



รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การประเมินสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย:
การวิเคราะห์ความเสี่ยง และความล่อแหลมของพื้นที่วิกฤติ”

ระยะที่ 1 : การประเมินสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศ และพื้นที่วิกฤติของประเทศไทย

โดย ดร.แสงจันทร์ ลิ้มจิรกาล และคณะ

พฤศจิกายน 2553

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ “การประเมินสภาวะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย: การวิเคราะห์ความเสี่ยง และความล่อแหลมของพื้นที่วิกฤติ”

ระยะที่ 1 : การประเมินสภาวะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศ และพื้นที่วิกฤติของประเทศไทย

คณะผู้วิจัย

ดร.แสงจันทร์ ลิ้มจิรกาล

ดร. อัศมน ลิ้มสกุล

รศ. ดร.ทวีวงศ์ ศรีบุรี

สังกัด

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชุดโครงการผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงและความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศต่อประเทศไทย

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

พฤศจิกายน 2553

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ ดำเนินการวิจัยโครงการ การประเมินสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย: การวิเคราะห์ ความเสี่ยง และความอ่อนแอของพื้นที่วิกฤติ “ระยะที่ 1: การประเมินสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศ และพื้นที่วิกฤติของประเทศไทย” และขอขอบคุณ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่าย ผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ และให้บริการข้อมูลเป็นอย่างดี จนทำให้การวิจัยโครงการ สำเร็จลุล่วงด้วยดี

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RDG5030043

ชื่อโครงการ : โครงการ “การประเมินสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย:
การวิเคราะห์ความเสี่ยง และความล่อแหลมของพื้นที่วิกฤติ”
ระยะที่ 1 : การประเมินสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศ และพื้นที่วิกฤติของ
ประเทศไทย

ชื่อนักวิจัย : แสงจันทร์ ลิ้มจิรกาล¹, อัศมน ลิ้มสกุล², ทวีวงศ์ ศรีบุรี¹

¹ สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

Email address: lsangcha@chula.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : 15 สิงหาคม 2550 – 14 ตุลาคม 2551

การศึกษานี้ ได้ทำการวิเคราะห์ทางสถิติถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในประเทศไทย ฐานข้อมูลภูมิอากาศที่ใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย ข้อมูลฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์รายวันที่ตรวจวัดจากสถานีภูมิอากาศผิวพื้นที่กระจายอยู่ทั่วประเทศของกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ข้อมูลภูมิอากาศรายวัน ถูกคัดเลือกบนพื้นฐานความสมบูรณ์ของอนุกรมข้อมูลและช่วงระยะเวลาที่ข้อมูลถูกตรวจวัดและบันทึกอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีจำนวนสถานีเพียงพอ ในด้านความเชื่อมั่นทางสถิติต่อผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง และการกระจายตัวเชิงพื้นที่ครอบคลุมทั่วทุกภาคของประเทศไทย ก่อนดำเนินการคำนวณดัชนีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง ข้อมูลภูมิอากาศทุกสถานีได้ถูกนำเข้ากระบวนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูล รวมทั้งการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลทางสถิติหลายขั้นตอนโดยวิธีมาตรฐานสำหรับการควบคุมและประกันคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศ ที่เป็นยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่และเวลา การประมาณค่าข้อมูลที่ขาดหายหรือช่องว่างของข้อมูล และการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ข้อมูลที่ผ่านกระบวนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูลทางสถิติ เป็นฐานข้อมูลรายวันคุณภาพสูงที่เหมาะสมสำหรับนำไปวิเคราะห์ดัชนีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ ผลการวิเคราะห์พบว่า ข้อมูลฝนรายวันมีจำนวน 170 สถานี ข้อมูลอุณหภูมิมียกเว้นมีจำนวน 95 สถานี และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายวันมีจำนวน 74 สถานีตามลำดับ ฐานข้อมูลรายวันคุณภาพสูงส่วนใหญ่มีข้อมูลอยู่ในช่วง ค.ศ. 1965-2006 แต่บางสถานี มีระยะเวลาที่สั้นกว่า กล่าวคือ มีข้อมูลอยู่ในช่วง 1969-2006 ถึง 1981-2006

ดัชนีหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ จำนวน 36 ดัชนี ซึ่งส่วนใหญ่ถูกพัฒนาและเสนอแนะ โดยทีมผู้เชี่ยวชาญด้านการติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก ได้นำมาใช้ในการคำนวณเพื่อวิเคราะห์และ

ประเมินลักษณะต่าง ๆ ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของฝน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในแง่ความถี่ ความรุนแรงและระยะเวลาของเหตุการณ์นั้น ๆ สำหรับสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ ดัชนีที่ใช้คำนวณมาจากอนุกรมข้อมูลรายวัน ซึ่งแสดงถึงจำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในคาบเวลาหนึ่งปี โดยมีคุณสมบัติทางสถิติที่สร้างความเชื่อมั่นได้มากกว่าการวิเคราะห์สภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศโดยตรง ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ปรากฏอยู่บริเวณปลายทั้งสองด้านของการกระจายตัวของตัวแปรภูมิอากาศที่อาจไม่เกิดขึ้นทุกปี

ผลการศึกษาพบว่า สภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทย ในช่วง 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกันในพื้นที่บริเวณกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งดัชนีที่คำนวณจากอนุกรมของอุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มความร้อนที่สูงขึ้นในประเทศไทย แนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทย ประกอบด้วย ดัชนีค่าสูงสุดรายปีของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประจำวัน ดัชนีค่าต่ำสุดรายปีของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประจำวัน ดัชนีจำนวนวัน/คืนที่อบอุ่นในรอบปี ดัชนีช่วงระยะเวลาที่อบอุ่น ดัชนีจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงกว่า 35°C (Summer day) และดัชนีจำนวนคืนที่อุณหภูมิสูงกว่า 25°C (Tropical night) ในขณะที่แนวโน้มการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทยปรากฏในดัชนีจำนวนวัน/คืนที่หนาวในรอบปี และดัชนีช่วงระยะเวลาที่หนาวมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏในประเทศไทยในลักษณะที่คล้ายคลึงและสอดคล้องกับหลักฐานการเปลี่ยนแปลงที่ตรวจพบในบริเวณกว้างในหลายพื้นที่ของโลก ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในลักษณะที่สอดคล้อง และมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันในบริเวณกว้างทั้งประเทศนี้ แสดงให้เห็นถึงการขยับตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกเฉลี่ย และเมื่อพิจารณาในภาพรวมของพื้นที่วิกฤติจากดัชนีรวมที่คำนวณจากดัชนีหลักทั้ง 15 ดัชนีแล้ว พบว่าสถานที่ที่ดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิอย่างน้อย 11 ดัชนี มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งถือว่าเป็นระดับการเปลี่ยนแปลงในระดับที่สูงผิดปกติหรือระดับวิกฤติ มีจำนวนสูงถึง 40 สถานี คิดเป็น 46% ของสถานีตรวจวัดทั้งหมด โดยมีการกระจายตัวของสถานีตรวจวัดอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย

ผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลฝน พบว่าดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝนในประเทศไทยมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อน โดยพบว่าดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝนมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั้งสองทิศทางคือการเพิ่มขึ้นและการลดลงในอัตราที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ โดยทั่วไปแนวโน้มของสภาวะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงและสอดคล้องกันในพื้นที่บริเวณกว้างน้อยกว่าสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่า ปริมาณฝนรวมรายปี จำนวนวันฝนตกรวมรายปี และความถี่ของเหตุการณ์ฝนตกหนัก มีการแนวโน้มลดลงในพื้นที่บริเวณกว้าง โดยการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเกิดขึ้นในภาคกลาง ภาคเหนือและภาคใต้ ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับแนวโน้มการลดลงของเหตุการณ์ดังกล่าว คือดัชนีความถี่ของฝนและจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่าการเพิ่มขึ้นเกือบทั่วทุกภาคของประเทศไทย ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของทั้งสองดัชนีในภาพรวมของประเทศไทยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดย 69% ของสถานีทั้งหมดแสดงการเพิ่มขึ้น

ของความแรงของฝนในอัตราเฉลี่ย $3.1 \text{ mm day}^{-1}/\text{decade}$ ในขณะที่ สถานีส่วนใหญ่ยกเว้นบริเวณภาคใต้ แสดงการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาก่อนฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่องในอัตราเฉลี่ย 6.7 day/decade เมื่อทำการวิเคราะห์ในรายละเอียดพบว่ากรุงเทพมหานครซึ่งเป็นเมืองขนาดใหญ่ที่ตั้งอยู่บริเวณที่ราบลุ่มปากแม่น้ำเจ้าพระยา กำลังประสบกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนรวมรายปีอย่างมีนัยสำคัญ มีการเปลี่ยนแปลงสถานะความรุนแรงของฝนที่สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนรวมรายปี คือ การเพิ่มขึ้นของความถี่และความแรงของเหตุการณ์ฝนตกหนัก นอกจากนี้ความแรงของฝนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา

การเปลี่ยนแปลงสถานะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝนและอุณหภูมิ คาดว่าจะส่งผลกระทบอย่างสูงต่อสภาพเศรษฐกิจและสังคมของประเทศโดยรวม รวมทั้งระบบนิเวศน์ และประชาชนจำนวนมากในอนาคตอันใกล้นี้ โดยผลกระทบจากสถานะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศนี้ นับว่าเป็นปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตของประชาชน รวมทั้งเป็นปัจจัยเสริมที่ส่งผลให้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่กำลังประสบอยู่ในปัจจุบันมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น ดังนั้นการประเมินความเสี่ยง และความอ่อนแอจึงเป็นจำเป็นอย่างยิ่งต่อแนวทางการตั้งรับ และการปรับตัวต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝน ทั้งนี้ ความรู้ความเข้าใจดังกล่าว มีความสำคัญต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ตลอดจนการจัดการสิ่งแวดล้อม และการตั้งรับต่อภัยพิบัติทางภูมิอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ

Abstract

Project Code : RDG5030043

Project Title : Assessment of Extreme Weather Events of Thailand: risks and hotspot vulnerability analysis. Phase 1: Assessment of Extreme Weather Events and Hotspot Areas of Thailand

Researchers : Sangchan Limjirakan¹, Atsamon Limsakul², Thavivongse Sriburi¹

¹ Environmental Research Institute, Chulalongkorn University

² Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality and Promotion

Email address : lsangcha@chula.ac.th

Project duration : 15 August 2007 – 14 October 2008

Trends in climate change indices in Thailand, with a primary focus on weather extreme events, were statistically examined on the basis of daily series of temperature, rainfall and humidity observations from meteorological stations distributed across the country. All series were obtained from archives of the Meteorological Department and the Irrigation Department of the Royal Thai government and the Electricity Generation Authority of Thailand. In order to optimize data availability and spatial coverage, stations series were selected on the basis of the record length and data completeness. Prior to climate change indicator calculation and trend analysis, all records were subjected to a multi-stage suite of objective quality control and homogeneity tests. The most widely used and accepted objective approaches which include tests of spatial and temporal outliers, data missing interpolation and data homogeneity assessment were applied. Based on extensive quality control and homogeneity checks, high-quality daily rainfall, temperature and humidity data of 170, 95 and 74 series respectively were prepared for further analysis. Most of selected high-quality series extend from 1965 to 2006, with some stations spanning shorter periods ranging from 1969-2006 to 1981-2006.

Thirty six core climate change indices mostly recommended by the World Meteorological Organization–Commission for Climatology (WMO-CCI)/World Climate Research Program (WCRP)/Climate Variability and Predictability (CLIVAR) project's Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI) were computed and tested for statistical significance. The indices were chosen primarily for assessment of many aspects of a changing climate, which include changes in intensity, frequency and durations of mean states and tail behaviors of temperature, rainfall and humidity events. For climate extremes, they represent events that occur several times per year, giving them more robust statistical properties

than measures of extremes which are far enough into the tails of the distribution so as not to be observed during some years.

Results showed spatially coherent and widespread significant trends in temperature extremes consistent with a warming trend in the region, especially for those indices derived from daily minimum temperature. Significant increasing trends were found in the annual maximum of daily maximum and minimum, the annual minimum of daily maximum and minimum, the annual occurrence of summer days, tropical nights and warm nights/days and the warm spell duration. On the other hand, significant decreasing trends were evidence in the annual occurrence of cold nights/days and the cold spell duration. These findings indicated a positive shift in the temperature distribution over Thailand and corresponded well with what has been observed in many parts of the world. A combined index calculating from fifteen indices for assessing 'temperature extreme hotspots' indicated that the stations with at least 11 temperature extreme indices being significant changes at 95% confidence level accounted for 46% (40 stations) of the stations, which were widely distributed all parts of Thailand.

Analysis of rainfall indices revealed disproportionate changes, with mixed patterns of positive and negative trends in extreme rainfall events. Trends in extreme rainfall events in Thailand were generally less spatial coherent compared with temperature changes. Nevertheless, total rainfall amounts, the number of rainy days and the frequency of heavy rainfall days showed a widespread and general decrease with noticeable changes occurring in the central, north and south. Associated changes were noticed by spatially coherent increases in daily intensity rainfall analyzed through simple daily intensity index (SDII) and consecutive dry days (CDD). 69% of the stations exhibited increased SDII by about 3.1 mm day⁻¹/decade, while the majority of the stations excepting those in the south showed a notable increase in CDD by approximately 6.7 day/decade. A closer examination further revealed that the Bangkok Metropolis, the mega-city situated on a very low-lying flat plain of the Chao Phraya River Delta, has experienced a significant increase in total annual rainfall amounts and intense daily rainfall. In association with the changes in mean state of rainfall amounts, there were coherent changes towards increases in both frequency and intensity of heavy rainfall events.

Notable changes in climate extremes in Thailand particularly temperature and rainfall are expected to have substantial socio-economic and ecological impacts in the coming decades. The risks associated with these climate extremes will increase and affect on millions of people, socio-economic and biophysical environment. Therefore, further studies on vulnerability and risk assessment are great scientific challenges to shed more light on adaptation strategy and disaster preparedness, and to mover forward as climate resilient sustainable societies.

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่นานาชาติให้ความสนใจเป็นอย่างสูงอยู่ในขณะนี้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีความเกี่ยวข้อง และมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ รายงานการประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ได้ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศสูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในช่วงศตวรรษที่ 20 สูงขึ้น 0.74°C ได้มีการคาดการณ์ว่าอีก 100 ปีข้างหน้า อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น $1.8-4.0^{\circ}\text{C}$ (IPCC-AR4, 2007) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกเพียงเล็กน้อยนี้ ได้ส่งผลให้สถานะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศ (Extreme Weather) และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในรูปแบบต่าง ๆ มีแนวโน้มความถี่ของการเกิดเพิ่มขึ้น และจะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับในอนาคตอันใกล้ในหลายภูมิภาคของโลก รวมทั้งประเทศไทยด้วย โดยได้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิต ทรัพย์สิน สภาพเศรษฐกิจและสังคม เป็นจำนวนเงินมหาศาล รวมทั้งยังเป็นภัยคุกคามที่ร้ายแรงต่อความมั่นคงของชาติ สังคมมนุษยชาติ และความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศต่าง ๆ

ดังนั้น แนวทางและวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมความพร้อมในการรับมือ การป้องกัน การปรับตัว รวมทั้งการลดผลกระทบจากสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศและสภาพภูมิอากาศ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ประเทศไทยจะต้องรีบดำเนินการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาวิจัยด้านความเสี่ยง ความล่อแหลม และความเสียหายที่เกิดจากสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝน ทั้งในภาพรวมของประเทศและในระดับท้องถิ่น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการและน่าเชื่อถือที่สามารถนำไปสู่การวางแผน การดำเนินการ การจัดการ ในการแก้ไข และนำไปปฏิบัติให้เกิดการบรรเทา หรือหยุดยั้งผลกระทบและความเสียหายที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม เป็นรูปธรรม และทันต่อเหตุการณ์

การศึกษาวิจัยโครงการนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาลักษณะและแนวโน้มสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝนและวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติของสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝนในประเทศไทย เพื่อนำไปสู่การประเมินความเสี่ยงและความล่อแหลมของพื้นที่วิกฤติดังกล่าว ในการศึกษาวิจัยระยะที่ 2 โดยมีการนำวิธีการและเทคนิคการศึกษาวิจัยต่างๆ มาประยุกต์ใช้ เช่น การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศ อุตุนิยมวิทยา การควบคุมคุณภาพและปรับแก้ข้อมูลเพื่อจัดทำฐานข้อมูลรายวันคุณภาพสูง การวิเคราะห์ดัชนีสถานะความรุนแรงของฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝนในเชิงพื้นที่และเวลา รวมทั้งการประเมินและจัดทำแผนที่แสดงพื้นที่วิกฤติของดัชนีความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศ

ในการศึกษาการประเมินสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศ และพื้นที่วิกฤติของประเทศไทย ได้ทำการสังเคราะห์และจัดทำฐานข้อมูลคุณภาพสูง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงและการประเมินพื้นที่วิกฤติของสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ โดยการรวบรวมข้อมูลฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์รายวันที่มีการตรวจวัดอย่างต่อเนื่องของประเทศไทยจาก 3 หน่วยงาน คือ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ข้อมูลที่รวบรวมทำการศึกษามีระยะเวลาดั้งแต่ปี ค.ศ. 1951 (พ.ศ. 2494) ถึงปี ค.ศ. 2006 (พ.ศ. 2549) โดยข้อมูลแต่ละปีมีความสมบูรณ์ค่อนข้างสูง ซึ่งแต่ละสถานีมี

ความสมบูรณ์ของอนุกรมข้อมูลมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 98.6 – 99.2 % และมีข้อมูลที่ขาดหายไปน้อยกว่า 2 % ข้อมูลที่ผ่านการคัดเลือกเบื้องต้น ได้ผ่านขั้นตอนการทดสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูลอย่างเข้มงวด ตามวิธีมาตรฐานการควบคุมและประกันคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศที่หน่วยงานนานาชาติต่างๆ ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ขั้นตอนสำคัญของกระบวนการทดสอบและควบคุมคุณภาพ สำหรับฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวันในประเทศไทย ประกอบด้วย การตรวจสอบและปรับแก้ค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่และเวลา การประมาณค่าข้อมูลที่สงสัยและข้อมูลที่หายไปอนุกรมข้อมูล รวมทั้งการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล ทั้งนี้ เทคนิคทางสถิติเป็นวิธีมาตรฐานที่หน่วยงานต่าง ๆ ใช้กันโดยทั่วไปในกระบวนการทดสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูล ประกอบด้วย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล ค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ สมการถดถอยเชิงเส้นตรงการประมาณค่าข้อมูลที่ขาดหายไปหรือข้อมูลที่สงสัย และ Penalized Maximal T และ F Test ได้นำมาประยุกต์ใช้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ด้วย

ผลการทดสอบคุณภาพข้อมูล พบว่า ฐานข้อมูลฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์รายวัน มีคุณภาพข้อมูลในแง่ความผิดปกติของข้อมูล ข้อมูลที่ขาดหายไป และความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล อยู่ในเกณฑ์ดีเมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลคุณภาพสูงของแหล่งข้อมูลอื่นๆ โดยค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่และเวลาของข้อมูลฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าน้อยกว่า 0.03 % โดยพบความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลที่ปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลพบว่ามีสัดส่วนในระดับค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มีการจัดทำขึ้นจากการศึกษาวิจัยอื่นๆ ฐานข้อมูลที่ผ่านขั้นตอนการตรวจสอบและการควบคุมคุณภาพ มีการกระจายตัวของสถานีในเชิงพื้นที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ครอบคลุมทั่วทุกภาคของประเทศ โดยจำนวนสถานีในแต่ละภาค ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ส่วนความครอบคลุมในเชิงเวลาพบว่าจำนวนสถานีในแต่ละปีของฐานข้อมูลหลังกลางทศวรรษที่ 20 มีจำนวนค่อนข้างสม่ำเสมอเช่นกัน

ฐานข้อมูลที่ถูกสังเคราะห์และจัดทำขึ้นนี้ สามารถสรุปได้ว่ามีคุณภาพในระดับใกล้เคียงกับฐานข้อมูลระดับโลกที่ใช้ในการศึกษาวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของหลายหน่วยงาน รวมทั้งเป็นฐานข้อมูลที่มีความถี่และความสมบูรณ์สูง โดยอนุกรมข้อมูลมีความต่อเนื่องในระยะเวลาที่ยาวนานเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ และประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์ที่มีความถี่ของการเกิดไม่บ่อยครั้งนัก เช่น สภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ การศึกษานี้ นับเป็นครั้งแรกของการจัดทำฐานข้อมูลรายวันคุณภาพสูงของประเทศไทย ที่ได้ยึดหลักเกณฑ์และวิธีการที่เป็นมาตรฐานสากลทุกกระบวนการ อันเป็นหลักประกันถึงความมั่นใจในการใช้ฐานข้อมูลดังกล่าวในการศึกษาวิจัย รวมทั้งความน่าเชื่อถือของผลการศึกษาระดับที่เป็นที่ยอมรับในวงการนักวิชาการ โดยเทคนิคการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูลและฐานข้อมูลที่ถูกพัฒนาขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้และขยายผลเพิ่มเติมกับฐานข้อมูลภูมิอากาศอื่น ๆ ทั้งข้อมูลที่ตรวจวัดภาคพื้นดินและข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ดังนั้นการศึกษานี้ นับได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นสำคัญในการสร้างระบบควบคุมคุณภาพข้อมูล ซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานสำคัญของศูนย์ข้อมูลภูมิอากาศกลางในประเทศไทยที่หลายหน่วยงาน ได้เรียกร้องให้มีการจัดตั้งขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการและส่งเสริมงานวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยให้มีความถูกต้อง เชื่อถือได้ เพื่อช่วยสนับสนุนและรองรับการอนุวัติอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศให้มีประสิทธิภาพ เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ อีกทั้งเทคนิคและองค์ความรู้จากการศึกษานี้ ยังสามารถเผยแพร่ให้กับนักวิจัยเพื่อเสริมสร้าง

ศักยภาพการจัดการและวิเคราะห์ผลจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการนำฐานข้อมูลขนาดใหญ่ของ Global Observing System มาใช้ในการศึกษาวิจัยในอนาคต

ฐานข้อมูลคุณภาพสูงดังกล่าวนี้ ได้นำไปวิเคราะห์เพื่อประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในประเทศไทย ด้วยการคำนวณดัชนีสถานะความรุนแรงของฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ จากอนุกรมข้อมูลรายวันของแต่ละสถานี จำนวน 36 ดัชนี (20 ดัชนีสำหรับสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ 15 ดัชนีสำหรับสถานะความรุนแรงของฝน และ 1 ดัชนีสำหรับสถานะความรุนแรงของความชื้นสัมพัทธ์) ซึ่งดัชนีส่วนใหญ่เป็น 'core climate extreme indices' ที่ถูกพัฒนาและเสนอแนะโดย ETCCDMI ทั้งนี้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรง (linear trend) ในแต่ละสถานีของดัชนีดังกล่าว ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยวิธี Ordinary Least-Square Method และ Kendall Tab Test ซึ่งเป็นเทคนิคทาง non-parametric statistical method ที่เป็นวิธีมาตรฐานที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในการศึกษาสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีลักษณะการแจกแจงที่ไม่ปกติได้ดี รวมทั้งมีความทนทานต่อข้อมูลที่สูงหรือต่ำกว่าปกติ

ผลการวิเคราะห์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสถานะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย ในช่วงปี ค.ศ. 1965-2006 โดยสรุปพบว่า สถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ ในรูปแบบของดัชนีจำนวนวัน/คืนที่อบอุ่น ดัชนีช่วงระยะเวลาที่อบอุ่น ดัชนีจำนวนวัน/คืนที่อุณหภูมิสูงกว่า 35/25 °C และดัชนีค่าสูงสุดรายเดือนของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประจำวัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั่วทุกภาคของประเทศ ในขณะที่สถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ ในรูปแบบของดัชนีจำนวนวัน/คืนที่หนาว ดัชนีช่วงระยะเวลาที่หนาว ดัชนีจำนวนวัน/คืนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30/20 °C และดัชนีค่าต่ำสุดรายเดือนของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประจำวัน มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทั้งประเทศเช่นกัน รูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏในประเทศไทยพบว่ามีลักษณะที่คล้ายคลึง และสอดคล้องกับหลักฐานการเปลี่ยนแปลงที่ตรวจพบในบริเวณกว้างในหลายพื้นที่ของโลก ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในลักษณะที่สอดคล้องและมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันในบริเวณกว้างทั้งประเทศนี้ น่าจะมีสาเหตุจากการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุด ที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกเฉลี่ย เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยในประเทศไทย ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในรอบ 50 ปีที่ผ่านมาแล้ว ในอนาคตอันใกล้คาดว่า สถานะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทย จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงขึ้นเป็นเท่าตัว ตามสัดส่วนการขยับตัวสูงขึ้น ในอัตราที่สูงกว่าปกติของอุณหภูมิเฉลี่ย ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการกระจายตัวของตัวแปรทางสถิติ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาในภาพรวมของพื้นที่วิกฤติจากดัชนีรวมที่คำนวณจากดัชนีหลักทั้ง 15 ดัชนีแล้ว พบว่า สถานีที่ดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิต่ำกว่า 11 ดัชนี มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งถือว่าเป็นระดับการเปลี่ยนแปลงในระดับที่สูงผิดปกติหรือระดับวิกฤติ โดยมีจำนวนสูงถึง 40 สถานี คิดเป็น 46% ของสถานีตรวจวัดทั้งหมด โดยมีการกระจายตัวของสถานีตรวจวัดอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย การเปลี่ยนแปลงสูงสุดสามอันดับแรก เกิดขึ้นในจังหวัดจันทบุรี สงขลา และประจวบคีรีขันธ์ ตามลำดับ

ผลการศึกษาดัชนีสถานะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย มีรูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อนและแตกต่างจากอุณหภูมิโดยสิ้นเชิง โดยพบว่าดัชนีสถานะความรุนแรงของฝนมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั้งสองทิศทางคือ การเพิ่มขึ้นและการลดลงในอัตราที่ต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏในประเทศไทยนั้น มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสถานะความรุนแรงของฝนในหลายพื้นที่ของโลก ผลการวิเคราะห์ยังพบว่าความแปรปรวนในระยะสั้น (ปีต่อปีหรือทศวรรษต่อทศวรรษ) มีลักษณะที่โดดเด่นอีกประการหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย ซึ่งความแปรปรวนในช่วงเวลาดังกล่าว อาจมีความเชื่อมโยงกับความแปรปรวนของปรากฏการณ์เอนโซ และลมมรสุมโซนร้อน ที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างมหาสมุทร บรรยากาศ และพื้นดิน บริเวณเส้นศูนย์สูตรระหว่างมหาสมุทรอินเดีย และมหาสมุทรแปซิฟิก อันเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบภูมิอากาศโลก

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของดัชนีสถานะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย ในช่วงปี ค.ศ. 1965-2006 สรุปได้ว่า ปริมาณฝนรวมในช่วงฝนตกน้อยและฤดูร้อน(เดือนพฤษภาคม - เมษายน) เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคตะวันออก ในขณะที่จำนวนวันฝนตกรวมรายปีและจำนวนวันฝนตกรวมในช่วงฤดูฝน(เดือนพฤษภาคม - ตุลาคม)มีแนวโน้มลดลงในหลายพื้นที่ของประเทศไทย เช่น ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สำหรับดัชนีความรุนแรงของฝนพบว่า มีการเพิ่มขึ้นทั่วทุกภาค ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงความรุนแรงของฝนในภาพรวมของประเทศไทย มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้พบว่าดัชนีปริมาณฝนที่มากผิดปกติ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลาง ซึ่งผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในช่วงทศวรรษต่อทศวรรษพบว่า ดัชนีปริมาณฝนที่มากผิดปกติมีค่าสูงขึ้นหลังปี ค.ศ. 1990

ส่วนสถานะความรุนแรงของฝนในรูปแบบของจำนวนวันที่ฝนไม่ตกและจำนวนวันฝนตกอย่างต่อเนื่องในประเทศไทย มีหลักฐานที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัด และมีลักษณะที่สอดคล้องในพื้นที่กว้างเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีอื่น โดยการเปลี่ยนแปลงได้บ่งชี้ถึงจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่องมีระยะเวลายาวนานขึ้น ในขณะที่จำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่องมีระยะเวลาล้นลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว แสดงถึงความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้ง และน้ำท่วมฉับพลันในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ในอนาคต

การประเมินพื้นที่วิกฤติของสถานะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย โดยการวิเคราะห์ดัชนีของสถานะความรุนแรงของฝน 10 ดัชนี ด้วยเทคนิค PCA พบว่า ผลรวมของ principal score ของ PC ใหม่ที่ 1-3 ซึ่งเป็นดัชนีรวมที่เป็นตัวแทนดัชนีความรุนแรงของฝนในรูป RAINtot, SDII, R95p R50, R10, R1day และ R5day มีการเบี่ยงเบนทางด้านบวกสูงสุด 3 ลำดับแรก (พื้นที่เสี่ยงต่ออุทกภัย) เกิดขึ้นในจังหวัด นครศรีธรรมราช แม่ฮ่องสอน และพะเยา ตามลำดับ ในขณะที่ค่าผลรวมของ principal score ที่มีการเบี่ยงเบนทางด้านลบสูงสุด 3 ลำดับแรก (พื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้ง) เกิดขึ้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา นครราชสีมา และบุรีรัมย์ ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย ย่อมส่งผลกระทบต่อระบบสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะทั้งการเพิ่มขึ้นและการลดลง

ในอัตราที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายในแง่รูปแบบ ความถี่ และความรุนแรงของผลกระทบและภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสถานะความรุนแรงของฝนในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศ ซึ่งเห็นได้จาก เหตุการณ์ภัยแล้ง และอุทกภัย อันเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นซ้ำซาก มีแนวโน้มความถี่ของการเกิดและความรุนแรงเพิ่มขึ้นในหลายพื้นที่ของประเทศ จากความหลากหลายของรูปแบบและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของฝนที่เกิดขึ้นในประเทศไทย แสดงให้เห็นว่า แนวทางการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมต่อการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น มีความสลับซับซ้อน และจะต้องมีการดำเนินการในเชิงบูรณาการ รวมทั้งมีแผนเชิงรุกมากกว่าแนวทางที่ดำเนินการในปัจจุบัน อีกทั้งแนวทางการปรับตัวและการตั้งรับสถานะความรุนแรงของฝน ควรจะมีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบ ความรุนแรง และความถี่ของเหตุการณ์ ตลอดจนบริบทด้านต่าง ๆ ของพื้นที่นั้น

ผลการศึกษานี้ นับว่ามีส่วนสำคัญที่สร้างความรู้ความเข้าใจและองค์ความรู้ใหม่ถึงรูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการขยายผลการศึกษาวิจัยในรายละเอียด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ สามารถนำไปสู่การวางแผน การดำเนินการ การจัดการ ในการแก้ไข และนำไปปฏิบัติให้เกิดการบรรเทา หรือหยุดยั้งผลกระทบและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างเป็นรูปธรรมและทันต่อเหตุการณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประเมินความเสี่ยง ความล่าช้า และความเสียหายจากสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิและน้ำฝนในระดับจังหวัด โดยพื้นที่วิกฤติที่ได้วิเคราะห์จากการศึกษาครั้งนี้ ควรให้ความสำคัญในลำดับต้น ๆ นอกจากนี้ ความเชื่อมโยงของการเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศในระยะสั้น กับความแปรปรวนของภูมิอากาศระดับภูมิภาคและระดับโลก ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียด ซึ่งจะช่วยให้แนวทางการจัดการและการตั้งรับในระยะสั้นต่อสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศมีความชัดเจนและสมบูรณ์มากขึ้น ประการสำคัญที่ควรมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง คือ การพัฒนาระบบการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศรายปี รายเดือน รายวัน รวมทั้งรายชั่วโมง รวมทั้งการจัดทำฐานข้อมูลภูมิอากาศคุณภาพสูงอื่นๆ ที่เป็นข้อมูลจากการตรวจวัดจากภาคพื้นดินและข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวจะเป็นเครื่องมือพื้นฐานสำคัญยิ่งของการศึกษาวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่นับวันจะมีความสำคัญมากขึ้น อีกทั้งยังทำให้ระดับการศึกษาวิจัยดังกล่าวในประเทศไทย มีมาตรฐานเทียบเท่าในระดับสากล

