	-	-

ตารางที่ 2.3 คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในภูมิภาคเอเชียในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2000-2018 (ต่อ)

ภูมิภาค	ประเทศ	เดือน/ ปี	จำนวน ผู้เสียชีวิต	จำนวน ผู้บาดเจ็บ	ความเสียหาย (USD)
East Asia	Japan	July 2010	170	15,000	-
	Japan	July-Aug 2011	36	22,000	-
	Japan	May-Sep 2013	338	54,000	-
	Japan	July 2014	27	17,000	-
	Japan	May-Aug 2015	39	14,867	-
	Japan	Aug 2016	3	490	-
	Japan	July 2018	119	49,000	-
	Korea	July 2018	-	13,798	-
Southern Asia	Bangladesh	May-Jun 2003	62	-	-
	Bangladesh	July 2005	-	-	-
	India	April 2000	7	-	-
	India	May 2002	1,030	-	-
	India	May-Jun 2003	1,210	-	400,000
	India	June 2005	329	-	-
	India	May 2006	47	-	-
	India	April-Jun 2007	72	-	-
	India	April-Jun 2009	120	25	-
	India	Mar-May 2010	250	-	-
	India	April-May 2013	557	-	-
	India	May 2015	2,248	-	-
	India	April-May 2016	300	-	-
	India	April-Jun 2017	264	-	-
	Pakistan	June 2000	24	-	-
	Pakistan	May 2002	113	24	-
	Pakistan	May-Jun 2003	200	-	-
Pakistan	June 2005	106	200	-	

ตารางที่ 2.3 คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นในภูมิภาคเอเชียในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2000-2018 (ต่อ)

ภูมิภาค	ประเทศ	เดือน/ ปี	จำนวน ผู้เสียชีวิต	จำนวน ผู้บาดเจ็บ	ความเสียหาย (USD)
Southern Asia	Pakistan	May 2006	84	100	-
	Pakistan	Jan-April 2014	139	-	18,000
	Pakistan	Jun 2015	1,229	80,000	-
	Pakistan	May 2018	180	-	-
Western Asia	Cyprus	July 2000	5	400	-
	Cyprus	Jun-July 2007	4	-	-
	Israel	July 2000	-	-	-
	Jordan	July 2000	-	12	-
	Turkey	July 2000	15	300	1,000
	Turkey	Jun 2007	3	-	-

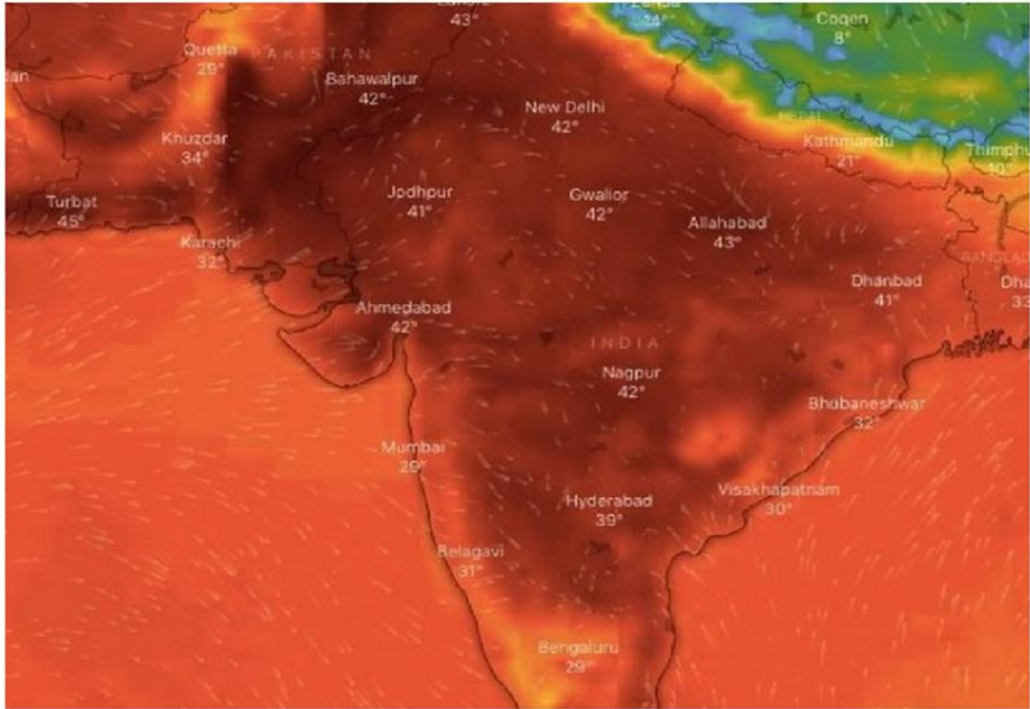


ภาพที่ 2.6 จำนวนการเกิดเหตุการณ์คลื่นความร้อนรวมรายปีของโลกที่บันทึกในฐานข้อมูล

Emergency Events Database (EM-DAT) ของ The International Disaster Database

ที่มา: <http://www.emdat.be/>

จากการติดตามข่าวสารปรากฏการณ์คลื่นความร้อนที่เกิดขึ้นจากแหล่งข่าวต่างๆ ทั่วโลก ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2543-2562 (ค.ศ. 2000-2019) พบว่า คลื่นความร้อนเกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้าง ในภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก ซึ่งเหตุการณ์คลื่นความร้อนครั้งรุนแรงมักเกิดในทวีปยุโรป เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อย่างเฉียบพลันอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาหนึ่งส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตจากโรคลมร้อนเพิ่มมากขึ้น เช่น ในปี พ.ศ. 2559 (2016) พบผู้เสียชีวิต 12 ราย บริเวณชายหาดของประเทศอังกฤษ เนื่องจากอุณหภูมิสูง 33.9 องศาเซลเซียส ในปี พ.ศ.2561 (2018) ประเทศสเปน มีอุณหภูมิสูงถึง 47 องศาเซลเซียส ทำให้มีผู้เสียชีวิต 3 ราย เป็นต้น นอกจากนี้ ทวีปอเมริกาก็ได้รับผลกระทบจากคลื่นความร้อน บ่อยครั้งเช่นกัน เช่น มลรัฐออลาสกาซึ่งตั้งอยู่ทางตอนเหนือในเขตขั้วโลกกำลังเผชิญกับอุณหภูมิสูงสุด เป็นประวัติการณ์ที่ระดับ 32-33 องศาเซลเซียส เป็นต้น ทั้งนี้ ไม่ใช่เฉพาะประเทศทางยุโรปและ อเมริกาเท่านั้นที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นความร้อน ทวีปเอเชียเป็นพื้นที่ที่ประสบเหตุการณ์คลื่น ความร้อนที่รุนแรง เช่น ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศญี่ปุ่นต้องรับมือกับภัยพิบัติคลื่นความร้อนที่ปกคลุม ไปทั่วประเทศ ทำให้มีผู้เสียชีวิตจากอากาศร้อนจัดประมาณ 96 คน ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม ในส่วนของประเทศอินเดียเป็นประเทศที่ควรเฝ้าระวังเป็นพิเศษเนื่องจากได้รับผลกระทบจากการเกิด คลื่นความร้อนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมาอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลล่าสุดพบว่า ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 เกิดคลื่นความร้อนในประเทศอินเดียทำให้มีผู้เสียชีวิตไม่น้อยกว่า 250 ราย และจาก รายงานของกรมอุตุนิยมวิทยาของอินเดียได้รายงาน ว่า อุณหภูมิที่สูงเกินกว่า 50 องศาเซลเซียส ทางตอนเหนือของอินเดียนั้น เป็นผลสืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของคลื่นความร้อน ซึ่งในเขต เมืองชुरूในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 ที่ผ่านมามีอุณหภูมิสูงถึง 50.6 องศาเซลเซียส ทำให้เมือง ต่างๆ ในประเทศอินเดียได้รับความเดือดร้อนจากคลื่นความร้อนที่รุนแรง และยังพบว่ามีหลายเมือง ที่อุณหภูมิสูงสุดเกิน 47 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 2.7) สำหรับประเทศอินเดียนั้นได้มีการบันทึกสถิติ อุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ณ เมืองพาลิตีที่ 51 องศาเซลเซียส และ ทำให้มีผู้เสียชีวิตจากโรคลมแดด นอกจากนี้ ประชากรราว 200 ล้านคน ที่อาศัยอยู่ทางตอนเหนือ ของอินเดียได้รับค่าเตือนความร้อนระดับสีแดง ส่วนกรุงนิวเดลีมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงถึง 46 องศา เซลเซียส โดยทางการของอินเดียได้แนะนำไม่ให้ประชาชนออกไปข้างนอกในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุดของ วัน และได้รับรายงานภาวะการขาดแคลนน้ำเนื่องจากทะเลสาบและแม่น้ำแห้งแล้ง เกษตรกร เตรียมการรับมือกับปัญหาการขาดแคลนน้ำสำหรับปศุสัตว์ เกษตรกรรม การอุปโภคและบริโภค ทั้งนี้ ประเทศมาเลเซีย (รัฐปะลิสและปะหัง) ซึ่งมีอาณาเขตติดต่อกับประเทศไทยได้เกิดคลื่นความร้อน ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2559 เช่นกัน ดังนั้น การติดตามและการเฝ้าระวังคลื่นความร้อนนับเป็น สิ่งที่ประเทศไทยควรเตรียมพร้อมรับมือกับเหตุการณ์คลื่นความร้อนที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้



ภาพที่ 2.7 การเกิดคลื่นความร้อนในประเทศอินเดีย

ที่มา: news.com.au June 3, 2019

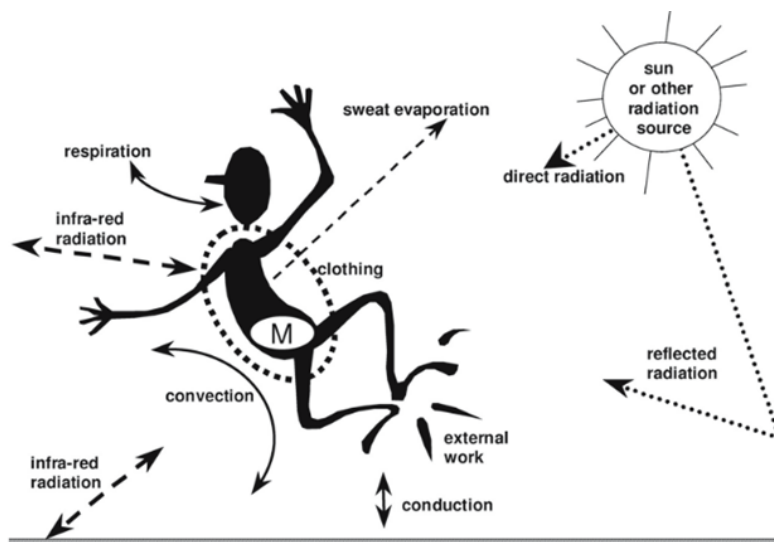
2.4 ผลกระทบต่อสุขภาพจากคลื่นความร้อน

คลื่นความร้อน นับเป็นภัยคุกคามทางภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อระบบนิเวศ เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นในพื้นที่ต่างๆ ส่งผลให้คลื่นความร้อนมีความถี่ของการเกิด ความรุนแรง และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์มากขึ้น (Kovats and Haiat, 2008) ถึงแม้ว่าปัจจัยหลักของความล่อแหลมต่อคลื่นความร้อนมีความแตกต่างกันเชิงภูมิศาสตร์ แต่ยังคงมีปัจจัยเสี่ยงต่อคลื่นความร้อนข้ามประเทศและภูมิภาคเช่นกัน คลื่นความร้อนมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพชีวิตและความเป็นอยู่ของประชาชน ส่งผลให้เกิดการเจ็บป่วยและการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เขตเมืองที่ประชาชนอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น ซึ่งกลุ่มเสี่ยงที่มีความล่อแหลมสูงต่อคลื่นความร้อน ได้แก่ ผู้สูงอายุและกลุ่มผู้ที่มีโรคประจำตัว มักได้รับผลกระทบโดยตรงที่ค่อนข้างรุนแรงกว่าประชากรกลุ่มอื่นๆ

กรมแพทย์ทหารบก (2555) ได้อธิบายการตอบสนองต่อความร้อนของร่างกายไว้ว่า ร่างกายของมนุษย์มีการระบายความร้อน 2 ระบบ คือ (1) การเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ หมายถึง เมื่อร่างกายสัมผัสความร้อน หัวใจจะสูบฉีดเลือดและเต้นแรงมากขึ้น การเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้นจะส่งเลือดไปยังบริเวณผิวหนังมากขึ้น และเมื่อเส้นเลือดบริเวณผิวหนังขยายตัวจะช่วยการระบายความร้อน

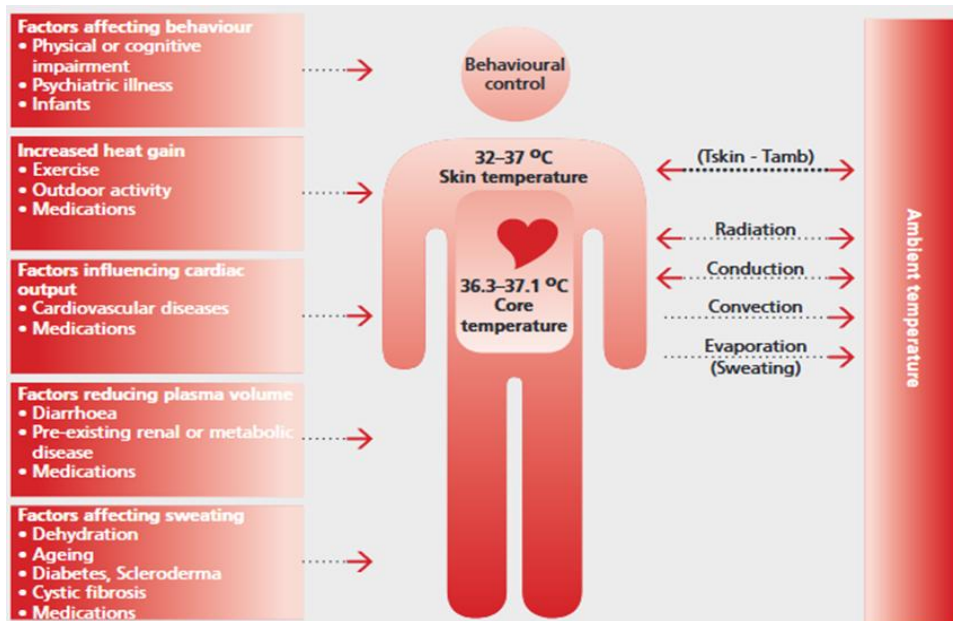
(2) การขับเหงื่อ หมายถึง การขับเหงื่อเพื่อระบายความร้อนในร่างกาย สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อน้ำระเหยออกจากร่างกายเป็นการระบายความร้อนออกจากร่างกายด้วย โดยการระบายความร้อนทั้ง 2 ระบบนี้ เป็นกลไกหลักในการตอบสนองต่อความร้อนของร่างกายมนุษย์ ทั้งนี้ ร่างกายของมนุษย์สร้างความร้อนจากกระบวนการ metabolism ตลอดเวลาทั้งในขณะที่พักผ่อน ปฏิบัติงาน หรือการออกกำลังกาย โดยทั่วไป การระบายความร้อนออกจากร่างกายหรือได้รับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมมี 4 วิธีการ (ภาพที่ 2.8) ประกอบด้วย

1. การแผ่ความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนจากภายในร่างกายสู่ภายนอก (หรือจากสิ่งแวดล้อมสู่ร่างกาย) ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งไม่ต้องอาศัยตัวกลาง
2. การพาความร้อน คือ กระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยตัวกลางที่เคลื่อนที่ได้ คือ อากาศและน้ำ
3. การนำความร้อน คือ กระบวนการถ่ายเทความร้อนเมื่อสัมผัสวัตถุที่เย็นหรือร้อนกว่าโดยไม่เคลื่อนที่ เช่น โลหะ เป็นต้น
4. การระเหยของเหงื่อ คือ กระบวนการระบายความร้อนในรูปของเหงื่อ ซึ่งกลไกการระเหยของเหงื่อจะได้ผลน้อยลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศสูงกว่าร้อยละ 80 ทั้งนี้ เนื่องจากความชื้นในบรรยากาศเกือบถึงจุดอิ่มตัวและเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ถึงร้อยละ 100 เหงื่อจะไม่ระเหยทำให้กลไกการระบายความร้อนโดยการขับเหงื่อไม่ได้ผล



ภาพที่ 2.8 กลไกการตอบสนองของร่างกายต่อความร้อน
ที่มา: Havenith (1999)

อย่างไรก็ดีโดยปกติร่างกายมนุษย์มีความสามารถในการปรับตัวให้ทนทานต่อความร้อนได้ ภายหลังจากการสัมผัสกับความร้อนซ้ำๆ กันเป็นเวลานาน เรียกว่า การปรับตัวต่อความร้อน โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการปรับตัวต่อความร้อน เช่น ผู้ที่อาศัยในแถบที่มีความร้อนและความชื้นสูงบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะทนต่ออุณหภูมิที่สูงได้ดีกว่าผู้ที่อาศัยนอกบริเวณเส้นศูนย์สูตร เนื่องจากร่างกายปรับตัวต่อความร้อนอัตโนมัติ โดยทั่วไปมนุษย์เริ่มรู้สึกไม่สบายตัวเมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 17 - 31 องศาเซลเซียส ปัจจัยที่ทำให้การปรับตัวเปลี่ยนแปลง ได้แก่ การสัมผัสความร้อนที่สูงมาก ความไม่สมบูรณ์ของร่างกาย ภาวะน้ำหนักเกิน การติดสุรา ภาวะสูญเสียน้ำ การนอนที่ไม่เพียงพอและการมีปัญหาลักษณะหรือต้องใช้อาบบางชนิด เป็นปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อน ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อน

ที่มา: WHO (2008)

กรมอนามัย (2559) ได้อธิบายว่า ผลกระทบต่อสุขภาพทางกายอันเนื่องมาจากความร้อน โดยแบ่งออกเป็น 6 โรค ต่างๆ ดังนี้

1. ผื่นจากความร้อน คือ ผื่นจากความร้อนเกิดจากการที่เหงื่อออกแล้วไม่ระเหยแต่เปียกชื้นตลอดเวลา ทำให้เกิดการสะสมและอุดตัน อยู่ภายในท่อเหงื่อจนท่อเหงื่อขยายออกและอักเสบเป็นผื่นแดง พบว่าบางรายที่เป็นมากจะมีอาการคันและอักเสบได้ โดยมักพบในสภาวะที่มีอากาศร้อนและมีความชื้นสูง

2. บวมจากความร้อน เป็นภาวะบวมของขาอันเป็นผลมาจากความร้อนที่ทำให้เส้นเลือดขยายตัว ทำให้น้ำในร่างกายไหลไปรวมอยู่บริเวณข้อเท้า และขาตามแรงโน้มถ่วงมักเกิดขึ้นในช่วง 2 - 3 วันแรกที่สัมผัสอากาศร้อน ปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญ คือ ความไม่สมดุลของเกลือในร่างกาย หากสูญเสียเกลือน้อยกว่าปกติระดับเกลือในร่างกายที่เพิ่มขึ้นจะดึงสารน้ำไปยังขาทำให้เกิดอาการ

3. ตะคริวจากความร้อน เป็นภาวะที่กล้ามเนื้อหดตัวและเกร็งอย่างเฉียบพลันบริเวณขา แขน และท้อง ทำให้มีอาการเจ็บปวดอย่างมาก ซึ่งเกิดจากการสูญเสียเหงื่อเป็นจำนวนมาก ความไม่สมดุลของน้ำและเกลือแร่ในร่างกาย จึงทำให้เกิดอาการตะคริวขึ้นผู้ที่มีความเสี่ยงสูงสุด คือ ผู้ที่ไม่เคยชินกับอากาศร้อนแล้วออกกำลังกายหนักท่ามกลางอากาศร้อน อย่างไรก็ตาม ตะคริวจะหายได้เอง แต่อาการปวดกล้ามเนื้ออาจยังปรากฏอยู่

4. เป็นลมจากแดด เกิดจากการที่ร่างกายปรับตัวต่อความร้อนไม่ได้ในระยะที่อากาศร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว ร่างกายจะพยายามขับความร้อนส่วนเกินออก โดยการเพิ่มการไหลเวียนโลหิตไปที่ผิวหนังเป็นผลให้เลือดไปเลี้ยงอวัยวะภายในลดลง โดยเฉพาะที่สมองจึงทำให้เป็นลมหมดสติได้ ภาวะนี้พบบ่อยมากกับผู้ที่ไม่เคยชินกับอากาศร้อนเมื่อต้องอยู่ในสภาพอากาศร้อนในช่วงแรกๆ

5. เพลียแดด เป็นภาวะที่อันตรายน้อยกว่าลมร้อน อาจกล่าวได้ว่าเป็นภาวะนำก่อนจะกลายเป็นลมแดดได้อย่างรวดเร็ว มักเกิดเมื่อต้องอยู่ในบริเวณที่มีความเครียดจากความร้อนและขาดน้ำเป็นเวลานาน ทำให้อุณหภูมิแกนกลางเกิน 38 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหลายชั่วโมง สาเหตุสำคัญเกิดจากการสูญเสียน้ำหรือเกลือแร่ที่สำคัญจำนวนมากไปกับเหงื่อ ผู้ที่มีอาการแบบเพลียแดดยังคงมีเหงื่อออก อ่อนแรง อ่อนเพลีย เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ คลื่นไส้ และขาดน้ำอย่างมาก หายใจเร็ว หัวใจเต้นเร็ว แต่ยังคงมีสติสมบูรณ์

6. ลมร้อน เป็นภาวะที่รุนแรงที่สุดของโรคที่สัมพันธ์กับความร้อน เป็นภาวะฉุกเฉินทางการแพทย์ เกิดขึ้นได้เมื่อกลไกการควบคุมอุณหภูมิไม่อาจทำงานได้อีกต่อไปอันเป็นผลจากภาวะเครียดจากความร้อนเป็นเวลานาน โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิแกนกลางเกิน 40 องศาเซลเซียส และการขับเหงื่อไม่เพียงพอหรือหยุดทำงาน สาเหตุเกิดจากอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายสูงขึ้นเลือดจะไหลไปที่ผิวหนังมากขึ้น เพื่อระบายความร้อนทำให้เลือดไปเลี้ยงอวัยวะภายในที่สำคัญลดลงและเมื่อร่างกายควบคุมอุณหภูมิแกนกลางของร่างกายไม่ได้ จะทำให้เกิดภาวะอุณหภูมิสูงและระบบประสาทส่วนกลางจะเริ่มสูญเสียหน้าที่ไป ผู้ป่วยจะเริ่มมีอาการสับสนหมดสติและเสียชีวิตได้ภายในไม่กี่ชั่วโมง

สำหรับโรคลมร้อน สามารถแบ่งตามสาเหตุการเกิดโรคออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. Classical heat stroke เกิดจากความร้อนในสิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่มากเกินไป ส่วนใหญ่เกิดในช่วงที่มีอากาศร้อน พบได้บ่อยในผู้ที่มีอายุมากและมีโรคเรื้อรัง มักเกี่ยวกับความผิดปกติของระบบประสาทส่วนกลาง อาการที่สำคัญมี 3 อาการ คือ อุณหภูมิร่างกายสูง ไม่มีเหงื่อ และมีการเปลี่ยนแปลงของสภาพจิตใจ

2. Exertional heatstroke เกิดจากการออกกำลังกายที่หักโหมเกินไป ส่วนใหญ่เกิดในหน้าร้อน โดยเฉพาะกลุ่มผู้ใช้แรงงานและนักกีฬา อาการคล้ายกับแบบ Classical แต่มีสิ่งแตกต่างที่สำคัญคือ กลุ่มผู้ป่วยประเภทนี้จะมีเหงื่อออก นอกจากนี้ยังพบการเกิดการสลายเซลล์กล้ามเนื้อลายและอาการแทรกซ้อน ได้แก่ ระดับโพแทสเซียมในเลือดสูง ระดับฟอสฟอรัสในเลือดสูง ระดับแคลเซียมในเลือดต่ำ และพบไมโอโกลบินในปัสสาวะในผู้ป่วยกลุ่มนี้ด้วย การเกิดโรคมักจะเกิดภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว

นอกจากนี้ ความเครียดจากความร้อนยังเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคไตจากภาวะขาดน้ำ ทั้งนี้ในภาวะร้อนจัด การระเหยของเหงื่อจำนวนมากจะทำให้ร่างกายขาดน้ำและเกลือแร่ โดยเฉพาะโซเดียมและคลอไรด์ ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณของของเหลวที่อยู่นอกเซลล์ลดลง อันเป็นการเพิ่มความเครียดต่อการทำงานของไตทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง และนำไปสู่โรคไตในที่สุด และหากมีโรคประจำตัว เช่น เบาหวาน ความดันโลหิตสูง และนิ่วในไต เป็นต้น จะทำให้ เป็นโรคไตวายง่ายขึ้น ผลกระทบอีกประการคือ ความเครียดจากความร้อนจะทำให้เกิดความอ่อนล้า ซึ่งจะเสี่ยงต่ออุบัติเหตุและการบาดเจ็บได้ ทั้งนี้ อาจเกี่ยวกับการที่ความเครียดจากความร้อนทำให้เป็นลม สับสน สมาธิเสียไป หรือเกิดความเครียดทางจิต ทั้งนี้ เพื่อให้เจ้าหน้าที่สายแพทย์ สาธารณสุข อาสาสมัครสาธารณสุขท้องถิ่น และบุคคลทั่วไป มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคที่สัมพันธ์กับความร้อน กรมอนามัย (2559) ได้จัดทำข้อมูลสำหรับอธิบายโรคที่สัมพันธ์กับความร้อน อาการ อาการแสดง กลไกการเกิดโรค และวิธีการปฐมพยาบาลผู้ป่วยตามโรคต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 โรคที่สัมพันธ์กับความร้อน อาการ อาการแสดง และกลไก รวมทั้งการจัดการ

โรค	อาการ อาการแสดง และกลไก	การจัดการ
ผื่นจากความร้อน	ตุ่มคันสีแดงเล็กๆ ปรากฏบนใบหน้า คอ หน้าอกส่วนบน ไต๋ราวนม ขาหนีบ พบได้ทุกอายุ พบบ่อยในเด็ก อาจเกิดการติดเชื้อเกิดจากเหงื่อออกมา กระหว่างที่สภาพอากาศร้อนและชื้น	ผื่นแดงหายได้เองโดยไม่ต้องรักษา ลดปริมาณเหงื่อโดยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ปรับอากาศ อากาศถ่ายเท และสวมเสื้อผ้าให้บริเวณที่เป็นผื่นแห้งการใช้ยาทาที่มีฤทธิ์ต้านฮีสตามีนและฆ่าเชื้อจะช่วยลดอาการคันลงและป้องกันการติดเชื้อ
บวมจากความร้อน	บวมที่ขา มักเป็นที่ข้อเท้า อาการพบได้ตั้งแต่ต้นฤดูร้อน สาเหตุเกิดจากเส้นเลือดขยายตัวทำให้เกิดการคั่งของน้ำและเกลือ	ไม่จำเป็นต้องรักษาเนื่องจากอาการบวมหายได้เองภายหลังร่างกายปรับตัว ไม่ควรใช้ยาขับปัสสาวะ

ตารางที่ 2.4 โรคที่สัมพันธ์กับความร้อน อาการ อาการแสดง และกลไก รวมทั้งการจัดการ (ต่อ)

โรค	อาการ อาการแสดง และกลไก	การจัดการ
เป็นลมจากแดด	เกี่ยวข้องกับอาการหมดสติช่วงสั้นๆ หรือ เวียนศีรษะขณะลุกจากท่านอน พบบ่อยในคนไข้ที่มีโรคหัวใจและหลอดเลือดหรือใช้ยาขับปัสสาวะก่อนที่ร่างกายจะปรับตัวต่ออากาศ มีสาเหตุจากขาดน้ำ ซึ่งการขยายตัวของเส้นเลือดทำให้เลือดไหลกลับน้อยลงส่งผลให้เลือดไหลออกจากหัวใจน้อยลง	ผู้ป่วยควรนอนพักในที่เย็น ในท่านอน ยกเท้าและสะโพกสูง เพื่อเพิ่มการไหลกลับของเลือดต้องตัดสาเหตุอื่นๆ ของการเป็นลมออกด้วย
ตะคริวจากความร้อน	มีอาการปวดกล้ามเนื้อจากการหดเกร็ง มักเกิดที่ขา แขน และท้อง มักเกิดตอนท้ายของการออกกำลังกาย สาเหตุจากสูญเสีย น้ำ เกลือแร่ จากการที่เหงื่อออกอย่างหนักและกล้ามเนื้อล้า	ให้พักทันทีในที่เย็นยืดกล้ามเนื้อและนวดเบาๆ การให้สารน้ำทดแทนทางปากอาจจำเป็น โดยมีส่วนผสมของเกลือแร่ด้วยควรปรึกษาแพทย์หากเป็นตะคริวนานกว่าหนึ่งชั่วโมง
เพลียแดด	มีอาการกระหายน้ำ อ่อนแรง ไม่สบาย กังวล เวียนศีรษะ เป็นลม และปวดศีรษะ อุณหภูมิแกนกลางอาจปกติหรือต่ำหรือสูงกว่าปกติ (น้อยกว่า 40 องศาเซลเซียส) ซึ่งพวกร่วมกับความดันต่ำตอนเปลี่ยนท่าและหายใจตื้นเร็วสติสัมปะชัญญะไม่เปลี่ยนแปลงสาเหตุเกิดจากการขาดน้ำและ/ หรือเกลือแร่จากการอยู่ในที่อากาศร้อนสูงหรือออกกำลังกายอย่างหนัก	ย้ายผู้ป่วยเข้าที่ร่มและเย็นหรือสถานที่ที่มีการปรับอากาศถอดเสื้อผ้าผู้ป่วยออกห่มด้วยผ้าเปียกหรือพ่นน้ำเย็นและใช้พัดลมเป่าช่วยให้ผู้ป่วยนอนลงยกขาหรือสะโพกสูง เพื่อเพิ่มการไหลกลับของเลือด ให้สารน้ำทางปากถ้าคลื่นไส้ทำให้ดื่มน้ำไม่ได้อาจต้องให้ทางเส้นเลือด ถ้าอุณหภูมิร่างกายสูงกว่า 39 องศาเซลเซียสหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจิตหรือความดันต่ำตลอดเวลาให้รักษาแบบโรคความร้อน และส่งผู้ป่วยไปโรงพยาบาล

ตารางที่ 2.4 โรคที่สัมพันธ์กับความร้อน อาการ อาการแสดง และกลไก รวมทั้งการจัดการ (ต่อ)

โรค	อาการ อาการแสดง และกลไก	การจัดการ
ลมร้อน	สัมผัสกับความเครียดจากความร้อน (คลื่นความร้อน ฤดูร้อน และ/หรือ ออกกำลังกายอย่างหนัก) อุณหภูมิร่างกายสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเกินกว่า 40 องศาเซลเซียส และมีอาการผิดปกติของระบบประสาท ส่วนกลาง เช่น สับสน ซึม และโคม่า ผิวแห้งและร้อน คลื่นไส้ ความดันต่ำ หัวใจเต้นเร็วและหายใจเร็วตลอดเวลา	หมั่นวัดอุณหภูมิแกนกลางถ้าเกินกว่า 40 องศาเซลเซียส ให้ย้ายไปอยู่ที่เย็น ถอดเสื้อผ้าออก เริ่มต้นให้ความเย็น เช่น ประคบแผ่นน้ำแข็งบริเวณคอ รักแร้ และขานีบ ให้พัดลมเป่าตลอดพ่นน้ำที่ผิวหนังด้วยน้ำเย็น 25-30 องศาเซลเซียส ให้ผู้ป่วยที่หมดสตินอนตะแคงข้าง และระวังทางเดินหายใจไม่ให้สำลักให้ออกซิเจนที่ 4 ลิตร/นาที และน้ำเกลือส่งผู้ป่วยไปโรงพยาบาลให้เร็วที่สุด

ที่มา: กรมอนามัย (2559)

2.5 สถานการณ์และปัญหาหมอกควันในประเทศไทย

สถานการณ์ปัญหาหมอกควันในประเทศไทย โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม-เมษายน) ของทุกปี ปัญหาหมอกควันและไฟป่าในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยที่เกิดขึ้นเป็นผลสืบเนื่องมาจากการเผาพื้นที่ทางการเกษตร ซึ่งมีเศษวัชพืชและเศษวัสดุการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง การเผาในพื้นที่ป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณที่มีเศษกิ่งไม้และใบไม้ร่วงสะสมเป็นเชื้อเพลิงประกอบกับลักษณะภูมิประเทศที่เป็นแอ่งกระทะและมีภูเขาล้อมรอบจึงทำให้ความรุนแรงของปัญหาเพิ่มมากขึ้น และยังพบว่าในบางพื้นที่ เช่น จังหวัดยะลา นราธิวาส ปัตตานี สงขลา ฯลฯ ได้ประสบปัญหาหมอกควันเช่นเดียวกัน โดยเกิดจากปัญหาหมอกควันข้ามแดนซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาหมอกควันข้ามแดน คือ การเกิดไฟป่าในเกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งนอกจากจะส่งผลกระทบต่อประชาชนในประเทศอินโดนีเซียแล้ว ปัญหาหมอกควันข้ามแดนยังส่งผลกระทบต่อประเทศเพื่อนบ้านในภูมิภาคอาเซียน ได้แก่ ประเทศไทย สิงคโปร์ มาเลเซีย บรูไน ฯลฯ (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

ปัญหาหมอกควัน เป็นปัญหาหมอกควันทางอากาศที่เกิดจากการสะสมของควันและฝุ่นในอากาศ โดยสัดส่วนองค์ประกอบของสารแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของเชื้อเพลิง ระดับความชื้นในอากาศ อุณหภูมิของไฟ ความกดอากาศ ความเร็วและทิศทางลม ซึ่งสามารถทำให้

เกิดผลกระทบต่อประชาชนทั้งทางด้านสุขภาพ เศรษฐกิจ คมนาคม วิถีชีวิต ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาหมอกควัน ประกอบด้วย สภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความกดอากาศ ทิศทางลม ฯลฯ โดยทั่วไปแล้ว ลมจะเป็นตัวสนับสนุนทำให้ความเข้มข้นของหมอกควันลดลง เพราะควันจะเจือจางหากมีปริมาตรอากาศเพิ่มขึ้น โดยในช่วงที่เกิดความร้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่เกิดการไหม้ระยะแรก ควันไฟจะลอยตัวขึ้นด้านบนและจะคงตัวจนกระทั่งเริ่มเย็น จากนั้นจะค่อยลดตัวต่ำลงและเริ่มเจือจางและแพร่กระจายมากขึ้น ในช่วงเวลาที่มีแดดอากาศจะร้อนและลอยตัวขึ้นด้านบนซึ่งจะนำเอาฝุ่นและควันไฟลอยตามขึ้นไปด้วย หลังจากนั้นในช่วงเวลาตอนเย็นที่พระอาทิตย์เริ่มตก อุณหภูมิบริเวณพื้นดินจะเริ่มเย็นตัวลงและอากาศจะลดตัวต่ำลงในบริเวณหุบเขาในช่วงเวลาเย็นๆ อากาศใกล้พื้นดินจะเย็นกว่าอากาศด้านบน ส่งผลให้อากาศไม่สามารถเคลื่อนตัวสู่ด้านบนได้ จึงส่งผลทำให้หมอกควันสะสมในบริเวณหุบเขาในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้น ความรุนแรงของปัญหาหมอกควันจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ทำให้ระดับของหมอกควันในแต่ละพื้นที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ ความเข้มข้นของมลพิษหมอกควันจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพลมที่เกิดขึ้น (กรมควบคุมโรค, 2559)

2.5.1 สาเหตุการเกิดหมอกควัน

2.5.1.1 การเกิดไฟป่า การเกิดไฟป่าถือว่าเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดหมอกควันขึ้นมา เนื่องจากจะมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงจำพวกเศษไม้ เศษใบไม้ เศษวัชพืช ฯลฯ ทำให้เกิดเป็นหมอกควันปกคลุมอยู่ในบริเวณที่เกิดไฟป่าและพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งเมื่อมีการพัดพาของกระแสลมจะทำให้หมอกควันกระจายตัวไปยังพื้นที่อื่น โดยสาเหตุของการเกิดไฟป่าเกิดจาก 2 สาเหตุ คือ

1) เกิดจากธรรมชาติ

ไฟป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น พืชป่า กิ่งไม้เสียดสีกัน ภูเขาไฟระเบิดก้อนหินกระทบกัน แสงแดดตกกระทบผลึกหิน แสงแดดส่องผ่านหยดน้ำ ปฏิกริยาเคมีในดิน ป่าพรุ การลุกไหม้ในตัวเองของสิ่งมีชีวิต

2) สาเหตุจากมนุษย์

ไฟป่าที่เกิดในประเทศกำลังพัฒนาในเขตร้อนส่วนใหญ่ จะมีสาเหตุมาจากกิจกรรมของมนุษย์ สำหรับประเทศไทยจากการเก็บสถิติไฟป่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528-2542 ซึ่งมีสถิติไฟป่าทั้งสิ้น 73,630 ครั้ง พบว่า เกิดจากสาเหตุตามธรรมชาติมีเพียง 4 ครั้ง คือ ที่ห้วยน้ำดัง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ท่าแฉะ จังหวัดชุมพร ภูกระดึง จังหวัดเลย และเขาใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา ดังนั้น จึงถือว่าไฟป่าในประเทศไทยทั้งหมดเกิดจากการกระทำของคน โดยมีสาเหตุต่างกัน ได้แก่ การเผาไร่หรือเศษวัสดุทางการเกษตร การเก็บหาของป่า การกำจัดวัชพืช ความประมาท การล่าสัตว์ ฯลฯ (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2557)

2.5.1.2 การเผาเศษวัชพืชและวัสดุทางการเกษตร จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า สาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาหมอกควัน คือ เกิดจากการเผาเศษวัชพืชและวัสดุทางการเกษตร เช่น ช้างข้าว ช้างข้าวโพด การเผาเศษหญ้าริมทาง ฯลฯ โดยเกษตรกรมีความเชื่อว่าการเผาจะเป็นการกำจัดเศษวัชพืชและเชื้อโรคในดินได้ (มงคล รายนาค, 2553) ซึ่งการเตรียมพื้นที่ทำการเกษตรในปีถัดไปนั้นสิ่งที่มีความสำคัญที่สุด คือ การเตรียมดินเพาะปลูก ซึ่งจำเป็นต้องมีการตากดินในพื้นที่เพื่อกำจัดเศษวัชพืช โดยการเผาเป็นวิธีการที่เกษตรกรนิยมใช้กันมาก เนื่องจาก เป็นวิธีการที่ง่าย สะดวก และประหยัด จากการติดตามคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ในจังหวัดที่มีการทำการเกษตรมาก เช่น ปทุมธานี อุดรธานี อ่างทอง ราชบุรี สระบุรี กาญจนบุรี นครสวรรค์ เชียงใหม่ ขอนแก่น เป็นต้น จะมีปริมาณของฝุ่นละอองในอากาศสูงในช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากสภาวะอากาศที่แห้งและนิ่งทำให้ฝุ่นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นาน และในช่วงดังกล่าวเกษตรกรจะมีการเผาเศษวัชพืชทางการเกษตร เพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับทำการเกษตรในช่วงฤดูฝน จากการสำรวจชนิดและปริมาณวัสดุตอซังในพื้นที่การเกษตรของประเทศไทย เมื่อปี พ.ศ. 2541 พบว่า มีปริมาณวัสดุตอซังรวมทั้งสิ้น 29.1 ล้านตัน และเมื่อคำนวณปริมาณการเกิดฝุ่นละอองจากการเผาวัสดุตอซังทั้งหมดจะเกิดฝุ่นละอองปริมาณทั้งสิ้น 58,200 - 407,400 ตัน (การเผาเศษพืช 1 ตัน จะทำให้เกิดฝุ่นละอองปริมาณ 2-14 กิโลกรัม) (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) และจากศึกษาปริมาณฝุ่นละอองในช่วงที่มีการเผาเศษวัชพืช พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองรวมในบรรยากาศทั่วไป 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 377.31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และปริมาณฝุ่นละออง PM10 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 148.09 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่เกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด (กมลพรรณ โคตรมณี, 2551)

2.5.1.3 การเผาขยะจากชุมชน ถือว่าเป็นแหล่งปลดปล่อยมลพิษทางอากาศเข้าไปในบรรยากาศ โดยพบว่า ปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นจากชุมชน มีเพียงร้อยละ 70-80 ที่ได้รับการเก็บขน และมีเพียงร้อยละ 30 ที่ได้รับการกำจัดถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ส่วนปริมาณขยะที่ไม่ได้รับการกำจัด ถูกกองทิ้งกลางแจ้ง รวมทั้งการเผาเป็นครั้งคราว ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นละออง เขม่า ควัน ก๊าซ และไอระเหย ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การเผาขยะ 1 กิโลกรัม ทำให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีอันตรายต่อสุขภาพ 19 กรัม หรือเท่ากับ 45.7 กรัมต่อครัวเรือนต่อวัน (อัตราการผลิตของครัวเรือน 2-5 กิโลกรัมต่อวัน) (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) นอกจากนี้ ในขยะที่มีพลาสติกปนอยู่ หากมีการเผาในที่โล่งจะก่อให้เกิดสารอินทรีย์ระเหยประมาณ 14 กรัมต่อขยะมูลฝอย 1 กิโลกรัม หรือประมาณ 35 กรัมต่อครัวเรือนต่อวัน โดยพบสารพิษ ได้แก่ เบนซีนและไดออกซิน ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้เป็นสารก่อมะเร็ง

2.5.1.4 การคมนาคมขนส่ง การคมนาคมขนส่งถือเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองที่ใช้ยานพาหนะในการคมนาคมและขนส่งเป็นอย่างมาก โดยสารมลพิษที่ระบายออกจากท่อไอเสียของรถยนต์ เป็นสารที่มีอันตรายและมีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ออกซิแดนท์ สารอะโรมาติก-ไฮโดรคาร์บอน เขม่า ก๊าซไนตริกออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ รวมทั้งก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งปริมาณของสารมลพิษที่ออกมาจากระบบท่อไอเสียนั้นจะมีความสัมพันธ์กับความสมบูรณ์ในการเผาไหม้ โดยพบว่าเครื่องยนต์ดีเซลจะปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกมาน้อยกว่าเครื่องยนต์เบนซิน แต่ในขณะเดียวกันกลับปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และอนุภาคต่างๆ ออกมาสูงกว่า เป็นต้น

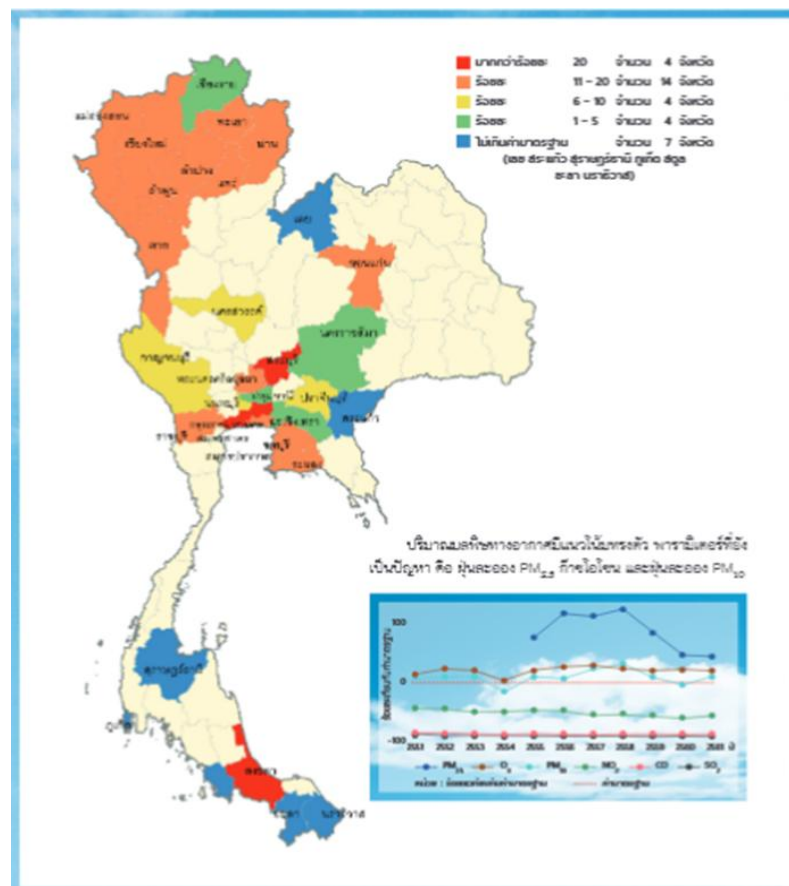
2.5.1.5 มลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงถลุงและหลอมโลหะ อุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมผลิตอาหาร ฯลฯ ก่อให้เกิดสิ่งเจือปนในอากาศได้แตกต่างกันทั้งปริมาณและคุณภาพ โดยทั่วไป โรงงานอุตสาหกรรมนับว่าเป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศที่สำคัญและเป็นแหล่งที่ถูกกล่าวโทษจากประชาชนเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถมองเห็นควัน ที่ปล่อยออกมาจากปล่องควันได้อย่างชัดเจน สารมลพิษทางอากาศที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมาก ได้แก่ ฝุ่นละออง เขม่า ควันก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และก๊าซพิษอื่นๆ อีกหลายชนิด

2.5.2 สถานการณ์หมอกควันในประเทศไทย

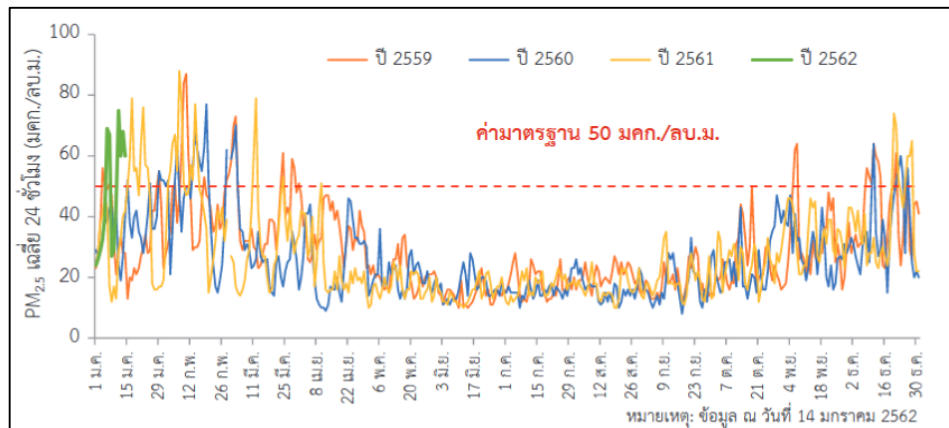
ภาพที่ 2.10 แสดงข้อมูลคุณภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอัตโนมัติทั่วประเทศทั้ง 33 จังหวัด (63 สถานี) ในปี พ.ศ. 2561 พบว่า จำนวนวันในรอบปีที่คุณภาพอากาศเกินค่ามาตรฐาน 26 จังหวัด และไม่เกินค่ามาตรฐาน 7 จังหวัด (เลย สระแก้ว สุราษฎร์ธานี ภูเก็ต สตูล ยะลา นราธิวาส) จังหวัดที่เกินมาตรฐานร้อยละ 1-5 จำนวน 4 จังหวัด จังหวัดที่เกินมาตรฐานร้อยละ 6-10 จำนวน 4 จังหวัด จังหวัดที่เกินมาตรฐานร้อยละ 11-20 จำนวน 14 จังหวัด และจังหวัดที่เกินมาตรฐานมากกว่าร้อยละ 20 จำนวน 4 จังหวัด

พารามิเตอร์สำคัญที่ยังคงเป็นปัญหา คือ ฝุ่นละออง PM₁₀ ฝุ่นละออง PM_{2.5} และก๊าซโอโซน ซึ่งฝุ่นละออง PM_{2.5} มีแนวโน้มลดลง ฝุ่นละออง PM₁₀ และก๊าซโอโซน มีแนวโน้มทรงตัวสาเหตุเนื่องจากสภาพอากาศนิ่ง แนวความกดอากาศสูง การจราจรหนาแน่น การเผาในที่โล่ง การก่อสร้างพื้นที่เขตอุตสาหกรรมเกิดการสะสมของฝุ่นละอองในบรรยากาศในพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล มีปัญหาฝุ่นละออง PM_{2.5} ซึ่งส่วนใหญ่มาจากยานพาหนะ การจราจรที่หนาแน่น การเผาในที่โล่ง อากาศจมน้ำ ลมสงบ ความกดอากาศสูง เกิดการสะสมของฝุ่นละอองในบรรยากาศ จนเริ่มมีปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} เกินมาตรฐานในช่วงเดือนธันวาคม-มีนาคม ของทุกปี (ภาพที่ 2.11)

ในส่วนของพื้นที่ตำบลหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี เป็นพื้นที่ที่ต้องมีมาตรการในการแก้ไขปัญหาอย่างเข้มข้น โดยพบปริมาณฝุ่นละอองสูงเกินค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง โดยเฉพาะหน้าแล้ง ตั้งแต่เดือนตุลาคม-ธันวาคม และมกราคม-มีนาคม ของทุกปี (ภาพที่ 2.12) ในปี 2561 จำนวนวันที่ฝุ่นละออง PM10 เกินค่ามาตรฐาน 165 วัน จากการตรวจวัด 362 วัน (ร้อยละ 46) เพิ่มขึ้นจากปี 2560 ร้อยละ 27 ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่ตรวจวัดได้อยู่ระหว่าง 27-303 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ค่ามาตรฐาน 120) ส่วนค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 119.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ค่ามาตรฐาน 50) ซึ่งสูงกว่าปี 2560 ที่มีค่าเท่ากับ 103.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ภาพที่ 2.13) ส่วนปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 3-133 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ค่ามาตรฐาน 50) ค่าเฉลี่ยรายปี 9-41 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เฉลี่ยทั่วประเทศ 24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ค่ามาตรฐาน 25) มีแนวโน้มลดลง ตั้งแต่ปี 2558 แต่ในปี 2561 เพิ่มขึ้นจากปี 2560 โดยรวมมีแนวโน้มทรงตัวทั้งประเทศดังภาพที่ 2.14 (กรมควบคุมมลพิษ, 2561)

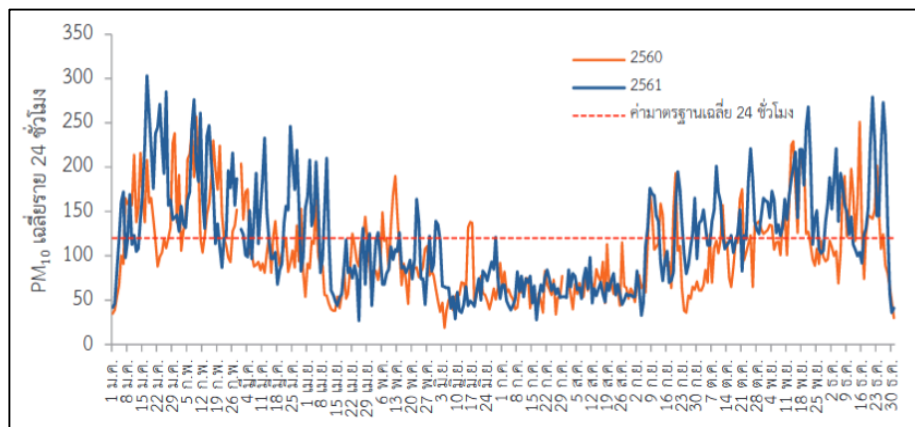


ภาพที่ 2.10 ปริมาณฝุ่นละออง PM10 เฉลี่ยรายปี 2561 และแนวโน้มปริมาณ PM10 พ.ศ. 2551-2561 ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2561)



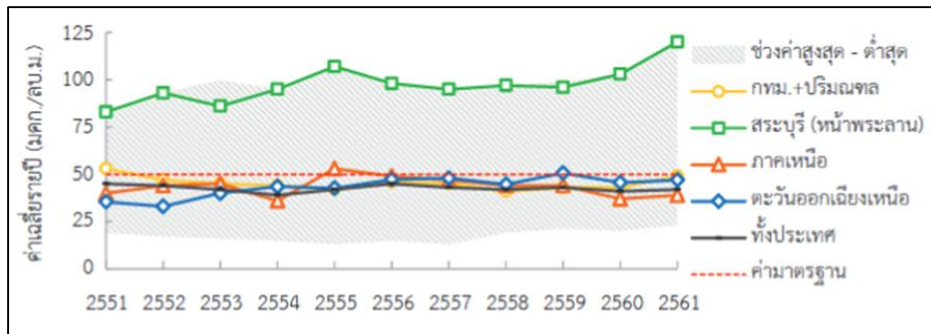
ภาพที่ 2.11 ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในพื้นที่ กรุงเทพฯ ปี 2559-2562

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2561)



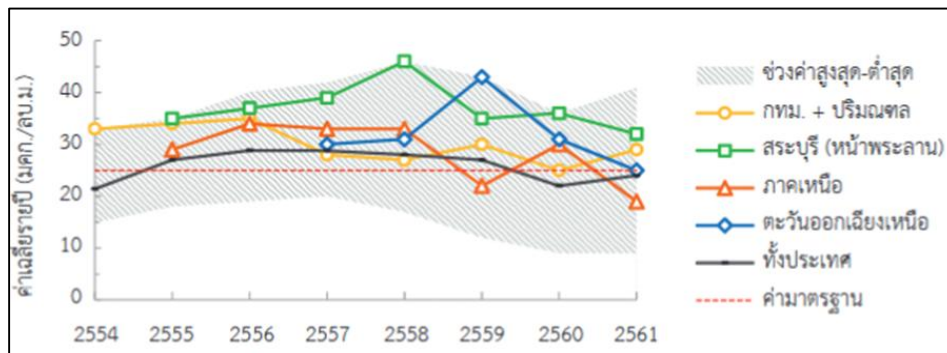
ภาพที่ 2.12 ผลการตรวจวัดฝุ่นละออง PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในพื้นที่ตำบลหน้าพระลาน จังหวัด สระบุรี ปี 2560-2561

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2561)



ภาพที่ 2.13 ปริมาณฝุ่นละออง PM10 เฉลี่ยรายปี ปี 2551-2561

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2561)



ภาพที่ 2.14 ปริมาณฝุ่นละออง PM2.5 เฉลี่ยรายปี ปี 2554-2561

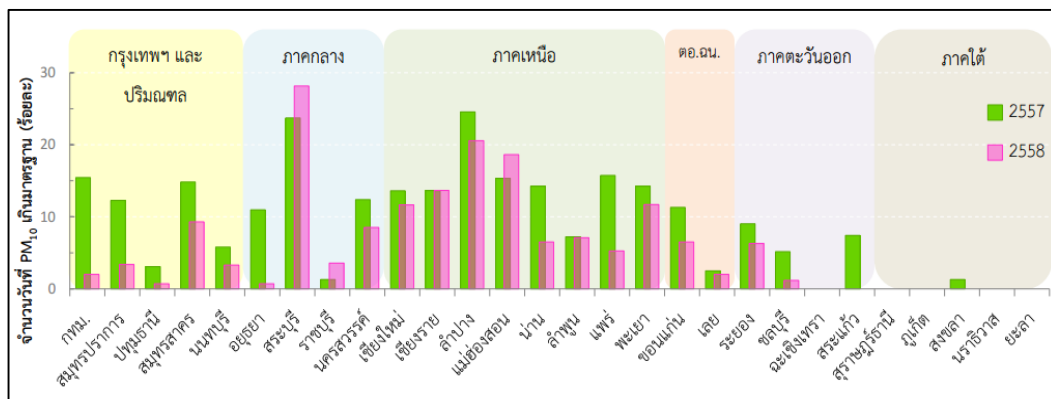
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2561)

2.5.3 สถานการณ์หมอกควันพื้นที่ภาคเหนือตอนบน

ปัญหาหมอกควัน นับเป็นปัญหาสำคัญในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สืบเนื่องจากหมอกควันเป็นมลพิษที่สามารถเคลื่อนย้ายข้ามพรมแดนได้ (Litta, 2012) โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย นับเป็นพื้นที่วิกฤติที่ปัญหาหมอกควันมีความรุนแรงของปัญหาที่เชื่อมโยงและบ่งชี้ไปถึงการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยมีสาเหตุมาจากการเผาในที่โล่ง การเผาเศษวัสดุ วัสดุ เพื่อปรับปรุงพื้นที่สำหรับการเกษตร อีกทั้ง ยังมีไฟป่าที่เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้มีปริมาณฝุ่นเพิ่มขึ้น การเผาต่างๆ เหล่านี้ นับเป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศที่ส่งผลต่อปัญหาหมอกควัน อย่างไรก็ตาม ปริมาณฝุ่นจะกระจายตัวมากขึ้นหรือนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาเป็นหลัก หากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาไม่เหมาะสมก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณฝุ่นละอองและมลพิษทางอากาศสะสมอยู่ในพื้นที่ กล่าวคือ สภาพอากาศที่แห้งและเสถียรทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ปัญหานี้ ส่งผลกระทบ

ต่อธุรกิจการท่องเที่ยวและการบริการ การจราจรทั้งทางบกและทางอากาศ สุขภาพของประชาชน ในพื้นที่โดยตรง (Chantara et al., 2012; Kim and Leelasakultum, 2011; Tiypairat and Sajor, 2012; Wiriya et al., 2013) ทั้งนี้ สำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย มักจะเกิดสถานการณ์หมอกควันรุนแรงตั้งแต่ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน (Sooktawee et al., 2015)

กรมควบคุมมลพิษ (2558) ได้รายงานผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ ในช่วงเดือนมกราคม-พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ในภาพรวม พบว่า PM10 ในช่วงต้นปี พ.ศ. 2558 จำนวนวันที่ PM10 เกินค่ามาตรฐานในทุกภาคของประเทศลดลงกว่าปีที่ผ่านมา เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกัน (ภาพที่ 2.15) (ปี พ.ศ. 2557 เกินค่ามาตรฐานเฉลี่ยร้อยละ 11 ลดลงเหลือร้อยละ 7 ในปี พ.ศ. 2558) ในพื้นที่ภาคเหนือ เป็นพื้นที่ที่จะเกิดภาวะหมอกควันในช่วงต้นปีของทุกปี สำหรับปี พ.ศ. 2558 จำนวนวันที่ PM10 เกินค่ามาตรฐานลดลงอย่างน่าพอใจ โดยในจังหวัดแพร่และน่าน ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นจังหวัดแม่ฮ่องสอนพบปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากมีการปรับมาตรการในการแก้ไขปัญหา ทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการเผาในที่โล่งดีขึ้น



ภาพที่ 2.15 ร้อยละของจำนวนวันที่พบปริมาณ PM10 เกินค่ามาตรฐานช่วงเดือน

มกราคม-พฤษภาคม เปรียบเทียบปี พ.ศ. 2557 และ ปี พ.ศ. 2558

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2558)

ส่วนสถานการณ์หมอกควันใน 9 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2559 ภาพรวมของสถานการณ์ ดีขึ้นอย่างชัดเจน (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) เป็นผลจากการบริหารจัดการป้องกันและแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควันอย่างเข้มข้น และทุกฝ่ายร่วมมือกันอย่างเต็มที่ในการแก้ไขปัญหา ส่งผลให้ช่วงวิกฤตหมอกควันระหว่างวันที่ 1 มกราคม-15 เมษายน พ.ศ. 2559 (ปกติสถานการณ์หมอกควันจะสิ้นสุดก่อนวันที่ 15 เมษายนของทุกปี) จำนวนจุดความร้อนรวมใน 9 จังหวัดภาคเหนือ ลดลงกว่าร้อยละ 20 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2558 ปริมาณฝุ่นละอองในจังหวัด