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	iii
บทคัดย่อ	iv
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	ix
สารบัญตาราง	xvi
สารบัญรูป	xvii
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ความสำคัญของโครงการ	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-2
1.3 กิจกรรมที่ดำเนินการให้บรรลุวัตถุประสงค์	1-3
1.4 ผลการศึกษาที่ได้รับเมื่อการดำเนินงานเสร็จสิ้น และตัวชี้วัดความสำเร็จของโครงการ	1-3
1.5 กระบวนการผลักดันผลงานดังกล่าวออกสู่การใช้ประโยชน์	1-3
บทที่ 2 การทบทวนเอกสาร (Literature Reviews)	2-1
2.1 สภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ (Extreme Weather Events)	2-1
2.1.1 นิยามและความหมาย	2-1
2.1.2 วิธีการและเทคนิคการวิเคราะห์	2-4
2.1.3 สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงในภูมิภาคต่างๆของโลก	2-5
2.2 กระบวนการทดสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศ	2-9
2.2.1 ความสำคัญของการควบคุมคุณภาพข้อมูล	2-9
2.2.2 วิธีการควบคุมคุณภาพข้อมูล	2-10
บทที่ 3 วิธีการศึกษาวิจัย	3-1
3.1 ขั้นตอนวิธีการศึกษาวิจัย	3-1
3.2 แหล่งข้อมูลภูมิอากาศ	3-1
3.3 การคัดเลือกข้อมูลและการตรวจสอบฐานข้อมูลเบื้องต้น	3-6
3.4 การกระจายตัวในเชิงพื้นที่และเวลาของสถานีข้อมูลภูมิอากาศในฐานข้อมูลใหม่	3-8
3.5 วิธีการทดสอบคุณภาพข้อมูลทางสถิติ	3-19
3.6 วิธีการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล	3-19
3.7 ดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และวิธีวิเคราะห์	3-19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	4-1
4.1 การทดสอบและการควบคุมคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศ	4-1
4.1.1 สถิติเบื้องต้นและลักษณะการแจกแจงของข้อมูลที่คัดเลือก	4-1
4.1.2 ค่าผิดปกติในเชิงเวลา	4-1
4.1.3 ค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่	4-9
4.1.4 ค่าผิดปกติของข้อมูลที่ลบออกจากฐานข้อมูลและการประมาณค่าข้อมูลที่ขาดหาย	4-13
4.1.5 ความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล	4-13
4.1.6 จำนวนสถานีและการกระจายตัวของฐานข้อมูลคุณภาพสูง	4-17
4.2 การเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทย	4-17
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี	4-17
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงของคืน/วันที่หนาวและอบอุ่น	4-27
4.2.3 การเปลี่ยนแปลงของช่วงระยะเวลาที่อบอุ่นและหนาว	4-27
4.2.4 การเปลี่ยนแปลงของวัน/คืนที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 °C / 25 °C	4-32
4.3 การเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย	4-36
4.3.1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนและจำนวนฝนตก	4-36
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงของความแรงฝน	4-44
4.3.3 ปริมาณฝนที่มากผิดปกติ	4-48
4.3.4 จำนวนวันที่ฝนไม่ตกและจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง	4-52
4.4 การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ในประเทศไทย	4-57
4.5 การวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติของสภาวะความรุนแรงของฝนและอุณหภูมิ	4-57
 บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ	 5-1
5.1 การทดสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศ	5-1
5.2 การเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทย	5-2
5.3 การเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย	5-4
 บทที่ 6 เอกสารอ้างอิง	 6-1
 ภาคผนวก 1 คำชี้แจงต่อข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อร่างรายงานฉบับสมบูรณ์	
 ภาคผนวก 2 ตัวอย่างเอกสาร/บทความวิชาการ/กึ่งวิชาการ ที่นำเสนอในการประชุม ดีพิมพ์ ในวารสารทั้งในและต่างประเทศ	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการศึกษาวิจัยสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ	2-6
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการศึกษาวิจัยสภาวะความรุนแรงของฝน	2-7
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการศึกษาวิจัยสภาวะความรุนแรงของความชื้นสัมพัทธ์	2-8
ตารางที่ 2.4 ค่าสูงและต่ำที่ใช้เป็นค่าผิดปกติสำหรับอุณหภูมิ ปริมาณฝน และความชื้นสัมพัทธ์ รายวันในประเทศไทย	2-11
ตารางที่ 2.5 เทคนิคทางสถิติที่นิยมใช้ในการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลภูมิอากาศ	2-15
ตารางที่ 3.1 ประเภทสถานีผิวพื้นและระยะเวลาการตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศ (DRA, DMAX, MDT, DMIN และ DRH) อย่างต่อเนื่องของกรมอุตุนิยมวิทยา	3-7
ตารางที่ 3.2 ประเภทและระยะเวลาการตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศอย่างต่อเนื่องของสถานีผิวพื้นของ กรมชลประทาน	3-7
ตารางที่ 3.3 ประเภทและระยะเวลาการตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศอย่างต่อเนื่องของสถานีผิวพื้นของ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	3-7
ตารางที่ 3.4 จำนวนสถานีที่ข้อมูลถูกตรวจวัดและบันทึกอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันนานมากกว่า 15 ปี จากแต่ละฐานข้อมูลเดิม	3-9
ตารางที่ 3.5 โครงสร้างของฐานข้อมูลปริมาณฝน โดยฐานข้อมูลมีขนาด 8 สดมส์	3-9
ตารางที่ 3.6 โครงสร้างของฐานข้อมูลอุณหภูมิ โดยฐานข้อมูลมีขนาด 9 สดมส์	3-9
ตารางที่ 3.7 โครงสร้างของฐานข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์อากาศ โดยฐานข้อมูลมีขนาด 7 สดมส์	3-9
ตารางที่ 3.8 จำนวนสถานีที่เปอร์เซ็นต์จำนวนข้อมูลขาดหายไปมากกว่า 5 % ซึ่งถูกคัดแยกออก จากฐานข้อมูล	3-11
ตารางที่ 3.9 List of ETCCDMI core temperature indices	3-11
ตารางที่ 3.10 List of ETCCDMI core rainfall indices	3-20
ตารางที่ 3.11 ดัชนีสภาวะความรุนแรงของความชื้นสัมพัทธ์	3-20
ตารางที่ 4.1 สถิติเชิงพรรณนาของชุดข้อมูลที่คัดเลือก	4-3
ตารางที่ 4.2 เปอร์เซนต์ค่าผิดปกติในเชิงเวลาของฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวัน	4-3
ตารางที่ 4.3 สัดส่วนของค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ ของฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวัน	4-12
ตารางที่ 4.4 สัดส่วนของค่าผิดปกติทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาของฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวัน	4-12
ตารางที่ 4.5 จำนวนอนุกรมข้อมูลที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (inhomogeneity) ของฐานข้อมูล ภูมิอากาศรายวัน	4-12
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบจำนวนอนุกรมข้อมูลที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันของการศึกษานี้ และการศึกษาที่ผ่านมาในหลายพื้นที่	4-18

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 Probability Distribution Function ของอุณหภูมิและตำแหน่งของเหตุการณ์สภาวะรุนแรงของอุณหภูมิ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนที่มีผลกระทบต่อความถี่และความรุนแรงของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ	2-2
รูปที่ 2.2 Gamma distribution ที่มีค่า α และ β แตกต่างกัน	2-3
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดสอบคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศรายวัน และการศึกษาสภาวะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศ	3-2
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างสถานีตรวจวัดอากาศผิวพื้นของกรมอุตุนิยมวิทยาและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	3-3
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดฝนชนิดตวงวัดและแก้วตวงน้ำฝน	3-4
รูปที่ 3.4 เครื่องเทอร์โมมิเตอร์แบบสูงสุดและต่ำสุดสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประจำวัน	3-4
รูปที่ 3.5 เครื่องเทอร์โมมิเตอร์แบบดุ่มแห้งและเปียกสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ประจำวัน	3-5
รูปที่ 3.6 เบอร์เซนต์ข้อมูลที่ขาดหายไปในแต่ละอนุกรมข้อมูลของฐานข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทานและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	3-10
รูปที่ 3.7 สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนรายวันที่ข้อมูลตรวจวัดอย่างต่อเนื่องมากกว่า 15 ปีและมีข้อมูลที่ขาดหายไปน้อยกว่า 5%	3-12
รูปที่ 3.8 สถานีตรวจวัดอุณหภูมิสูงสุดรายวัน (DMAX), อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (MDT) และอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน (DMIN) ที่ข้อมูลตรวจวัดอย่างต่อเนื่องมากกว่า 15 ปีและมีข้อมูลที่ขาดหายไปน้อยกว่า 5%	3-13
รูปที่ 3.9 สถานีตรวจวัดเบอร์เซนต์ความชื้นสัมพัทธ์รายวันที่ข้อมูลตรวจวัดอย่างต่อเนื่องมากกว่า 15 ปี และมีข้อมูลที่ขาดหายไปน้อยกว่า 5%	3-14
รูปที่ 3.10 จำนวนสถานีที่ตรวจวัดปริมาณน้ำฝนรายวันทั้งหมดในแต่ละปีของแต่ละฐานข้อมูล	3-15
รูปที่ 3.11 จำนวนสถานีที่ตรวจวัดอุณหภูมิสูงสุดรายวันทั้งหมดในแต่ละปีของแต่ละฐานข้อมูล	3-15
รูปที่ 3.12 จำนวนสถานีที่ตรวจวัดอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันทั้งหมดในแต่ละปีของแต่ละฐานข้อมูล	3-16
รูปที่ 3.13 จำนวนสถานีที่ตรวจวัดอุณหภูมิต่ำสุดรายวันทั้งหมดในแต่ละปีของแต่ละฐานข้อมูล	3-16
รูปที่ 3.14 จำนวนสถานีที่ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศรายวันทั้งหมดในแต่ละปีของแต่ละฐานข้อมูล	3-17
รูปที่ 3.15 เบอร์เซนต์ความสมบูรณ์ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์รายวันทั้งหมดในแต่ละปี	3-17

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.16	เปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด เฉลี่ยและต่ำสุดรายวันทั้งหมดในแต่ละปี	3-18
รูปที่ 4.1	ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันในรูปแบบ histogram และ PDF ของ gamma distribution	4-4
รูปที่ 4.2	ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันในรูปแบบ histogram และ PDF ของ gamma distribution	4-4
รูปที่ 4.3	ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันในรูปแบบ histogram และ PDF ของ gamma distribution	4-5
รูปที่ 4.4	ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดรายวันในรูปแบบ histogram และ PDF ของ gamma distribution	4-5
รูปที่ 4.5	ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายวันในรูปแบบ histogram และ PDF ของ gamma distribution	4-6
รูปที่ 4.6	ตัวอย่างการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลฝน ณ สถานีศรีสังขาลย์ ของกรมชลประทาน โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ มีค่าเป็น 15 เท่าของค่า SD	4-6
รูปที่ 4.7	ตัวอย่างการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลฝน ณ สถานีอุบลราชธานี ของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ เท่ากับ 15 เท่าของค่า SD	4-7
รูปที่ 4.8	ตัวอย่างการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ณ สถานีแม่โจ้ ของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ เท่ากับ 5 เท่าของ IQR	4-7
รูปที่ 4.9	ตัวอย่างการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลอุณหภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ เท่ากับ 5 เท่าของ IQR	4-8
รูปที่ 4.10	ตัวอย่างการทดสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิสูงสุดประจำวัน ณ สถานีชัยนาท ของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ เท่ากับ 5 เท่าของ RMSE	4-11
รูปที่ 4.11	ตัวอย่างการทดสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ของข้อมูลฝน ณ สถานีตรวจวัดด้านการเกษตร น่าน ของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ เท่ากับ 7 เท่าของ RMSE	4-11

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.12	ตัวอย่างการทดสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ณ สถานี ขอนแก่น ของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่า ผิดปกติ เท่ากับ 5 เท่าของ RMSE	4-14
รูปที่ 4.13	ตัวอย่างการประมาณค่าข้อมูลฝนที่ขาดหายไปในอนุกรมข้อมูล ณ สถานีตรวจวัด เขื่อนภูมิพล ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	4-14
รูปที่ 4.14	ตัวอย่างการประมาณค่าข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดที่ขาดหายไปในอนุกรมข้อมูล ณ สถานี คลองใหญ่ของกรมอุตุนิยมวิทยา	4-15
รูปที่ 4.15	ตัวอย่างการประมาณค่าข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่ขาดหายไปในอนุกรมข้อมูล ณ สถานีเกาะสีชัง ของกรมอุตุนิยมวิทยา	4-15
รูปที่ 4.16	ตัวอย่าง Base anomaly series and multi-phase regression fit ของอนุกรมข้อมูลที่มี ลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของ ข้อมูล ณ สถานีสงขลา ของกรมอุตุนิยมวิทยา	4-16
รูปที่ 4.17	ตัวอย่าง Base anomaly series and multi-phase regression fit ของอนุกรมข้อมูลที่มี ลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของ ข้อมูล ณ สถานีท่ายาง ของกรมชลประทาน, (a) ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดประจำวัน ณ สถานีลพบุรี ของกรมอุตุนิยมวิทยา (b) และ ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ณ สถานีดอนเมือง ของกรมอุตุนิยมวิทยา (c)	4-16
รูปที่ 4.18	ที่ตั้งของสถานีปริมาณฝนรายวันคุณภาพสูงในประเทศไทย	4-19
รูปที่ 4.19	ที่ตั้งสถานีอุณหภูมิสูงสุดประจำวัน อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน และอุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน ในประเทศไทย	4-20
รูปที่ 4.20	ที่ตั้งสถานีตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ ในประเทศไทย	4-21
รูปที่ 4.21	จำนวนสถานีในแต่ละปีของฐานข้อมูลภูมิอากาศคุณภาพสูง	4-22
รูปที่ 4.22	Linear trends ของอุณหภูมิสูงสุด (a) อุณหภูมิเฉลี่ย (b) และอุณหภูมิต่ำสุดรายปี (c) ในประเทศไทย	4-24
รูปที่ 4.23	PDF ของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิต่ำสุดรายปีในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ใน การคำนวณ PDF ของอุณหภูมิทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov- Smirnov Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-25
รูปที่ 4.24	ค่า anomaly (annual mean – climatological mean) ของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดรายปีทุกสถานีในประเทศไทย และ linear trends โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-26

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.25	Linear trends ของ Cool nights (a) และ Cool days (b) ในประเทศไทย	4-28
รูปที่ 4.26	Linear trends ของ Warm nights (a) และ Warm days (b) ในประเทศไทย	4-29
รูปที่ 4.27	จำนวน Cool nights/days และ Warm nights/days ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย และ linear trends โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-30
รูปที่ 4.28	PDF ของ Cool nights (a), Cool days (b), Warm nights (c) และ Warm days (d) ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-31
รูปที่ 4.29	Linear trends ของ CSDI (a) และ WSDI (b) ในประเทศไทย	4-33
รูปที่ 4.30	CSDI และ WSDI ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย และ linear trends โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-34
รูปที่ 4.31	PDF ของ CSDI ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006	4-35
รูปที่ 4.32	PDF ของ WSDI ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006	4-35
รูปที่ 4.33	Linear trends ของจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำสุดสูงกว่า 25 °C(a) และจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงสุดสูงกว่า 35 °C (b) ในประเทศไทย	4-37
รูปที่ 4.34	จำนวนวันที่อุณหภูมิสูงสุดประจำวันสูงกว่า 35 °C (SU35) และ จำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำสุดประจำวันสูงกว่า 25 °C ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย และ linear trends โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-38
รูปที่ 4.35	PDF ของจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำสุดประจำวันสูงกว่า 25 °C ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-39
รูปที่ 4.36	PDF ของจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำสุดประจำวันสูงกว่า 25 °C ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของ ข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-39
รูปที่ 4.37	Linear trends ของปริมาณฝนรายปี (a) ปริมาณฝนในระหว่างเดือน พ.ค.-ต.ค. (b) และปริมาณฝนในระหว่างเดือน พ.ย. – เม.ย. (c) ในประเทศไทย	4-41
รูปที่ 4.38	ปริมาณฝนรวมรายปี (a) ปริมาณฝนรวมในช่วงเดือน พ.ย.- เม.ย. (b) และ ปริมาณฝนรวมในช่วงเดือน พ.ค.-ต.ค. (c) ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย เส้นสีน้ำเงินและสีแดง คือ linear trends และ 5-yr running mean โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.39	PDF ของปริมาณฝนรวมในช่วงเดือน พ.ค.-ต.ค. (a) ปริมาณฝนรวมในช่วงเดือน พ.ย.-เม.ย. (b) และปริมาณฝนรวมรายปี (c) ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-43
รูปที่ 4.40	Linear trends ของจำนวนวันฝนตกกรายปี (a) ในระหว่างเดือน พ.ย. – เม.ย. (b) และในระหว่างเดือน พ.ค.-ต.ค. (c) ในประเทศไทย	4-45
รูปที่ 4.41	จำนวนวันฝนตกกรวมรายปี (a) จำนวนวันฝนตกกรวมในช่วงเดือน พ.ย.- เม.ย. (b) และจำนวนวันฝนตกกรวมในช่วงเดือน พ.ค.-ต.ค. (c) ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย เส้นสีน้ำเงินและสีแดง คือ linear trends และ 5-yr running mean โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-46
รูปที่ 4.42	PDF ของจำนวนวันฝนตกกรวมในช่วงเดือน พ.ค.-ต.ค. (a) จำนวนวันฝนตกกรวมในช่วงเดือน พ.ย.-เม.ย. (b) และจำนวนวันฝนตกกรวมรายปี (c) ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-47
รูปที่ 4.43	Linear trends ของดัชนีความแรงของฝน (SDII) ในประเทศไทย	4-49
รูปที่ 4.44	ความแรงของฝนที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย เส้นสีน้ำเงินและสีแดง คือ linear trends และ 5-yr running mean โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-50
รูปที่ 4-45	PDF ของความแรงฝน ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-50
รูปที่ 4.46	Linear trends ของปริมาณฝนที่มากผิดปกติ (very wet day) ในประเทศไทย	4-51
รูปที่ 4.47	ปริมาณฝนที่มากผิดปกติที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย เส้นสีน้ำเงินและสีแดง คือ linear trends และ 5-yr running mean โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-53
รูปที่ 4.48	PDF ของปริมาณฝนที่มากผิดปกติ ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลาและ two-tailed Kolmogorov-Smirnov Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-53
รูปที่ 4.49	Linear trends ของจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง (a) และจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง (b) ในประเทศไทย	4-54

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.50	จำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง (a) และจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง (b) ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย เส้นสีน้ำเงินและสีแดง คือ linear trends และ 5-yr running mean โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-55
รูปที่ 4.51	PDF ของจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง (a) และจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง (b) ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-56
รูปที่ 4.52	Linear trends ของค่าเฉลี่ยรายปีของ % ความชื้นสัมพัทธ์รายวัน ในประเทศไทย	4-58
รูปที่ 4.53	ค่าเฉลี่ยรายปีของ % ความชื้นสัมพัทธ์รายวัน ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย เส้นสีแดง คือ linear trends โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-59
รูปที่ 4.54	PDF ของค่าเฉลี่ยรายปีของ % ความชื้นสัมพัทธ์รายวัน ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และ ระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov test Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ	4-59
รูปที่ 4.55	สัดส่วนของจำนวนสถานีที่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงของ 10 ดัชนีสถานะความรุนแรงของฝน มีค่าเป็นบวกและลบ	4-61
รูปที่ 4.56	สัดส่วนของจำนวนสถานีที่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงของ 15 ดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ มีค่าเป็นบวกและลบ	4-61
รูปที่ 4.57	สัดส่วนของความแปรปรวนทั้งหมดที่ปรากฏในแต่ละโหมดของ Principal Component	4-62
รูปที่ 4-58	Component loading ระหว่างโหมดที่ 1 ถึง 3 ของ Principal Component และ ดัชนีสถานะความรุนแรงของฝนทั้ง 10 ดัชนี	4-62
รูปที่ 4-59	ผลรวมของ Principal component score ในโหมดที่ 1 ถึง 3 ของดัชนีสถานะความรุนแรงของฝน ทั้ง 10 ดัชนี โดยรูปดังกล่าว แสดงเฉพาะค่า score ที่สูงหรือต่ำกว่า SD เท่านั้น	4-63
รูปที่ 4.60	ผลรวม score ของดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิทั้ง 15 ดัชนี	4-65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงการ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่นานาชาติให้ความสนใจเป็นอย่างสูงอยู่ในขณะนี้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีความเกี่ยวข้อง และมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ รายงานการประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ครั้งที่ 4 ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) ในปี ค.ศ. 2007 ได้ยืนยันอย่างชัดเจนว่า กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การใช้พลังงานจาก fossil fuels การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ในช่วงหลังยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม ได้ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศสูงขึ้นกว่าในรอบ 650,000 ปีก่อนยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม อันเป็นสาเหตุทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในช่วงทศวรรษที่ 20 สูงขึ้น 0.74°C ได้มีการคาดการณ์ว่าอีก 100 ปีข้างหน้า อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น $1.8-4.0^{\circ}\text{C}$ ¹ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกเพียงเล็กน้อยนี้ ได้ส่งผลให้สถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ (Weather Extreme) และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในรูปแบบต่าง ๆ มีแนวโน้มความถี่ของการเกิดขึ้นในหลายภูมิภาคของโลก ซึ่งได้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิต ทรัพย์สินและสภาพเศรษฐกิจเป็นจำนวนเงินมหาศาล รวมทั้งยังเป็นภัยคุกคามที่ร้ายแรงต่อความมั่นคงของชาติ สังคมมนุษยชาติ และความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศต่าง ๆ^{1,2}

ประเทศไทย เป็นประเทศหนึ่งในทวีปเอเชียที่มีความอ่อนแอต่อความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate variability and climate change) เนื่องจากการดำรงชีวิตของประชาชนและการพัฒนาประเทศโดยรวม ต้องพึ่งพาฐานทรัพยากรธรรมชาติและผลผลิตที่มีความเปราะบางสูงต่อความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น ทรัพยากรน้ำ ทรัพยากรดิน ผลผลิตทางการเกษตร ตลอดจนทรัพยากรชายฝั่ง³ ทั้งนี้ประเด็นสำคัญที่สังเกตได้อย่างชัดเจนปัจจุบันคือ ประเทศไทยกำลังเผชิญกับสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ และสภาพภูมิอากาศในรูปแบบของภาวะภัยแล้ง น้ำท่วม ตลอดจนสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิและคลื่นความร้อนที่นับวันจะทวีความรุนแรงและมีความถี่ของการเกิดบ่อยครั้งมากขึ้น ภัยพิบัติจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศดังกล่าว ได้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิต ทรัพย์สิน สภาพสังคมและเศรษฐกิจ นับเป็นมูลค่ามหาศาลในแต่ละปี^{4,5} ทั้งนี้พบว่าในช่วง 30 ปีที่ผ่านมาได้เกิดภาวะภัยแล้งและอุทกภัยที่รุนแรงในประเทศไทยมากกว่า 50 ครั้ง⁶ คิดเป็นมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจมากถึงหลายพันล้านบาท กรมบรรเทาและป้องกันสาธารณภัยรายงานระหว่างปี พ.ศ. 2532 – 2547⁷ พบว่า ความเสียหายที่เกิดขึ้นมีมูลค่าสูงถึง 65,497 ล้านบาท นับได้ว่าเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญต่อการแก้ไขปัญหาความยากจนและการพัฒนาประเทศอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น ในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทยมีพื้นที่การเกษตรประสบอุทกภัย 6,560,541 ไร่ ใน 58 จังหวัด ราษฎรได้รับผลกระทบจำนวน 6,050,674 คน คิดเป็นมูลค่าความเสียหายเบื้องต้น 9,627,418,620.- บาท ในปี พ.ศ. 2551 นับถึงเดือนกันยายน ประเทศ

ไทยมีพื้นที่การเกษตรประสบอุทกภัย 297,862 ไร่ ใน 22 จังหวัด ราษฎรได้รับผลกระทบจำนวน 799,805 คน คิดเป็นมูลค่าความเสียหายเบื้องต้น 114,957,778.- บาท นอกจากนี้ ภาวะภัยแล้งและอุทกภัยที่เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ระหว่างปี พ.ศ. 2547-2551 เป็นตัวอย่างที่ชัดเจนของผลกระทบจากสภาวะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศที่มีต่อการพัฒนาสังคมเศรษฐกิจของประเทศ ตลอดจนสุขภาพและความเป็นอยู่ของประชาชนโดยรวม⁸

ได้มีการคาดการณ์ว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตลอดจนความเสียหายจากสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศและสภาพภูมิอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับในอนาคตอันใกล้ ซึ่งจะไปตามสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยรวมของโลกที่มีความแปรปรวนและมีความซับซ้อนมากขึ้น และจะส่งผลกระทบถึงกันและกันมากขึ้นเป็นลำดับ^{1,9} ทั้งนี้เนื่องจากภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางความแปรปรวนของระบบภูมิอากาศโลกที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์เอนโซและลมมรสุมโซนร้อนที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างมหาสมุทร บรรยากาศ และพื้นดิน บริเวณเส้นศูนย์สูตรระหว่างมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิก อันเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบภูมิอากาศโลก ที่มีแนวโน้มจะทวีความรุนแรงและความถี่ของการเกิดเพิ่มขึ้น ตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกและอุณหภูมิของโลก^{10,11,12} การคาดการณ์ดังกล่าวสอดคล้องกับสถานการณ์ของประเทศไทยที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันฝนตกมีแนวโน้มลดลง^{13,14} ดังนั้น แนวทางและวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมความพร้อมในการรับมือ การป้องกัน การปรับตัว รวมทั้งการลดผลกระทบจากสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศและสภาพภูมิอากาศ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ประเทศไทยจะต้องรีบดำเนินการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาวิจัยด้านความเสี่ยง ความล่าช้า และความเสียหายจากสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝน ทั้งในภาพรวมของประเทศ และในระดับท้องถิ่น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือที่สามารถนำไปสู่การวางแผน การดำเนินการ การจัดการ ในการแก้ไข และนำไปปฏิบัติให้เกิดการบรรเทา หรือหยุดยั้งผลกระทบและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างเป็นรูปธรรมและทันต่อเหตุการณ์

การศึกษาวิจัยโครงการนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาลักษณะและแนวโน้มสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝนและวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติของประเทศไทย โดยการนำวิธีการและเทคนิคการศึกษาวิจัยต่างๆ มาประยุกต์ใช้ เช่น การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศ อุตุนิยมิวิทยา การควบคุมคุณภาพและปรับแก้ข้อมูลเพื่อจัดทำฐานข้อมูลรายวันคุณภาพสูง การวิเคราะห์ดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝน รวมทั้งการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝนในเชิงพื้นที่และเวลา โดยคาดว่าเมื่อการศึกษาเสร็จสิ้นจะได้ผลการศึกษาที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อย่างเป็นรูปธรรม

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาลักษณะและแนวโน้มสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝนในประเทศไทย
- เพื่อวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝนในประเทศไทย

1.3 กิจกรรมที่ดำเนินการให้บรรลุวัตถุประสงค์

- รวบรวมข้อมูลภูมิอากาศและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- จัดทำ algorithms และ procedures สำหรับทดสอบคุณภาพข้อมูล
- ทดสอบคุณภาพและปรับแก้ฐานข้อมูล
- เสริมสร้างสมรรถนะ ทางวิชาการ(Technical capacity building)
- รายงานความก้าวหน้า และนำเสนอ เผยแพร่ผลการศึกษากับสาธารณชน
- วิเคราะห์ดัชนีความรุนแรงของอุณหภูมิและฝน
- วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของดัชนีความรุนแรงของอุณหภูมิและฝนในเชิงพื้นที่และเวลา
- จัดทำแผนที่แสดงพื้นที่วิกฤติของดัชนีความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศแต่ละดัชนี
- รายงานฉบับสมบูรณ์

1.4 ผลการศึกษาที่คาดว่าจะได้รับเมื่อการดำเนินงานเสร็จสิ้น และตัวชี้วัดความสำเร็จของโครงการ

- Algorithms และ procedures ที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมคุณภาพของข้อมูล
- ฐานข้อมูลภูมิอากาศคุณภาพสูงที่ผ่านกระบวนการควบคุมคุณภาพ
- ลักษณะและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดัชนีความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย
- แผนที่แสดงพื้นที่วิกฤติของดัชนีความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศแต่ละดัชนี
- รายงานฉบับสมบูรณ์
- เอกสาร/บทความวิชาการ/กึ่งวิชาการ ตีพิมพ์ในวารสารทั้งในและต่างประเทศ

1.5 กระบวนการผลักดันผลงานดังกล่าวออกสู่การใช้ประโยชน์

- การจัดประชุมวิชาการ รับฟังความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ
- การจัดประชุมวิชาการเผยแพร่ผลการศึกษากับ ผู้กำหนดนโยบาย (policy makers) ผู้จัดทำนโยบาย (decision makers) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเช่น กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ประชาชน ผู้สนใจ และสื่อสารมวลชน
- นำเสนอ ตีพิมพ์ เอกสาร บทความวิชาการ/กึ่งวิชาการ ในวารสาร การประชุมทั้งในและต่างประเทศ

บทที่ 2

การทบทวนเอกสาร (Literature Reviews)

2.1 สถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ (Extreme Weather Events)

2.1.1 นิยามและความหมาย

สถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ หมายถึง เหตุการณ์ที่ลักษณะและพฤติกรรมของตัวแปรลมฟ้าอากาศเกิดขึ้นในระดับที่รุนแรง หรือสภาพภูมิอากาศที่มีความถี่ของการเกิดไม่บ่อยครั้งนัก ในเชิงสถิติแล้ว สถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ เป็นเหตุการณ์ที่มักปรากฏอยู่บริเวณปลายทั้งสองด้านของการกระจายตัวของค่าตัวแปรทางภูมิอากาศ (รูปที่ 2.1)^{1,15,16} โอกาสความน่าจะเป็นของการเกิด มักอธิบายด้วย Probability Distribution Function (PDF) การกระจายตัวของสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะการกระจายตัวแบบแกมมา (Gamma distribution)¹⁷ PDF มีค่าดังสมการที่ 1

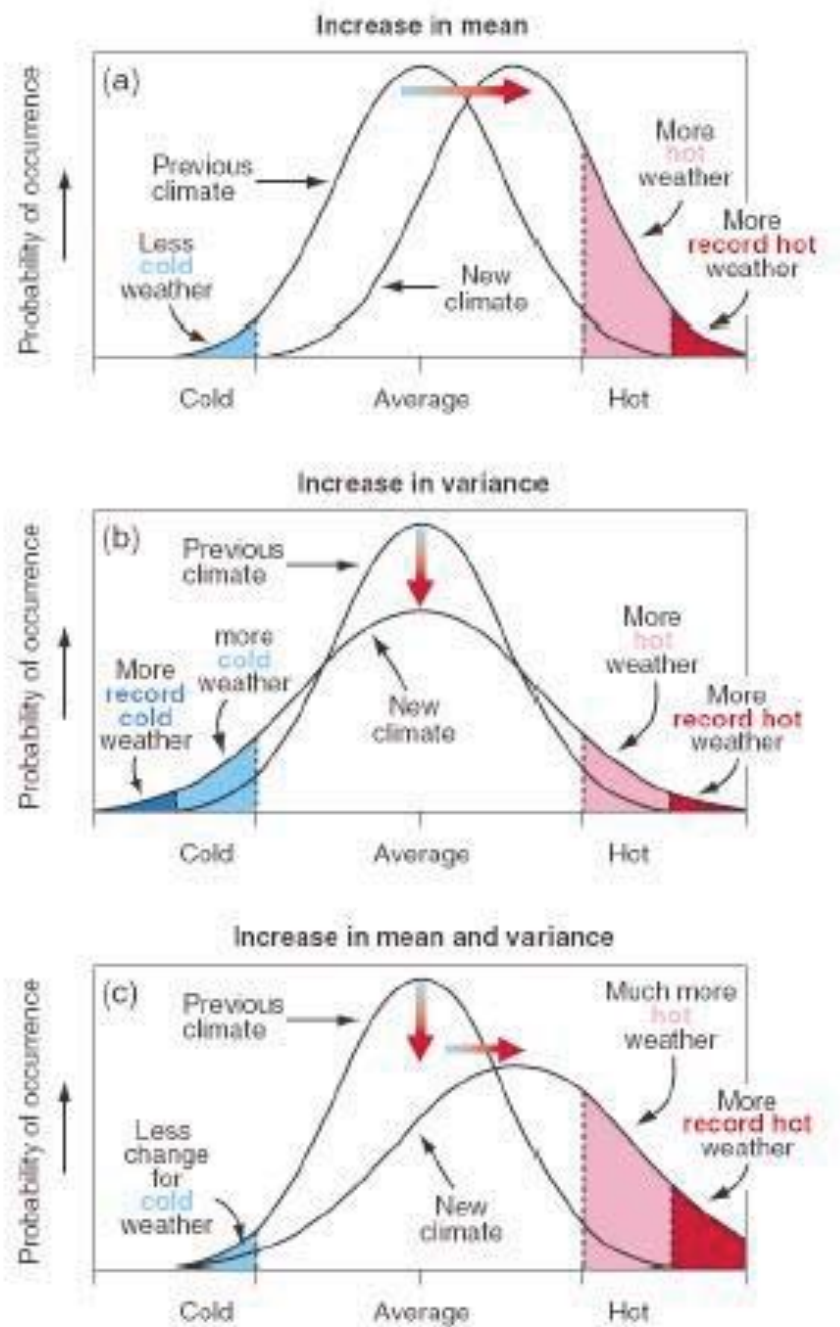
$$f(x) = \frac{x / \beta^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta T(\alpha)}, \quad (1)$$

เมื่อ	x	=	ตัวแปรภูมิอากาศ
	α	=	gamma shape
	β	=	scale parameter
	T	=	gamma function

โดยค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของ x เท่ากับ $\alpha \beta$ และ $\alpha \beta^2$ ตามลำดับ ตัวอย่างของ Gamma distribution ที่มีค่า α และ β แตกต่างกัน แสดงในรูปที่ 2.2

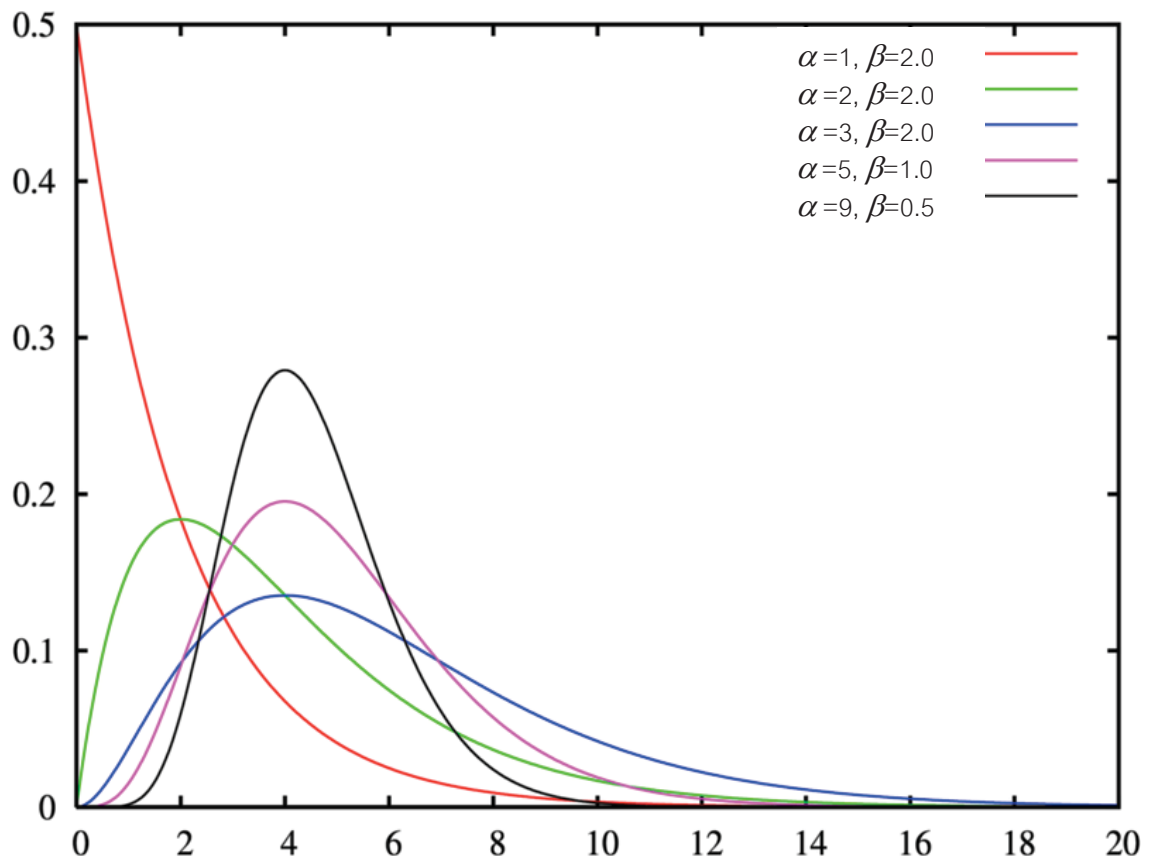
ความถี่และความรุนแรงของการเกิดสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ มักแปรผันในลักษณะเอ็กซ์โพเนนเชียลกับค่าเฉลี่ยของการกระจายของตัวแปรนั้น ๆ ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของค่าเฉลี่ย อาจทำให้ความถี่และระดับความรุนแรงของสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัว โดยทั่วไป การเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศทั้งในแง่ความถี่และความรุนแรง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยหรือความแปรปรวนอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองปัจจัยรวมกัน (รูปที่ 2.1) สถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศอาจแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้¹⁸

- 1) สถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศที่นิยามในเชิงสถิติพื้นฐานของตัวแปรภูมิอากาศ เช่น สถานะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝน ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นปกติทุกปี
- 2) สถานะความรุนแรงที่เกิดจากเหตุการณ์ที่มีความซับซ้อน (more complex event-driven extreme) ตัวอย่างของเหตุการณ์ดังกล่าว เช่น ภาวะความแห้งแล้ง อุทกภัย พายุไซร่อน พายุเฮอริเคน ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่อาจจะไม่เกิดขึ้นทุกปี ณ ที่ใดที่หนึ่ง



รูปที่ 2.1 Probability Density Function ของอุณหภูมิและตำแหน่งของเหตุการณ์สภาวะรุนแรงของอุณหภูมิ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน ที่มีผลกระทบต่อความถี่และความรุนแรงของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ

ที่มา : Harvard Medical School 2005. Climate change futures: Health, ecological and economic dimensions)



รูปที่ 2.2 Gamma distribution ที่มีค่า α และ β แตกต่างกัน

2.1.2 วิธีการและเทคนิคการวิเคราะห์

วิธีการต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิคทางสถิติและแบบจำลอง ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ¹⁸⁻²⁷ การศึกษาอื่น ๆ ส่วนใหญ่จะนิยมใช้ดัชนีทางสถิติที่คำนวณจากลักษณะการกระจายตัวของชุดข้อมูล ในการอธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝน เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีความซับซ้อนและยุ่งยากน้อยกว่า การประเมินจากเหตุการณ์ภัยพิบัติที่เกิดจากสถานะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศในรูปแบบของภัยแล้ง น้ำท่วม พายุเฮอริเคนหรือพายุหมุนโซนร้อนโดยตรง^{1,18-23} อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญบางประการของการใช้ดัชนีที่คำนวณจากสถิติพื้นฐาน คือ ต้องอาศัยข้อมูลที่มีคุณภาพและความถี่สูง รวมทั้งต้องเป็นฐานข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่องในระยะที่ยาวนานเพียงพอ เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นทางสถิติต่อผลการวิเคราะห์สถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่มีความถี่ของการเกิดไม่บ่อยครั้งนัก^{18,20} ดัชนีสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ ได้มีการนำเสนอครั้งแรกใน ปี ค.ศ. 1996 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสรุปและอธิบายความซับซ้อนของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่มีองค์ประกอบหลายตัวแปรและหลายมิติ ให้ง่ายต่อการเข้าใจและให้ผู้กำหนดนโยบายสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ¹⁹ ดัชนีสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศได้ถูกพัฒนาให้มีความสมบูรณ์อย่างต่อเนื่องภายใต้ Joint World Meteorological Organization (WMO) Commission for Climatology (CCI) / World Climate Research Program (WCRP), Climate Variability and Predictability (CLIVAR) project's Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI)²³ ปัจจุบันดัชนีที่ได้รับการยอมรับให้เป็นดัชนีหลัก (Core extreme indices) มีจำนวน 27 ดัชนี ซึ่งสามารถนำมาประเมินลักษณะต่าง ๆ ของสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศทั้งในแง่ความถี่ ความรุนแรง และระยะเวลา โดยสามารถจำแนกได้ดังนี้^{21,23}

- 1) Percentile-based indices เป็นดัชนีของตัวแปรภูมิอากาศที่สูงหรือต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่กำหนด เช่น อุณหภูมิต่ำสุดรายวันที่ต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 และปริมาณฝนที่สูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 หรือ 99 เป็นต้น
- 2) Absolute indices เป็นดัชนีที่แสดงค่าต่ำสุดหรือสูงสุดในแต่ละฤดูกาลหรือในแต่ละปี เช่น ค่าสูงสุดของอุณหภูมิสูงสุดในรอบปี และปริมาณฝนสูงสุดในรอบหนึ่งวัน
- 3) Threshold indices เป็นดัชนีที่แสดงจำนวนวันที่อุณหภูมิและฝนมีค่าต่ำหรือสูงกว่าค่าที่กำหนด (Fixed threshold) เช่น จำนวนวันฝนตกมากกว่า 10 mm. และ จำนวนวันในฤดูร้อนที่เกิดขึ้นในรอบปี
- 4) Duration indices เป็นดัชนีที่แสดงช่วงเวลาที่อบอุ่น หนาว แห้งแล้ง และเปียกกว่าปกติ เช่น วันที่แห้งแล้งอย่างต่อเนื่อง ช่วงเวลาของคลื่นความร้อน เป็นต้น
- 5) Other indices เป็นดัชนีที่แสดงลักษณะอื่น ๆ ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ เช่น ดัชนีความแรงของฝนอย่างง่าย ช่วงอุณหภูมิในรอบวัน

นอกจากนี้ วิธีการแบบจำลองทางสถิติ (Statistical model) เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สถานะความรุนแรงของฝน โดย Generalized Extreme Value (GEV) และ Gamma

distribution เป็นแบบจำลองที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถอธิบายรูปแบบและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝนได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพในหลายพื้นที่²⁴⁻²⁷

2.1.3 สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงในภูมิภาคต่างๆของโลก

ภายใต้สภาวะการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของอุณหภูมิโลกโดยเฉลี่ย อันเป็นผลต่อเนื่องมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ได้ก่อให้เกิดการตื่นตัวและมีข้อกังวลมากขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของความถี่ของการเกิดและความรุนแรงของสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ ที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายและส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อชีวิต ทรัพย์สิน สภาพเศรษฐกิจและสังคม รวมทั้งสิ่งแวดล้อมทุกระบบ บทเรียนจากภัยพิบัติทางภูมิอากาศที่ประชาคมโลกได้ประสบในระยะเวลาที่ผ่านมา ได้แสดงให้เห็นแล้วว่าสาธารณชนได้รับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมากขึ้น โดยผ่านทางผลกระทบและความเสียหายของสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ ภัยพิบัติที่เกิดจากพายุเฮอริเคนแคทรีนาและพายุไซโคลนนากรีส ได้สร้างความเสียหายอย่างมหาศาลแก่ประเทศสหรัฐอเมริกาและสหภาพพม่าเมื่อปี พ.ศ. 2548 และ 2551 ตามลำดับ เป็นตัวอย่างที่ชัดเจนของสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศที่เกิดขึ้น²⁸⁻³⁰ ซึ่งมีการคาดการณ์ว่าจะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับในอนาคตอันใกล้ ตามสัดส่วนของการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกและอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลก และการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของประชากรและโครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่ล่อแหลมต่อสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ³¹ ในช่วงระยะเวลา 10-20 ปีที่ผ่านมา การประเมินสภาวะความรุนแรงของฝน อุณหภูมิ และความชื้น ได้มีการดำเนินการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องทั้งในระดับประเทศ ภูมิภาค และระดับโลก ซึ่งได้มีส่วนช่วยให้เกิดความรู้ความเข้าใจถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงและพลวัตของสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในหลายภูมิภาคของโลกเพิ่มมากขึ้น ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 การศึกษาวิจัย เทคนิค/วิธีการ และผลการศึกษาที่ได้เหล่านี้ได้ถูกนำมาสังเคราะห์ในรายงานการประเมินฉบับที่ 4 ของ IPCC ในการอธิบายภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงในระดับโลกและระดับภูมิภาค ซึ่งผลการสังเคราะห์ดังกล่าวสรุปได้ดังนี้

1) **อุณหภูมิ** : ผลการประเมินในหลายพื้นที่ของทวีปเอเชีย แอฟริกา ยุโรป อเมริกา ขั้วโลกเหนือและออสเตรเลีย โดยการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมรายวัน บ่งชี้ชัดเจนถึง การเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิเกือบทุกภูมิภาคของโลก โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงมีความสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก อีกทั้งสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิในเวลากลางวันและกลางคืน มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน จากการสังเคราะห์ข้อมูลในระดับโลกของ Alexander และคณะ²¹ พบว่า พื้นดินทั่วโลกมากกว่า 70% มีจำนวนคืนที่หนาวและคืนที่อบอุ่นในรอบปีลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงการขยับตัวไปในทางบวกของการกระจายตัวของอุณหภูมิต่ำสุดทั่วโลก ในขณะที่จำนวนวันที่หนาวและวันที่อบอุ่นในรอบปีมีการเปลี่ยนแปลงเหมือนกับจำนวนคืนที่หนาวและคืนที่อบอุ่น แต่การเปลี่ยนแปลงมีอัตราและความรุนแรงที่น้อยกว่า ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำสุดที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิสูงสุด ซึ่งส่งผลให้ช่วงของอุณหภูมิในรอบวันลดลงตั้งแต่ปีค.ศ. 1951 (Diurnal Temperature Range)

2) **ฝน** : การศึกษาส่วนใหญ่ พบว่า การเปลี่ยนแปลงปีต่อปีและทศวรรษต่อทศวรรษ เป็นโหมดที่โดดเด่นของการเปลี่ยนแปลงของฝนในช่วงระยะเวลา 50-60 ปีที่ผ่านมา โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะที่

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการศึกษาวิจัยภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ

แหล่งข้อมูล	ช่วงระยะเวลา	พื้นที่ศึกษา	ผลการศึกษา
Gaffen and Ross, 1998 ³²	1949-1995	United States	An increase in frequency of extreme heat-stress events
Manton et al., 2001 ³³	1961-1998	Southeast Asia/South Pacific	Increases in hot days/ warm nights and decreases in cool days/cold nights
Wang and Gaffen, 2001 ³⁴	1961-1990	China	An increase in summer apparent temperature
Frich et al., 2002 ³⁵	1946-1999	Global	An increase in warm summer nights, a decrease in the number of frost days and a decrease in intra-annual extreme temperature range
Domonkos et al., 2003 ³⁶	1901-98	South-Central and Europe	Large long-term fluctuation in frequencies of both winter extreme cold events and summer extreme warm events
Rusticucci and Barrucand,2004 ³⁷	1959-1998	Argentina	Increases in mean summer minimum temperature and number of warm days/nights in winter
Prieto et al., 2004 ³⁸	1955-1998	Spain	A decrease in the annual frequency of extreme events
Gong and Ho, 2004 ³⁹	1954-2001	East Asia	A warming during winter months, increases in the number of extremely cold events and in the frequency of low temperature extremes
Alexander et al., 2006 ²¹	1951-2003	Global	A decrease in cold nights and an increase in warm nights over 70% of global land area
Bhutiyani et al., 2007 ⁴⁰	1901-2002	Northwestern Himalaya	Warming with a winter increase at a faster rate, an increase in diurnal temperature range
Griffiths and Bradley, 2007 ³¹	1926-2000	Northeast United States	Warming, decrease in the extreme temperature range and an increase in the growing season length
Vincent et al., 2007 ⁴¹	1953-2005	Canada	Significant warming during winter and spring
Dash et al., 2007 ⁴²	1901-2003	India	Warming during winter and post-monsoon, decrease in minimum temperature during summer monsoon

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างการศึกษาวิจัยสภาวะความรุนแรงของฝน

แหล่งข้อมูล	ช่วงระยะเวลา	พื้นที่ศึกษา	วิธี/เทคนิค	ผลการศึกษา
Manton et al., 2001 ³³	1961-1998	Southeast Asia/South Pacific	Extreme indices	Decreases in number of rainy days and frequency of extreme rainfall events
Frich et al., 2002 ³⁵	1946-1999	Global	Extreme indices	Increases in wet spell and number of heavy rainfall events
Alexander et al., 2006 ²¹	1951-2003	Global	Extreme indices	A tendency toward wetter conditions
Nadarajah, 2005 ²⁶	1901-2003	West central Florida, USA	Generalized Extreme Value (GEV)	A decrease in extreme rainfall with higher return levels
Osborn and Hulme, 2002 ²⁵	1961-2000	United Kingdom	Gamma distribution	An increased frequency of heavy winter precipitation and decreased summer total and heavy precipitation
Suppiah and Hennessy, 1998 ⁴³	1910-1990	Australia	Extreme indices	An increase in both winter and summer heavy rainfall
Goswami et al., 2006 ⁴⁴	1951-2000	India	Extreme indices	Increases in the frequency and magnitude of extreme rain and a decrease in the frequency of moderate rain
Karl and Knight, 1998 ⁴⁵	1910-1996	United States	Extreme indices	10% increased precipitation due to heavy and extreme events
Schmidli and Frei, 2003 ⁴⁶	1901-2000	Swiss Alps	Extreme indices	15-30% increase in winter precipitation
Griffiths and Bradley, 2007 ³¹	1926-2000	Northeast United States	Extreme indices	An increase in wetter conditions and intense events
Groisman et al., 2005 ⁴⁷	1930-2000	Global	Extreme indices	An increase in intense precipitation for many extra-tropical region
Zhai et al., 2005 ⁴⁸	1951-2000	China	Extreme indices	An increase in rainfall intensity and tendency toward higher frequency of precipitation extreme events
Fowler and Kilsby, 2003 ²⁷	1961-2000	United Kingdom	Generalized Extreme Value (GEV)	Decadal-level changes in 5 –and 10-day events in many region

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการศึกษาวิจัยสภาพความรุนแรงของอุณหภูมิชั้นสัณพัทท์

แหล่งข้อมูล	ช่วงระยะเวลา	พื้นที่ศึกษา	ตัวแปร	ผลการศึกษา
Ross and Elliott, 1996 ⁴⁹	1973-1993	North America	Surface to 500 mb precipitable water and dewpoint temperature	An increasing trend
Elliott and Angell, 1997 ⁵⁰	1973-93	United States	Surface to 500 mb precipitable water and dewpoint temperature	An increasing trend
Gaffen and Ross, 1999 ⁵¹	1961-1990	United States	Dewpoint temperature and relative/specific humidity	Increases in dewpoint temperature, specific/relative humidity in winter, spring and summer
Robison, 2000 ⁵²	1951-1990	United States	Dewpoint temperature	Mixed (both an increasing and decreasing trends)
Ross and Elliot, 2001 ⁵³	1973-1995	Northern Hemisphere	Surface to 500 mb precipitable water, specific humidity and dewpoint temperature	An increasing trend
Wang and Gaffen, 2001 ³⁴	1961-1990	China	Dewpoint temperature and relative/specific humidity	An increase in atmospheric moisture content
Trenberth et al., 2005 ⁵⁴	1973-1995	Northern Hemisphere	Surface to 500 mb precipitable water, specific humidity and dewpoint temperature	An increasing trend
Dai, 2006 ⁵⁵	1975-2005	Global	Specific/relative humidity	An increasing trend
Seidel et al., 2007 ⁵⁶	1935-2004	Mt. Washington	Dewpoint temperature and relative humidity	Overall decreases in dewpoint temperature, relative humidity and mixing ratios
Vincent et al., 2007 ⁴¹	1953-2005	Canada	Dewpoint temperature and relative/specific humidity	Increases in winter and spring dewpoint temperature and specific humidity and a decrease in relative humidity in winter and spring

แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่และแต่ละภูมิภาค ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของเหตุการณ์ฝนตกหนักเป็นสภาวะความรุนแรงของฝนที่เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ เช่น ในทวีปยุโรป ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ประเทศอัฟริกาใต้ พื้นที่แถบไซบีเรีย ภาคกลางของประเทศเม็กซิโก ประเทศญี่ปุ่น และประเทศอินเดีย ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าว เกิดขึ้นทั้งการเพิ่มขึ้นและการลดลงของปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี รวมทั้งปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีไม่มีการเปลี่ยนแปลง Alexander และคณะ²¹ ได้ทำการสังเคราะห์ข้อมูลระดับโลกพบว่าสัดส่วนของปริมาณฝนทั้งหมดที่เกิดจากปริมาณฝนที่มากผิดปกติ (very wet day, upper 5%) มีค่าสูงขึ้นในระยะหลังศตวรรษที่ 20 และความแรงของฝนมากกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นดินทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การวิเคราะห์ในรายละเอียดพบว่าสภาวะความรุนแรงของฝนสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งฤดูหนาว เช่น ในทวีปยุโรป และฤดูร้อน เช่น ในทวีปอเมริกาเหนือ ผลการศึกษาวิจัยอื่นๆยังได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของฝน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาวะความรุนแรงว่ามีลักษณะที่ซับซ้อนและแตกต่างจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยสิ้นเชิง โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบไม่สมมาตร (Disproportion) ในเชิงพื้นที่ ซึ่งภาพการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันในระดับภูมิภาค สรุปได้ค่อนข้างยาก

2.2 กระบวนการทดสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศ

2.2.1 ความสำคัญของการควบคุมคุณภาพข้อมูล

ข้อมูลภูมิอากาศ เป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญและจำเป็นต่อการศึกษาในด้านต่าง ๆ ของระบบสิ่งแวดล้อมโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การศึกษาวิจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ และการเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต การศึกษาวิจัยภูมิอากาศในอดีตที่ผ่านมา ส่วนใหญ่อาศัยข้อมูลที่บันทึกด้วยเครื่องมือของสถานีผิวพื้นเป็นหลัก ซึ่งเป็นการตรวจวัดลักษณะภูมิอากาศ ณ จุดใดจุดหนึ่งและเวลาใดเวลาหนึ่งโดยตรง ในช่วงระยะเวลา 200 ปีที่ผ่านมา ได้มีการเก็บบันทึกข้อมูลภูมิอากาศจากเครื่องมือของสถานีผิวพื้นมากกว่า 100,000 สถานีทั่วโลก ซึ่งนับว่าเป็นเครือข่ายขนาดใหญ่ของฐานข้อมูลปฐมภูมิของภูมิอากาศภาคพื้นดินที่ค่อนข้างสมบูรณ์ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาดังแต่ยุคหลังปฏิวัติอุตสาหกรรม เป็นต้นมา⁵⁷⁻⁵⁹

สำหรับประเทศไทย มีการติดตั้งเครื่องมือของสถานีพื้นผิวมาแล้วประมาณ 50 ปี ปัจจุบันประเทศไทยมีสถานีผิวพื้นสำหรับติดตามตรวจสอบและพยากรณ์สภาพภูมิอากาศ อุทกวิทยา และการเกษตร ครอบคลุมทั่วประเทศไม่น้อยกว่า 500 แห่ง⁶⁰ อย่างไรก็ตาม การนำข้อมูลเบื้องต้นจากสถานีผิวพื้นมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในระยะยาว และการประเมินสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศและสภาพภูมิอากาศ มักประสบปัญหาเกี่ยวกับความเที่ยงตรงและความไม่น่าเชื่อถือของผลการศึกษา^{57-59,61-63} ทั้งนี้เนื่องจากสถานีผิวพื้นส่วนใหญ่จัดตั้งขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์หลักในการติดตามตรวจสอบ และพยากรณ์ลักษณะลมฟ้าอากาศในระยะสั้นและเฉพาะที่เท่านั้น⁶⁴ ดังนั้นการศึกษาวิจัยจึงมีข้อจำกัดค่อนข้างมากในเรื่องคุณภาพของข้อมูลที่ขาดความต่อเนื่องและความสมบูรณ์ของข้อมูล โดยทั่วไป ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความผิดพลาดในการตรวจวัดและบันทึกผลซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ค่าผิดปกติ (Outlier) ข้อมูลที่น่าสงสัยและข้อมูลที่หายไป (Suspicious and missing data)⁵⁷⁻⁵⁹ มักปรากฏอยู่บ่อยครั้งใน

อนุกรมเวลาของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดของสถานีผิวพื้น โดยความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมีผลกระทบโดยตรงต่อความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ นอกจากนี้ข้อมูลที่บันทึกจากเครื่องมือที่สถานีผิวพื้นในระยะยาว มักจะเกิดความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Inhomogeneity) ในอนุกรมเวลาของข้อมูลได้ง่าย ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลดังกล่าว อาจเกิดมาจากหลายสาเหตุที่ไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโดยตรง เช่น การย้ายสถานี การเปลี่ยนแปลงที่ตั้งสถานี การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมบริเวณโดยรอบของสถานี การเปลี่ยนแปลงเครื่องมือตรวจวัดหรือเวลาในการตรวจวัด^{61,63-65} ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล จะส่งผลให้เกิดความแปรปรวนเพิ่มเติมขึ้นในอนุกรมเวลาของข้อมูล ดังนั้นผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการใช้ข้อมูลที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จะทำให้ไม่สามารถอธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลาที่แท้จริงของข้อมูลได้⁶⁵⁻⁶⁶ ดังนั้น แต่ละปัจจัยที่กล่าวมาจึงมีส่วนทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนฝังตัวอยู่ในฐานข้อมูล ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากมนุษย์มีความสลับซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น

เพื่อให้ผลการศึกษาวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีความน่าเชื่อถือ และเที่ยงตรงตลอดจนเป็นมาตรฐานที่ใกล้เคียงกันทั่วโลก สามารถนำไปกำหนดแนวทางแก้ไขและตั้งรับ รวมทั้งสนับสนุนการตัดสินใจ และการพิจารณาในการประชุมสมัชชาภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) ได้อย่างเป็นรูปธรรม องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization, WMO) จึงได้กำหนดให้ฐานข้อมูลภูมิอากาศที่รวบรวมจากสถานีผิวพื้น จะต้องผ่านกระบวนการทดสอบและควบคุมคุณภาพอย่างละเอียด^{58,63,64,67-69} ก่อนนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัย

การควบคุมคุณภาพข้อมูล นับว่าเป็นกระบวนการสำคัญในการตรวจแก้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการตรวจวัด การบันทึกผล การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ในอนุกรมเวลาของข้อมูล การปรับแก้ การประมาณค่า (Interpolation) สำหรับข้อมูลที่ขาดหายไป (Missing data) และการเกิดช่องว่างของข้อมูล (gap data) ฐานข้อมูลคุณภาพสูงที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวมีข้อดีคือ สามารถนำไปใช้และแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างหน่วยงาน เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั้งในระดับท้องถิ่น ระดับภูมิภาค และระดับโลกได้อย่างมั่นใจ

2.2.2 วิธีการควบคุมคุณภาพข้อมูล

วิธีมาตรฐานสำหรับการควบคุมและประกันคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศที่หน่วยงานนานาชาติ เช่น Global Historical Climatology Network (GHCN) และ National Climatic Data Center (NCDC)^{58,61,63,65,68,70} ได้ดำเนินการรวบรวมและจัดทำเป็นวิธีมาตรฐานเพื่อประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนและวิธีการ ดังนี้

1) การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนโดยรวม (Gross error check) ได้แก่

- ความซ้ำซ้อนของสถานีในฐานข้อมูล และหรือระหว่างฐานข้อมูล
- ความสอดคล้องของวันตามปฏิทิน เช่น จำนวนวันต่อปี และจำนวนวันต่อเดือน

- ค่าสูงหรือต่ำที่ผิดปกติของข้อมูล (High-low extreme value) เป็นการตรวจเช็คค่าผิดปกติของข้อมูลในแต่ละสถานี Feng และคณะ (2004) ได้ทำการตรวจเช็คค่าผิดปกติสำหรับข้อมูลภูมิอากาศรายวันในประเทศไทย โดยใช้การเปรียบเทียบค่าข้อมูลในแต่ละสถานีกับค่าที่อ้างอิงในเอกสารเผยแพร่ (ตารางที่ 2.4) ซึ่งค่าที่สูงหรือต่ำกว่าค่าที่แสดงในตารางที่ 2.4 ถือว่าเป็นค่าผิดปกติในฐานข้อมูล จะต้องนำไปปรับแก้ก่อนนำไปใช้ในการทดสอบคุณภาพข้อมูลในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 2.4 ค่าสูงและค่าต่ำที่ใช้เป็นค่าผิดปกติสำหรับอุณหภูมิ ปริมาณฝน และความชื้นสัมพัทธ์รายวันในประเทศไทย

ตัวแปร	ค่าสูง	ค่าต่ำ	แหล่งอ้างอิง
อุณหภูมิเฉลี่ย	93.9 °C	-89.4 °C	Kubecka (2001) ⁷¹ , Gleason (2002) ⁷²
อุณหภูมิสูงสุด	93.9 °C	-89.4 °C	Kubecka (2001), Gleason (2002)
อุณหภูมิต่ำสุด	93.9 °C	-89.4 °C	Kubecka (2001), Gleason (2002)
ปริมาณฝน	1828.8 mm	0 mm	Gleason (2002)
ความชื้นสัมพัทธ์	100%	0%	Physical constraint

ที่มา: Feng และคณะ, 2004

2) การตรวจสอบความสอดคล้องภายในของข้อมูล (Internal consistency check)

Reek et al. (1992)⁷³ ได้แนะนำวิธีการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของข้อมูลอุณหภูมิและฝนที่เกิดจากการรายงานและการนำเข้าข้อมูล รวมทั้งการใช้หน่วยของข้อมูลที่แตกต่างกัน วิธีการตรวจสอบประกอบด้วย

- ความไม่สอดคล้องภายในของข้อมูล (Internal inconsistency) เป็นการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในกรณีที่อุณหภูมิสูงสุดมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่ามากกว่าอุณหภูมิสูงสุดหรือน้อยกว่าอุณหภูมิต่ำสุด ช่วงอุณหภูมิรอบวันที่สูงผิดปกติ (Excess diurnal temperature range) เป็นการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของช่วงอุณหภูมิรอบวันที่สูงผิดปกติในขณะที่อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ในช่วงปกติ
- ลักษณะแบนเรียบของข้อมูล (Flat line check) เป็นการตรวจสอบข้อมูลที่มีค่าเหมือนกันไม่น้อยกว่าเจ็ดวันอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบนี้ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับข้อมูลปริมาณฝนที่มีค่าเป็นศูนย์ โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ตรวจสอบได้จัดเป็นข้อมูลที่สงสัยจะต้องนำไปปรับแก้ ยกเว้นค่าแรกของข้อมูล

3) การตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลา (Temporal outlier check)

วิธีการควบคุมคุณภาพข้อมูลที่กำลังมาข้างต้น สามารถตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนที่ปรากฏอย่างชัดเจนในอนุกรมของข้อมูลเท่านั้น แต่ไม่สามารถตรวจสอบค่าผิดปกติที่มีลักษณะดังนี้