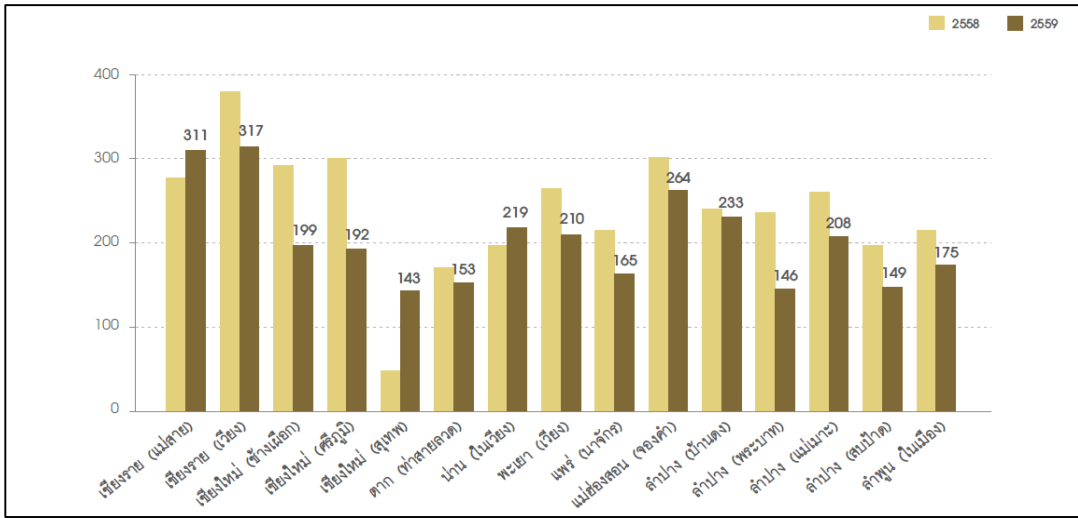
ส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดยปริมาณฝุ่นละอองสูงสุดลดลงจาก 381 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในปี พ.ศ. 2558 เหลือ 317 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ภาพที่ 2.16) อย่างไรก็ตาม ในปี พ.ศ. 2559 พบปัญหาในช่วงเวลาที่แตกต่างจากหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากเกิดสภาพอากาศแห้งแล้งยาวนาน ฝนตกเพียงเล็กน้อยในช่วงเดือนเมษายนและต้นเดือนพฤษภาคม พบว่ามีการเพิ่มขึ้นจากการเผาในช่วงหลังจากวันที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2559 จึงทำให้ฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐาน นอกจากนี้ ยังพบว่า ในช่วงวันที่ 1 มกราคม-15 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ค่า PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่าสูงสุด เกินมาตรฐานมากที่สุดคือ 311 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่จังหวัดเชียงราย และพบว่า จำนวนวันที่เกินค่ามาตรฐานเมื่อเทียบกับสถานการณ์ปี พ.ศ. 2558 โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของกรมควบคุมมลพิษค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของแต่ละวัน หากจังหวัดไหนมีจุดตรวจวัดมากกว่า 1 จุดให้นำค่าตรวจวัดแต่ละจุดรวมกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยผลสรุปได้ดังตารางที่ 2.5

ในปี 2561 จำนวนวันที่ฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐานลดลงจากปี 2559 และปี 2560 จาก 61 วัน และ 38 วัน เป็น 34 วัน (ลดลงร้อยละ 44 และ 11 ตามลำดับ) จุดความร้อนสะสมรายจังหวัดมีค่าลดลงจากปี 2559 และปี 2560 จาก 10,133 จุด และ 5,418 จุด เป็น 4,722 จุด (ลดลงร้อยละ 53 และ 13 ตามลำดับ) (ภาพที่ 2.17) ปัจจัยที่ทำให้สถานการณ์หมอกควันภาคเหนือดีขึ้นเกิดจากการบูรณาการร่วมกันกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยกระทรวงมหาดไทยเป็นเจ้าภาพหลักภายใต้กลไกพระราชบัญญัติป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย พ.ศ. 2550 และมีผู้ว่าราชการจังหวัดบัญชาการ (กรมควบคุมมลพิษ, 2561)

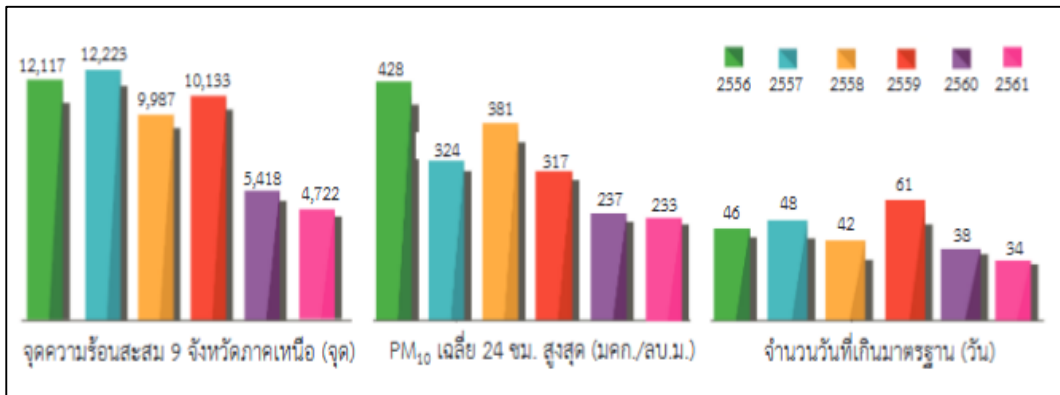
ตารางที่ 2.5 จำนวนวันที่มีค่า PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงเกินค่ามาตรฐานของ WHO (50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ เปรียบเทียบระหว่างปี 2557, 2558 และ 2559

จังหวัด	จำนวนวันเกินค่ามาตรฐานของ WHO ≥ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร			จำนวนวันเกินค่ามาตรฐานของ กรมควบคุมมลพิษ ≥ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร			ค่า PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงสุดของปี		
	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559	ปี 2557	ปี 2558	ปี 2559
ลำพูน	126	132	121	12	12	11	175	223	175
แพร่	157	134	119	25	9	18	184	209	165
พะเยา	108	103	100	22	19	22	298	274	210
ตาก	88	135	122	5	14	12	144	171	153

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2559)



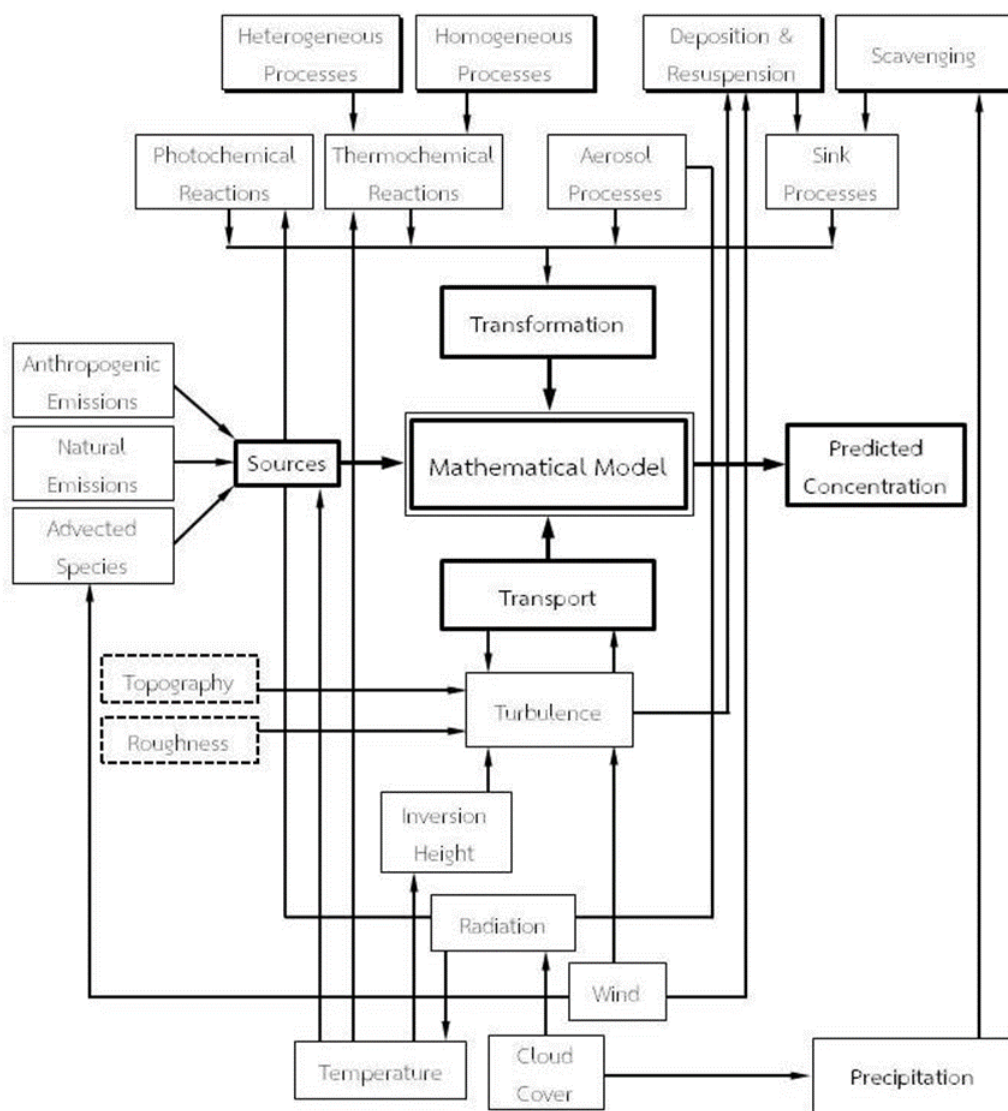
ภาพที่ 2.16 ปริมาณ PM10 จากสถานีตรวจวัดใน 9 จังหวัดภาคเหนือตอนบนค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด ช่วงเดือนมกราคม - เมษายน ปี 2559
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2559)



ภาพที่ 2.17 สถานการณ์ปัญหาหมอกควัน 9 จังหวัดภาคเหนือ ช่วงปี 2556-2561 (ระหว่างวันที่ 1 มกราคม-31 พฤษภาคม ของทุกปี)
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2561)

2.6 การพยากรณ์สถานการณ์หมอกควันด้วยแบบจำลอง WRF-Chem

การจำลองมลพิษทางอากาศ มีองค์ประกอบหลักของข้อมูลที่ใช้นำเข้าแบบจำลอง คือ ข้อมูลปริมาณการปลดปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดและข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งเป็นการคำนวณผ่านกระบวนการปฏิสัมพันธ์ทางฟิสิกส์และเคมีในบรรยากาศที่ซับซ้อน ดังแสดงในภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 องค์ประกอบของแบบจำลองทางเคมีในบรรยากาศ
ที่มา: Seinfeld and Pandis (1997)

2.6.1 องค์ประกอบหลักของข้อมูลที่ใช้นำเข้าแบบจำลอง

1. การระบายมลพิษ

แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยทั่วไปประกอบด้วยแหล่งกำเนิดชนิดหลัก คือ แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ แหล่งกำเนิดมลพิษจากพืช และแหล่งกำเนิดจากการเผาชีวมวล ในการคำนวณปริมาณหรืออัตราการระบายมลพิษใช้หลักการพื้นฐานเมื่อมีการลดหรือกำจัดมลพิษ (Vallack, 2012)

$$\text{Emissions} = \text{Emission factor} \times \text{Activity rate}$$

หรือ

$$\text{Emissions} = \text{Emission factor} \times \text{Activity rate} - \text{Abatement/ Recovery}$$

สำหรับประเภทของการระบายมลพิษที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และนำมาใช้ในการสร้างบัญชีอัตราการระบายนั้น ประกอบด้วย 7 ประเภทด้วยกัน คือ ภาคพลังงาน ภาคอุตสาหกรรม ภาคที่อยู่อาศัย ภาคเกษตรกรรม ภาคการขนส่งทางพื้นดิน ภาคการขนส่งทางอากาศ และภาคการขนส่งทางเรือ ข้อมูลเหล่านี้ได้ถูกรวบรวมและคำนวณให้อยู่ในรูปแบบตารางพื้นที่ (Grid cell) (Janssens-Maenhout et al., 2011; 2015)

ในการคำนวณหาอัตราการระบายจากแหล่งกำเนิดที่มีการสันดาปแบบไม่เคลื่อนที่หรือในกระบวนการของภาคอุตสาหกรรม โดยอัตราการระบาย SO_2 สามารถคำนวณได้จาก

$$E = \sum_{i,j} \{A_{i,j} \times S_{i,j} \times (1 - SR_{i,j}) \times (1 - R_{i,j})\}$$

สำหรับมลพิษอื่นๆ ใช้สมการดังนี้

$$E = \sum_{i,j} \{A_{i,j} \times EF_{i,j} \times (1 - R_{i,j})\}$$

เมื่อ E คืออัตราการระบายมลพิษจากเชื้อเพลิงชนิด i และ Sector Type j โดยที่ S คือปริมาณของซัลเฟอร์ในเชื้อเพลิง SR คือปริมาณซัลเฟอร์ที่คงเหลือในเถ้า EF คือตัวคูณมลพิษ และ R คือประสิทธิภาพการกำจัด (Kurokawa et al., 2013)

การระบายมลพิษจากภาคการขนส่งสัมพันธ์กับชนิดของเชื้อเพลิง ระยะทางที่พาหนะเคลื่อนที่ผ่าน และชนิดของยานพาหนะที่ใช้ โดยในการคำนวณจะแบ่งพาหนะออกเป็นชนิดต่างๆ เช่น รถยนต์ รถจักรยานยนต์ รถบรรทุก รถโดยสาร เป็นต้น การคำนวณนั้นยังแบ่งออกเป็นมลพิษที่ระบายออกสู่สภาพแวดล้อมภายใต้สภาวะที่เครื่องยนต์ทำงานในอุณหภูมิปกติ และในสภาวะที่เครื่องยนต์เย็น มีสมการการคำนวณ ดังนี้

$$E_{HOT} = \sum_i \{NV_i \times ADT_i \times EF_{HOTi}\}$$

$$E_{COLD} = \sum_i \{NV_i \times ADT_i \times EF_{HOTi} \times \beta_i \times F_i\}$$

เมื่อ E คืออัตราการระบายสำหรับยานพาหนะชนิด i NV คือจำนวนของยานพาหนะ ADT คือระยะทางที่ยานพาหนะได้เดินทางผ่าน EF คือ β และ F คือฟังก์ชันของอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน (Kurokawa et al., 2013)

ข้อมูลอัตราการระบายมลพิษจากการเผาในที่โล่งสามารถใช้ข้อมูลจาก NCAR (FINN) ที่สนับสนุนข้อมูลในทุกๆ วัน และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร ในการคำนวณค่าการระบายของ FINN ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมที่ทำการตรวจสอบการเกิดการเผาไหม้ร่วมกับลักษณะการปกคลุมของพื้นที่ทำการคำนวณร่วมกับค่าตัวคูณปัจจัยการปล่อยมลพิษและปริมาณเชื้อเพลิงที่ได้จากการคาดการณ์ เพื่อให้ได้ค่าอัตราการระบายมลพิษจากการเผาในที่โล่ง ที่สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ (Wiedinmyer et al., 2011)

$$E_i = A(x,t) \times B(x) \times FB \times ef_i$$

เมื่อ E_i คืออัตราการระบายของมลพิษ i ที่ได้จากพื้นที่ที่ถูกเผา $A(x,t)$ ที่เวลา t ณ ตำแหน่ง x โดยที่ $B(x)$ เท่ากับปริมาณเชื้อเพลิง FB คือสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้ และ ef_i คือค่าตัวคูณปัจจัยการปล่อยมลพิษ (Wiedinmyer et al., 2011) สำหรับการคำนวณค่าอัตราการระบายจากแหล่งกำเนิดอื่นๆ สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก Vallack (2012)

นอกจากนี้ ยังมีชุดข้อมูลการระบายมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์มีชื่อว่า EDGAR-HTAP version2 ที่เป็นการรวบรวมและปรับปรุงบัญชีอัตราการระบายในระดับภูมิภาค ที่นำมาประเมินร่วมกันเป็นบัญชีอัตราการระบายมลพิษทางอากาศระดับโลก บัญชีข้อมูลการระบายมลพิษที่ได้สร้างโดยใช้ข้อมูลอัตราการระบายที่มีอยู่ในระดับภูมิภาค ประกอบด้วย SO_2 , NO_x , CO , $NMVOC$, NH_3 , PM_{10} , $PM_{2.5}$, BC และ OC สำหรับปี ค.ศ. 2008 และ 2010 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ข้อมูลสอดคล้องกันและใช้ได้สำหรับแบบจำลองระดับโลกและระดับภูมิภาค บัญชีข้อมูลระดับภูมิภาคที่ใช้นำมาจัดทำประกอบด้วยข้อมูลจาก USEPA ของสหรัฐอเมริกา และ Environment Canada สำหรับแคนาดา, The European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) and Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO) สำหรับยุโรป และ The Model Intercomparison Study for Asia (MICS-Asia III) สำหรับประเทศจีน อินเดีย และประเทศในเอเชีย สำหรับข้อมูลที่ขาดหายหรือมีช่องว่างนั้น ได้ใช้ข้อมูลจาก The Emissions Database for

Global Atmospheric Research (EDGARv4.3) สำหรับเติมเต็ม และสำหรับพื้นที่ที่เหลืออื่นๆ เช่น ประเทศในอเมริกาใต้ แอฟริกา รัสเซีย และหมู่เกาะ (Janssens-Maenhout et al., 2015)

2. อุตุนิยมวิทยา

ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาจะเป็นส่วนหนึ่งที่สัมพันธ์กับการกระจายตัวของมลพิษทางอากาศที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศรวมทั้งฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศเป็นส่วนหนึ่งของกลไกที่ซับซ้อนในการจำลองทางด้านบรรยากาศที่ประกอบด้วย 3 กลไกหลัก คือ การระบายมลพิษ การเคลื่อนย้าย และการเปลี่ยนรูปร่างเคมีกายภาพที่มีการคำนวณทางคณิตศาสตร์เชื่อมโยงกันระหว่าง การระบายมลพิษ อุตุนิยมวิทยา การเปลี่ยนรูปร่างเคมีกระบวนการ โดยแสดงดังภาพที่ 2.18 (Seinfeld and Pandis, 1997)

สำหรับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่จำเป็นต้องใช้นำเข้าแบบจำลอง WRF-Chem ประกอบด้วย ข้อมูล 3 กลุ่มหลัก คือ ข้อมูลตัวแปรแบบสามมิติที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ข้อมูลตัวแปรแบบสองมิติที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และข้อมูลตัวแปรแบบสองมิติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยมีรายละเอียดดังนี้ ข้อมูลตัวแปรแบบสามมิติที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ องค์ประกอบของลมแนวระนาบตามแนวแกน X และ Y

2.6.2 แบบจำลอง WRF และแบบจำลอง WRF-Chem

แบบจำลอง WRF เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนาโดยมี NCAR และ NOAA เป็นหน่วยงานหลักที่ร่วมมือกับหน่วยงานอื่นๆ ทั้งในและนอกประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีลักษณะเป็น Community model กล่าวคือ เป็นแบบจำลองที่เผยแพร่ Source Code ของแบบจำลอง คู่มือ และรวมถึงทรัพยากรต่างๆ ฟรี ทั้งนี้ แบบจำลอง WRF เป็นแบบจำลองประเภท non-hydrostatic และระบบพิกัดเป็นแบบ mass-based terrain following coordinate มีสมการดังนี้

$$\eta = \frac{(p_h - p_{ht})}{\mu}$$

$$\mu = p_{hs} - p_{ht}$$

เมื่อ p_h คือ ความดันที่เป็น hydrostatic component สำหรับ p_{hs} และ p_{ht} คือค่าของความดันที่พื้นผิว และที่ขอบด้านบนสุดของ domain สำหรับการจำลอง และ μ คือค่าที่บ่งชี้ไปถึงคอลัมน์ของมวลอากาศในแนวตั้ง

สำหรับสมการหลักที่ใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง WRF นั้นประกอบด้วยสมการดังนี้

$$\partial_t U + (\nabla \cdot \mathbf{V}u) - \partial_x(p\phi_n) + \partial_n(p\phi_x) = F_U$$

$$\partial_t V + (\nabla \cdot \mathbf{V}v) - \partial_y(p\phi_n) + \partial_n(p\phi_y) = F_V$$

$$\partial_t W + (\nabla \cdot \mathbf{V}w) - g(\partial_n p - \mu) = F_W$$

$$\partial_t \Theta + (\nabla \cdot \mathbf{V}\theta) = F_\Theta$$

$$\partial_t \mu + (\nabla \cdot \mathbf{V}) = 0$$

$$\partial_t \phi + \mu^{-1} [(\mathbf{V} \cdot \nabla \phi) - gW] = 0$$

และสมการสถานะ

$$p = p_0 (R_d \theta / p_0 \alpha)^\gamma$$

รายละเอียดสมการและตัวแปรปรากฏใน Skamarock et al. (2008) นอกจากนี้แบบจำลองยังได้รวมการคำนวณของความชื้น ระบบพิกัดของโลก รวมถึงการคำนวณทางฟิสิกส์ในบรรยากาศ ประกอบด้วย Longwave radiation, Shortwave radiation, Surface layer, Land/water surface, Cumulus, Microphysics, Turbulence/Diffusion รายละเอียดปรากฏใน (Skamarock et al., 2008)

สำหรับขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง WRF (NCAR, 2016) แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 2.19 โดยอุษา ฮัมฟรี และคณะ (2559) ให้รายละเอียดไว้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมข้อมูลเริ่มต้น (initial data)

เป็นส่วนการทำงานแรกที่ใช้ในการเตรียมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับแบบจำลอง (WRF) เรียกว่า initial data หรือข้อมูลนำเข้าเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญต่อแบบจำลองบรรยากาศ (WRF) เพราะเนื่องจากแบบจำลองต้องใช้ข้อมูลเริ่มต้น (initial data) เพื่อใช้ในการประมวลผล ดังนั้นข้อมูลเริ่มต้น (initial data) ที่ใช้ในแบบจำลองบรรยากาศ (WRF) แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ terrestrial data (USG 24 category land dataset, and MODIS 20 category land dataset) และ gridded data (Global Forecast System: GFS, Climate Forecast System: CFS, etc.)

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการ The WRF Preprocessing System (WPS)

โปรแกรม the WRF Preprocessing System (WPS) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้น (initial data) จากขั้นตอนที่ 1 ก่อนที่จะเข้าสู่การประมวลผลโดยแบบจำลองบรรยากาศ (WRF) ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนดพื้นที่และขอบเขตที่ต้องการศึกษา
- 2) ทำการคำนวณข้อมูล terrestrial data ไปยังพื้นที่และขอบเขตที่ต้องการจะศึกษา

3) ทำการคำนวณข้อมูล gridded data ไปยังพื้นที่และขอบเขตที่ต้องการจะศึกษามีชุดโปรแกรมหลักที่ต้องใช้ในการคำนวณอยู่ด้วยกัน 3 โปรแกรม ดังนี้

โปรแกรม Geogrid เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการกำหนดขนาดของโดเมน จำนวนโดเมน ขนาดของกริด ชนิดของเส้นโครงแผนที่ที่ใช้และนำเข้าข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์มาจัดเรียงลงบนพื้นที่ที่ศึกษา คำนวณค่าและประมาณค่าข้อมูลที่คงที่ เช่น ความสูงของภูมิประเทศ ประเภทของดินแต่ละกริดบนโดเมน

โปรแกรม Ungrip เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการจัดการเปลี่ยนข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ในรูปแบบ GRIP ไปเป็นรูปแบบข้อมูลเริ่มต้นเพื่อไปใช้ในโปรแกรม Metgrid ต่อไป

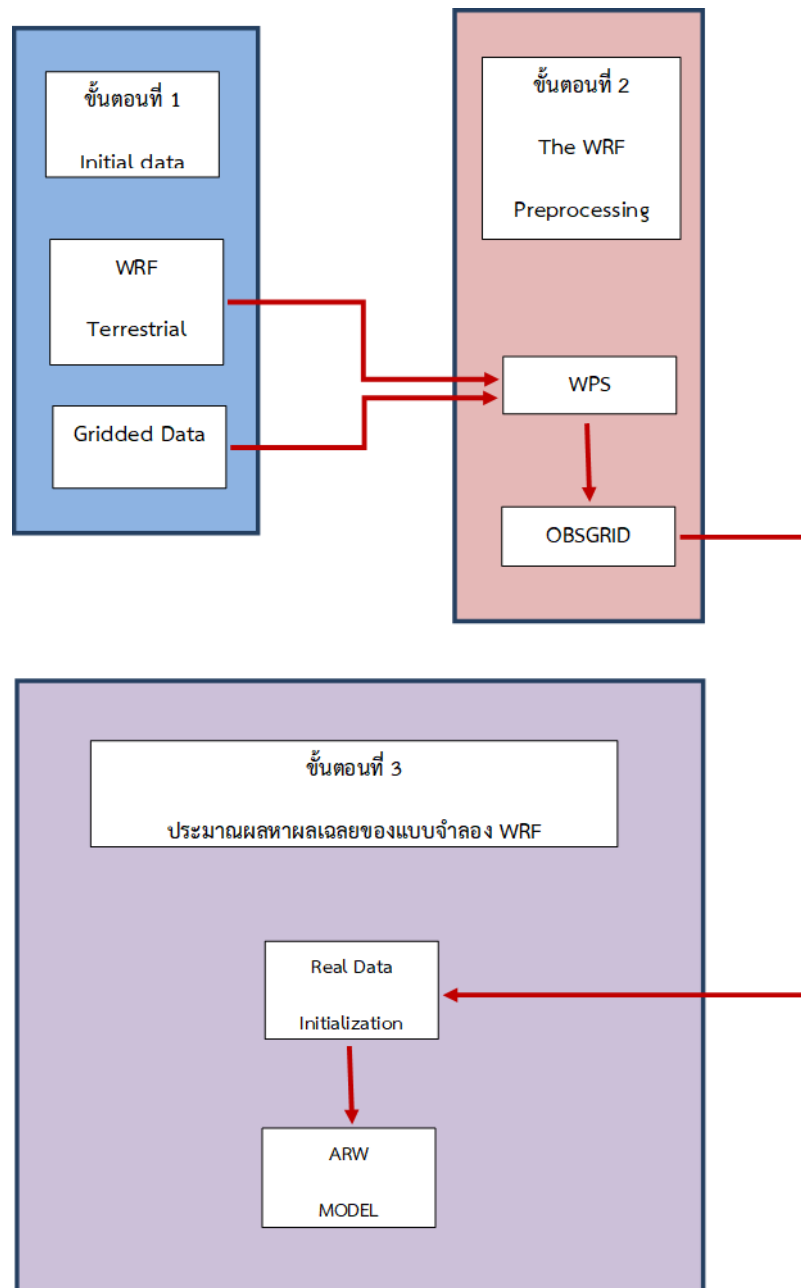
โปรแกรม Metgrid เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการประมาณค่าข้อมูลในแนวระนาบของข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากโปรแกรม Ungrip ไปสู่กริดบนโดเมนที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม Geogrid ผลลัพธ์ของโปรแกรม Metgrid จะได้รูปแบบข้อมูลเริ่มต้น (intermediate file)

ขั้นตอนที่ 3 ประมวลผลหาผลเฉลี่ยของแบบจำลองบรรยากาศ (WRF)

เป็นขั้นตอนที่หาผลเฉลี่ยของแบบจำลอง WRF หรือส่วนประกอบตัวแปรของแบบจำลองซึ่งมีหลายตัวแปรด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข มีชุดโปรแกรมหลักที่ต้องใช้ในการคำนวณด้วยกันทั้งหมด 2 โปรแกรมดังนี้

โปรแกรม Real เป็นโปรแกรมที่อ่านไฟล์ข้อมูลที่ได้จากส่วนที่ 1 เพื่อนำมาประมาณค่าข้อมูลแนวตั้งพร้อมทั้งมีการสร้างแฟ้มข้อมูลเงื่อนไขค่าเริ่มต้น และแฟ้มข้อมูลเงื่อนไขค่าขอบเขตสำหรับใช้ในแบบจำลอง

โปรแกรม WRF (ARW Model) เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณผลการพยากรณ์ในขั้นตอนสุดท้ายที่ประกอบด้วยกลไกทางฟิสิกส์และอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศ



ภาพที่ 2.19 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง WRF

สำหรับแบบจำลอง WRF-Chem นั้น เป็นการนำเอาส่วนการคำนวณทางเคมีเข้าร่วมเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลอง WRF เพื่อให้มีศักยภาพเพิ่มขึ้นในการจำลองทางเคมีในบรรยากาศ จึงกลายเป็นแบบจำลอง WRF-Chem ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายตามวัตถุประสงค์ โดยเฉพาะประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการสร้างการคาดการณ์ที่มีองค์ประกอบทางเคมีอยู่นอกเหนือจากการพยากรณ์อากาศทางอุตุนิยมวิทยาในปัจจุบัน โดยมีรายละเอียดบางส่วนดังต่อไปนี้

1. การตกสะสมแบบแห้งที่มีปฏิสัมพันธ์กับกระบวนการทางดินและพืช
2. การระบายมลพิษ/เคมี จากกิจกรรมของมนุษย์และจากพืช
3. แบบจำลอง Plume rise สำหรับการระบายจากไฟฟ้า
4. กลไกการคำนวณเคมีทางรูปแบบก๊าซ
5. Photolysis schemes
6. Aerosol schemes

ซึ่งสามารถทำการจำลองแบบควบคู่หรือมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันของสภาพอากาศ การแพร่กระจายของมลพิษ และคุณภาพอากาศ ได้อย่างสมบูรณ์ทางเคมี โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจำลองของก๊าซไอโซนและฝุ่นละออง (PM) ได้ (Peckham et al., 2015)

สำหรับกลไกทางเคมีในแบบจำลอง WRF-Chem นั้นได้มีตัวเลือกการคำนวณทางกลไกเคมีที่หลากหลายชนิด (Peckham et al., 2015) กลไกทางเคมี Model for Ozone and Related chemical Tracers (MOZART) เป็นกลไกหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาในเร็วๆ นี้ ในเวอร์ชันที่ 4 ประกอบด้วย 85 ชนิดของเคมีในรูปแก๊ส, ละอองลอยในบรรยากาศ (aerosol) จำนวน 12 ชนิด, ปฏิกิริยา Photolysis และ Gas-phase จำนวน 39 ปฏิกิริยา และ 157 ปฏิกิริยา ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถทำการ mapping สาร long-live VOCs จาก MOZART ไปยังกลไกเคมีอื่นๆ ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปสำหรับแบบจำลองระดับภูมิภาค เช่น กลไกเคมี SAPRC-99, RADM, CBMZ รวมถึงสามารถประยุกต์ใช้การทำเงื่อนไขขอบเขตการจำลอง (Boundary Condition) ระดับของภูมิภาคได้ แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การประมาณจำพวกทางเคมีของกลไก MOZART ไปยังกลไกอื่น ๆ

MOZART-4	SAPRC-99	RADM2	CBMZ
C2H6	ALK1	ETH	C2H6
C3H8	ALK2	HC3	PAR
BIGALK	ALK3+ALK4+ALK5	HC5	PAR
C2H4	ETHE	OL2	ETH
C3H6	OLE1		PAR
BIGENE	OLE2	OLET+OLEI	OLET+OLEI, PAR
TOLUENE	ARO1+ARO2	TOL+XYL	TOL+XYL
ISOP	ISOPRENE	ISO	ISOP
C10H16			
CH3OH	MEOH		CH3OH

ตารางที่ 2.6 การประมาณจำพวกทางเคมีของกลไก MOZART ไปยังกลไกอื่น ๆ (ต่อ)

MOZART-4	SAPRC-99	RADM2	CBMZ
C2H5OH			
CH2O	HCHO	HCHO	HCHO
CH3CHO	CCHO	ALD	ALD2
CH3COOH		ORA2	RCOOH
GLYOXAL		GLY	
GLYALD		ALD	ALD2
CH3OOH		OP1	CH3OOH
C2H5OOH		OP2	ETHOOH
CH3COOOH		PAA	
CH3COCH3	ACET	KET	AONE
HYAC		KET	AONE
CH3COCHO		MGLY	MGLY
ONIT		ONIT	ONIT
MEK	MEK+PRD2	KET	AONE
MVK	MVK		ISOPRD
MACR	METHACRO		ISOPRD
MPAN			
HYDRALD			ISOPRD
BIGALD			OPEN
ISOPNO3			ISOPN
ONTTR			ONIT
CRESOL		CSL	CRES

ที่มา: Emmons et al., (2010)

2.7 ระบบเตือนภัยสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นปัจจัยเสริมที่สำคัญต่อแนวโน้มการเกิดคลื่นความร้อน นอกจากส่งผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจและสังคมแล้วยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ การเตรียมรับมือกับสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตโดยเฉพาะความเสี่ยงต่อสุขภาพจากความร้อน หากมีมาตรการป้องกันที่ดีจะช่วยลดการเสียชีวิตได้ โดยหนึ่งในมาตรการป้องกันที่ดี คือ “ระบบการเตือนภัยสุขภาพ” เพื่อป้องกันก่อนที่ผลกระทบจะเกิดขึ้น โดยวิธีการติดตาม/ เฝ้าระวังสถานการณ์มลพิษความเชื่อมโยงของสิ่งแวดล้อมและพิบัติภัย

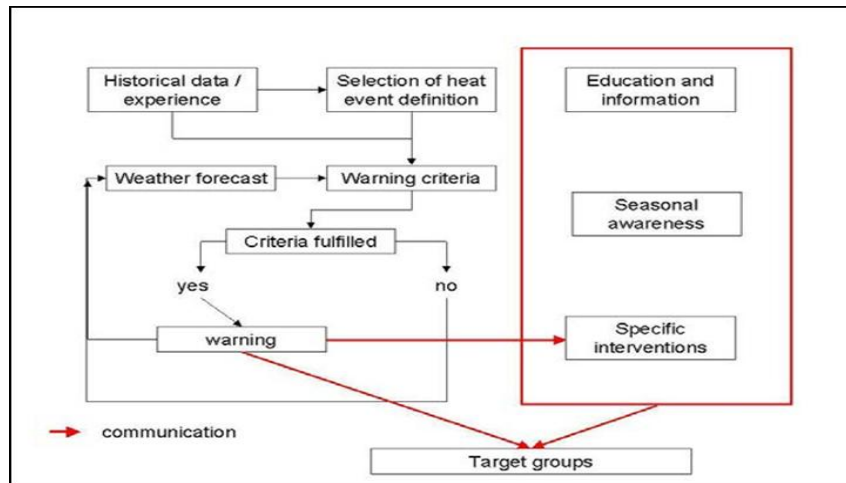
แบบทันที (Real Time) ทั้งนี้ วิธีการดังกล่าวได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตรวจสอบผลกระทบอันไม่พึงประสงค์และการคาดคะเนผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งเรียกว่า “ระบบการเตือนภัยล่วงหน้า” หรือ Early Warning Systems; EWSs ซึ่งเป็นระบบที่มีลักษณะการทำงานแบบบูรณาการ (Integrated Systematic) สำหรับติดตาม รวบรวม ตรวจสอบ วิเคราะห์ แผลผล และสื่อสารข้อมูล (USEPA, 2005; Quansah et al., 2010; UNEP, 2012) นิยามของ early warning ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (2557) คือ การเตือนภัยล่วงหน้า การให้ข้อมูลข่าวสารที่มีศักยภาพ รวมทั้งการแจ้งเตือนตามช่วงระยะเวลาและทันต่อเหตุการณ์ผ่านทางหน่วยงาน/ องค์กรต่างๆ เพื่อให้เพื่อให้บุคคล ชุมชน และหน่วยงานที่กำลังเผชิญความเสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติสามารถกระทำการอย่างใดอย่างหนึ่งในการหลีกเลี่ยงหรือลดความเสี่ยงและพร้อมที่จะรับมือกับสถานการณ์ได้อย่างเหมาะสมเพื่อลดโอกาสการเกิดอันตรายและความสูญเสีย

สำนักงานว่าด้วยกลยุทธ์ระหว่างประเทศเพื่อการลดภัยพิบัติแห่งสหประชาชาติ (United Nations International Strategy for Disaster Reduction; UNISDR) ได้กำหนดกรอบการพัฒนา Early Warning Systems โดยมี 4 องค์ประกอบหลัก ซึ่งมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน ดังนี้

1. องค์ความรู้ด้านความเสี่ยง (Risk knowledge)
2. ระบบการติดตามตรวจสอบและการคาดการณ์ (Monitoring and predicting)
3. การเผยแพร่ข้อมูลข่าวสาร (Disseminating information)
4. การตอบสนอง (Response)

ทั้งนี้ Early Warning Systems ตั้งอยู่บนหลักการและแนวความคิดที่ว่า เมื่อใดก็ตามที่สามารถคาดการณ์ความเสี่ยงจากกระบวนการที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต รวมถึงกระบวนการที่เกิดตามธรรมชาติทั้งในระยะสั้น (Short Term) และระยะยาว (Long Term) ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำจะทำให้เพิ่มความสามารถหรือศักยภาพในการบริหารจัดการปัญหาและลดผลกระทบจากภัยพิบัติต่อระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น องค์การอนามัยโลก และองค์กรอุทกนิยมนิยามวิทยาโลก ได้ให้ข้อเสนอแนะต่อแนวทางการพัฒนาระบบเตือนภัยสุขภาพจากความร้อน (Heat waves and health: Guidance on warning system development) ดังแสดงในภาพที่ 2.20 โดยมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อให้มีความสำคัญกับการเตือนภัยกรณีเกิดเหตุการณ์คลื่นความร้อนที่อาจส่งผลกระทบต่อประชาชนและก่อให้เกิดการเสียชีวิตของประชาชนจากโรคลมแดดหรือ heatstroke ในหลายๆ ประเทศในช่วงที่ผ่านมา ดังนั้น ระบบเตือนภัยสุขภาพจากความร้อน จึงถูกพัฒนาและจัดทำขึ้นมาเพื่อกระตุ้นให้ผู้มีอำนาจ (Policy Maker) ในการตัดสินใจและสาธารณชนให้ได้ตระหนักถึงภัยอันตรายของสภาพอากาศร้อนจัดที่เกิดขึ้นตั้งแต่อดีต ปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอนาคตที่คาดการณ์ว่าจะทวีความรุนแรงมากขึ้น รวมทั้งการให้คำปรึกษา

ข้อเสนอแนะในการหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพจากสภาพอากาศร้อนจัด ทั้งนี้ ระบบเตือนภัยสุขภาพจากความร้อน ตั้งอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลสภาพอากาศเป็นลำดับแรก



ภาพที่ 2.20 กรอบโครงสร้างการพัฒนาระบบเตือนภัยความร้อนด้านสุขภาพ

ที่มา: WMO-WHO Heat waves and health: Guidance on warning system development (2015)

องค์ประกอบหลักที่สำคัญของระบบเตือนภัยสุขภาพจากความร้อน ประกอบด้วย (1) การพยากรณ์สภาพอากาศ (Weather forecasting) (2) การพิจารณาเมื่อถึงจุดวิกฤต (Determination of whether an action trigger) หรือการกำหนดค่าขีดจำกัดของอุณหภูมิ (Threshold temperature) หรือการกำหนดดัชนีชีวอุตุนิยมวิทยา (Bio - metrological index) เพื่อเตรียมความพร้อมต่อการเปลี่ยนแปลงในอนาคตที่คาดว่าจะสูงมากขึ้นกว่าระดับปกติในปัจจุบัน และ (3) การออกคำเตือน (Issuance of watch/warning messages) ให้แก่ ผู้ที่เกี่ยวข้องในทุกระดับและทุกภาคส่วน

การออกแบบระบบการเตือนภัยสุขภาพจากความร้อน มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญเพื่อกระตุ้นเตือนให้ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจและสาธารณสุขรับทราบและตระหนักถึงอันตรายของอากาศที่ร้อนจัดที่กำลังจะมาถึง รวมทั้งการให้คำแนะนำในการหลีกเลี่ยงผลกระทบเชิงลบ การเตือนภัยสุขภาพจากความร้อน ประกอบด้วย

1. ข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา (ตัวแปร/ ปัจจัยภูมิอากาศ) ข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานของเมือง (ผังเมือง/ แผนพัฒนาเมือง) และข้อมูลโครงสร้างประชากร (สถิติประชากร) ซึ่งข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญและจำเป็นต้องพิจารณารายละเอียดเชิงลึกของพื้นที่แต่ละแห่ง เนื่องจากที่ตั้งลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม รวมถึงวัฒนธรรม วิธีการดำรงชีวิตนั้นมี

ความหลากหลายและแตกต่างกัน หรืออาจกล่าวโดยสรุปได้ว่าไม่มีระบบเตือนภัยใดที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้ได้ในพื้นที่

2. ค่าขีดจำกัดของอุณหภูมิของระบบเตือนภัยความร้อนและสุขภาพนั้น จำเป็นต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานของจุดวิกฤตที่ส่งผลต่อสุขภาพของประชาชนอย่างแท้จริง โดยค่าขีดจำกัดของอุณหภูมินั้นจะมีระดับและมีความแตกต่างกันไปตามบริบทของพื้นที่นั้นๆ ทั้งนี้ ควรพิจารณาในรายละเอียดเพิ่มเติมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเริ่มต้นฤดูร้อนนั้นจะเป็นช่วงที่ประชาชนได้รับผลกระทบต่อสุขภาพอย่างรุนแรง

3. คำศัพท์ ที่จะนำมาใช้สื่อสารหรือปฏิสัมพันธ์ในระบบเตือนภัยความร้อนนั้นจะต้องเป็นคำศัพท์ที่ผู้รับข้อมูลสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย มีความกระชับชัดเจน และผู้ที่เกี่ยวข้องในทุกภาคส่วนต้องทำความเข้าใจร่วมกัน ไม่ว่าจะเป็นที่ระดับท้องถิ่น ภูมิภาค สาธารณชน และหรือผู้มีอำนาจในการตัดสินใจ ดังนั้น การเลือกใช้คำนิยามหรือคำศัพท์ที่แปลความหมายได้ง่าย ชัดเจน จะช่วยสนับสนุนให้การสื่อสารนั้นมีประสิทธิภาพและมีความเข้าใจในทิศทางเดียวกัน ทั้งยังสามารถนำไปใช้ได้ในทุกระดับหมายรวมถึง วิถีชีวิตของท้องถิ่นต่างๆ ช่วงอายุของประชาชน เช่น กลุ่มผู้สูงอายุ และกลุ่มชาติพันธุ์ต่างๆ เป็นต้น

4. แผนการตั้งรับและป้องกันต่อผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากสภาพอากาศร้อนจัด จะต้องเป็นแผนการที่มีคุณภาพ มีรายละเอียดและมีความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละพื้นที่ โดยแผนปฏิบัติการ (Action Plan) ที่ดีนั้น จะต้องมีการกำหนดรายละเอียดการดำเนินงานอย่างเป็นขั้นตอน โดยใช้กระบวนการมีส่วนร่วม (Public Participation) ให้มีผู้เกี่ยวข้องในทุกภาคส่วนหรือหน่วยงานต่างๆ ร่วมกันดำเนินการอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ ประเด็นที่ต้องพิจารณาและมีความสำคัญอย่างยิ่ง คือวิธีการสื่อสารข้อมูลให้แก่สาธารณะอย่างมีประสิทธิภาพ

5. การประเมินระบบเตือนภัย ระบบเตือนภัยที่ดีนั้นจะต้องมีวิธีการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบดังกล่าวตามช่วงระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งการประเมินจะครอบคลุมทั้งด้านประสิทธิภาพของระบบเตือนภัยในการลดผลกระทบ ลดความสูญเสีย และความเหมาะสมของการเตือนภัย ทั้งนี้ การประเมินระบบเตือนภัยนั้นควรมีการอัปเดตข้อมูลให้ทันสมัย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงประชากร หรือภัยพิบัติของโลกในปัจจุบันนี้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

การพัฒนาาระบบเตือนภัยความร้อนด้านสุขภาพนั้น จำเป็นต้องศึกษาความสัมพันธ์ทางลบของสุขภาพมนุษย์ (การเจ็บป่วย การเสียชีวิต และความร้อนสะสมในร่างกาย) ร่วมกับสภาวะสุดขีดของลมฟ้าอากาศ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้ประเมินผลลัพธ์ทางสุขภาพผ่านข้อมูลการคาดคะเนหรือพยากรณ์ ซึ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสุขภาพของมนุษย์และภูมิอากาศมีหลากหลายวิธีการรวมทั้งมีข้อเด่นและข้อด้อยที่แตกต่างกันออกไป (Gosling et al., 2009) นอกจากนี้ ระบบเตือนภัย

สุขภาพจากความร้อนนั้น โดยส่วนใหญ่พบว่า ผู้พัฒนาระบบหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมักเลือกใช้ข้อมูลพยากรณ์อากาศ เช่น ค่าอุณหภูมิสูงสุด ค่าอุณหภูมิต่ำสุด ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ค่าระดับความเข้มแสง ค่าความเร็วและทิศทางลม หรือข้อมูลปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาอื่นๆ เป็นต้น โดยชุดข้อมูลนำเข้าหลักมักจะเป็นข้อมูลที่ได้มาจากหน่วยงานด้านอุตุนิยมวิทยาของประเทศนั้นๆ ซึ่งจะผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์หรือคาดคะเนแนวโน้มความรุนแรงและระบุพื้นที่เสี่ยงที่อาจได้รับผลกระทบมากกว่าพื้นที่อื่นๆ ในบริเวณนั้นๆ ในบางกรณีหรือบางพื้นที่อาจมีการนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์หรือคำนวณด้วยชุดดัชนีด้านต่างๆ เพื่ออธิบายในรายละเอียดเชิงลึกต่อไป ทั้งนี้ จุดมุ่งหมายหลักของการวิเคราะห์จะมุ่งเน้นไปที่การกำหนดระดับหรือประมาณการผลกระทบจากสภาพอากาศร้อนจัดที่มีผลต่อสุขภาพ ซึ่งความรุนแรงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต และหากระดับความรุนแรงมีค่าเพิ่มขึ้นมากเกินกว่าระดับที่กำหนดไว้ หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งหน่วยงานด้านสาธารณสุขหรือด้านการแพทย์ หน่วยงานด้านอุตุนิยมวิทยาหรือหน่วยงานอื่นๆ ก็จะออกคำเตือนและแจ้งประกาศให้ประชาชนได้รับทราบข่าวสารในทันที โดยทั่วไปนั้นรูปแบบของการเตือนภัยจะมีอยู่ 3 รูปแบบ ดังนี้ (1) ระดับต่ำ หมายถึง การแจ้งข่าวสารหรือการแจ้งเตือนประชาชนให้เตรียมพร้อมต่อสภาวะความร้อนที่เพิ่มขึ้น (2) ระดับกลาง หมายถึง การแจ้งข่าวสารหรือการแจ้งเตือนประชาชนให้รู้ เข้าใจ และตระหนักว่าระดับอุณหภูมิในช่วงนี้อาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกาย และ (3) ระดับสูง หมายถึง การดำเนินการตามแผนปฏิบัติการ วิธีการที่กำหนดไว้อย่างเป็นระบบ ซึ่งมีความแตกต่างหลากหลายตามบริบทของแต่ละพื้นที่ โดยที่การแจ้งเตือนในระดับต่างๆ และการเตือนภัยทุกครั้ง จะต้องสื่อสารกระจายข่าวหรือให้ข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ฉับไว ทันท่วงทีและมีประสิทธิภาพ หากการแจ้งเตือนไม่มีประสิทธิภาพนั้นหมายถึงความสามารถของระบบเตือนภัยจะลดลง (WMO, 1999) อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบเตือนภัยความร้อนด้านสุขภาพ ถือเป็นงานที่มีความสลับซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการกำหนดค่าขีดจำกัดของอุณหภูมิและผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งการ กำหนดค่าต่างๆ นั้น จำเป็นต้องผสมผสานบูรณาการสหสาขาวิชาทั้งมิติทางด้านสาธารณสุข การแพทย์ ประชากร เศรษฐกิจ สังคม ชุมชน และสิ่งแวดล้อม เข้าด้วยกัน

ตัวอย่างการเตือนภัยสภาพอากาศร้อนจัดของประเทศญี่ปุ่น กระทรวงสิ่งแวดล้อมประเทศญี่ปุ่นได้จัดทำระบบเตือนภัยความร้อนต่อสุขภาพ (Heat Illness Prevention Information) โดยระบบดังกล่าวจะใช้ค่าดัชนีอุณหภูมิเวทบอล์โกลบ (Wet Bulb Globe Temperature; WBGT) สำหรับติดตามและแจ้งเตือนสถานการณ์ความร้อนแก่ประชาชน ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้ (1) Almost safe < 21 °C (2) Caution 21-25 °C (3) Warning 25-28 °C (4) Severe warning 28-31 °C และ (5) Danger > 31 °C (ภาพที่ 2.21) ระบบเตือนภัยสามารถแสดงผลได้ทั้งในคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์มือถือหน้าจอหลักของระบบเตือนภัยจะแสดงแผนที่ประเทศญี่ปุ่นจำนวน 840 จุด และมีสัญลักษณ์ตามเฉดสีที่แตกต่างกัน (น้ำเงิน ฟ้ำ เหลือง ส้ม และแดง) ผู้ใช้งานสามารถ

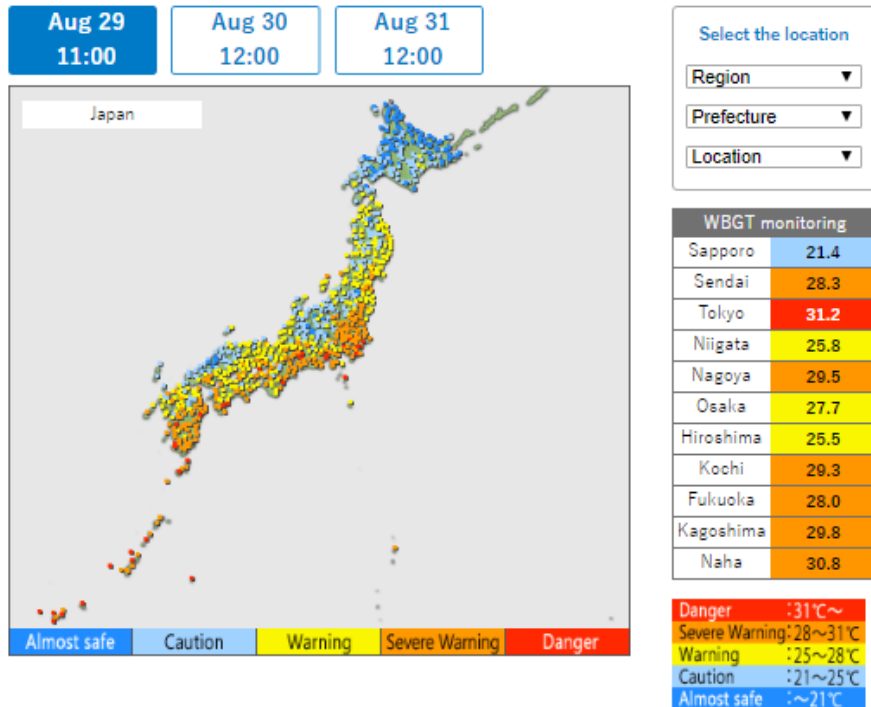
ดูค่าอุณหภูมิเวทบัลโลกบในวันปัจจุบันและคาดการณ์ล่วงหน้า 2 วัน โดยตัวระบบมีช่องทางให้เข้าถึงรายละเอียดได้ในระดับ Region, Prefecture และ City (ภาพที่ 2.22 และ 2.23) ในส่วนด้านล่างของหน้าจอแสดงผลแบ่งเนื้อหารายละเอียดข้อมูลเพิ่มเติมออกเป็น 5 ส่วน ประกอบด้วย (1) WBGT Guideline เป็นการแสดงรายละเอียดระดับค่าผลกระทบต่อสุขภาพ (2) All about WBGT เป็นการให้ข้อมูลองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง และการป้องกันตัวเองในช่วงที่เกิดสถานการณ์คลื่นความร้อน (3) Heat illness prevention/countermeasures เป็นส่วนของการบ่งบอกถึงที่มาและสาเหตุของการบาดเจ็บที่เกิดจากความร้อนรวมทั้งแนวทางป้องกันปัญหา (4) Materials เป็นเอกสารเผยแพร่ที่เกี่ยวข้องกับความร้อนทั้งหนังสือ คู่มือ และคลิปวิดีโอ และ (5) Terms of Use เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับนโยบายของการให้บริการข้อมูลและข้อกำหนดต่างๆ นอกจากนี้ เมื่อระบบได้ทำการตรวจวัดและบันทึกค่า WBGT ข้อมูลต่างๆ จะถูกจัดเก็บและแสดงผล เช่น 7 วันที่ผ่านมาเป็นอย่างไร ค่าตรวจวัดในปัจจุบัน และค่าคาดการณ์ล่วงหน้ารวมทั้งแสดงค่าตรวจวัดในรอบวันและราย 3 ชั่วโมง (ภาพที่ 2.24)

Air temperature (typical value)	WBGT	Guides to how much exercise can be safely performed	
≥ 35 °C	≥ 31 °C	Danger (exercise prohibited)	At a WBGT of 31 °C or above the actual temperature is higher than the skin temperature, so body heat cannot escape, and except for special cases, all exercise should be stopped.
31 - 35 °C	28 - 31 °C	Severe Warning (heavy exercise prohibited)	At a WBGT of above 28 °C the danger of heatillness is high, so events that require heavy exercise or events where the body temperature will rise, like endurance races should be avoided. When such events are held, rest periods should be provided often and water replenishment conducted aggressively. People who are weak or not used to the heat should stop the exercise.
28 - 31 °C	25 - 28 °C	Warning (rests should be provided often)	At a WBGT of above 25 °C the danger of heatillness increases, so rest periods should be provided often and water replenishment conducted. Rest periods should be provided every 30 minutes for events requiring heavy exercise.
24 - 28 °C	21 - 25 °C	Caution (water should be replenished often)	At a WBGT of above 21 °C there is the danger of fatal accidents due to heatillness, so caution is advised, and water replenishment should be promoted during exercise.
< 24 °C	< 21 °C	Almost safe (appropriate water replenishment suggested)	At a WBGT below 21 °C normally the danger of heatillness is small, but appropriate water replenishment is necessary. Heatillness can occur even under these conditions in events such as citizen marathons, so caution is advised.