- ข้อมูลที่มีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าข้อมูลใกล้เคียงแต่ไม่เกินขอบเขต (Threshold) ที่สามารถตรวจสอบด้วยวิธีความสอดคล้องภายในของข้อมูล
- การเปลี่ยนแปลงแบบก้าวกระโดด (step change) ระหว่างข้อมูลสองค่าที่อยู่ติดกัน

ดังนั้น ค่าผิดปกติในเชิงเวลาทั้งสองกรณีสำหรับข้อมูลภูมิอากาศรายวัน สามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีประเมินความแปรปรวนของข้อมูลในแต่ละเดือน วิธีทางสถิติที่นิยมใช้โดยทั่วไป คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล⁵⁹ (Standard deviation, SD) โดยถือว่าข้อมูลเป็นค่าผิดปกติในเชิงเวลาในกรณีที่

$$X_{ij} > \text{Mean}_j \pm f * \text{SD} \quad (2)$$

เมื่อ X_{ij} = ค่าข้อมูลวันที่ i ในเดือน j
 Mean_j = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลรายวันในเดือน j
 f = ช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล ปกติจะมีค่าระหว่าง 3 ถึง 5 สำหรับข้อมูลอุณหภูมิ และ 10 ถึง 15 สำหรับข้อมูลฝน

อย่างไรก็ตาม การใช้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอาจมีปัญหาค่าผิดปกติที่มีค่าไม่สูงมาก โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นในกรณีที่ชุดข้อมูลนั้น ๆ มีค่าผิดปกติสูงมาก ๆ ซึ่งมีอยู่เพียงไม่กี่ค่าเท่านั้น ดังนั้น วิธีทางสถิติอีกวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและทนทานต่อค่าผิดปกติได้ดี คือ ค่าพิสัยระหว่างควอไทล์⁵⁷ (Inter-Quartile Range, IQR) โดยจัดเป็นข้อมูลที่มีค่าผิดปกติในกรณีที่

$$X_{ij} - q50_j > f * \text{IR}_j \quad (3)$$

เมื่อ X_{ij} = ค่าข้อมูลวันที่ i ในเดือน j
 $q50_j$ = ค่ามัธยฐานหรือค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ของข้อมูลในเดือน j
 f = ช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ ปกติจะมีค่าระหว่าง 3 ถึง 5 ทั้งนี้ f อาจมีค่ามากกว่า 5 ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล
 IR_j = Inter-Quartile Range (ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 ลบด้วยเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25)

4) การตรวจสอบค่าผิดปกติเชิงพื้นที่ (Spatial outlier check)

วิธีมาตรฐานในการตรวจสอบค่าผิดปกติเชิงพื้นที่สำหรับข้อมูลภูมิอากาศรายวัน อาศัยเทคนิคการเปรียบเทียบข้อมูลรายวันในแต่ละเดือนกับข้อมูลของสถานีใกล้เคียงอย่างน้อย 3 สถานี^{57,59,70} โดยสถานีใกล้เคียงที่เลือกมาใช้เป็นสถานีอ้างอิงในการเปรียบเทียบ จะต้องมีความสัมพันธ์กับสถานีที่ต้องการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ โดยปกติประเมินจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในแต่ละเดือนระหว่างข้อมูลของสถานีที่จะตรวจสอบค่าผิดปกติกับสถานีใกล้เคียง ที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นไม่ต่ำกว่า 95 เปอร์เซนต์

ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ ประกอบด้วยการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างสถานีใกล้เคียงกับสถานีที่ตรวจสอบค่าผิดปกติ และการคำนวณค่า root-mean-square error (RMSE) ของสมการดังกล่าว หลังจากคำนวณสมการถดถอยเชิงเส้นตรงทุกสถานีใกล้เคียงแล้ว ค่าข้อมูลรายวันที่จัดว่าเป็นค่าผิดปกติ คือ ค่าข้อมูลนั้น ๆ อยู่นอกช่วงความมั่นใจของสมการถดถอยเชิงเส้นตรงทุกสมการระหว่างสถานีที่ตรวจสอบค่าผิดปกติและสถานีใกล้เคียง⁷⁴ ซึ่งค่าผิดปกติแสดงได้ดังนี้

$$VF_{ij} - F * RMSE_j < X_i < VF_{ij} + F * RMSE_j \quad (4)$$

เมื่อ $j = 1, \dots, N$ คือ จำนวนสถานีใกล้เคียง
 $i = 1, \dots, m$ คือ วันใดวันหนึ่งในเดือนนั้น ๆ และ m คือ จำนวนวันในเดือนนั้น
 X_i = ข้อมูลของสถานีที่ตรวจเช็คในวันที่ i
 VF_{ij} = ค่าประมาณของค่า X_i จากสมการถดถอยของสถานี j ของข้อมูลวันที่ i
 F = ขอบเขตของความเชื่อมั่นของสมการถดถอย

5) ข้อมูลที่ขาดหายไปหรือช่องว่างของข้อมูล (Missing data and data gap)

ข้อมูลที่ขาดหายไปหรือช่องว่างของข้อมูลในอนุกรมข้อมูลรายวัน รวมทั้งข้อมูลที่สงสัยและมีค่าผิดปกติไปจากการตรวจเช็คด้วย 4 วิธีข้างต้น สามารถทำการประมาณค่า (Interpolation) ให้เกิดความสมบูรณ์และต่อเนื่องในเชิงเวลาในอนุกรมของข้อมูลได้โดยใช้วิธีของ Hubbard (2001) ดังนี้

$$V_{ei} = \frac{\sum_{j=1}^N [VF_{ij} \times RMSE_j^{-2}]}{\sum_{j=1}^N RMSE_j^{-2}} \quad (5)$$

เมื่อ V_{ei} = ค่าประมาณของข้อมูลที่ขาดหายไป

6) การตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล (Homogeneity check)

ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของฐานข้อมูลภูมิอากาศรายปี รายเดือน และรายวัน สามารถตรวจสอบได้หลายวิธี^{61-63,65-66,69-70,75} เทคนิคการตรวจสอบที่ง่าย คือ การตรวจสอบโดยตรงจากข้อมูลประวัติของสถานี (Meta data) ที่บันทึกรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของเครื่องมือ การย้ายสถานี วิธีการตรวจวัด และการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมบริเวณโดยรอบสถานี^{63,70} อย่างไรก็ตาม ข้อมูลประวัติของสถานีที่น่าเชื่อถือ และมีการบันทึกอย่างสมบูรณ์ตลอดระยะเวลาการตรวจวัดของสถานีมีจำนวนค่อนข้างน้อย ดังนั้น เทคนิคการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลส่วนใหญ่จะอาศัยการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลในเชิงสัมพัทธ์ (Relative homogeneity test) เป็นเทคนิค ที่อาศัยหลักการการเปรียบเทียบลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลของสถานีที่กำลังตรวจสอบกับของสถานีใกล้เคียงที่ตั้งอยู่โดยรอบที่คัดเลือกเป็นสถานีอ้างอิง (Reference sites) ที่มีคุณสมบัติของข้อมูลมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ปัญหาหลักของเทคนิคนี้ในการคัดเลือกสถานีอ้างอิง คือ สถานีอ้างอิงจะต้องมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นเนื้อเดียวกันและระยะทางจะต้องใกล้เคียงเพียงพอกับสถานีที่ต้องการตรวจสอบ วิธีการโดยทั่วไปในการสร้างสถานีอ้างอิงคือการนำสถานีที่ใกล้เคียงกัน และมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญซึ่งกันและกัน มาหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละปี หรือคัดเลือกสถานีใกล้เคียงที่ข้อมูลประวัติสถานีระบุชัดเจนว่าข้อมูลในอนุกรมเวลาของสถานีนั้น ๆ เป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้ เทคนิค principal component analysis อาจนำมาใช้ในการสร้างสถานีอ้างอิงจากสถานีทั้งหมดในฐานข้อมูลได้
- การทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลในเชิงสมบูรณ์ (Absolute homogeneity test) เป็นเทคนิคทางสถิติ ที่อาศัยหลักการการวิเคราะห์ลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันในอนุกรมเวลาของข้อมูลโดยตรง โดยลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล สามารถวิเคราะห์และประเมินได้จากคุณสมบัติและการกระจายตัวของข้อมูลทางสถิติเป็นหลัก ข้อดีของเทคนิคนี้ คือ ไม่จำเป็นต้องใช้สถานีอ้างอิง เหมาะสมสำหรับฐานข้อมูลที่สถานีมีการกระจายตัวค่อนข้างหายาก

ตารางที่ 2.5 แสดงรายละเอียดของเทคนิคทางสถิติ ที่มีการพัฒนาและนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล ทั้งนี้การประยุกต์ใช้เทคนิคทางสถิติที่เหมาะสมเพื่อทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลนั้น ควรพิจารณาถึงลักษณะและรายละเอียดของฐานข้อมูลภูมิอากาศ ตลอดจนใช้ข้อมูลประวัติของสถานี (Meta data) ประกอบการตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลด้วย

ตารางที่ 2.5 เทคนิคทางสถิติที่นิยมใช้ในการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลภูมิอากาศ

เทคนิค	รายละเอียด
1. BUISSHAND RANGE TEST (Busishand, 1982; Wijngaard et al., 2003) ^{65,76}	Buishand range test $S_k = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})$ เมื่อ $k=i, \dots, n$ ถ้าอนุกรมเวลาของข้อมูลมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ค่า S_k จะแกว่งไปมาใกล้ค่าศูนย์ เนื่องจากไม่มีการเบี่ยงเบนของค่า Y_i เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย แต่ถ้ามีลักษณะความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลเกิดขึ้นในปี k ค่า S_k จะมีค่าสูงสุด (การเปลี่ยนแปลงแบบฉับพลันในทางลบ) หรือค่าต่ำสุด (การเปลี่ยนแปลงฉับพลันในทางบวก)
2. CRADDOCK TEST (Craddock, 1979; Auer, 1992) ⁷⁷⁻⁷⁸	เทคนิคนี้ ต้องอาศัยสถานีอ้างอิงที่มีลักษณะข้อมูลเป็นเนื้อเดียวกัน Craddock test จะทำการสะสมค่าความแตกต่างที่ได้ normalized ระหว่างสถานีที่ตรวจสอบและสถานีอ้างอิง ตามสูตรสมการนี้ $S_i = S_{i-1} + a_i * (b_m / a_m) - b_i$ โดยที่ a คือ สถานีอ้างอิง และ b คือ สถานีที่ตรวจสอบ ส่วน a_m และ b_m คือ ค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาของข้อมูลทั้งหมด
3. MULTIPLE ANALYSIS OF SERIES FOR HOMOGENISATION (MASH) (Szentimrey, 1996, 1999, 2000) ⁷⁹⁻⁸¹	เทคนิค MASH ไม่อาศัยหลักการความเป็นเนื้อเดียวกันของสถานีอ้างอิง การเปลี่ยนแปลงฉับพลันที่อาจเกิดขึ้นในอนุกรมเวลาของข้อมูล สามารถตรวจสอบและปรับแก้ โดยการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสถานี ที่มีลักษณะทางสภาพภูมิอากาศที่เหมือนกัน นอกจากสถานีที่ตรวจสอบแล้ว เทคนิค MASH จะพิจารณาสถานีอื่น ๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบ เป็นสถานีอ้างอิงอัตโนมัติ โดยแบบจำลอง additive multiplicative จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับแก้ความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของตัวแปรด้านภูมิอากาศ คุณสมบัติเด่นของเทคนิค MASH คือ สามารถปรับแก้ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งข้อมูลรายเดือน ฤดูกาลและรายปี ในเวลาเดียวกัน
4. MULTIPLE LINEAR REGRESSION (Vincent et al., 1998; 2002 ; Vincent and Gullett, 1999) ^{61,66,82}	อาศัยหลักการการประยุกต์ใช้แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรง (regression models) เพื่อตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล ในรูปแบบของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงก้าวกระโดดขั้นเดียว (single step) หรือแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงก่อนหรือหลังก้าวกระโดดของข้อมูล ตัวแปรตามของแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรง คือ อนุกรมข้อมูลของสถานีที่ต้องการตรวจสอบ ในขณะที่

	ที่ตัวแปรอิสระ คือ อนุกรมข้อมูลของสถานีใกล้เคียง ขั้นตอนการตรวจสอบ ประกอบด้วย การประยุกต์ใช้แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นตรง จำนวน 4 สมการ ตามลำดับ
5. PETTIT TEST (Pettit, 1979; Wijngaard et al. 2003) ^{65,83}	เทคนิค non-parametric rank test โดยทำการจัดเรียงลำดับ $r_1, \dots, r_n$ ของอนุกรมข้อมูล $Y_1, \dots, Y_n$ เพื่อคำนวณค่าสถิติ $X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1)$ โดย $k=1, \dots, n$ ในกรณีที่เกิดความไม่ เป็นเนื้อเดียวกันข้อมูลในปี E ค่าสถิติ X_k จะมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด บริเวณปีที่ E ($k=E$) ซึ่ง $X_E = \max X_k \quad 1 \leq k \leq n$
6. RANK-ORDER CHANGE POINT TEST (Lanzante, 1996) ⁸⁴	เทคนิคที่อาศัยสถิติการจัดเรียงลำดับข้อมูล (rank) เช่น Wilcoxon-Whitney test ซึ่งมีข้อดี คือ ผลการทดสอบจะไม่ได้รบกวน กระทบจากข้อมูลผิดปกติโดยค่าสถิติ (sum of rank) จะถูกคำนวณในแต่ละจุดของข้อมูลตั้งแต่จุดเริ่มต้นในอนุกรมข้อมูล จนถึงจุดที่สงสัยว่าจะเกิดความไม่ต่อเนื่อง ทั้งนี้ ค่าสถิติสูงสุดจะบ่งชี้ถึงจุดที่เกิดความไม่ เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล
7. STANDARD NORMAL HOMOGENEITY TEST (Alexanderson et al., 1986) ⁸⁵	หลักการการเปรียบเทียบลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกัน ระหว่างสถานีที่ตรวจสอบและสถานีอ้างอิง ในรูปของสัดส่วนหรือความแตกต่าง $q_i = \frac{F_i}{G_i}; i=1, \dots, n$ ค่าสถิติเพื่อใช้ทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันแสดงได้ ในรูป $T_m = m\bar{z}_1^2 + (n-m)\bar{z}_2^2, m=1, \dots, n-1$ โดย $\bar{z}$ คือ normalized อนุกรมของ q_i ที่หักลบด้วยค่าเฉลี่ยและหารด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
8. PENALIZED MAXIMAL T and F TESTS (Wang et al. 2007; Wang 2008) ^{86,87}	เป็นเทคนิคทางสถิติที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อตรวจสอบและปรับแก้ความไม่ เป็นเนื้อเดียวกันได้หลาย ๆ ค่าในอนุกรมข้อมูล โดยเทคนิคนี้ ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากมีฟังก์ชันพิเศษที่สามารถจัดการกับ autocorrelation ซึ่งมักจะพบในอนุกรมของข้อมูล และ uneven distribution of false alarm rate and detection power นอกจากนี้ Penalized maximal T/F ยังสามารถทดสอบความไม่ เป็นเนื้อเดียวกันได้ ทั้งกรณีที่ใช้สถานีอ้างอิงและไม่ใช้สถานีอ้างอิง

บทที่ 3

วิธีการศึกษาวิจัย

3.1 ขั้นตอนวิธีการศึกษาวิจัย

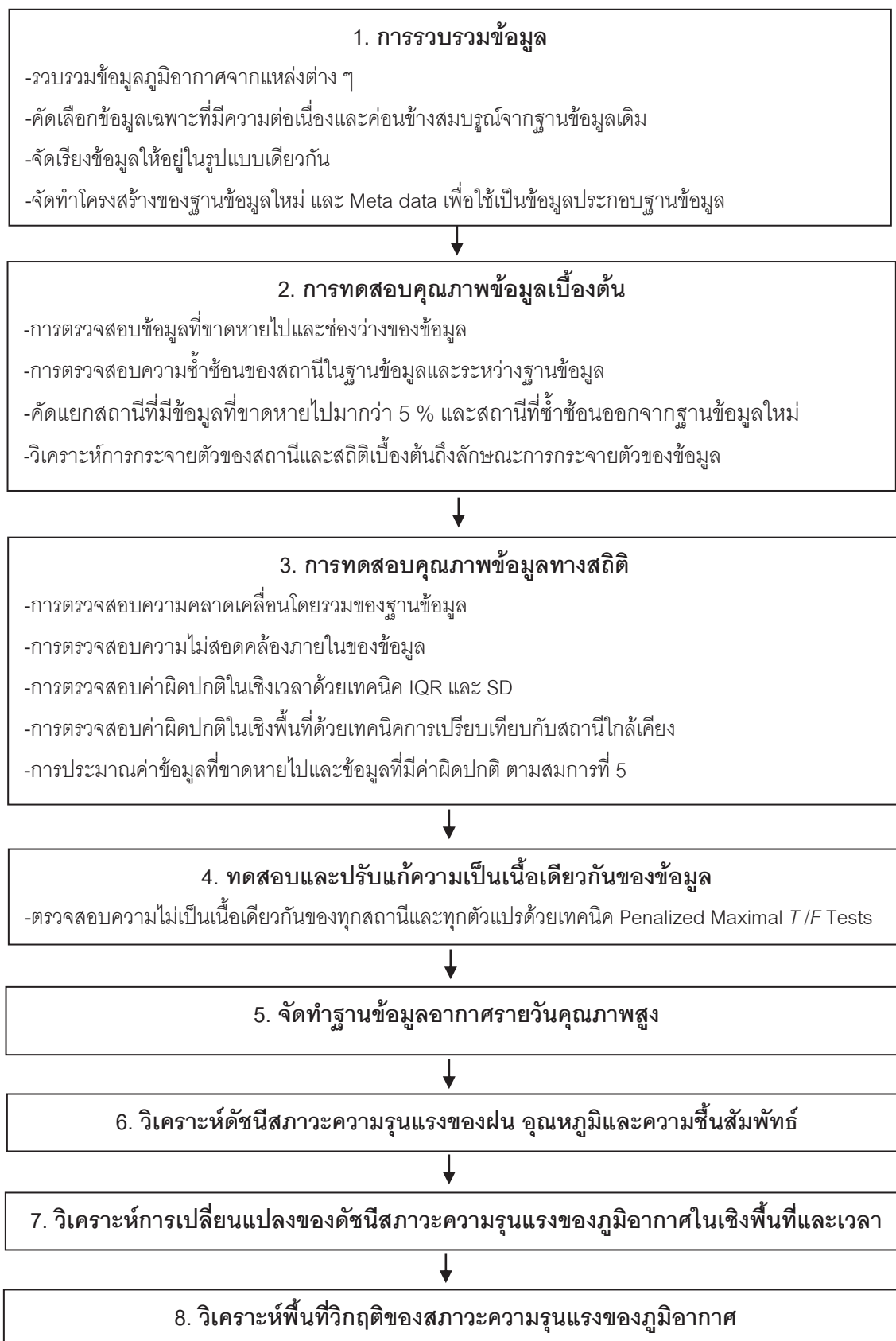
ขั้นตอนและวิธีการศึกษาวิจัยของการประเมินสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศ และพื้นที่วิกฤติของประเทศไทยนี้ ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ขั้นตอนหลักประกอบด้วย

1. การรวบรวมข้อมูล การจัดเรียงข้อมูลและการจัดทำโครงสร้างของฐานข้อมูล
2. การทดสอบคุณภาพข้อมูลเบื้องต้น
3. การทดสอบคุณภาพข้อมูลทางสถิติ
4. การทดสอบและปรับแก้ความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล
5. การจัดทำฐานข้อมูลอากาศรายวันคุณภาพสูง
6. การวิเคราะห์ดัชนีสถานะความรุนแรงของฝน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
7. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของดัชนีสถานะความรุนแรงของภูมิอากาศในเชิงพื้นที่และเวลารวมทั้งการประเมินพื้นที่วิกฤติของสถานะความรุนแรงในประเทศไทย

3.2 แหล่งข้อมูลภูมิอากาศ

ข้อมูลภูมิอากาศที่ทำการรวบรวมเพื่อนำมาทดสอบ ควบคุมคุณภาพ และจัดทำฐานข้อมูลภูมิอากาศคุณภาพสูง สำหรับใช้ในการประเมินสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ได้แก่ ข้อมูลรายวันที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจอากาศผิวพื้นทั่วประเทศของกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักที่มีหน้าที่ในการตรวจวัด ติดตามตรวจสอบ พยากรณ์สภาพภูมิอากาศ และอุตุนิยมวิทยาด้านการเกษตรและอุทกวิทยา รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างสถานีตรวจวัดอากาศผิวพื้นของประเทศไทย ข้อมูลภูมิอากาศที่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้ประกอบด้วย

- ปริมาณฝนรายวัน (Daily Rainfall Amount, DRA) หมายถึง ปริมาณน้ำฝนที่ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดฝนชนิดตวงวัดและแก้วตวงน้ำฝน (รูปที่ 3.3) ทุก ๆ 3 ชั่วโมงที่เวลา 01.00, 04.00, 07.00, 10.00, 13.00, 16.00, 19.00 และ 22.00 น. ตามลำดับ เพื่อนำมาหาปริมาณฝนตกสะสมในรอบหนึ่งวัน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
- อุณหภูมิสูงสุดประจำวัน (Daily Maximum Temperature, DMAX) หมายถึง ค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดในแต่ละวัน (ในรอบ 24 ชั่วโมง) ปกติจะอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์แบบสูงสุด (รูปที่ 3.4) ณ เวลา 19.00 น. ของทุกวัน มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (Mean Daily Temperature, MDT) หมายถึง ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ตรวจวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบตุ้มแห้ง (รูปที่ 3.5) ทุก 3 ชั่วโมงที่เวลา 01.00, 04.00, 07.00, 10.00, 13.00, 16.00, 19.00, และ 22.00 น. ตามลำดับ เพื่อนำมาหาอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดสอบคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศรายวัน และการศึกษาสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างสถานีดตรวจวัดอากาศผิวพื้นของกรมอุตุนิยมวิทยาและการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดฝนชนิดตวงวัดและแก้วตวงน้ำฝน



รูปที่ 3.4 เครื่องเทอร์โมมิเตอร์แบบสูงสุดและต่ำสุดสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประจำวัน



รูปที่ 3.5 เครื่องเทอร์โมมิเตอร์แบบตู้มั่งและเปียกสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ประจำวัน

- อุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน (Daily Minimum Temperature, DMIN) หมายถึง ค่าอุณหภูมิอากาศต่ำสุดในแต่ละวัน (ในรอบ 24 ชั่วโมง) ปกติจะอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์แบบต่ำสุด (รูปที่ 3.4) ณ เวลา 07.00 น. ของทุกวัน มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- ความชื้นสัมพัทธ์อากาศรายวัน (Daily Relative Humidity, DRH) หมายถึง อัตราส่วนของจำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ต่อจำนวนไอน้ำที่อาจมีในระดับอิ่มตัวเต็มที่ในสภาวะอากาศเดียวกันในรอบหนึ่งวัน สามารถคำนวณได้จากการตรวจวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบดุ่มเปียกและแห้ง (รูปที่ 3.5) โดยกำหนดค่าเป็นร้อยละของจำนวนความชื้นที่อิ่มตัวเต็มที่ เป็น 100 ส่วน

ฐานข้อมูลรายวันของกรมอุตุนิยมวิทยา นับว่าเป็นฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลภูมิอากาศรายวันอย่างต่อเนื่องของข้อมูลภูมิอากาศที่กล่าวมา สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย สถานีตรวจอากาศผิวพื้นจำนวน 70 สถานี สถานีตรวจอากาศการเกษตรจำนวน 34 สถานี และสถานีอุตุนิยมวิทยาจำนวน 17 สถานี โดยระยะเวลาการเก็บบันทึกข้อมูลมีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละสถานี สถานีที่มีการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลภูมิอากาศอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันนานมากกว่า 15 ปี มีจำนวน 102 สถานี (ตารางที่ 3.1)

สำหรับฐานข้อมูลภูมิอากาศของกรมชลประทาน เป็นสถานีผิวพื้นที่ตรวจวัดข้อมูลปริมาณฝนเป็นส่วนใหญ่ โดยมีเครือข่ายของสถานีมากกว่า 170 สถานีครอบคลุมทุกจังหวัดของประเทศไทย สถานีที่มีการตรวจวัดและบันทึกอุณหภูมิอากาศมีเพียง 69 สถานีเท่านั้น ข้อมูลส่วนใหญ่ถูกบันทึกในช่วงระยะสั้น ๆ ไม่กี่ปีที่ผ่านมา ผลการตรวจสอบฐานข้อมูลภูมิอากาศของกรมชลประทานเบื้องต้นพบว่า สถานีที่มีการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลปริมาณฝนรายวันอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันนานมากกว่า 15 ปี มีจำนวน 66 สถานี และอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันมีจำนวน 6 สถานี อุณหภูมิสูงสุดจำนวน 12 สถานี และอุณหภูมิต่ำสุดจำนวน 13 สถานี (ตารางที่ 3.2)

ส่วนฐานข้อมูลภูมิอากาศของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เป็นฐานข้อมูลที่รวบรวมข้อมูลภูมิอากาศบริเวณลุ่มน้ำ เหนือเขื่อน และท้ายเขื่อนที่อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงาน โดยเป็นสถานีผิวพื้นที่ตรวจวัดปริมาณฝนเป็นส่วนใหญ่เช่นเดียวกับกรมชลประทาน สถานีที่ตรวจวัดปริมาณฝนมีจำนวน 62 สถานี โดยสถานีที่มีการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันนานมากกว่า 15 ปี มีจำนวน 18 สถานี นอกจากนี้มีการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์จำนวน 32 สถานี แต่มีสถานีที่ข้อมูลดังกล่าวถูกตรวจวัดและบันทึกอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันนานมากกว่า 15 ปีมีจำนวน 6 สถานีเท่านั้น ส่วนสถานีที่ตรวจวัดอุณหภูมิมีเพียง 12 สถานีและดำเนินการตรวจวัดในช่วงระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา (ตารางที่ 3.3)

3.3 การคัดเลือกข้อมูลและการตรวจสอบฐานข้อมูลเบื้องต้น

หลักเกณฑ์เบื้องต้นในการคัดแยกข้อมูลจากฐานข้อมูลเดิม คือ ทำการคัดเลือกเฉพาะสถานีที่ข้อมูลถูกตรวจวัดและบันทึกอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันนานกว่า 15 ปี ทั้งนี้หลักเกณฑ์ดังกล่าวจะทำให้ข้อมูลที่ถูกคัดเลือกมีจำนวนสถานีที่ครอบคลุมทั่วทุกภาคของประเทศไทย ซึ่งจะส่งผลต่อความเชื่อมั่นทางสถิติของผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศในเชิงพื้นที่ ข้อมูลแต่ละสถานีที่ถูก

ตารางที่ 3.1 ประเภทสถานีผิวพื้นและระยะเวลาการตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศ (DRA, DMAX, MDT, DMIN และ DRH) อย่างต่อเนื่องของกรมอุตุนิยมวิทยา (TMD)

ประเภทสถานี	จำนวนสถานี		จำนวนสถานีทั้งหมด
	ตรวจวัด < 15 ปี	ตรวจวัด > 15 ปี	
1. สถานีตรวจอากาศ	7	63	70
2. สถานีอากาศการเกษตร	7	27	34
3. สถานีอุตุนิยมวิทยาอุทก	5	12	17
รวม	19	102	121

ตารางที่ 3.2 ประเภทและระยะเวลาการตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศอย่างต่อเนื่องของสถานีผิวพื้นของกรมชลประทาน (RID)

ประเภทข้อมูล	จำนวนสถานี		จำนวนสถานีทั้งหมด
	ตรวจวัด < 15 ปี	ตรวจวัด > 15 ปี	
1. ปริมาณฝนรายวัน	109	64	173
2. อุณหภูมิสูงสุดประจำวัน	57	12	69
3. อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน	63	6	69
4. อุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน	56	13	69

ตารางที่ 3.3 ประเภทและระยะเวลาการตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศอย่างต่อเนื่องของสถานีผิวพื้นของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT)

ประเภทข้อมูล	จำนวนสถานี		จำนวนสถานีทั้งหมด
	ตรวจวัด < 15 ปี	ตรวจวัด > 15 ปี	
1. ปริมาณฝนรายวัน	44	18	62
2. อุณหภูมิสูงสุดประจำวัน	12	-	12
3. อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน	12	-	12
4. อุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน	12	-	12
5. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรายวัน	26	6	32

คัดเลือกจากฐานข้อมูลเดิม ได้นำมาตรวจสอบความซ้ำซ้อนของสถานีในฐานข้อมูลและหรือระหว่างฐานข้อมูล ความสอดคล้องของวันตามปฏิทิน เช่น จำนวนวันต่อปี จำนวนวันต่อเดือน แล้วนำมาจัดเรียงให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน จำนวนสถานีที่ถูกคัดเลือกจากฐานข้อมูลของทั้ง 3 หน่วยงาน สรุปดังตารางที่ 3.4

เพื่อให้การประมวลผลด้วยโปรแกรม Interactive Data Language (IDL) / FORTRAN / C หรือ โปรแกรมทางสถิติอื่นๆ มีความสะดวกและรวดเร็วขึ้น รวมทั้งเป็นการจัดเรียงฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานที่สะดวกและง่ายต่อการใช้ และการแลกเปลี่ยนฐานข้อมูลระหว่างหน่วยงาน จึงได้จัดทำโครงสร้างฐานข้อมูลใหม่ขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 3.5, 3.6 และ 3.7 นอกจากนี้ ยังได้ทำการรวบรวมรายละเอียดต่าง ๆ ของข้อมูลแต่ละสถานี โดยจัดทำ Meta data เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนในการใช้งานฐานข้อมูลใหม่ที่ถูกจัดสร้างขึ้น

ฐานข้อมูลที่ผ่านการคัดเลือกในเบื้องต้น ได้ถูกนำเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้หลักเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือก คือ จำนวนข้อมูลที่ขาดหายไปในแต่ละอนุกรมข้อมูล เนื่องจากอนุกรมข้อมูลของแต่ละตัวแปรส่วนใหญ่จะมีข้อมูลที่ขาดหายไป ซึ่งเปอร์เซ็นต์ข้อมูลที่ขาดหายไปจะมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากระหว่างสถานีและระหว่างฐานข้อมูล ตัวอย่างเช่น ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์จากฐานข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลอุณหภูมิจากฐานข้อมูลของกรมชลประทาน มีเปอร์เซ็นต์ข้อมูลที่ขาดหายไปสูง (รูปที่ 3.6) ดังนั้น เพื่อลดผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าของข้อมูลที่ขาดหายไป อนุกรมข้อมูลของแต่ละตัวแปรที่มีเปอร์เซ็นต์จำนวนข้อมูลขาดหายไปมากกว่า 5% จะถูกคัดแยกออกจากฐานข้อมูล และไม่นำไปทดสอบคุณภาพข้อมูลในขั้นตอนต่อไป ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.8

3.4 การกระจายตัวในเชิงพื้นที่และเวลาของสถานีข้อมูลภูมิอากาศในฐานข้อมูลใหม่

ที่ตั้งของสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนรายวัน อุณหภูมิสูงสุดรายวัน อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน และความชื้นสัมพัทธ์อากาศรายวัน แสดงในรูปที่ 3.7, 3.8 และ 3.9 ลักษณะการกระจายตัวของสถานีตรวจวัดครอบคลุมทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนมีจำนวนสถานีและความหนาแน่นมากที่สุด ในขณะที่สถานีตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีจำนวนสถานีและความหนาแน่นต่ำสุด โดยพบว่าอนุกรมข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์อากาศที่ข้อมูลที่ขาดหายไปมากกว่า 5 % มีจำนวนสถานีมากกว่า 20 สถานี (ตารางที่ 3.8) ข้อมูลภูมิอากาศทั้ง 5 ตัวแปร ในฐานข้อมูลใหม่เริ่มตั้งแต่ ปีค.ศ. 1951 (พ.ศ. 2494) จนถึง ปีค.ศ. 2006 (พ.ศ. 2549) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ถึง 3.14 โดยสถานีที่ตรวจวัดและบันทึกข้อมูลในช่วงปีค.ศ. 1951 -1970 มีจำนวน 40 สถานีทั่วประเทศ จำนวนสถานีตรวจวัดได้เพิ่มขึ้นมากกว่าสองเท่าหลังจากปีค.ศ. 1980

เมื่อพิจารณาความสมบูรณ์ของข้อมูลทั้งหมดในแต่ละปี พบว่าในระหว่างช่วงปี ค.ศ. 1951 – 2006 ตัวแปรแต่ละตัวมีความสมบูรณ์ของข้อมูล โดยเฉลี่ย 98.6 – 99.2 % โดยข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์อากาศ อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยบางปี มีความสมบูรณ์ของข้อมูลต่ำกว่า 95% (รูปที่ 3.15 – 3.16) อย่างไรก็ตาม ฐานข้อมูลภูมิอากาศใหม่นี้ จัดว่ามีความสมบูรณ์ของข้อมูลในแต่ละปีค่อนข้างสูง โดยมีข้อมูลที่ขาดหายไปไม่ถึง 2 %

ตารางที่ 3.4 จำนวนสถานีที่ข้อมูลถูกตรวจวัดและบันทึกอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันนานมากกว่า 15 ปี
จากแต่ละฐานข้อมูลเดิม

ประเภทข้อมูล	TMD	RID	EGAT	จำนวนข้อมูลทั้งหมด
1. ปริมาณฝนรายวัน	102	64	18	184
2. อุณหภูมิสูงสุดประจำวัน	102	12	-	114
3. อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน	102	6	-	108
4. อุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน	102	13	-	115
5. ความชื้นสัมพัทธ์ของ อากาศรายวัน	102	-	6	108

ตารางที่ 3.5 โครงสร้างของฐานข้อมูลปริมาณฝน โดยฐานข้อมูลมีขนาด 8 สดมส์

ID Reference	Station code	Year	Month	Day	Julian day	DRA (mm)
1	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
184	...	...	...	...	...	...