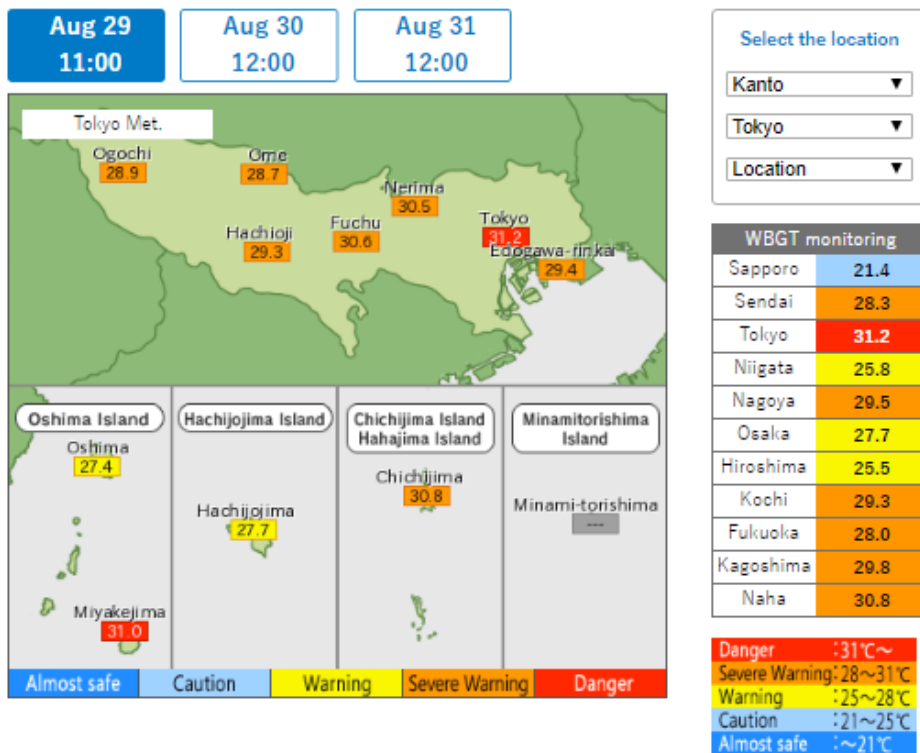
ภาพที่ 2.21 WBGT Guideline

ที่มา: Japan Sports Association (2013)

Heat Stress Index: WBGT

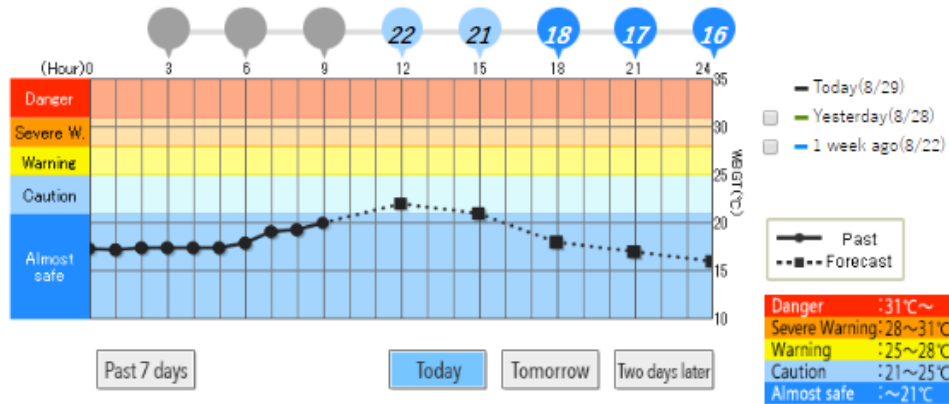


ภาพที่ 2.22 หน้าจอแสดงผลหลักระบบเตือนภัยความร้อนต่อสุขภาพของประเทศญี่ปุ่น



ภาพที่ 2.23 หน้าจอแสดงผลระดับเมือง

● Today's forecast



● 3-day forecast

	3:00	6:00	9:00	12:00	15:00	18:00	21:00	24:00
Aug 29				22	21	18	17	16
Aug 30	15	15	19	21	22	20	18	19
Aug 31	18	18	22	23	22	20	18	17

ภาพที่ 2.24 การแสดงผลค่าตรวจวัดในปัจจุบันและค่าคาดการณ์ล่วงหน้า

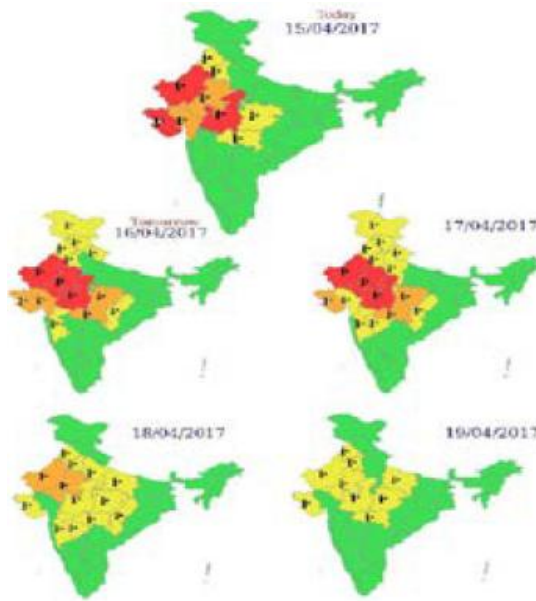
กรมอุตุนิยมวิทยาประเทศปากีสถานได้ก่อตั้ง Heat Wave Early Warning Center ในกรุงการาจี ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักทำหน้าที่ติดตาม รายงาน และพยากรณ์สถานการณ์คลื่นความร้อนล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดอากาศผิวพื้น หน้าจอหลักแสดงแผนที่กรุงการาจี ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่ปรากฏในช่วงเวลา ค.ศ.1931-2018 ช่วงเดือนมีนาคมถึงตุลาคม เมื่อคาดการณ์ว่าจะเกิดคลื่นความร้อนระบบจะส่งการให้หน้าจอแสดงผลแสดงอักษร Heat Wave Alert พร้อมทั้งแสดงค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 3 วัน (ภาพที่ 2.25) โดยข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ช่วงเช้า ความชื้นสัมพัทธ์ตอนกลางคืน และทิศทางลมจะแสดงในตาราง นอกจากนี้ ด้านล่างของระบบจะแสดงสภาพอากาศกรุงการาจีแบบ Real time

Heat Wave Alert	NO HEAT WAVE ALERT		
Karachi	3 – Days Forecast		29th August, 2019
Weather Elements	Day 1 (29 th August)	Day 2 (30 th August)	Day 3 (31 st August)
WEATHER	Mainly cloudy chances of rain/thundershowers with a few moderate to heavy falls	Mainly cloudy chances of light to moderate rain	Partly cloudy to cloudy chances of light rain/drizzle
MAXIMUM TEMPERATURE(°C)	31 – 33 °C	32 – 34 °C	31 – 33 °C
MINIMUM TEMPERATURE (°C)	23.0 °C	23 – 25 °C	24 – 26 °C
HUMIDITY MORNING (%)	85 – 95 %	75 – 85 %	70 – 80 %
HUMIDITY EVENING (%)	75 – 85 %	65 – 75 %	60 – 70 %

ภาพที่ 2.25 Heat Wave Early Warning Center ของประเทศปากีสถาน

ที่มา: <http://www.pmdnmcc.net/KarachiHeatwaveAlert/Heatwavealert.html>

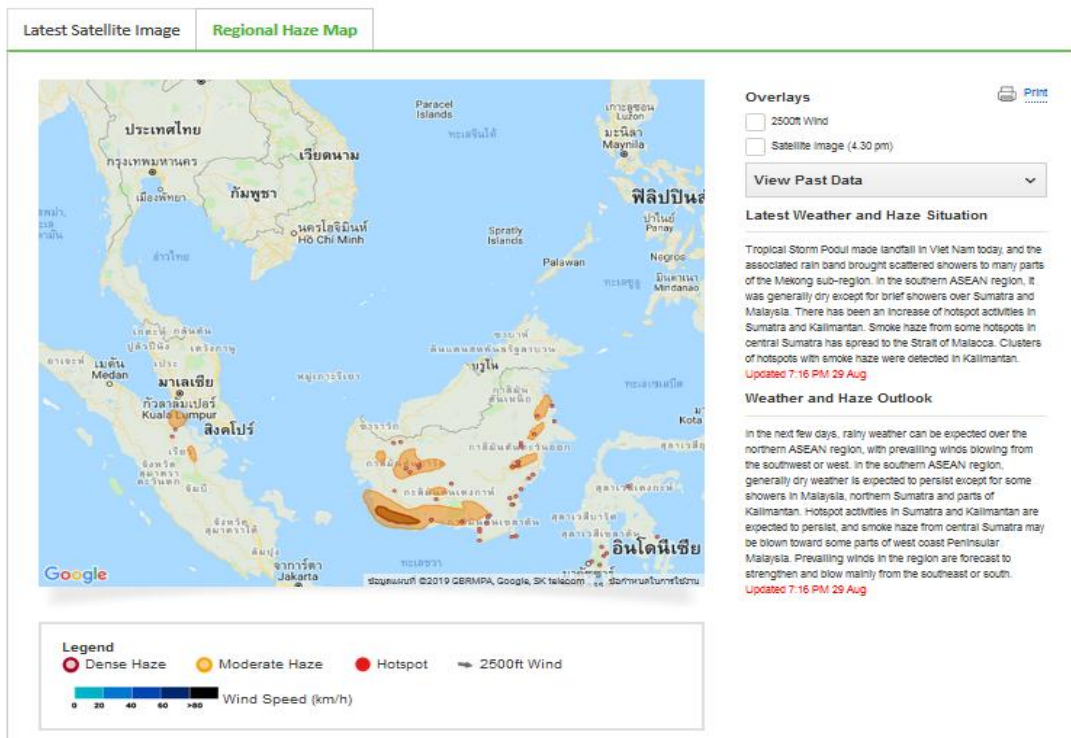
กรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทยได้พัฒนาระบบเตือนภัยความร้อนล่วงหน้า โดยการใช้ข้อมูลสังเกตการณ์และคาดการณ์จาก Weather Research Forecast (WRF) ความละเอียด 3 กิโลเมตร และ Global Forecast System (GFS) ความละเอียด 12 กิโลเมตร ระบบเตือนภัยจะทำการติดตามสังเกตการณ์ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อใช้ในการคาดการณ์อุณหภูมิและคลื่นความร้อนที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้า 4 วัน โดยทำการรายงานทุกๆ 16.00 น. ของแต่ละวัน ระบบเตือนภัย จะทำการสรุปข้อมูลอุณหภูมิและคลื่นความร้อนทุกๆ วันพฤหัสบดีของสัปดาห์และแนวโน้มสำหรับสองสัปดาห์ถัดไป (สำหรับการวางแผนรับมือกับสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้น) โดยแบ่งเป็น 4 ระดับตามเกณฑ์ ดังนี้ (1) สีเขียว Normal Day (2) สีเหลือง Heat Alert (3) สีส้ม Severe Heat Alert for the day และ (4) สีแดง Extreme Heat Alert for the day (ภาพที่ 2.26) ระบบเตือนภัยสามารถคาดการณ์ได้ละเอียดถึงระดับตำบล อำเภอ และจังหวัด พร้อมทั้งเผยแพร่ข้อมูลคาดการณ์ล่วงหน้าผ่านช่องทางเว็บไซต์ ทวี และวิทยุ



ภาพที่ 2.26 ระบบเตือนภัยความร้อนล่วงหน้าของประเทศอินเดีย

ศูนย์บริการข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประเทศสิงคโปร์ ได้จัดทำเว็บไซต์ให้บริการข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา หน้าจอหลักประกอบไปด้วยส่วนสำคัญเกี่ยวกับข้อมูลสภาพอากาศ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลค่าเตือนและคำแนะนำ หน้าจอย่อยในส่วนของข้อมูลสภาพอากาศประกอบไปด้วย (1) Forecasts เป็นการคาดการณ์สภาพอากาศ 2 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 4 วัน ล่วงหน้า (2) Marine Forecasts เป็นการคาดการณ์ความสูงของคลื่น ความเร็วคลื่น ลักษณะคลื่น คลื่นลม อุณหภูมิ น้ำทะเล และพายุหมุนเขตร้อน ซึ่งสามารถคาดการณ์ได้ 24 ชั่วโมง ล่วงหน้า (3) Current Observations เป็นการคาดการณ์ในปัจจุบันของปริมาณฝน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม (4) Rain Areas แสดงพื้นที่ปริมาณฝนในประเทศสิงคโปร์ และโดยรอบรัศมี 240-480 กิโลเมตร (5) ภาพถ่ายดาวเทียมที่แสดงภาพรวมของสภาพอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ หน้าจอย่อยในส่วนของข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศประกอบไปด้วย (1) Historical Daily Records and Historical Extremes ประกอบไปด้วยข้อมูลปริมาณฝน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม (2) Climate Maps ประกอบไปด้วยแผนที่อุณหภูมิและปริมาณฝนที่แสดงเป็นรายปีและรายเดือน และหน้าจอย่อยในส่วนของข้อมูลค่าเตือนและคำแนะนำ ประกอบไปด้วย (1) Heavy Rain Warning (2) Haze Information เป็นการคาดการณ์ล่วงหน้า 24 ชั่วโมง ของปริมาณความเข้มข้นของ PM2.5 และจุดความร้อน (hotspot) บริเวณเกาะสุมาตรา โดยใช้สัญลักษณ์ตามเฉดสีที่แตกต่างกัน (สีม่วง หมายถึง หมอกควันหนาที่บ สีส้ม หมายถึง หมอกควัน

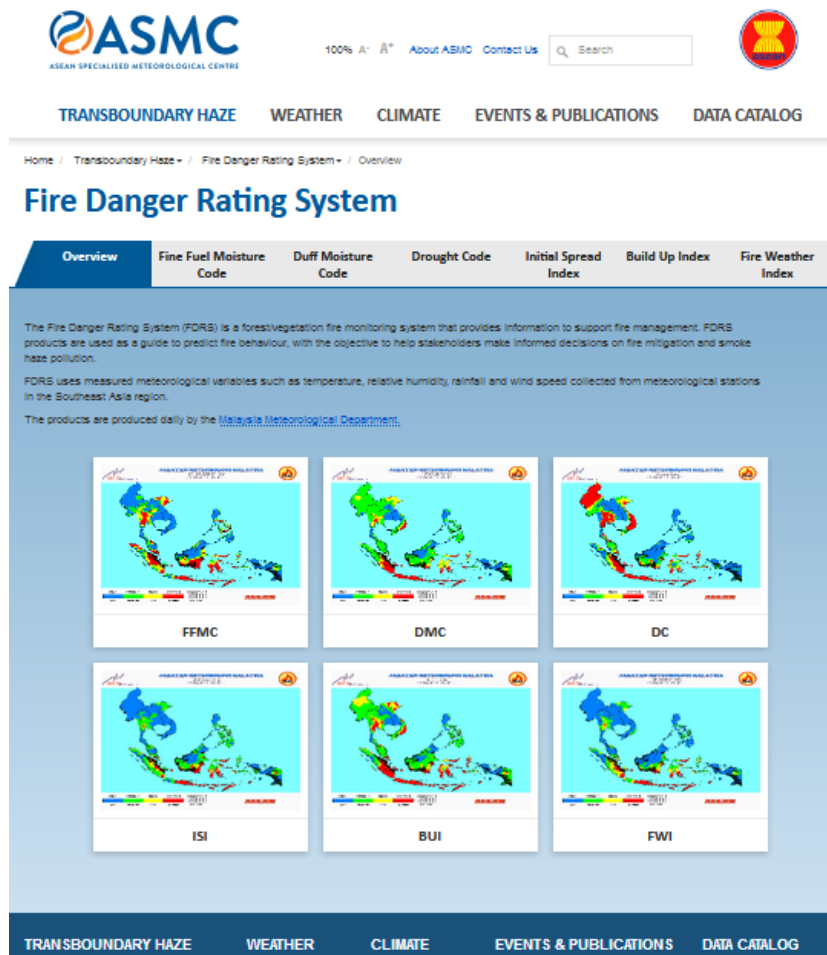
ปานกลางและสีแดง หมายถึง Hotspot) ดังภาพที่ 2.27 (3) Tropical Cyclone Information แสดงภาพและข้อมูลพายุหมุนเขตร้อนล่วงหน้า 8 ชั่วโมง (4) Regional Earthquake/Tsunami และ (5) Regional Volcanic Eruptions



ภาพที่ 2.27 หน้าจอย่อยแสดงผลข้อมูลปริมาณหมอกควันของประเทศสิงคโปร์
ที่มา: <http://www.weather.gov.sg/warning-haze-information>

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาเฉพาะด้านอาเซียน ได้จัดทำเว็บไซต์ รายงานสภาพอากาศของประเทศในภูมิภาคอาเซียน หน้าจอหลักประกอบไปด้วยข้อมูลสภาพอากาศ Climate และ Transboundary Haze หน้าจอย่อยในส่วนของข้อมูลสภาพอากาศประกอบไปด้วย (1) การสำรวจสภาพอากาศ ปริมาณฝน ความเร็วและทิศทางลม (2) Sub seasonal Weather Outlook เป็นการรายงานสภาพอากาศโดยทั่วไปของประเทศในภูมิภาคอาเซียนทุกๆ 15 วัน หน้าจอย่อยในส่วนของ Climate ประกอบด้วย (1) การคาดการณ์สภาพอากาศและอุณหภูมิล่วงหน้า (รายเดือน) และรายฤดูกาล (ล่วงหน้า 3 เดือน) และ (2) การคาดการณ์ปรากฏการณ์ El Niño และ La Niña และหน้าจอย่อยในส่วนของ Transboundary Haze ประกอบด้วย (1) Regional Haze Situation (2) Haze Outlook And Review (3) Satellite Images (4) Hotspot Information (5) Haze Information Portal (6) Air Quality (7) Fire Danger Rating System โดยหัวข้อย่อยนี้จะกล่าวเกี่ยวกับการคาดการณ์

สถานการณ์หมอกควัน ข้อมูลคุณภาพอากาศ ภาพถ่ายหมอกควันทางดาวเทียม และข้อมูลจุดความร้อนเป็นหลัก โดยเฉพาะหัวข้อสุดท้ายจะเป็นการจัดความเป็นอันตรายจากหมอกควันด้วยตัวชี้วัดต่างๆ ดังภาพที่ 2.28

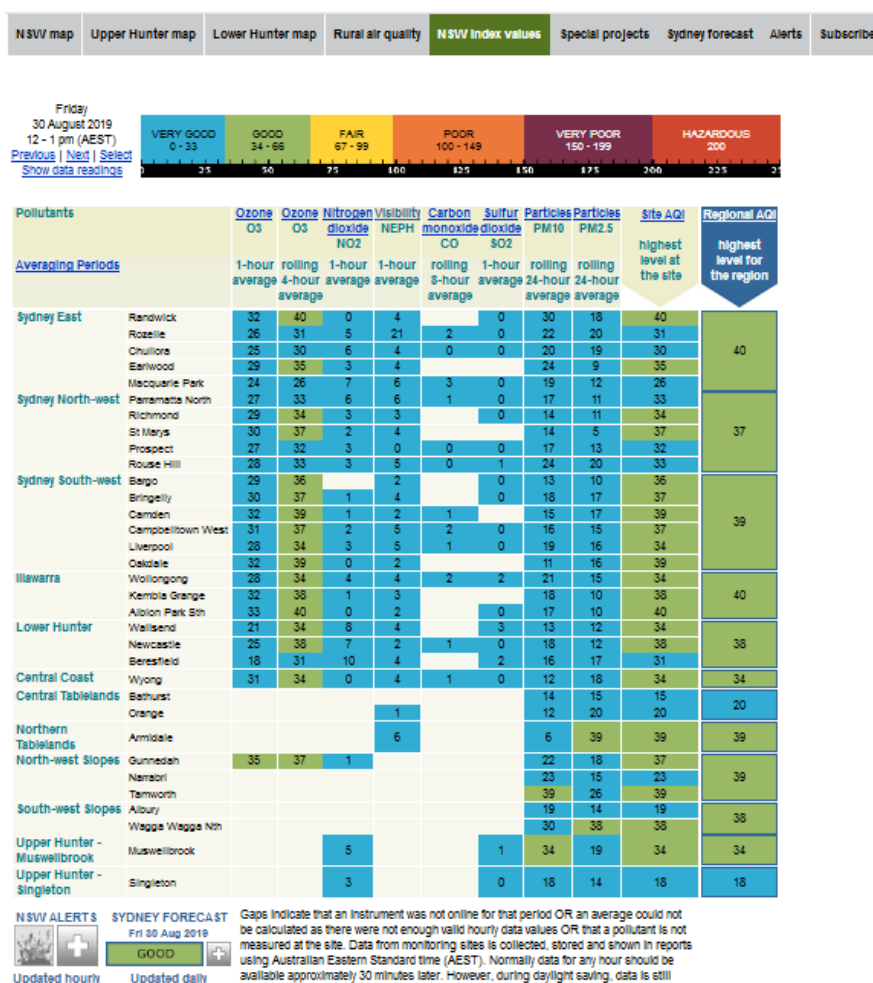


ภาพที่ 2.28 การจัดความเป็นอันตรายจากหมอกควันด้วยตัวชี้วัดต่างๆ

ที่มา: <http://asmc.asean.org/asmc-fire/>

NSW ซึ่งเป็นหน่วยงานภายใต้รัฐบาลของประเทศออสเตรเลีย ได้จัดทำเว็บไซต์ที่รายงานการคาดการณ์ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) โดยใช้ค่ามลพิษทางอากาศมาคำนวณหาค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ซึ่งค่าที่คำนวณมาจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของ NSW โดยกำหนดเกณฑ์ไว้ 6 ระดับ ตามเกณฑ์และค่า AQI ดังนี้ (1) สีฟ้า VERY GOOD ค่า AQI 0 - 33 (2) สีเขียว GOOD ค่า AQI 34 - 66 (3) สีเหลือง FAIR ค่า AQI 67 - 99 (4) สีส้ม POOR ค่า AQI

100 - 149 (5) สีม่วง VERY POOR ค่า AQI 150 - 199 และ (6) สีแดง HAZARDOUS ค่า AQI > 200 ซึ่งจะทำให้การอพยพทุกชั่วโมงและสามารถคาดการณ์ล่วงหน้า 3 ชั่วโมง โดยตัวระบบมีช่องทางให้เข้าถึงรายละเอียดได้ในระดับจังหวัด (33 จังหวัด) และระดับเขต (13 เขต) ในเมืองซิดนีย์ โดยค่าที่นำมาคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ส่วนใหญ่ใช้ค่ามลพิษที่เฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง ยกเว้นค่า PM10 และ PM2.5 ที่ใช้ค่าเฉลี่ยที่ 24 ชั่วโมง อีกทั้งผู้ใช้งานสามารถเข้าไปอ่านรายละเอียดคำอธิบายค่ามลพิษต่างๆ และวิธีการคำนวณค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) เพิ่มเติมได้ (ดังภาพที่ 2.29)



ภาพที่ 2.29 แสดงค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ของ NSW

ที่มา: <https://www.environment.nsw.gov.au/aqms/aqitable.htm>

2.8 เกณฑ์การเตือนภัยความร้อนและหมอกควัน

2.8.1 เกณฑ์การเตือนภัยความร้อน

การพัฒนาระบบเตือนภัยความร้อนและสุขภาพต้องพิจารณาประเด็นต่างๆ ให้ครบถ้วนก่อนดำเนินการกำหนดเหตุการณ์ด้านความร้อน เนื่องจากเป็นการดำเนินงานในภาพรวมของเมือง ภูมิภาค หรือระดับประเทศ ดังนั้น แต่ละประเทศจึงมักเลือกใช้วิธีที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมกับบริบทของประเทศนั้นๆ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ สภาพอากาศและปัจจัยด้านความเป็นเมือง เป็นต้น ในปัจจุบันยังไม่มีคำจำกัดความที่ชัดเจนสำหรับ “เหตุการณ์ด้านความร้อน” นอกจากนี้ ยังไม่ปรากฏวิธีการสำหรับกำหนดเหตุการณ์ด้านความร้อนที่ประเทศต่างๆ ให้การยอมรับและเลือกปฏิบัติในแนวทางหรือวิธีการเดียวกัน ทั้งนี้ ในปัจจุบันมีวิธีการกำหนดเกณฑ์เหตุการณ์ด้านความร้อนหลายชนิด เช่น เมตริกเดี่ยว สมดุลความร้อน และ synoptic ซึ่งมีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

(1) เมตริกเดี่ยว (Single-metric)

วิธีการนี้มีการประยุกต์ใช้งานมากที่สุด โดยการใช้ค่าอุณหภูมิหรืออุณหภูมิปรากฏ ซึ่งในปัจจุบันพบว่ามี 13 ประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในทวีปยุโรปมักเลือกใช้วิธีนี้ (เบลารุส เบลเยียม ฝรั่งเศส กรีซ ฮังการี ลัตเวีย เนเธอร์แลนด์ โปแลนด์ โปรตุเกส โรมานี สเปน สวิตเซอร์แลนด์ และสหราชอาณาจักร) นอกจากนี้ ทุกประเทศที่กล่าวมาจะดำเนินการในระดับประเทศเหมือนกันทั้งหมด แต่อาจมีการปรับเปลี่ยนค่าขีดจำกัดให้สูงหรือต่ำแตกต่างกันไปตามลักษณะพื้นที่ ทั้งนี้ เฉพาะประเทศฮังการีเท่านั้นที่ระบบเตือนภัยความร้อนและสุขภาพครอบคลุมเฉพาะเมืองบูดาเปสต์ อย่างไรก็ตาม สำหรับประเทศในโซนอื่นๆ เช่น แคนาดาและสหรัฐอเมริกา มักเลือกใช้วิธีการอื่นๆ เช่น Heat Index หรือ Humidex เป็นต้น

Single-metric เป็นวิธีการที่ต้องกำหนดจำนวนวันที่มีค่าอุณหภูมิสูงสุดเกินไปจากค่าขีดจำกัด ซึ่งการกำหนดค่าขีดจำกัดต้องอ้างอิงข้อมูลจากเหตุการณ์ในอดีตหรือต้องเปรียบเทียบผลกระทบต่อสุขภาพกับชุดข้อมูลที่มีการบันทึกในอดีตและข้อมูลที่น่ามาใช้ต้องมีการบันทึกอย่างเป็นระเบียบแบบแผนเดียวกัน โดยปกติค่าอุณหภูมิวิกฤตในหนึ่งวันมีค่าตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียสขึ้นไป เช่น ประเทศเบลารุส ส่วนประเทศกรีซ 38 องศาเซลเซียส และอาจมีความแตกต่างกับมลรัฐออริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งการเตือนภัยจะเริ่มขึ้นเมื่อค่าพยากรณ์อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันที่มีการบันทึกเป็นวงรอบตามฤดูกาลและมีการปรับแบบ Smoothed curve แล้ว ซึ่งอาจสูงสุด 45 องศาเซลเซียส ในเดือนกรกฎาคม นอกจากนี้ การกำหนดจำนวนวันที่อุณหภูมิเกินค่าอุณหภูมิสูงสุดยังแตกต่างกันในหลายประเทศ เช่น ประเทศลัตเวียจะออกคำเตือนเมื่ออุณหภูมิสูงสุดเกิน 27 องศาเซลเซียส ติดต่อกัน 6 วัน หรือสูงกว่า 33 องศาเซลเซียส เพียงวันเดียว ในขณะที่ประเทศเนเธอร์แลนด์จะออกคำเตือนเมื่ออุณหภูมิสูงสุดเกิน 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือเกิน 32 องศาเซลเซียส เพียงวันเดียว และในประเทศโปรตุเกส จะออกคำเตือนเมื่อ

อุณหภูมิสูงสุดเกิน 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วันติดต่อกัน เป็นต้น ทั้งนี้ เนื่องจากอุณหภูมิช่วงกลางคืนมีนัยสำคัญต่อการดำเนินชีวิต ดังนั้น ระบบเตือนภัยความร้อนด้านสุขภาพในหลายประเทศ จะทำการพิจารณาอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดควบคู่กัน เช่น ประเทศเบลเยียม แคนาดา อังกฤษ ฝรั่งเศส โปแลนด์ และสเปน ค่าขีดจำกัดอุณหภูมิต่ำสุดมีค่าตั้งแต่ 15 องศาเซลเซียส ในบางพื้นที่ของประเทศอังกฤษกำหนดที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นต้น

เกณฑ์เตือนภัยหลายๆ ระบบจะใช้ค่าอุณหภูมิปรากฏร่วมกับตัวแปรภูมิอากาศอื่นๆ ควบคู่ไปด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญและมีประโยชน์อย่างสูงสำหรับพื้นที่ที่มีระดับความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกันอย่างมากตามลักษณะภูมิประเทศ ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิเพียงตัวแปรเดียวไม่สามารถสะท้อนหรือเป็นตัวแทนผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนได้อย่างชัดเจน ดังนั้น หลายประเทศมีการประยุกต์ใช้ตัวแปรอุตุนิยมวิทยาเพิ่มเติมตามช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เช่น ประเทศอิตาลีใช้อุณหภูมิปรากฏทั่วทั้งประเทศแต่ได้ทำการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมตามบริบทเชิงพื้นที่ ระยะเวลาของปี และช่วงเหตุการณ์ที่เกิดสภาพอากาศร้อนจัด โดยค่าเดียวกันนี้ยังถูกนำไปใช้ในเมืองควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย แต่ค่าอุณหภูมิวิกฤติจะแตกต่างกันไปตามพื้นที่ เช่น กำหนดไว้ 35 องศาเซลเซียส ในเมืองบริสเบนในขณะที่เมืองแอมเบอร์ลี 37 องศาเซลเซียส เป็นต้น ทั้งนี้ค่าวิกฤติจะต้องเกิดขึ้นมากกว่า 2 วันติดต่อกัน อย่างไรก็ตาม ในประเทศสหรัฐอเมริกา และสวิตเซอร์แลนด์จะใช้ค่าดัชนีความร้อน ซึ่งเป็นค่าที่คำนวณได้จากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เข้าด้วยกัน ซึ่งในประเทศสหรัฐอเมริกา จุดวิกฤติที่ใช้ทั้งประเทศกำหนดที่ค่าดัชนีความร้อนสูงสุด 41 องศาเซลเซียส และต่ำสุด 27 องศาเซลเซียส ติดต่อกัน 2 วัน ซึ่งแต่ละภูมิภาคสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ตามสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ Humidex มีการใช้ในประเทศแคนาดา โดยกำหนดไว้ที่ 40 และเกิดขึ้นติดต่อกันเกิน 2 วัน ทั้งนี้ ตารางที่ 2.7 สรุปเกณฑ์การเตือนภัยความร้อนและสุขภาพ ซึ่งมีความแตกต่างกันตามที่ได้อธิบายมาข้างต้น

ตารางที่ 2.7 เกณฑ์การเตือนภัยความร้อนและสุขภาพ

ประเทศ	เกณฑ์	ข้อมูลการตาย	ทำนายการตาย	ระยะเวลา (วัน)	ฤดูกาล	ภูมิภาค	ผู้เชี่ยวชาญ
Australia	AT	-	-	2	-	✓	✓
Belarus	T	-	-	-	-	-	-
Belgium	$T_{max}/T_{min}/$ Ozone	-	-	3	-	-	-

ตารางที่ 2.7 เกณฑ์การเตือนภัยความร้อนและสุขภาพ (ต่อ)

ประเทศ	เกณฑ์	ข้อมูลการตาย	ทำนายการตาย	ระยะเวลา (วัน)	ฤดูกาล	ภูมิภาค	ผู้เชี่ยวชาญ
Canada	Airmass/ T_{max}/T_{min} / Humidex	✓	✓	-	✓		✓
China	NET/ Airmass	✓	✓	✓	✓	✓	✓
France	T_{max}/T_{min}	✓	-	3	-	✓	✓
Germany	PT	-	-	2	✓	✓	✓
Greece	T_{max}	-	-	✓	-	-	-
Hungary	T_{mean}	✓	-	-	-	-	-
Italy	Airmass/ T_{app}	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Korea	Airmass	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Latvia	T_{max}	-	-	✓	-	-	-
Netherlands	T_{max}	-	-	✓	-	-	-
Poland	T_{max}/T_{min}	-	-	-	-	-	-
Portugal	T_{max}	✓	✓	✓	-	✓	✓
Spain	T_{max}/T_{min}	✓	-	-	-	✓	✓
Switzerland	HI	-	-	-	-	-	-
UK	T_{max}/T_{min}	-	-	✓	-	✓	-
USA	Airmass/ HI	✓	✓	2	✓	✓	✓

โดยที่

T คือ อุณหภูมิ

AT หรือ T_{app} คือ อุณหภูมิปรากฏ

T_{max} คือ อุณหภูมิสูงสุด

HI คือ ดัชนีความร้อน

PT คือ อุณหภูมิที่รับรู้

ET คือ อุณหภูมิเทียบเท่า

T_{min} คือ อุณหภูมิต่ำสุด

ITU คือ ดัชนีอุณหภูมิและความชื้น

T_{mean} คือ อุณหภูมิเฉลี่ย

* Seoul แบ่งเป็น 5 เขต โดยอิงตามภูมิอากาศวิทยา ในที่นี้นำเสนอเฉพาะระบบเตือนภัยความร้อนและสุขภาพในเขตเมือง

**Seattle (Washington), Portland (Oregon), San Francisco และ San Jose (California), Phoenix และ Yuma (Arizona), Dallas และ Houston (Texas), Minneapolis (Minnesota), Chicago (Illinois), St. Louis (Missouri), Dayton, Columbus และ Cincinnati (Ohio), Philadelphia (Pennsylvania), Washington (DC), Baltimore (Maryland), New Orleans, Monroe, Shreveport, และ Lake Charles (Louisiana), Little Rock และ Fort Smith (Arkansas), Memphis (Tennessee), Jackson และ Meridian (Mississippi)

(2) สมดุลความร้อน (Heat Budget)

เป็นวิธีการที่มีความสลับซับซ้อนมากขึ้นในการกำหนดค่าขีดจำกัดในระบบเตือนภัยความร้อนด้านสุขภาพ วิธีการนี้จะอ้างอิงตามแบบจำลองสมดุลความร้อนของร่างกายต่อสภาพแวดล้อมภายนอกและความร้อนที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย ซึ่งวิธีการนี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในประเทศเยอรมัน โดยใช้ค่าอุณหภูมิรับรู้เป็นดัชนีกำหนดจุดวิกฤต ทั้งนี้ อุณหภูมิรับรู้ประเมินได้จาก Health Related Assessment of the Thermal Environment (HeRATE) ซึ่งเป็นการผนวกสมดุลระหว่างการปรับตัวของมนุษย์ในระยะสั้นต่อสภาพอากาศร้อนโดยใช้ข้อมูลในช่วง 4 สัปดาห์ก่อนหน้ามาเปรียบเทียบ วิธีการนี้ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับประชาชนที่มีความแตกต่างในด้านลักษณะภูมิอากาศและระยะเวลาเชิงฤดูกาลโดยไม่ต้องมีการตัดแปลงข้อมูลใดๆ วิธีการนี้จะแบ่งระดับความเครียดจากความร้อนเป็น 4 ระดับ คือ เล็กน้อย ปานกลาง รุนแรง และรุนแรงมากซึ่งมีความแปรผันตามเวลาและสถานที่ หากระดับความเครียดจากความร้อนสูงเกินกว่าระดับรุนแรงก็จะมีการออกคำเตือน หรือหากยังไม่ถึงระดับรุนแรงแต่ค่าอุณหภูมิรับรู้เกินกว่า 34 องศาเซลเซียส ก็สามารถพิจารณาออกคำเตือนได้

(3) Synoptic-based systems

ในปัจจุบันมี 4 ประเทศ คือ แคนาดา จีน อิตาลี และสหรัฐอเมริกาที่ใช้ Synoptic-based systems และอยู่ในระหว่างการพัฒนาในเกาหลีใต้ โดยประเทศสหรัฐอเมริกาได้พัฒนาระบบต่างๆ ซึ่งเป็นระบบที่เป็นอิสระของตนเอง และจะมีระบบหลักหนึ่งระบบที่เป็นระบบกลางทำหน้าที่เป็นตัวอ้างอิงในการทำนายทั่วอาณาบริเวณของระบบลูกข่ายที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบ

Synoptic-based systems ถูกพัฒนาขึ้นโดยอ้างอิงกับ Spatial Synoptic Classification (SSC) ซึ่งทำการตรวจวัดค่าต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ทิศทางลม ความเร็วลม เมฆปกคลุม และความกดอากาศ (วันละ 4 ครั้ง) ข้อมูลที่ได้ใช้ในการพิจารณาว่าประเภทของมวลอากาศประเภทใดที่จะเป็นตัวแทนของอากาศในขณะนั้น ซึ่งจะมีความแตกต่างไปตามลักษณะพื้นที่ ฤดูกาล และมวลอากาศ ซึ่งข้อมูลแต่ละประเภทถูกคำนวณอัตราการตายเฉลี่ยในฤดูร้อน จากนั้นพิจารณาว่า

มวลอากาศประเภทใดที่มีอัตราการตายสูงกว่าปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยส่วนใหญ่ พบว่า มีมวลอากาศ 2 ประเภท ที่มีอัตราการตายสูง ได้แก่ แบบโซนร้อนแห้งซึ่งมีลักษณะความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศต่ำเป็นหย่อมใหญ่ และแบบโซนร้อนชื้นซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์สูง และอุณหภูมิในเวลา กลางคืนมักสัมพันธ์กับเมฆปกคลุมในบริเวณกว้าง ในหลายกรณี มวลอากาศที่มีอัตราการตายเฉลี่ย เพิ่มขึ้นมักมีความสัมพันธ์กับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการตายที่สูง เพื่อให้การทำนายอัตราการตาย มีความแม่นยำมากขึ้น มีการคำนวณที่คำนึงถึงความแตกต่างภายในมวลอากาศเองแบบวันต่อวัน ร่วมกับระยะเวลาต่างๆ ของฤดูกาลด้วย ผลการทำนายที่ได้ก็จะเป็นข้อมูลนำเข้าสู่สำหรับกระบวนการ ตัดสินใจที่จะออกคำเตือนหรือไม่

การพิจารณาค่าขีดจำกัดสำหรับระบบเตือนภัยความร้อนและสุขภาพ โดยส่วนใหญ่เป็นระบบ ที่จำเพาะต่อการตอบสนองที่กำหนด ดังนั้น ค่าขีดจำกัดที่ได้จึงเป็นระดับที่เมื่อเกินไปจากค่าที่กำหนดไว้แล้วจะก่อให้เกิดผลกระทบด้านลบต่อสุขภาพมนุษย์ เป็นที่ทราบกันดีว่าผลกระทบด้านสุขภาพจาก ความร้อนมีหลายประเภท เช่น อัตราการป่วยและการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลที่เพิ่มขึ้น แต่ใน ระบบส่วนใหญ่เลือกผลกระทบที่เป็นอัตราการตาย เหตุผลนั้นตรงไปตรงมา เพราะข้อมูลการตายจะมีการ เก็บข้อมูลอย่างสม่ำเสมออย่างมีมาตรฐาน และสามารถสืบค้นย้อนหลังไปได้มากขึ้นกับระบบ สุขภาพในการเก็บข้อมูล ในประเทศสหรัฐอเมริกาแบบ Synoptic-based จะใช้ข้อมูลอัตราการ ตายย้อนหลัง 24 ปี ในขณะที่ระบบของฝรั่งเศสใช้ย้อนหลัง 33 ปี หลังจากได้ข้อมูลอัตราการตายได้ ถูกรวบรวมแล้ว ก็จะมีการพิจารณาวิธีการวิเคราะห์ซึ่งมีความหลากหลายและแตกต่างกัน หาก พิจารณาว่าอุณหภูมิความร้อนอาจทำให้โรคมีอาการกำเริบได้ ก็จะพบว่า การตายที่สัมพันธ์กับความ ร้อนมีการประมาณการณที่ต่ำกว่าความเป็นจริงมาก ซึ่งทำให้ระบบเตือนภัยความร้อนและสุขภาพไม่ สะท้อนความเป็นจริง จากการศึกษาในระยะหลังแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัดแล้วว่าผู้สูงอายุเป็นกลุ่มที่มี ความเปราะบางมากที่สุด ด้วยเหตุนี้ ระบบเตือนภัยความร้อนด้านสุขภาพบางระบบจึงใช้ข้อมูลการ ตายของผู้ที่มีอายุ 65 ปีขึ้นไป เช่น ประเทศอิตาลีใช้ข้อมูลการตายทั้งหมดทุกประเภท ยกเว้น การ ตายจากอุบัติเหตุ แต่ระบบส่วนมากซึ่งรวมถึงระบบ Synoptic-based ของสหรัฐอเมริกาและฝรั่งเศส ใช้ข้อมูลการตายรวมทุกสาเหตุ

ข้อมูลการตายระยะยาวมักจะถูกนำมากำหนดให้เป็นอัตราการตายพื้นฐานหรืออัตราการตาย รายวันในภาวะปกติ ซึ่งมีการปรับโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างประชากร ซึ่งบางครั้งอาจต้องมีการปรับตามความผันแปรภายในฤดูกาลเองด้วย โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการ เคลื่อนย้ายประชากรออกไปชั่วคราวในระหว่างฤดูร้อน เช่น เดือนสิงหาคมในประเทศอิตาลี จาก ข้อมูลอัตราการตายพื้นฐานนี้สามารถคำนวณการตายที่ผิดไปจากปกติได้และนำมาหาความสัมพันธ์ สภาพอากาศในขณะนั้นซึ่งสามารถคำนวณได้หลายแบบ ทั้งนี้ การดำเนินงานจะมุ่งไปสู่การทำความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างสุขภาพและสภาพอากาศ และสามารถนำไปเปรียบเทียบระหว่าง

สถานที่รวมถึงระบบเตือนภัยความร้อนด้านสุขภาพที่แตกต่างกันได้ สำหรับประเทศอื่นๆ ได้มีการกำหนดระดับขีดจำกัดที่แตกต่างกันไป เช่น ประเทศฝรั่งเศส ระดับขีดจำกัดคืออุณหภูมิที่สัมพันธ์กับการตายเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 50 ในเขตเมือง และร้อยละ 100 ในเขตชนบท หลังจากที่ได้มีการปรับค่าทางสถิติแล้ว ระดับขีดจำกัดจะอยู่ที่เปอร์เซ็นต์ที่ 99 ของอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดของภูมิภาคในประเทศโปตุเกสค่าขีดจำกัดกำหนดที่การตายที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 31 ก็จะเริ่มมีการออกประกาศและหากเพิ่มขึ้นเกินกว่าร้อยละ 93 ก็จะออกประกาศเตือนภัย ในทางตรงกันข้าม บางระบบไม่มีการใช้ข้อมูลอัตราการตายมาพิจารณาในระดับขีดจำกัด เช่น ประเทศเยอรมันที่ใช้แบบจำลองสมดุลความร้อนก็จะมีการประเมินค่าขีดจำกัดที่ทำให้เกิดความเครียดจากความร้อนออกมาเป็นหลายระดับ ซึ่งพบว่าแม้ไม่ได้ใช้ข้อมูลการตาย แต่ค่าที่กำหนดมีความสัมพันธ์กับการตายอย่างมีนัยสำคัญ

เมืองเมลเบิร์น ประเทศออสเตรเลียใช้ค่าขีดจำกัดที่เป็นอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายวัน ผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิสูงสุดของวันและอุณหภูมิต่ำสุดในช่วงกลางคืนของวันเดียวกัน หากค่าดังกล่าวเกินไปจาก 30 องศาเซลเซียส อัตราตายเฉลี่ยรายวันของผู้ที่มีอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 65 ปี จะเพิ่มขึ้นจากค่าปกติถึงร้อยละ 15-17 นอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำสุดรายวันสูงกว่า 24 องศาเซลเซียส อัตราตายในช่วงเดียวกันจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 19-21 จากอัตราการตายในภาวะปกติ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เมื่อใดก็ตามที่อุณหภูมิเกินค่าขีดจำกัดเพียงวันเดียวก็ส่งให้อัตราการตายเพิ่มขึ้นทันที ดังนั้น ระบบเตือนภัยที่ใช้อุณหภูมิดังกล่าวซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยาซึ่งเข้าถึงได้ง่ายและแสดงผลการเตือนภัยได้อย่างดี อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาที่ไม่พบว่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันมีความสัมพันธ์กับอัตราการตาย ทั้งนี้ อาจเกิดจากกระแสลมที่พัดเข้ามาส่งผลให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ในส่วนของประเทศฝรั่งเศส ใช้วิธีการกำหนดอุณหภูมิขีดจำกัดโดยพิจารณาจากความสามารถในการระบุช่วงเวลาที่ทำให้เกิดการตายเกินไปจากปกติ ประมาณโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการตายแบบ 3-day moving ของปีกับสามปีก่อนหน้า จากนั้นกำหนดค่าขีดจำกัดการตายเกินไปจากปกติเป็นร้อยละ 50 ในเมืองใหญ่ และร้อยละ 100 ในเมืองอื่นๆ โดยในแต่ละเมืองจะมีการกำหนดค่าขีดจำกัดจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบเตือนภัย เพื่อให้เกิดความเข้าใจร่วมกันในเรื่องของจำนวนครั้งในการประกาศเตือนภัยและความแม่นยำของผลการวิเคราะห์ จากนั้นจะมีการกำหนดเปอร์เซ็นต์ของตัวชี้วัดความร้อน (Thermal indicators) ซึ่งในขั้นของการศึกษานี้ยังสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมของแต่ละเมือง (Pascal et al., 2013)

สำหรับประเทศไทย กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ร่วมกับองค์การอนามัยโลก ได้พัฒนาเกณฑ์และข้อเสนอแนะต่อระบบและกลไกการเตือนภัยสุขภาพจากความร้อนสำหรับประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแนวทางการเฝ้าระวังและเตือนภัยสุขภาพจากความร้อนสุขภาพของประเทศ โดยใช้รูปแบบวิธีการศึกษาแบบทบทวนวรรณกรรมและการวิเคราะห์ข้อมูล

ทุติยภูมิ การทบทวนวรรณกรรมเป็นการค้นคว้าศึกษางานวิจัยทางระบาดวิทยาถึงผลกระทบของ ความร้อนต่อสุขภาพและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง พัฒนาค่าขีดจำกัดของอุณหภูมิ (Threshold temperature) ด้วยอุณหภูมิปรากฏและเกณฑ์การเตือนภัยด้านสุขภาพจากความร้อน สำหรับการ วิเคราะห์ข้อมูลจากข้อมูลทุติยภูมิมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำข้อเสนอค่าขีดจำกัดของอุณหภูมิและการ พัฒนาแบบจำลองในการคาดการณ์ผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูล ด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ ย้อนหลัง 10 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 - 2558 (ยกเว้นข้อมูลการเจ็บป่วย ระหว่างปี พ.ศ. 2553 - 2558) จากกรมอุตุนิยมวิทยา และสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวง สาธารณสุข รวมทั้งจัดทำข้อเสนอแนะต่อระบบและกลไกการเตือนภัยด้านสุขภาพจากความร้อน มาตรการป้องกันดูแลสุขภาพในประชากรทั่วไปและกลุ่มเสี่ยงจากความร้อน

การศึกษาค่าขีดจำกัดของอุณหภูมิ การเตือนภัยจำแนกรายภูมิภาค พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง ระหว่าง 38.2 - 39.9 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของอุณหภูมิที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและจากค่าดังกล่าวร่วมกับการทบทวนข้อมูลจากประเทศต่าง ๆ และการประชุมผู้เชี่ยวชาญ ได้นำมาพัฒนาเกณฑ์การเตือนภัยสุขภาพจากความร้อนของประเทศไทย ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 เกณฑ์การเตือนภัยสุขภาพจากความร้อนของประเทศไทยของกรมอนามัย

ระดับ	ระดับความเสี่ยง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	ระดับเฝ้าระวัง (Surveillance)	น้อยกว่า 38
2	ระดับเตือนภัย (Alert)	38.1 - 40
3	ระดับอันตราย (Warning)	40.1 - 43
4	ระดับอันตรายมาก (Danger)	มากกว่า 43 ติดต่อ 3 วัน หรือมากกว่า 45

2.8.2 เกณฑ์การเตือนภัยหมอกควัน

รายงานแนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศกรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก ปี พ.ศ. 2558 ที่จัดทำขึ้นโดยกรมอนามัยและกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ได้อธิบายไว้ว่า World Health Organization (WHO) ได้แนะนำค่า PM10 ที่กำหนดเป็นค่าต่ำสุด เพื่อให้ครอบคลุมผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสุขภาพของประชาชน คือ ค่า PM 10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 50 ไมโครกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร (มคก./ลบ.ม.) และค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ WHO ได้กำหนดค่า guideline สำหรับ PM 10 นอกจากกำหนดค่าแบบ Air Quality Guideline

หรือ AQG แล้วยังได้กำหนดค่าที่มีลักษณะเป็นขั้นๆ ที่เรียกว่า Interim Target (IT) เพื่อใช้ในกรณีที่ไม่สามารถทำให้บรรลุค่าที่เป็น AQG ได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 WHO AQGs and Interim Targets ค่าเฉลี่ย PM10 ใน 24 ชั่วโมง

Interim Target (IT)	PM10 (มคก./ลบ.ม.)	เกณฑ์ในการกำหนดระดับ
Interim Target 1 (IT1)	150	ใช้หลักฐานจากการศึกษาหลายสถาบันและการทำ Meta analysis พบว่า ระดับ PM10 ที่เพิ่มขึ้นจาก AQG ที่ 50 มคก./ลบ.ม. มาเป็นที่ระดับ 150 มคก./ลบ.ม. จะเพิ่มอัตราการตายในระยะสั้นที่ 5%
Interim Target 2 (IT2)	100	ใช้หลักฐานจากการศึกษาหลายสถาบันและการทำ Meta analysis พบว่า ระดับ PM10 ที่เพิ่มขึ้นจาก AQG ที่ 50 มคก./ลบ.ม. มาเป็นที่ระดับ 100 มคก./ลบ.ม. จะเพิ่มอัตราการตายในระยะสั้นที่ 2.5%
Interim Target 3 (IT3)	75	ใช้หลักฐานจากการศึกษาหลายสถาบันและการทำ Meta analysis พบว่า ระดับ PM10 ที่เพิ่มขึ้นจาก AQG ที่ 50 มคก./ลบ.ม. มาเป็นที่ระดับ 75 มคก./ลบ.ม. จะเพิ่มอัตราการตายในระยะสั้นที่ 1.2%
Air Quality Guideline (AQG)	50	อาศัยหลักฐานทั้งจากความเข้มข้นของ PM10 24 ชั่วโมง และ PM10 รายปี

ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย (Air Quality Index: AQI) ได้ใช้ข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมในการติดตามสถานการณ์ปัญหาหมอกควัน 2 ประเภท ได้แก่ ดัชนีคุณภาพอากาศเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป และเพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่ ซึ่งดัชนีคุณภาพอากาศเป็นรูปแบบสากลที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย สิงคโปร์มาเลเซีย และประเทศไทย เป็นต้น ดัชนีคุณภาพอากาศ ที่ใช้อยู่ในประเทศไทย โดยสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ได้กำหนดเกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับประเทศไทย โดยมีการคำนวณเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพบรรยากาศทั่วไปของสารมลพิษทางอากาศ 5 ประเภท ได้แก่ ก๊าซโอโซน เฉลี่ย 1 ชั่วโมง ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ย

1 ชั่วโมง ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เฉลี่ย 8 ชั่วโมง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ย 24 ชั่วโมง และ PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ทั้งนี้ ดัชนีคุณภาพอากาศที่คำนวณได้ของสารมลพิษทางอากาศประเภทใดมีค่าสูงสุด จะใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศของวันนั้น ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือตั้งแต่ 0 ถึงมากกว่า 300 ซึ่งแต่ละระดับจะใช้สีเป็นสัญลักษณ์เปรียบเทียบระดับของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย โดยดัชนีคุณภาพอากาศ 100 จะมีค่าเทียบเท่ากับมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป หากดัชนีคุณภาพอากาศสูงเกินกว่า 100 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศมีค่าเกินมาตรฐานและคุณภาพอากาศในวันนั้นจะเริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนดังแสดงในภาพที่ 2.30

AQI	ความหมาย	สีที่ใช้	สีที่ใช้
0-50	ดี	ฟ้า	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
51-100	คุณภาพปานกลาง	เขียว	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
101-200	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	เหลือง	ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ ควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายนอกอาคาร บุคคลทั่วไป โดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุ "ไม่ควรทำกิจกรรมนอกอาคารเป็นเวลานาน"
201-300	มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก	ส้ม	ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ ควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมนอกอาคาร บุคคลทั่วไป โดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุ ควรจำกัดการออกกำลังกายนอกอาคาร
มากกว่า 300	อันตราย	แดง	ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจ ควรหลีกเลี่ยงกิจกรรมนอกอาคาร บุคคลทั่วไป โดยเฉพาะเด็กและผู้สูงอายุ ควรจำกัดการออกกำลังกายนอกอาคาร

ภาพที่ 2.30 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับประเทศไทย

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2555)

เนื่องจากปัญหามลพิษทางอากาศมีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศทั่วไปซึ่งมีหลักฐานทางวิชาการสนับสนุนชัดเจนว่า อนุภาคของ PM10 จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ทั้งโรคระบบทางเดินหายใจและโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด ดังนั้น กรมอนามัยจึงได้มีประกาศ เรื่อง มาตรฐานค่าเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจาก PM10 เพื่อใช้เป็นสัญญาณเตือนถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพจากระดับ PM10 และเพื่อประโยชน์ในการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กสำหรับหน่วยงานรัฐที่มีหน้าที่ควบคุม ดูแล และตรวจสอบ ฝุ่นละอองจากการประกอบกิจการบางประเภทที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถสื่อสารเตือนภัยได้ ดังนั้น กรมอนามัยจึงได้กำหนดค่าเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจาก PM10 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และคำแนะนำการปฏิบัติตนของประชาชนกลุ่มต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 กำหนดค่าเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจาก PM10

ระดับ PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มคก./ลบ.ม.)	ระดับของผลกระทบต่อสุขภาพ	ลักษณะผลกระทบต่อสุขภาพ
0-50	ปลอดภัย (สีฟ้า)	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
51-120	เฝ้าระวัง (สีเขียว)	ประชาชนกลุ่มเสี่ยง อาจมีอาการในเบื้องต้น ได้แก่ อาการทางระบบทางเดินหายใจส่วนบน (ไอ หายใจลำบาก) ระคายเคืองตา
121-350	มีผลกระทบต่อสุขภาพ (สีเหลือง)	ประชาชนกลุ่มเสี่ยง มีอาการทางระบบทางเดินหายใจส่วนบน (ไอ หายใจลำบาก) ตาอักเสบ มีอาการแสบหน้าอก ปวดศีรษะ หัวใจเต้นไม่เป็นปกติ คลื่นไส้ อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย ประชาชนทั่วไป อาจมีอาการทางระบบทางเดินหายใจส่วนบน (ไอ หายใจลำบาก) ระคายเคืองตา
351-420	มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก (สีส้ม)	ประชาชนกลุ่มเสี่ยง มีอาการหอบหืด เพิ่มความรุนแรงของอาการทางระบบทางเดินหายใจ และอาการทางระบบหัวใจและหลอดเลือด หัวใจเต้นไม่เป็นปกติ แสบหน้าอก คลื่นไส้ เหนื่อยง่าย อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ มองไม่ชัด ตาอักเสบผู้ป่วยที่มีอาการทางหัวใจและปอด หรือผู้สูงอายุ มีความเสี่ยงต่อหัวใจวายเฉียบพลันหญิงตั้งครรภ์หากได้รับสัมผัสในระยะยาว มีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะน้ำหนักแรกคลอดของทารกน้อย ประชาชนทั่วไป มีอาการทางระบบทางเดินหายใจส่วนบน ระคายเคืองตา

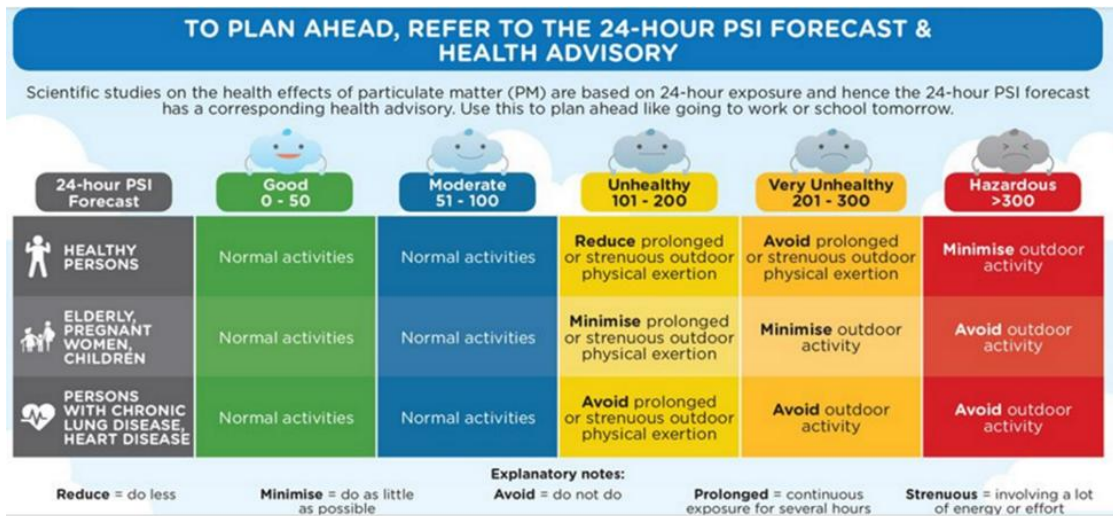
ตารางที่ 2.10 กำหนดค่าเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจาก PM10 (ต่อ)

ระดับ PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มคก./ลบ.ม.)	ระดับของผลกระทบต่อสุขภาพ	ลักษณะผลกระทบต่อสุขภาพ
>420	มีผลกระทบต่อสุขภาพรุนแรง (สีแดง)	มีผลกระทบต่อสุขภาพรุนแรงจนอาจเสียชีวิต ทั้งในประชาชนกลุ่มเสี่ยงและประชาชนทั่วไป - ประชาชนกลุ่มเสี่ยงมีโอกาสหัวใจวายเฉียบพลัน หญิงตั้งครรภ์หากได้รับสัมผัสในระยะยาวทำให้เกิดภาวะน้ำหนักแรกคลอดของทารกน้อยกว่าปกติ - ประชาชนทั่วไป มีอาการหอบหืด ปวดอักเสบ มีอาการทางระบบทางเดินหายใจและระบบหัวใจและหลอดเลือด แน่นหน้าอก หัวใจเต้นไม่เป็นปกติ คลื่นไส้ เหนื่อยง่าย อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ มองไม่ชัด หรืออาจได้รับในระยะเวลานานอาจเป็นมะเร็งปอดได้

ดัชนีคุณภาพอากาศของต่างประเทศ เช่น ประเทศสิงคโปร์ มาเลเซีย และบรูไน ซึ่งเป็นประเทศที่ประสบปัญหาจากมลพิษทางอากาศข้ามแดนจึงได้กำหนดค่าการเฝ้าระวังด้านสิ่งแวดล้อมจาก PM10 คือ ค่า PSI หรือ Air Pollutant Index พัฒนาข้อมูลจาก USEPA (2005) เพื่อบ่งบอกคุณภาพอากาศของมลพิษทางอากาศ 6 ตัว ได้แก่ SO₂, PM10, PM2.5, NO₂, CO และ O₃ โดยค่า PSI เปรียบเทียบให้เห็นถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศกรณี PM10 ดังตาราง 2.11 และประเทศสิงคโปร์ได้กำหนดค่าผลกระทบต่อสุขภาพ 3 กลุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 2.31

ตารางที่ 2.11 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศสิงคโปร์ มาเลเซีย และบรูไน (PSI หรือ API)

PM10 (ug/m ³)	Corresponding PSI&API	Air Quality Description
≤50	≤50	Good
51-150	51-100	Moderate
151-350	101-200	Unhealthy
351-420	201-300	Very Unhealthy
>420	>300	Hazardous



ภาพที่ 2.31 ค่าผลกระทบต่อสุขภาพของประเทศสิงคโปร์

ที่มา: National Environmental Agency

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 งานวิจัยด้านความร้อน

วีรพงศ์ มิตรสันเทียะ (2561) ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออาการเจ็บป่วยจากความร้อนของพนักงานที่สัมผัสความร้อนโรงงานอุตสาหกรรมหลอมโลหะในเขตจังหวัดระยอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยส่วนบุคคล สรีรวิทยา การสูญเสียอิเล็กโทรไลต์ทางปัสสาวะและปัจจัยด้านลักษณะงานที่ส่งผลกระทบต่ออาการเจ็บป่วยจากความร้อนของพนักงานที่สัมผัสความร้อนโรงงานอุตสาหกรรมหลอมโลหะในเขตจังหวัดระยอง การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบเชิงวิเคราะห์ (Analytical study) เก็บข้อมูลแบบภาคตัดขวาง (Cross sectional study) กลุ่มตัวอย่าง 128 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศชายร้อยละ 86.70 อายุ เฉลี่ยเท่ากับ 36.06 ± 9.76 ปี มีระยะเวลาการทำงานเฉลี่ยต่อวัน 9.93 ± 1.50 ชั่วโมง พบว่า แพนกหลอมโลหะมีค่าระดับ WBGT เฉลี่ยเท่ากับ 35.20 ± 0.78 องศาเซลเซียส อัตราการเต้นของหัวใจมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมมากที่สุด ร้อยละ 93.0 และพนักงานมีการสูญเสียอิเล็กโทรไลต์ทางปัสสาวะเพิ่มขึ้นหลังจากเลิกงาน ร้อยละ 85.90 จากการศึกษาวิจัย พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออาการผิดปกติจากความร้อน (1) อาการผื่นคันจากการสัมผัสความร้อน เพศหญิงมีความเสี่ยงต่ออาการผื่นคันจากความร้อนมากกว่าเพศ การดื่มสุราหรือเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ การสวมใส่กางเกงขาสั้นหรือชุดชั้นใน ขาสั้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิร่างกายที่เพิ่มขึ้น และระยะเวลาการทำงานมากกว่า 8 ชั่วโมง (2) อาการตะคริวจากความร้อนพนักงานที่มีค่าดัชนีมวลกายมากกว่าปกติมีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการตะคริวจากความร้อนมากกว่าพนักงานที่มีค่าดัชนีมวลกายปกติ (3) โรคลมร้อน การสวมใส่เครื่องแต่งกายอื่นๆ ได้แก่ ชุดกันไฟ

หน้าากากันความร้อนมีความเสี่ยงต่อโรคลมร้อนน้อยกว่าการไม่สวมใส่เครื่องแต่งกายอื่นๆ และ (4) อาการอ่อนเพลียเนื่องจากความร้อน เพศหญิงมีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการอ่อนเพลียเนื่องจากความร้อนมากกว่าเพศชาย และการสวมใส่กางเกงขาสั้นหรือชุดชั้นในขาสั้นมีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการอ่อนเพลียเนื่องจากความร้อนมากกว่าการไม่สวมใส่กางเกงขาสั้นหรือชุดชั้นในขาสั้น ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย พนักงานที่ทำงานเกี่ยวกับความร้อนควรหลีกเลี่ยงการดื่มสุราหรือเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในการทำงานที่ต้องสัมผัสกับความร้อน ควรสวมใส่เครื่องแต่งกายที่สามารถระบายความร้อนได้ดี ควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันความร้อนทุกครั้งเมื่อปฏิบัติงานเกี่ยวกับความร้อน ดื่มน้ำเปล่าอย่างน้อย 10 แก้วต่อวัน และมีเวลาในการทำงานที่เหมาะสม ไม่ควรเกิน 8 ชั่วโมงต่อวัน เพื่อลดโอกาสเสี่ยงการเจ็บป่วยจากความร้อนต่อไป

อุมา กลางกุลเสน และนันทวรรณ วิจิตรวาทการ (2561) ได้ศึกษาสถานการณ์และผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความร้อนที่มีต่อสุขภาพและประสิทธิภาพการทำงานในกลุ่มผู้ประกอบการอาชีพในประเทศไทย ซึ่งเป็นการวิจัยเชิงพรรณนาและเชิงวิเคราะห์ได้เก็บข้อมูลในกลุ่มเกษตรกรจำนวน 46 คน และพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 21 คน ในจังหวัดปทุมธานี จังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดสมุทรปราการ โดยวัดอุณหภูมิเวทบัลบ์โกลบ (WBGT) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิโกลบ อุณหภูมิกระเปาะเปียก ความชื้นสัมพัทธ์และดัชนีความร้อน (HI) ตลอด 10 วัน ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน กลุ่มตัวอย่างได้รับการสัมภาษณ์เกี่ยวกับข้อมูลการทำงาน การสัมผัสความร้อนขณะทำงาน ผลกระทบทางสุขภาพจากความร้อน ผลกระทบที่มีต่อประสิทธิภาพในการทำงานและการป้องกันภาวะเครียดจากความร้อน โดยได้มีการบันทึกประจำวันเกี่ยวกับระยะเวลาพัก วิธีบรรเทาความร้อน การดื่มน้ำ อาการผิดปกติจากความร้อน ปริมาณผลผลิตที่ทำได้ อัตราการเต้นของหัวใจและอุณหภูมิร่างกายระหว่างทำงาน ผลการวิจัยพบว่า ดัชนี WBGT ในพื้นที่โรงงานเหล็ก นาข้าว และไร่อ้อย มีความแตกต่างกันอยู่ที่ 30.3 26.7 และ 24.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดัชนีความร้อนเฉลี่ยของกลุ่มพนักงานโรงงานเหล็ก กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว และผู้ปลูกอ้อย คือ 42.6 33.6 และ 29.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้ ดัชนีความร้อนของกลุ่มพนักงานโรงงานเหล็กมีค่ามากกว่า 40.5 องศาเซลเซียส จัดว่าอยู่ในระดับอันตรายหรือมีผลกระทบต่อสุขภาพและร่างกาย สิ่งที่น่าสนใจ คือ ปริมาณผลผลิตที่ทำได้ในช่วงฤดูหนาว เมื่อเทียบกับฤดูร้อนในกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว พบว่า มีค่าลดลงร้อยละ 9.68 งานวิจัยอนาคตควรจะเน้นความสำคัญในเรื่องอาชีวอนามัยในสถานที่ทำงานที่มีความหลากหลาย และกำหนดนโยบายที่จะนำไปสู่การลดค่าดัชนีความร้อนในกลุ่มผู้ประกอบการอาชีพ

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน (2560) ได้จัดทำโครงการศึกษาวิเคราะห์สภาพงานอันตรายสำหรับเด็กในประเทศไทย เพื่อหาขีดจำกัดของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในการทำงานและระดับภาระงานที่เด็กสามารถทำได้ โดยใช้อุณหภูมิเวทบัลบ์โกลบ (Wet Bulb Globe Temperature;

WBGT) และค่าอัตราการเต้นหัวใจ การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาในกลุ่มเด็กที่มีอายุตั้งแต่ 15 ปี ถึงต่ำกว่า 18 ปี จำนวน 30 คน ทั้งเพศชายและหญิงที่กำลังศึกษาอยู่ในชั้นมัธยมปลายของโรงเรียน ในจังหวัดปทุมธานี และไม่เคยมีประสบการณ์ในการทำงานในที่ร้อนมาก่อน การทดสอบใช้การปั่นจักรยานวัดงานเพื่อป้อนภาระงานให้กับผู้ทดสอบแทนการจำลองงานจริงใช้การจัดลำดับการทดลอง จากอุณหภูมิเวทบัลโบกลบ จากต่ำไปสูงคือ 28 30 และ 32 องศาเซลเซียส และการเพิ่มภาระงาน จากน้อยไปมาก โดยแบ่งภาระงาน ออกเป็น 3 ระดับ คือ งานเบามาก งานเบา และงานปานกลาง การศึกษาครั้งนี้ พบว่า ภาระทางความร้อน (heat stress) ส่งผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของ ร่างกายของอาสาสมัครที่เข้าร่วมการทดลอง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าอัตราการเต้นหัวใจสูงขึ้นอย่าง ชัดเจน และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากระดับอุณหภูมิ WBGT ที่ 25 28 30 และ 32 องศาเซลเซียส โดยพบว่าขณะพักนั่งนิ่งๆ ในห้องทดสอบที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นแต่ละระดับส่งผลให้อัตรา การเต้นของหัวใจเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 2-6 ครั้งต่อนาที และเมื่อพิจารณาเป็นอัตราการเต้น หัวใจสัมพันธ์ (%RHR) จะอยู่ในช่วง 1.96-5.12 %RHR แต่เมื่อทดสอบด้วยการให้อาสาสมัครปั่น จักรยานตามเกณฑ์งานเบามาก งานเบา และงานปานกลางตามที่กำหนดไว้จากค่าอัตราการเต้นหัวใจ สูงสุด พบว่าทุกๆ ระดับภาระงานมีค่า %RHR เพิ่มขึ้นเกิน 23.3% ในทุกอุณหภูมิการทดสอบ เมื่อ พิจารณาจากเกณฑ์ความปลอดภัยทางสรีรวิทยาสำหรับการทำงาน 8 ชั่วโมง ในการทำงานโดยมี ระยะเวลาพักที่เหมาะสม

ลลิตา วันลิโก และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลง ทางด้านสรีรวิทยาจากการสัมผัสความร้อนของคณงานเผาถ่านชนิดเตาเผาแบบดั้งเดิมในเขตจังหวัด ชลบุรี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาจาก การรับสัมผัสความร้อนของคณงานเผาถ่านแบบดั้งเดิมในจังหวัดชลบุรี การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิง พรรณนาแบบภาคตัดขวางกลุ่มตัวอย่างมีจำนวน 90 คน เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์ เครื่องมือ ตรวจวัดระดับความร้อนอุณหภูมิเวทบัลโบกลบ และเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และอุณหภูมิ ร่างกาย วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงวิเคราะห์ ได้แก่ การทดสอบไคสแควร์ หรือการ ทดสอบฟิชเชอร์ และการทดสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ผลการศึกษา พบว่า กลุ่ม ตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 53.3 มีอายุเฉลี่ย 39.07 ปี สภาพแวดล้อมการทำงานมีระดับ ความร้อนเฉลี่ย 33.69 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยา ได้แก่ อัตราการเต้นของ หัวใจสูงสุด 115 ครั้งต่อนาที และค่าเปลี่ยนแปลงไปจากก่อนทำงานเพิ่มขึ้นสูงสุด 22 ครั้งต่อนาที ความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวสูงสุด 200 มิลลิเมตรปรอท และค่าเปลี่ยนแปลงไปจากก่อน ทำงานเพิ่มขึ้นสูงสุด 41 มิลลิเมตรปรอท ความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจคลายตัวสูงสุด 130 มิลลิเมตร ปรอท และค่าเปลี่ยนแปลงไปจากก่อนทำงานเพิ่มขึ้นสูงสุด 19 มิลลิเมตรปรอท และอุณหภูมิร่างกาย สูงสุด 37.8 องศาเซลเซียส และค่าเปลี่ยนแปลงไปจากก่อนทำงานเพิ่มขึ้นสูงสุด 1.7 องศาเซลเซียส

การศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยา พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ อายุมีความสัมพันธ์กับความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวอย่างมีนัยสำคัญ ประวัติการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ก่อนมาทำงานหรือดื่มระหว่างทำงานมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิร่างกายอย่างมีนัยสำคัญและการสวมใส่ถุงมือและสวมถุงเท้าระหว่างทำงานมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิร่างกายและความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัวอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัยในงาน พบว่า ระดับความร้อนในสภาพแวดล้อมการทำงานมีความสัมพันธ์กับอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจบีบตัว และความดันโลหิตสูงสุดขณะหัวใจคลายตัวอย่างมีนัยสำคัญ สรุปจากผลการศึกษาจึงควรมีแนวทางการเฝ้าระวังทั้งสภาพแวดล้อมการทำงานและสุขภาพของพนักงานเผื่อถ่วง เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพ

มานัส ศรีวณิช และสุธารัตน์ อุทธารัตน์ (2558) ได้ทำการศึกษาความร้อนในสภาพแวดล้อม ช่วงฤดูร้อนและความรู้สึกสบายภายใต้ร่มเงาภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคารในเขตเมือง เชียงใหม่ เพื่อตรวจสอบสภาวะความสบายเชิงความร้อนภายนอกอาคารและกึ่งภายนอกอาคาร ซึ่ง สภาวะเชิงความร้อนของพื้นที่ทั้งสองจะถูกประเมินโดยการตรวจวัดตัวแปรหลักด้านสภาพภูมิอากาศ ด้วยชุดเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorological measurements) โดยดัชนีความ สบายเชิงความร้อนที่เรียกว่า อุณหภูมิสมมูลทางสรีรวิทยา (Physiologically Equivalent Temperature; PET) จะถูกนำมาใช้เพื่อการประเมินสภาวะความสบายเชิงความร้อนของพื้นที่จาก การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการลงคะแนนเลือกความรู้สึกเชิงความร้อนเฉลี่ย (MTSV) และค่า ดัชนี PET ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิความรู้สึกสบาย (MTSV=0) ของพื้นที่ภายนอกอาคารและกึ่ง ภายนอกอาคารเท่ากับ 27.1 °C และ 28.5 °C PET ตามลำดับ และค่าช่วงสภาวะเชิงความร้อนที่ ได้รับความยอมรับอยู่ที่ 31.0-23.1°C PET และ 32.0-22.4°C PET ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบช่วง ความยอมรับเชิงความร้อนระหว่างสองพื้นที่จะเห็นได้ชัดเจนว่า ช่วงความยอมรับเชิงความร้อนใน พื้นที่ที่แตกต่างกัน ความต้องการเชิงความร้อนย่อมแตกต่างกันแม้ว่าผู้ตอบจะมีความรู้สึกสบายในฤดู ร้อนผลลัพธ์ของการศึกษาในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้งสองแสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าผู้อาศัยอยู่ใน พื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ความต้องการเชิงความร้อนย่อมแตกต่างกันแม้ว่าผู้ตอบจะมี ความรู้สึกสบายในฤดูร้อนและพื้นที่ร่มเงา (Shaded areas) ทั้งจากต้นไม้ และโครงสร้างอาคาร ตลอดจนความเร็วของการพัดของลมธรรมชาติ นั้น เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ผู้ถูกสำรวจมีความต้องการ ปัจจัยสภาวะสิ่งแวดล้อมความร้อนในการปรับปรุงสภาวะความสบายเชิงความร้อนในฤดูร้อนอย่างสูง

ปรเมศร อมาตยกุล (2549) ได้ทำการศึกษาเรื่องการประมาณดัชนีความร้อนโดยวิธีของ Stedman เพื่อนำไปใช้ในการเตือนภัยที่จะเกิดขึ้นจากความร้อนหรือลดอันตรายจากการเจ็บป่วย เนื่องจากความร้อนของผู้ที่ต้องปฏิบัติงานอยู่ท่ามกลางความร้อนเป็นเวลานาน การศึกษาได้ใช้การ ประมาณค่าดัชนีความร้อนของ Steadman ในการประมาณค่าดัชนีความร้อน โดยกำหนดค่าอุณหภูมิ

อากาศตมแหงระหว่าง 21-50 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่าง 0-100 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพอากาศช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย จากนั้นจะเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ เพื่อประมาณค่าดัชนี ความร้อน และสร้างเป็นตารางค่าดัชนีความร้อน ผลจากการศึกษาพบว่า ในวันที่มีอากาศร้อนและความชื้นในอากาศสูง ค่าดัชนีความร้อนจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศตมแหงที่เราตรวจวัดได้ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความชื้นของอากาศที่เพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความร้อนสามารถแบ่งเป็นระดับความรุนแรงได้ 5 ระดับ คือระดับที่ 1 ค่าดัชนีความร้อนน้อยกว่า 27 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิอากาศตมแหง 21-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 15-75 เปอร์เซ็นต์ ปกติไม่อันตราย สามารถทำกิจกรรมต่อไปได้ ระดับที่ 2 ค่าดัชนีความร้อน $27 \leq HI \leq 32$ องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศตมแหง 26-34 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ > 40 เปอร์เซ็นต์ ต้องใช้ความระมัดระวัง เกิดอาการเหนียวอ่อน เมื่อยล้าระดับที่ 3 ค่าดัชนีความร้อน $32 < HI \leq 41$ องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศตมแหง 28-40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ต้องใช้ความระมัดระวังมากขึ้น เกิดอาการเพลียแดด (Heat Exhaustion) ระดับที่ 4 ค่าดัชนีความร้อน $41 < HI \leq 54$ องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศตมแหง 30-50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ อันตรายเกิดอาการตะคริวแดด (Heat Cramps) ระดับที่ 5 ค่าดัชนีความร้อน $HI > 54$ องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศตมแหง 33-50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ อันตรายรุนแรงที่สุด เกิดโรคลมร้อน (Heat Stroke)

2.9.2 งานวิจัยด้านหมอกควัน

ศราวุธ ไม้บง และจายนท์ ศรีเกตุ (2561) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงผสมกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน จากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ เพื่อศึกษาการคาดการณ์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน จากค่าความสูงผสมที่ได้จากแบบจำลองสภาพอากาศ WRF และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงผสม (Mixing Height) จากแบบจำลองสภาพอากาศ Weather Research and Forecasting (WRF) กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมควบคุมมลพิษและข้อมูลสภาพอากาศจาก National Center for Environment Prediction (NCEP) สหรัฐอเมริกา ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ คือ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย จังหวัดลำพูน จังหวัดลำปาง จังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่ จังหวัดน่าน จังหวัดแม่ฮ่องสอน และจังหวัดตาก วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation; R) โดยเปรียบเทียบระดับอิทธิพลต่อกันในแต่ละจังหวัด ระยะเวลาตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ผลการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ จังหวัดตาก มีฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ปริมาณสูงสุด รองลงมาได้แก่ จังหวัดแพร่ จังหวัดลำปาง จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำพูน

จังหวัดพะเยา จังหวัดน่าน จังหวัดเชียงราย และจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96 87 85 83 77 74 71 68 และ 66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนใหญ่จะมีค่าสูงในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 และมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 09.00 น. รองลงมาได้แก่ 21.00 น. และ 15.00 น. ตามลำดับ ผลการศึกษาค่าความสูงผสมที่ได้จากการคาดการณ์โดยแบบจำลองสภาพอากาศ WRF พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0-5,000 เมตร และค่าความสูงผสมมีค่าน้อยที่สุดในช่วงเวลา 09.00 น. รองลงมาได้แก่ 21.00 น. และ 15.00 น. ตามลำดับ และความสัมพันธ์ของค่าความสูงผสมจากการคาดการณ์ของแบบจำลองสภาพอากาศ WRF กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน พบว่า ค่าความสัมพันธ์ (R) มีค่ามากที่สุดเท่ากับ -0.646 ที่จังหวัดเชียงราย ในเดือนมีนาคม ช่วงเวลา 09.00 น. โดยสรุปทั้ง 3 เดือน มีทิศทางความสัมพันธ์เป็นเชิงลบ ช่วงเวลาที่มีความสัมพันธ์สูงที่สุด 09.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ค่าความสูงผสมน้อยที่สุดมีการผกผันกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน สูงที่สุดในช่วงเวลาทำการศึกษา

เกษรราช ลีลาสิทธิกุล และคณะ (2561) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ผลจากหมอกควันและมลพิษทางอากาศต่อระบบหัวใจและทางเดินหายใจในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างหมอกควัน (PM10, CO) กับสมรรถภาพทางปอดและความทนทานของระบบหัวใจและหลอดเลือดในประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดน่าน โดยใช้วิธีศึกษาแบบ Cross-sectional study กลุ่มตัวอย่าง 450 คน ประกอบด้วย กลุ่มเด็ก (อายุเฉลี่ย 12.27±1.45) กลุ่มผู้ใหญ่ (อายุเฉลี่ย 42.59±11.10) และกลุ่มผู้สูงอายุ (อายุเฉลี่ย 69.29±8.02) ผลการศึกษาพบว่า สมรรถภาพปอด และความทนทานของระบบหัวใจและหลอดเลือดมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระดับของก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO) ในบรรยากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ เมื่อควบคุมตัวแปร เช่น อายุ ระยะเวลาที่พักอาศัยในพื้นที่ และเพศ พบว่า ค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวยังคงพบในก๊าซ CO ในบรรยากาศเช่นเดิม โดยผลกระทบต่อสุขภาพจากก๊าซ CO นั้น ทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน อ่อนเพลีย และรู้สึกไม่มีแรง ยิ่งไปกว่านั้นก๊าซ CO ยังสามารถรวมตัวกับฮีโมโกลบินในเลือด กลายเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (HbCO) ทำให้ขัดขวางการขนส่งก๊าซออกซิเจนไปสู่เนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกายส่งผลต่อการลดลงของสมรรถภาพปอดและความสามารถในการทำกิจกรรม

เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล และคณะ (2561) ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล PM2.5 และ PM10 ในบรรยากาศด้วยเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองไร้สายในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและพัฒนาระบบฐานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล PM2.5 และ PM10 ในอากาศใช้เครื่องตรวจจับฝุ่นละอองไร้สายและพัฒนาระบบฐานข้อมูลที่เรียกว่า Cloud Computing ติดตั้งสถานีตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวลเรียลไทม์เดือนกัญวิฤตฝุ่นควัน (PM2.5, PM10) ในพื้นที่ภาคเหนือ จำนวนทั้งหมด 4 สถานี ได้แก่

(1) สถานีโรงเรียนยุพราช (2) สถานี อำเภอต๋อยสะเก็ด (3) สถานี ตำบลแม่เหียะ อำเภอเมือง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (4) สถานี อำเภอนาน้อย จังหวัดน่าน จากการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ของเครื่องวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก DustDETEC ในอากาศต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ.2560 จะเห็นได้ว่า ในช่วงของวันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2560 จะมีปริมาณของฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 ที่ค่อนข้างสูงกว่าวันอื่นๆ นำค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 และ PM2.5 เฉลี่ยรายวันที่วัดได้จากเครื่องวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก DustDETEC เปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกรมควบคุมมลพิษ (สถานี โรงเรียนยุพราช) ระหว่างวันที่ 17 มีนาคม ถึงวันที่ 10 เมษายน พ.ศ. 2560 พบว่า ข้อมูลที่ได้มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อนำข้อมูลฝุ่นละอองขนาดเล็กจากเครื่องวัดฝุ่นละออง DustDETEC เปรียบเทียบกับข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ และปริมาณจุดความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงเดือน มีนาคมและเมษายน พ.ศ. 2560 พบว่า มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ หากช่วงที่มีปริมาณจุดความร้อนสูง ก็จะส่งผลให้ค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ PM10 สูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ ได้ทำการพัฒนาระบบฐานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมไปถึงการนำเสนอข้อมูลผ่านระบบรายงานผลออนไลน์จากสถานีตรวจวัดในแต่ละแห่ง เพื่อให้ผู้รับข้อมูลสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและทันสถานการณ์

อัจฉริย์ ทิพนธธรณินทร์ (2558) ได้ศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาหมอกควันของจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาหมอกควันที่สามารถนำไปสู่ความร่วมมือในการแก้ไขปัญหาจากทุกภาคส่วน โดยใช้วิธีการทบทวนเอกสารงานวิจัยของณัฐกร วิทิตานนท์ และโครงการวิจัยสร้างความเข้มแข็งแก่ชุมชนในการแก้ไขปัญหาวิกฤติ หมอกควัน คณะรัฐศาสตร์และคณะรัฐประศาสนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผลการศึกษาพบว่า ปัญหาหมอกควันของเมืองเชียงใหม่ส่วนใหญ่เป็นผลที่เกิดจากพฤติกรรมของมนุษย์ คือ (1) ความสะอาดของมนุษย์ที่ทิ้งก้นบุหรี่ลงข้างทาง ซึ่งมีกองเศษวัสดุไปไม่ถึงถังไม้แห้งอยู่ (2) การเผาขยะตามบ้านเรือน (3) การเผาเพื่อถางพื้นที่ทำเกษตร เพราะทำได้ง่ายและมีต้นทุนต่ำ (4) การเผาเพื่อสร้างแนวกันไฟ และ (5) การเผาหาของป่าเพื่อนำมาขายและเพื่อมาบริโภค ซึ่งปัญหาดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่อาศัยในพื้นที่ประสบกับหมอกควัน เนื่องจากการรับสารพิษโดยการหายใจนั้นอาจมีทั้งที่มีอาการเฉียบพลันในลักษณะเป็นปัญหาต่อทางเดินหายใจโดยเฉพาะในเด็กและมีโอกาสเป็นโรคเรื้อรัง เช่น โรคมะเร็ง ดังนั้น การแก้ไขปัญหาหมอกควันของจังหวัดเชียงใหม่สามารถใช้ข้อตกลงผลประโยชน์ของสังคม หรือ Society Benefits Agreements ในการสร้างความร่วมมือกันของฝ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในลักษณะของการเป็นหุ้นส่วนของสังคมร่วมกันดำเนินงานภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่หรือได้รับการจัดสรรอย่างจำกัด โดยอาศัยการเจรจาเป็นเครื่องมือให้เกิดการประนีประนอมระหว่างประชาชนผู้อยู่อาศัยในแต่ละพื้นที่ ภาคธุรกิจ เกษตรกรรม และตัวแทนจากหน่วยงานของรัฐบาลทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับภูมิภาค จนกลายเป็นข้อตกลงที่ยอมรับ ยึดถือ และยึดมั่น มีลักษณะเป็นคำมั่น

สัญญา (Commitments) ในการปฏิบัติเพื่อการพัฒนาและการแก้ไขปัญหาาร่วมกัน โดยมีแนวทางในการดำเนินการ คือ 1) สร้างกระบวนการของการเป็นหุ้นส่วนของสังคม (Social partner) โดยการสร้างความร่วมมือระหว่างผู้มีส่วนได้เสียของสังคม 2) ดำเนินการร่วมกันภายใต้ทรัพยากร แรงงาน และทักษะที่แต่ละภาคส่วนมีอยู่ 3) กำหนดกระบวนการและสร้างโอกาสในการเจรจาระหว่างตัวแทนจากภาคส่วนต่างๆ และ 4) การดำเนินการตามข้อตกลงต้องมีความโปร่งใสในการดำเนินการและยึดถือข้อตกลงเป็นแนวปฏิบัติในลักษณะที่เป็นคำมั่นสัญญาที่มีร่วมกันของสังคม

ณภัทร พงษ์เทอดศักดิ์ (2558) ได้ทำการศึกษาความรู้ความเข้าใจและพฤติกรรมในการป้องกันตนเองในภาวะหมอกควันของประชาชนในเขตพื้นที่เทศบาลตำบลจันจว้า อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความรู้ระดับพฤติกรรมในการป้องกันตนเองในภาวะหมอกควันเปรียบเทียบระดับความรู้และพฤติกรรมในการป้องกันตนเองจากภาวะหมอกควัน ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาหมอกควันอยู่ในระดับสูงทุกด้าน แต่มีพฤติกรรมในการป้องกันตัวเองในภาวะหมอกควันที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอยู่ในระดับพอใช้ ส่วนผลจากการเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีเพศอายุ รายได้ ระดับการศึกษา อาชีพ และระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน มีระดับความรู้ความเข้าใจในปัญหาหมอกควันแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ผู้ที่มีระดับการศึกษาและอาชีพแตกต่างกันจะมีพฤติกรรมการเผาในที่โล่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีอาชีพแตกต่างกันจะมีพฤติกรรมการป้องกันตนเองในภาวะหมอกควันที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ระดับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาหมอกควันและพฤติกรรมการเผาในที่โล่งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระดับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาหมอกควันและพฤติกรรมในการป้องกันตนเองในภาวะหมอกควันที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ที่ระดับ 0.05)

พิมพ์พรรณ อัมพันธ์ทอง และปิยภัทร บุชบาบดินทร์ (2558) ได้ทำการศึกษา เรื่อง การพยากรณ์ PM10 ในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยด้วยทฤษฎีเกรย์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ปริมาณ PM10 ด้วยทฤษฎีระบบเกรย์ในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ประกอบด้วย 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดลำปาง และจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยใช้มูลปริมาณปริมาณ PM10 รายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมในแต่ละปี เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551-2556 ใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 4 สถานีในจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดลำปาง และจังหวัดแม่ฮ่องสอน ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพอากาศในบริเวณที่ทำการศึกษามีปริมาณ PM10 สูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งค่ามาตรฐานเฉลี่ยราย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในส่วนของการพยากรณ์ปริมาณ PM10 ในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยด้วยทฤษฎีเกรย์ GM (1,1) ถือเป็นทางเลือกที่ใช้ในการ

หาค่าพยากรณ์โดยพิจารณาข้อมูลในปี พ.ศ. 2551-2556 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 4 สถานี โดยค่าพยากรณ์ในอนาคต 4 ปีข้างหน้า คือ พ.ศ. 2557-2560 พบว่า ทฤษฎีเกรย์สามารถแสดงค่าพยากรณ์ได้ใกล้เคียงค่าความจริง (ในช่วง พ.ศ. 2551-2556) และคุณภาพอากาศในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยจะมีปริมาณ PM10 สูงในเดือนตุลาคมจนถึงเดือนเมษายนของทุกจังหวัด ยกเว้นในจังหวัดแม่ฮ่องสอน นอกจากนี้ การตรวจสอบความแม่นยำจากค่าทำนายเชื่อถือได้จากค่า MAE แสดงค่าใกล้เคียงกับค่าจริง ประกอบกับข้อมูลจริงของสองจังหวัด คือ จังหวัดแม่ฮ่องสอนมีชายแดนติดต่อกับประเทศเพื่อนบ้านมีการเกษตรแบบเดิมๆ ทั้งในส่วนของประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน คือ การจุดไฟเผาหญ้าและการป้องกันไฟป่าที่ดี ทำให้เห็นว่ามลพิษทางของปริมาณ PM10 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนจังหวัดลำปาง พบว่า โรงไฟฟ้าแม่เมาะที่ใช้ลิกไนต์เป็นพลังงานในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งทุกครั้งที่มีการปล่อยกำมะถันประมาณร้อยละ 3-5 ก่อให้เกิด ปริมาณ PM10 สูงขึ้น ทั้งนี้ จากค่าแนวโน้มของปริมาณ PM10 ที่เพิ่มขึ้น สามารถนำไปวางแผนในอนาคต เพื่อลดปัญหาคุณภาพอากาศในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

สิทธิชัย พิมลศรี และภูมิเมษฐ์ เมืองใจ (2554) ได้ทำการศึกษาสถานการณ์และการเปลี่ยนแปลงมลพิษอากาศในจังหวัดพะเยา โดยได้วิเคราะห์ข้อมูลตรวจวัดมลพิษทางอากาศในช่วงฤดูแล้งปี พ.ศ. 2552-2553 ผลการศึกษาพบว่า ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ แต่ PM10 และโอโซนเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทย จำนวนวันที่คุณภาพอากาศเกินกว่ามาตรฐานค่าเฉลี่ยรายวันมากกว่า 15% โดยเฉพาะความเข้มข้น PM10 ซึ่งส่วนใหญ่พบว่า เกินเกณฑ์มาตรฐานในช่วงเดือนมีนาคม และจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า ความเข้มข้น PM10 สูงในตอนกลางวันซึ่งสอดคล้องกับจำนวนจุดความร้อนที่มีปริมาณมากในช่วงเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ การศึกษานี้ยังพบว่า แหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นละอองในจังหวัดพะเยานั้น นอกจากการเผาในที่โล่งในพื้นที่ของจังหวัดพะเยาแล้ว ยังมีแหล่งกำเนิดมาจากจังหวัดอื่นในเขตภาคเหนือรวมถึงเขตประเทศพม่าก็เป็นแหล่งกำเนิดสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศจังหวัดพะเยาอีกด้วย ดังนั้น การจัดการคุณภาพอากาศควรพิจารณาควบคุมทั้งภูมิภาค จึงจะแก้ไขมลพิษอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อจัดทำระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย การทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของระบบเตือนภัย การจัดทำวิธีการสื่อสารข้อมูลการเตือนภัยที่เหมาะสมกับพื้นที่และการพัฒนาระบบเฝ้าระวังการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อนและหมอกควัน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลวิชาการสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย การกำหนดมาตรการตั้งรับ ปรับตัว ลดผลกระทบ ความสูญเสีย รวมทั้งการป้องกันปัญหาในระดับพื้นที่ กรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยเชิงประยุกต์ ซึ่งเน้นการวิจัยเชิงพัฒนาระบบและเครื่องมือเพื่อป้องกันปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและมลพิษทางอากาศโดยมีขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย (ภาพที่ 3.1) ดังนี้

3.1.1 การรวบรวม คัดเลือกแหล่งข้อมูลและข้อมูลนำเข้าในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความร้อน (ข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) และ PM10 (แบบจำลอง WRF-Chem) ล่วงหน้าราย 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์รายวันที่ตรวจวัดและพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ระดับอำเภอ (112 อำเภอ) ครอบคลุมพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือตอนบน โดยทำการคัดเลือกจากฐานข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา หน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือแหล่งข้อมูลอื่นๆ ที่รองรับการทำงานแบบอัตโนมัติ เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับคำนวณดัชนีความร้อน ซึ่งเป็น Simplified biometeorological indices ที่หน่วยงานต่างๆ ใช้กันอย่างแพร่หลาย (WMO and WHO, 2015) ซึ่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับคำนวณดัชนีความร้อน ซึ่งเป็นดัชนี biometeorological อย่างง่ายที่ใช้กันอย่างแพร่หลายโดยหน่วยงานต่างๆ (WMO and WHO, 2015) โดยที่ดัชนีความร้อน สามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่างนี้

$$\text{Heat Index (HI)} = -42.379 + 2.04901523 * T + 10.14333127 * RH - 0.22475541$$

$$* T * RH - 6.83783 * 10^{-3} * T^2 - 5.481717 * 10^{-2} * RH^2 + 1.22874 * 10^{-3} * T^2$$

$$* RH + 8.5282 * 10^{-4} * T * RH^2 - 1.99 * 10^{-6} * T^2 * RH^2$$

T = อุณหภูมิ
RH = ความชื้นสัมพัทธ์

ส่วนที่ 2 การนำเข้าข้อมูลพยากรณ์ PM10 ล่วงหน้าด้วยแบบจำลอง Weather Research Forecast coupled with Chemistry (WRF-Chem) ที่ประยุกต์ใช้โดยศิริพงษ์ สุขทวี และคณะ (2558) ซึ่งแบบจำลอง WRF-Chem นี้ เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดย National Center for Atmospheric Research (NCAR) และ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) เป็นหน่วยงานหลักที่ร่วมมือกับหน่วยงานอื่นๆ ทั้งในและนอกประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีลักษณะเป็น Community Model กล่าวคือ เป็นแบบจำลองที่เผยแพร่ Source Code ของแบบจำลอง คู่มือและทรัพยากรต่างๆ โดยไม่มีค่าใช้จ่าย แบบจำลอง WRF-Chem เป็นแบบจำลองประเภท Non-Hydrostatic และระบบพิกัด (Coordinate) เป็นแบบ Mass - Based Terrain Following Coordinate ทั้งนี้แบบจำลองยังได้รวมการคำนวณทางฟิสิกส์ในบรรยากาศ ประกอบด้วย Longwave radiation, Shortwave radiation, Surface layer, Land/water surface, Cumulus, Microphysics, Turbulence/ Diffusion โดยข้อมูลจากแบบจำลอง WRF-Chem มักถูกนำไปใช้ร่วมกับแบบจำลองคุณภาพอากาศ และข้อมูลอัตราการปลดปล่อยของปริมาณฝุ่นจากข้อมูล Fire Hotspot และ Emission Factor ของประเทศไทย เพื่อใช้ทำนายคุณภาพอากาศล่วงหน้า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง PM10 ทั้งนี้ การใช้ข้อมูลพยากรณ์ PM10 ล่วงหน้าด้วยแบบจำลอง WRF-Chem ที่พัฒนาขึ้นโดยศิริพงษ์ สุขทวี และคณะ (2558) มีสมการหลัก ดังนี้

$$\eta = \frac{(P_h - P_{ht})}{\mu}$$

$$\mu = P_{hs} - P_{ht}$$

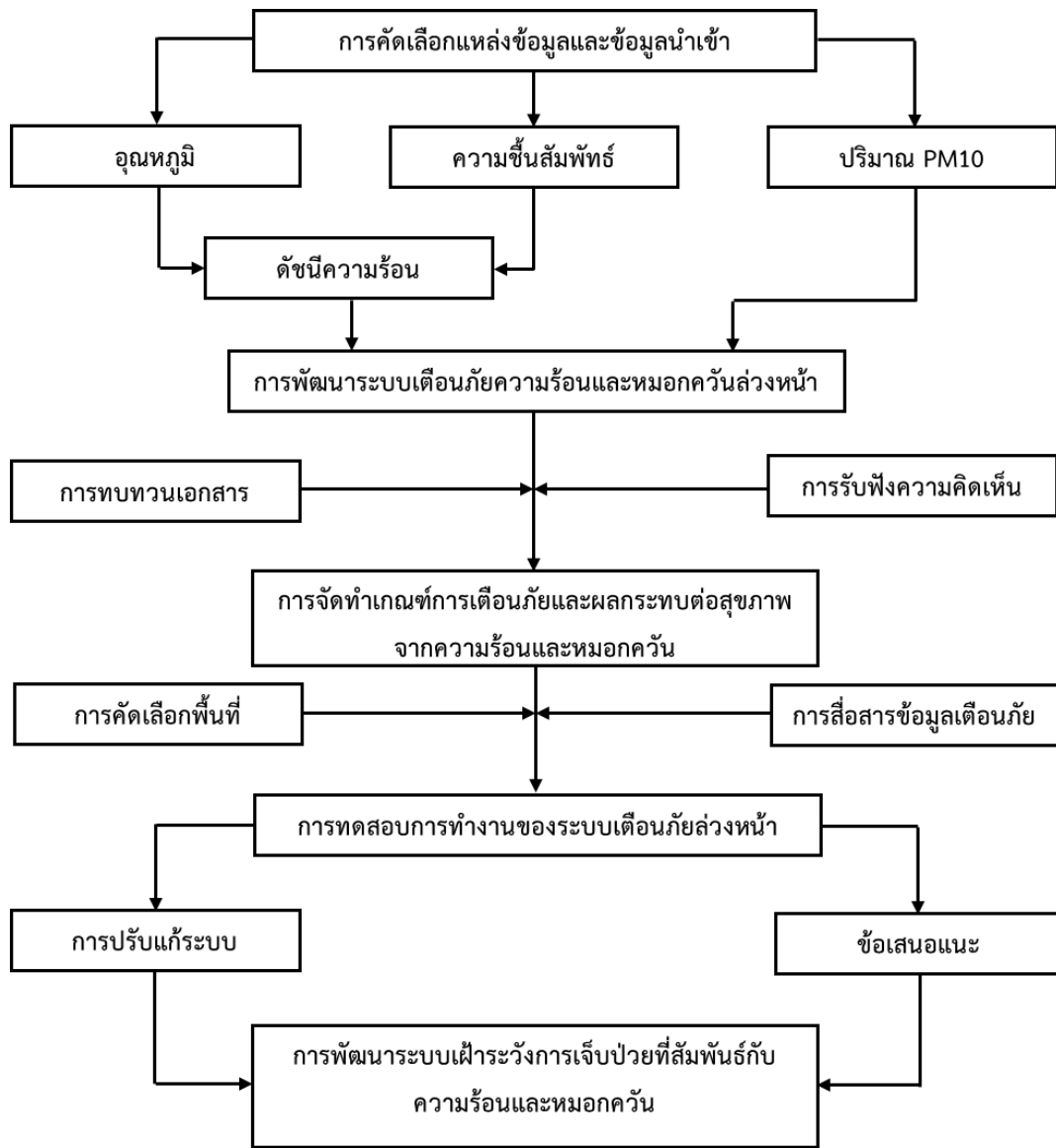
เมื่อ P_h คือ ความดันที่เป็น Hydrostatic component สำหรับ P_{hs} และ P_{ht} คือ ค่าของความดันที่พื้นผิว และที่ขอบด้านบนสุดของ Domain สำหรับการจำลอง และ μ คือ ค่าที่บ่งชี้ไปถึงคอลัมน์ของมวลอากาศในแนวตั้ง รายละเอียดของสมการที่ใช้ในแบบจำลอง WRF-Chem และขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง WRF-Chem ดังอธิบายในหัวข้อ 2.6

3.1.2 การพัฒนาระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า ด้วยการใช้ข้อมูลพยากรณ์อากาศและคุณภาพอากาศล่วงหน้า โดยกำหนดเงื่อนไขเกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน การออกแบบโครงสร้างของระบบเตือนภัยด้วยการนำเข้าข้อมูลจาก 2 ส่วนคือ ข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนและข้อมูลคุณภาพอากาศและมลพิษจากหมอกควันที่พยากรณ์ล่วงหน้า โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป และจัดเก็บฐานข้อมูลด้วย MySQL โดยที่ข้อมูลดัชนีความร้อนและข้อมูลพยากรณ์หมอกควันจะถูกดึงเข้าสู่ระบบประมวลผลอัตโนมัติอย่างต่อเนื่องเพื่อวิเคราะห์และแสดงผลการเตือนภัยว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ สำหรับการแสดงผลของระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันนั้นได้ประยุกต์ใช้ Google Map เข้ามาช่วยเป็นเครื่องมือในการแสดงผลเชิงพื้นที่ซึ่งจะมีตารางเกณฑ์ระดับความรุนแรงของความร้อนและหมอกควัน และสามารถแสดงรายละเอียดผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจจะเกิดขึ้นกับประชาชน

3.1.3 การพัฒนาเกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน ด้วยวิธีการทบทวนเอกสารงานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับเกณฑ์ระดับการเตือนภัยความร้อนและหมอกควันจากหน่วยงานต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น NOAA, USEPA กรมควบคุมมลพิษ กรมอนามัย และกรมควบคุมโรค ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำเสนอเพื่อรับฟังข้อเสนอแนะต่อการพัฒนาเกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควันจากผู้เชี่ยวชาญจากสาขาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเฝ้าด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สาธารณสุขศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม การจัดการสิ่งแวดล้อม และสาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง

3.1.4 การทดสอบการทำงานของระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน เป็นการนำระบบเตือนภัยล่วงหน้าที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้งานจริงในพื้นที่นำร่องเพื่อทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพของแต่ละองค์ประกอบของระบบเตือนภัยล่วงหน้าว่ามีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด โดยผลการพยากรณ์ที่ได้จากระบบเตือนภัยล่วงหน้าจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ดัชนีความร้อน และปริมาณ PM10 จากสถานีตรวจวัดอากาศผิวพื้น กรมอุตุนิยมวิทยา สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ และเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ด้วยวิธีการทางสถิติ ประกอบด้วย การทดสอบค่าความเอนเอียง (Bias) ค่าความคลาดเคลื่อน (Root mean square error) และค่าความคาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean absolute error) ทั้งนี้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองใช้ในพื้นที่นำร่องนี้ จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาปรับปรุงแก้ไขในระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าให้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในระดับพื้นที่มากยิ่งขึ้น

3.1.5 การพัฒนารูปแบบและวิธีการสื่อสารข้อมูลการเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า ในระดับชุมชน เป็นการนำผลการเตือนภัยล่วงหน้าจากระบบที่พัฒนาขึ้นมาแปลงและจัดทำเป็นข้อมูล ข่าวสารการเตือนภัยให้ง่ายต่อการเข้าใจของประชาชนในพื้นที่ พร้อมทั้งพัฒนารูปแบบและวิธีการสื่อสาร ข้อมูลข่าวสารดังกล่าว ให้ง่ายต่อการเข้าถึงของประชาชน โดยจะผนวกเข้ากับกลไกและช่องทางที่มี อยู่แล้วของชุมชนเป็นหลัก นอกจากนี้ ระบบเฝ้าระวังการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อนและหมอกควัน จะถูกพัฒนาขึ้นเป็นส่วนหนึ่งภายใต้กิจกรรมนี้ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชน โดยการออกแบบ แนวทางการพัฒนาระบบเฝ้าระวังสำหรับภาวะการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อนและหมอกควัน แบบผสมผสานระหว่างการศึกษาเชิงระบบและการศึกษาเชิงปริมาณซึ่งการศึกษาเชิงระบบเป็นการ ดำเนินการในลักษณะการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม โดยอาศัยการมีส่วนร่วมจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่ระดับชุมชนจนถึงเจ้าหน้าที่สาธารณสุขเพื่อไปสู่เป้าหมายการพัฒนาาระบบเฝ้าระวัง ซึ่งประยุกต์มา จากการเฝ้าระวัง 4 ขั้นตอนที่พัฒนาโดยศูนย์ควบคุมและป้องกันโรค (CDC) ได้แก่ (1) การรวบรวมข้อมูล (2) การวิเคราะห์ข้อมูล การประมวลผล และแปลผล (3) การสรุปผลการเฝ้าระวังและการรายงานผล การเฝ้าระวังแก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง และ (4) การดำเนินการแก้ไขหรือป้องกันปัญหา พร้อมทั้ง พัฒนาแบบจำลอง พยากรณ์หมอกควันล่วงหน้าด้วยโมเดลทางสถิติ เพื่อสามารถนำผลการพยากรณ์ไปใช้ได้จริงในพื้นที่



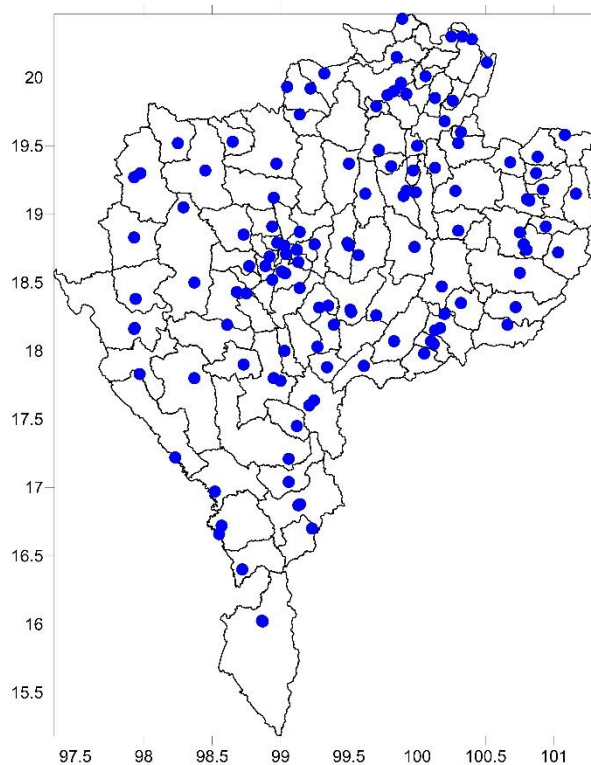
ภาพที่ 3.1 วิธีดำเนินการวิจัยในภาพรวมของโครงการ

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย

3.2.1 ข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน จาก www.apixu.com ครอบคลุมพื้นที่ 112 อำเภอ 9 จังหวัด ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย (จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน จังหวัดน่าน จังหวัดแพร่ จังหวัดพะเยา

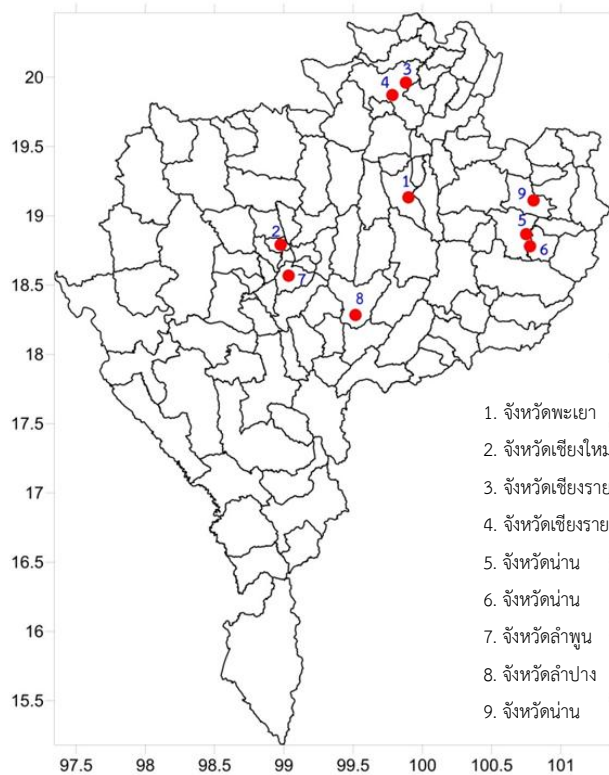
จังหวัดแม่ฮ่องสอน และจังหวัดตาก) โดยกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกเข้า 3 ข้อ ดังนี้ (1) ให้บริการข้อมูล อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (2) ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ล่วงหน้า และ (3) ให้บริการข้อมูลผ่าน API (Application programming interface) ทั้งนี้ พิกัด ตำแหน่งพยากรณ์ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้าดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แสดงพิกัดพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จาก www.apixu จำนวน 112 อำเภอ 9 จังหวัด

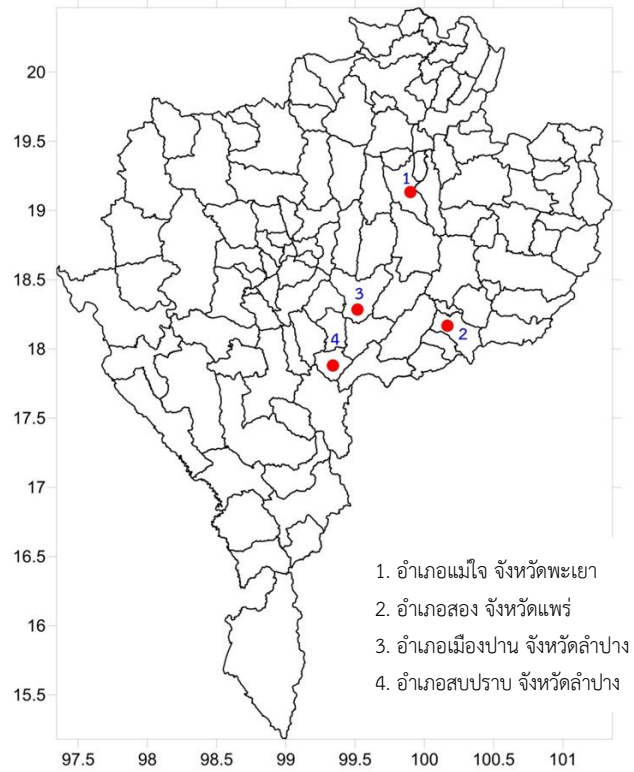
3.2.2 ข้อมูลพยากรณ์ PM10 ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน จากแบบจำลอง WRF-Chem ครอบคลุมพื้นที่ 112 อำเภอ 9 จังหวัด ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ประกอบด้วย จังหวัด เชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน จังหวัดน่าน จังหวัดแพร่ จังหวัดพะเยา จังหวัด แม่ฮ่องสอน และจังหวัดตาก โดยกำหนดพิกัดตำแหน่งตรงกันกับจุดพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จาก www.apixu.com (ภาพที่ 3.2)

3.2.3 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด และดัชนีความร้อน ที่ได้จากการคำนวณจาก สถานีตรวจวัดผิวพื้นของกรมอุตุนิยมวิทยา ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน พ.ศ. 2562 ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน 9 สถานี ประกอบด้วย สถานีจังหวัดพะเยา จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย สถานีตรวจอากาศเกษตร จังหวัดเชียงราย จังหวัดน่าน สถานีตรวจอากาศเกษตร จังหวัดน่าน จังหวัดลำพูน จังหวัดลำปาง และอำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน (ภาพที่ 3.3)



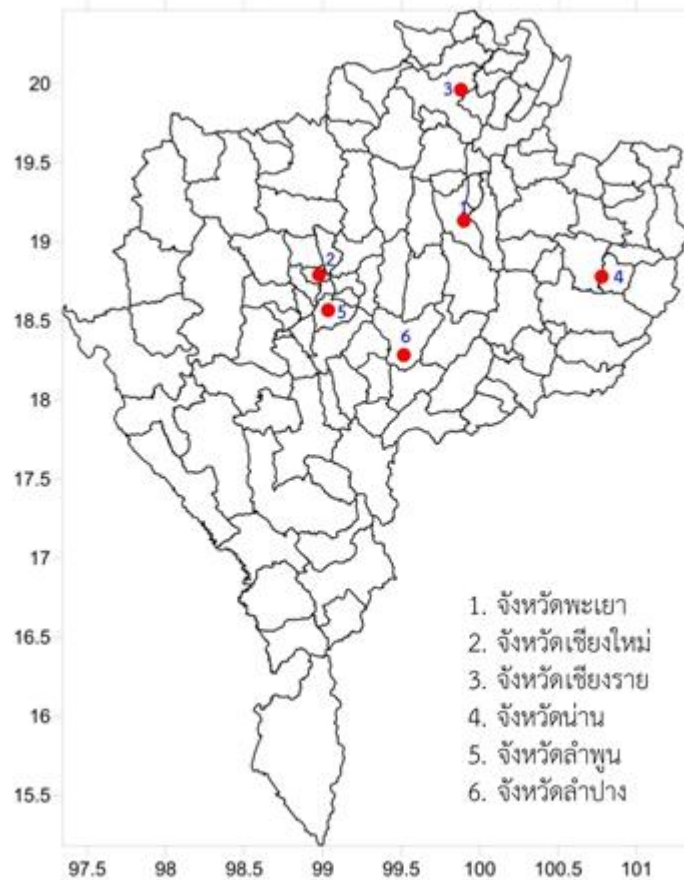
ภาพที่ 3.3 สถานีตรวจวัดผิวพื้นของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 9 สถานี ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน

3.2.4 ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และดัชนีความร้อน ที่คำนวณจากค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตรวจวัดจาก data logger ติดตั้งในพื้นที่ ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน พ.ศ. 2562 จำนวน 4 สถานี ประกอบด้วย (1) อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา (2) อำเภอสอง จังหวัดแพร่ (3) อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง และ (4) อำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง (ภาพที่ 3.4)



ภาพที่ 3.4 ตำแหน่งติดตั้ง data logger ติดตั้งในพื้นที่

3.2.5 ข้อมูลปริมาณหมอกควัน PM10 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน พ.ศ. 2562 จำนวน 6 สถานี ประกอบด้วย (1) จังหวัดพะเยา (2) จังหวัดเชียงใหม่ (3) จังหวัดเชียงราย (4) จังหวัดน่าน (5) จังหวัดลำพูน และ (6) จังหวัดลำปาง (ภาพที่ 3.5)



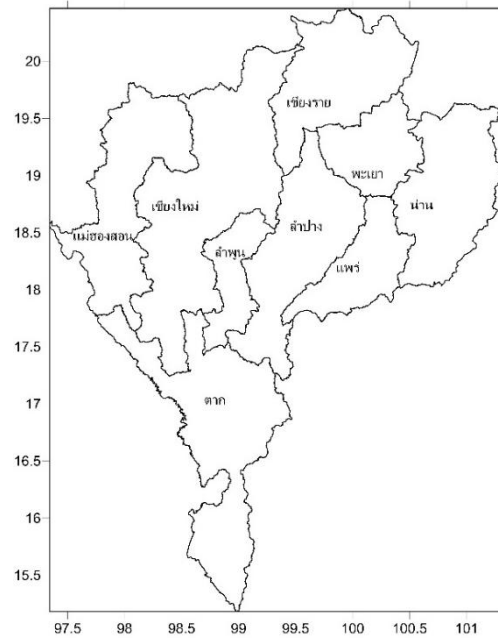
ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ

3.2.6 ข้อมูลจากการสำรวจและเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามสถานการณ์ปัญหาความร้อนและหมอกควัน การดำเนินงานและการสื่อสารในระดับพื้นที่

- (1) ผู้อำนวยการโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลหรือผู้แทนในจังหวัดลำปาง จำนวน 115 คน
- (2) ผู้อำนวยการโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลหรือผู้แทนในจังหวัดพะเยา จำนวน 77 คน
- (3) หัวหน้าอาสาสมัครพิทักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหมู่บ้านระดับจังหวัด และอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านในจังหวัดลำปาง จำนวน 16 คน
- (4) หัวหน้าอาสาสมัครพิทักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมหมู่บ้านระดับจังหวัด และอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านในจังหวัดพะเยา จำนวน 16 คน

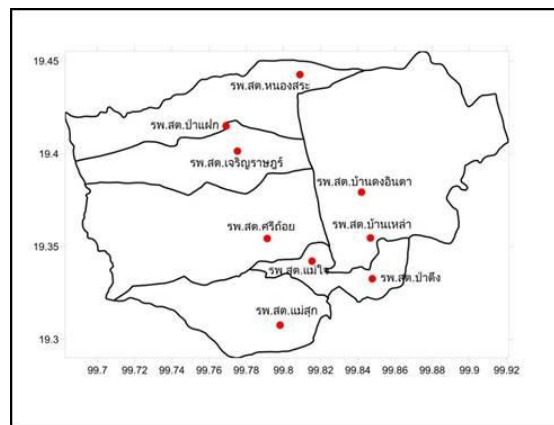
3.3 พื้นที่ดำเนินการวิจัย

3.3.1 ระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า ครอบคลุมพื้นที่ 9 จังหวัด ภาคเหนือตอนบน ประกอบด้วย จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน จังหวัดน่าน จังหวัดแพร่ จังหวัดพะเยา จังหวัดแม่ฮ่องสอน และจังหวัดตาก ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 พื้นที่ศึกษาวิจัย

3.3.2 พื้นที่ทดลองใช้งานระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควัน (อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา) ดังแสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 พื้นที่ทดสอบการทำงานของระบบเตือนภัย

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 เครื่องตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ Elitech รุ่น RC-4HC (ภาพที่ 3.8)



ภาพที่ 3.8 เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แบบอัตโนมัติ

3.4.2 เครื่องวัดดัชนีความร้อนในภาคสนาม ยี่ห้อ 3M รุ่น Questemp36 (ภาพที่ 3.9)



ภาพที่ 3.9 เครื่องวัดดัชนีความร้อนในภาคสนาม

3.4.3 เครื่องคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง ยี่ห้อ Dell Regulatory Model: XS23-TY3 (ภาพที่ 3.10)



ภาพที่ 3.10 เครื่องคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง

3.4.4 เครื่องตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา ยี่ห้อ Delta-T รุ่น GP-1 (ภาพที่ 3.11)



ภาพที่ 3.11 เครื่องตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 ข้อมูลดัชนีความร้อนคำนวณได้ด้วยข้อมูลอุณหภูมิและข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ทำการวิเคราะห์ดัชนีความร้อนล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ด้วยการคำนวณด้วยสมการที่แสดงในข้อที่ 3.3.1

3.5.2 ข้อมูลพยากรณ์ปริมาณ PM10 ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน สามารถคำนวณด้วยแบบจำลอง WRF-Chem ดังแสดงในข้อที่ 3.3.2

3.5.3 ข้อมูลแบบสอบถามสถานการณ์ปัญหาความร้อนและหมอกควัน การดำเนินงานและการสื่อสารในระดับพื้นที่ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) วิเคราะห์และแปลผลข้อมูลในลักษณะร้อยละและค่าเฉลี่ย

3.5.4 ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากสถานีตรวจวัด กรมอุตุนิยมวิทยา และเครื่องตรวจวัดแบบอัตโนมัติ ข้อมูลปริมาณ PM10 ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ ได้ถูกนำไปทดสอบค่าความเอนเอียง (Bias) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของการวัด (Observe value) และค่าอ้างอิง (Reference value) ดังแสดงในสมการด้านล่างนี้

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - x)$$

เมื่อ bias	คือ	ค่าความเอนเอียง
X_i	คือ	ค่าของข้อมูลจริง
X	คือ	ค่าของข้อมูลจริงที่ได้จากการประมาณ
n	คือ	จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ค่าความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error; RMSE) เป็นวิธีการวัดความคลาดเคลื่อนจากค่าดัชนีความร้อนที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา เครื่องตรวจวัดและบันทึกแบบอัตโนมัติ กับค่าพยากรณ์ที่ได้จาก www.apixu.com และค่าพยากรณ์ปริมาณ PM10 จากแบบจำลอง WRF-Chem กับค่าที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ แสดงในสมการนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_i)^2}$$

เมื่อ RMSE	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อน
X_i	คือ	ค่าของข้อมูลจริง
X	คือ	ค่าของข้อมูลจริงที่ได้จากการประมาณ
n	คือ	จำนวนข้อมูลทั้งหมด

และค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Error; MAE) ซึ่งเป็นวิธีการวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงและค่าจากการพยากรณ์ โดยหากค่า MAE มีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่านั้นใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริง

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x|$$

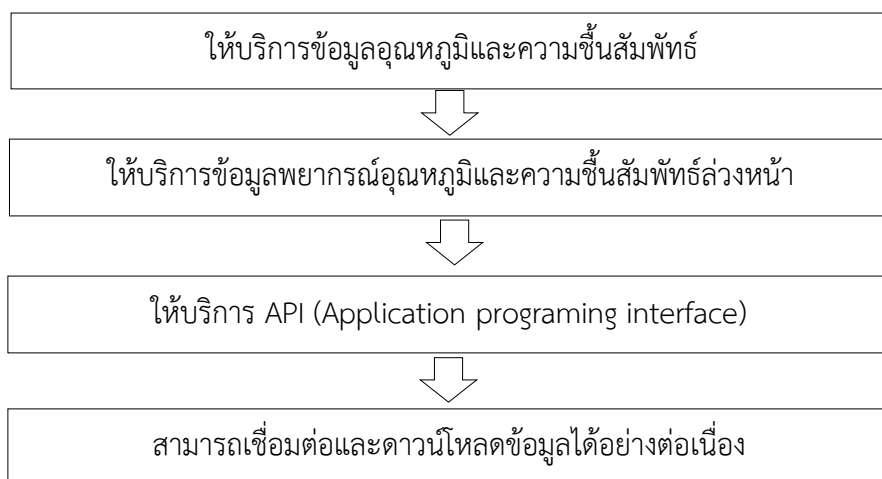
เมื่อ MAE	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์
X_i	คือ	ค่าของข้อมูลจริง
X	คือ	ค่าของข้อมูลที่ได้จากการประมาณ
n	คือ	จำนวนข้อมูลทั้งหมด

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 แหล่งข้อมูลนำเข้าสำหรับพยากรณ์ดัชนีความร้อน

ระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบน เป็นระบบเตือนภัยที่ต้องใช้ข้อมูลพยากรณ์อากาศ (อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ล่วงหน้า เพื่อเป็นตัวแปรสำหรับคำนวณค่าดัชนีความร้อนตามสมการดังแสดงในบทที่ 3 ข้อ 3.1.1 โดยข้อมูลดังกล่าวต้องสามารถกำหนดพิกัดข้อมูลในระดับอำเภอ (112 อำเภอ) ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือตอนบน (จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน จังหวัดน่าน จังหวัดแพร่ จังหวัดพะเยา จังหวัดแม่ฮ่องสอน และจังหวัดตาก) ได้จากการค้นคว้าแหล่งข้อมูลการพยากรณ์สภาพอากาศล่วงหน้าจากแหล่งต่างๆ พบว่า โดยทั่วไปแล้วข้อมูลพยากรณ์มีความหลากหลายทั้งจำนวนตัวแปรอุตุนิยมวิทยาที่ให้บริการ ช่วงเวลา ระยะเวลา รวมถึงผู้จัดทำซึ่งมีทั้งองค์กร หน่วยงานหรือบริษัทต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้น การดำเนินงานในส่วนนี้ คณะวิจัย ได้มุ่งพิจารณาไปถึงรายละเอียดของเว็บไซต์ที่ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า โดยใช้วิธีการกำหนดเกณฑ์การคัดเลือก 4 คุณลักษณะที่มีความจำเป็นสำหรับการพัฒนาระบบเตือนภัย (รายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 4.1) นอกจากนี้ คุณสมบัติความสามารถ รวมทั้งความครบถ้วนของข้อมูลที่ต้องการได้ถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อคัดเลือกแหล่งข้อมูลพยากรณ์อากาศที่เหมาะสมสำหรับพัฒนาระบบเตือนภัยต่อไป



ภาพที่ 4.1 เกณฑ์การคัดเลือกแหล่งข้อมูลพยากรณ์อากาศ

ผลการค้นคว้าแหล่งข้อมูลการพยากรณ์สภาพอากาศล่วงหน้า พบว่า มีแหล่งข้อมูลหลักที่ให้บริการข้อมูลดังกล่าวทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยโดยประมาณ 15 เว็บไซต์ รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก และตำแหน่งพิกัดระดับอำเภอแสดงในภาคผนวก ข ซึ่งผลการคัดเลือกแหล่งข้อมูลพยากรณ์อากาศตามขั้นตอนต่างๆ มีรายละเอียด สรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การตรวจสอบการให้บริการข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ผลการตรวจสอบพบว่า เว็บไซต์ที่ได้ทำการสืบค้นมาทั้ง 15 เว็บไซต์ เป็นเว็บไซต์ที่ให้บริการข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 13 เว็บไซต์ โดยเว็บไซต์ที่ไม่ให้บริการข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ คือ <http://worldweather.wmo.int/en/home.html> และ <http://en.sat24.com/en/wd/world> ดังนั้น จึงได้ทำการตัดทิ้ง 2 เว็บไซต์ ออกไปในขั้นตอนแรก

ขั้นตอนที่ 2 การตรวจสอบช่วงวันเวลาที่ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้า ผลการตรวจสอบ พบว่า 13 เว็บไซต์ ที่ผ่านการตรวจสอบในขั้นตอนแรก ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน

ขั้นตอนที่ 3 การให้บริการ API (Application Programming Interface) สืบเนื่องจากเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ข้อมูลนำเข้าสำหรับคำนวณดัชนีความร้อนของระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันนี้ ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งหมายถึง ตัวระบบจะดำเนินการด้วยตัวเองโดยไม่ต้องมีผู้ดูแลระบบควบคุมการดำเนินงาน ดังนั้น ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่จะถูกนำมาคำนวณดัชนีความร้อนนั้น จำเป็นต้องคัดเลือกเว็บไซต์ที่ให้บริการ API ไม่ว่าจะเป็นแบบ JSON (JavaScript Object Notation) หรือ XML (Extensible Markup Language) เป็นสำคัญ ซึ่งเว็บไซต์ที่ให้บริการ API นั้น ผู้พัฒนาเว็บไซต์หรือเว็บแอปพลิเคชันสามารถเชื่อมต่อและนำไปประยุกต์ใช้งานได้ ผลการคัดเลือกพบว่า เว็บไซต์ที่ให้บริการ API มีจำนวนทั้งสิ้น 8 เว็บไซต์จาก 13 เว็บไซต์ ดังนี้

1. www.weather.com
2. www.openweathermap.com
3. www.worldweatheronline.com
4. www.accuweather.com
5. www.apixu.com
6. www.foreca.com
7. www.timeanddate.com
8. www.yr.no