ตารางที่ 3.6 โครงสร้างของฐานข้อมูลอุณหภูมิ โดยฐานข้อมูลมีขนาด 9 สดมส์

ID Reference	Station code	Year	Month	Day	Julian day	DMAX (°C)	MDT (°C)	DMIN (°C)
1	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
115	...	...	...	...	...	...	...	...

ตารางที่ 3.7 โครงสร้างของฐานข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์อากาศ โดยฐานข้อมูลมีขนาด 7 สดมส์

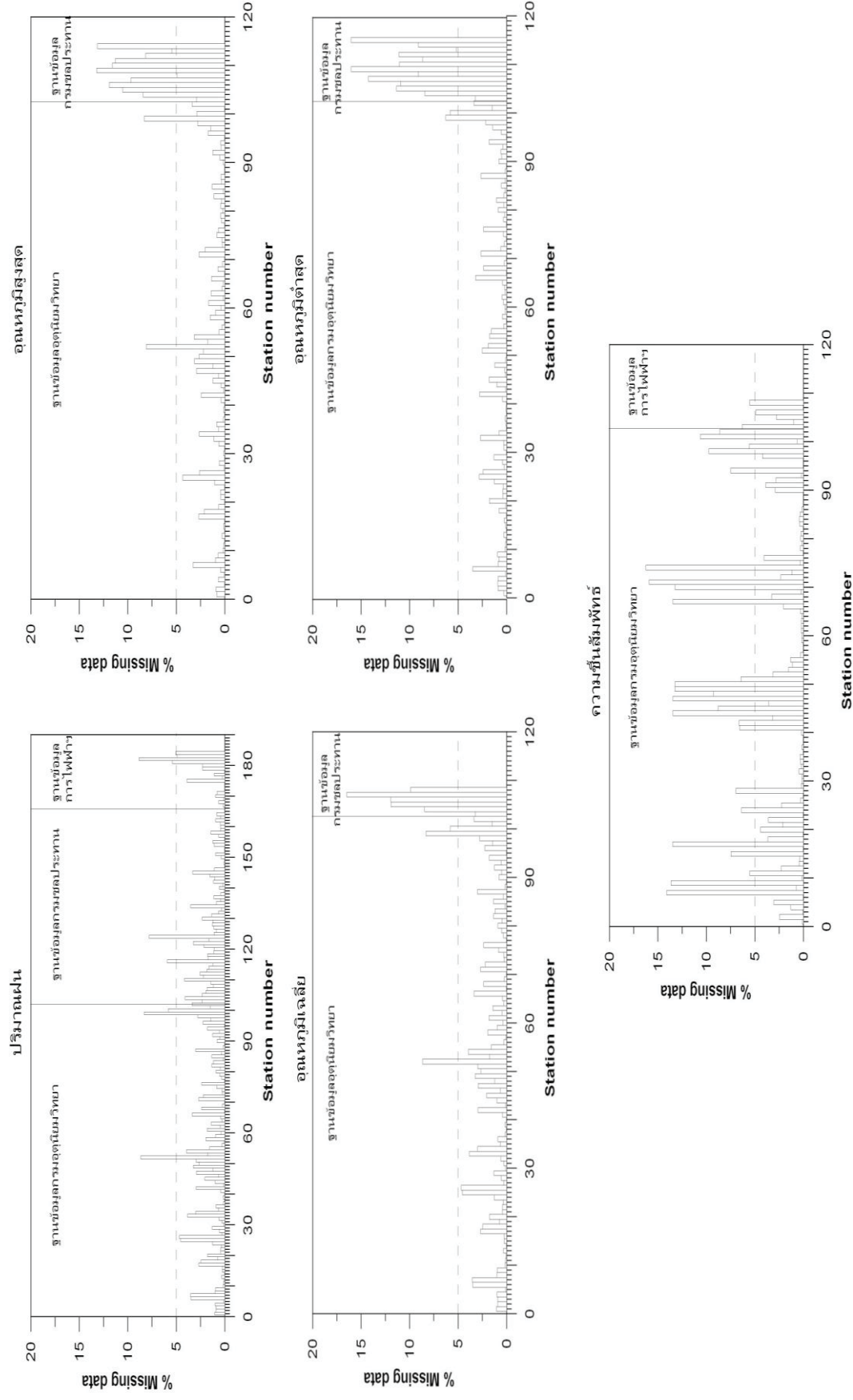
ID Reference	Station code	Year	Month	Day	Julian day	DRH (%)
1	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
108	...	...	...	...	...	...

ตารางที่ 3.8 จำนวนสถานที่ที่เปอร์เซ็นต์จำนวนข้อมูลขาดหายไปมากกว่า 5 % ซึ่งถูกคัดแยกออกจากฐานข้อมูล

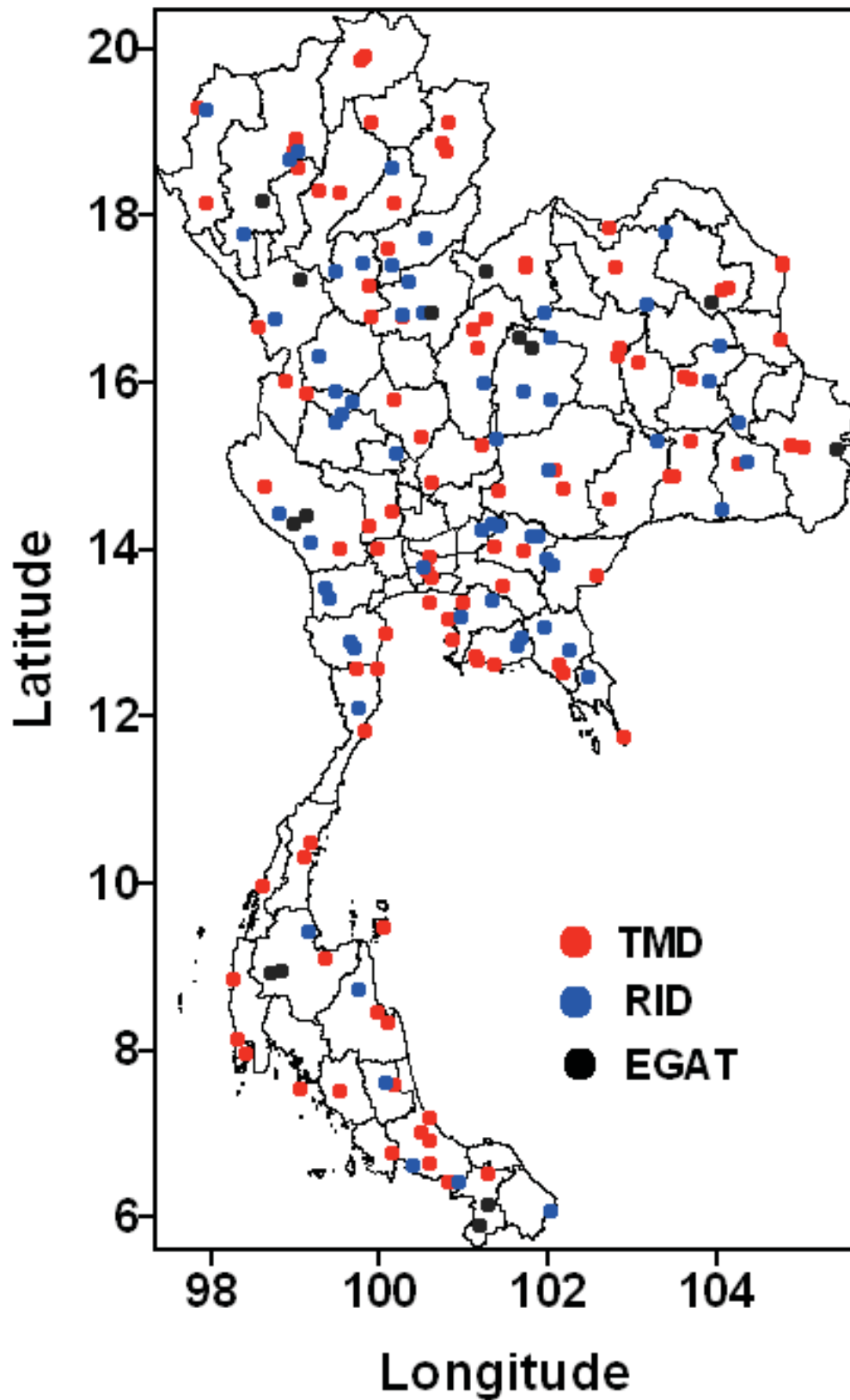
ประเภทข้อมูล	TMD	RID	EGAT	จำนวนข้อมูลทั้งหมด
1. ปริมาณฝนรายวัน	-	2	3	5
2. อุณหภูมิสูงสุดประจำวัน	1	10	-	11
3. อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน	2	5	-	7
4. อุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน	1	12	-	13
5. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศรายวัน	22	-	2	24

ตารางที่ 3.9 List of ETCCDMI core temperature indices

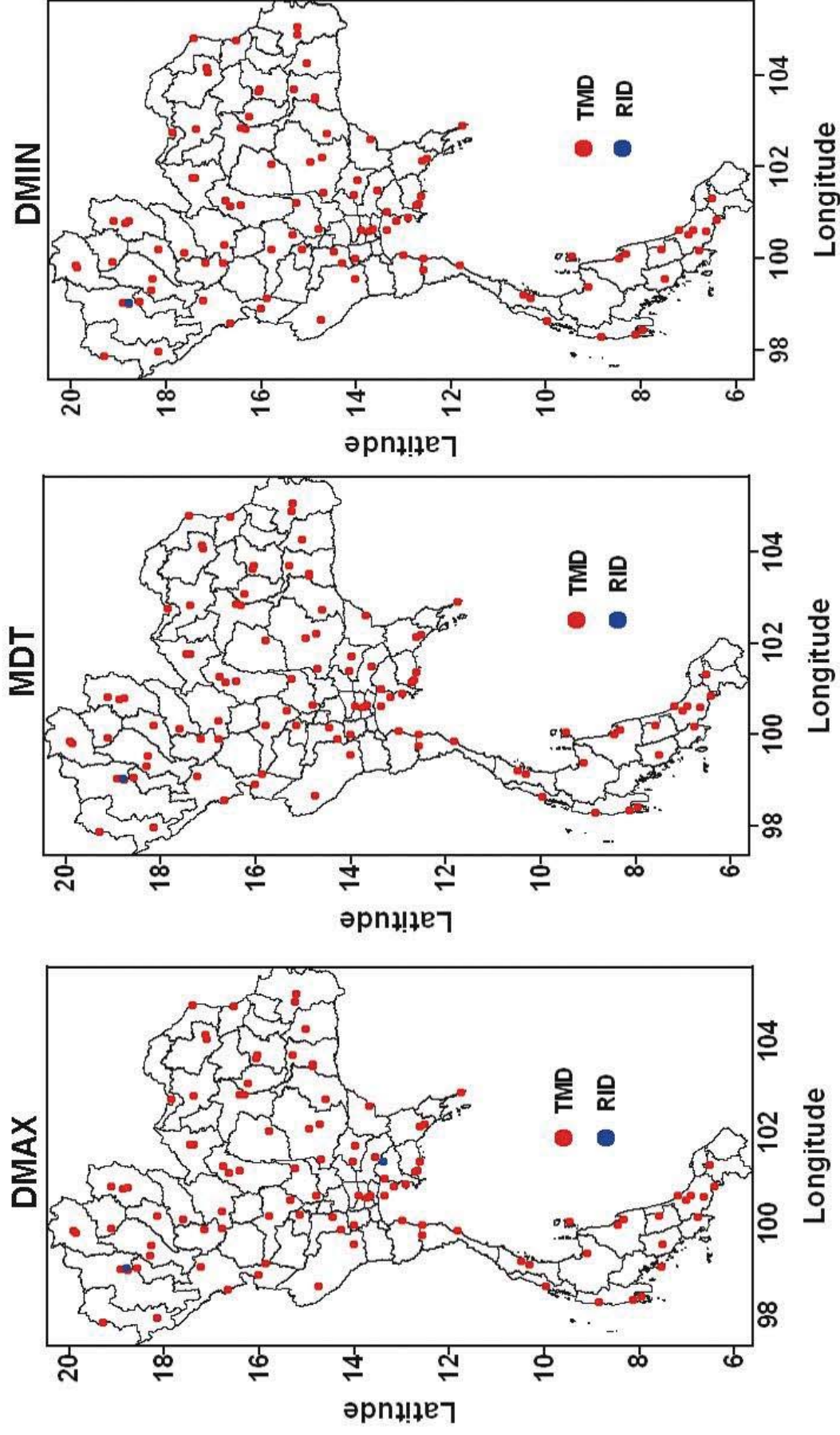
ID	Indicator name	Definitions	Units
1. SU25	Summer days	Annual count when TX (daily maximum)>25 °C	Days
2. TR20	Tropical nights	Annual count when TN (daily minimum) >20 °C	Days
3. TXx	Max Tmax	Monthly maximum value of daily maximum temp.	°C
4. TNx	Max Tmin	Monthly maximum value of daily minimum temp.	°C
5. TXn	Min Tmax	Monthly minimum value of daily maximum temp.	°C
6. TNn	Min Tmin	Monthly minimum value of daily minimum temp.	°C
7. TN10p	Cool nights	Percentage of days when TN<10 th percentile	Days
8. TX10p	Cool days	Percentage of days when TX<10 th percentile	Days
9. TN90p	Warm nights	Percentage of days when TN>90 th percentile	Days
10. TX90p	Warm days	Percentage of days when TX>90 th percentile	Days
11. WSDI	Warm spell duration indicator	Annual count of days with at least 6 consecutive days when TX>90 th percentile	Days
12. CSDI	Cold spell duration indicator	Annual count of days with at least 6 consecutive days when TN<10 th percentile	Days
13. DTR	Diurnal temperature range	Monthly mean difference between TX and TN	°C
14. FD20	Tmin<20 °C	Annual count when TN <20 °C	Days
15. TR25	Tmin>25 °C	Annual count when TN >25°C	Days
16. ID30	Tmax<30 °C	Annual count when TX <30 °C	Days
17. SU35	Tmax>35 °C	Annual count when TX >35°C	Days
18. AMAX	Tmax	Annual TX	°C
19. MEAN	Tmean	Mean annual temperature	°C
20. AMIN	Tmin	Annual TN	°C



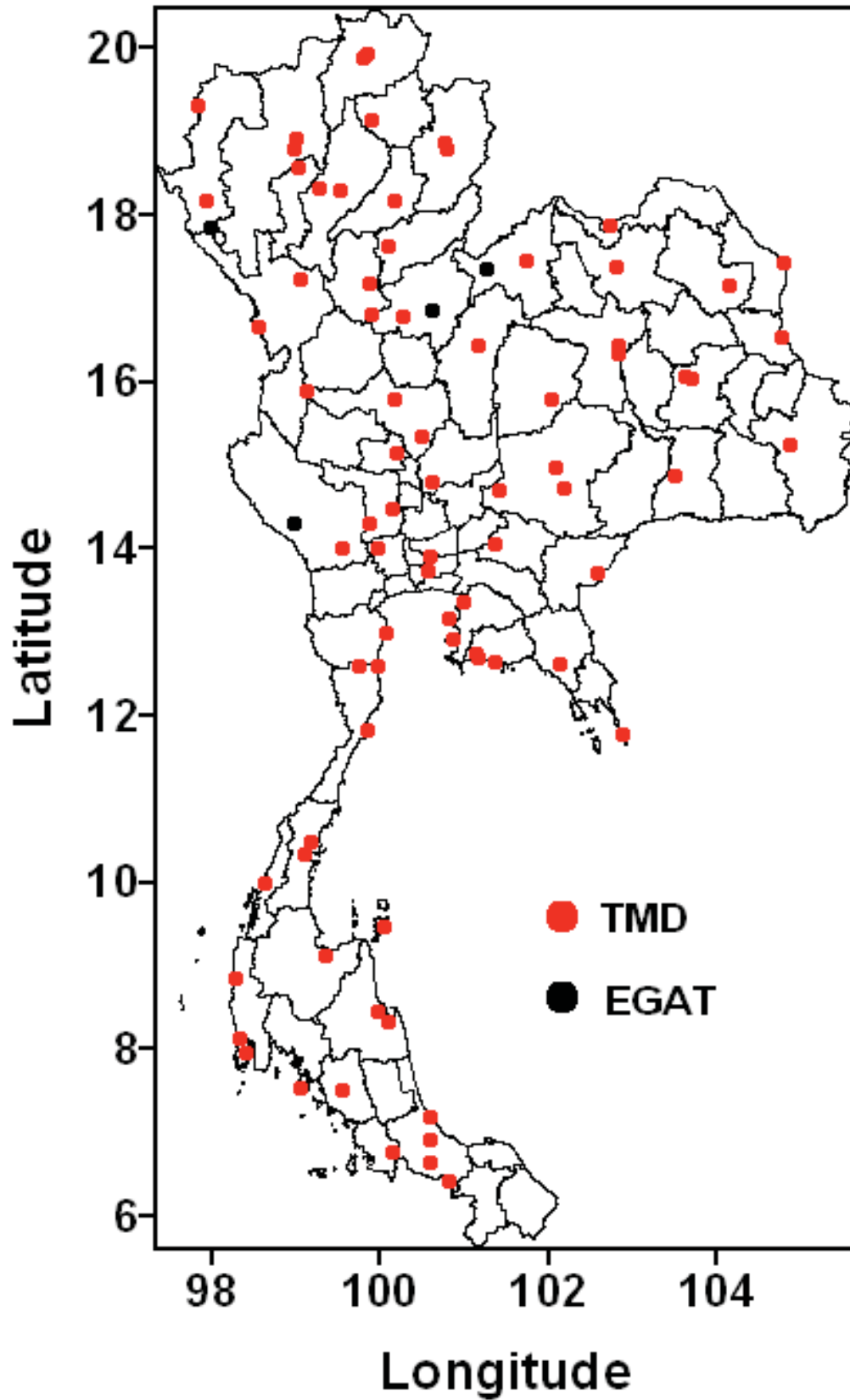
รูปที่ 3.6 เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้หายไปในแต่ละอนุกรมข้อมูลของฐานข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



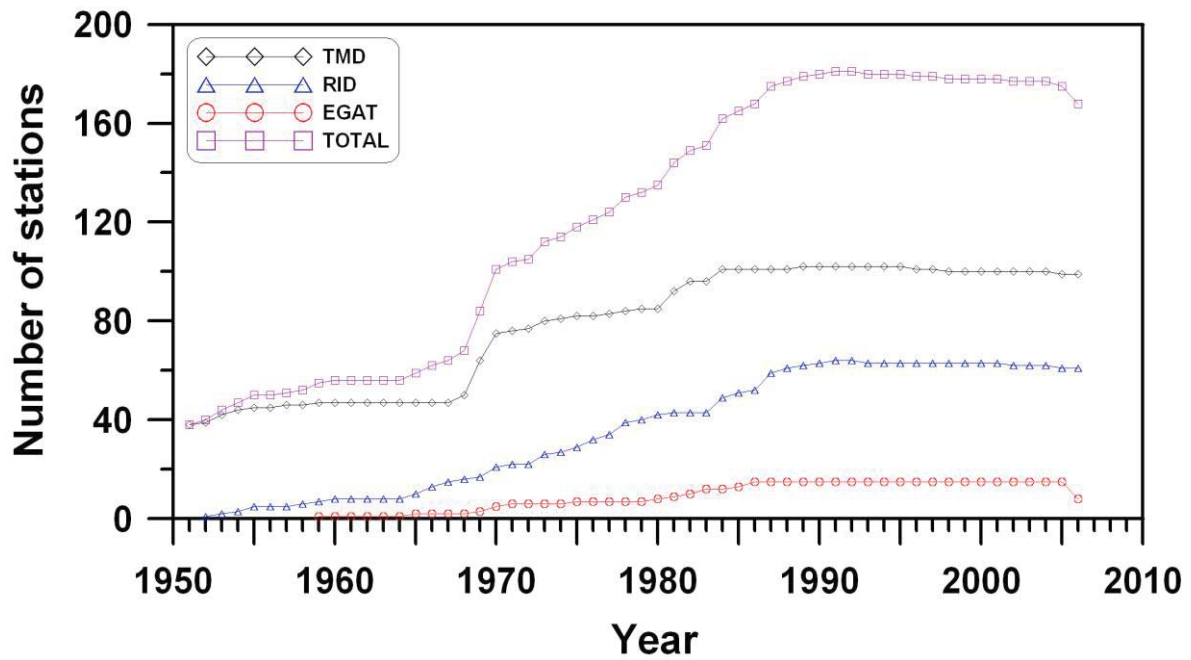
รูปที่ 3.7 สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนรายวันที่มีข้อมูลตรวจวัดอย่างต่อเนื่องมากกว่า 15 ปี และมีข้อมูลที่ขาดหายไปน้อยกว่า 5%



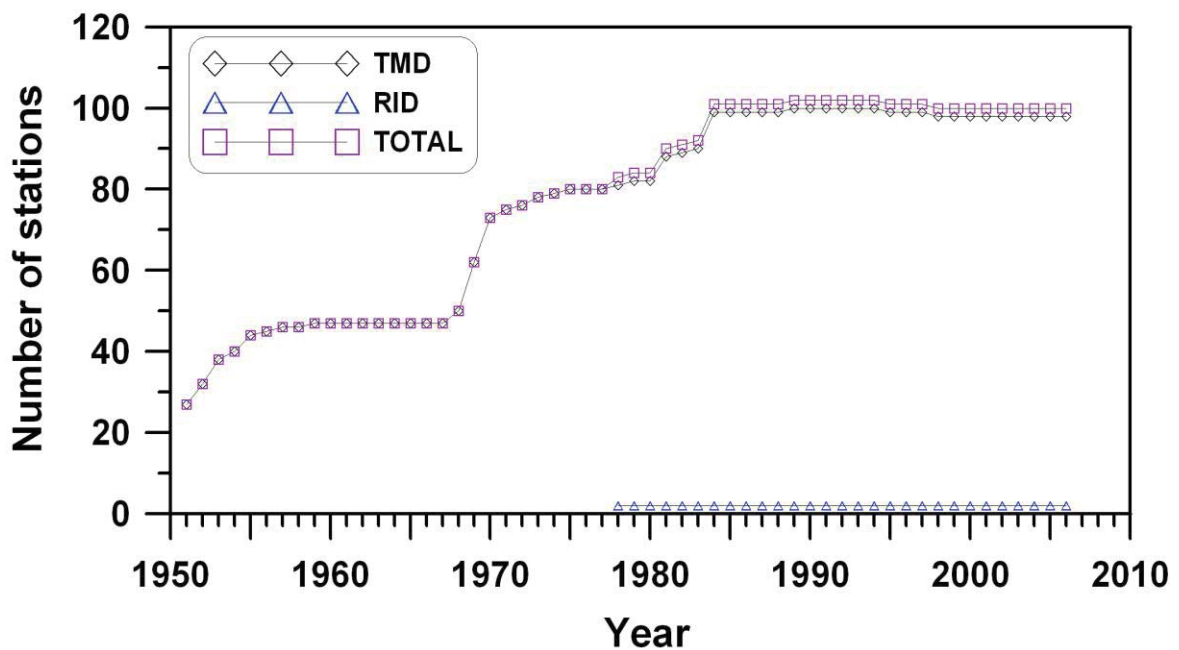
รูปที่ 3-8 สถานการณ์ตรวจวัดอุณหภูมิสูงสุดรายวัน (DMAX), อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (MDT) และอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน (DMIN) ที่มีข้อมูลตรวจวัดอย่างต่อเนื่องมากกว่า 15 ปี และมีข้อมูลที่ขาดหายไปน้อยกว่า 5%



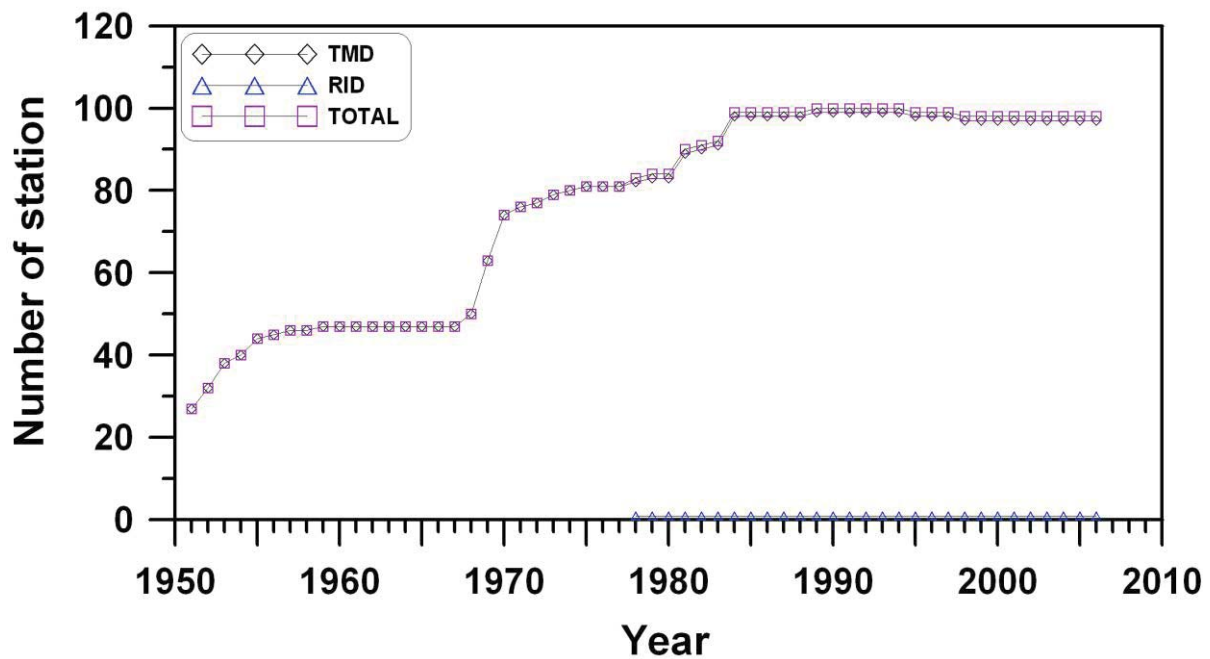
รูปที่ 3.9 สถานีตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์รายวันที่มีข้อมูลตรวจวัดอย่างต่อเนื่องมากกว่า 15 ปี และมีข้อมูลที่ขาดหายไปน้อยกว่า 5%



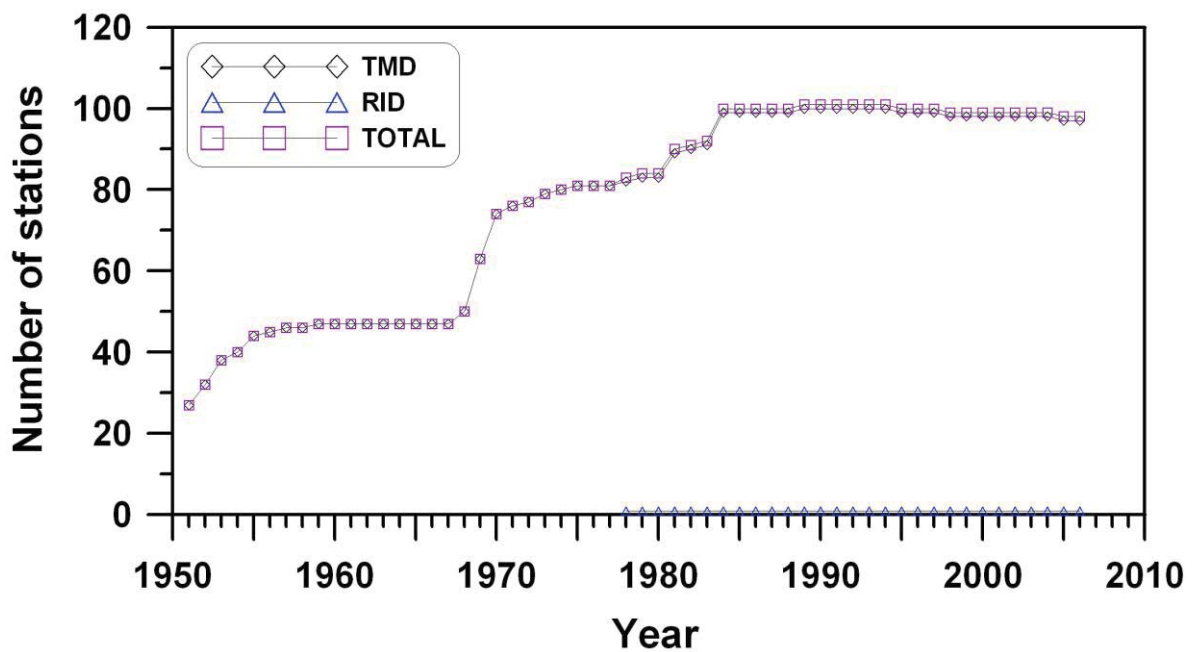
รูปที่ 3.10 จำนวนสถานีที่ตรวจวัดปริมาณน้ำฝนรายวันทั้งหมดในแต่ละปีของแต่ละฐานข้อมูล



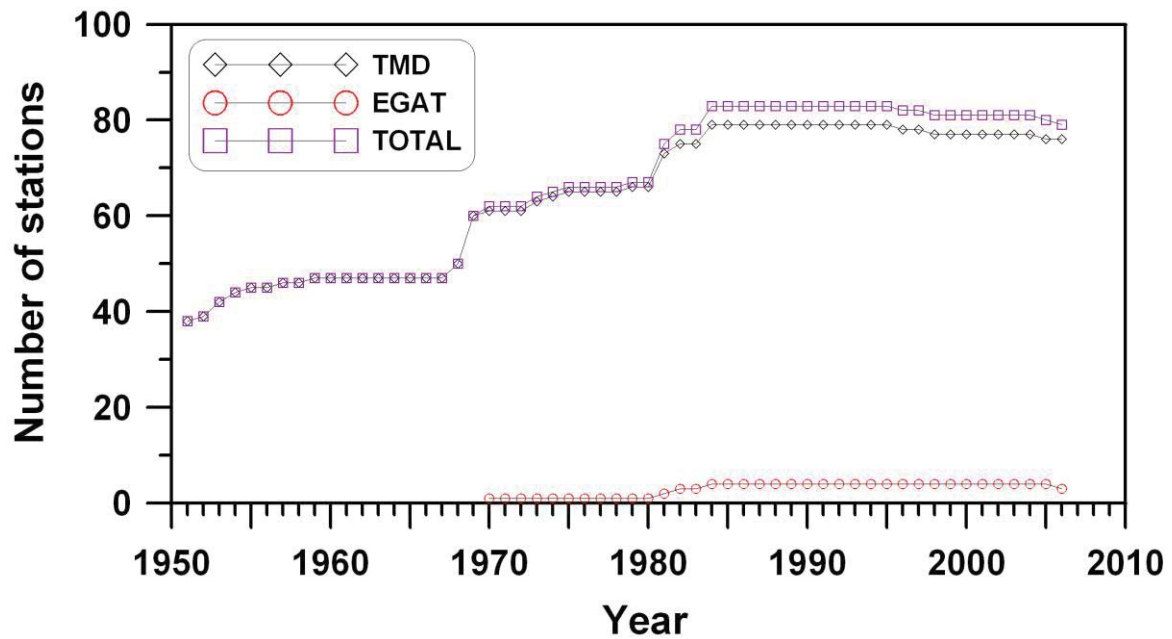
รูปที่ 3.11 จำนวนสถานีที่ตรวจวัดอุณหภูมิสูงสุดรายวันทั้งหมดในแต่ละปีของแต่ละฐานข้อมูล



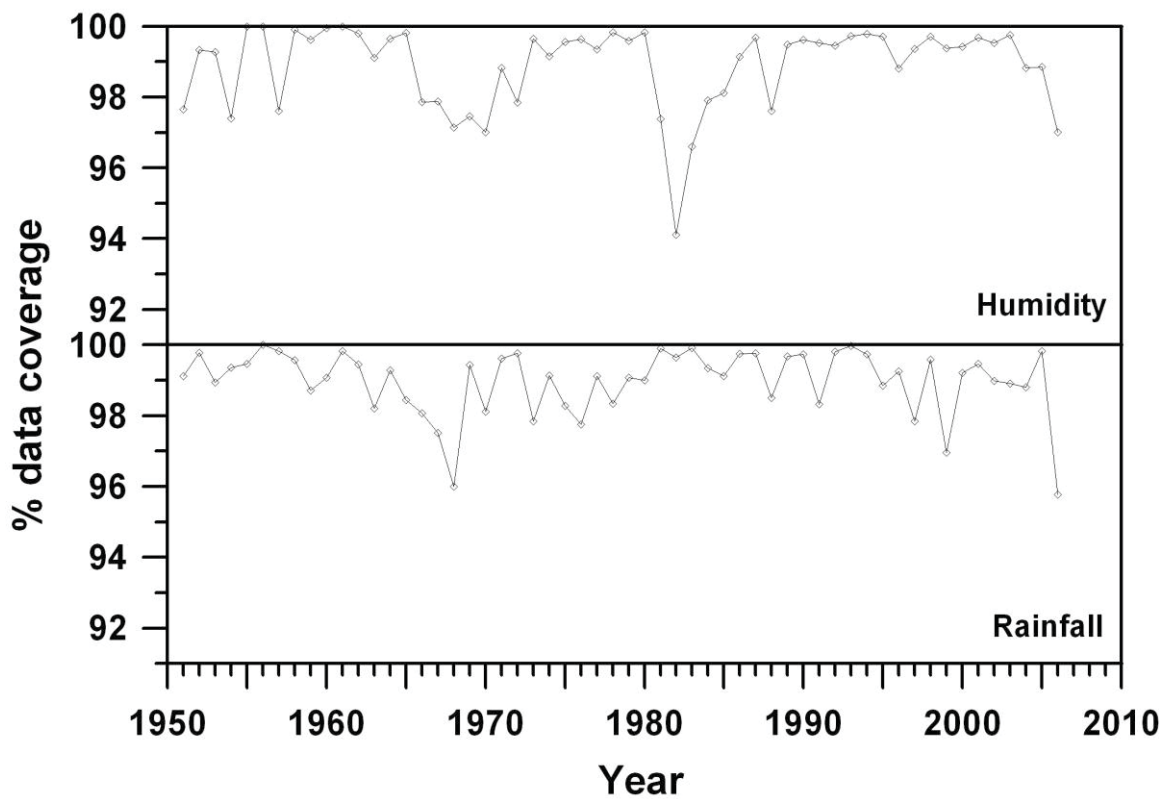
รูปที่ 3.12 จำนวนสถานีที่ตรวจวัดอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันทั้งหมดในแต่ละปีของแต่ละฐานข้อมูล



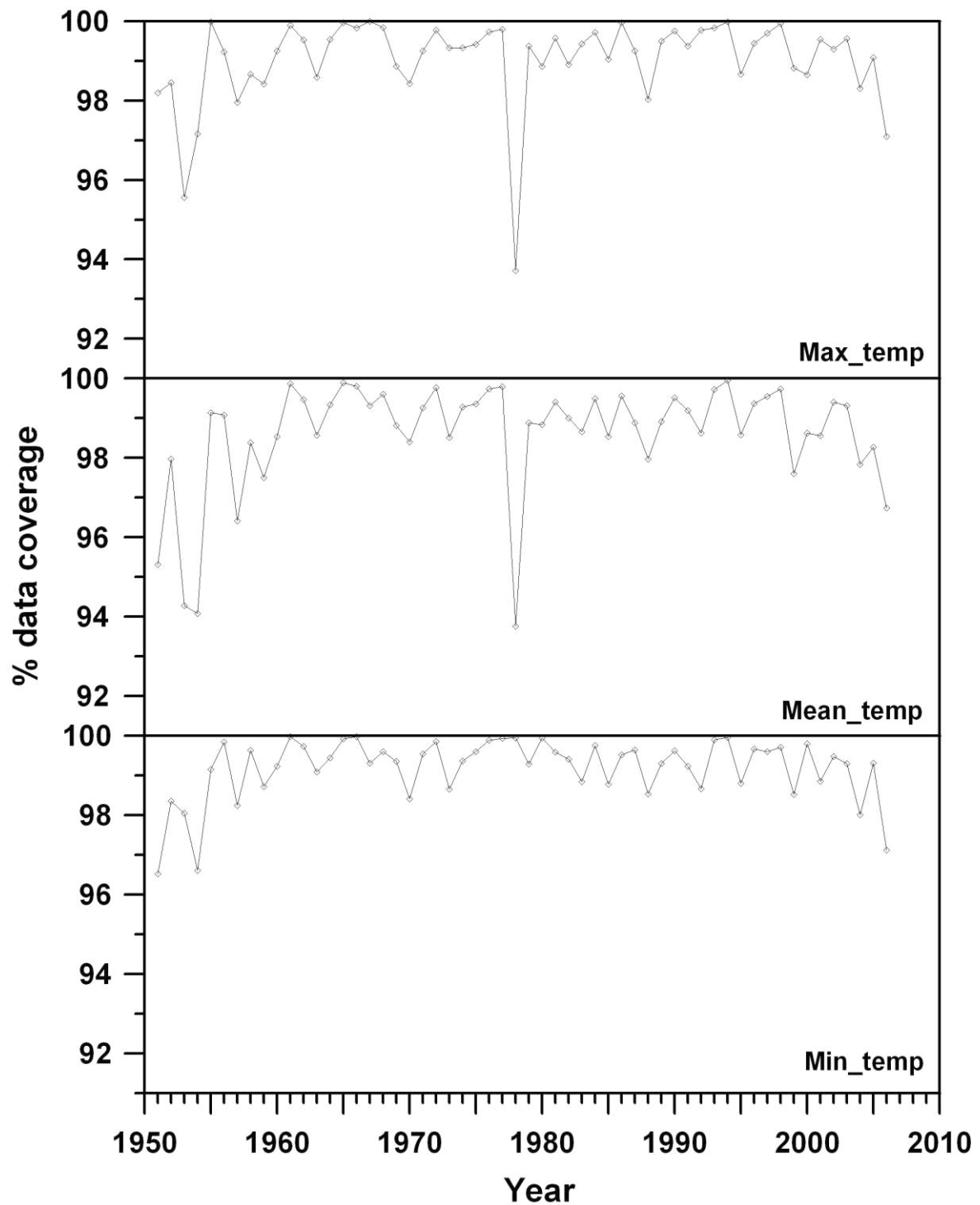
รูปที่ 3.13 จำนวนสถานีที่ตรวจวัดอุณหภูมิต่ำสุดรายวันทั้งหมดในแต่ละปีของแต่ละฐานข้อมูล



รูปที่ 3.14 จำนวนสถานีที่ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศรายวันทั้งหมดในแต่ละปีของแต่ละฐานข้อมูล



รูปที่ 3.15 เปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์รายวันทั้งหมดในแต่ละปี



รูปที่ 3.16 เปอร์เซนต์ความสมบูรณ์ของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด เฉลี่ยและต่ำสุดรายวันทั้งหมดในแต่ละปี

3.5 วิธีการทดสอบคุณภาพข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ผ่านการทดสอบคุณภาพข้อมูลเบื้องต้น ถูกนำเข้ากระบวนการทดสอบคุณภาพข้อมูลทางสถิติ ซึ่งประกอบด้วย การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนโดยรวมของฐานข้อมูล การตรวจสอบความไม่สอดคล้องภายในของข้อมูล การตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาโดยใช้เทคนิค SD และ IQR การตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิคการเปรียบเทียบกับสถานีใกล้เคียง และการประมาณค่าข้อมูลที่ขาดหายไปและข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ

3.6 วิธีการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล

Penalized Maximal T และ F Tests^{86,87} ถูกพัฒนาและปรับปรุงให้เป็นวิธีมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบและปรับแก้ความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลภูมิอากาศภายใต้โครงการ Joint World Meteorological Organization (WMO) Commission for Climatology (CCI) / World Climate Research Program (WCRP) Climate Variability and Predictability (CLIVAR) Project's Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI)²³ ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลฝน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยทำการตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล จากอนุกรมรายเดือนของข้อมูลดังกล่าว Wang et. al., 2007⁸⁶ และ Wang, 2008⁸⁷ ได้อธิบายรายละเอียดและขั้นตอนของ Penalized Maximal T และ F Tests และ FORTRAN source code ของเทคนิคดังกล่าวมีรายละเอียดใน <http://www.clivar.org/organization/etccd>

3.7 ดัชนีสถานะความรุนแรงของฝน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และวิธีวิเคราะห์

การประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในประเทศไทย ได้ประยุกต์ใช้ดัชนีสถานะความรุนแรงของฝน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จำนวน 36 ดัชนี ซึ่งส่วนใหญ่เป็น core climate extreme indices (ETCCDMI)²³ ประกอบด้วยดัชนีสำหรับสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ 20 ดัชนี (ตารางที่ 3.9) ดัชนีสำหรับสถานะความรุนแรงของฝน 15 ดัชนี (ตารางที่ 3.10) และดัชนีสำหรับสถานะความรุนแรงของความชื้นสัมพัทธ์ 1 ดัชนี (ตารางที่ 3.11) ดัชนีทั้งหมดจะถูกคำนวณจากอนุกรมข้อมูลรายวันของฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุดและความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละสถานี เพื่อแสดงถึงจำนวนเหตุการณ์สถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในรูปแบบต่าง ๆ ในคาบเวลาหนึ่งปี (annual time scale) นอกจากนี้ ได้มีการคำนวณดัชนี Annual Total Rainfall และ Annual Total Wet Day เพิ่มในสองฤดูกาล คือ ฤดูหนาวและฤดูร้อน (พฤศจิกายน – เมษายน) และ ฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของทั้งสองดัชนีตามฤดูกาล

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรง (linear trend) ของแต่ละดัชนีสถานะความรุนแรงในแต่ละสถานี ถูกคำนวณโดยใช้ Ordinary Least-Square (OLS) Method เนื่องจากเป็นเทคนิค non-parametric statistical method ที่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรง ถูกคำนวณจาก slope ของค่า median ที่เชื่อมต่อบริเวณคู่ตัวแปรในอนุกรมข้อมูล ซึ่งมีความทนทานและไม่ได้รับผลกระทบจากค่าผิดปกติ (outliers) และการกระจายตัวของข้อมูลที่ไม่สมมาตร (non-normal distribution)^{31,39,40,41,43,51,88-89} ในขณะที่วิธี

ตารางที่ 3.10 List of ETCCDMI core rainfall indices

ID	Indicator name	Definitions	Units
1. RX1day	Max 1-day rainfall amount	Monthly maximum 1-day rainfall	Mm
2. RX5day	Max 5-day rainfall amount	Monthly maximum consecutive 5-day rainfall	Mm
3. SDII	Simple daily intensity index	Annual total rainfall divided by the number of wet days (defined as rainfall ≥ 1.0 mm) in the year .	Mm/day
4. R10	Number of heavy rainfall days	Annual count of days when rainfall ≥ 1.0 mm	Days
5. R20	Number of very heavy rainfall days	Annual count of days when rainfall ≥ 20 mm	Days
6 R50	Number of days above 50 mm	Annual count of days when rainfall ≥ 50 mm threshold	Days
6. CDD	Consecutive dry days	Maximum number of consecutive days with rainfall < 1 mm	Days
7. CWD	Consecutive wet days	Maximum number of consecutive days with rainfall ≥ 1.0 mm	Days
8. R95p	Very wet days	Annual total rainfall when rainfall $> 95^{\text{th}}$ percentile	Mm
9. R99p	Extremely wet days	Annual total rainfall when rainfall $> 99^{\text{th}}$ percentile	Mm
10. RAINtot	Annual total wet-day rainfall	Annual total rainfall in wet day (rainfall ≥ 1.0 mm)	Mm
11. RAINmo	Annual total May-Oct rainfall	Annual total rainfall in wet day (rainfall ≥ 1.0 mm) during May-October	Mm
12. RAINna	Annual total Nov-Apr rainfall	Annual total rainfall in wet day (rainfall ≥ 1.0 mm) during Nov-Apr	Mm
13. WETtot	Annual total wet days	Annual count of days when rainfall ≥ 1.0 mm	Days
14. WETmo	Annual total May-Oct wet days	Annual count of days during May-Oct when rainfall ≥ 1.0 mm	Days
15. WETna	Annual total Nov-Apr wet days	Annual count of days during Nov-Apr when rainfall ≥ 1.0 mm	Days

ตารางที่ 3.11 ดัชนีสถานะความรุนแรงของความชื้นสัมพัทธ์

ID	Indicator name	Definitions	Units
1. HUtot	%HUtot	Annual % relative humidity	%

Non-parametric Kendall Tab Test จะใช้ในการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (statistical significance) ของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรง^{31,39,40,41,43,51,88-90} โดยการเปลี่ยนแปลงที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p\text{-value} \leq 0.05$) ถือว่านัยสำคัญสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้ วิธี moving average smoothing ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระยะสั้น กล่าวคือ ปีต่อปีหรือทศวรรษต่อทศวรรษ⁹⁴ ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เพิ่มเติมถึงการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มของสภาวะความรุนแรงของฝนในภาพรวมของประเทศไทยด้วย

ในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลาของดัชนีสภาวะความรุนแรงบางดัชนีจำนวนเหตุการณ์ของสภาวะความรุนแรงที่สนใจในแต่ละปี จะถูกแยกออกเป็นสองช่วงเวลา คือ เหตุการณ์ก่อนและหลัง ปี ค.ศ. 1990 เพื่อนำมาคำนวณ PDF ของ Gamma distribution สำหรับข้อมูลทั้งสองช่วง ตามสมการที่ 1 โดย α (gamma shape) และ β (scale parameter) ประมาณด้วยวิธี Maximum Likelihood Estimation^{91,92} ดังนี้

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (6)$$

$$A = \ln \bar{X} - \sum \frac{\ln(X)}{n} \quad (7)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (8)$$

เมื่อ X และ n = ค่าดัชนีความรุนแรงและจำนวนตัวอย่าง ตามลำดับ

เทคนิค Two-tailed Kolmogorov-Smirnov test ได้นำมาใช้ในการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของ PDF ระหว่างทั้งสองช่วงเวลา Two-tailed Kolmogorov-Smirnov test มักใช้พิสูจน์สมมุติฐานที่ว่า ตัวอย่างที่ถูกทดสอบมาจากกลุ่มประชากรเดียวกันหรือแตกต่างกัน โดยเทคนิคทางสถิติดังกล่าว มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของการแจกแจงข้อมูลของทั้งสองกลุ่มตัวอย่าง ในแง่ skewness และ dispersion ซึ่งไม่เหมือนกับ parametric t -test สำหรับตัวแปรอิสระหรือ Mann-Whitney U test ที่ใช้ทดสอบตำแหน่งของสองกลุ่มตัวอย่างในแง่ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยและช่วงข้อมูล (rank)³¹

นอกจากนี้ ได้นำวิธี Principal Component Analysis (PCA) ซึ่งเป็นเทคนิคทางสถิติเชิงตัวแปรพหุมาประยุกต์ใช้ เพื่อวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติของสภาวะความรุนแรงของฝนและอุณหภูมิ โดยเทคนิค PCA อาศัยหลักการ การแปลงเชิงเส้นตรงของข้อมูลเดิมที่มีขนาดใหญ่และมีตัวแปรจำนวนมาก ไปสู่ชุดข้อมูลใหม่ที่มีตัวแปรน้อยลงแต่เป็นตัวแทนความแปรปรวนทั้งเชิงพื้นที่และเวลาส่วนใหญ่ของชุดข้อมูลเดิม^{31,93-95} การประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ จะช่วยสังเคราะห์และลดจำนวนดัชนีความรุนแรงของฝนและอุณหภูมิ ให้เหลือจำนวนใหม่ที่สามารถ

อธิบายการเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของฝนและอุณหภูมิในภาพรวม ทั้งในแง่ความถี่ ความรุนแรง และระยะเวลา วิธี PCA จะคำนวณจากเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix) ของค่าการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงของสภาวะความรุนแรงของฝน / อุณหภูมิ ทุกดัชนีในแต่ละสถานี เพื่อจำแนกข้อมูลเดิมออกเป็นค่า Eigenvalue, Eigenvector และ Principal Score สมการสำหรับการวิเคราะห์ PCA สรุปได้ดังนี้

$$Z^*E = E^*L \text{ หรือ } (Z-L)^*E=0 \quad (9)$$

$$A=Z^*E \quad (10)$$

$$E^*E^T=E^T^*E=I \quad (11)$$

$$A^T^*A=L \quad (12)$$

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

E = เมตริกซ์ของ eigenvector ขนาด $p \times p$

L = เมตริกซ์ของ eigenvalue ขนาด $p \times p$ โดยตำแหน่ง off-diagonal มีค่าเป็นศูนย์

A = เมตริกซ์ของ Principal Score ขนาด $p \times p$

I = เมตริกซ์ที่ตำแหน่ง diagonal มีค่าเป็นหนึ่ง ในขณะที่ ตำแหน่ง off-diagonal มีค่าเป็นศูนย์

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิจารณ์

4.1 การทดสอบและการควบคุมคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศ

4.1.1 สถิติเบื้องต้นและลักษณะการแจกแจงของข้อมูลที่คัดเลือก

สถิติเชิงพรรณนาประกอบด้วย ค่าวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง ความแปรปรวน ความเบ้และโด่งของชุดข้อมูล ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ถึงลักษณะการแจกแจงของชุดข้อมูลที่คัดเลือกเบื้องต้น ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะสถิติเชิงพรรณนาของฐานข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนการแจกแจงของข้อมูลได้อธิบายในรูปของ histogram และ PDF ของ gamma distribution ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ถึง 4.5

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด พบว่า ฐานข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันในประเทศไทย มีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้บวก (Positively skewed distribution) ซึ่งเป็นรูปแบบที่ไม่สมมาตรที่พบโดยทั่วไปในฐานข้อมูลฝนที่เก็บรวบรวมจากที่หลายภูมิภาคของโลก โดยมีความถี่ 66.6% เป็นความถี่ของฝนที่มีค่าเป็นศูนย์หรือวันที่ฝนไม่ตก เมื่อพิจารณาข้อมูลเฉพาะวันที่ฝนตก พบว่าฐานข้อมูลมีรูปแบบการแจกแจงที่คล้ายคลึงกันคือ ความถี่ส่วนใหญ่จะตกอยู่ในช่วงของฝนที่มีค่าต่ำ ในขณะที่ความถี่ในสัดส่วนที่น้อยจะตกอยู่ในช่วงของฝนที่มีค่าสูง (รูปที่ 4.1)

สำหรับอุณหภูมิสูงสุดประจำวัน อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน และความชื้นสัมพัทธ์รายวัน มีลักษณะการกระจายปกติที่มีค่าสูงและค่าต่ำค่อนข้างสมมาตร (รูปที่ 4.2, 4.3, และ 4.5) ทั้งนี้ระดับความสมมาตรของข้อมูลขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของค่า α และการลดลงของค่า β ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน มีลักษณะการแจกแจงที่แนวโน้มความถี่ส่วนใหญ่ตกอยู่ในช่วงของค่าที่สูงกว่าค่าเฉลี่ย และความถี่ส่วนน้อยตกอยู่ในช่วงของอุณหภูมิต่ำ อันเป็นลักษณะการแจกแจงความถี่ที่มีแนวโน้มแบบเบ้ลบ (Negatively skewed distribution) ซึ่งแสดงถึงการขยับตัวของอุณหภูมิต่ำสุดประจำวันในประเทศไทย (รูปที่ 4.4) เมื่อพิจารณาค่าวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของตัวแปรแต่ละตัวแปรในฐานข้อมูลที่คัดเลือก พบว่าฐานข้อมูลฝนและความชื้นสัมพัทธ์รายวันมีความแปรปรวนของข้อมูลสูง ดังเห็นได้จากค่า Variance และ Range มีค่าสูงกว่าฐานข้อมูลอุณหภูมิรายวัน (ตารางที่ 4.1) ทั้งนี้ การเข้าใจถึงลักษณะทางสถิติและการกระจายตัวของข้อมูลดังกล่าว จะเป็นความรู้พื้นฐานที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อกระบวนการทดสอบคุณภาพข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลของดัชนีสภาวะความรุนแรงในขั้นตอนต่อไป

4.1.2 ค่าผิดปกติในเชิงเวลา

ค่าผิดปกติในเชิงเวลาสำหรับข้อมูลฝนรายวัน ถูกทดสอบด้วยเทคนิคค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลรายวันในแต่ละเดือน (SD)⁵⁹ ทั้งนี้เนื่องจากการกระจายตัวของข้อมูลฝนรายวันมีลักษณะที่เบ้ซ้าย ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้เทคนิคค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ (IQR)⁵⁷ ที่ใช้สำหรับทดสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลที่มีลักษณะการแจกแจงปกติ Moberg et al. 2006 ได้ใช้เทคนิค SD ในการทดสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลฝนรายวัน ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝนในทวีปยุโรป โดยได้

กำหนดช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ (ค่า f ในสมการที่ 2) มีค่าเป็น 10 เท่าของค่า SD ในแต่ละเดือน ซึ่งผลการทดสอบด้วยเทคนิคดังกล่าว สามารถตรวจจับเฉพาะค่าผิดปกติในอนุกรมของข้อมูลได้ค่อนข้างดี โดยไม่กระทบต่อข้อมูลที่มีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าปกติอื่น ๆ ในอนุกรมข้อมูล ก่อนการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลฝนรายวันในประเทศไทย ได้ทำการทดลองเพื่อหาค่า f ที่เหมาะสม ซึ่งผลการทดสอบ พบว่า ค่า f มีค่าเป็น 15 เท่าของค่า SD ในแต่ละเดือน มีความเหมาะสมสำหรับช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติในการศึกษานี้ ทั้งนี้เนื่อง จากข้อมูลฝนรายวันของประเทศไทย มีความแปรปรวนสูงและແຈແຈแบบเบ้ (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1) ซึ่งการกำหนดค่า f เท่ากับ 15 เท่าของค่า SD สามารถตรวจจับค่าผิดปกติในเชิงเวลา ในขณะที่จะช่วยเก็บรักษาข้อมูลที่มีค่า extreme ที่มักปรากฏอยู่บริเวณปลายด้านขวาของการແຈແຈได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลฝนรายวัน ณ สถานีศรีสะเกษ และ สถานีอุบลราชธานี ของฐานข้อมูลจากกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา ที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.6 และ 4.7 ผลการทดสอบของทั้งสองสถานีพบค่าผิดปกติในเชิงเวลาที่ข้อมูลเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยมากกว่า 15 เท่าของ SD ปรากฏอยู่ในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม มิถุนายน พฤศจิกายน และธันวาคม ซึ่งมีจำนวน 11 ค่าในแต่ละสถานี ส่วนข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใช้เทคนิค IQR เนื่องจากเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลที่มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลค่อนข้างสมมาตร ทั้งนี้ได้กำหนดช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติมีค่าเป็น 5 เท่าของค่า Inter-Quartile Range (ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 ลบด้วยเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 25) ซึ่งเป็นค่าปกติที่ใช้โดยทั่วไปในการตรวจสอบค่าผิดปกติ และจัดทำฐานข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนและรายวัน^{57,59,67-68,70} ตัวอย่างการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิแสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9 ซึ่งเทคนิคดังกล่าวสามารถตรวจจับค่าผิดปกติที่เบี่ยงเบนจากค่า Median ในแต่ละเดือนที่ปรากฏอยู่ในอนุกรมข้อมูลได้ค่อนข้างดี เช่น ค่าผิดปกติของความชื้นสัมพัทธ์ ณ สถานีแม่โจ้ ปรากฏอยู่ในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม และธันวาคม ซึ่งมีจำนวน 17 ค่า (รูปที่ 4.8) ในขณะที่ค่าผิดปกติของอุณหภูมิเฉลี่ย ณ สถานีพะเยา ปรากฏค่าผิดปกติของความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในเดือนตุลาคม จำนวน 3 ค่าเท่านั้น (รูปที่ 4.9) ผลการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาทุกสถานีของทั้ง 5 ฐานข้อมูล สรุปได้ดังตารางที่ 4.2 โดยเปอร์เซ็นต์ค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลฝนมีค่า 0.036 % อุณหภูมิสูงสุดประจำวัน 0.015 % ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย 0.004 % ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน 0.011 % และความชื้นสัมพัทธ์ 0.023 % ซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนจำนวนน้อย และไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลการวิเคราะห์สภาวะความรุนแรง Feng et al. (2004) ได้ตรวจสอบข้อมูลภูมิอากาศรายวันในประเทศจีนจำนวน 726 สถานี ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1951- 2000 โดยผลการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลา พบว่า อุณหภูมิรายวันในฐานข้อมูลของประเทศจีน มีค่าผิดปกติในเชิงเวลาอยู่ในช่วง 0.010 – 0.019 % ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าผิดปกติในเชิงเวลาของฐานข้อมูลของประเทศไทยที่ได้ทำการวิเคราะห์ในการศึกษานี้

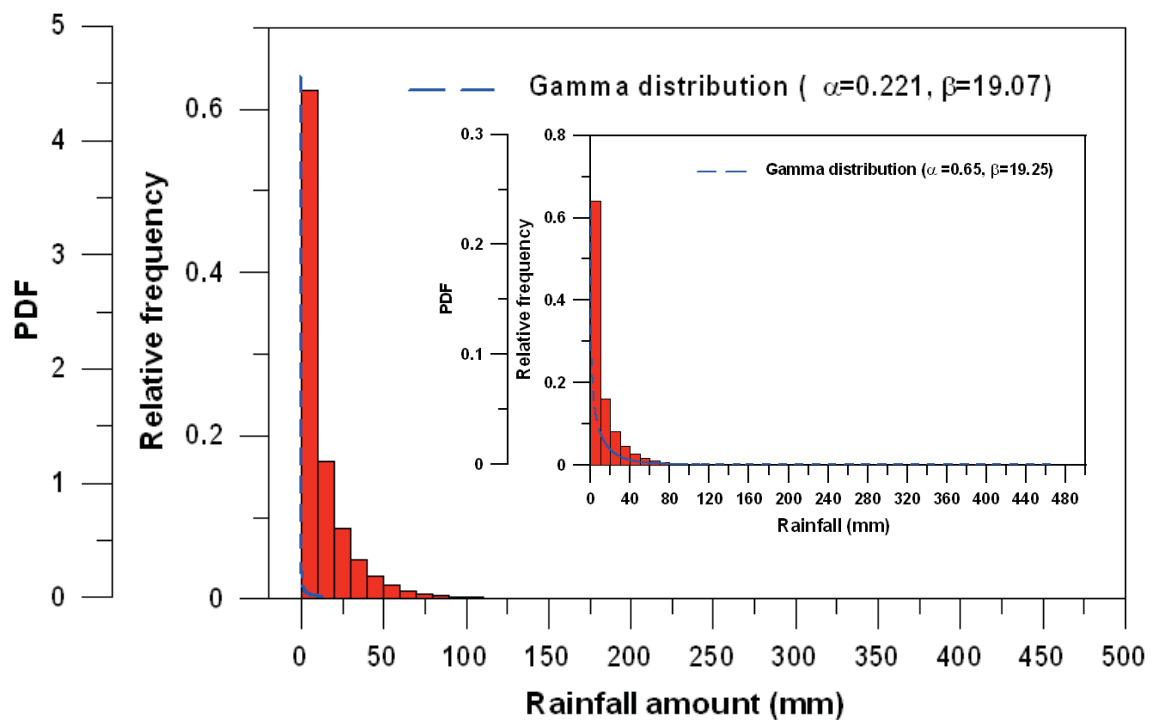
ตารางที่ 4.1 สถิติเชิงพรรณนาของชุดข้อมูลที่คัดเลือก

สถิติ	ฝน	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด	อุณหภูมิเฉลี่ย	ความชื้นสัมพัทธ์
1. Mean	4.21	32.5	27.4	22.4	74.7
2. Median	0	32.4	27.8	23.3	75.0
3. Variance	152.2	8.1	6.84	12.1	113.7
4. SD	12.33	2.8	2.61	3.47	10.66
5. Minimum	0	13.3	10.7	0.1	0
6. Maximum	626.0	53	38.8	37.7	100
7. Range	626.0	39.7	28.1	37.6	100
8. Skewness	6.38	-0.04	-0.95	-1.46	-0.32
9. Kurtosis	78.35	0.86	1.87	2.37	0.21

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ค่าผิดปกติในเชิงเวลาของฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวัน

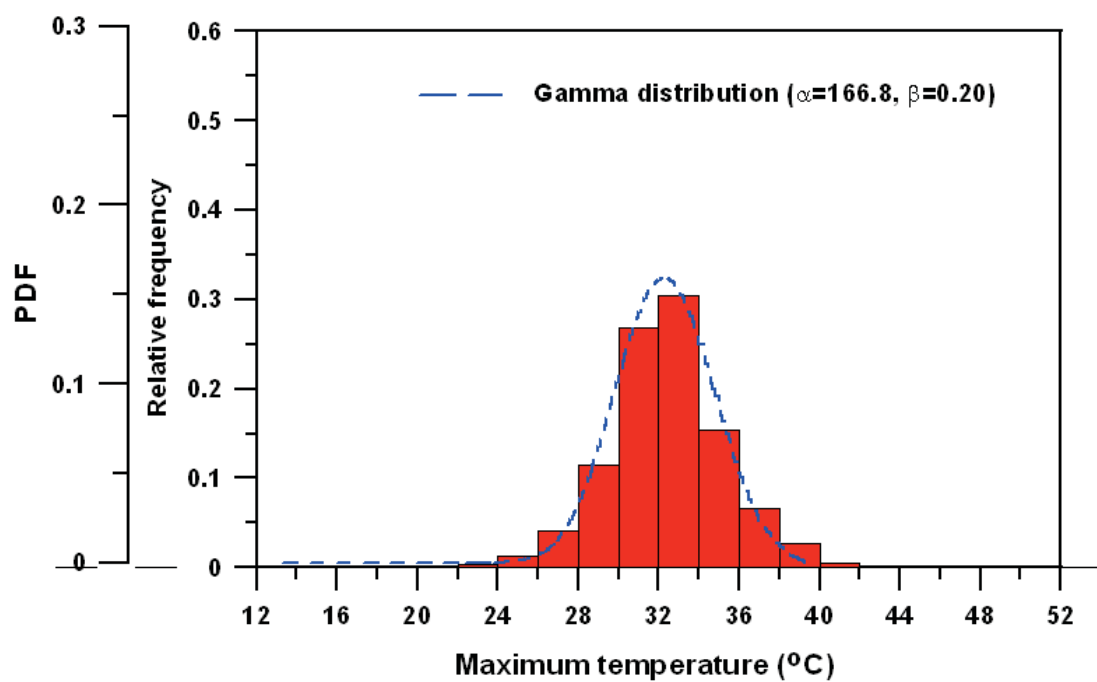
ตัวแปร	แหล่งของฐานข้อมูล			
	TMD	RID	EGAT	TOTAL
1. ปริมาณน้ำฝน	0.039	0.033	0.027	0.036
2. อุณหภูมิสูงสุด	0.014	0.071	-	0.015
3. อุณหภูมิเฉลี่ย	0.010	0.033	-	0.011
4. อุณหภูมิต่ำสุด	0.004	0.023	-	0.004
5. %ความชื้นสัมพัทธ์	0.009	-	0.43	0.023