ขั้นตอนที่ 4 การทดลองดาวน์โหลดข้อมูลจากเว็บไซต์ที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกในเบื้องต้นมีทั้งสิ้น 8 เว็บไซต์ ซึ่งวิธีการที่ใช้คัดเลือกในขั้นตอนต่อไป คือ การทดลองดาวน์โหลดข้อมูลจากเว็บไซต์ดังกล่าว โดยทางคณะผู้วิจัยได้ทำการเขียนคำสั่งผ่านโปรแกรม PHP (Hypertext Preprocessor) เชื่อมต่อกับ API ของเว็บไซต์ต่างๆ ทั้ง 8 เว็บไซต์ที่มี API ให้เชื่อมต่อ เพื่อทดลองดาวน์โหลดข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยการระบุพิกัด Latitude และ Longitude กำหนดตั้งค่าสถานีต่างๆ ทั้ง 112 อำเภอ ใน 9 จังหวัดภาคเหนือตอนบนก่อนดาวน์โหลดข้อมูล ซึ่งผลการทดสอบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. www.weather.com เมื่อทำการเชื่อมต่อและทำการดาวน์โหลดข้อมูลแล้ว พบว่า API ที่ให้มานั้น ได้ถูกส่งต่อไปที่ผู้ให้บริการอื่น คือ www.wunderground.com และเมื่อเข้าไปศึกษาในรายละเอียดของเว็บไซต์ดังกล่าว พบว่า การประยุกต์ใช้งานค่อนข้างสลับซับซ้อน รวมทั้งไม่สามารถระบุพิกัดข้อมูลระดับอำเภอที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลได้

2. www.openweathermap.com จากการเชื่อมต่อเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลผ่าน API พบว่า เป็นเว็บไซต์ที่ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ครบถ้วน และสามารถตั้งค่าเพื่อกำหนดจำนวนวันที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลได้ แต่เมื่อตรวจสอบข้อมูลที่ได้มาแล้ว พบว่า ให้ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เกินพิกัดที่กำหนดไว้ เช่น กำหนดคำสั่งให้ดึงข้อมูล 1 สถานี แต่ให้ข้อมูลเพิ่มเติมประมาณ 10 สถานี ซึ่งอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในระบบ

3. www.worldweatheronline.com เป็นเว็บไซต์ที่ให้บริการข้อมูลครบถ้วนทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ รวมทั้งยังสามารถกำหนดวันเวลาการดาวน์โหลดข้อมูลได้ตามเงื่อนไขที่ต้องการทุกประการ แต่ในขณะที่ทำการทดสอบนั้น ปรากฏว่า มีการแจ้งเตือนถึงระยะเวลาการทดลองใช้งาน ซึ่งจากการลงทะเบียนและสร้าง account ผ่านทางเว็บไซต์ดังกล่าว พบว่า ทางเว็บไซต์ต้องการให้ชำระค่าบริการก่อนทำการทดสอบดาวน์โหลดข้อมูล

4. www.accuweather.com สำหรับเว็บไซต์นี้ เมื่อทำการเชื่อมต่อ API แล้วพบว่า สามารถกำหนดค่าพิกัด latitude และ longitude ได้ แต่มีรายละเอียดที่ซับซ้อนเรื่องการกำหนด location key

5. www.apixu.com จากการเชื่อมต่อเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลผ่าน API พบว่า เป็นเว็บไซต์ที่ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ครบถ้วน และสามารถตั้งค่าเพื่อกำหนดจำนวนวันที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลได้ รวมทั้งไม่มีการเรียกเก็บค่าบริการข้อมูล

6. www.foreca.com จากการสมัครเพื่อใช้งานเว็บไซต์ดังกล่าว พบว่า ไม่มีการตอบกลับจากทางระบบ ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมต่อ API ได้

7. www.timeanddate.com เมื่อทำการเชื่อมต่อ API แล้วพบว่า เป็นเว็บไซต์ที่ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ครบถ้วน และสามารถตั้งค่าเพื่อกำหนดจำนวนวันที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลได้ แต่มีข้อกำหนดเวลาให้ทดลองใช้ API เป็นระยะเวลา 3 เดือน

8. www.yr.no มีข้อจำกัดด้านการสื่อสารและไม่สามารถทำการศึกษาในรายละเอียดเว็บไซต์นี้ได้ เนื่องจากเมื่อเข้าไปที่ API แล้วพบว่าผู้ให้บริการใช้ภาษาออร์เวย์ในการสื่อสารเท่านั้น

ทั้งนี้ รายละเอียดการเปรียบเทียบคุณสมบัติ คุณลักษณะ ความสามารถ รวมทั้งความครบถ้วนของข้อมูลดังปรากฏในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปคุณลักษณะของเว็บไซต์พยากรณ์อากาศ

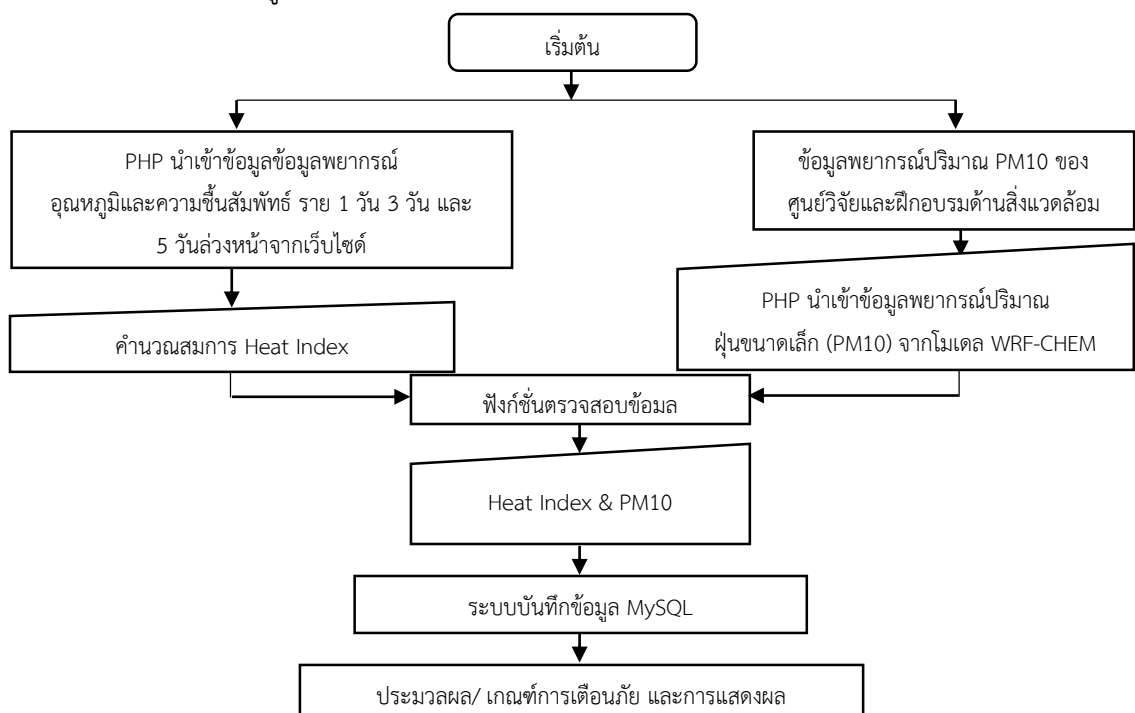
ลำดับ	เว็บไซต์	API	Temp	Humid	จำนวนวัน
1	www.weather.com	/	/	/	1, 3, 5, 10
2	www.openweathermap.com	/	/	/	1, 3, 5, 16
3	www.yahoo.com/news/weather		/	/	1, 3, 5, 10
4	www.worldweatheronline.com	/	/	/	1, 3, 5, 15
5	www.accuweather.com	/	/	/	1, 3, 5, 90
6	www.apixu.com	/	/	/	1, 3, 5, 10
7	www.weather-forecast.com		/	/	1, 3, 5, 10
8	www.weatherbug.com		/	/	1, 3, 5, 10
9	www.foreca.com	/	/	/	1, 3, 5, 10
10	www.theweathernetwork.com		/	/	1, 3, 5, 7, 14
11	www.timeanddate.com	/	/	/	1, 3, 5, 14
12	www.yr.no	/	/	/	1, 3, 5, 10
13	www.metoffice.gov.uk/public/weather/forecast		/	/	1, 3, 5, 7
14	http://worldweather.wmo.int/en/home.html		/		1, 3, 5
15	http://en.sat24.com/en/wd/world		/		1, 3, 5, 9

จากการพิจารณารายละเอียดต่างๆ เพิ่มเติม เช่น ความยากง่าย ความสะดวกในการใช้งาน และ ความเสถียรในการเชื่อมต่อ API แล้ว คณะผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ www.apixu.com เป็นแหล่งข้อมูลนำเข้า ข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เนื่องจากสามารถเข้าถึงข้อมูลได้สะดวกและเขียนโปรแกรมคำสั่งเพื่อ กำกับการทำงานได้อย่างเหมาะสม

4.2 ระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า

4.2.1 การออกแบบโครงสร้างการจัดเตรียมข้อมูลและการนำเข้าข้อมูล

โครงสร้างการจัดเตรียมข้อมูลและการนำเข้าข้อมูลของระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควัน ล่วงหน้านี้ มีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนซึ่งได้มาจากการ คำนวณข้อมูลอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้าจากแหล่งข้อมูลพยากรณ์อากาศ (รายละเอียดในหัวข้อ 4.1) และส่วนข้อมูลพยากรณ์ PM10 ที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง WRF-Chem ของศูนย์วิจัยและ ฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งโครงสร้างการจัดเตรียมข้อมูลที่ได้ออกแบบนั้นครอบคลุมองค์ประกอบหลัก ทั้ง 2 ส่วน ทั้งนี้ โครงสร้างการจัดเตรียมข้อมูลและการนำเข้าข้อมูล รวมทั้งระบบบันทึกข้อมูลนำเข้าและ ฟังก์ชันการตรวจสอบข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 โครงสร้างระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า

4.2.2 การจัดเตรียมข้อมูลและนำเข้าข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และการคำนวณดัชนี

ความร้อน

สำหรับการจัดเตรียมข้อมูลและการนำเข้าข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อคำนวณดัชนีความร้อนนั้น คณะวิจัยได้เลือกใช้ภาษาโปรแกรม PHP (Personal Home Page Tools) ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์แบบ scripting language โดยคำสั่งต่างๆ จะถูกจัดเก็บอยู่ในไฟล์ script และเมื่อใช้งานต้องอาศัยตัวแปรชุดคำสั่ง เช่น JavaScript และ Perl เป็นต้น PHP มีลักษณะที่แตกต่างจากภาษา script แบบอื่นๆ คือ ถูกออกแบบและพัฒนามาเพื่อใช้สำหรับสร้างเอกสารแบบ HTML (Hypertext Markup Language) โดย Hypertext หมายถึง ข้อความที่เชื่อมต่อกันผ่านลิงก์ (Hyperlink Markup language) เป็นภาษาที่ใช้ Tag ในการกำหนดการแสดงผลสิ่งต่างๆ โดยสามารถสอดแทรกหรือแก้ไขเนื้อหาได้แบบอัตโนมัติ กล่าวโดยสรุปได้ว่า PHP เป็นภาษาที่เรียกว่า server-side หรือ HTML-embedded scripting language และจัดเป็นเครื่องมือสำคัญชนิดหนึ่งที่สามารถสร้างเอกสารแบบ dynamic HTML ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ คณะวิจัยได้ดำเนินการเขียนชุดคำสั่งสำหรับดาวน์โหลดข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ราย 1 วัน 3 วัน และ 5 วันล่วงหน้า โดยได้ทำการเชื่อมต่อ API เข้ากับเว็บไซต์พยากรณ์อากาศ www.apixu.com และกำหนดเงื่อนไขให้ดาวน์โหลดข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จำนวน 112 สถานี ครอบคลุมพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือตอนบน วันละ 1 ครั้ง ในช่วงเวลา 12.00 น. ตัวอย่างคำสั่ง PHP ที่ใช้สำหรับดาวน์โหลดข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 4.3

```
"http://api.apixu.com/v1/forecast.xml?
q=19.046462,98.285733%20&key=b6fb8562210842c88d353738180103&days=10" // (Galyani Vadhana);
$arrlength_0 = count($str_city_api 0); for($i = 0; $i < $arrlength_0; $i++) {/xml
$xml = simpleXML load_file($str_city_api 0[$i],"SimpleXMLElement",LIBXML_NOCDATA);
//data
$city = $xml->location->name;
$temperature = $xml->forecast->forecastday[1]->day->avgtemp_c; (อุณหภูมิวันที่ 1 ล่วงหน้า)
$humidity = $xml->forecast->forecastday[1]->day->avghumidity; (ความชื้นสัมพัทธ์วันที่ 1 ล่วงหน้า)
$temperature3 = $xml->forecast->forecastday[3]->day->avgtemp_c; (อุณหภูมิวันที่ 3 ล่วงหน้า)
$humidity3 = $xml->forecast->forecastday[3]->day->avghumidity; (ความชื้นสัมพัทธ์วันที่ 3 ล่วงหน้า)
$temperature5 = $xml->forecast->forecastday[5]->day->avgtemp_c; (อุณหภูมิวันที่ 3 ล่วงหน้า)
$humidity5 = $xml->forecast->forecastday[5]->day->avghumidity; (ความชื้นสัมพัทธ์วันที่ 5 ล่วงหน้า)
```

ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างคำสั่ง PHP ที่ใช้สำหรับดาวน์โหลดข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้า

ทั้งนี้ เมื่อได้ทำการทดสอบรันโปรแกรมที่เขียนคำสั่งดึงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 5 วันล่วงหน้าแล้ว พบว่า โปรแกรมดังกล่าวสามารถใช้งานได้ตรงตามเงื่อนไข ข้อกำหนดที่คณะวิจัยได้สร้างไว้ โดยที่ข้อมูลดังกล่าวจะถูกสร้างขึ้นมาในรูปแบบ XML file ซึ่งตัวอย่าง ข้อมูลพยากรณ์ล่วงหน้า 1 วัน ที่ได้จากคำสั่งดาวน์โหลดดังแสดงในภาพที่ 4.4

This XML file does not appear to have any style information associated with it. The document tree is shown below.

```
- <root>
- <location>
  <name>Chiang Mai</name>
  <region>Chiang Mai</region>
  <country>Thailand</country>
  <lat>18.79</lat>
  <lon>98.98</lon>
  <tz_id>Asia/Bangkok</tz_id>
  <localtime_epoch>1521979334</localtime_epoch>
  <localtime>2018-03-25 19:02</localtime>
</location>
- <current>
  <last_updated_epoch>1521978320</last_updated_epoch>
  <last_updated>2018-03-25 18:45</last_updated>
  <temp_c>33</temp_c>
  <temp_f>91.4</temp_f>
  <is_day>0</is_day>
- <condition>
  <text>Partly cloudy</text>
  <icon>//cdn.apixu.com/weather/64x64/night/116.png</icon>
  <code>1003</code>
</condition>
  <wind_mph>3.8</wind_mph>
  <wind_kph>6.1</wind_kph>
  <wind_degree>320</wind_degree>
  <wind_dir>NW</wind_dir>
  <pressure_mb>1011</pressure_mb>
  <pressure_in>30.3</pressure_in>
  <precip_mm>0</precip_mm>
  <precip_in>0</precip_in>
  <humidity>30</humidity>
```

ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ดาวน์โหลด

เมื่อผ่านขั้นตอนการทดสอบดาวน์โหลดข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้าแล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนการเขียนชุดคำสั่งเพื่อรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ซึ่งเป็นข้อมูลระดับอำเภอ จำนวน 112 สถานี ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้ง 9 จังหวัด ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน โดยข้อมูลดังกล่าวถูกส่งต่อเข้าสู่การคำนวณค่าดัชนีความร้อนตามสมการ ที่แสดงในบทที่ 3 หัวข้อ 3.1.1 ทั้งนี้ ชุดคำสั่งสำหรับคำนวณดัชนีความร้อนและตัวอย่างผลการคำนวณ ดัชนีความร้อนจะถูกพัฒนาและจัดเก็บในฐานข้อมูล MySQL ดังแสดงดังในภาพที่ 4.5 และ 4.6

```

SELECT -42.379+2.04901523*'t1_avg'+10.14333127*'h1_avg'-0.22475541*'t1_avg'*
'h1_avg'-6.83783*power(10,-3)*power('t1_avg',2)-5.481717*power(10,-2)*
power('h1_avg',2)+1.22874*power(10,-3)*power('t1_avg',2)*'h1_avg'+8.5282*
power(10,-4)*'t1_avg'*power('t1_avg',2)-1.99*power(10,-6)*power('t1_avg',2)* power('h1_avg',2)
AS HI, city, changwat
FROM HEATINDEX

```

ภาพที่ 4.5 ชุดคำสั่งสำหรับคำนวณดัชนีความร้อน

Showing rows 0 - 24 (648 total, Query took 0.0014 seconds.) [id: 1... - 25...]

```

SELECT id, date, city as district, changwat as province, t1_avg, h1_avg, t3_avg, h3_avg, t5_avg, h5_avg, round((1.8*t1_avg+32,2) AS 'F', round((5/9)*(-42.379+(2.04901523*(1.8*t1_avg+32)+(10.14333127*h1_avg)-(0.22475541*(1.8*t1_avg+32)*h1_avg)-(0.00683783*power((1.8*t1_avg+32),2))-(0.05481717*power(h1_avg,2)))+(0.00122874*power((1.8*t1_avg+32),2)*h1_avg)+(0.00085282*(1.8*t1_avg+32)*power(h1_avg,2))-(0.00000199*power((1.8*t1_avg+32),2)*power(h1_avg,2))-32),2) AS HI FROM weather_record_5days ORDER BY 'weather_record_5days`.`id` ASC

```

Profiling [Edit inline] [Edit] [Explain SQL] [Create PHP code] [Refresh]

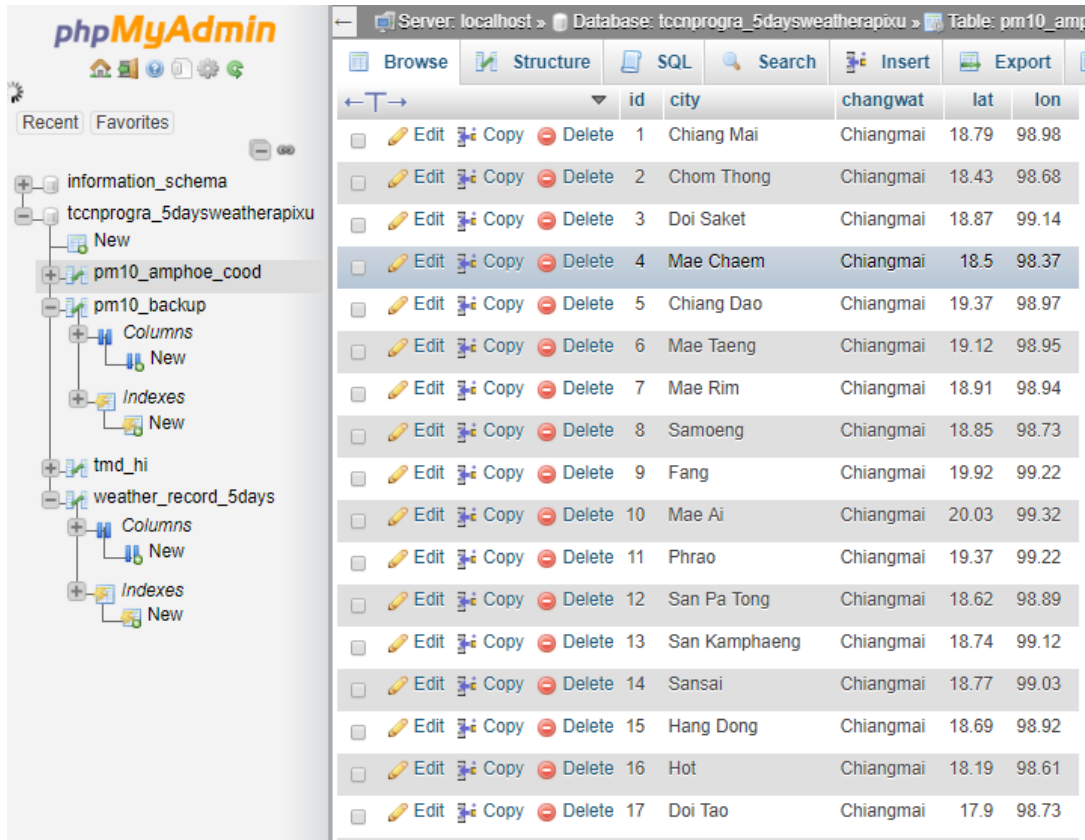
1 > >> Number of rows: 25 Filter rows: Search this table Sort by key: None

id	date	district	province	t1_avg	h1_avg	t3_avg	h3_avg	t5_avg	h5_avg	F	HI
1	2018-03-05	Chiang Mai	Chiangmai	31.4	22	31.6	19	27.4	55	88.52	29.53
2	2018-03-05	Chom Thong	Chiangmai	29.1	27	29.3	24	24	63	84.38	27.80
3	2018-03-05	Doi Saket	Chiangmai	31.4	22	31.6	19	27.4	55	88.52	29.53
4	2018-03-05	Mae Chaem	Chiangmai	27.1	30	29	25	24.6	66	80.78	26.48
5	2018-03-05	Chiang Dao	Chiangmai	28.1	26	28.9	21	24.8	62	82.58	27.00
6	2018-03-05	Mae Taeng	Chiangmai	28.1	26	28.9	21	24.8	62	82.58	27.00
7	2018-03-05	Mae Rim	Chiangmai	31.4	22	31.6	19	27.4	55	88.52	29.53
8	2018-03-05	Samoeng	Chiangmai	31.4	22	31.6	19	27.4	55	88.52	29.53
9	2018-03-05	Bang Fang	Chiangmai	32.5	25	32.5	49	29.3	50	90.50	30.84
10	2018-03-05	Mae Ai	Chiangmai	28.2	25	28.9	22	24.1	64	82.76	27.03
11	2018-03-05	Phrao	Chiangmai	28.2	26	29.5	21	23.8	66	82.76	27.07
12	2018-03-05	San Pa Tong	Chiangmai	31.4	22	31.6	19	27.4	55	88.52	29.53

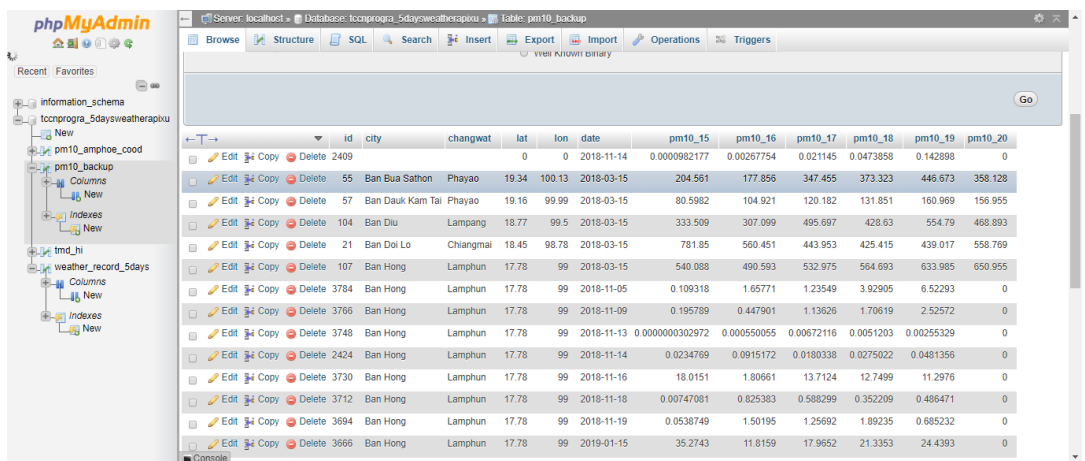
ภาพที่ 4.6 ตัวอย่างผลการคำนวณดัชนีความร้อนในฐานข้อมูล MySQL

4.2.3 การจัดเตรียมข้อมูลและนำเข้าข้อมูลพยากรณ์ค่าความเข้มข้นของ PM10

การจัดเตรียมข้อมูลพยากรณ์ PM10 ผู้วิจัยได้ใช้คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงคำนวณค่าพยากรณ์ PM10 และเก็บข้อมูลด้วย FTP (File Transfer Protocol) คือ โพรโทคอลที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการรับส่งไฟล์ระหว่าง client และ server ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกเก็บไว้ใน folder ที่มีการจัดเรียงข้อมูลพยากรณ์ล่วงหน้า 1 3 และ 5 วัน โดยข้อมูลอยู่ในรูปแบบ text file ทั้งนี้ ผลการพยากรณ์ตามรายสถานี (112 สถานี) จะถูก PHP เขียนคำสั่งโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบฐานข้อมูล ประกอบด้วย id รายชื่ออำเภอ จังหวัดและพิกัดทางภูมิศาสตร์ดังแสดงในภาพที่ 4.7 และส่วนแสดงผลการพยากรณ์ PM10 ประกอบด้วย id อำเภอ จังหวัด พิกัดภูมิศาสตร์ วันเดือนปี และค่าพยากรณ์ PM10 (ภาพที่ 4.8)



ภาพที่ 4.7 การกำหนดรายชื่อและพิกัดทางภูมิศาสตร์



ภาพที่ 4.8 ฐานข้อมูลพยากรณ์ PM10

โปรแกรมที่ประยุกต์ใช้สำหรับนำเข้าข้อมูลพยากรณ์ PM10 คือ MySQL ซึ่งเป็นโปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูลที่พัฒนาโดยบริษัท MySQL AB ที่สามารถเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ รองรับคำสั่ง SQL และเป็นเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูลที่สามารถใช้ร่วมกับเครื่องมือหรือโปรแกรมอื่นๆ ได้ตามความต้องการของผู้ใช้ เช่น ทำงานร่วมกับเครื่องบริการเว็บ (web server) เพื่อให้บริการแก่ภาษาสคริปต์ที่ทำงานฝั่งเครื่องบริการ (Server-Side Script) เช่น ภาษา php ภาษา asp.net หรือภาษาเจเอสพี นอกจากนี้โปรแกรมยังถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย และเป็นระบบฐานข้อมูล open source ที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด MySQL จัดเป็นระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (RDBMS : Relational Database Management System) ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน กล่าวโดยสรุปได้ว่า MySQL เป็นฟรีแวร์ทางด้านฐานข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง นักพัฒนาฐานข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ MySQL ต่างให้การยอมรับในความรวดเร็ว การรองรับจำนวนผู้ใช้ และขนาดของข้อมูลที่มีจำนวนมหาศาล นอกจากนี้ สามารถใช้งานร่วมกับ web development platform เช่น C, C++ , Java, Perl, PHP, Python, TCL, หรือ ASP ซึ่งได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน และมีแนวโน้มสูงมากขึ้นในอนาคต

4.2.4 ระบบบันทึกข้อมูลนำเข้า และฟังก์ชันตรวจสอบข้อมูล

ในช่วงแรกของการพัฒนาระบบบันทึกข้อมูลนำเข้าและการตรวจสอบข้อมูลที่ผิดปกติ ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ดัชนีความร้อน และข้อมูล PM10 ถูกนำเข้าและเก็บบันทึกข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล MySQL โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยด้านอากาศ เสียง และความสั่นสะเทือน ซึ่งคอมพิวเตอร์เครื่องดังกล่าวจะทำหน้าที่จำลองเป็นเครื่องเซิร์ฟเวอร์ โดยการกำหนดชื่อฐานข้อมูลให้สอดคล้องกับข้อมูลทั้งในฝั่งของดัชนีความร้อนและ WRF-Chem ดังนี้ (1) ฐานข้อมูลดัชนีความร้อน และ (2) ฐานข้อมูล WRF-Chem ซึ่งฐานข้อมูลทั้งสองฐานนั้นมีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกัน กล่าวคือ ทำการเชื่อมโยงด้วยพิกัดทางภูมิศาสตร์ (latitude และ longitude) ในระดับอำเภอของพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือตอนบน เริ่มตั้งแต่ชั้นตอนดาวโนโหลดข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เพื่อคำนวณค่าดัชนีความร้อน ซึ่งในการพยากรณ์ PM10 นั้น ถูกกำหนดให้ใช้พิกัดในสถานีเดียวกันเพื่อให้ฐานข้อมูลทั้ง 2 ฐาน มีความสอดคล้องเชื่อมโยงกัน สำหรับฟังก์ชันการตรวจสอบข้อมูลที่คุณคณะวิจัยได้ออกแบบมานั้น ได้จัดทำบนพื้นฐานของการทำงานผ่านระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสม สะดวก และข้อมูลที่ได้จะมีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าการตรวจสอบข้อมูลด้วยผู้ดูแลระบบหรือเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบ ดังนั้นจึงได้ทำการกำหนดเงื่อนไขการตรวจสอบข้อมูลในกรณีที่ค่าพยากรณ์ที่จัดเก็บในระบบฐานข้อมูลทั้ง 2 ฐานข้อมูล ที่มีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าปกติ สำหรับฟังก์ชันตรวจสอบข้อมูล จะถูกตั้งค่าให้ทำงานทุกครั้งที่มีการนำเข้าข้อมูล โดยจะทำการอ่านข้อมูลหรืออ่านค่าที่ได้ทำการบันทึกไว้ในฐานข้อมูลดัชนีความร้อนและฐานข้อมูล WRF-Chem และเมื่อฟังก์ชันตรวจสอบข้อมูลตรวจสอบพบค่าผิดปกติตามเงื่อนไขหรือระดับ

ที่ตั้งไว้จะทำการแจ้งไปยังผู้ดูแลระบบให้ทราบ โดยการแจ้งเตือนผ่านทาง e-mail โดยตรงถึงผู้ดูแลระบบ เพื่อให้ทำการตรวจสอบข้อมูลเพิ่มเติม ทั้งนี้ เมื่อระบบบันทึกข้อมูลนำเข้าและฟังก์ชันการตรวจสอบข้อมูลสามารถดำเนินการได้ตามกำหนดแล้ว ระบบทั้งสองจะถูกนำไปจัดเก็บไว้ใน web-hosting ภายนอกที่ให้บริการดาวโหลดและจัดเก็บข้อมูล ซึ่งตัวอย่างชุดคำสั่งเบื้องต้นแสดงในภาพที่ 4.9

```
<?php
function mailtoadmin($to, $from_user, $from_email,
    $subject = 'Notice', $message = This is e-mail from Heat Index &
    WRF-CHEM server")
{
    $from_user = "=?UTF-8?B?".base64_encode($from_user)."?=";
    $subject = "=?UTF-8?B?".base64_encode($subject)."?=";
    $headers = "From: $from_user <$from_email>\r\n".
```

ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างชุดคำสั่งตรวจสอบข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ

4.2.5 ระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า

ระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบที่ทำงานแบบอัตโนมัติ มีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนที่คำนวณจากข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้าจาก www.apixu.com และค่า PM10 จากแบบจำลอง WRF-Chem โดยระบบนำเข้าข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนและ PM10 ล่วงหน้า 1 3 และ 5 วัน แบบต่อเนื่อง (ดาวโหลดข้อมูล ณ เวลา 12.00 น.) โดยใช้ Hosting Service Provider (HSP) ที่สามารถรองรับการทำงานของระบบได้ตลอด 24 ชั่วโมง พร้อมทั้งจัดเก็บข้อมูลไว้ใน web server ซึ่งทำหน้าที่เป็นสื่อกลางสำหรับแสดงผลหน้าเว็บไซต์และแสดงผลด้วยสัญลักษณ์วงกลมตามเฉดสีตามช่วงค่าดัชนีความร้อนและค่า PM10 พร้อมทั้งแสดงผลในแผนที่ Google map สามารถเข้าถึงได้ทาง <http://www.tccnprogram.webgraphicdesignerthailand.com/> ทั้งนี้ หน้าจอแสดงผลหลักของระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. การแนะนำและคำอธิบายสรุปที่มาและความสำคัญของความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า ซึ่งประกอบด้วยกรอบแนวคิดในภาพรวม วิธีการ ขั้นตอนการทำงานของระบบ องค์ประกอบหลักของชุดข้อมูล ขอบเขตเชิงพื้นที่ และเกณฑ์ระดับผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน (ภาพที่ 4.10) ในส่วนนี้จะเป็ข้อมูลเบื้องต้นให้ผู้สนใจใช้งานระบบสามารถทำความเข้าใจก่อนการใช้งานในขั้นตอนต่อไป

ระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควัน

ที่มาและความสำคัญ

การศึกษานี้ ได้มารอบแนวคิดขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลกและองค์การอนามัยโลก "Heat Waves and Health: Guidance on warning system development" มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบเพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับใช้เตือนภัยล่วงหน้า โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการทำงานแบบอัตโนมัติ มีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ คำศัพท์นิยามร้อนที่คำนวณจากข้อมูลพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้า และค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน (PM10) ที่ได้จากการจำลองด้วยแบบจำลอง Weather Research Forecast (WRF-Chem) โดยระบบจะนำเข้าข้อมูลพยากรณ์ได้ซึ่งความร้อนและปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM10 ล่วงหน้า 3 และ 5 วัน แบบต่อเนื่องทุกวันครอบคลุมพื้นที่ 112 อำเภอ 9 จังหวัด (เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง สุโขทัย น่าน แพร่ พะเยา ตาก และแม่ฮ่องสอน) ในเบื้องต้นได้จัดทำเกณฑ์ระดับการเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพ ดังนี้ 1. สีฟ้า หมายถึง ปลอดภัย (HI 27-32 °C / PM10 0-50 µg/m³) 2. สีเหลือง หมายถึง เฝ้าระวัง (HI 32-41 °C / PM10 50-120 µg/m³) 3. สีส้ม หมายถึง อันตราย (HI 41-54 °C / PM10 121-350 µg/m³) และ 4. สีแดง หมายถึง อันตรายนมาก (HI >54 °C / PM10 >350 µg/m³) และแสดงผลใน Google Maps

ภาพที่ 4.10 ข้อมูลแนะนำและคำอธิบายสรุปที่มาและความสำคัญของระบบเตือนภัยฯ

2. รายละเอียดและข้อมูลต่างๆ ของระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า ในส่วนนี้จะแสดงบริเวณหน้าแรกของระบบเตือนภัยฯ ดังนี้

2.1 ตารางโหลดตำแหน่งพิกัดของอำเภอทั้ง 112 อำเภอ ให้บริการข้อมูลในรูปแบบ excel file เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบรหัสสถานี รายชื่ออำเภอ และพิกัดทางภูมิศาสตร์ (ภาพที่ 4.11)

No	Province	Amphoe	Amphoe	Village	lat	lon
1	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอเมืองเชียงใหม่	Chiang Mai		18.7061	98.9817
2	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอจอมทอง	Chom Thong		18.4205	98.6724
3	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอแจ้ห่ม	Mae Chaem		18.7142	98.3965
4	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอเชียงดาว	Chiang Dao		19.3678	98.9649
5	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอดอยสะเก็ด	Doi Saket		18.8705	99.1362
6	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอแม่แตง	Mae Taeng		19.2102	98.8804
7	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอแมริม	Mae Rim		18.9274	98.8804
8	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอสะเมิง	Samoeng		18.9399	98.6161
9	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอฝาง	Fang		19.8908	99.1727
10	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอแม่อาย	Mae Ai		20.0386	99.3179

ภาพที่ 4.11 ตำแหน่งพิกัดของอำเภอทั้ง 112 อำเภอ 9 จังหวัด

2.2 ดาวน์โหลดข้อมูลดัชนีความร้อน ให้บริการข้อมูลพยากรณ์ค่าดัชนีความร้อน ล่วงหน้า 1 3 และ 5 วัน โดยสามารถเลือกดาวน์โหลดข้อมูลย้อนหลังได้ด้วยการเลือกวันเดือนปีที่ต้องการ ซึ่งข้อมูลที่ได้ประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าดัชนีความร้อนล่วงหน้า จำนวน 112 สถานี (ภาพที่ 4.12)

การรวบรวมวันที่

ข้อมูลวันที่ 07 กันยายน 2562

ลำดับ	อำเภอ	จังหวัด	อุณหภูมิ °C (1 วันล่วงหน้า)	ความชื้นสัมพัทธ์ % (1 วันล่วงหน้า)	heat index °C (1 วันล่วงหน้า)	อุณหภูมิ °C (3 วันล่วงหน้า)	ความชื้นสัมพัทธ์ % (3 วันล่วงหน้า)	heat index °C (3 วันล่วงหน้า)	อุณหภูมิ °C (5 วันล่วงหน้า)	ความชื้นสัมพัทธ์ % (5 วันล่วงหน้า)	heat index °C (5 วันล่วงหน้า)
1	Chiang Mai	Chiangmai	26.4	79	28.4	25.7	83	27.16	26.5	79	28.6
2	Chom Thong	Chiangmai	23.1	85	22.66	23	87	22.26	22.9	88	21.98
3	Doi Saket	Chiangmai	26.4	79	28.4	25.7	83	27.16	26.5	79	28.6
4	Mae Chaem	Chiangmai	21.1	92	18.88	21.1	94	18.35	22.3	92	20.42
5	Chiang Dao	Chiangmai	23.1	89	22.14	22.6	92	20.88	23.2	89	22.3
6	Mae Taeng	Chiangmai	23.1	89	22.14	22.6	92	20.88	23.2	89	22.3
7	Mae Rim	Chiangmai	26.4	79	28.4	25.7	83	27.16	26.5	79	28.6
8	Samoeng	Chiangmai	26.4	79	28.4	25.7	83	27.16	26.5	79	28.6
9	Fang	Chiangmai	23.8	90	23.21	22.4	93	20.38	23.5	91	22.56
10	Mae Ai	Chiangmai	23.8	90	23.21	22.4	93	20.38	23.5	91	22.56
11	Phrao	Chiangmai	23.8	88	23.41	24.1	91	23.7	24.7	90	25
12	San Pa Tong	Chiangmai	26.4	79	28.4	25.7	83	27.16	26.5	79	28.6
13	San Kamphaeng	Chiangmai	26.4	79	28.4	25.7	83	27.16	26.5	79	28.6
14	Sansai	Chiangmai	26.4	79	28.4	25.7	83	27.16	26.5	79	28.6
15	Hang Dong	Chiangmai	26.4	79	28.4	25.7	83	27.16	26.5	79	28.6
16	Hot	Chiangmai	23.7	86	23.44	23.9	85	23.84	23.8	88	23.41
17	Doi Tao	Chiangmai	24.2	83	24.46	23.7	88	23.24	23.4	88	22.74
18	Omkoi	Chiangmai	20	94	17.22	19.9	95	16.8	20.7	94	17.89
19	Saraphi	Chiangmai	26.4	79	28.4	25.7	83	27.16	26.5	79	28.6
20	Wiang Haeng	Chiangmai	19.5	94	16.84	18.3	96	15.42	21.8	88	20.57
21	Ban Doi Lo	Chiangmai	23.1	85	22.66	23	87	22.26	22.9	88	21.98
22		Chiangmai	22.7	89	21.54	22.1	92	20.13	22.4	91	20.76

ภาพที่ 4.12 การดาวน์โหลดข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และดัชนีความร้อน

2.3 ดาวน์โหลดข้อมูลพยากรณ์ PM10 ส่วนนี้ให้บริการข้อมูลพยากรณ์ล่วงหน้า 1 3 และ 5 วัน โดยสามารถเลือกดาวน์โหลดข้อมูลย้อนหลังได้ด้วยการเลือกวันเดือนปีที่ต้องการ ทั้งนี้ การพยากรณ์ค่า PM10 ที่ใช้แบบจำลอง WRF-Chem จำเป็นต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง สำหรับดาวน์โหลดข้อมูลก่อนทำการประมวลผลจากฐานข้อมูล ซึ่งมีข้อจำกัดทั้งเรื่องจำนวนพื้นที่ในการเก็บข้อมูลซึ่งมักไม่เพียงพอ และมักประสบปัญหาดาวน์โหลดข้อมูลได้ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ ค่าพยากรณ์ PM10 ที่ได้จากแบบจำลองต้องปรับ format ให้อยู่ในรูปของ text file และนำไปเก็บยัง folder ที่ต้องกำหนดชื่อรายวันและทำการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบด้วย FTP ในส่วนนี้จึงเป็นปัญหาสำคัญของระบบเตือนภัย ที่พัฒนาขึ้น และส่งผลกระทบต่อให้ไม่สามารถเรียกดูข้อมูลได้หากไม่มีการเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตหรือเครื่องคอมพิวเตอร์เสียหาย ซึ่งส่งผลกระทบต่อถึงการแสดงผลด้วยเช่นกัน

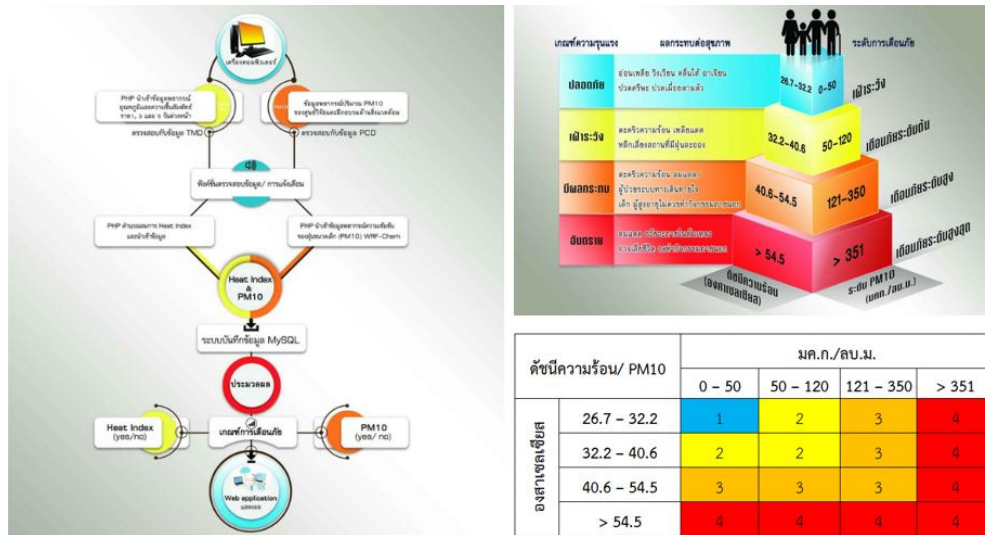
2.4 การทดสอบความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนของข้อมูล แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ (1) การแสดงผลทดสอบข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อน 1 วัน และ 3 วัน ล่วงหน้า (คำนวณด้วยค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) ที่ได้จาก www.apixu.com เปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดอุณหภูมิและ

ความชื้นสัมพัทธ์ที่ถูกคำนวณด้วยสมการดัชนีความร้อนที่ได้จากสถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา สถานีจังหวัดพะเยา โดยเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน พ.ศ.2562 (2) แสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อน 1 วัน และ 3 วัน ล่วงหน้า ที่ได้จาก www.apixu.com กับค่าดัชนีความร้อนที่คำนวณด้วยสมการดัชนีความร้อนที่ได้จากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (RC-4HC) โดยเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน พ.ศ.2562 และ (3) การแสดงผลการทวนสอบข้อมูลพยากรณ์ปริมาณหมอกควันจากแบบจำลอง WRF-Chem กับข้อมูลตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ ทั้งนี้ ข้อมูลทั้ง 3 ส่วนอยู่ในรูปของ pdf file ซึ่งผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้

2.5 การดำเนินงานในพื้นที่นาร่อง แสดงข้อมูลพื้นฐานพื้นที่นาร่อง อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา รายละเอียดการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า ขั้นตอนการทดลองใช้งานระบบฯ และผลการดำเนินงานของแต่ละโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทั้ง 9 แห่ง พร้อมแสดงภาพตัวอย่างผลการดำเนินกิจกรรมในพื้นที่

2.6 เอกสารเผยแพร่ ประกอบด้วย แผ่นพับการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนสำหรับประชาชน แผ่นพับ อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านทำได้ การเฝ้าระวังด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม คำแนะนำการดูแลป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนจากความร้อน โปสเตอร์ภัยสุขภาพจากความร้อนการรับมือกับสภาพอากาศร้อนจัด คู่มือผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศและโปสเตอร์ภัยสุขภาพจากภาวะหมอกควัน

3. โครงสร้างของระบบเตือนภัยฯ เป็นการแสดงข้อมูลโครงสร้างการทำงานของระบบตั้งแต่การนำเข้าข้อมูล การตรวจสอบข้อมูล การคำนวณดัชนีความร้อน การพยากรณ์ปริมาณหมอกควัน ระบบบันทึกข้อมูล การประมวลผล ระดับผลกระทบต่อสุขภาพ (แบ่งออกเป็น 4 ระดับผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน) เกณฑ์การเตือนภัย (แสดงเงื่อนไขการเตือนภัยเมื่อค่าดัชนีความร้อนและค่าพยากรณ์หมอกควันสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้) และการแสดงผล (ภาพที่ 4.13)



ภาพที่ 4.13 หน้าจอหลักแสดงโครงสร้าง ระดับผลกระทบ และเกณฑ์การเตือนภัย

ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าได้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้หลากหลายระบบ เช่น Google Chrome, Firefox, Internet Explorer หรือ Microsoft Edge เป็นต้น ซึ่งเว็บเบราว์เซอร์เป็นตัวเชื่อมต่อทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลสารสนเทศที่จัดเก็บในหน้าเว็บไซต์ที่จัดเก็บไว้ในระบบบริการเว็บโฮสติ้งหรือเว็บเซิร์ฟเวอร์ หรือระบบคลังข้อมูลอื่นๆ โดยโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์เปรียบเสมือนเครื่องมือในการติดต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่เรียกว่าเวปด์ไวต์เว็บ (www) หรือเครือข่ายที่เชื่อมต่อกันทั่วโลกเพื่อแสดงผลข้อมูลต่างๆ ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ในที่นี้สามารถเข้าถึงได้ที่ <http://www.tccnprogram.webgraphicdesignerthailand.com/> หรือเลือกใช้งานระบบผ่านแบนเนอร์ (ภาพที่ 4.14) ในเว็บไซต์เครือข่ายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไทย



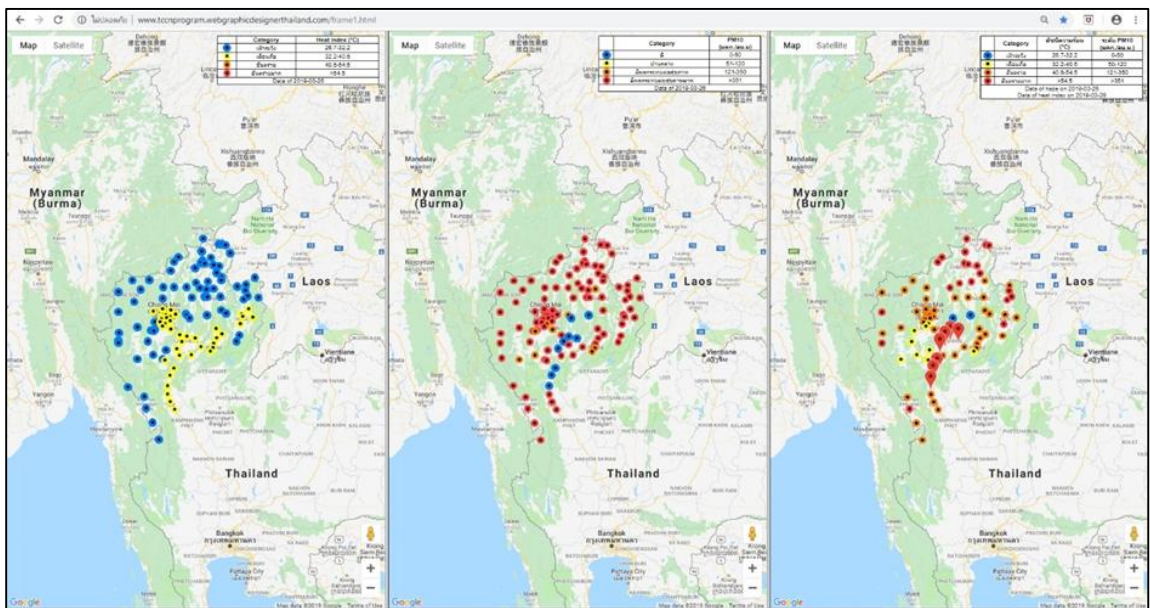
ภาพที่ 4.14 แบนเนอร์สำหรับเข้าถึงระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า

เมื่อผู้ใช้งานเลือก “เข้าสู่ระบบ” จะปรากฏหน้าต่างแสดงผลซึ่งแบ่งออกเป็น 5 รูปแบบ ดังนี้

1. ค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อน แสดงข้อมูลระดับอำเภอ ในพื้นที่ 9 จังหวัด โดยใช้ค่าตามเกณฑ์ระดับผลกระทบต่อสุขภาพจากดัชนีความร้อน ซึ่งผู้ใช้งานระบบสามารถเลือกดูค่าพยากรณ์ 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ล่วงหน้าได้โดยการกดเลือกในแถบเครื่องมือ
2. ค่าพยากรณ์ PM10 แสดงข้อมูลระดับอำเภอ (พิกัดตรงกับค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อน) ในพื้นที่ 9 จังหวัด แสดงผลตามค่าระดับผลกระทบต่อสุขภาพจาก PM10 ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกดูค่าพยากรณ์ 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ล่วงหน้าได้ในแถบเครื่องมือด้านบน
3. ค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนและ PM10 ผูกสองขนาด 10 ไมครอน แสดงข้อมูลในระดับอำเภอ ในพื้นที่ 9 จังหวัด แสดงผลตามระดับผลกระทบต่อสุขภาพจากดัชนีความร้อนร่วมกับค่าระดับผลกระทบต่อสุขภาพจาก PM10 (ระดับผลกระทบรวม) ผู้ใช้งานสามารถเลือกดูค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนและ PM10 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ล่วงหน้าได้ในแถบเครื่องมือ ทั้งนี้ หากค่าใดค่าหนึ่งขาดหายไประบบจะไม่ทำการแสดงผล
4. แสดงทั้งหมด (ภาพที่ 4.15) หน้าจอแสดงผลจะปรับรูปแบบโดยแบ่งออกเป็น 3 ช่อง คือ ช่องซ้ายสุดเป็นแผนที่พยากรณ์ค่าดัชนีความร้อน ช่องกลางแสดงค่าพยากรณ์ PM10 และช่องขวามือแสดงค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนร่วมกับ PM10 และสามารถเลือกดูค่าพยากรณ์แบบแสดงผลทั้งหมดได้

ทั้ง 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ล่วงหน้า ทั้งนี้ เงื่อนไขการแสดงผล คือ หากค่าใดค่าหนึ่งขาดหายไป (ค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนหรือ PM10) ระบบจะไม่แสดงผลในช่องแสดงผลรวม

5. ค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนและ PM10 รายจังหวัด (ล่วงหน้า 1 วัน) ในส่วนนี้เป็นการนำเสนอผลการพยากรณ์ในภาพรวมระดับจังหวัด โดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนและ PM10 จากข้อมูลของแต่ละอำเภอในจังหวัดนั้นๆ ซึ่งรูปแบบการแสดงผลจะแตกต่างกับ 4 รูปแบบข้างต้น โดยจะทำการแสดงผลในตารางซึ่งแบ่งออกเป็น 4 คอลัมน์ ประกอบด้วย จังหวัด ระดับความรุนแรงของดัชนีความร้อน ระดับความรุนแรงของหมอกควัน และระดับความรุนแรงของดัชนีความร้อนร่วมกับหมอกควัน รายละเอียดการแสดงผลจะแสดงเป็นตัวเลขและแผ่นป้ายพยากรณ์ ทั้งนี้ ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดข้อมูลเพื่อดูรายละเอียดต่างๆ ได้



ภาพที่ 4.15 หน้าจอแสดงผลดัชนีความร้อน หมอกควัน และดัชนีความร้อนร่วมกับหมอกควัน

4.3 เกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน

การพัฒนาาระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าสำหรับพื้นที่ภาคเหนือตอนบน นับเป็นการผนวกปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและคุณภาพอากาศเข้าไว้ด้วยกัน โดยขั้นตอนการดำเนินงานที่สำคัญอีกส่วนหนึ่ง คือ การจัดทำเกณฑ์ระดับการเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพ จากความร้อนและหมอกควัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การพัฒนาเกณฑ์ระดับการเตือนภัยต่างๆ จะประยุกต์ใช้ เกณฑ์ที่ถูกกำหนดขึ้นโดยหน่วยงานหลัก เช่น National Weather Service (NWS) ภายใต้ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ซึ่งได้กำหนดค่าระดับผลกระทบต่อสุขภาพจาก ดัชนีความร้อนออกเป็น 4 ระดับ ดังแสดงใน ภาพที่ 4.16 ซึ่งถูกนำมาใช้แจ้งสื่อสารเตือนภัยให้กับ ประชาชนในประเทศต่างๆ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ศรีลังกา และอินเดีย เป็นต้น เกณฑ์ดังกล่าว ยังถูก นำไปใช้ในการศึกษาวิจัยด้านการติดตามตรวจสอบสถานการณ์คลื่นความร้อนของประเทศต่างๆ อีกด้วย ซึ่งประเทศไทยเองนั้น กรมอนามัย ได้พยายามนำเกณฑ์ดังกล่าว มาใช้แจ้งเตือนสภาวะอากาศร้อนจัด ให้แก่ประชาชนและเผยแพร่ความรู้ให้แก่เจ้าหน้าที่สาธารณสุขในระดับท้องถิ่น แต่ภายหลังได้ปรับมาใช้ ค่าอุณหภูมิสูงสุดเพียงค่าเดียว ในขณะที่การกำหนดเกณฑ์ผลกระทบต่อสุขภาพจากหมอกควัน พบว่า หลายๆ ประเทศได้เลือกใช้เกณฑ์ที่ USEPA ได้จัดทำดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ซึ่งมีตัวแปรนำเข้า ประกอบด้วย Ozone, PM2.5, PM10, CO, NO₂ และ SO₂ ในขณะที่ ประเทศสิงคโปร์เลือกใช้ Pollutant Standards Index (PSI) ซึ่งประกอบด้วย ค่า PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง, ค่า PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง, ค่า SO₂ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง, ค่า CO₃ เฉลี่ย 8 ชั่วโมง, ค่า O₃ เฉลี่ย 8 ชั่วโมง และค่า NO₂ เฉลี่ย 1 ชั่วโมง โดยกำหนดค่า PSI เป็น 5 ระดับ และเน้นกลุ่มเป้าหมายสำคัญ คือ นักเรียน กระทรวงศึกษาธิการ ของประเทศสิงคโปร์ กำหนดให้โรงเรียนทุกแห่งต้องเข้าถึงข้อมูลพยากรณ์ค่า PSI ทุกๆ 4 ชั่วโมง และแบ่ง เกณฑ์ออกเป็น 4 ระดับ พร้อมมีข้อกำหนดให้ยึดถือปฏิบัติอย่างเคร่งครัด

Heat stress Index (°C)	Category	Dangers
27-32	Caution	Fatigue possible with prolonged exposure and/or physical activity
32-41	Extreme caution	Sunstroke, heat cramps and heat exhaustion possible with prolonged exposure and/or physical activity
41-54	Danger	Sun stroke, heat cramps or heat exhaustions likely, and heatstroke possible with prolonged exposure and/or physical activity
Above 54	Extreme danger	Heat/sunstroke highly likely with continued exposure

ภาพที่ 4.16 ระดับผลกระทบต่อสุขภาพ

ที่มา: Opitz-Stapleton et al. (2016)

เมื่อพิจารณาในรายละเอียดของการกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไปตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้กำหนดให้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา 24 ชั่วโมงของ PM10 และค่า AQI ซึ่งหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย กรมอนามัย กรมควบคุมโรค และควบคุมมลพิษ ได้ร่วมกันกำหนดเกณฑ์และผลกระทบต่อสุขภาพการป้องกันอันตรายจากมลพิษหมอกควันและการเผาในที่โล่ง คำแนะนำในการดูแลป้องกันสุขภาพสำหรับประชาชน กรณีหมอกควันและแนวทางปฏิบัติสำหรับเจ้าหน้าที่หน่วยงานสาธารณสุข ได้แก่ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด สำนักงานสาธารณสุขอำเภอ และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ดังแสดงในภาพที่ 4.17

การป้องกันอันตรายจากมลพิษหมอกควันและการเผาในที่โล่ง			
คำแนะนำในการดูแลป้องกันสุขภาพสำหรับประชาชน กรณีหมอกควัน และแนวทางปฏิบัติสำหรับเจ้าหน้าที่หน่วยงานสาธารณสุข (สสจ. สสอ รพ.สต.) ร่วมกันจัดทำโดย กรมอนามัย กรมควบคุมโรค และกรมควบคุมมลพิษ			
ระดับ PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มคก./ลบ.ม)	ค่าดัชนี คุณภาพอากาศ (AQI) ระดับคุณภาพอากาศ	ระดับ คุณภาพอากาศ	ผลกระทบต่อสุขภาพ
0 - 50	0 - 50	ดี (Good)	ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
51 - 120	51 - 100	ปานกลาง (moderate)	มีความเสี่ยงต่อสุขภาพประชาชนกลุ่มเสี่ยง เช่น ผู้ป่วยด้วยโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น
121 - 350	100 - 200	มีผลกระทบต่อสุขภาพ (Unhealthy)	มีความเสี่ยงต่อสุขภาพประชาชนกลุ่มเสี่ยง
351 - 420	201 - 300	มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก (Very Unhealthy)	มีผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนกลุ่มเสี่ยง และมีความเสี่ยงต่อสุขภาพประชาชนทั่วไป
> 420	> 300	อันตราย (Hazardous)	มีผลกระทบต่อสุขภาพ ทั้งประชาชนกลุ่มเสี่ยง และประชาชนทั่วไป

ภาพที่ 4.17 การป้องกันอันตรายจากมลพิษหมอกควันและการเผาในที่โล่ง

ที่มา : กรมอนามัย (2559)

จากการทบทวนเอกสาร ข้อมูล เกณฑ์ระดับผลกระทบต่อสุขภาพและระดับการเตือนภัยของดัชนีความร้อนและ PM10 เพิ่มเติมทั้งในประเทศและต่างประเทศแล้ว คณะวิจัยได้จัดประชุมรับฟังข้อเสนอแนะต่อการพัฒนาเกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน เมื่อวันที่ 8 มิถุนายน 2561 ณ โรงแรมอมารี ดอนเมือง กรุงเทพมหานคร (ภาพที่ 4.18) โดยได้เชิญคณะ

ผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สาธารณสุขศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มลพิษอากาศและการจัดการสิ่งแวดล้อม เข้าร่วมประชุมทั้งสิ้น 18 ท่าน 12 หน่วยงาน และคณะนักวิจัยจากศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม จำนวน 7 ราย ซึ่งมีรายชื่อดังต่อไปนี้

- | | |
|----------------------------------|--|
| (1) ดร.ฤทธิรงค์ จังโกฏี | คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น |
| (2) ดร.พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ | มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ |
| (3) ดร.ศักดิ์ดา คุ่มหรั่ง | คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล |
| (4) ผศ.ดร.ธันวดี สุขสาโรจน์ | สถาบันพัฒนาสุขภาพอาเซียน มหาวิทยาลัยมหิดล |
| (5) ดร.แสงโสม ศิริพานิช | สำนักระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค |
| (6) ดร.เสาวนีย์ หน่อแก้ว | คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| (7) ดร.เอกลักษณ์ ณีถฤทธิ | วิทยาลัยการบริหารรัฐกิจ มหาวิทยาลัยบูรพา |
| (8) ดร.วีระวัฒน์ อุ๋นเสน่หา | มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ |
| (9) ดร.ชนิษฐา ภมรพล | มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ |
| (10) นายจรรุญ เลาทเลิศชัย | กรมอุตุนิยมวิทยา |
| (11) ดร.ทิวากรณ์ ราชูธร | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา |
| (12) ดร.วัชรพงษ์ น้อยหมื่นไวย์ | นักวิชาการอิสระ |
| (13) นางสาวกรวิภา ปุณณศิริ | กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรมอนามัย |
| (14) นางสาวณัฐกานต์ ฉัตรวิไล | กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรมอนามัย |
| (15) นางสาวกาญจนา แสงพระพาย | สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร |
| (16) คุณกนกศรี ศรีนินภากร | สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร |
| (17) คุณนาบุญ ฤทธิ์รักษ์ | กรมควบคุมมลพิษ |
| (18) นายเสกสรรค แสงดาว | กรมควบคุมมลพิษ |
| (19) ดร.อัศมน ลิมสกุล | กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม |
| (20) ดร.ศิริพงศ์ สุขทวี | กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม |
| (21) นายอ่อนจันทร์ โคตรพงษ์ | กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม |
| (22) นายวุฒิชัย แพงแก้ว | กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม |
| (23) นายอดุลย์เดช ปัดภัย | กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม |
| (24) นางสาวนิดาลักษณ์ อรุณจันทร์ | กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม |
| (25) นางสาวจิราภรณ์ นันทะจันทร์ | กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม |



ภาพที่ 4.18 การประชุมรับฟังข้อเสนอแนะต่อการพัฒนาเกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพ

ผลการประชุมและรับฟังข้อเสนอแนะในประเด็นด้านการพัฒนาเกณฑ์ระดับการเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน พบว่า ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่ได้จัดทำเกณฑ์การเตือนภัยผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนที่เป็นมาตรฐานสำหรับประกาศใช้งาน การดำเนินงานที่ผ่านมา เป็นการประยุกต์ใช้เกณฑ์ที่หน่วยงานอื่นๆ ได้พัฒนาขึ้น ดังนั้น เกณฑ์ระดับผลกระทบต่อสุขภาพจากดัชนีความร้อนจึงควรใช้งานตามที่ NWS ได้จัดทำไว้แล้ว เนื่องจากหากมีการเปลี่ยนแปลงค่าหรือระดับผลกระทบต่อสุขภาพอาจเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนทั้งในส่วนของประชาชนและเจ้าหน้าที่ รวมทั้งการปรับค่าระดับผลกระทบจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมให้ครอบคลุมทุกประเด็นที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ ข้อเสนอแนะต่อการพัฒนาเกณฑ์การเตือนภัยผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อน ควรใช้ข้อมูลอัตราการเจ็บป่วยหรือการตายของประชากร ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมในระยะยาว 10-20 ปี ย้อนหลังที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน และทำการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ หรือตัวแปรอื่นๆ ในช่วงเวลานั้น เพื่อพิจารณาว่าอัตราการตายว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง และพิจารณาอัตราการตายว่าอยู่ในช่วงใด แต่อย่างไรก็ตาม ประเด็นที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ คือ การวินิจฉัยโรคและการรายงานการเจ็บป่วยและการตายจะต้องพัฒนาการจัดเก็บข้อมูลให้มีความชัดเจนและเป็นมาตรฐานมากขึ้น นอกจากนี้ ระบบฐานข้อมูลและการจัดเก็บข้อมูลที่นำมาใช้งาน ควรมีความสามารถตรวจสอบได้ ในขณะที่เกณฑ์ผลกระทบต่อสุขภาพจากหมอกควัน ควรใช้ตามค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไปตามประกาศคณะกรรมการ

สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้กำหนดให้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา 24 ชั่วโมงของ PM10 ทั้งนี้ ประเด็นที่น่าสนใจ คือ การเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตของประชาชนในระยะสั้นนั้น มีสาเหตุมาจากกลุ่มก๊าซต่างๆ เช่น ไนโตรเจน โอโซน เป็นต้น ซึ่งหากจะใช้ดัชนีความร้อนเตือนภัย อาจจำเป็นต้องหาความสัมพันธ์กับก๊าซมากกว่าปริมาณฝุ่น และเกณฑ์บริหารจัดการปัญหาความร้อนและหมอกควันกับเกณฑ์การสื่อสารต้องแยกกันให้ชัดเจนแต่ต้องไปในทิศทางเดียวกัน ในส่วนของการสื่อสารเตือนภัย ควรกำหนดให้ชัดเจนว่าจะสื่อสารในระดับไหน เช่น สื่อสารระดับนโยบายหรือระดับท้องถิ่น หากพิจารณาในแง่ของการบริหารจัดการก็ต้องทำให้เหมาะสมทั้งช่วงเวลา จำนวนครั้งที่เตือนภัย และต้องมีแนวทาง อุปกรณ์หรือวิธีการป้องกันที่พร้อมใช้งานในช่วงที่เกิดเหตุการณ์ มีการประสานงานกับหน่วยงานภาครัฐหรือหน่วยงานที่รับผิดชอบในการให้ความรู้ความเข้าใจและแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมแก่ประชาชน รวมทั้งการพยากรณ์ต่างๆ ต้องมีความแม่นยำเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับประชาชน รวมทั้งต้องมีวิธีการสื่อสารที่ประชาชนสามารถเข้าถึงได้อย่างสะดวก หากมองในระยะยาวอาจมีความจำเป็นต้องผลักดันเรื่องนี้ไปสู่ระบบการศึกษาเพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้ มีความเข้าใจ ตระหนักและพร้อมรับมือกับปัญหาดังกล่าวได้ในอนาคต

จากการประชุมรับฟังข้อเสนอแนะต่อการพัฒนาเกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควัน คณะผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์ผลการประชุม ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญสาขาต่างๆ และได้จัดทำเกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพ โดยอ้างอิงเกณฑ์ที่หน่วยงานภาครัฐ เช่น กรมอนามัย กรมควบคุมโรค และกรมควบคุมมลพิษ ที่ได้ยึดถือปฏิบัติและเผยแพร่สื่อสารข้อมูลแก่ประชาชนไว้แล้ว ทั้งนี้ เพื่อป้องกันปัญหาด้านความซ้ำซ้อนของข้อมูลรวมถึงความสับสนของประชาชนตามข้อแนะนำที่ผู้เชี่ยวชาญ เกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพดังแสดงในภาพที่ 4.19 ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ระดับ (เฝ้าระวัง เตือนภัย อันตราย และอันตรายมาก) โดยค่าเฉลี่ย PM10 ที่ > 420 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรได้ถูกตัดออกไปเนื่องจากคณะผู้วิจัย เห็นว่า หากเป็นช่วงที่ดัชนีความร้อนมีค่าสูงและปริมาณ PM10 สูงอาจส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บรุนแรงหรือเสียชีวิตได้ สำหรับภาพที่ 4.20 ได้แสดงเกณฑ์การเตือนภัยและผลกระทบต่อสุขภาพจากดัชนีความร้อนและหมอกควันที่พัฒนาขึ้นนี้จะถูกนำไปตั้งค่าสำหรับแสดงผลผ่านแผนที่ Google Map จำนวนทั้งสิ้น 112 อำเภอใน 9 จังหวัดภาคเหนือตอนบน



ภาพที่ 4.19 ระดับค่าดัชนีความร้อน ปริมาณ PM10 ระดับความเสี่ยงและผลกระทบต่อสุขภาพ

ดัชนีความร้อน/ PM10		มคก./ลบ.ม.			
		0 - 50	50 - 120	121 - 350	> 351
องศาเซลเซียส	26.7 - 32.2	1	2	3	4
	32.2 - 40.6	2	2	3	4
	40.6 - 54.5	3	3	3	4
	> 54.5	4	4	4	4

ภาพที่ 4.20 เกณฑ์การเตือนภัยของระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า

4.4 การทวนสอบความแม่นยำของค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควัน

การทดสอบความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนและ PM10 จากระบบเตือนภัยฯ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

4.4.1 การทวนสอบข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนล่วงหน้า 1 วัน และ 3 วัน โดยคำนวณด้วยค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ได้จาก www.apixu.com กับค่าตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ถูกคำนวณด้วยสมการดัชนีความร้อน (บทที่ 3 หัวข้อที่ 3.5) ที่ได้จากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 9 สถานี (สถานีตรวจวัดดังแสดงในบทที่ 3) โดยเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ถึง 30

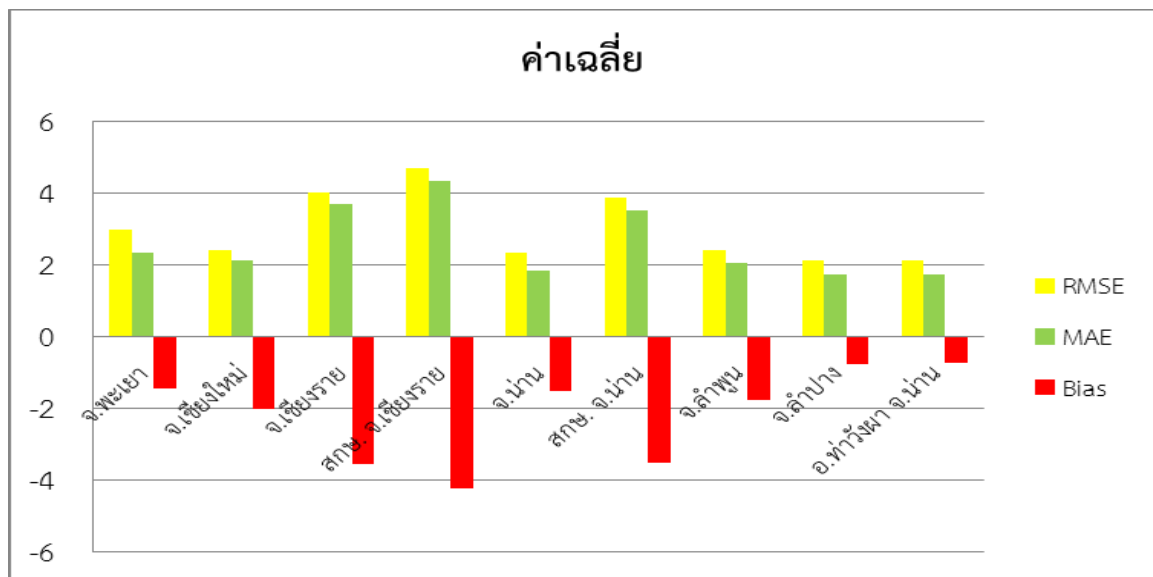
เมษายน พ.ศ.2562 ซึ่งสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์หรืออธิบายไว้ในบทที่ 3 ผลการทวนสอบข้อมูลดัชนีความร้อนล่วงหน้า 1 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของ RMSE มีค่าอยู่ในช่วง 1.93 - 4.38 ค่าเฉลี่ย MAE มีค่าอยู่ในช่วง 1.59 - 4.01 และค่าเฉลี่ยของ Bias มีค่าอยู่ในช่วง (-3.95) – (-0.37) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.21) ส่วนผลการทวนสอบดัชนีความร้อนล่วงหน้า 3 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของ RMSE มีค่าอยู่ในช่วง 2.12 – 4.70 ค่าเฉลี่ยของ MAE มีค่าอยู่ในช่วง 1.72 -4.35 และค่าเฉลี่ยของ Bias มีค่าอยู่ในช่วง (-4.24) – (-0.37) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.22)

ตารางที่ 4.2 ผลการทวนสอบข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนล่วงหน้า 1 วัน กับค่าดัชนีความร้อนที่คำนวณจากอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตรวจวัดจากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา

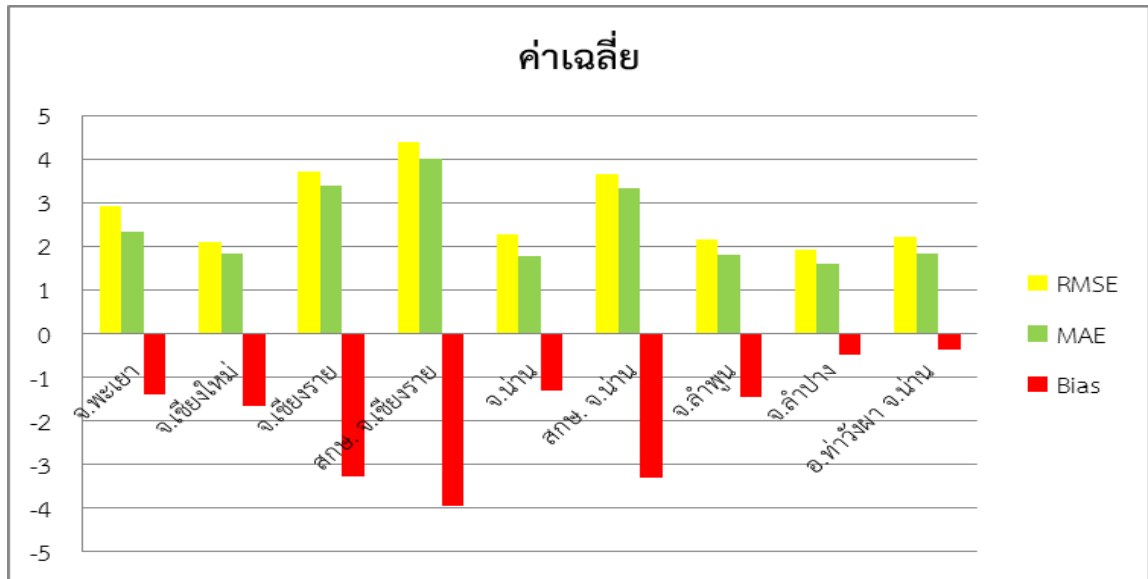
สถานี	RMSE	MAE	Bias
จังหวัดพะเยา	2.91	2.33	-1.39
จังหวัดเชียงใหม่	2.11	1.85	-1.66
จังหวัดเชียงราย	3.72	3.38	-3.26
สถานีตรวจอากาศเกษตร จังหวัดเชียงราย	4.38	4.01	-3.95
จังหวัดน่าน	2.29	1.79	-1.30
สถานีตรวจอากาศเกษตร จังหวัดน่าน	3.67	3.33	-3.31
จังหวัดลำพูน	2.15	1.80	-1.44
จังหวัดลำปาง	1.93	1.59	-0.48
อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน	2.22	1.83	-0.37
ค่าต่ำสุด	1.93	1.59	-3.95
ค่าสูงสุด	4.38	4.01	-0.37

ตารางที่ 4.3 ผลการทวนสอบข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อน ล่วงหน้า 3 วัน กับค่าดัชนีความร้อนที่คำนวณจากอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตรวจวัดจากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา

สถานี	RMSE	MAE	Bias
จังหวัดพะเยา	2.98	2.33	-1.45
จังหวัดเชียงใหม่	2.43	2.13	-2.01
จังหวัดเชียงราย	4.02	3.70	-3.56
สถานีตรวจอากาศเกษตร จังหวัดเชียงราย	4.70	4.35	-4.24
จังหวัดน่าน	2.35	1.83	-1.52
สถานีตรวจอากาศเกษตร จังหวัดน่าน	3.87	3.53	-3.53
จังหวัดลำพูน	2.43	2.06	-1.77
จังหวัดลำปาง	2.12	1.72	-0.76
อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน	2.14	1.72	-0.73
ค่าต่ำสุด	2.12	1.72	-4.24
ค่าสูงสุด	4.70	4.35	-0.37



ภาพที่ 4.21 แสดงค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 1 วัน จากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา



ภาพที่ 4.22 แสดงค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 3 วัน จากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา

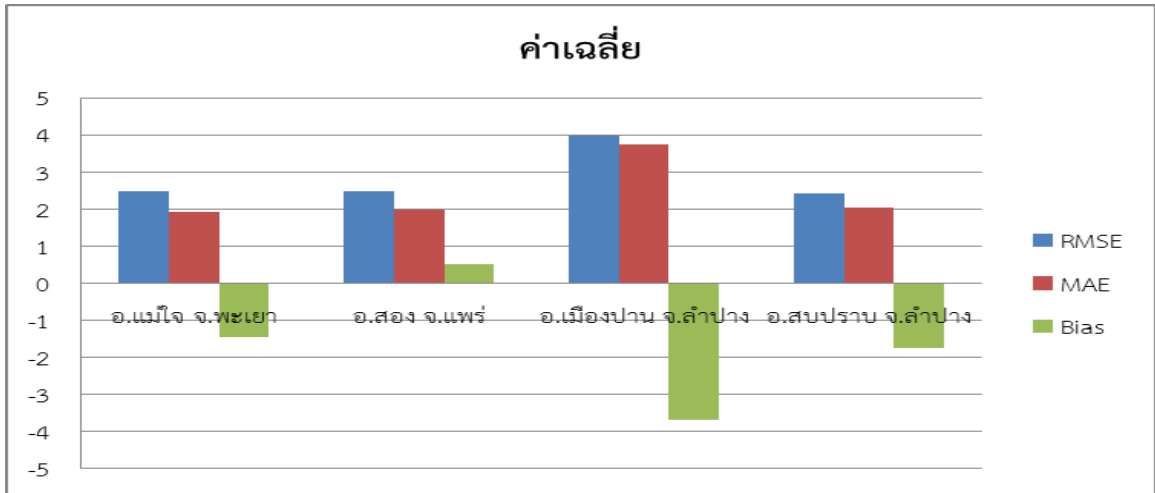
4.4.2 การทวนสอบข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อน ล่วงหน้า 1 วัน และ 3 วัน โดยคำนวณด้วยค่า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ที่ได้จาก www.apixu.com กับค่าดัชนีความร้อนที่คำนวณด้วยสมการดัชนี ความร้อนที่ได้จากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (RC-4HC) ในพื้นที่ จำนวน 4 สถานี (สถานีตรวจวัดดังแสดงในบทที่ 3) โดยเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน พ.ศ. 2562 ซึ่งสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ อธิบายไว้ในบทที่ 3 ผลการทวนสอบข้อมูลดัชนีความร้อนล่วงหน้า 1 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของ RMSE มีค่าอยู่ในช่วง 2.42 - 3.98 ค่าเฉลี่ยของ MAE มีค่าอยู่ในช่วง 1.92 - 3.74 และ ค่าเฉลี่ย Bias มีค่าอยู่ในช่วง (-3.69) - (0.52) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.23) ส่วนผลการ ทวนสอบดัชนีความร้อนล่วงหน้า 3 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของ RMSE มีค่าอยู่ในช่วง 2.46 - 4.32 ค่าเฉลี่ยของ MAE มีค่าอยู่ในช่วง 1.92 - 4.02 และค่าเฉลี่ยของ Bias มีค่าอยู่ในช่วง (-3.99) - (0.11) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.24)

ตารางที่ 4.4 ผลการทวนสอบข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อน ล่วงหน้า 1 วัน กับค่าดัชนีความร้อนที่คำนวณจากอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์จากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (RC-4HC) ในพื้นที่

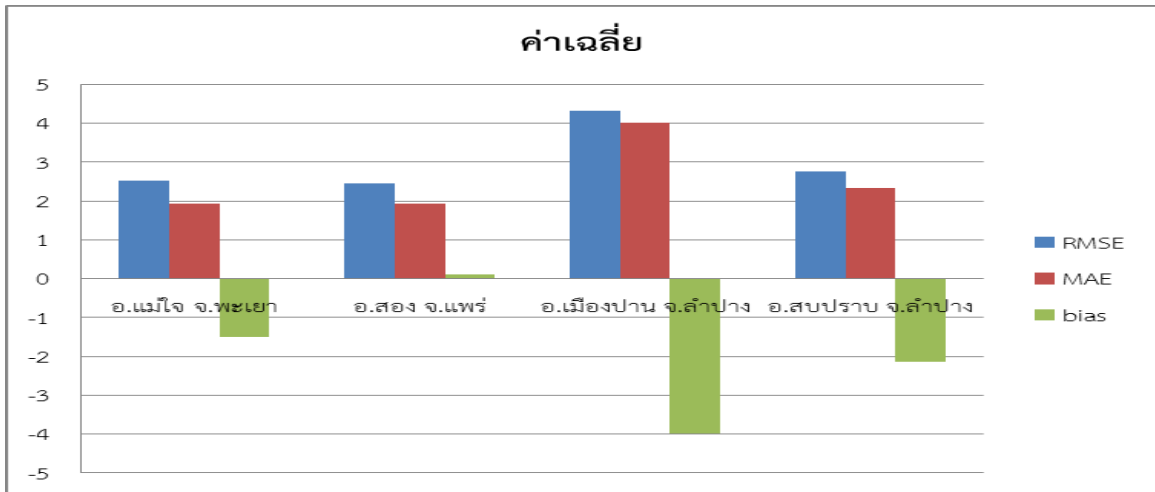
สถานี	RMSE	MAE	bias
อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา	2.47	1.92	-1.46
อำเภอสอง จังหวัดแพร่	2.49	1.99	0.52
อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง	3.98	3.74	-3.69
อำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง	2.42	2.05	-1.74
ค่าต่ำสุด	2.42	1.92	-3.69
ค่าสูงสุด	3.98	3.47	0.52

ตารางที่ 4.5 ผลการทวนสอบข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อน ล่วงหน้า 3 วัน กับค่าดัชนีความร้อนที่คำนวณจากอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์จากเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (RC-4HC) ในพื้นที่

สถานี	RMSE	MAE	bias
อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา	2.53	1.94	-1.51
อำเภอสอง จังหวัดแพร่	2.46	1.92	0.11
อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง	4.32	4.02	-3.99
อำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง	2.75	2.33	-2.13
ค่าต่ำสุด	2.46	1.92	-3.99
ค่าสูงสุด	4.32	4.02	0.11



ภาพที่ 4.23 แสดงค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 1 วัน จาก เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 4.24 แสดงค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 3 วัน จาก เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

4.4.3 การทวนสอบข้อมูลพยากรณ์ PM10 ล่วงหน้า 1 วัน และ 3 วัน จากแบบจำลอง WRF-Chem กับข้อมูล PM10 ที่ตรวจวัดจากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ จำนวน 6 สถานี (สถานีตรวจวัดดังแสดงในบทที่ 3) โดยเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน พ.ศ.2562 ซึ่งสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ อธิบายไว้ในบทที่ 3 ผลการทวนสอบข้อมูล PM10 ล่วงหน้า 1 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของ RMSE มีค่าอยู่ในช่วง 140.67 – 1,848.40 ค่าเฉลี่ยของ MAE มีค่าอยู่ในช่วง 96.58 - 1278.63 และค่าเฉลี่ย

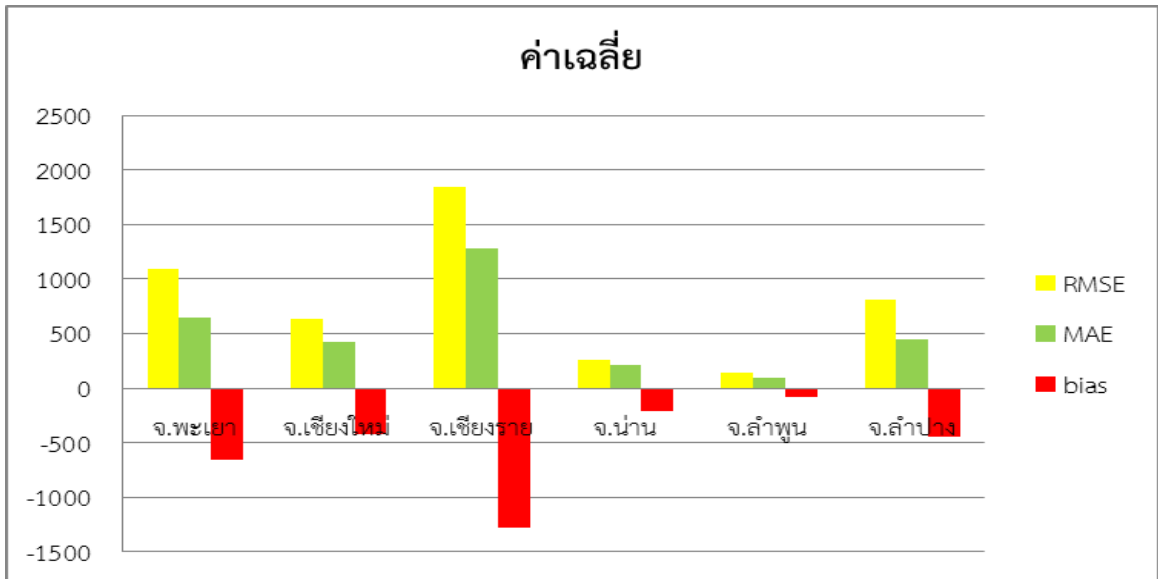
Bias มีค่าอยู่ในช่วง (-1,278.63) – (-85.70) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.25) ส่วนผลการทวนสอบข้อมูล PM10 ล่วงหน้า 3 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของ RMSE มีค่าอยู่ในช่วง 160.58 – 1341.48 ค่าเฉลี่ยของ MAE มีค่าอยู่ในช่วง 113.51 - 998.81 และค่าเฉลี่ยของ Bias มีค่าอยู่ในช่วง (-992.26) – (-107.37) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.26)

ตารางที่ 4.6 ผลการทวนสอบข้อมูลพยากรณ์ PM10 ล่วงหน้า 1 วัน กับข้อมูล PM10 ที่ตรวจวัดจากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ

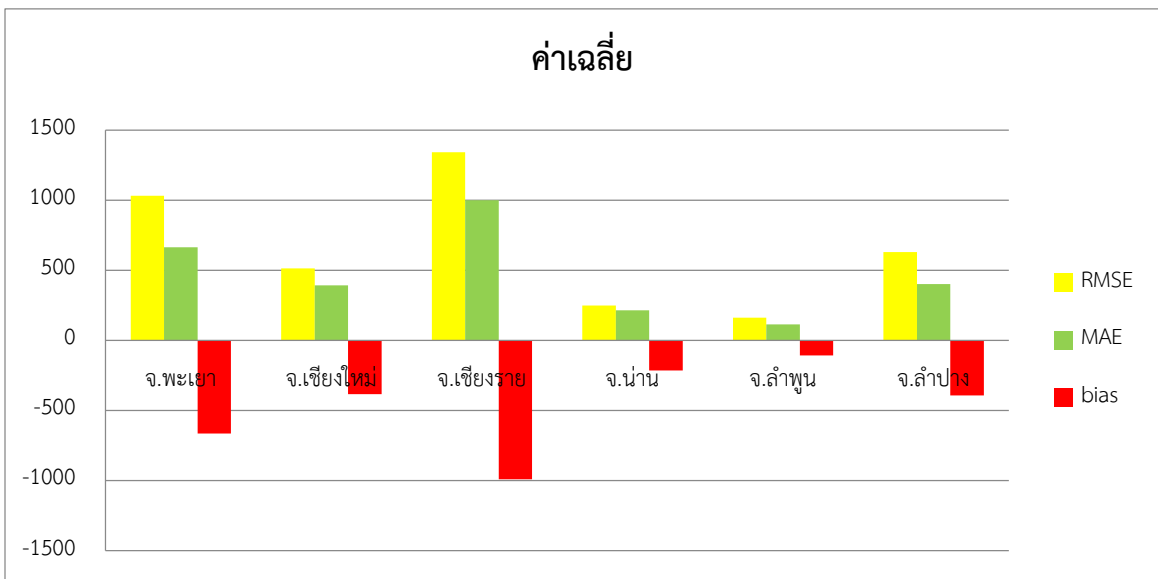
สถานี	RMSE	MAE	bias
จังหวัดพะเยา	1098.06	651.31	-651.31
จังหวัดเชียงใหม่	637.75	423.28	-423.28
จังหวัดเชียงราย	1848.40	1278.63	-1278.63
จังหวัดน่าน	260.88	208.12	-208.12
จังหวัดลำพูน	140.67	96.58	-85.70
จังหวัดลำปาง	809.31	453.58	-444.02
ค่าต่ำสุด	140.67	96.58	-1278.63
ค่าสูงสุด	1848.40	1278.63	-85.70

ตารางที่ 4.7 ผลการทวนสอบข้อมูลพยากรณ์ PM10 ล่วงหน้า 3 วัน กับข้อมูล PM10 ที่ตรวจวัดจากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ

สถานี	RMSE	MAE	bias
จังหวัดพะเยา	1031.98	664.23	-664.23
จังหวัดเชียงใหม่	513.79	392.83	-384.27
จังหวัดเชียงราย	1341.48	998.81	-992.26
จังหวัดน่าน	247.84	214.71	-214.71
จังหวัดลำพูน	160.58	113.51	-107.37
จังหวัดลำปาง	629.55	400.65	-392.92
ค่าต่ำสุด	160.58	113.51	-992.26
ค่าสูงสุด	1341.48	998.81	-107.37



ภาพที่ 4.25 แสดงค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 1 วัน จากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ



ภาพที่ 4.26 แสดงค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 3 วัน จากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ

การวิเคราะห์ความแม่นยำของค่าพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ พบว่า ค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อน มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ในทางตรงกันข้ามข้อมูลพยากรณ์ความเข้มข้นของ PM10 อยู่ในช่วงที่ไม่สามารถยอมรับได้ มีความคลาดเคลื่อนสูงและนำมาใช้ในการสื่อสารเตือนภัยในระดับพื้นที่ไม่ได้ ดังนั้น ผลการพยากรณ์ PM10 ด้วยแบบจำลอง WRF-Chem จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน ทั้งนี้ อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากแบบจำลอง WRF-Chem มีความละเอียดไม่เพียงพอในการจำลองลักษณะภูมิประเทศและลักษณะภูมิอากาศในภาคเหนือที่มีลักษณะค่อนข้างซับซ้อน ประกอบกับข้อมูลเบื้องต้น (initial data) ที่นำเข้าไปใช้รันแบบจำลองเป็นฐานข้อมูลระดับประเทศและภูมิภาค อาจมีความละเอียดและความถูกต้องไม่เพียงพอ ดังนั้น เทคนิคทางสถิติในการพยากรณ์ความเข้มข้นของ PM10 บนพื้นฐานของข้อมูลตรวจวัดคุณภาพอากาศของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาจเป็นทางเลือกที่สามารถนำผลการพยากรณ์ไปใช้ในการสื่อสารให้ประชาชนในพื้นที่ได้

4.5 การใช้งานระบบเตือนภัยในพื้นที่นาร่อง (อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา)

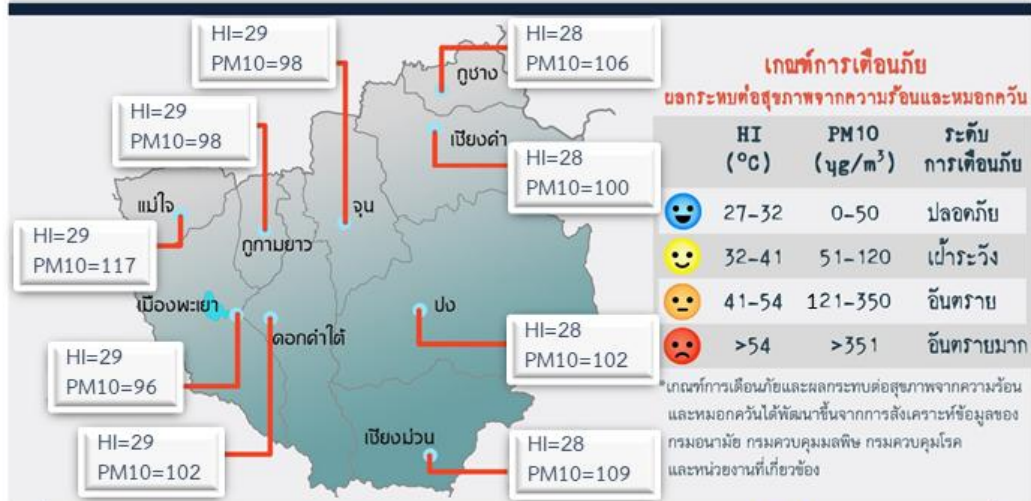
4.5.1 การพัฒนารูปแบบและวิธีการสื่อสารข้อมูลการเตือนภัยความร้อนและ PM10

การออกแบบจัดทำวิธีการและเนื้อหาการสื่อสารข้อมูลข่าวสารเตือนภัยในระดับชุมชน เพื่อให้เกิดความเหมาะสมของช่องทางการสื่อสารข้อมูลของระบบเตือนภัยความร้อนและ PM10 ในการเข้าถึงประชาชนได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ช่องทางการสื่อสารข้อมูลในระดับพื้นที่จึงถูกกำหนดออกเป็น 4 รูปแบบ ประกอบด้วย (1) โปสเตอร์ infographic รายงานสถานการณ์ความร้อนและและ PM10 ล่วงหน้า (2) แผ่นป้ายพยากรณ์สถานการณ์ความร้อนและ PM10 (3) บทความเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารผ่านหอกระจายเสียง/วิทยุชุมชน และ (4) แผ่นพับให้ความรู้ ความตระหนักและการปฏิบัติตัวที่เกี่ยวกับความร้อนและ PM10 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.5.1.1 โปสเตอร์ infographic รายงานสถานการณ์ความร้อนและ PM10 ล่วงหน้า การออกแบบโปสเตอร์ infographic รายงานสถานการณ์ความร้อนและ PM10 ล่วงหน้า มีส่วนประกอบคือ (1) หัวข้อเลือกใช้โทนภาพพื้นหลังด้วยสีน้ำเงินซึ่งเป็นสีที่ถูกจัดอยู่ในวรรณะเย็น และเน้นจุดแห่งความสนใจด้วยตัวอักษรสีแดงซึ่งเป็นลักษณะการใช้สีที่แตกต่างเพื่อให้ตัดกัน (2) ขอบเขตเชิงพื้นที่ที่ใช้โทนสีเทาอ่อนเป็นภาพพื้นหลัง เนื่องจากต้องการสื่อสารถึงสถานการณ์ผู้ละอองในพื้นที่ซึ่งมีลักษณะเป็นเขตสีเทา แบ่งขอบเขตพื้นที่ออกตามรูปแบบการปกครองในระดับอำเภอ ครอบคลุมพื้นที่ 9 อำเภอ ในจังหวัดพะเยา ใช้สัญลักษณ์วงกลมสีฟ้าระบุจุดตรวจวัดตามพิภคทางภูมิศาสตร์ เลือกใช้เส้นสีแดงเป็นเส้นนำสายตาเพื่อสร้างความน่าสนใจและให้บริการข้อมูลพยากรณ์ความร้อนและ PM10 ล่วงหน้าด้วยคำย่อภาษาอังกฤษและ

ตัวเลขแบบอารบิก (3) ระดับผลกระทบต่อสุขภาพ เป็นการออกแบบให้ดูเรียบง่ายโดยใช้โทนสีเทาอ่อน เพื่อให้มีความสอดคล้องเป็นโทนสีเดียวกันทั้งหมด ในส่วนนี้ได้แฝงความหมายเชิงสัญลักษณ์ผ่านการแสดงความรู้สึกทางหน้าตาของโมเดล แบ่งระดับออกเป็น 4 สี ทั้งนี้ ได้แบ่งช่วงชั้นตามระดับความรุนแรงเพื่อสะท้อนถึงปัญหาความร้อนและ PM10 ของพื้นที่นั้น ซึ่งโปสเตอร์ infographic เป็นการออกแบบที่ทำให้กลุ่มเป้าหมายมีความรู้สึกสนใจเพิ่มมากขึ้นและอยากทราบรายละเอียดเพิ่มเติมเมื่อได้สัมผัสกับสัญลักษณ์ การสื่อสาร (4) ค่าพยากรณ์ความร้อนและ PM10 ล่วงหน้า นับเป็นส่วนสำคัญของการออกแบบโปสเตอร์ infographic รายงานสถานการณ์ความร้อนและ PM10 ล่วงหน้า เพราะมีวัตถุประสงค์เพื่อสื่อสารข้อมูลให้ถึงเจ้าหน้าที่ในสำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่ใจ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการดำเนินงานในส่วนของแผนปฏิบัติการสถานการณ์ความร้อนและ PM10 โดยที่เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบในสำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่ใจ จะนำค่าที่ได้ไปปรับตั้งค่าในแผนปฏิบัติการสถานการณ์ความร้อนและ PM10 สำหรับสื่อสารข้อมูลสู่ประชาชนในวันถัดไป สำหรับค่าพยากรณ์ความร้อนและ PM10 ล่วงหน้าจะแสดงให้เห็นวันที่เดือนและปีทำการพยากรณ์ และ (5) คำแนะนำในการปฏิบัติตัวเมื่ออยู่ในสถานการณ์ความร้อนและ PM10 โดยเนื้อหาใจความสาระสำคัญที่เป็น key point สำคัญและเหมาะสมกับการสื่อสารในระดับชุมชนมี 5 ข้อ ทั้งนี้ ภาพรวมของโปสเตอร์ infographic รายงานสถานการณ์ความร้อนและ PM10 ล่วงหน้าซึ่งมีองค์ประกอบครบทั้ง 5 ส่วน แสดงในภาพที่ 4.27

สถานการณ์ความร้อน (Heat Index) และหมอกควัน (PM10)



พยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควันวันที่...27...เดือน...กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562

อ.แม่ใจ จ.พะเยา

ดัชนีความร้อน = 29 °C

PM 10 = 117 µg/m³



ฝ้าระวัง

คำแนะนำในการปฏิบัติตัวในช่วงที่เกิดสถานการณ์ความร้อนและหมอกควัน



ประชาชนทั่วไป กลุ่มเสี่ยง (เด็ก หญิงมีครรภ์ ผู้สูงอายุ และผู้มีโรคประจำตัว)

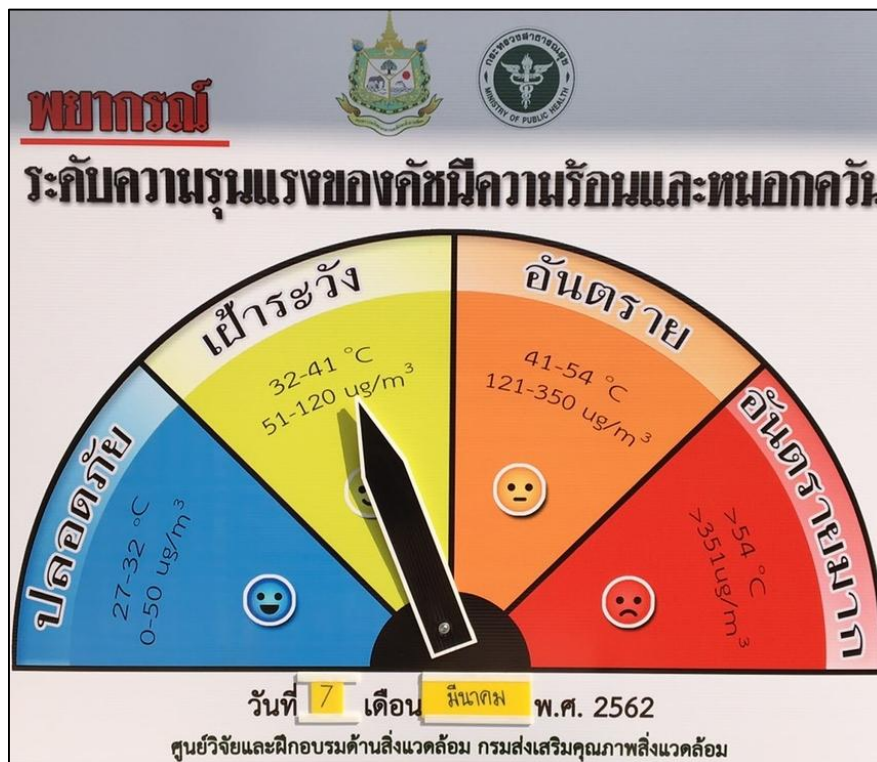


1. ดื่มน้ำสะอาดบ่อยๆ หลีกเลี่ยงการอยู่กลางแจ้ง เวลา 10.00-15.00 น.
2. สังเกตสีปัสสาวะ สีเหลืองเข้ม = เสียเหงื่อ/น้ำมาก ต้องดื่มน้ำ/เกลือแร่
3. หลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้ง และใส่หน้ากากป้องกันฝุ่นละออง
4. ผู้มีโรคประจำตัว เตรียมยา/อุปกรณ์ หากมีอาการผิดปกติรีบไปพบแพทย์
5. มีหมายเลขโทรศัพท์สถานพยาบาลในพื้นที่ หรือโทรสายด่วน 1669



ภาพที่ 4.27 โปสเตอร์ infographic รายงานสถานการณ์ความร้อนและ PM10 ล่างหน้า

4.5.1.2 แผ่นป้ายพยากรณ์สถานการณ์ความร้อนและ PM10 โดยออกแบบให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจของกลุ่มเป้าหมายโดยใช้เฉดสีแสดงแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ สีฟ้า หมายถึง ปลอดภัย มีค่าดัชนีความร้อน 27-32 องศาเซลเซียส และค่า PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง 0-50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สีเหลือง หมายถึง ฝ้าระว้าง มีค่าดัชนีความร้อน 32-41 องศาเซลเซียส และค่า PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง 51-120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สีส้ม หมายถึง อันตราย มีค่าดัชนีความร้อน 41-54 องศาเซลเซียส และค่า PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง 121-350 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และสีแดง หมายถึง อันตรายมาก มีค่าดัชนีความร้อนมากกว่า 54 องศาเซลเซียส และค่า PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง มากกว่า 351 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พร้อมใส่สัญลักษณ์ ประกอบลงไปทั้ง 4 ระดับ ซึ่งแผ่นป้ายพยากรณ์สถานการณ์ความร้อนและ PM10 สามารถปรับเปลี่ยนวันที่เดือนและปีได้ อีกทั้งยังมีเข็มที่สามารถปรับค่าตามระดับได้ (ภาพที่ 4.28) ทั้งนี้ เจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในอำเภอแม่ใจ จะทำการปรับหมุนเข็มให้ตรงตามระดับ ซึ่งได้รับโปสเตอร์ infographic รายงานสถานการณ์ความร้อนและ PM10 ล่วงหน้าจากศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 4.28 แผ่นป้ายพยากรณ์สถานการณ์ความร้อนและ PM10

4.5.1.3 บทความเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารผ่านหอกระจายเสียงและวิทยุชุมชน โดยการเผยแพร่และสื่อสารข้อมูลผ่านหอกระจายเสียงหรือวิทยุชุมชนเป็นช่องทางที่สามารถสื่อสารข้อมูลได้ถึงประชาชนมากที่สุด ทั้งนี้ เนื่องจากวิทยุกระจายเสียงสามารถเสนอข่าวได้รวดเร็ว เสนอข่าวได้บ่อยครั้ง ได้รับความสนใจ ขณะฟังประกาศวิทยุสามารถทำกิจกรรมอย่างอื่นไปด้วยได้ รวมทั้งสามารถรับฟังได้ทุกเพศทุกวัย ซึ่งโดยหลักปกติทั่วไปแล้วการเขียนบทความเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารผ่านหอกระจายเสียงและวิทยุชุมชน มีแนวการเขียนอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นบรรณานุกรมและส่วนที่เป็นเนื้อหาข่าว สำหรับส่วนที่เป็นการบอกระยะสำคัญของบทความ นอกจากนั้น ยังทำหน้าที่เสมือนหัวข้อข่าวเพื่อโปรยบทความประกาศว่ามีอะไร น่าสนใจ ส่วนเนื้อหานั้น เป็นการขยายรายละเอียดของบทความไม่เกิน 1-2 นาที ซึ่งหลักการเขียนบทความเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารผ่านหอกระจายเสียงและวิทยุชุมชน ใช้หลักการตอบคำถามให้ครบ 5W และ 1H คือ ใคร (Who) ทำอะไร (What) ที่ไหน (Where) เมื่อใด (When) ทำไม (Why) และอย่างไร (How) ดังนั้น ผู้วิจัย จึงได้ดำเนินการพัฒนาบทความเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารผ่านหอกระจายเสียงและวิทยุชุมชนออกมาเป็น 4 ระดับ โดยใช้เกณฑ์แสดงระดับผลกระทบต่อสุขภาพ ดังนี้ สีฟ้า ระดับปลอดภัย สีเหลือง ระดับ เฝ้าระวัง สีส้ม ระดับ อันตราย และสีแดง ระดับ อันตรายมาก สำหรับให้ผู้นำชุมชนในอำเภอแม่ใจไปใช้เผยแพร่ผ่านหอกระจายเสียง ซึ่ง template ของบทความเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารผ่านหอกระจายเสียงและวิทยุชุมชนเพื่อสื่อสารข้อมูลให้เจ้าหน้าที่ในระดับพื้นที่นำไปใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 4.29

ประกาศ

หอกระจายเสียง/วิทยุชุมชน/รถประกาศ

เรียน พ่อแม่พี่น้องตำบล หมู่บ้าน ทุกท่าน

ในช่วงนี้ เป็นช่วงที่บ้านเราเข้าสู่หน้าแล้งแล้ว พอถึงหน้าแล้งอากาศก็ร้อนจัด ปัญหาหมอกควันก็มีมาพร้อม ๆ กันเป็นประจำทุกปี พอเจอทั้งความร้อนทั้งหมอกควันนี้ อันตรายต่อสุขภาพมาก ยิ่งไงก็ต้องดูแลรักษาสุขภาพกันให้ดี ๆ

ข้อมูลจากระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า ของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้พยากรณ์ว่า วันที่ พื้นที่ ตำบล มีค่าดัชนีความร้อนและหมอกควันอยู่ในระดับ “สีฟ้า ปลอดภัย” “สีเหลือง ฝ้าระวัง” “สีแดง อันตราย” “สีแดง อันตรายมาก” (เลือกระดับจากข้อมูลที่ได้รับจาก รพ.สต.)

ขอแนะนำให้พ่อแม่พี่น้องปฏิบัติตัวตามนี้

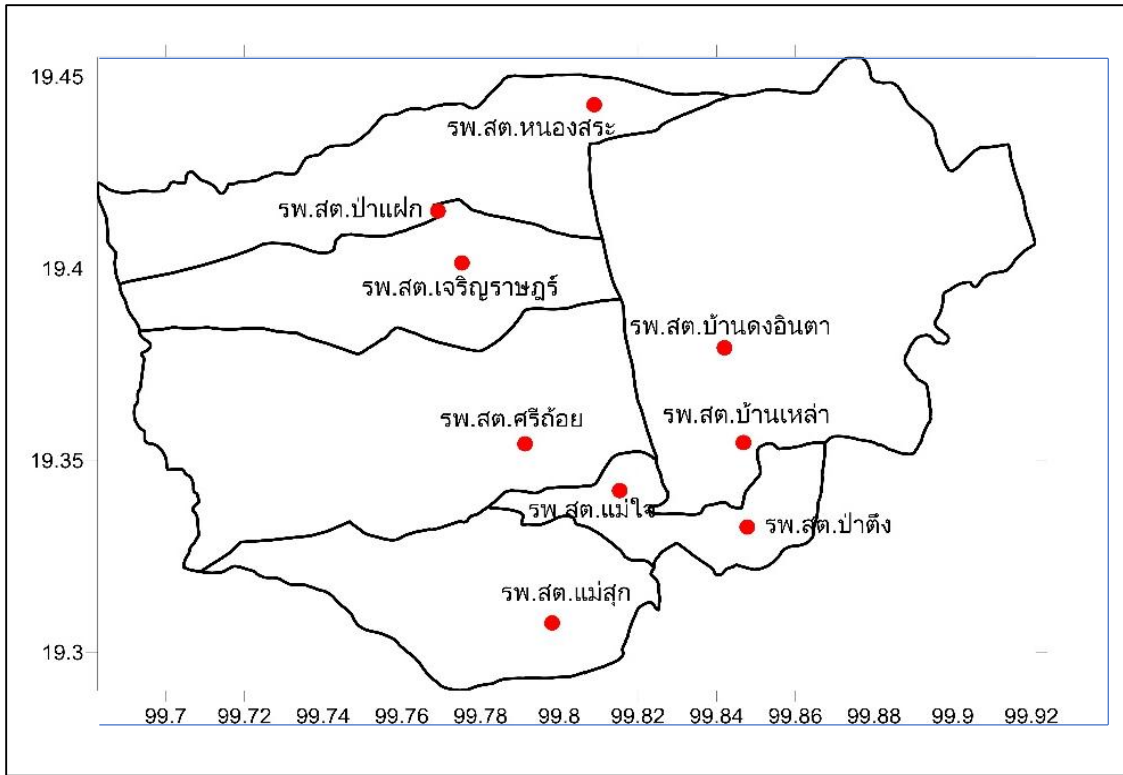
1. ดื่มน้ำสะอาดบ่อย ๆ ในวันที่อากาศร้อนจัดและต้องทำงานกลางแจ้ง
2. หลีกเลี่ยงการอยู่กลางแจ้งในช่วงอากาศร้อนจัด โดยเฉพาะเวลา 10.00-15.00 น.
3. สวมเสื้อผ้าสีอ่อน น้ำหนักเบา เนื้อผ้าระบายอากาศได้ดี
4. สังเกตสีปัสสาวะ หากสีเหลืองเข้ม คือ เสียเหงื่อหรือน้ำมาก ต้องดื่มน้ำหรือเกลือแร่
5. งดดื่มของมีแอลกอฮอล์ กาแฟ หรือเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลสูง
6. หลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้ง และใส่หน้ากากป้องกันฝุ่นละออง
7. ผู้มีโรคประจำตัวต้องเตรียมยาและอุปกรณ์จำเป็นให้พร้อม
8. ติดตามข้อมูลข่าวสารจากหน่วยงานราชการเป็นประจำ
9. อยู่ยี่สิบหมายเลขโทรศัพท์สถานพยาบาลหรือโทรสายด่วน 1669
10. ที่สำคัญหากมีอาการผิดปกติให้รีบไปพบแพทย์อย่างเร่งด่วน

ภาพที่ 4.29 Template บทความเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารความร้อนและ PM10 ที่ผู้นำชุมชนในอำเภอแม่ใจใช้ประชาสัมพันธ์ผ่านหอกระจายเสียงและวิทยุชุมชน

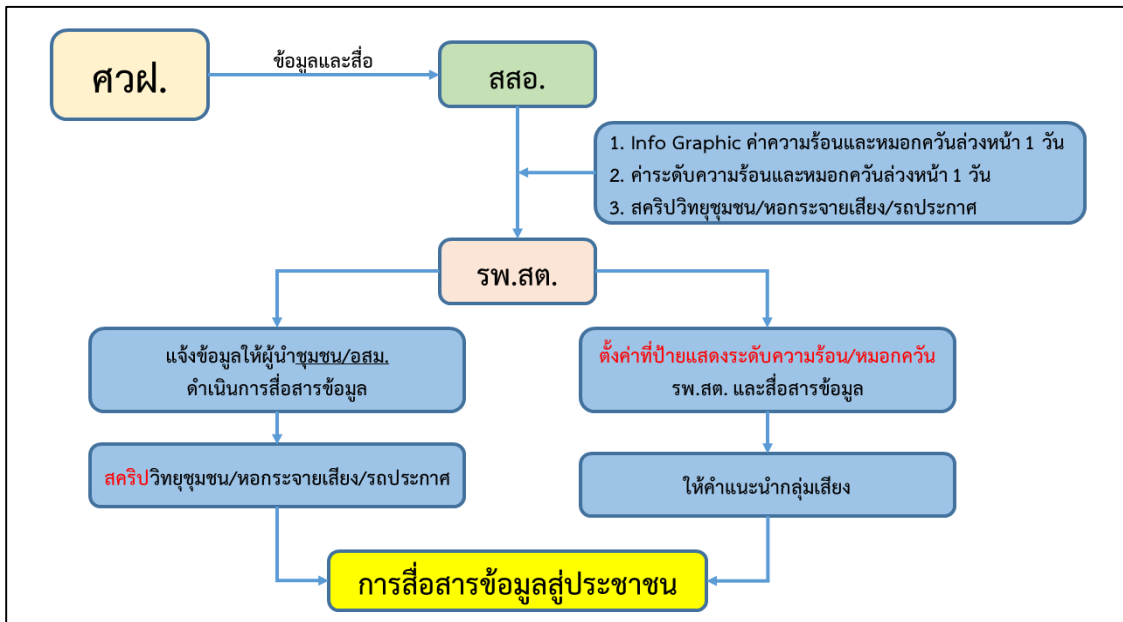
4.5.1.4 แผ่นพับให้ความรู้ ความตระหนักและการปฏิบัติตัวที่เกี่ยวกับความร้อนและ PM10 จากการรวบรวมข้อมูลการให้ความรู้ที่เกี่ยวกับความร้อนและ PM10 พบว่า แผ่นพับหรือโปสเตอร์รวมทั้งสื่ออื่นๆ ที่หน่วยงานต่างๆ ผลิตและจัดทำไว้ ถือเป็นแหล่งข้อมูลที่มีความสำคัญและควรนำไปเผยแพร่ให้กับหน่วยงานและประชาชนในพื้นที่ ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการส่งต่อสื่อต่างๆ เหล่านี้ไปยังสำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่ใจ เพื่อทำการกระจายสื่อไปยังโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เพื่อให้มีการรณรงค์ส่งเสริมและแนะนำวิธีการป้องกันและปฏิบัติตัวต่อภัยความร้อนและหมอกควัน ให้กับประชาชนในพื้นที่ได้รับทราบข้อมูลข่าวสารที่เกี่ยวกับความร้อนและ PM10

4.5.2 การทดลองใช้งานระบบเตือนภัยในอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา

คณะผู้วิจัยได้ทดลองใช้งานระบบเตือนภัยฯ ในอำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา ผ่านสำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่ใจไปยังโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทั้ง 9 แห่ง (ภาพที่ 4.30) โดยใช้ Line application เป็นช่องทางการสื่อสารข้อมูลเตือนภัยความร้อนและ PM10 ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกลุ่มคนหรือหน่วยงานทั้งสิ้น 4 องค์กรประกอบ คือ (1) ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ทำหน้าที่ส่งเคราะห์ข้อมูลพยากรณ์ค่าดัชนีความร้อนและ PM10 และส่ง Infographic ค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนและ PM10 ล่วงหน้า 1 วัน ผ่านทาง Line application (2) สำนักงานสาธารณสุขอำเภอ ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางในการรับส่งข้อมูลพยากรณ์ค่าดัชนีความร้อนและ PM10 และส่งต่อไปยังโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลผ่านทาง Line application (3) โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล รับข้อมูลพยากรณ์ค่าดัชนีความร้อนและ PM10 พร้อมทำการปรับเข้มแสดงค่าระดับดัชนีความร้อนและ PM10 ให้ตรงกับข้อมูล Infographic พร้อมส่งข้อมูลให้กลุ่มอาสาสมัครสาธารณสุขหมู่บ้านหรือผู้นำชุมชนทำหน้าที่เผยแพร่ข้อมูลข่าวสารเตือนภัยสู่ชุมชน และ (4) ผู้นำชุมชน อาสาสมัครสาธารณสุขหมู่บ้านทำหน้าที่ประกาศโดยใช้บทความแจ้งเตือนผ่านทางหอกระจายเสียงหมู่บ้านให้ประชาชนได้รับทราบข้อมูลและแนวทางการปฏิบัติตัวตามคำแนะนำ ภาพที่ 4.31 แสดงโครงสร้างการดำเนินงานในภาพรวมของการสื่อสารเตือนภัยความร้อนและ PM10 และ ภาพที่ 4.32 แสดงกลไกและขั้นตอนการดำเนินงานสื่อสารข้อมูลเตือนภัยดัชนีความร้อนและ PM10 ซึ่งผลการดำเนินงานของแต่ละโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทั้ง 9 แห่ง สามารถสื่อสารข้อมูลข่าวสารให้ประชาชนได้รับทราบข้อมูลพร้อมทั้งให้ความรู้และรณรงค์การป้องกันภัยจากความร้อนและ PM10 ดังแสดงในภาพที่ 4.33 - 4.36



ภาพที่ 4.30 โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในอำเภอแม่ใจ จำนวน 9 แห่ง



ภาพที่ 4.31 โครงสร้างการดำเนินงานในภาพรวมการดำเนินงานสื่อสารเตือนภัยความร้อนและหมอกควัน

กลไกการดำเนินงานสื่อสารข้อมูลเตือนภัยดัชนีความและหมอกควันในระดับพื้นที่
อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา

ศวผ. ส่งข้อมูล Info Graphic พยากรณ์ระดับค่าดัชนีความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า 1 วัน
ให้ สสอ.แม่ใจ ผ่านช่องทาง line application เวลา 15.00 น.

สสอ.แม่ใจ ส่งข้อมูล Info Graphic พยากรณ์ระดับค่าดัชนีความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า 1 วัน
ให้ รพ.สต. 9 แห่ง ผ่านช่องทาง line application เวลา 15.30 น.