- หมายเหตุ
1. ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน คือ ค่า $(X_i - \text{Mean}) > |\pm 15 \cdot \text{SD}|$
 2. ค่าปกติของอุณหภูมิและ %ความชื้นสัมพัทธ์ คือ ค่า $(X_i - \text{Median}) > |\pm 5 \cdot \text{IQR}|$

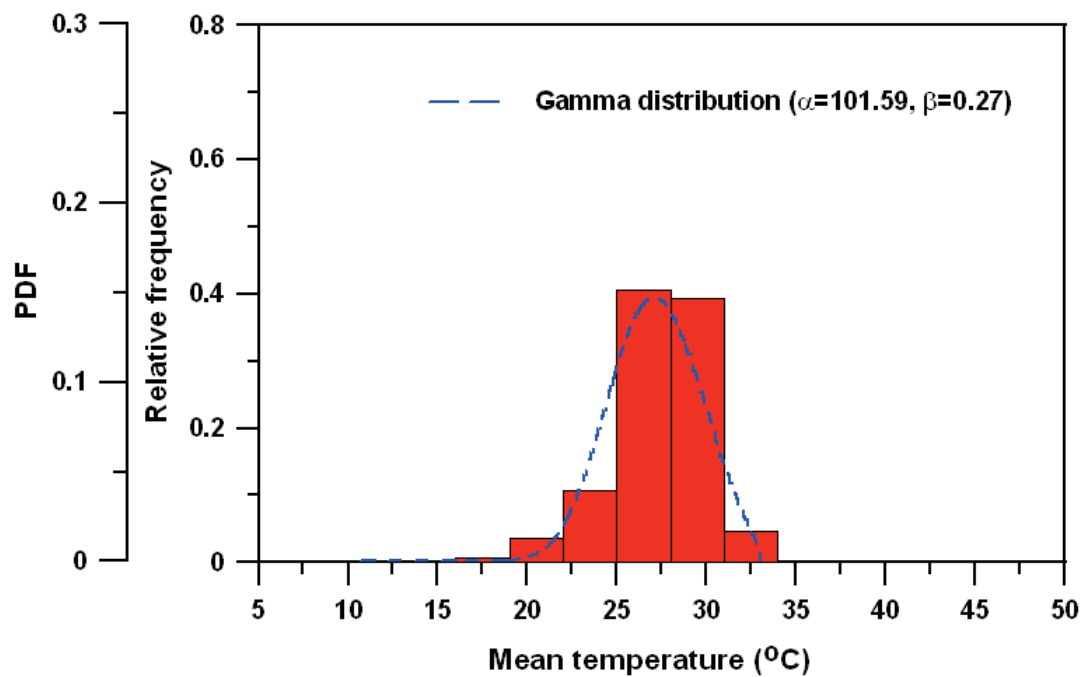


รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันในรูปแบบ histogram และ PDF ของ gamma distribution

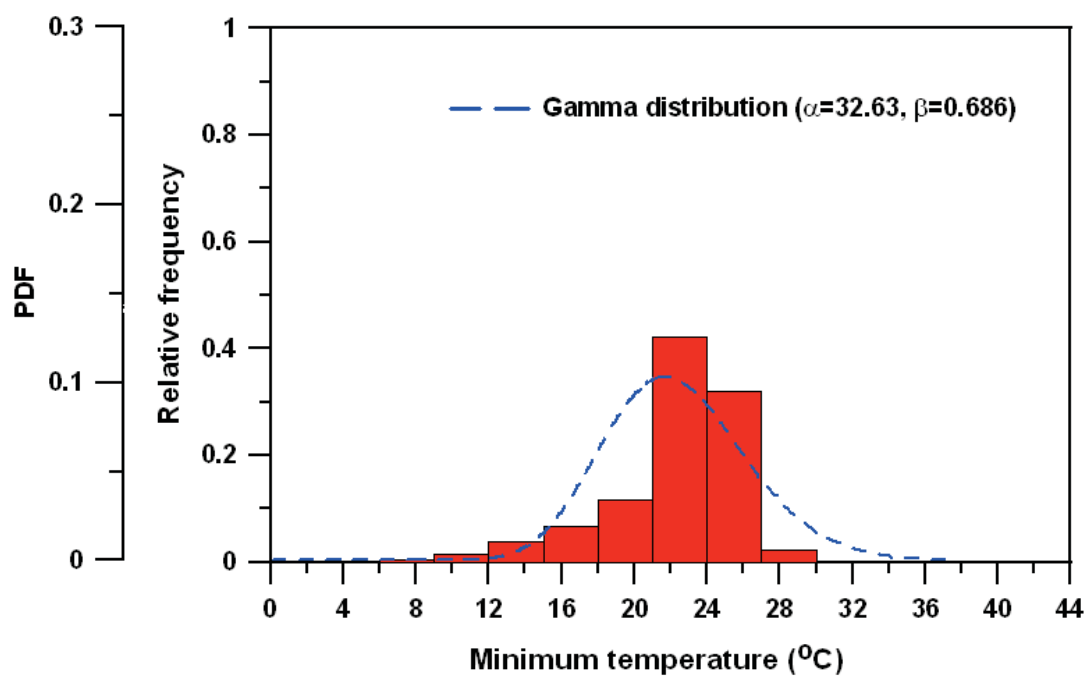
หมายเหตุ : รูปเล็กด้านในแสดงลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลปริมาณที่ค่าน้ำฝนมากกว่าศูนย์



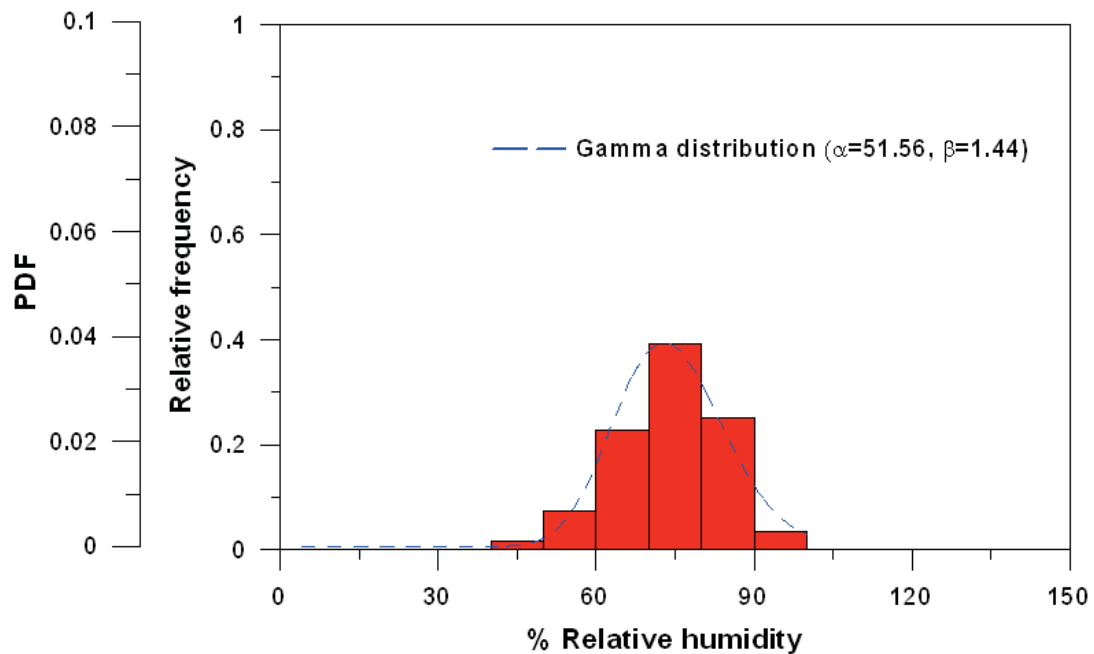
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันในรูปแบบ histogram และ PDF ของ gamma distribution



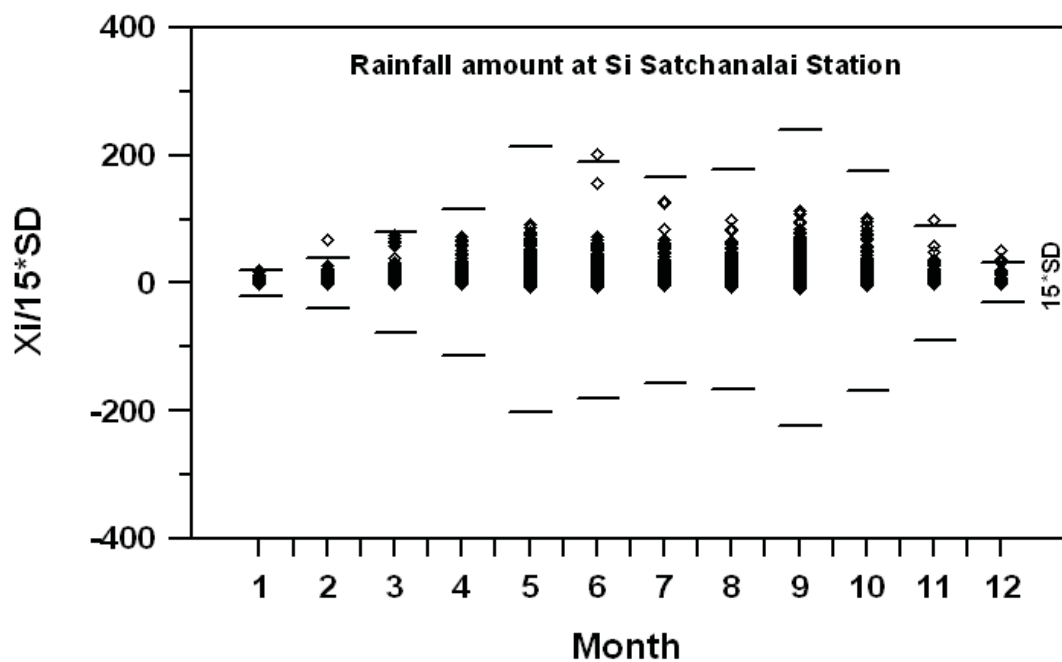
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันในรูปแบบ histogram และ PDF ของ gamma distribution



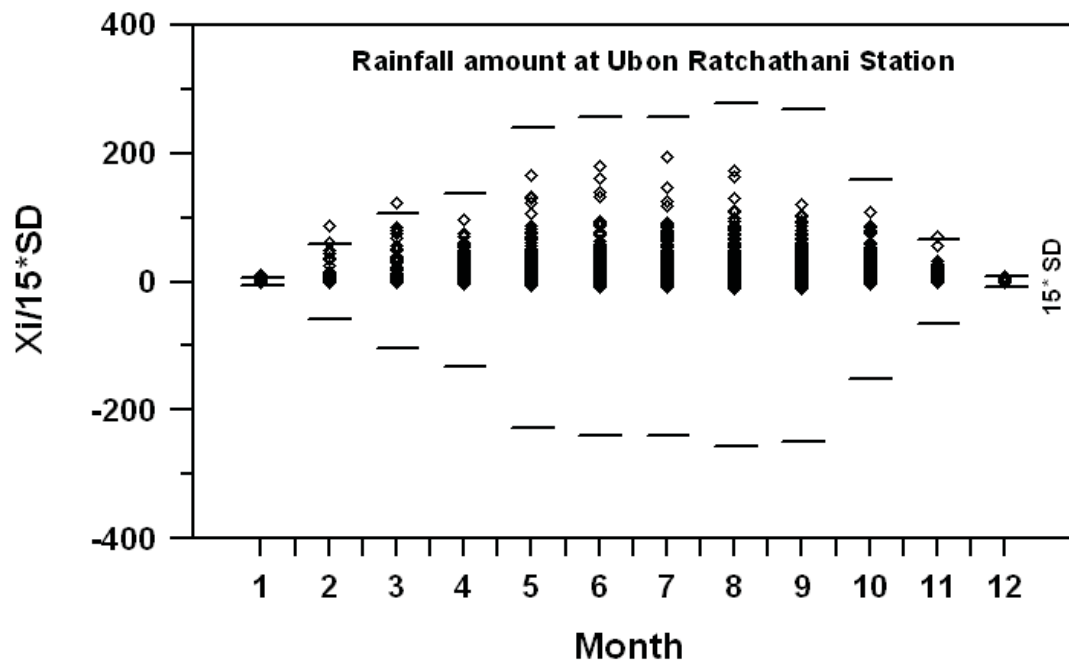
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดรายวันในรูปแบบ histogram และ PDF ของ gamma distribution



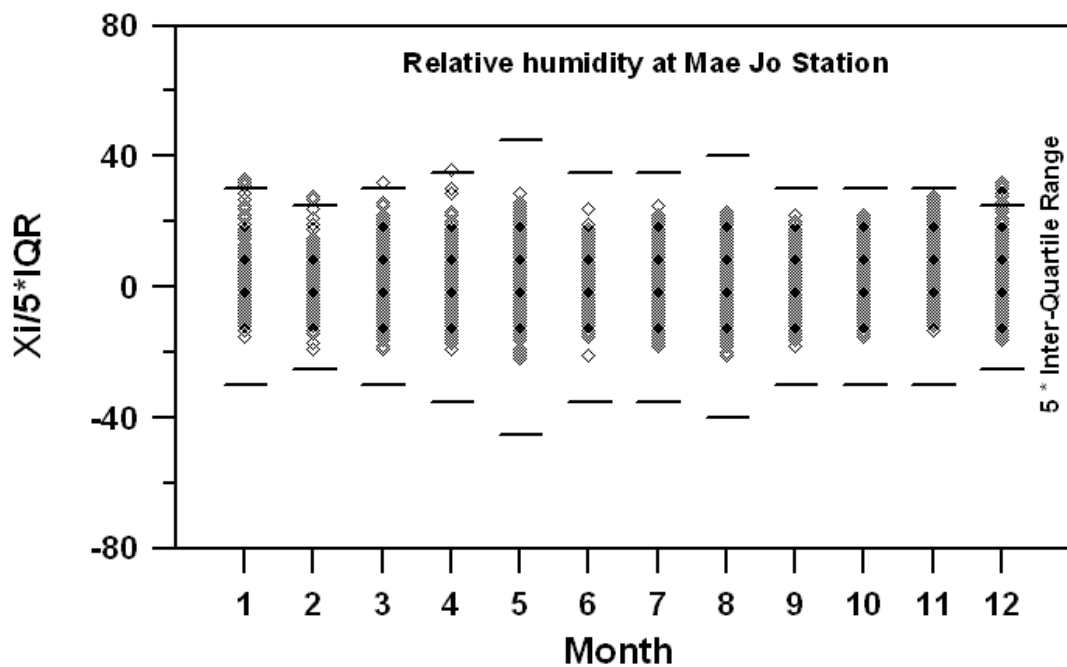
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายวันในรูปแบบ histogram และ PDF ของ gamma distribution



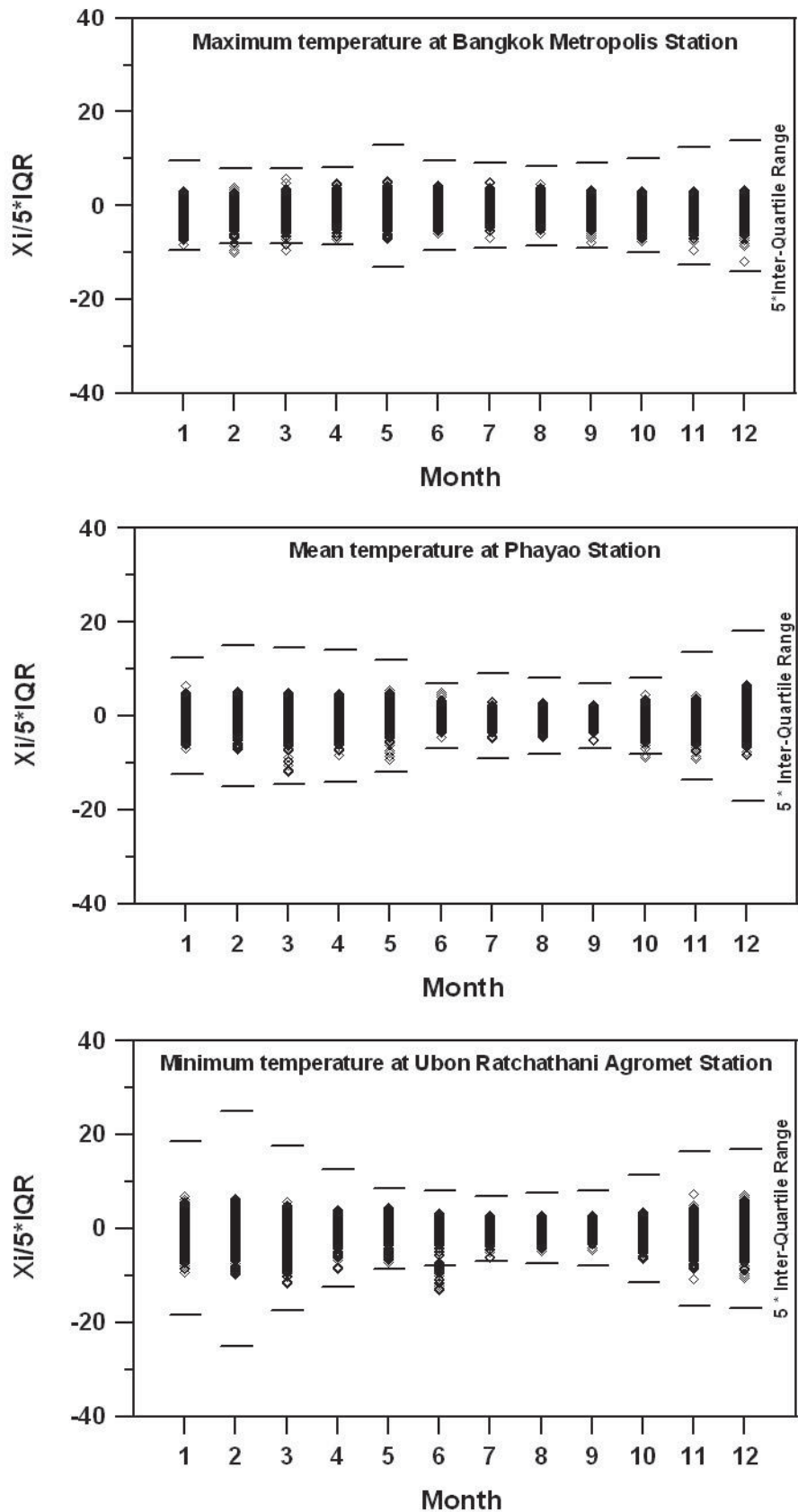
รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลฝน ณ สถานี Si Satchanalai ของกรมชลประทาน โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ เท่ากับ 15 เท่าของค่า SD



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลฝน ณ สถานี Ubon Ratchathani ของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ เท่ากับ 15 เท่าของค่า SD



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ณ สถานี Mae Jo ของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ เท่ากับ 5 เท่าของ IQR



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงเวลาของข้อมูลอุณหภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ เท่ากับ 5 เท่าของ IQR

4.1.3 ค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่

การตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ ด้วยเทคนิคการเปรียบเทียบกับข้อมูลสถานีอ้างอิง (Reference station) เป็นสถานีใกล้เคียง (Neighboring station) นั้น สิ่งสำคัญประการแรกคือวิธีการคัดเลือกสถานีใกล้เคียงเพื่อใช้เป็นสถานีอ้างอิงในการเปรียบเทียบค่าผิดปกติ วิธีการที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับการคัดเลือกสถานีอ้างอิงในการศึกษานี้ ได้แก่ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของสถานีที่จะตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ (Candidate station) และสถานีใกล้เคียงทุกสถานี โดยความสัมพันธ์ระหว่าง Candidate station และสถานีใกล้เคียง ที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุดในสามลำดับแรก จะถูกคัดเลือกเป็นสถานีอ้างอิง

ผลการวิเคราะห์พบว่า ข้อมูลระหว่าง Candidate station และ Neighboring station ส่วนใหญ่ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยของข้อมูลฝน อุณหภูมิสูงสุดประจำวัน อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน และความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าเท่ากับ 0.50, 0.76, 0.82, 0.79 และ 0.60 ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ยังพบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างสถานีอ้างอิงมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แสดงถึงความแปรปรวนในเชิงพื้นที่ของตัวแปรทั้งสองที่มีค่าต่ำ ซึ่งเป็นรูปแบบที่พบโดยทั่วไปในพื้นที่อื่น ๆ ของโลกด้วย ดังนั้นการกระจายตัวจำนวน และความหนาแน่นของเครือข่ายสถานีตรวจวัด จึงไม่เป็นข้อจำกัดของการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ของทั้งสองตัวแปร โดยสถานีใกล้เคียงที่คัดเลือกเป็นสถานีอ้างอิง ไม่จำเป็นต้องอาศัยเครือข่ายสถานีตรวจวัดที่หนาแน่นมากนัก ทั้งนี้สถานีใกล้เคียงหลายสถานี สามารถใช้เป็นตัวแทนที่ดีสำหรับสถานีอ้างอิงได้ ถึงแม้ว่า สถานีนั้น ๆ จะตั้งอยู่ห่างไกลจาก Candidate station จากลักษณะความแปรปรวนของทั้งสองตัวแปรดังกล่าว ทำให้ค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่สามารถวิเคราะห์ได้ในพื้นที่ขนาดใหญ่หรือในระดับภูมิภาค ดังจะเห็นได้จากฐานข้อมูลอุณหภูมิระดับภูมิภาคและระดับโลกที่จัดทำขึ้นโดยองค์การนาซาติต่าง ๆ⁵⁸⁻⁵⁹

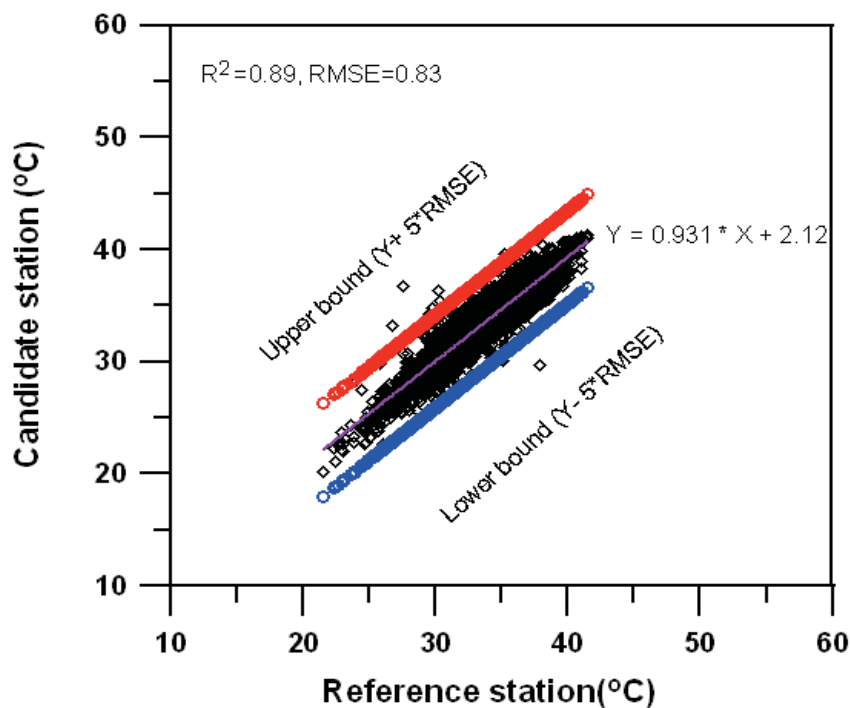
อย่างไรก็ตาม พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Candidate station และ Neighboring station ของข้อมูลฝนอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของฝนในเชิงพื้นที่มีค่าค่อนข้างสูงในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณภาคใต้ที่การเปลี่ยนแปลงของฝนตามฤดูกาล โดยฝนบริเวณฝั่งอันดามันและฝั่งอ่าวไทยจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน บริเวณฝั่งอันดามันจะมีช่วงฝนตกชุกเกิดขึ้นในเดือนพฤษภาคม-กันยายน เนื่องจากอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในขณะที่ฤดูฝนบริเวณฝั่งอ่าวไทยจะเกิดขึ้นในช่วงเดือนตุลาคม-มกราคม อันเนื่องมาจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ความแปรปรวนของฝนในเชิงพื้นที่ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน และสภาพภูมิประเทศ เป็นต้น โดยทั่วไปความสัมพันธ์ของฝนระหว่างสองสถานีที่ตั้งอยู่ใกล้กันจะมีค่าลดลงตามความถี่ของการตรวจวัดที่เพิ่มขึ้น Auer, et al. (2003)⁶² ได้ศึกษาความแปรปรวนด้านโครงสร้างเชิงพื้นที่ของข้อมูลฝน ที่ทำการตรวจวัดในระดับความถี่ที่แตกต่างกันในบริเวณพื้นที่ Greater Alpine Region ของทวีปยุโรป พบว่าความสัมพันธ์ของฝนรายปี รายเดือน และรายวัน

ระหว่างสองสถานีที่ตั้งอยู่ใกล้กัน มีค่าลดลงเป็นลำดับ โดยความสัมพันธ์ของฝนรายวันอยู่ในช่วง 0.4-0.6 ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้จากฐานข้อมูลฝนรายวันในประเทศไทย การเพิ่มเครือข่ายสถานีตรวจวัดให้มีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ระยะทางระหว่างสถานีลดลง และสามารถครอบคลุมและมีความสอดคล้องความแปรปรวนของฝนในเชิงพื้นที่ อันเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้ความสัมพันธ์ของฝนระหว่างสถานีมีค่าสูงขึ้น

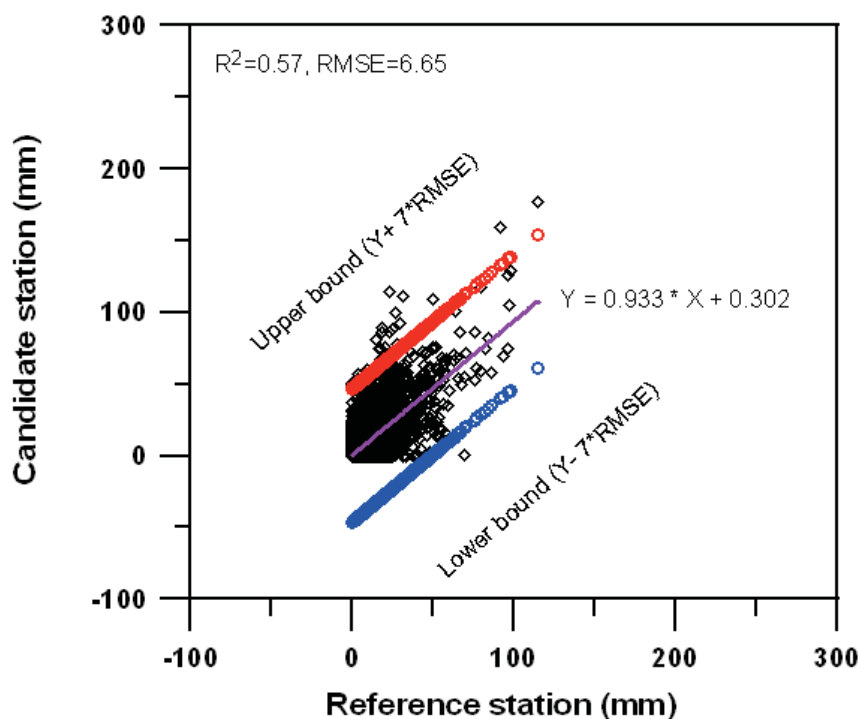
สำหรับการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ของข้อมูลฝนรายวันนั้น พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Candidate station และ Neighboring station ที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.35 ถือเป็นค่าที่ยอมรับได้ถึงผลการทดสอบ⁵⁷ ดังนั้นการคัดเลือกสถานีใกล้เคียงสำหรับข้อมูลฝนรายวันในการศึกษานี้ จึงได้ดำเนินการอย่างระมัดระวังและยึดหลักเกณฑ์ที่กล่าวมาข้างต้นอย่างเข้มงวด เพื่อให้การทดสอบข้อมูลมีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ผลการตรวจสอบพบว่า ความสัมพันธ์ส่วนใหญ่ของข้อมูลฝนในประเทศไทยเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่ได้มีการเสนอแนะ และกล่าวไว้ในเบื้องต้น

สำหรับ Upper และ Lower limits ซึ่งเป็นขอบเขตความเชื่อมั่นของสมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่าง Candidate station และ Reference station ที่ใช้สำหรับตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ สามารถคำนวณได้จากค่า RMSE คูณด้วยขอบเขตที่ยอมรับให้ความแปรปรวนของข้อมูลเกิดขึ้นได้ (ค่า F ในสมการที่ 4) โดยค่า F ได้ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 5 ในกรณีของข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ตามค่าที่ Feng, et al. (2004) ได้ใช้ในการทดสอบข้อมูลภูมิอากาศรายวันในประเทศจีน ส่วนข้อมูลฝน ได้กำหนดค่า F มีค่าเท่ากับ 7 ทั้งนี้ได้นำลักษณะการแจกแจงของข้อมูล และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง Candidate station และ Reference station มาพิจารณาประกอบการกำหนดค่า F ดังกล่าวด้วย โดยในกรณีนี้ได้กำหนดให้ Upper และ Lower limits มีช่วงที่กว้างกว่าปกติ เพื่อให้ข้อมูลที่มีค่า extreme ไม่ถูกจัดเป็นค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่

ตัวอย่างการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ของข้อมูลอุณหภูมิ ฝน และความชื้นสัมพัทธ์ แสดงในรูปที่ 4.10 ถึง 4.12 ซึ่งจะเห็นว่าค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ เป็นค่าที่อยู่นอกของเขตความเชื่อมั่นของสมการถดถอย โดยมีจำนวนที่แตกต่างกันในแต่ละตัวแปรและแต่ละสถานี โดยสรุปอาจกล่าวได้ว่าเทคนิคดังกล่าวนี้สามารถตรวจจับค่าผิดปกติในอนุกรมข้อมูลที่เบี่ยงเบนอย่างมีนัยสำคัญจากสถานีใกล้เคียงได้ค่อนข้างดี และชัดเจน ผลการตรวจสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ทุกสถานีของทั้ง 5 ฐานข้อมูล สรุปไว้ในตารางที่ 4.3 โดยเปอร์เซ็นต์ค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ของข้อมูลฝนมีค่า 0.030 % ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดประจำวัน 0.066 % ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน 0.044 % ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน 0.049 % และ ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ 0.020 % ซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนที่น้อย โดยเปอร์เซ็นต์ค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ที่พบในฐานข้อมูลของประเทศไทย มีค่าใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์สำหรับฐานข้อมูลในประเทศจีนที่ถูกทดสอบโดย Feng, et al. (2004)



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการทดสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิสูงสุดประจำวัน ณ สถานี Chai Nat ของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ เท่ากับ $5 * RMSE$



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการทดสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ของข้อมูลฝน ณ สถานี Nan Agromet ของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติเท่ากับ $7 * RMSE$

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนของค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ของฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวัน

ตัวแปร	แหล่งของฐานข้อมูล			
	TMD	RID	EGAT	TOTAL
1. ปริมาณน้ำฝน	0.034	0.24	0.17	0.030
2. อุณหภูมิสูงสุด	0.063	0.26	-	0.066
3. อุณหภูมิเฉลี่ย	0.042	0.20	-	0.044
4. อุณหภูมิต่ำสุด	0.047	0.20	-	0.049
5. %ความชื้นสัมพัทธ์	0.018	0.15	-	0.021