รพ.สต. สังเกตสัญลักษณ์วงกลมใน Info Graphic ว่าเป็นสีอะไร (ฟ้า เหลือง ส้ม แดง)
พร้อมดำเนินการปรับเข้มที่แผ่นป้ายพยากรณ์ให้ตรงตามสี พร้อมใส่วันที่ เดือน ปี

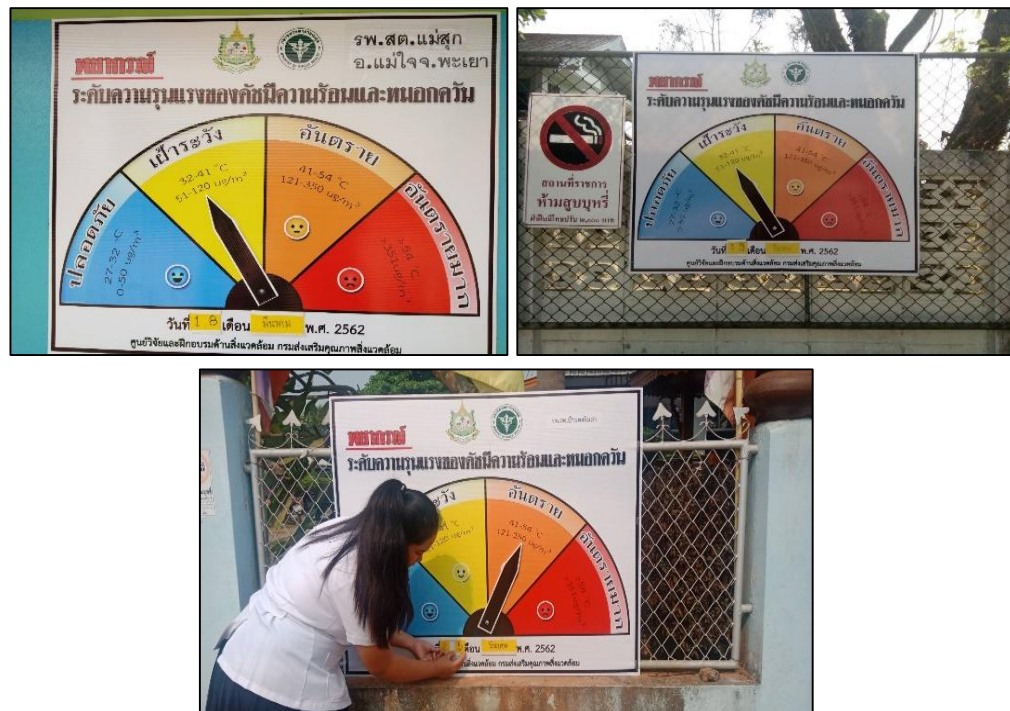
รพ.สต. ส่งต่อข้อมูล Info Graphic ไปยัง กลุ่ม line ผู้นำชุมชน/ อสม./ ทสม. เพื่อทำการสื่อสาร
โดยการอ่าน บทความเผยแพร่ข้อมูลข่าวสาร ผ่านเสียงตามสายและวิทยุชุมชน

เมื่อมีการสื่อสารสารข้อมูลเตือนภัย ผู้ดำเนินงาน ส่งข้อความหรือภาพถ่ายในการสื่อสารข้อมูล
กลับมายังสำนักงานสาธารณสุขอำเภอ ผ่านช่องทาง line application

ภาพที่ 4.32 กลไกและขั้นตอนการดำเนินงานสื่อสารข้อมูลเตือนภัย



ภาพที่ 4.33 การประชุมวางแผนการดำเนินงานร่วมกับเจ้าหน้าที่สำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่ใจ



ภาพที่ 4.34 การปรับเข็มแสดงระดับค่าดัชนีความร้อนและหมอกควัน



ภาพที่ 4.35 การสื่อสารข้อมูลเตือนภัยความร้อนและหมอกควันโดยอาสาสมัครสาธารณสุขหมู่บ้านหรือผู้นำชุมชน



ภาพที่ 4.36 การสื่อสารให้ความรู้และรณรงค์ส่งเสริมการป้องกันภัยจากความร้อนและหมอกควัน

4.5.3 การใช้แบบจำลองพยากรณ์ PM10 ด้วยโมเดลทางสถิติสำหรับพื้นที่นาร่อง (อำเภอแม่ใจ)

เนื่องจากข้อมูลพยากรณ์ PM10 ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 5 วัน ด้วยแบบจำลอง WRF-Chem มีความคลาดเคลื่อนสูงมากซึ่งไม่สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลข่าวสารเพื่อเตือนภัยให้ประชาชนในระดับพื้นที่ได้ ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้ทดลองพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ PM10 ด้วยโมเดลทางสถิติ ซึ่งอาศัยหลักการบนพื้นฐานของข้อมูลตรวจวัดคุณภาพอากาศรายวันของกรมควบคุมมลพิษ โดยพิจารณาจากค่าตรวจวัดของวันนี้ผนวกกับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของอนุกรมข้อมูลรายวันในช่วงประมาณสามเดือนก่อนหน้านี้ เพื่อใช้พยากรณ์ค่าความเข้มข้นของ PM10 ของวันพรุ่งนี้และอีกสองวันล่วงหน้า ดังแสดงได้ดังสมการข้างล่าง

$$X=Y+Sd$$

โดยที่ X คือค่าพยากรณ์ความเข้มข้นของ PM10 ล่วงหน้า 1 วัน (d_1) และ 3 วัน (d_3)

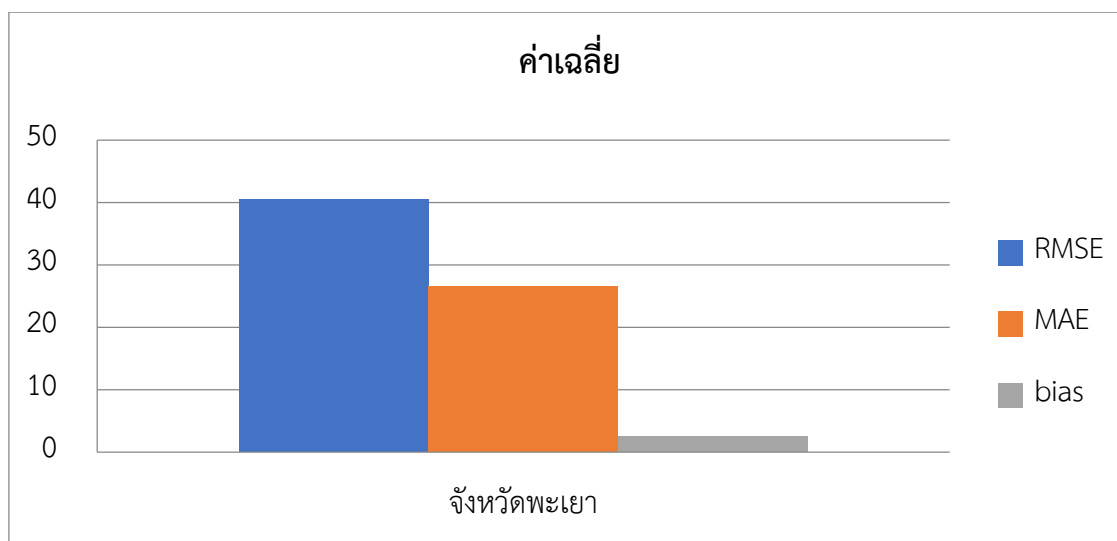
Y คือ ค่าตรวจวัดความเข้มข้นรายวันของ PM10 ของวันนี้ (d_0)

Sd คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าตรวจวัดความเข้มข้น PM10 ในรอบสามเดือนก่อนหน้า

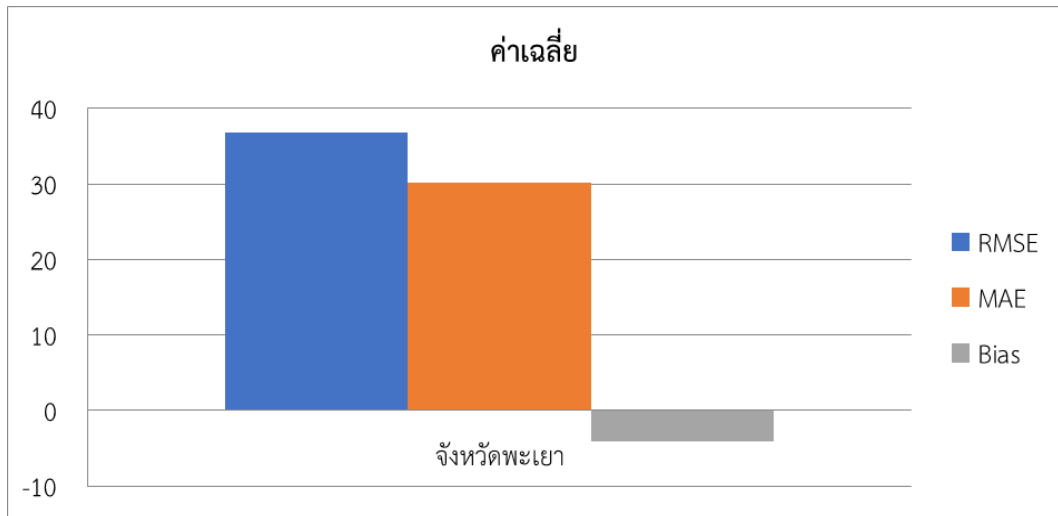
คณะผู้วิจัยได้นำแบบจำลองพยากรณ์ PM10 ด้วยโมเดลทางสถิติ ไปใช้ในพื้นที่อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา โดยใช้ข้อมูลตรวจวัด PM10 รายวันของกรมควบคุมมลพิษที่สถานีจังหวัดพะเยา ในระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน พ.ศ. 2562 ซึ่งผลการตรวจสอบความแม่นยำ สรุปได้ ดังนี้ ค่า RMSE เท่ากับ 40.45 ค่า MAE เท่ากับ 26.57 และค่า Bias เท่ากับ 2.56 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.37) ส่วนผลการทวนสอบข้อมูลปริมาณหมอกควัน 3 วันล่วงหน้า พบว่า พบว่า ค่า RMSE เท่ากับ 36.87 ค่า MAE เท่ากับ 26.57 และค่า Bias เท่ากับ -4.06 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.38) เมื่อเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของค่าพยากรณ์ PM10 จากแบบจำลอง WRF-Chem และโมเดลทางสถิติ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษที่สถานีจังหวัดพะเยา ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่า แบบจำลองโมเดลทางสถิติให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าแบบจำลอง WRF-Chem อย่างมีนัยสำคัญและใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงใช้ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า 1 และ 3 วัน จากโมเดลทางสถิติ เป็นข้อมูลข่าวสารไปสื่อสารเตือนภัย PM10 ในระดับชุมชนของอำเภอแม่ใจ

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของค่าพยากรณ์ PM10 จากแบบจำลอง WRF-Chem และโมเดลทางสถิติ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดที่สถานีจังหวัดพะเยา

โมเดล	RMSE	MAE	bias
WRF-Chem ล่วงหน้า 1 วัน	1098.06	651.31	-651.31
โมเดลทางสถิติ ล่วงหน้า 1 วัน	40.45	26.57	2.56
WRF-Chem ล่วงหน้า 3 วัน	1031.98	664.23	-664.23
โมเดลทางสถิติ ล่วงหน้า 3 วัน	36.87	26.57	-4.06



ภาพที่ 4.37 ค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 1 วัน จากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ จังหวัดพะเยา



ภาพที่ 4.38 ค่าเฉลี่ยของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ล่วงหน้า 3 วัน จากสถานีของกรมควบคุมมลพิษ จังหวัดพะเยา

4.6 การปรับแก้ระบบเตือนภัยหลังทดลองใช้งาน

หลังจากนำระบบเตือนภัยไปทดลองใช้งานในพื้นที่ คณะวิจัยได้ลงพื้นที่เพื่อทำการสัมภาษณ์และสอบถามข้อมูลจากเจ้าหน้าที่สำนักงานสาธารณสุขอำเภอและเจ้าหน้าที่สาธารณสุขในระดับชุมชน ทำให้ทราบถึงข้อจำกัดและข้อควรปรับปรุงให้ระบบเตือนภัยมีความสมบูรณ์และสามารถนำไปใช้งานได้สะดวกและครอบคลุมมากขึ้น โดยคณะวิจัยได้ดำเนินการเพิ่มเติมรูปแบบการปรับเกณฑ์การเตือนภัย ผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนและหมอกควันและตารางแสดงช่วงค่าดัชนีความร้อนและหมอกควัน รวมทั้งนำรูปแบบการสื่อสารเตือนภัยในพื้นที่มาพิจารณาประกอบ ซึ่งผลการปรับแก้มีดังนี้

1. การปรับเกณฑ์ระดับการเตือนภัย

การกำหนดเกณฑ์ระดับการเตือนภัยและผลกระทบจากสุขภาพจากความร้อน ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลจาก NWS ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักที่ดำเนินงานในส่วนของพัฒนาเกณฑ์ระดับผลกระทบต่อสุขภาพและมีการเผยแพร่และใช้งานในหลายภูมิภาคทั่วโลก โดยเกณฑ์ระดับการเตือนภัยดัชนีความร้อนถูกแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วมักใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง (ตารางที่ 4.9) เมื่อได้นำเกณฑ์ดังกล่าวไปทดลองใช้งานแล้วพบว่า มีข้อเสนอแนะจากพื้นที่ให้ปรับแก้ระดับการเตือนภัย โดยให้ปรับลดทศนิยมลง พร้อมทั้งมีข้อเสนอแนะให้ทำการปรับเนื้อหาในแต่ละระดับของการเตือนภัยดังแสดงในตารางที่ 4.9









ตารางที่ 4.9 เกณฑ์ระดับการเตือนภัย

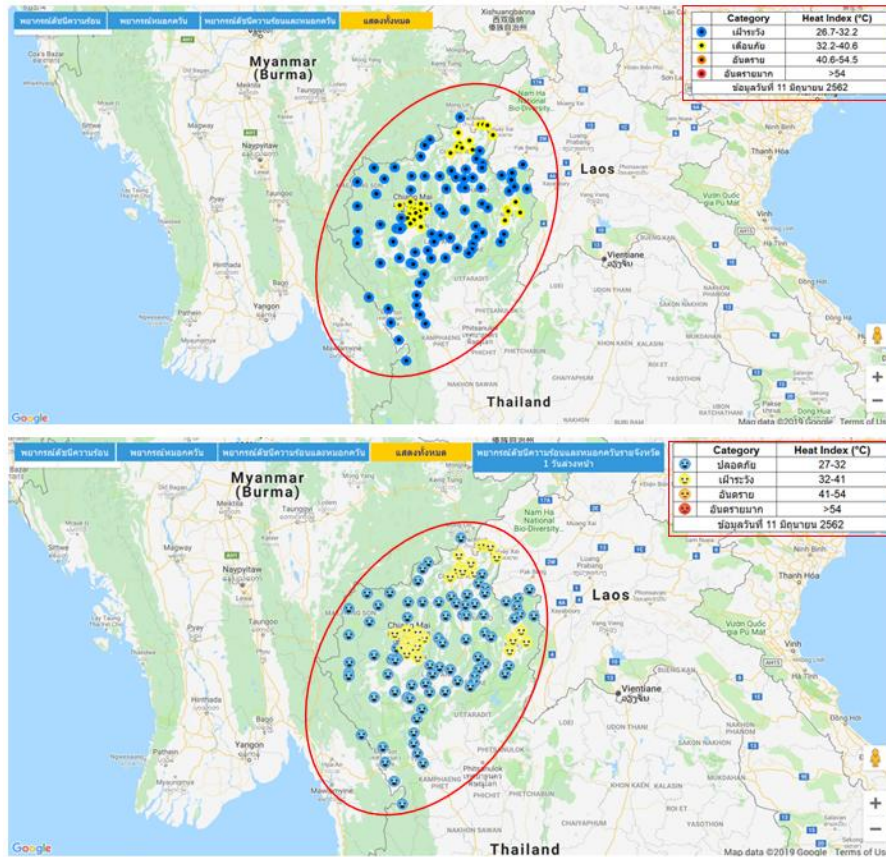
เกณฑ์เดิม		เกณฑ์ใหม่	
เกณฑ์การเตือนภัย	ค่าดัชนีความร้อน	เกณฑ์การเตือนภัย	ค่าดัชนีความร้อน
ฝ้าระว้าง	26.7 - 32.2	ปลอดภัย	27 - 32
เตือนภัย	32.2 - 40.6	ฝ้าระว้าง	32 - 41
อันตราย	40.6 - 54.5	อันตราย	41 - 54
อันตรายมาก	> 54.5	อันตรายมาก	> 54

2. การปรับสัญลักษณ์ของเกณฑ์การเตือนภัย

สัญลักษณ์ของเกณฑ์การเตือนภัยในช่วงแรก ได้แสดงเป็นสัญลักษณ์วงกลมและแบ่งออกเป็น 4 สี แต่เมื่อนำไปทดลองใช้งานจริงในพื้นที่ พบว่า ควรมีการปรับระดับผลกระทบต่อสุขภาพ โดยการพัฒนาและปรับปรุงเพิ่มเติมให้แฝงความหมายเชิงสัญลักษณ์ผ่านการแสดงความรู้สึกในสัญลักษณ์วงกลม ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 สี ตามระดับ (ตารางที่ 4.10) และแบ่งช่วงชั้นตามระดับความรุนแรงเพื่อสะท้อนถึงปัญหาความร้อนและหมอกควันของพื้นที่นั้น ทั้งนี้ ได้ทำการปรับเปลี่ยนสัญลักษณ์ในส่วนของคำอธิบายบริเวณหน้าจอแสดงผลพยากรณ์และแผนที่ Google map (ภาพที่ 4.39)

ตารางที่ 4.10 การปรับสัญลักษณ์และแฝงความหมายเชิงสัญลักษณ์

เกณฑ์เดิม			เกณฑ์ใหม่		
สัญลักษณ์	เกณฑ์การเตือนภัย	ค่าดัชนีความร้อน	สัญลักษณ์	เกณฑ์การเตือนภัย	ค่าดัชนีความร้อน
	ฝ้าระว้าง	26.7 - 32.2		ปลอดภัย	27 - 32
	เตือนภัย	32.2 - 40.6		ฝ้าระว้าง	32 - 41
	อันตราย	40.6 - 54.5		อันตราย	41 - 54
	อันตรายมาก	> 54.5		อันตรายมาก	> 54

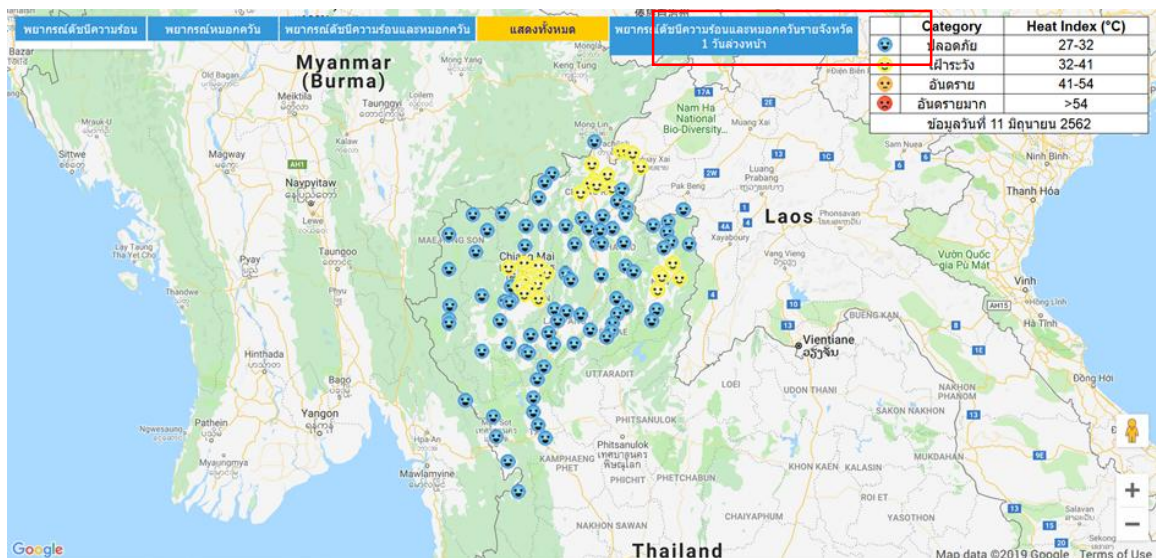


ภาพที่ 4.39 การปรับเปลี่ยนสัญลักษณ์ในส่วนของคำอธิบายในหน้าจอแสดงผลพยากรณ์และแผนที่ Google map

3. การเพิ่มรูปแบบการพยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควันรายจังหวัด

ข้อมูลดัชนีความร้อนและหมอกควันเฉลี่ยรายจังหวัด 1 วันล่วงหน้า ถูกพัฒนาเพิ่มเติมและจัดวางไว้ในหน้าจอแสดงผล เมื่อคลิกที่แถบเมนู “พยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควันรายจังหวัด 1 วันล่วงหน้า” ระบบเตือนภัยจะแสดงข้อมูลดัชนีความร้อนและหมอกควันเฉลี่ยรายจังหวัด 1 วันล่วงหน้า (ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากค่าพยากรณ์ระดับอำเภอของแต่ละจังหวัด) ในกรณีที่ไม่มีข้อมูล (ไม่มีค่าพยากรณ์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ หรือหมอกควัน) ระบบจะแสดงข้อความ “ไม่มีข้อมูล” สำหรับการแสดงผลของข้อมูลต่างๆ ดังกล่าว จะเริ่มทำงานหลังจากเวลา 12.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่กำหนดคำสั่งให้ระบบทำงาน (ภาพที่ 4.40) นอกจากนี้ ได้ปรับปรุงเพิ่มเติมในส่วน of รูปแบบการสื่อสารเตือนภัยในพื้นที่มาพิจารณาประกอบ คือ การจัดทำแผนป้ายพยากรณ์สถานการณ์ความร้อนและหมอกควันและบรรจุลงในระบบ

เตือนภัยความร้อนและหมอกควัน ซึ่งจะแสดงค่าเฉลี่ยการพยากรณ์ความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า 1 วัน สำหรับหน้าแสดงข้อมูลดัชนีความร้อนและหมอกควันเฉลี่ยรายจังหวัด 1 วันล่วงหน้านี้ แสดงผลด้วยตารางซึ่งประกอบด้วย 4 คอลัมน์ ดังนี้ (1) จังหวัด (2) ระดับความรุนแรงของดัชนีความร้อน (3) ระดับความรุนแรงของหมอกควัน และ (4) ระดับความรุนแรงของดัชนีความร้อนและหมอกควัน โดยหากระบบสามารถดึงข้อมูลพยากรณ์ได้จะแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย เช่น ในกรณีของข้อมูลดัชนีความร้อนในคอลัมน์ที่สอง (ภาพที่ 4.41) จะแสดงข้อมูล จำนวนอำเภอของแต่ละจังหวัด ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ และค่าเฉลี่ยดัชนีความร้อน หลังจากนั้น จะแสดงภาพเกณฑ์การเตือนภัย เช่น ในกรณีของค่าดัชนีความร้อนซึ่งแบ่งเกณฑ์ของการเตือนภัยไว้ทั้งหมด 4 ระดับ จะแสดงค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควันรายจังหวัดตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดข้อมูลย้อนหลังได้ (ภาพที่ 4.42)

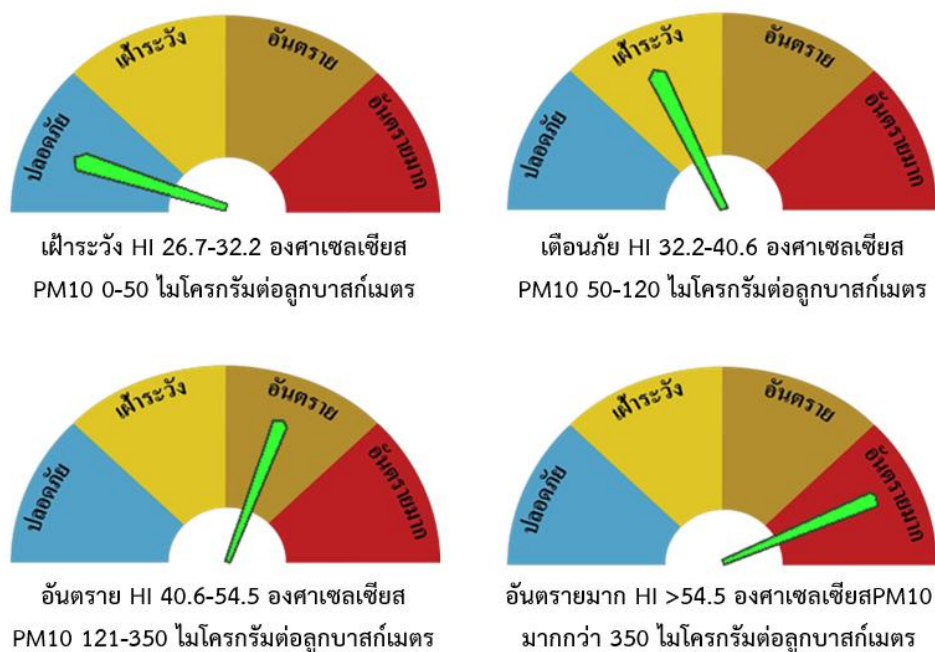


ภาพที่ 4.40 เมนูพยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควันรายจังหวัด 1 วันล่วงหน้า

แสดงข้อมูลดัชนีความร้อนและหมอกควันเฉลี่ยรายจังหวัด 1 วันล่วงหน้า

จังหวัด	ระดับความรุนแรงของดัชนีความร้อน ดาวโหลดข้อมูล	ระดับความรุนแรงของหมอกควัน ดาวโหลดข้อมูล	ระดับความรุนแรงของดัชนีความร้อนและหมอกควัน ดาวโหลดข้อมูล
1.เชียงใหม่	ข้อมูลวันที่ 10 มิถุนายน 2562 ค่าเฉลี่ยจากทั้งหมด 25 อำเภอ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ = 26.18 °C ค่าเฉลี่ยความชื้น = 77.92 % ค่าเฉลี่ยดัชนีความร้อน = 27.92 	ข้อมูลวันที่ 10 มิถุนายน 2562 (ไม่มีข้อมูล...)	ข้อมูลวันที่ 10 มิถุนายน 2562 (ไม่มีข้อมูล...)

ภาพที่ 4.41 ข้อมูลดัชนีความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า 1 วัน (เฉลี่ยรายจังหวัด)



ภาพที่ 4.42 การค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า 1 วัน ระดับจังหวัด

4. การดาวน์โหลดข้อมูลดัชนีความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า 1 วัน

โครงสร้างของฟังก์ชันดาวน์โหลดข้อมูลพยากรณ์ระดับจังหวัดล่วงหน้า 1 วัน แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ (1) รายชื่อจังหวัดทั้ง 9 จังหวัดในภาคเหนือตอนบน (2) ระดับความรุนแรงของดัชนีความร้อน ประกอบด้วย ข้อมูลวันที่ จำนวนอำเภอ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ (°C) ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ (%) ค่าเฉลี่ยดัชนีความร้อน (°C) ระดับเตือนภัย และภาพระดับพยากรณ์ (3) ระดับความรุนแรงของหมอกควัน

ประกอบด้วย ข้อมูลวันที่ จำนวนอำเภอ ค่าเฉลี่ย PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ระดับเตือนภัย ภาพระดับพยากรณ์ และ (4) ระดับความรุนแรงของดัชนีความร้อนร่วมกับหมอกควัน ประกอบด้วย ข้อมูลวันที่ จำนวนอำเภอ ค่าเฉลี่ยดัชนีความร้อน ($^{\circ}\text{C}$) ค่าเฉลี่ย PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ระดับเตือนภัย และภาพระดับพยากรณ์ (โครงสร้าง การให้บริการข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.11 โครงสร้างการให้บริการข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนและหมอกควันระดับจังหวัด ล่วงหน้า 1 วัน

รายชื่อจังหวัด	ระดับความรุนแรงของ ดัชนีความร้อน	ระดับความรุนแรง ของหมอกควัน	ระดับความรุนแรงของ ดัชนีความร้อน และหมอกควัน
1. เชียงใหม่	ข้อมูลวันที่	ข้อมูลวันที่	ข้อมูลวันที่
2. เชียงราย	จำนวนอำเภอ	จำนวนอำเภอ	จำนวนอำเภอ
3. ลำพูน	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่าเฉลี่ย PM10	ค่าเฉลี่ยดัชนีความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)
4. ลำปาง	ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ (%)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าเฉลี่ย PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
5. พะเยา	ค่าเฉลี่ยดัชนีความร้อน ($^{\circ}\text{C}$)	ระดับเตือนภัย	ระดับเตือนภัย
6. น่าน	ระดับเตือนภัย	ภาพระดับพยากรณ์	ภาพระดับพยากรณ์
7. แพร่	ภาพระดับพยากรณ์		
8. แม่ฮ่องสอน			
9. ตาก			

สำหรับการดาวน์โหลดข้อมูลระดับจังหวัด ล่วงหน้า 1 วัน กรณีตัวอย่างการดาวน์โหลดข้อมูล ดัชนีความร้อน เมื่อผู้ใช้งานกดเลือกปุ่มดาวน์โหลดข้อมูล ระบบจะแสดงข้อมูลการพยากรณ์ระดับอำเภอ และการแสดงผลแบ่งออกเป็น 6 คอลัมน์ ประกอบด้วย ลำดับ อำเภอ จังหวัด อุณหภูมิล่วงหน้า 1 วัน ความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้า 1 วัน และดัชนีความร้อนล่วงหน้า 1 วัน ส่วนแถวที่ 2 จะแสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และดัชนีความร้อนล่วงหน้า โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกดูข้อมูลรายละเอียดได้ทั้งใน ภาพรวมของจังหวัดและแต่ละอำเภอ (ภาพที่ 4.43)

ลำดับ	อำเภอ	จังหวัด	อุณหภูมิ °C (1 วันล่วงหน้า)	ความชื้นสัมพัทธ์ % (1 วันล่วงหน้า)	heat index °C (1 วันล่วงหน้า)
จ.เชียงใหม่			ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ = 24.21 °C	ค่าเฉลี่ยความชื้น = 84.77%	ค่าเฉลี่ย heat index = 24.37
1	Chiang Mai	Chiangmai	26.4	79	28.4
2	Chom Thong	Chiangmai	23.1	85	22.66
3	Doi Saket	Chiangmai	26.4	79	28.4
4	Mae Chaem	Chiangmai	21.1	92	18.88
5	Chiang Dao	Chiangmai	23.1	89	22.14
6	Mae Taeng	Chiangmai	23.1	89	22.14
7	Mae Rim	Chiangmai	26.4	79	28.4
8	Samoeng	Chiangmai	26.4	79	28.4
9	Fang	Chiangmai	23.8	90	23.21
10	Mae Ai	Chiangmai	23.8	90	23.21

ภาพที่ 4.43 แสดงข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และดัชนีความร้อนเฉลี่ยรายจังหวัด

ในกรณีที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลดัชนีความร้อนย้อนหลัง สามารถเลือกวันที่ที่ต้องการดาวน์โหลดได้โดยกดเลือกวันเดือนปีที่ช่องวันที่ซึ่งแสดงไว้ที่ด้านบนของหน้าเว็บ ดังแสดงในภาพที่ 4.44

ลำดับ	อำเภอ	จังหวัด	อุณหภูมิ °C (1 วันล่วงหน้า)	ความชื้นสัมพัทธ์ % (1 วันล่วงหน้า)	heat index °C (1 วันล่วงหน้า)
จ.เชียงใหม่			ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ = 26.18 °C	ค่าเฉลี่ยความชื้น = 92	
1	Chiang Mai	Chiangmai	29	68	32.36
2	Chom Thong	Chiangmai	24.5	84	24.9
3	Doi Saket	Chiangmai	29	68	32.36
4	Mae Chaem	Chiangmai	22.7	94	20.69
5	Chiang Dao	Chiangmai	25.6	76	26.85
6	Mae Taeng	Chiangmai	25.6	76	26.85
7	Mae Rim	Chiangmai	29	68	32.36
8	Samoeng	Chiangmai	29	68	32.36
9	Fang	Chiangmai	26.7	78	28.94
10	Mae Ai	Chiangmai	26.7	78	28.94
11	Phrao	Chiangmai	25.7	82	27.14
12	San Pa Tong	Chiangmai	29	68	32.36
13	San Kamphaeng	Chiangmai	29	68	32.36
14	Sansai	Chiangmai	29	68	32.36
15	Hang Dong	Chiangmai	29	68	32.36

ภาพที่ 4.44 การดาวน์โหลดข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และดัชนีความร้อนเฉลี่ยรายจังหวัดย้อนหลัง

การดาวน์โหลดข้อมูลพยากรณ์ PM10 นั้น ใช้วิธีการเดียวกับดัชนีความร้อนทุกประการแต่มีข้อควรระวังในการใช้งาน คือ ข้อมูลพยากรณ์ PM10 ได้มาจากแบบจำลอง WRF-Chem ซึ่งต้องใช้เครื่องมือข้อมูล อุปกรณ์ และเทคนิคต่างๆ มากมาย จึงส่งผลให้ผู้รันแบบจำลองไม่สามารถทำการคำนวณและ

พยากรณ์ได้ครบถ้วนทั้งในเรื่องของจำนวนสถานีและความต่อเนื่องรายวัน ซึ่งข้อมูลที่ได้มักขาดหายหรือไม่ มีข้อมูล ดังนั้น ค่าพยากรณ์ PM10 อาจปรากฏให้เห็นในช่วงที่เกิดสถานการณ์หมอกควันรุนแรงเท่านั้น (มกราคมถึงเมษายน) และเมื่อระบบไม่สามารถดึงข้อมูลจากแบบจำลองได้ย่อมทำให้การแสดงผลบางส่วน ขาดหายไป สำหรับตัวอย่างการดาวน์โหลดข้อมูลในวันเดือนปีที่ไม่มีค่าพยากรณ์ PM10 ระบบจะแสดงผล ตามภาพที่ 4.45 ในทางตรงกันข้าม หากเลือกดาวน์โหลดข้อมูลในวันเดือนปีที่มีค่าพยากรณ์ PM10 ระบบ จะแสดงข้อมูลให้เห็นดังภาพที่ 4.46



ภาพที่ 4.45 แสดงข้อมูลปริมาณ PM10 เฉลี่ยรายจังหวัด (ไม่มีข้อมูล เนื่องจากระบบ WRF ไม่ทำงาน)

ข้อมูลระดับความรุนแรงของปริมาณหมอกควัน
03 / 23 / 2019 © Go

กรุงเทพมหานคร
ข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2562

ลำดับ	อำเภอ	จังหวัด	ปริมาณหมอกควัน ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (1 วันล่วงหน้า)
จ.เชียงใหม่			ค่าเฉลี่ยปริมาณหมอกควัน = 1035.52 ไมโครกรัม/
1	Chiang Mai	Chiangmai	549.39
2	Chom Thong	Chiangmai	553.506
3	Mae Chaem	Chiangmai	993.763
4	Chiang Dao	Chiangmai	1652.38
5	Doi Saket	Chiangmai	421.845
6	Mae Taeng	Chiangmai	1522.57
7	Mae Rim	Chiangmai	984.894
8	Samoeng	Chiangmai	1485.94
9	Fang	Chiangmai	2763.01
10	Mae Ai	Chiangmai	3446.05
11	Ban Phrao	Chiangmai	988.383
12	San Pa Tong	Chiangmai	602.525
13	San Kamphaeng	Chiangmai	458.999
14	Sansai	Chiangmai	441.814
15	Hang Dong	Chiangmai	549.39

ภาพที่ 4.46 การดาวน์โหลดข้อมูล PM10 เฉลี่ยรายจังหวัดย้อนหลัง

สำหรับการดาวน์โหลดข้อมูลในส่วนสุดท้ายเป็นการดาวน์โหลดข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนร่วมกับ PM10 ซึ่งผู้ใช้งานต้องเข้าใจเงื่อนไขที่กำหนด หมายถึง หากข้อมูลในวันเดือนปีที่ผู้ใช้งานต้องการมีข้อผิดพลาดหรือขาดหายไม่ว่าจะตัวแปรใด ระบบจะแสดงคำว่า “ไม่มีข้อมูล” (ภาพที่ 4.47) และเมื่อผู้ใช้งานเลือกวันเดือนปีที่ข้อมูลมีครบถ้วนระบบจะแสดงผลดังภาพที่ 4.48



ภาพที่ 4.47 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ดัชนีความร้อนเฉลี่ย และปริมาณ PM10 เฉลี่ย
รายจังหวัด

The screenshot shows a web interface with a search bar at the top containing the date '23 มีนาคม 2562'. Below the search bar, a table of weather data is displayed for Chiang Mai province. The table includes columns for station name, province, temperature, humidity, heat index, and PM10 concentration.

ลำดับ	อำเภอ	จังหวัด	อุณหภูมิ °C (1 วันล่วงหน้า)	ความชื้นสัมพัทธ์ % (1 วันล่วงหน้า)	heat index °C (1 วันล่วงหน้า)	ปริมาณหมอกควัน (1 วันล่วงหน้า)
จ.เชียงใหม่			ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ = 31.1 °C ค่าเฉลี่ยความชื้น = 23.53% ค่าเฉลี่ย heat index = 29.34 ค่าเฉลี่ยปริมาณหมอกควัน = 317.97 ไมโครกรัมลูกบาศก์เมตร			
1	Fang	Chiangmai	24.1	58	25.37	2763.01
2	Mae Ai	Chiangmai	28.2	25	27.03	3446.05
3	Saraphi	Chiangmai	32.8	45	34.59	415.651
4	Mae Rim	Chiangmai	31.4	22	29.53	984.894
5	Omkoi	Chiangmai	25.3	34	25.64	201.87
6	Hot	Chiangmai	30.6	26	29.03	423.428
7	Samoeng	Chiangmai	31.4	22	29.53	1485.94
8	Doi Tao	Chiangmai	30.4	25	28.79	228.689
9	Wiang Haeng	Chiangmai	25.6	29	25.61	1970.57
10	Sansai	Chiangmai	31.4	22	29.53	441.814
11	Hang Dong	Chiangmai	31.4	22	29.53	549.39
12	Chom Thong	Chiangmai	29.1	27	27.8	553.506
13	Mae Taeng	Chiangmai	28.1	26	27	1522.57
14	Doi Saket	Chiangmai	31.4	22	29.53	421.845
15	Ban Phrao	Chiangmai	27.2	82	30.4	988.383

ภาพที่ 4.48 การดาวน์โหลดอุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ดัชนีความร้อนเฉลี่ย และ PM10 เฉลี่ย
รายจังหวัดย้อนหลัง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบที่ทำงานแบบอัตโนมัติ มีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ค่าพยากรณ์ดัชนีความร้อนที่คำนวณจากข้อมูลพยากรณ์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้าจาก www.apixu.com และค่าความเข้มข้นของ PM10 จากแบบจำลอง WRF-Chem โดยระบบจะนำเข้าสู่ข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนและความเข้มข้นของ PM10 ล่วงหน้า 1 วัน 3 วัน และ 5 วันล่วงหน้าแบบต่อเนื่อง ครอบคลุมพื้นที่ 112 อำเภอ 9 จังหวัด ในภาคเหนือตอนบน โดยใช้ Hosting Service Provider (HSP) ที่สามารถรองรับการทำงานของระบบได้ตลอด 24 ชั่วโมง พร้อมทั้งจัดเก็บข้อมูลไว้ใน web server ซึ่งทำหน้าที่เป็นสื่อกลางสำหรับแสดงผลหน้าเว็บไซต์และแสดงผลด้วยสัญลักษณ์วงกลมตามเฉดสีตามช่วงค่าดัชนีความร้อนและค่าความเข้มข้นของ PM10 พร้อมทั้งแสดงผลในแผนที่ google map และสามารถเข้าถึงได้ทาง <http://www.tccnprogram.webgraphicdesignerthailand.com/>

5.1.2 เกณฑ์ระดับการเตือนภัยผลกระทบต่อสุขภาพจากดัชนีความร้อนและหมอกควัน ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากการสังเคราะห์เกณฑ์ระดับผลกระทบต่อสุขภาพจากดัชนีร้อนของ National Weather Service (NSW) ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นเกณฑ์การแจ้งเตือนที่ประเทศต่างๆ นำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย รวมกับค่าระดับผลกระทบต่อสุขภาพจาก PM10 ที่กรมควบคุมมลพิษ กรมอนามัย และกรมควบคุมโรคนำมาประยุกต์ใช้งานด้านการป้องกันและเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ ทั้งนี้ เกณฑ์ระดับการเตือนภัยฯ แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ประกอบด้วย สีฟ้า หมายถึง เฝ้าระวัง (HI 27-32 องศาเซลเซียส และ PM10 0-50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สีเหลือง หมายถึง เตือนภัย (HI 32-41 องศาเซลเซียส และ PM10 50-120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สีส้ม หมายถึง อันตราย (HI 41-54 องศาเซลเซียส และ PM10 121-350 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และสีแดง หมายถึง อันตรายมาก (HI >54 องศาเซลเซียส และ PM10 มากกว่า 350 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

5.1.3 พื้นที่นำร่อง อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา (9 โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล) มีความพร้อมทั้งด้านอุปกรณ์ บุคลากร และต้องการทดลองใช้ระบบเตือนภัยล่วงหน้า เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาความร้อนและหมอกควันเป็นประจำทุกปี ซึ่งวิธีการสื่อสารข้อมูลที่ประชาชนในพื้นที่สามารถเข้าถึงข้อมูลข่าวสารเตือนภัยได้อย่างสะดวก ประกอบด้วย การประกาศเสียงตามสาย วิทยุชุมชน

และการประชุมหมู่บ้าน ดังนั้น Info Graphic รายงานสถานการณ์ความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า แผ่นป้ายพยากรณ์สถานการณ์ความร้อนและหมอกควันล่วงหน้า บทความเผยแพร่ข้อมูลข่าวสาร ผ่านหอกระจายเสียงและวิทยุชุมชน เป็นวิธีการสื่อสารที่เหมาะสมสำหรับใช้ดำเนินงานสื่อสารเตือนภัย ในระดับชุมชน

5.1.4 กลไกการดำเนินงานสื่อสารข้อมูลเตือนภัยในระดับพื้นที่ ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ (1) ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมส่งข้อมูลพยากรณ์ดัชนีความร้อนและ PM10 ล่วงหน้า 1 วัน ให้กับสำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่ใจด้วย Info Graphic ผ่านช่องทาง Line Application เวลา 15.00 น. (2) สำนักงานสาธารณสุขอำเภอส่งต่อข้อมูลไปยังโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทั้ง 9 แห่ง เวลา 15.30 น. ผ่านช่องทางเดียวกัน (3) โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทำการปรับค่าที่แผ่นป้ายพยากรณ์สถานการณ์ ความร้อนและหมอกควันล่วงหน้าและส่งต่อข้อมูลไปยังผู้นำชุมชน อาสาสมัครพิทักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านดำเนินการประกาศเสียงตามสายและวิทยุชุมชนตามบทความ เผยแพร่ข้อมูลข่าวสาร (4) เมื่อมีการสื่อสารข้อมูลเตือนภัยในพื้นที่ ผู้ดำเนินงานจะส่งผลการ ดำเนินงานด้วยข้อความหรือภาพถ่ายแจ้งมายังสำนักงานสาธารณสุขอำเภอ นอกจากนี้ เมื่อมีการประชุม หมู่บ้าน เจ้าหน้าที่สาธารณสุขจะดำเนินการให้ความรู้ด้านการเฝ้าระวังและป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพ จากความร้อนและหมอกควัน

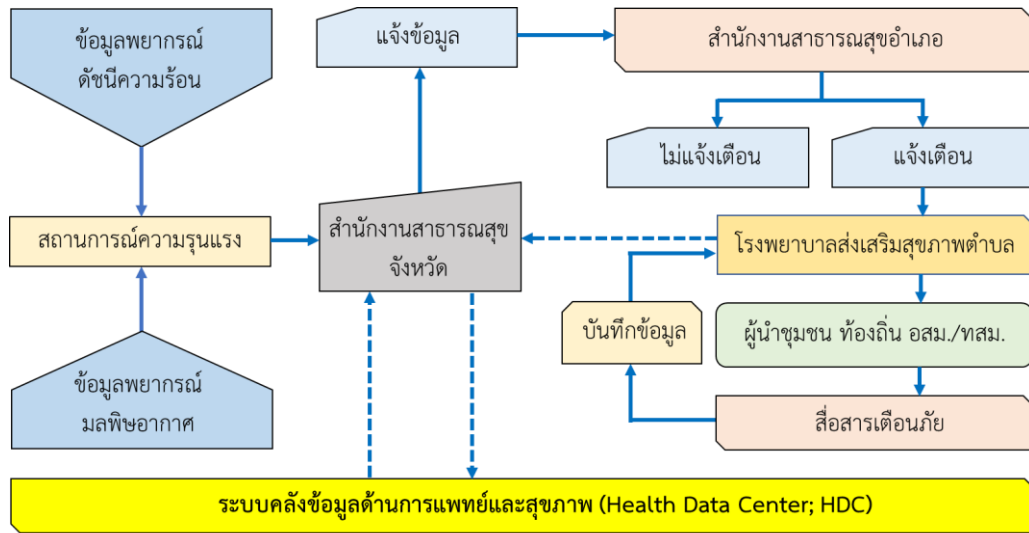
5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การทดสอบความแม่นยำของค่าพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติแสดงให้เห็นว่า ค่าพยากรณ์ ดัชนีความร้อนมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ แต่จากการทบทวนผลการดำเนินงานในพื้นที่ มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมว่าควรมีการพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดและแจ้งเตือนสถานการณ์ความร้อนอย่างง่าย ที่ใช้ข้อมูลตรวจวัดในพื้นที่นั้นๆ ซึ่งจะส่งผลให้การดำเนินงานเชิงป้องกันปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพเป็น รูปธรรมมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม ข้อมูลพยากรณ์ PM10 อยู่ในช่วงที่ไม่สามารถยอมรับได้ มีความคลาด เคลื่อนสูงและนำมาใช้ในการสื่อสารเตือนภัยในระดับพื้นที่ไม่ได้ สืบเนื่องจากปัญหาดังกล่าวศูนย์วิจัยและ ฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมจึงได้ทดลองใช้โมเดลทางสถิติพยากรณ์ PM10 ในพื้นที่นำร่อง ผลการทดลอง พบว่า ค่าพยากรณ์ PM10 มีความแม่นยำมากกว่าแบบจำลอง WRF-Chem และให้ผลใกล้เคียงกับค่า ตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา วิธีพยากรณ์หมอกควันล่วงหน้าอย่างง่ายสำหรับชุมชนด้วยโมเดลทางสถิติ ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและ ไม่ซับซ้อน รวมทั้งไม่ต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง นับเป็นหัวข้อวิจัยที่ควรเร่งดำเนินการ ทั้งนี้ หัวข้อวิจัยที่ได้จากการถอดบทเรียนทั้งสองเรื่องนี้นับเป็นงานวิจัยที่สอดคล้องกับการพัฒนาเครื่องมือ

หรือนวัตกรรมซึ่งมีความเป็นไปได้ในการขยายผลเชิงพาณิชย์ รวมทั้งเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดมาตรการ
ตั้งรับปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มลพิษทางอากาศ และสังคมสูงอายุ ซึ่งเป็นปัญหา
สำคัญเร่งด่วนของประเทศไทยที่คาดว่าจะทวีความรุนแรงมากขึ้นในอนาคตอันใกล้

5.2.2 สื่อที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งานร่วมกับระบบเตือนภัยความร้อนและหมอกควัน
ประกอบด้วย (1) Info Graphic สามารถสื่อสาร สร้างความรู้ ความเข้าใจให้กับเจ้าหน้าที่สาธารณสุข
ชุมชนได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากมีภาพแผนที่แสดงขอบเขตระดับอำเภอ ระดับการเตือนภัย และข้อมูล
พยากรณ์ครบถ้วนทุกอำเภอทำให้ประเมินสถานการณ์ในภาพรวมได้ สามารถนำไปเผยแพร่ขยายผล
ใช้งานในพื้นที่อำเภออื่นๆ ได้ แต่มีข้อเสอแนะให้พัฒนาฟังก์ชันดาวน์โหลด Info graphic ได้จากระบบ
เตือนภัยโดยตรง ซึ่งจะลดขั้นตอนการส่งต่อข้อมูลจากผู้ดูแลระบบและหน่วยงานในพื้นที่ที่สามารถ
ดำเนินการได้ด้วยตัวเอง (2) แผ่นป้ายพยากรณ์ HI และ PM10 ล่วงหน้า เป็นสื่ออย่างง่ายที่ทำให้
ประชาชนมีความเข้าใจระดับความรุนแรงของสถานการณ์ล่วงหน้ามากขึ้น เนื่องจากสีที่นำมาใช้ช่วย
กระตุ้นความสนใจ มีการอัปเดตข้อมูลพยากรณ์ทุกวัน และใช้สัญลักษณ์แสดงความรู้สึก (emotion)
ทำให้สื่อสารกับประชาชนได้ง่าย นอกจากนี้ มีข้อเสนอแนะให้ทำแผ่นป้ายพยากรณ์เป็นป้ายไฟ ซึ่งสามารถ
สั่งงานให้แสดงผลผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรือแอปพลิเคชันได้ และ (3) บทความเผยแพร่ข้อมูล
เตือนภัย เป็นช่องทางที่ทำให้ประชาชนในระดับชุมชนรับรู้ข้อมูลข่าวสารเตือนภัยได้มากที่สุด เสนอข้อมูล
ได้รวดเร็ว บ่อยครั้ง รับฟังได้ทุกเพศทุกวัย ขณะฟังสามารถทำกิจกรรมอย่างอื่นได้ และมีข้อเสนอแนะ
ให้มีการอธิบายความหมายของดัชนีความร้อนให้ประชาชนมีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น รวมถึงภาษาที่ใช้ควร
เป็นภาษาท้องถิ่น

5.2.3 ระบบเฝ้าระวังการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อนและหมอกควันที่พัฒนาขึ้น เป็นระบบที่
อาศัยการดำเนินงานเชิงบูรณาการระหว่างหน่วยงานส่วนกลาง ภูมิภาค และประชาชนในพื้นที่ ซึ่งการ
ดำเนินงานประกอบด้วย (1) ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมทำหน้าที่วิเคราะห์และจัดทำชุดข้อมูล
สถานการณ์และพยากรณ์ดัชนีความร้อนและ PM10 ล่วงหน้า (2) สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเป็นหน่วย
ประสานกลางเพื่อส่งต่อข้อมูลไปสู่ระดับอำเภอและเก็บรวบรวมข้อมูลผลการดำเนินงาน ตรวจสอบสถิติ
การเจ็บป่วย พร้อมส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลด้านการแพทย์และสุขภาพเพื่อใช้เป็นแนวทางในการ
ประเมินสถานการณ์และกำหนดมาตรการจัดการปัญหา (3) สำนักงานสาธารณสุขอำเภอพิจารณาข้อมูล
และสถานการณ์ในพื้นที่พร้อมออกคำสั่ง (แจ้งเตือนหรือไม่แจ้งเตือน) (4) โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ
ตำบลประสานการดำเนินงานร่วมกับผู้นำชุมชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น อสม./ทสม. สื่อสารเตือนภัย
สู่ภาคประชาชน พร้อมทั้งบันทึกผลการดำเนินงาน ปัญหา อุปสรรค สถิติการเจ็บป่วยกลับเข้ามายังหน่วย
ประสานกลางเพื่อดำเนินการต่อไป



ภาพที่ 5.1 ระบบเฝ้าระวังการเจ็บป่วยที่สัมพันธ์กับความร้อนและหมอกควัน

เอกสารอ้างอิง

- กมลพรรณ โคตรมณี. 2551. สถานการณ์การเผาในที่โล่งและสภาวะฝุ่นละอองในสิ่งแวดล้อมจากการเผาพื้นที่เกษตรกรรม กรณีศึกษาอำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี. ขอนแก่น: วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธาณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- เกษรพงศ์ ลีลาสิทธิกุล กรอนงค์ ยืนยงชัยวัฒน์ ศศิภา บุรณะพันธฤกษ์ ขจรศักดิ์ พงษ์พานิช พัชรี คำชู. ผลจากหมอกควันและมลพิษทางอากาศต่อระบบหัวใจและทางเดินหายใจ ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย. ธรรมศาสตร์เวชสาร ปีที่ 18 ฉบับที่ 3 ประจำเดือน กรกฎาคม - กันยายน 2561.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2554. ฐานข้อมูลมลพิษทางอากาศ บทเรียน แนวคิด และการจัดการ. กรุงเทพฯ: กอกร พับลิชชิง.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2556. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2556. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2558. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2558. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2559. รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง ปี 2559. สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงของประเทศไทย ปี 2559: กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2561. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2561. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. 2557. หนังสือคำศัพท์ด้านการบริหารจัดการความเสี่ยงจากภัยพิบัติ. กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย.
- กรมแพทย์ทหารบก. 2555. คู่มือการเฝ้าระวังป้องกันและการปฐมพยาบาลการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อน(สำหรับหน่วยสายแพทย์). กองส่งเสริมสุขภาพและเวชกรรมป้องกัน. กรมแพทย์ทหารบก.
- กรมแพทย์ทหารบก. 2560. ประกาศกรมแพทย์ทหารบก เรื่อง คำแนะนำการป้องกัน การเฝ้าระวัง การปฐมพยาบาลและการรักษาพยาบาลการบาดเจ็บจากความร้อน. กรมแพทย์ทหารบก กองทัพบก.
- กรมแพทย์ทหารเรือ. 2560. คู่มือปฏิบัติงาน (work manual). กรมแพทย์ทหารเรือ. กองทัพเรือ.
- กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. 2560. โครงการศึกษาวิเคราะห์สภาพงานอันตรายสำหรับเด็กในประเทศไทย. กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน

- กรมอนามัย. 2559. **คู่มือผลกระทบต่อสุขภาพจากความร้อนสำหรับเจ้าหน้าที่สาธารณสุข.** กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรมอนามัย.
- กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 2557. **ยุทธศาสตร์/มาตรการ แก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควัน ปี 2558.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- ณภัทร พงษ์เทอดศักดิ์. 2558. **ความรู้ความเข้าใจและพฤติกรรมในการป้องกันตนเองในภาวะหมอกควันของประชาชน ในเขตพื้นที่เทศบาลตำบลจันท์ว่า อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย.** วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. ปีที่ 8 ฉบับที่ 17 พฤษภาคม-สิงหาคม 2558.
- นันทวัน สมสุข. 2559. **คลื่นความร้อน...ภัยร้อนแสนอันตราย.** นิตยสาร สสวท. ปีที่ 44 ฉบับที่ 200.
- ปรเมศร์ อมาตยกุล. 2549. **การประมาณค่าดัชนีความร้อนโดยวิธีของ Steadman.** เอกสารวิชาการ กลุมวิชาการอตุณิยมวิทยาเกษตร สำนักพัฒนาอตุณิยมวิทยา กรมอตุณิยมวิทยา.
- พิมพ์พรรณ อัมพันธ์ทอง และปิยภัทร บุชบาบดินทร์. 2558. **การพยากรณ์ PM10 ในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยด้วยทฤษฎีเกรย์.** วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. ปีที่ 20 (ฉบับที่ 1) มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2558.
- มานัส ศรีวณิช และ สุदारัตน์ อุทธารัตน์. 2558. **สภาพแวดล้อมเชิงความร้อนฤดูร้อนและความรู้สึกสบายภายใต้ร่มเงาภายนอก อาคารและกึ่งภายนอกอาคารสำหรับการอยู่อาศัยในเขตเมืองเชียงใหม่.** JARS 12
- ลลิตา วันลิโก ปวีณา มีประดิษฐ์ และทงศักดิ์ ยิ่งรัตน์สุข. 2559. **ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาจากการสัมผัสความร้อนของ คนงานเผาถ่านชนิดเตาเผาแบบดั้งเดิมในเขตจังหวัดชลบุรี.** การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 6 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วีรพงศ์ มิตรสันเทียะ. 2561. **ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออาการเจ็บป่วยจากความร้อนของพนักงานที่รับสัมผัสความร้อน โรงงานอุตสาหกรรมหลอมโลหะ ในเขตจังหวัดระยอง.** ปริญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วุฒิชัย แพงแก้ว อัสมน ลิ้มสกุล ฤทธิรงค์ จังโกฏฐิ อัศดร คำเมือง และนิดาลักษณ์ อรุณจันทร์. 2559. **คลื่นความร้อนและการพัฒนาดัชนีความร้อนเพื่อประยุกต์ใช้ศึกษาในประเทศไทย.** วารสาร Green research. ฉบับที่ 33.
- วุฒิชัย แพงแก้ว. 2562. **การศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความร้อนในประเทศไทยและการพัฒนาเครื่องมือเตือนภัยความร้อนด้านสุขภาพ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- สิทธิชัย พิมลศรี และภูมิเมษฐ์ เมืองใจ. 2554. สถานการณ์และการเปลี่ยนแปลงมลพิษอากาศในจังหวัดพะเยา. Naresuan Phayao Journal. Vol 4, No. 3, Sep-Dec 2011.
- สำนักวิชาการ. 2559. วิกฤตคลื่นความร้อน ภัยพิบัติจากสิ่งแวดล้อม. Academic Focus.สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร.
- เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล จิฎาพร สุภาชี พานิช อินต๊ะ และเสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง. 2561. การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล PM2.5 และ PM10 ในบรรยากาศด้วยเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองไร้สายในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย. วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ฉบับที่ 2 เล่มที่ 1 หน้า 69-83.
- ศราวุธ ใบบง และจางนันท ศรีเกตุ. 2561. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงผสมกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน จากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ในพื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ. วารสารวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ปีที่ 10 ฉบับที่ 11 มกราคม – มิถุนายน 2561.
- ศิริพงศ์ สุขทวี และคณะ. 2558. โครงการพัฒนาจัดตั้งระบบแบบจำลองสภาพอากาศ-คุณภาพอากาศ: กรณีศึกษาการทำนายมลภาวะหมอกควันภาคเหนือของประเทศไทย. ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.
- อุมา กลางกุลเสน และนันทวรรณ วิจิตรวาทการ. 2561. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความร้อนที่มีต่อเกษตรกรและพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.ปีที่ 26 ฉบับที่ 4.
- อุษา ฮัมฟรี ประจันต์ วงศ์วิเศษ บุญเลิศ อาชีวะระงับโรค อังกูร หวังวงศ์ชัย ศิริพงศ์ สุขทวี. 2559. การพัฒนาแบบจำลองคู่ควาระหว่างบรรยากาศ (WRF) และมหาสมุทร (ROMS) เพื่อการพยากรณ์ฝนรายฤดูสำหรับประเทศไทย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อัจฉริย์ ทิพนธธรณินทร์. 2558. แนวทางการแก้ปัญหาหมอกควันสำหรับจังหวัดเชียงใหม่. วารสารด้านการบริหารรัฐกิจและการเมือง. 4 (1): 72 - 105.
- อัศมน ลิ้มสกุลและคณะ. 2558. โครงการพัฒนาดัชนีความร้อนและการประยุกต์ใช้ศึกษาค้นความร้อนในประเทศไทย. รายงานฉบับสมบูรณ์. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.
- Analitis, A., Michelozzi, P., D'Ippoliti, M., de'Donato, F., Menne, B., Matthies, F., Atkinson, R.W., Iñiguez, C., Basagaña, X., Schneider, A., Lefranc, A., Paldy, A., Bisanti, L. and Katsouyanni, K. 2014. Effects of heat waves on mortality: Effect modification and confounding by air pollutants. Epidemiology. 25 (1): 15 - 22.

- 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.
- 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.
- Carina J. Gronlund, Antonella Zanobetti, Joel D. Schwartz, Gregory A. Wellenius, and Marie S. O'Neill. 2014. **Heat, Heat Waves, and Hospital Admissions among the Elderly in the United States, 1992–2006.** Environmental Health Perspectives • volume 122 | number 11 November 2014.
- Chantara, S., S. Sillapapiromsuk, and W. Wiriya. 2012. **Atmospheric pollutants in Chiang Mai (Thailand) over a five-year period (2005-2009), their possible sources and relation to air mass movement.** Atmospheric Environment. 60: 88 - 98.
- Cheng, Y. and Kan, H. 2012. **Effect of the interaction between outdoor air pollution and extreme temperature on daily mortality in Shanghai.** China. Journal of Epidemiology. 2 (1): 28 - 36.
- 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.
- Emmons, L. K., et al. 2010. **Description and evaluation of the Model for Ozone and Related chemical Tracers, version 4 (MOZART-4).** Geosci Model Dev. 3 (1): 43 - 67.
- EPA. 1992. **Protocol for determining the best performance model.** Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park. NC.
- Epstein, Y. and Moran, D.S. 2006. **Thermal comfort and the heat stress indices.** Industrial Health. 44: 388 - 398.
- Ernesto Jauregui. 2009. **The heat spells of Mexico City.** Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 70, 2009: 71-76.
- 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.

- Fischer, G., F.N. Tubiello, H. van Velthuisen, and D.A. Wiberg. 2007. **Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990-2080.** Technol. Forecast. Soc. Change, 74: 1083 - 1107
- 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.
- Gaffen, D.J. and Ross, R.J. 1998. **Increased summertime heat stress in the US.** Nature. 396: 529 - 530.
- Harlan, S.L. and Ruddell, D.M. 2011. **Climate change and health in cities: Impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation.** Current Opinion in Environmental Sustainability. 3: 126 - 134.
- Havenith.1999. **Heat balance when wearing protective clothing.** Ann Occup Hyg. 1999 Jul;43(5): 289 - 96.
- IPCC. 2012. **Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation.** A special report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge United Kingdom and New York. NY USA: 582.
- 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 [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York. NY USA: 1535.
- IPCC. 2014. **Climate Change 2013: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland: 151.
- Janssens-Maenhout, G., et al. 2011. **EDGAR-HTAP: a harmonized gridded air pollution emission dataset based on national inventories, European**

- Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability Italy.
- Janssens-Maenhout, G., et al. 2015. **HTAP_v2.2: a mosaic of regional and global emission grid maps for 2008 and 2010 to study hemispheric transport of air pollution**. *Atmos. Chem. Phys.* 15 (19): 11411 - 11432.
- Kim Oanh, N. T., and K. Leelasakultum. 2011. **Analysis of meteorology and emission in haze episode prevalence over mountain-bounded region for early warning**. *Science of The Total Environment*. 409 (11): 2261 - 2271.
- 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 longterm prospect**. *International Journal of Climatology*. 30: 89 - 109.
- 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.
- Kovats, S., and Ebi, K. 2006. **Heatwaves and public health in Europe**. *The European Journal of Public Health* 16(6).
- Kovats RS, Hajat S. 2008. **Heat stress and public health: a critical review**. *Annu Rev Public Health*. 2008; 29: 41-55.
- Kurokawa, J., T. Ohara, T. Morikawa, S. Hanayama, G. Janssens-Maenhout, T. Fukui, K. Kawashima, and H. Akimoto. 2013. **Emissions of air pollutants and greenhouse gases over Asian regions during 2000-2008: Regional Emission inventory in ASia (REAS) version 2**. *Atmos. Chem. Phys.* 13 (21): 11019 - 11058.
- 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.
- Litta, H. 2012. **Case Study One: Transboundary Haze Pollution, Regimes in Southeast Asia: An Analysis of Environmental Cooperation** edited, 89 - 138.
- M. Pascala M. Corsoa O. Chanelb C. Declercqa C. Badalonic G. Cesaronic S. Henscheld K. Meistere D. Haluzaf P. Martin-Olmedog S. Medinaa on behalf of the Aphekom

- group. 2013. **Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: Results of the Aphekom project.** *Science of The Total Environment*. Volume 449, 1 April 2013: 390 - 400.
- Meehl & Tebaldi. 2004. **More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century.** *Science* 305(5686): 994 - 7
- Nairn, J. and Fawcett, R. 2013. **Defining heatwaves: heatwave defined as a heat-impact event servicing all community and business sectors in Australia.** The Centre for Australian Weather and Climate Research - a partnership between CSIRO and the Bureau of Meteorology. CAWCR Technical Report. No. 060
- National Center for Atmospheric Research. 2016. **User's Guide for the Advanced Research WRF (ARW) Modeling System Version 3.7, Mesoscale and Microscale Meteorology Laboratory.** National Center for Atmospheric Research.
- National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA]. 2014. **Global Climate Report - Annual 2014.**
- Peckham, S. E., J. D. Fast, R. Schmits, G. A. Grell, W. I. Gustafson, S. A. McKeen, S. J. Ghan, R. Ahmadov, R. Zaveri, and P. Marrapu. 2015. **WRF-Chem Version 3.7 User's Guide,** National Center for Atmospheric Research (NCAR), University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), Max Plank Institute, University of Chile, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.
- 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.
- Pinacho-Velazquez. 2014. **Heat stroke in the children.** *Revista Mexicana de Pediatría* 81(3): 115 - 119
- 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.
- Quansah, Joseph E.; Engel, Bernard; and Rochon, Gilbert L. 2010. **" Early Warning Systems: A Review.***Journal of Terrestrial Observation*: Vol. 2 : Iss. 2 , Article 5.

- 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.
- Robinson, P. J. 2001. **On the definition of a heat wave.** Journal of Applied Meteorology. 40: 762 - 775.
- 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.
- Seinfeld, J. H., and S. N. Pandis. 1997. **Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change.** A Wiley-Interscience Publication.
- Shaposhnikov, D., Revich, B., Bellander, T., Bedada, G.B., Bottai, M., Kharkova, T., Kvasha, E., Lezina, E., Lind, T., Semutnikova, E. and Pershagen, G. 2014. **Mortality related to air pollution with the Moscow Heat Wave and wildfire of 2010.** Epidemiology. 25(3): 359 - 364.
- 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.
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers. 2008. **A Description of the Advanced Research WRF Version 3, Mesoscale and Microscale Meteorology Division.** National Center for Atmospheric Research. Colorado.
- Smith, K.R., Woodward, A., Campbell-Lendrum, D, Chadee, D.D., Honda, Y., Liu, Q., Olwoch, J.M., Revich, B. and Sauerborn, R. 2014. **Human health: impacts, adaptation, and co-benefits.** In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.** Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O.

- Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York. NY USA: 709 - 754.
- Sooktawee, S., Humphries, U., Patpai, A., Kongsong, R., Boonyapitak, S. and Piemyai, N. 2015. **Visualization and interpretation of PM10 monitoring data related to causes of haze episodes in Northern Thailand.** Applied Environmental Research. 37 (2): 33 - 48.
- 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.
- Tiyapairat, Y., and E. Sajor. 2012. **State simplification, heterogeneous causes of vegetation fires and implications on local haze management: case study in Thailand.** Environment, Development and Sustainability. 14 (6): 1047 - 1064.
- United Nations Environment Programme (UNEP). 2012. **Early Warning Systems A State of the Art Analysis and Future Directions.** Job Number: DEW/1531/NA.
- UNFCCC. 2016. **Paris Agreement United Nations Framework on Climate Change Convention.** (http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php.)
- U. S. Environmental Protection Agency. 2005. **Guidelines for Carcinogen Risk Assessment.** EPA/630/P-03/001F, March 2005.
- Vallack, H. 2012. **The Global Atmospheric Pollution Forum Air Pollutant Emission Inventory Manual Version 5.** Stockholm Environment Institute. Environment Department University of York. YORK UK.
- Wiedinmyer, C., S. K. Akagi, R. J. Yokelson, L. K. Emmons, J. A. Al-Saadi, J. J. Orlando, and A. J. Soja. 2011. **The Fire INventory from NCAR (FINN): a high resolution global model to estimate the emissions from open burning.** Geosci. Model Dev. 4 (3): 625 - 641.

- Wiriya, W., T. Prapamontol, and S. Chantara. 2013. **PM10-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Chiang Mai (Thailand) : Seasonal variations, source identification, health risk assessment and their relationship to air-mass movement.** Atmospheric Research. 124: 109 - 122.
- World Meteorological Organization (WMO). 1999. **thirteenth world meteorological congress.** geneva. 4–26 may 1999 abridged final report with resolutions.
- WMO (World Meteorological Organization) and WHO (World Health Organization). 2015. **Heatwaves and health: Guidance on warning-system development.** WMO-No. 1142: 96
- WMO-WHO. 2 0 1 0 . **Heat wave and health: Guidance on warning system development.** The World Meteorological Organization and the World Health Organization: 88
- World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe. 2 0 0 8 . **Heat-Health Action Plan.** (Eds: Franziska Matthies et al): 3.
(http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/95919/E91347.pdf)
- Zahid, M. and Rasul, G. 2010. **Rise in summer heat index over Pakistan.** Pakistan Journal of Meteorology. 6 (12): 85 - 96.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แหล่งข้อมูลการพยากรณ์สภาพอากาศล่วงหน้า

แหล่งข้อมูลการพยากรณ์สภาพอากาศล่วงหน้า

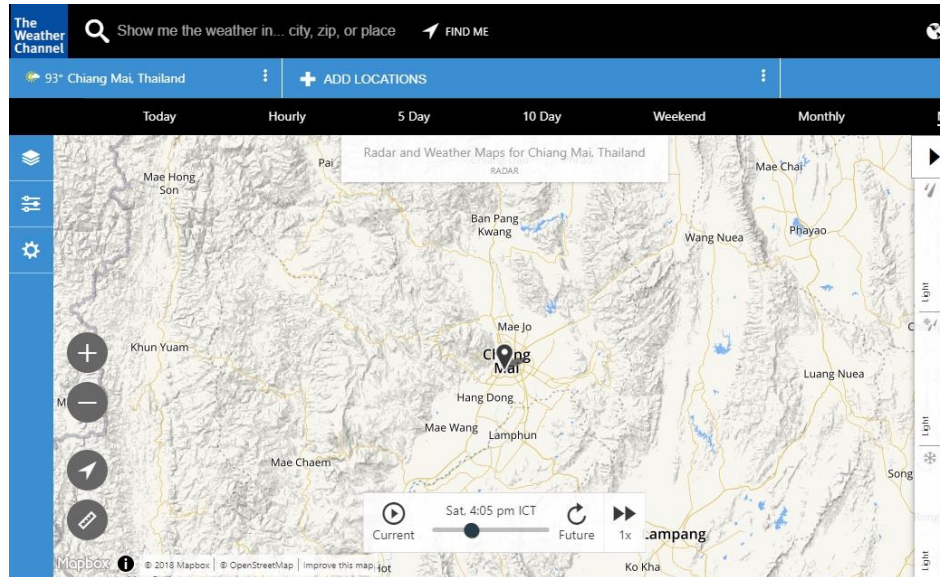
1. www.weather.com

เป็นเว็บไซต์พยากรณ์คุณภาพอากาศทั่วโลก และเป็นเว็บไซต์ที่ www.google.com เชื่อมโยงข้อมูลเพื่อให้บริการแก่ผู้ใช้งานทั่วไป ซึ่งข้อมูลพยากรณ์คุณภาพอากาศที่สามารถเข้าถึงได้ผ่านทางเว็บไซต์ www.weather.com (ภาพที่ 1) ประกอบด้วย

1) การพยากรณ์คุณภาพอากาศรายวัน การพยากรณ์คุณภาพอากาศรายชั่วโมง การพยากรณ์คุณภาพอากาศราย 10 วัน ล่วงหน้า และการพยากรณ์คุณภาพอากาศรายเดือน ประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้ (1) สภาพอากาศโดยทั่วไป จะให้ข้อมูลในรูปแบบของคำอธิบาย เช่น partly หรือ cloudy (2) ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด/ ต่ำสุด (3) ข้อมูล UV index (4) ข้อมูลความเร็วลม (5) ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (6) ข้อมูล Dew point (7) ข้อมูลความกดอากาศ และ (8) ข้อมูลทัศนวิสัย (Visibility)

2) การพยากรณ์คุณภาพอากาศวันที่ผ่านมาไม่สามารถเข้าถึงได้โดยตรงผ่านทาง www.weather.com ซึ่งเมื่อทำการสืบค้นในรายละเอียด พบว่า ได้มีการเชื่อมต่อแหล่งข้อมูลไปที่ www.wunderground.com ซึ่งข้อมูลพยากรณ์อากาศจะแสดงผลในแผนที่ ซึ่งมีทั้งข้อมูลพยากรณ์อากาศโดยทั่วไปและข้อมูลแผนที่ปัญหาด้านคุณภาพอากาศ (Severe Weather Map) แผนที่อุณหภูมิ ความเร็วลม จุดน้ำค้าง (Dew point) ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน แผนที่ Radar แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม อุณหภูมิผิวทะเล พายุเฮอริเคน พายุไต้ฝุ่น และรายงานพายุ (Storm report) เป็นต้น

3) การพยากรณ์คุณภาพอากาศสำหรับการดำเนินกิจกรรมบางประเภท เช่น การพยากรณ์คุณภาพอากาศเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดภูมิแพ้ (Allergy tracker) การทำเกษตร (Farming) การตกปลา (Fishing) การพายเรือ (Boat & beach) การวิ่ง (Go run) การเล่นสกี (Sky forecast) และการหลีกเลี่ยงการติดเชื้อหวัด (Cold & flu) เป็นต้น



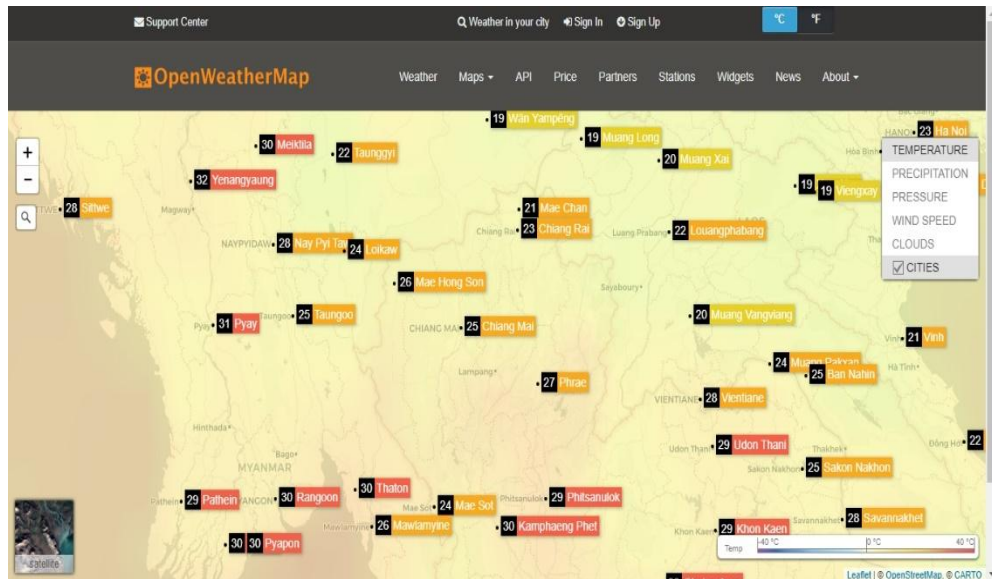
ภาพที่ 1 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า www.weather.com

2. www.openweathermap.com

เป็นเว็บไซต์พยากรณ์สภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศต่าง ๆ สามารถเข้าถึงได้โดยตรงผ่านทางเว็บไซต์ www.openweathermap.com (ภาพที่ 2) ประกอบด้วย

1) การพยากรณ์สภาพอากาศรายวัน การพยากรณ์สภาพอากาศราย 3 ชั่วโมง และการพยากรณ์สภาพอากาศราย 13 วัน ล่วงหน้า มีข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้ สภาพอากาศทั่วไปให้ข้อมูลในรูปแบบของคำอธิบาย เช่น sky is clear light rain อุณหภูมิเฉลี่ย ความเร็วลม % ก้อนเมฆ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ ปริมาณฝน เวลาพระอาทิตย์ขึ้น พระอาทิตย์ตก รวมทั้งแสดงผลในรูปแบบแผนที่แสดงการพยากรณ์อากาศ

2) www.openweathermap.com ให้บริการ API (application programming interface) สำหรับผู้พัฒนาเว็บไซต์หรือเว็บแอปพลิเคชันต่าง ๆ สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศมีข้อมูลให้เลือกใช้ทั้งข้อมูลในปัจจุบัน ข้อมูล 3 วัน ล่วงหน้า ข้อมูล 16 วัน ล่วงหน้า และข้อมูลในอดีต



ภาพที่ 2 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า www.openweathermap.com

3. www.yahoo.com/news/weather

เป็นเว็บไซต์พยากรณ์คุณภาพอากาศทั่วโลก และเป็นเว็บไซต์ที่ www.yahoo.com (ภาพที่ 3) ให้บริการแก่ผู้ใช้งาน yahoo.mail หรือ yahoo application ทั่วไป โดยข้อมูลสภาพอากาศที่สามารถสืบค้นได้ในเว็บไซต์นี้ ประกอบด้วย

- 1) ข้อมูลสภาพอากาศทั่วไป ซึ่งเป็นข้อมูลรายชั่วโมง รายวัน 10 วันล่วงหน้า พร้อมทั้งให้ข้อมูลในรูปแบบของคำอธิบาย เช่น อุณหภูมิสูงสุด (max temperature) อุณหภูมิต่ำสุด (min temperature) ปริมาณน้ำฝน (precipitation) ความเร็วลม (Wind) ความชื้นสัมพัทธ์ (humidity) ความกดอากาศ (pressure) พระอาทิตย์ขึ้น (sunrise) พระอาทิตย์ตก (sunset) เป็นต้น



ภาพที่ 3 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า www.yahoo.com/news/weather

4. www.worldweatheronline.com

เป็นเว็บไซต์พยากรณ์สภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศต่าง ๆ สามารถเข้าถึงได้โดยตรงผ่านทางเว็บไซต์ www.worldweatheronline.com (ภาพที่ 4) ประกอบด้วย

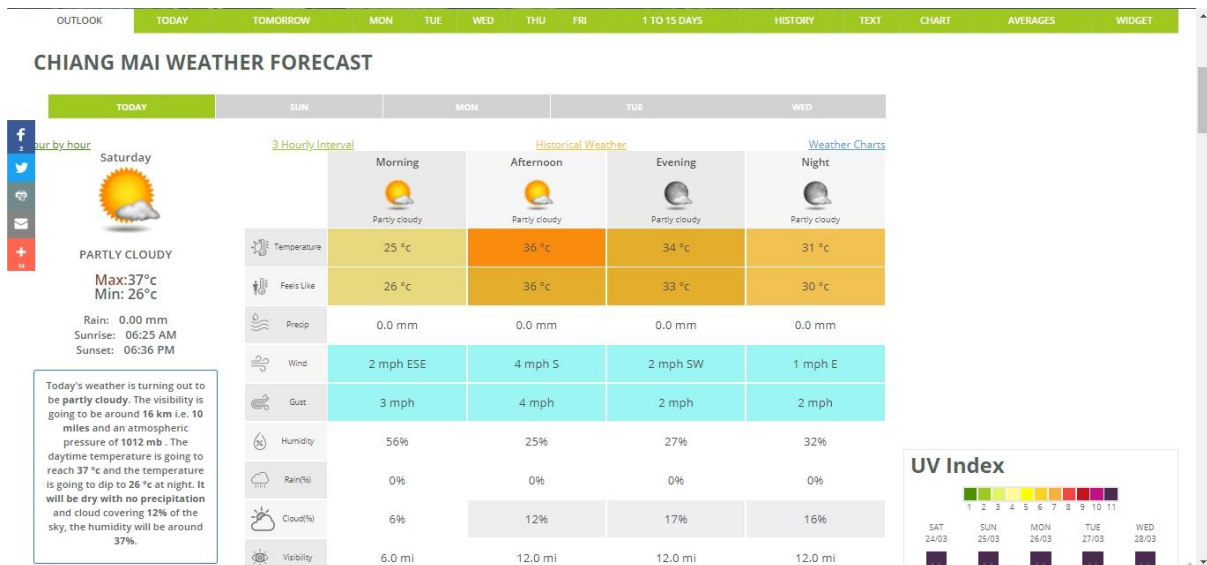
1) ข้อมูลสภาพอากาศทั่วไป ให้ข้อมูลในรูปแบบของคำอธิบาย เช่น partly หรือ cloudy มีข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ หยาดน้ำฟ้า ความเร็วลม ลมกรรโชกแรง ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ เวลาพระอาทิตย์ขึ้น เวลาพระอาทิตย์ตก เวลาดวงจันทร์ขึ้น เวลาดวงจันทร์ตก และดัชนี UV

2) ข้อมูลพยากรณ์คุณภาพอากาศรายวัน รายชั่วโมง ราย 3 ชั่วโมง ราย 15 วัน ล่วงหน้า และรายเดือน

3) ข้อมูลสภาพอากาศรายวันในอดีตและรายชั่วโมง ประกอบด้วย ค่าอุณหภูมิ ทิศนวิสัย ความกดอากาศ เมฆปกคลุม ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความสูงของหิมะ ปริมาณฝน และจุดน้ำค้าง

4) สามารถคัดเลือกดูค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าต่ำสุดของข้อมูลต่าง ๆ ได้ทั้งราย 1 เดือน 3 เดือน 6 เดือน และ 1 ปี

5) www.worldweatheronline.com ให้บริการ API (application programming interface) สำหรับผู้พัฒนาเว็บไซต์หรือเว็บแอปพลิเคชันต่าง ๆ สามารถนำไปใช้งานได้ เช่น Ski and mountain weather api, worldwild city and town weather api, past/ historical weather api และ marine/sailing weather api เป็นต้น

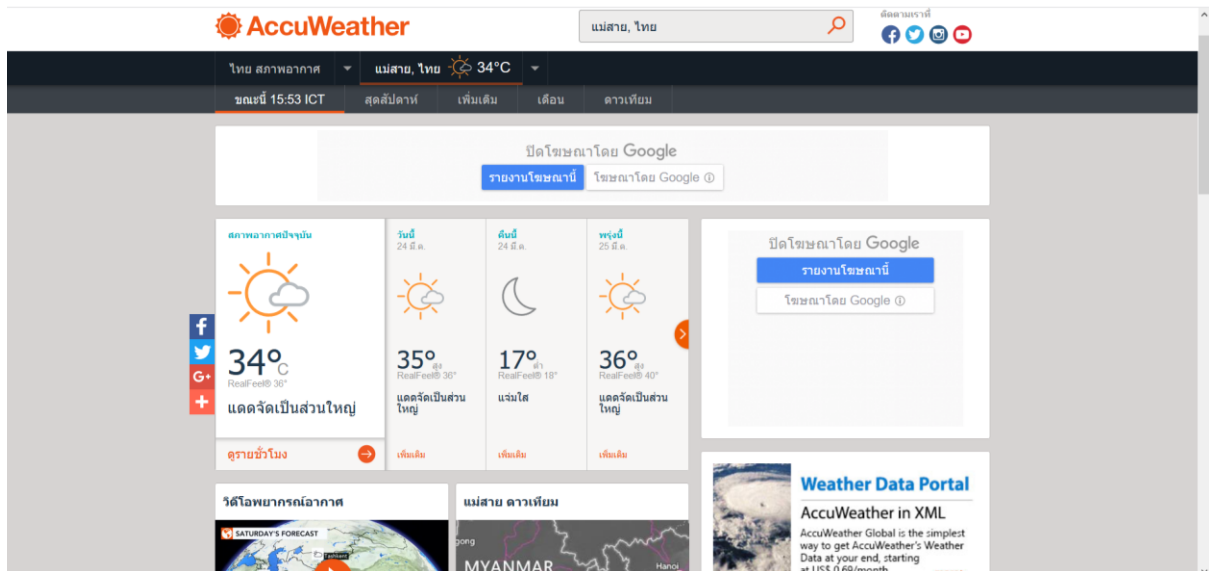


ภาพที่ 4 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า www.worldweatheronline.com

5. www.accuweather.com

เป็นเว็บไซต์พยากรณ์สภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศต่าง ๆ สามารถเข้าถึงได้ผ่านทางเว็บไซต์ www.accuweather.com (ภาพที่ 5) ประกอบด้วย

- 1) ข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศ 90 วันล่วงหน้า เช่น ดัชนี UV พายุฝนฟ้าคะนอง หยาดน้ำฟ้า ปริมาณฝน หิมะ และชั่วโมงที่ฝนตก เป็นต้น
- 2) ข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมง โดยสามารถดูค่า ดัชนี UV เมฆปกคลุม (%) ความชื้นสัมพัทธ์ จุดน้ำค้าง ทิศนวิสัย เวลาพระอาทิตย์ขึ้น พระอาทิตย์ตก เวลาดวงจันทร์ขึ้น ดวงจันทร์ตก และความเร็วลม
- 3) ข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศช่วงวันหยุด สภาพอากาศรายเดือน (บอกรายละเอียดเป็นรายวัน)
- 4) ให้บริการ API (application programming interface) สำหรับผู้พัฒนาเว็บไซต์ สามารถนำไปใช้งานได้ ทั้งนี้ API ที่ให้บริการเป็นแบบใหม่ คือ JSON (JavaScript Object Notation) หมายถึงรูปแบบของข้อมูลที่ใช้สำหรับแลกเปลี่ยนข้อมูลที่มีขนาดเล็ก ซึ่งผู้พัฒนาสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย



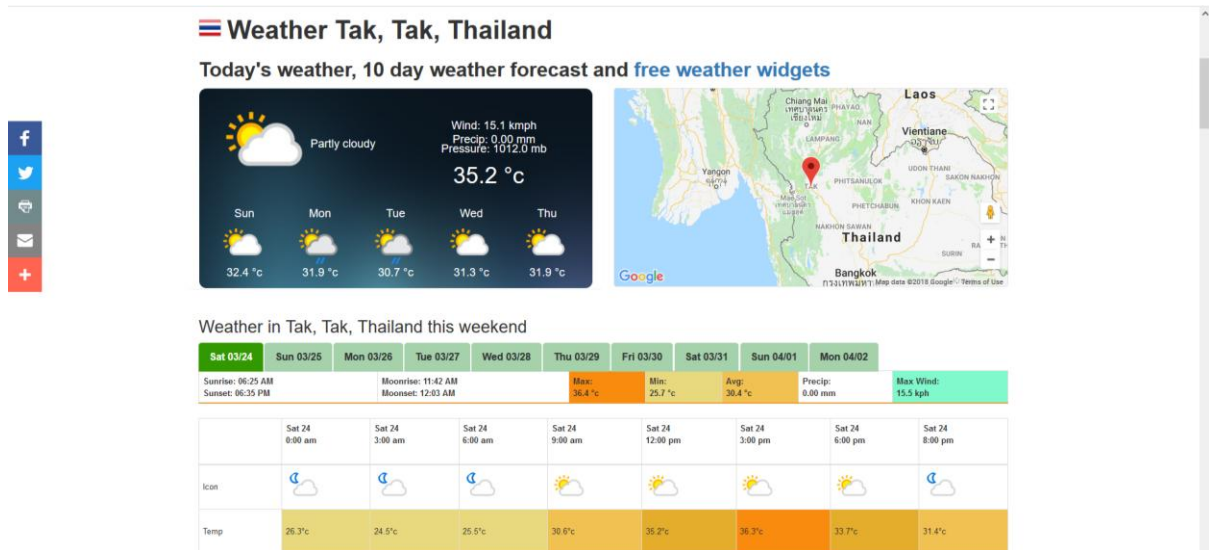
ภาพที่ 5 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า www.accuweather.com

6. www.apixu.com

เป็นเว็บไซต์พยากรณ์สภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศต่าง ๆ สามารถเข้าถึงได้ผ่านทางเว็บไซต์ www.apixu.com (ภาพที่ 6) ประกอบด้วย

1) ข้อมูลสภาพอากาศในปัจจุบัน สภาพอากาศราย 3 ชั่วโมง และข้อมูลพยากรณ์อากาศ 10 วันล่วงหน้า โดยสามารถดูค่าสภาพอากาศทั่วไป ประกอบด้วย อุณหภูมิเฉลี่ย เมฆปกคลุม (%) ความชื้นสัมพัทธ์ เวลาพระอาทิตย์ขึ้น พระอาทิตย์ตก เวลาดวงจันทร์ขึ้น ดวงจันทร์ตก ความเร็วลม ความกดอากาศ และปริมาณน้ำฝน

2) ให้บริการ API (application programming interface) สำหรับผู้พัฒนาเว็บไซต์ สามารถนำไปใช้งานได้ ทั้งนี้มี API 2 แบบให้เลือกใช้งาน คือ JSON (JavaScript Object Notation) และ XML (Extensible Markup Language) ซึ่งสามารถเข้าถึงทั้งข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน (real time) ข้อมูลพยากรณ์ล่วงหน้า และข้อมูลสภาพอากาศในอดีตได้



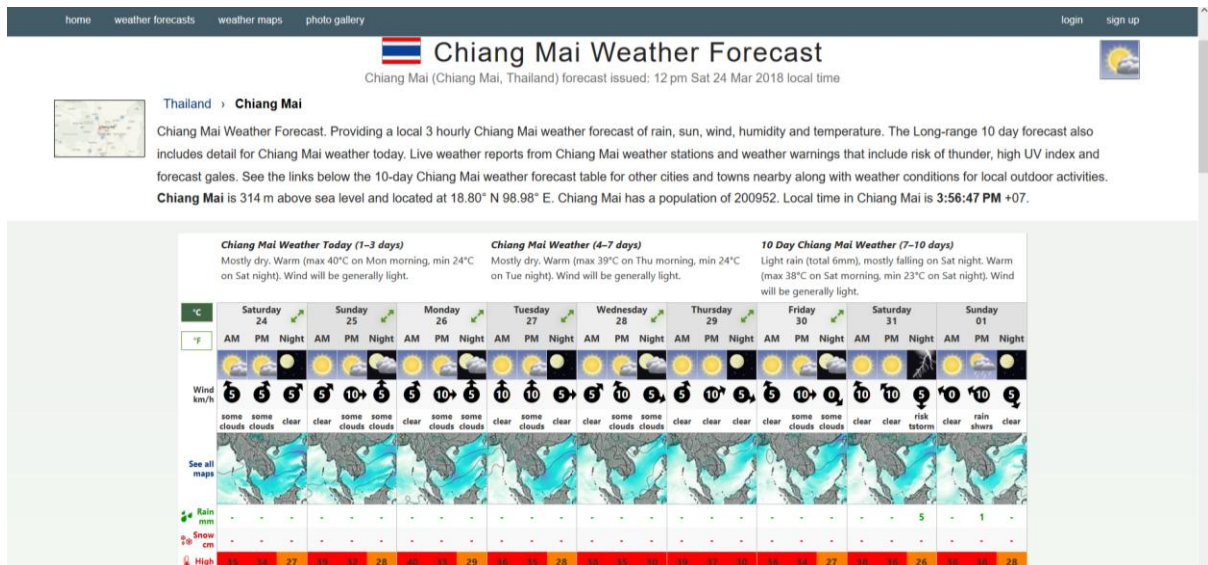
ภาพที่ 6 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า www.apixu.com

7. www.weather-forecast.com

เป็นเว็บไซต์พยากรณ์สภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศต่าง ๆ สามารถเข้าถึงได้ผ่านทางเว็บไซต์ www.weather-forecast.com (ภาพที่ 7)

1) พยากรณ์สภาพอากาศ โดยทำการอัปเดตข้อมูลวันละ 4 ครั้ง พยากรณ์อากาศ 10 วันล่วงหน้า แสดงข้อมูลสรุปและรายละเอียดของสภาพอากาศ ปริมาณฝน ทิศ ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

2) ข้อมูลสภาพอากาศในปัจจุบัน สภาพอากาศราย 3 ชั่วโมง และข้อมูลพยากรณ์อากาศ 10 วัน สภาพอากาศช่วงเช้า ช่วงบ่าย ช่วงกลางคืน เวลาพระอาทิตย์ขึ้น และพระอาทิตย์ตก



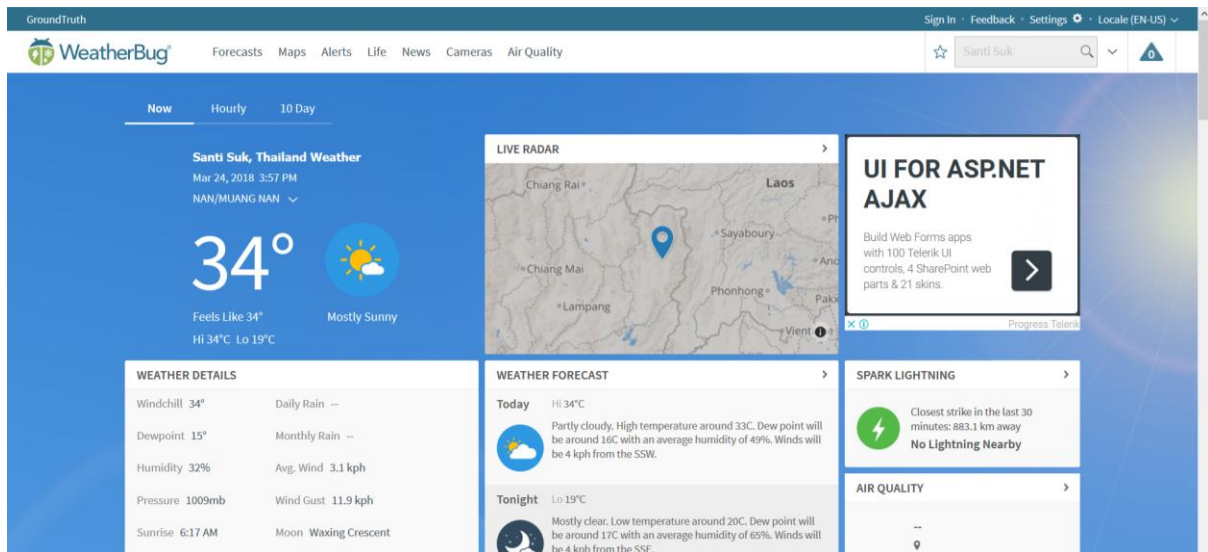
ภาพที่ 7 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า www.weather-forecast.com

8. www.weatherbug.com

เป็นเว็บไซต์พยากรณ์อากาศทั่วโลก (ภาพที่ 8) ให้บริการข้อมูล Wind chill Dew point ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ เวลาพระอาทิตย์ขึ้น พระอาทิตย์ตก ปริมาณฝนรายวัน ปริมาณฝนรายเดือน ความเร็วลม ความเร็วลมกรรโชก และ UV index

1) ข้อมูลสภาพอากาศทั่วไป ข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศราย 10 วัน ล่วงหน้า โดยแยกช่วงเวลากลางวัน กลางคืน ประกอบด้วย อุณหภูมิ dew point ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

2) ข้อมูลพยากรณ์อากาศรายชั่วโมง ประกอบด้วย ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และจุดน้ำค้าง (Dew point)



ภาพที่ 8 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า www.weatherbug.com

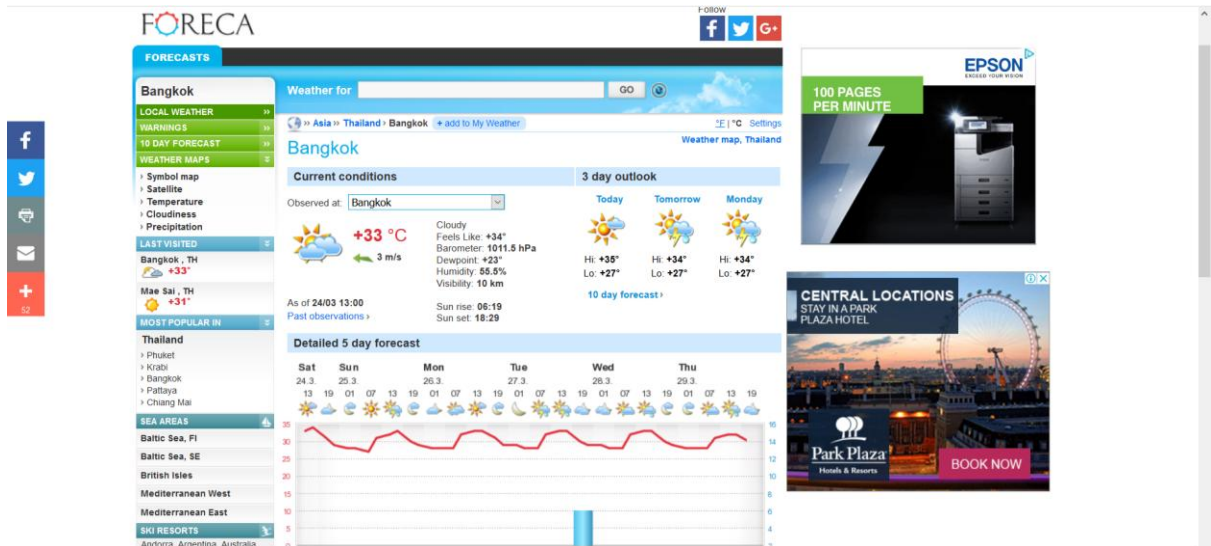
9. www.foreca.com

เว็บไซต์ www.foreca.com เป็นเว็บไซต์ที่พยากรณ์สภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศต่าง ๆ สามารถเข้าถึงได้โดยตรง (ภาพที่ 9) ประกอบด้วย

1) ข้อมูลที่สามารถสืบค้นได้จากเว็บ foreca.com เป็นข้อมูลสภาพอากาศในปัจจุบัน ข้อมูลพยากรณ์อากาศ 3 วันล่วงหน้า 5 วันล่วงหน้า และ 10 วันล่วงหน้า

2) ข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้ ประกอบด้วย ข้อมูลอุณหภูมิที่รู้สึกได้ (feel like) อุณหภูมิสูงสุด/ต่ำสุด ความกดอากาศ dew point ความชื้นสัมพัทธ์ ทิศนวิสัย เวลาพระอาทิตย์ขึ้น พระอาทิตย์ตก ความเร็วลม และคาดการณ์ปริมาณน้ำฝน

3) www.foreca.com เป็นเว็บไซต์ที่มี API สำหรับผู้พัฒนาเว็บไซต์ สามารถนำไปใช้งานได้ ทั้งนี้เว็บไซต์ที่ให้บริการ เช่น www.msn.com เป็นต้น

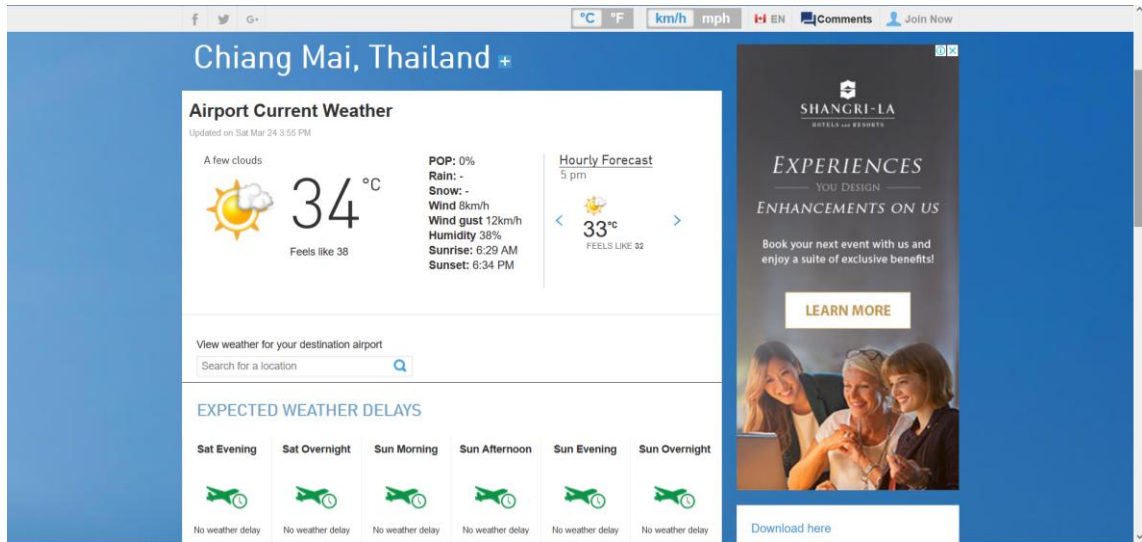


ภาพที่ 9 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า www.foreca.com

10. www.theweathernetwork.com

เป็นเว็บไซต์พยากรณ์สภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศต่าง ๆ สามารถเข้าถึงได้โดยตรงผ่านทางเว็บไซต์ www.theweathernetwork.com (ภาพที่ 10) ประกอบด้วย

- 1) ข้อมูลสภาพอากาศในปัจจุบัน (real time) เช่น อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด ความเร็วลม ความเร็วลมกรรโชก ความชื้นสัมพัทธ์ เวลาพระอาทิตย์ขึ้น และพระอาทิตย์ตก
- 2) ข้อมูลพยากรณ์อากาศรายชั่วโมง ราย 36 ชั่วโมง ช่วงวันหยุด 7 วันล่วงหน้า และ 14 วันล่วงหน้า ประกอบด้วย อุณหภูมิ อุณหภูมิรู้สึก ปริมาณความเป็นไปได้ของการเกิดฝน (probability of precipitation) ปริมาณฝน ความเร็วลม และความเร็วลมกรรโชก
- 3) ข้อมูลพยากรณ์อากาศ 2 วันล่วงหน้า ในช่วงเวลาเช้า บ่าย และกลางคืน ข้อมูลประกอบด้วย อุณหภูมิ อุณหภูมิที่รู้สึกได้ ปริมาณฝน ความเร็วลม และความเร็วลมกรรโชก



ภาพที่ 10 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า www.theweathernetwork.com

11. www.timeanddate.com

เป็นเว็บไซต์พยากรณ์สภาพอากาศทั่วโลก เข้าถึงได้ผ่าน www.timeanddate.com (ภาพที่ 11)

1) ข้อมูลพยากรณ์อากาศประจำวัน สามารถดูข้อมูลอุณหภูมิ สภาพอากาศทั่วไป อุณหภูมิที่รู้สึกได้ อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด ความเร็วลม ทิศนวิสัย ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

2) ข้อมูลพยากรณ์อากาศรายชั่วโมง ข้อมูลอุณหภูมิ สภาพอากาศทั่วไป อุณหภูมิที่รู้สึกได้ อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด ความเร็วลม ทิศนวิสัย ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝนคาดการณ์

3) ข้อมูลพยากรณ์อากาศ 14 วันล่วงหน้า ข้อมูลอุณหภูมิ สภาพอากาศทั่วไป อุณหภูมิที่รู้สึกได้ อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝนคาดการณ์ UV index เวลาพระอาทิตย์ขึ้น และพระอาทิตย์ตก

4) ข้อมูลพยากรณ์อากาศในอดีต 15 วัน ประกอบด้วยอุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และทิศนวิสัย

5) ให้บริการ API (application programming interface) สำหรับผู้พัฒนาเว็บไซต์ สามารถนำไปเชื่อมต่อเพื่อใช้งานได้

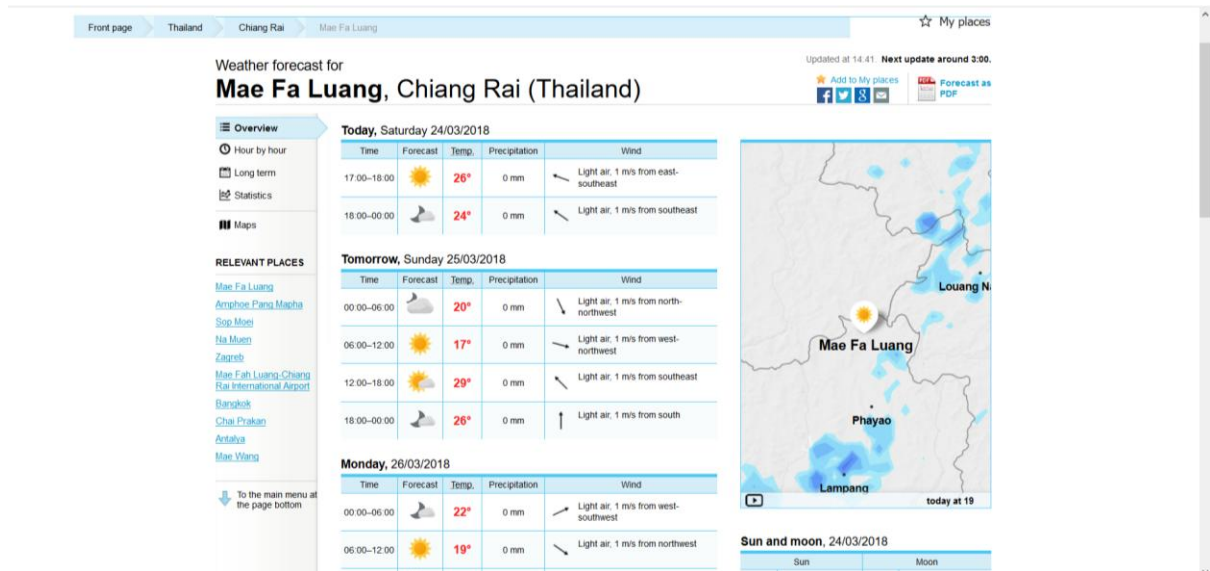


ภาพที่ 11 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า www.timeanddate.com

12. www.yr.no

เป็นเว็บไซต์ของประเทศนอร์เวย์ พยากรณ์สภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศต่าง ๆ สามารถเข้าถึงได้โดยตรงผ่านทางเว็บไซต์ www.yr.no (ภาพที่ 12) ประกอบด้วย

- 1) ข้อมูลสภาพอากาศในวันปัจจุบันแบบรายชั่วโมง 3 วันล่วงหน้า ประกอบด้วย สภาพอากาศ โดยทั่วไป อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง และเมฆปกคลุม
- 2) ข้อมูลพยากรณ์อากาศ 3 วันล่วงหน้า และ 10 วันล่วงหน้า ประกอบด้วย อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความเร็วลม
- 3) ให้บริการ API (application programming interface) สำหรับผู้พัฒนาเว็บไซต์ สามารถนำไปใช้งานได้ แบบ XML (Extensible Markup Language)



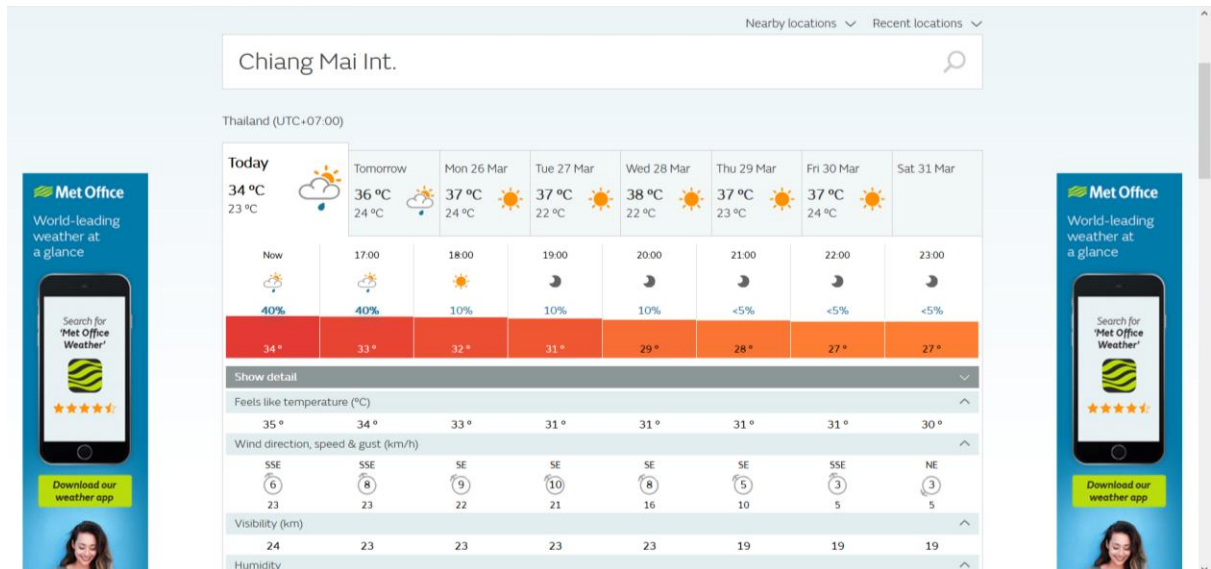
ภาพที่ 12 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า www.yr.no

13. www.metoffice.gov.uk/public/weather/forecast

เป็นเว็บไซต์ของประเทศอังกฤษ พยากรณ์สภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศต่าง ๆ สามารถเข้าถึงได้โดยตรงผ่านทางเว็บไซต์ www.metoffice.gov.uk/public/weather/forecast (ภาพที่ 13) ประกอบด้วย

1) ข้อมูลการพยากรณ์อากาศในวันปัจจุบันและ 7 วันล่วงหน้า ข้อมูลที่ให้บริการประกอบด้วยสภาพอากาศโดยทั่วไป อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด อุณหภูมิรู้สึกได้ ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ความเร็วลมกรรโชก ทิศนวิสัย ความชื้น และ UV index

2) ข้อมูลการพยากรณ์อากาศรายชั่วโมงในวันปัจจุบันและวันที่ 1,2 วันล่วงหน้า และราย 3 ชั่วโมงในวันที่ 3,4,5,6,7 ข้อมูลที่ให้บริการประกอบด้วย สภาพอากาศโดยทั่วไป อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด อุณหภูมิรู้สึกได้ ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ความเร็วลมกรรโชก ทิศนวิสัย ความชื้น และ UV index



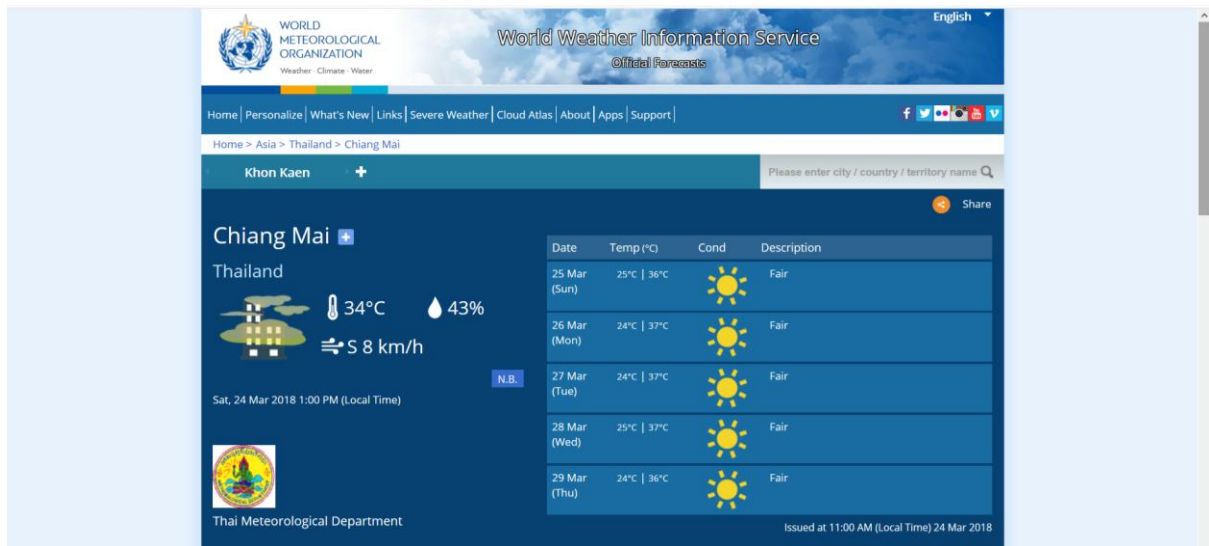
ภาพที่ 13 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า

www.metoffice.gov.uk/public/weather/forecast

14. <http://worldweather.wmo.int/en/home.html>

เป็นเว็บไซต์พยากรณ์อากาศของประเทศฮ่องกง พยากรณ์สภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศต่าง ๆ สามารถเข้าถึงได้โดยตรงผ่านทางเว็บไซต์ <http://worldweather.wmo.int/en/home> (ภาพที่ 14) ประกอบด้วย

- 1) ข้อมูลสภาพอากาศรายวัน ประกอบด้วย อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม เวลาพระอาทิตย์ขึ้น และพระอาทิตย์ตก จำนวน 5 วันล่วงหน้า
- 2) ข้อมูลพยากรณ์อากาศรายเดือน โดยบอกเป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย และวันฝนตกเฉลี่ย
- 3) ข้อมูลพยากรณ์อากาศเฉลี่ยรายเดือน 30 ปี โดยบอกเป็น ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย



ภาพที่ 14 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า

<http://worldweather.wmo.int/en/home>

15. <http://en.sat24.com/en/wd/world>

เป็นเว็บไซต์พยากรณ์สภาพอากาศทั่วโลก ซึ่งข้อมูลพยากรณ์สภาพอากาศต่าง ๆ สามารถเข้าถึงได้โดยตรงผ่านทางเว็บไซต์ <http://en.sat24.com/en/wd/world> (ภาพที่ 15) ประกอบด้วย

- 1) ข้อมูลสภาพอากาศวันที่ ณ ปัจจุบัน มีข้อมูลประกอบด้วย อุณหภูมิ ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝนและความกดอากาศ
- 2) ข้อมูลพยากรณ์อากาศราย 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันล่วงหน้า ซึ่งสามารถเรียกดูข้อมูล อุณหภูมิ ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และความกดอากาศ
- 3) ข้อมูลพยากรณ์อากาศ 5 วัน ล่วงหน้า ซึ่งสามารถเรียกดูข้อมูล อุณหภูมิ ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และความกดอากาศ
- 4) ข้อมูลพยากรณ์ช่วงวันหยุด (เสาร์-อาทิตย์) ล่วงหน้า 1 สัปดาห์ ซึ่งสามารถเรียกดูข้อมูล อุณหภูมิ ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และความกดอากาศ
- 5) มีแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม

Satellite Precipitation Clouds World & Hurricanes Forecast Mobile Free data My Sat24

sat24

Share / Save

Khon Kaen
35.4°C
22.6°C extended forecast

New European & country snowradar

sun & clouds rain KM forecast video

Chiang Mai Weather

Today	19:00	29.7°C	WIND: WSW 2.6 km/h (1.6 knts)	PRECIPITATION: 0mm (15%)	AIR PRESSURE: 1009.9
Today	22:00	29.0°C	WIND: ESE 1 km/h (0.6 knts)	PRECIPITATION: 0.5 mm (12%)	AIR PRESSURE: 1012.7
Hourly	01:00	28.0°C	WIND: W 2.4 km/h (1.5 knts)	PRECIPITATION: 1.3 mm (17%)	AIR PRESSURE: 1013.4
Tomorrow	04:00	26.8°C	WIND: NW 3.3 km/h (2.0 knts)	PRECIPITATION: 1.8 mm (19%)	AIR PRESSURE: 1012.7
5 days	07:00	24.7°C	WIND: WNW 4.7 km/h (2.9 knts)	PRECIPITATION: 0mm (24%)	AIR PRESSURE: 1014.4
weekend					

ภาพที่ 15 เว็บไซต์ให้บริการข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า <http://en.sat24.com/en/wd/world>

ภาคผนวก ข

ตำแหน่งพิกัดระดับอำเภอ

ตารางที่ 1 ตำแหน่งพิกัดระดับอำเภอ

No	Province	Amphoe	Amphoe	Village	latitude	longitude
1	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอเมืองเชียงใหม่	Chiang Mai		18.7061	98.9817
2	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอจอมทอง	Chom Thong		18.4205	98.6724
3	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอแม่แจ่ม	Mae Chaem		18.7142	98.3965
4	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอเชียงดาว	Chiang Dao		19.3678	98.9649
5	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอดอยสะเก็ด	Doi Saket		18.8705	99.1362
6	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอแม่แตง	Mae Taeng		19.2102	98.8804
7	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอแมริม	Mae Rim		18.9274	98.8804
8	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอสะเมิง	Samoeng		18.9399	98.6161
9	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอฝาง	Fang		19.8908	99.1727
10	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอแม่สาย	Mae Sai		20.0386	99.3179
11	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอพร้าว	Phrao		19.3657	99.2021
12	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอสันป่าตอง	San Pa Tong		18.6286	98.8958
13	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอสันกำแพง	San Kamphaeng		18.7388	99.1567
14	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอสันทราย	Sansai		18.8488	99.0445
15	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอหางดง	Hang Dong		18.6863	98.9193
16	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอฮอด	Hot		18.1930	98.6112
17	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอดอยเต่า	Doi Tao		17.9004	98.7041
18	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภออมก๋อย	Omkoï		17.7350	98.3559
19	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอสารภี	Saraphi		18.7133	99.0363
20	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอเวียงแหง	Wiang Haeng		19.6004	98.6161
21	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอดอยหล่อ	Doi Lo		18.4852	98.7701
22	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอไชยปราการ	*Chai Prakan	Ban Huai Phai Yai	19.7314	99.1400
23	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอแม่วาง	*Mae Wang	Ban Nong Yen	18.6160	98.7729
24	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอแม่อน	*Mae On	Ban Pao Sam Ka Ban Yang Huai	18.7768	99.2486
25	จังหวัดเชียงใหม่	อำเภอภักดีชุมพล	*Galyani Vadhana	Hom	19.0465	98.2857
26	จังหวัดเชียงราย	เมืองเชียงราย	Chiang Rai		19.9105	99.8406
27	จังหวัดเชียงราย	พาน	Phan		19.5468	99.7414
28	จังหวัดเชียงราย	แม่สาย	Mae Sai		20.4314	99.8850
29	จังหวัดเชียงราย	แม่จัน	Mae Chan		20.2251	99.9489
30	จังหวัดเชียงราย	เทิง	Thoeng		19.7049	100.2152

ตารางที่ 1 ตำแหน่งพิกัดระดับอำเภอ (ต่อ)

No	Province	Amphoe	Amphoe	Village	latitude	longitude
31	จังหวัดเชียงราย	แม่สรวย	Mae Suai		19.6418	99.5253
32	จังหวัดเชียงราย	เวียงป่าเป้า	Wiang Pa Pao		19.3602	99.5041
33	จังหวัดเชียงราย	เชียงของ	Chiang Khong		20.2095	100.4029
34	จังหวัดเชียงราย	เชียงแสน	Chiang Saen		20.1901	100.2242
35	จังหวัดเชียงราย	เวียงชัย	Wiang Chai		19.8842	99.9186
36	จังหวัดเชียงราย	พญาเม็งราย	Paya Meng Rai		19.8491	100.1535
37	จังหวัดเชียงราย	ป่าแดด	Pa Daet		19.5041	99.9921
38	จังหวัดเชียงราย	ดอยหลวง	Doi Luang		20.1184	100.0992
39	จังหวัดเชียงราย	แม่ฟ้าหลวง	*Mae Fah Luang	Ban Du	20.0449	99.8943
40	จังหวัดเชียงราย	เวียงแก่น	*Wiang Kaen	Ban Yai	20.0302	100.4935
41	จังหวัดเชียงราย	ขุนตาล	*Khun Tan	Pa Tan	19.8335	100.2586
42	จังหวัดเชียงราย	แม่ลาว	*Mae Lao	Ban Mae Phong	19.7875	99.6599
43	จังหวัดเชียงราย	เวียงเชียงรุ้ง	*Wiang Chiang Rung	Ban Rong	20.0130	100.0569
45	จังหวัดแพร่	ร้องกวาง	Rong Kwang		18.2847	100.4896
46	จังหวัดแพร่	ลอง	Long		18.0757	99.8324
47	จังหวัดแพร่	สูงเม่น	Sung Men		18.0520	100.1117
48	จังหวัดแพร่	เด่นชัย	Den Chai		17.9825	100.0536
49	จังหวัดแพร่	สอง	Song		18.4700	100.1834
50	จังหวัดแพร่	วังชิ้น	Wang Chin		17.8893	99.5984
51	จังหวัดแพร่	หนองม่วงไข่	Nong Muang Khai		18.2646	100.1896
52	จังหวัดพะเยา	เมืองพะเยา	Phayao		19.1664	99.9020
53	จังหวัดพะเยา	เชียงคำ	Chiang Kham		19.5182	100.2970
54	จังหวัดพะเยา	ปง	Pong		19.1494	100.2749
55	จังหวัดพะเยา	จุน	*Chun	Ban Bua Sathon	19.3366	100.1339
56	จังหวัดพะเยา	เชียงม่วน	*Chiang Muan	Chiang Muan	18.8950	100.2935
57	จังหวัดพะเยา	ดอกคำใต้	*Dok Kham Tai	Ban Dauk Kham Tai	19.1628	99.9931
58	จังหวัดพะเยา	แม่ใจ	*Mae Chai	Ban San Khi Lek	19.3766	99.7878
59	จังหวัดพะเยา	ภูซาง	*Phu Sang	Ban Thin	19.5990	100.3242
60	จังหวัดพะเยา	ภูกามยาว	*Phu Kam yao	Ban Ton Ka	19.2716	99.9700

ตารางที่ 1 ตำแหน่งพิกัดระดับอำเภอ (ต่อ)

No	Province	Amphoe	Amphoe	Village	latitude	longitude
61	จังหวัดน่าน	เมืองน่าน	Nan		18.7756	100.7730
62	จังหวัดน่าน	แม่จริม	Mae Charim		18.7027	101.0080
63	จังหวัดน่าน	บ้านหลวง	Ban Luang		18.8500	100.4383
64	จังหวัดน่าน	นาน้อย	Na Noi		18.3257	100.7146
65	จังหวัดน่าน	ปัว	Pua		101.1575	100.9249
66	จังหวัดน่าน	ท่าวังผา	Tha Wang Pha		19.0924	100.8090
67	จังหวัดน่าน	เวียงสา	Wiang Sa		18.5655	100.7272
68	จังหวัดน่าน	ทุ่งช้าง	Thung Chang		19.3853	100.8796
69	จังหวัดน่าน	เชียงกลาง	Chiang Klang		19.2908	100.8606
70	จังหวัดน่าน	นาหมื่น	*Na Muen	Na Thanuno	18.1893	100.6601
71	จังหวัดน่าน	สันติสุข	*Santi Suk	Ban Muang Phong	18.9133	100.9411
72	จังหวัดน่าน	บ่อเกลือ	*Bo Kluea	Ban Pha Kap	19.1488	101.1575
73	จังหวัดน่าน	สองแคว	*Song Khwae	Ban Huai Taung	19.3597	100.7012
74	จังหวัดน่าน	ภูเพียง	*Phu Phiang	Ban Nong	18.8591	100.8177
75	จังหวัดน่าน	เฉลิมพระเกียรติ	*Chaloem Phra Kiat	Mu Ban Chao Yao	19.5792	101.0810
76	จังหวัดตาก	อำเภอเมืองตาก	Tak		16.8840	99.1259
77	จังหวัดตาก	อำเภอบ้านตาก	Ban Tak		17.0435	99.0791
78	จังหวัดตาก	อำเภอสามเงา	Sam Ngao		17.2250	99.0552
79	จังหวัดตาก	อำเภอแม่ระมาด	Mae Ramat		16.9910	98.5265
80	จังหวัดตาก	อำเภอท่าสองยาง	Tha Song Yang		17.5666	97.9149
81	จังหวัดตาก	อำเภอแม่สอด	Mae Sot		16.7098	98.5723
82	จังหวัดตาก	อำเภอพบพระ	Phop Phra		16.4005	98.6957
83	จังหวัดตาก	อำเภออุ้มผาง	Umphang		16.0185	98.8652
84	จังหวัดตาก	อำเภอวังเจ้า	Wang Chao		16.7070	99.2410
85	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน	Mae Hong Son		19.3020	97.9654
86	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	อำเภอขุนยวม	Khun Yuam		18.8396	97.9512
87	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	อำเภอปาย	Pai		19.3588	98.4396

ตารางที่ 1 ตำแหน่งพิกัดระดับอำเภอ (ต่อ)

No	Province	Amphoe	Amphoe	Village	latitude	longitude
88	จังหวัด แม่ฮ่องสอน	อำเภอแม่สะเรียง	Mae Sariang		18.1624	97.9399
89	จังหวัด แม่ฮ่องสอน	อำเภอแม่ลาน้อย	Mae La Noi		18.3803	97.9428
90	จังหวัด แม่ฮ่องสอน	อำเภอสบเมย	Sop Moei		17.9627	97.9318
91	จังหวัด แม่ฮ่องสอน	อำเภอปางมะผ้า	*Pang Mapha	Ban Pang Hung	19.5219	98.2455
92	จังหวัดลำปาง	เมืองลำปาง	Lampang		18.2855	99.5128
93	จังหวัดลำปาง	แม่เมาะ	Mae Mo		18.3951	99.8583
94	จังหวัดลำปาง	เกาะคา	Ko Kha		18.1915	99.3955
95	จังหวัดลำปาง	เสริมงาม	Soem Ngam		18.0656	99.2479
96	จังหวัดลำปาง	งาว	Ngao		18.7780	99.9709
97	จังหวัดลำปาง	แจ้ห่ม	Chae Hom		18.7126	99.5573
98	จังหวัดลำปาง	เถิน	Thoen		17.6378	99.2401
99	จังหวัดลำปาง	แม่พริก	Mae Phrik		17.4464	99.1605
100	จังหวัดลำปาง	แม่ทะ	Mae Tha		18.1341	99.5132
101	จังหวัดลำปาง	สบปราบ	Sop Prap		17.8814	99.3374
102	จังหวัดลำปาง	ห้างฉัตร	Hang Chat		18.3216	99.3176
103	จังหวัดลำปาง	วังเหนือ	*Wang Nuea	Ban Thung Pau	19.1459	99.6192
104	จังหวัดลำปาง	เมืองปาน	*Mueang Pan	Ban Diu	18.7723	99.4955
105	จังหวัดลำพูน	อำเภอเมืองลำพูน	Lamphun		18.5745	99.0087
106	จังหวัดลำพูน	อำเภอแม่ทา	Mae Tha		18.4203	98.9925
107	จังหวัดลำพูน	อำเภอบ้านโฮ่ง	Ban hong		18.3311	98.8188
108	จังหวัดลำพูน	อำเภอลี้	Li		17.8026	98.9504
109	จังหวัดลำพูน	อำเภอทุ่งหัวช้าง	Thung Hua Chang		18.0031	99.0278
110	จังหวัดลำพูน	อำเภอป่าซาง	Pa Sang		18.4468	98.8877
111	จังหวัดลำพูน	อำเภอบ้านธิ	*Ban Thi	Ban Pa Pao Nua	18.6545	99.1677
112	จังหวัดลำพูน	อำเภอเวียงหนองล่อง	*Wiang Nong long	Ban Pong Sua	18.4247	98.7465

หมายเหตุ

*ไม่สามารถกำหนดชื่ออำเภอให้ตรงตามฐานข้อมูลขอบเขตการปกครองได้ เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของการเชื่อมต่อข้อมูลจากเว็บไซต์พยากรณ์อากาศ จึงต้องแสดงเป็นชื่อหมู่บ้านที่มีพิกัดตรงกับอำเภอนี้