หมายเหตุ 1. ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน คือ ค่า $VF_{ij} - 7 * RMSE_j < X_i < VF_{ij} + 7 * RMSE_j$

2. ค่าผิดปกติของอุณหภูมิ คือ ค่า $VF_{ij} - 5 * RMSE_j < X_i < VF_{ij} + 5 * RMSE_j$

3. ค่าผิดปกติของ %ความชื้นสัมพัทธ์ คือ ค่า $VF_{ij} - 5 * RMSE_j < X_i < VF_{ij} + 5 * RMSE_j$

ตารางที่ 4.4 สัดส่วนของค่าผิดปกติทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาของฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวัน

ตัวแปร	แหล่งของฐานข้อมูล			
	TMD	RID	EGAT	TOTAL
1. ปริมาณน้ำฝน	0.001	0.009	0.006	0.001
2. อุณหภูมิสูงสุด	0.0009	0	-	0.001
3. อุณหภูมิเฉลี่ย	0.001	0	-	0.001
4. อุณหภูมิต่ำสุด	0.0049	0	-	0.005
5. %ความชื้นสัมพัทธ์	0.0024	0	-	0.002

ตารางที่ 4.5 จำนวนอนุกรมข้อมูลที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Inhomogeneity) ของฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวัน

ตัวแปร	แหล่งของฐานข้อมูล			
	TMD	RID	EGAT	TOTAL
1. ปริมาณน้ำฝน	3	3	1	7
2. อุณหภูมิสูงสุด	3	1	-	4
3. อุณหภูมิเฉลี่ย	5	1	-	6
4. อุณหภูมิต่ำสุด	1	-	-	1
5. %ความชื้นสัมพัทธ์	9	-	1	10

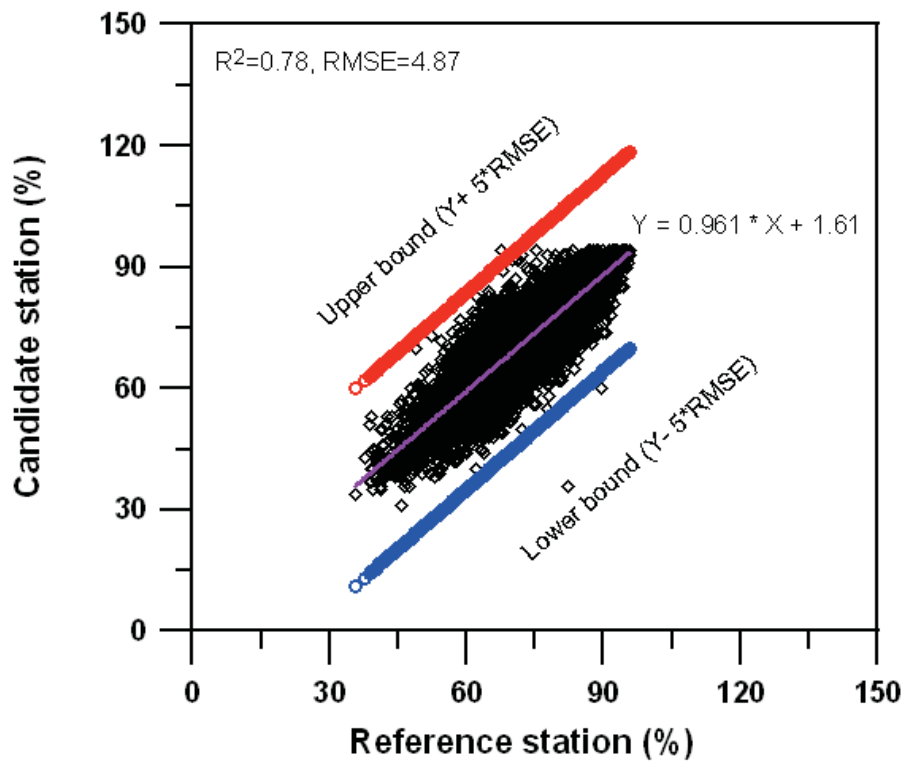
4.1.4 ค่าผิดปกติของข้อมูลที่ลบออกจากรฐานข้อมูลและการประมาณค่าข้อมูลที่ขาดหาย

ค่าผิดปกติในเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ของแต่ละสถานีและแต่ละตัวแปร ถูกนำมาพิจารณาพร้อมกันอีกครั้งหนึ่ง เพื่อวิเคราะห์หาค่าผิดปกติในอนุกรมข้อมูลที่ต้องลบออกจากรฐานข้อมูล เงื่อนไขที่ใช้พิจารณาค่าผิดปกติดังกล่าว คือ ข้อมูลในปี เดือนและวันเดียวกัน ที่ถูกตรวจสอบด้วยเทคนิคข้างต้นแล้ว ถ้าพบว่าข้อมูลนั้นเป็นทั้งค่าผิดปกติทั้งในเชิงเวลาและเชิงพื้นที่ จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดบนสมมุติฐานที่ว่า “ค่าผิดปกติที่แท้จริงจะต้องมีลักษณะที่แตกต่างจากข้อมูลอื่นทั้งในอนุกรมเดียวกันและสถานีใกล้เคียง” ซึ่งหลักเกณฑ์นี้จะช่วยกลั่นกรองและยืนยันค่าผิดปกติได้อีกครั้งหนึ่ง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความมั่นใจก่อนที่จะลบออกจากรฐานข้อมูล ตารางที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ของค่าผิดปกติที่ถูกลบออกจากรฐานข้อมูล โดยสรุปพบว่าข้อมูลที่ถือว่าเป็นค่าผิดปกติที่ถูกลบออกจากรฐานข้อมูล มีค่าน้อยกว่า 0.005 % โดยข้อมูลดังกล่าวรวมทั้งข้อมูลอื่น ๆ ที่ขาดหายไป ในอนุกรมข้อมูลทุกสถานี ซึ่งมีทั้งหมดน้อยกว่า 2 % ของฐานข้อมูลทั้งหมดได้ถูกประมาณค่าด้วยสมการที่ 5 เพื่อให้อนุกรมข้อมูลก่อนการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและการวิเคราะห์ดัชนีสภาวะความรุนแรงมีความสมบูรณ์และมีความต่อเนื่อง ตัวอย่างการประมาณค่าข้อมูลฝน อุณหภูมิสูงสุด และความชื้นสัมพัทธ์ที่ขาดหายไป ในอนุกรมข้อมูล แสดงในรูป 4.13 ถึง 4.15 ซึ่งพบว่าข้อมูลที่ขาดหายไปที่ถูกประมาณค่ามีค่าใกล้เคียงเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลอื่น ๆ ในอนุกรม และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่มีการแกว่งระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดที่สอดคล้องกับลักษณะของข้อมูลอื่น ๆ ในอนุกรม นอกจากนี้ค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดซึ่งเป็นค่า extreme สามารถประมาณค่าได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับข้อมูลอื่น ๆ ในอนุกรมดังกล่าว

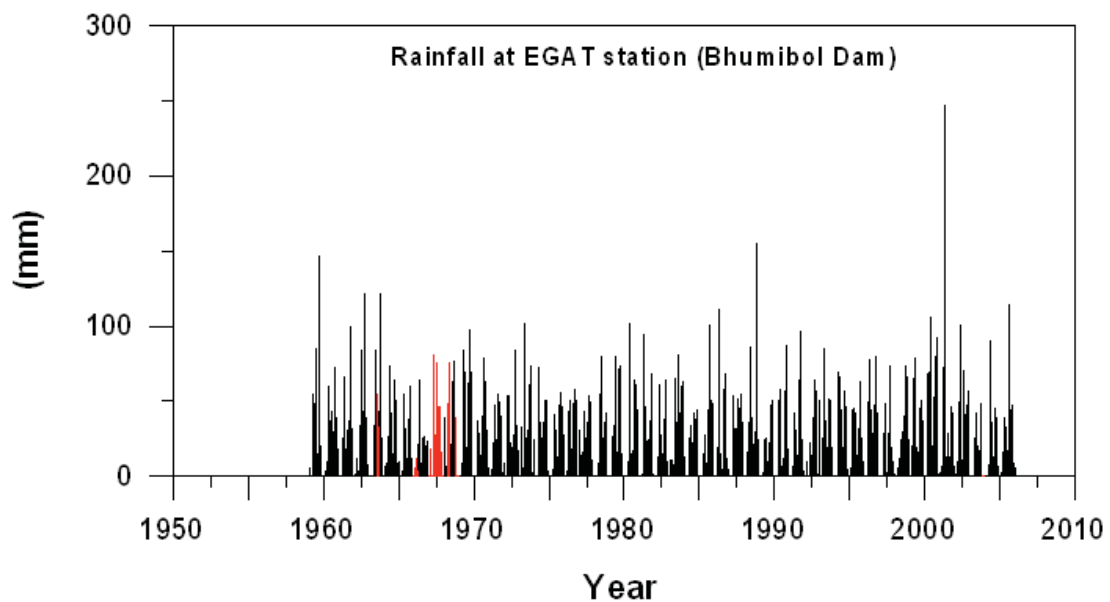
4.1.5 ความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล

อนุกรมรายเดือนของแต่ละสถานีตรวจวัด และแต่ละตัวแปรที่คำนวณจากอนุกรมข้อมูลรายวัน ได้นำมาทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันในอนุกรมข้อมูลด้วยเทคนิค Penalized Maximal T และ F Tests^{86,87} โดยฟังก์ชันที่ใช้ในการทดสอบ คือ ไม่ใช่สถานีใกล้เคียงเป็นสถานีอ้างอิงโดยถือว่าอนุกรมข้อมูลที่ถูกทดสอบเป็น Base series (the true without a reference series case) การทดสอบเริ่มต้นด้วย การทดสอบข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลอื่น ๆ ในอนุกรมข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือการวิเคราะห์ Type I changepoints โดยอนุกรมข้อมูลที่มีลักษณะที่เป็นเนื้อเดียวกัน ในกรณีที่ผ่านมาการทดสอบด้วยเทคนิคดังกล่าวข้างต้นแล้ว ไม่พบ Type I changepoints ในอนุกรมข้อมูลนั้น (รูปที่ 4.16) ส่วนอนุกรมข้อมูลที่พบ Type I changepoints จะถูกนำมาประเมินอีกครั้งด้วยเทคนิค Stepsize ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติและขนาดของ Type I changepoints หากยังพบ Type I changepoints ที่มีนัยสำคัญที่ระดับเชื่อมั่นที่ 95% ปรากฏอยู่ในอนุกรมข้อมูลหลังจากวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Stepsize แล้วถือว่าอนุกรมข้อมูลนั้นมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลที่อยู่ในอนุกรม (รูปที่ 4.17)

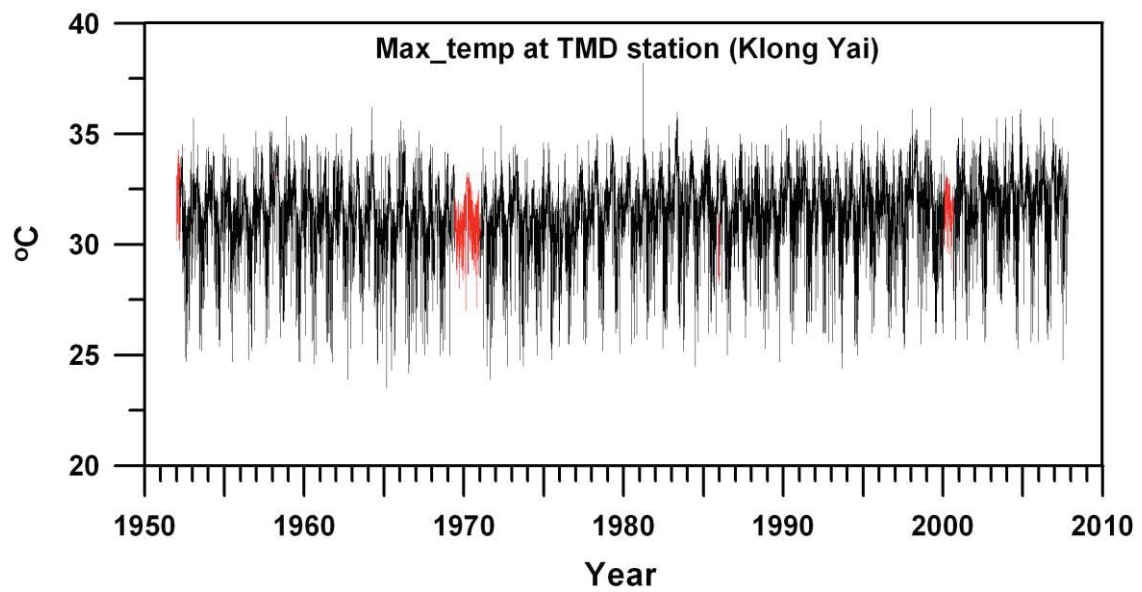
สำหรับการศึกษานี้ อนุกรมข้อมูลที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล จะไม่นำไปวิเคราะห์ดัชนีสภาวะความรุนแรง เนื่องจากการปรับแก้อนุกรมข้อมูลที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล จำเป็นต้องใช้เทคนิคทางสถิติขั้นสูง และข้อมูล Meta data มาประกอบในกระบวนการวิเคราะห์ดังกล่าว ซึ่ง



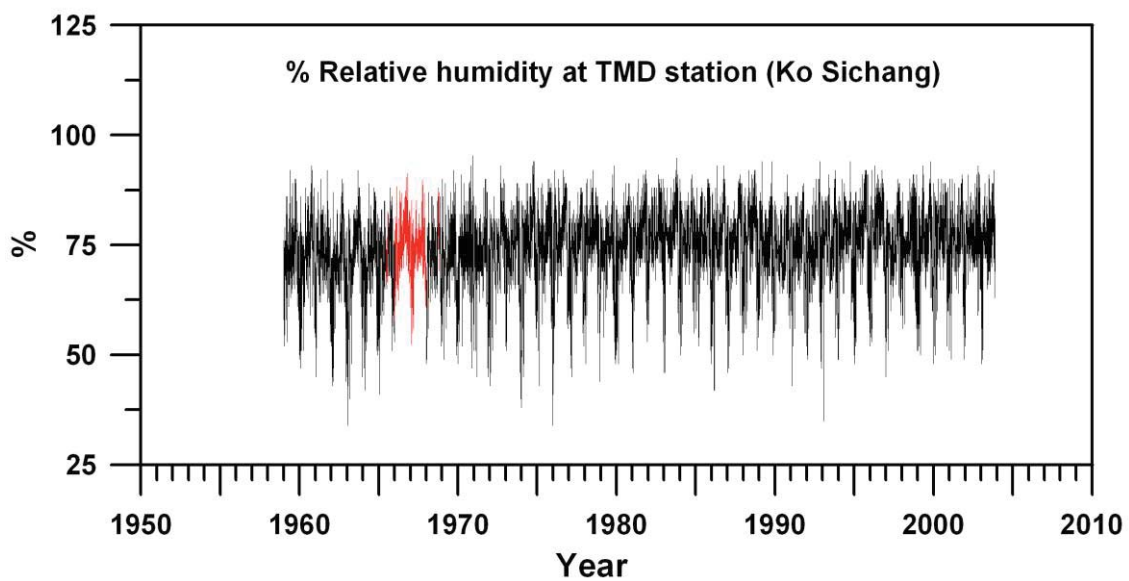
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการทดสอบค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่ของข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ณ สถานี Khon Kaen ของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงของความแปรปรวนที่กำหนดขอบเขตค่าผิดปกติ เท่ากับ $5*RMSE$



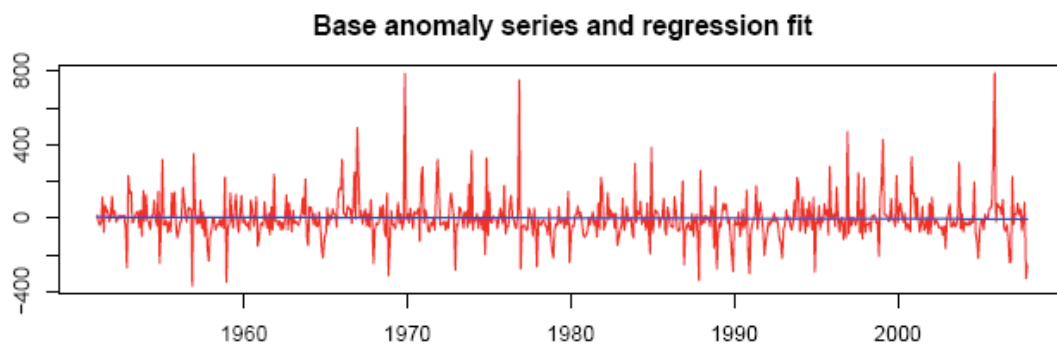
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการประมาณค่าข้อมูลฝนที่ขาดหายไปในอนุกรมข้อมูล ณ สถานี Bhumibol Dam ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย



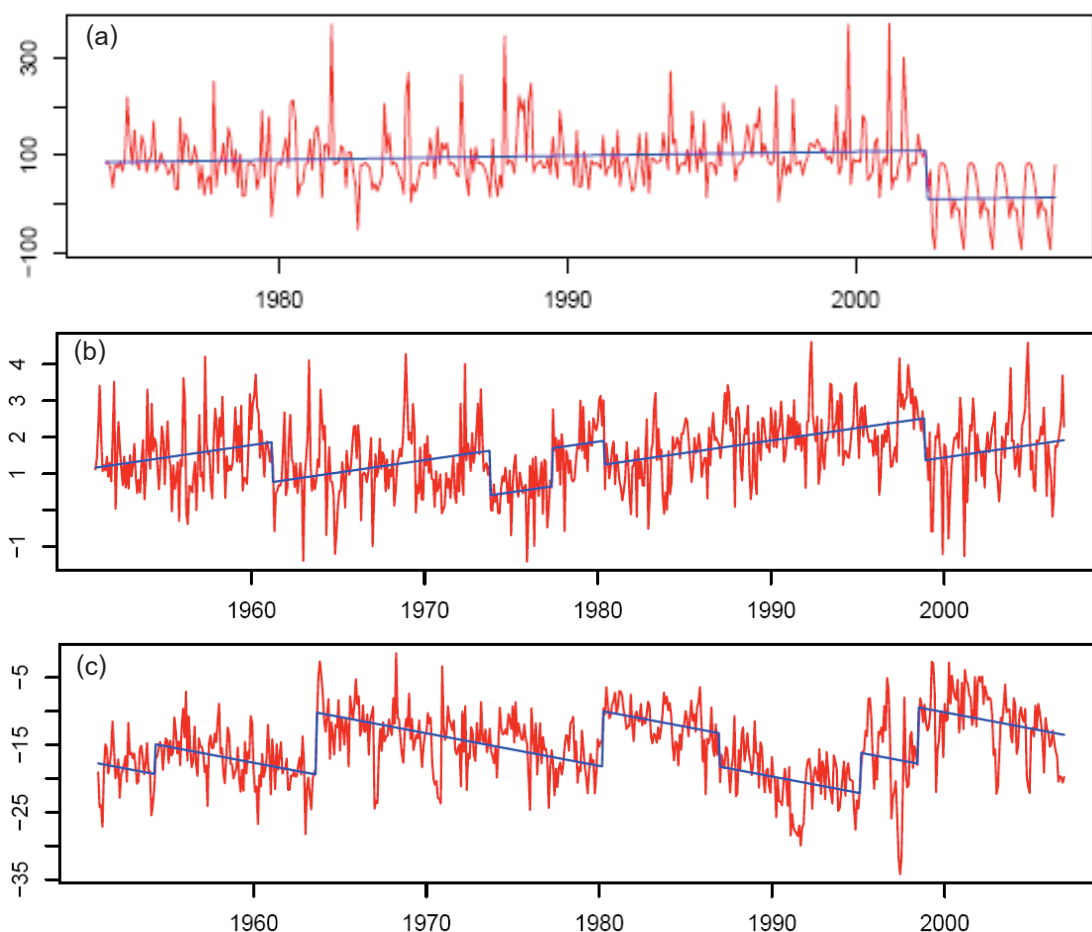
รูปที่ 4.14 ตัวอย่างการประมาณค่าข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดที่ขาดหายไปในอนุกรมข้อมูล ณ สถานี Klong Yai ของกรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการประมาณค่าข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ที่ขาดหายไปในอนุกรมข้อมูล ณ สถานี Ko Sichang ของกรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 4.16 ตัวอย่าง Base anomaly series and multi-phase regression fit ของอนุกรมข้อมูลที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลฝน ณ สถานี Songkhla ของกรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 4.17 ตัวอย่าง Base anomaly series and multi-phase regression fit ของอนุกรมข้อมูลที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลฝน ณ สถานี Tha Yang ของกรมชลประทาน (a) ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดประจำวัน ณ สถานี Lop Buri ของกรมอุตุนิยมวิทยา (b) และ ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ณ สถานี Don Muang ของกรมอุตุนิยมวิทยา

การรวบรวมข้อมูล Meta data ภายใต้โครงการศึกษาวิจัยนี้ ยังไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ในการปรับแก้ อนุกรมข้อมูลที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล จำนวนอนุกรมข้อมูลที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันของแต่ละตัวแปรตรวจสอบ พบในฐานข้อมูลรายวันซึ่งถูกลบออกจากฐานข้อมูล ดังสรุปในตารางที่ 4.5 โดยจำนวนอนุกรมข้อมูลที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลฝนมีค่าเท่ากับ 7 สถานี ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดประจำวัน 4 สถานี ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย 6 สถานี ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน 1 สถานี และ ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ 10 สถานี เมื่อทำการเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่นๆ ในหลายพื้นที่ที่แสดงรายละเอียดใน ตารางที่ 4.6 แล้ว พบว่าเปอร์เซ็นต์ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของอนุกรมข้อมูลฝนและอุณหภูมิของการศึกษานี้ มีค่าที่น้อยกว่าสัดส่วนความไม่เป็นเนื้อเดียวกันในฐานข้อมูลของการศึกษาอื่นๆ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของอนุกรมข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าอยู่ในช่วงที่ตรวจพบในฐานข้อมูลอื่น ๆ (ตารางที่ 4.6) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าฐานข้อมูลที่รวบรวมจากกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย มีคุณภาพในแง่ความเป็นเนื้อเดียวกันค่อนข้างดีเมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของแหล่งอื่น ๆ

4.1.6 จำนวนสถานีและการกระจายตัวของฐานข้อมูลคุณภาพสูง

ข้อมูลที่ผ่านมาทุกกระบวนการทดสอบคุณภาพข้อมูลในเบื้องต้นและทางสถิติ นับว่าเป็นฐาน ข้อมูลคุณภาพสูงที่พร้อมจะถูกนำไปวิเคราะห์ดัชนีความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศ โดยกระจายตัวของสถานีที่แสดงในรูปที่ 4.18 ถึง 4.20 พบว่าฐานข้อมูลฝนรายวันมีจำนวนสถานี 170 สถานี โดยภาคเหนือและภาค ตะวันออกเฉียงเหนือมีจำนวนสถานีตรวจวัดตั้งอยู่ภาคละมากกว่า 40 สถานี ในขณะที่จำนวนสถานีของ ฐานข้อมูลอุณหภูมิมียังมีจำนวน 95-98 สถานี และสถานีของฐานข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์มีจำนวน 74 สถานี โดยการกระจายตัวของสถานีในแต่ละภาค ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก รูปที่ 4.21 แสดงจำนวนสถานีใน แต่ละปีของฐานข้อมูลทั้ง 5 ตัวแปร พบว่าจำนวนสถานีแต่ละปีในระหว่าง ปี ค.ศ. 1951 – 2006 เพิ่มขึ้น ตามกาลเวลา และเริ่มมีจำนวนสถานีคงที่หลังปี ค.ศ. 1970 ดังนั้นเพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือ รวมทั้งเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดจากจำนวนตัวอย่างที่แตกต่างกันในแต่ละปี การ วิเคราะห์ดัชนีสภาวะความรุนแรง จะใช้เฉพาะข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 1965-2006 เท่านั้น

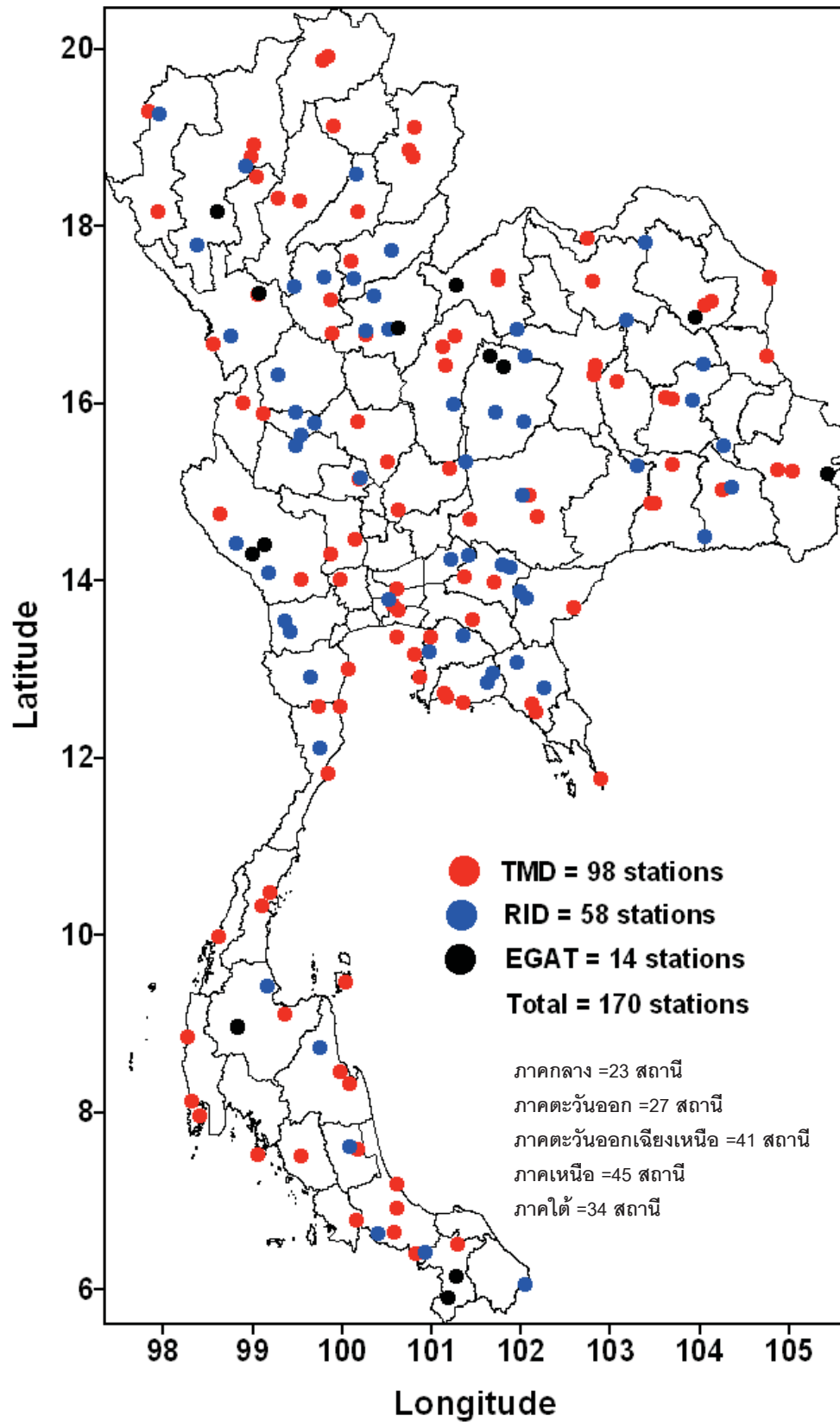
4.2 การเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทย

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี

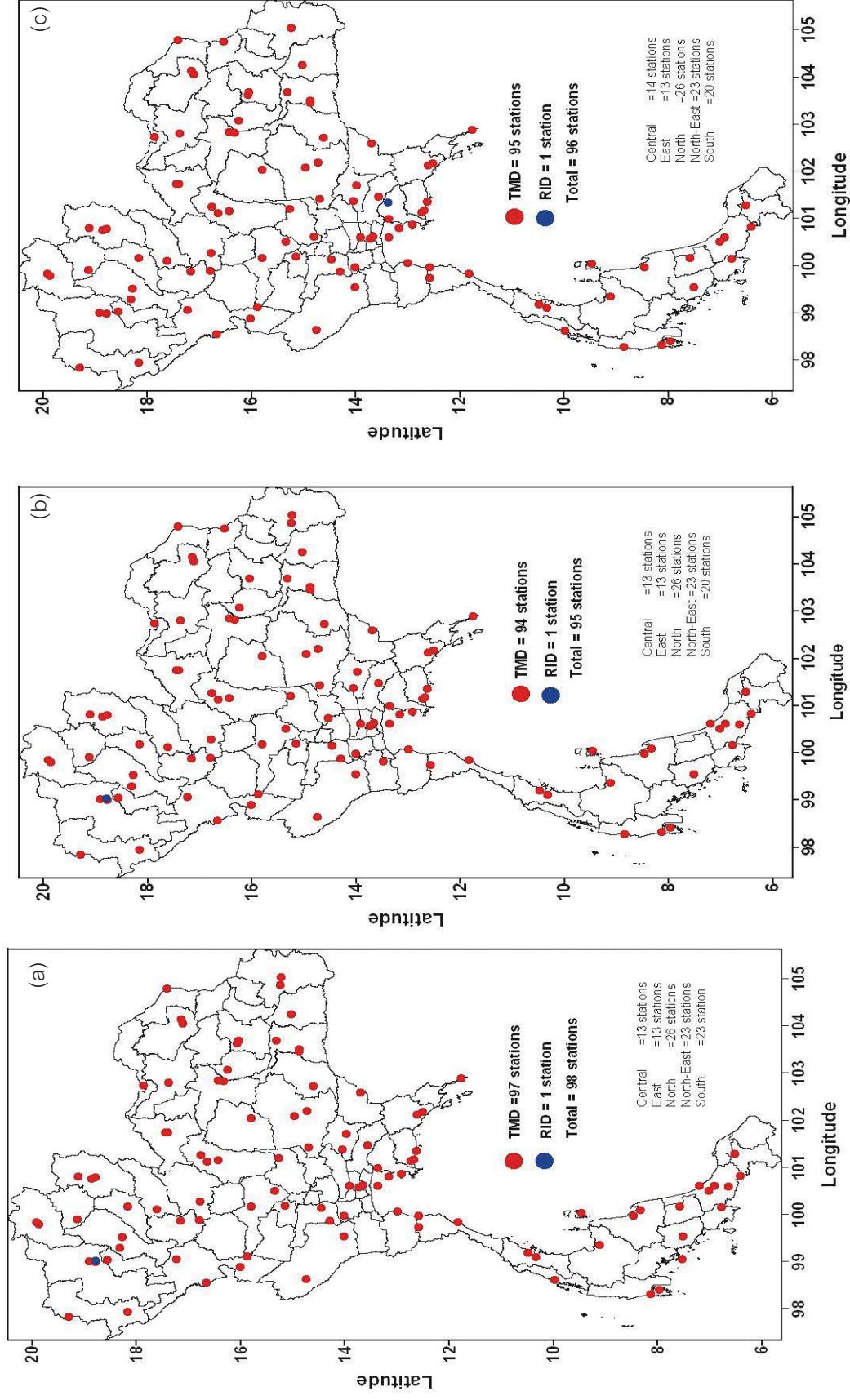
การเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ เป็นเหตุการณ์ที่อยู่ด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้ง สองด้านของการแจกแจงของข้อมูล มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการเปลี่ยนแปลงของ mean state (รูป ที่ 2.1) การเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ (อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดรายปี) นับว่าเป็นความรู้พื้นฐานที่มีประโยชน์ต่อการประเมินและอธิบายการเปลี่ยนแปลงสภาวะ ความรุนแรงที่เกิดขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของ mean state ดังนั้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรง (linear trend) ของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีทุกสถานี ในช่วงปี ค.ศ. 1965-2006 ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธี OLS โดยระดับความเชื่อมั่นทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงได้ถูก

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบจำนวนอนุกรมข้อมูลที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันของการศึกษาและการศึกษาที่ผ่านมานในหลายพื้นที่

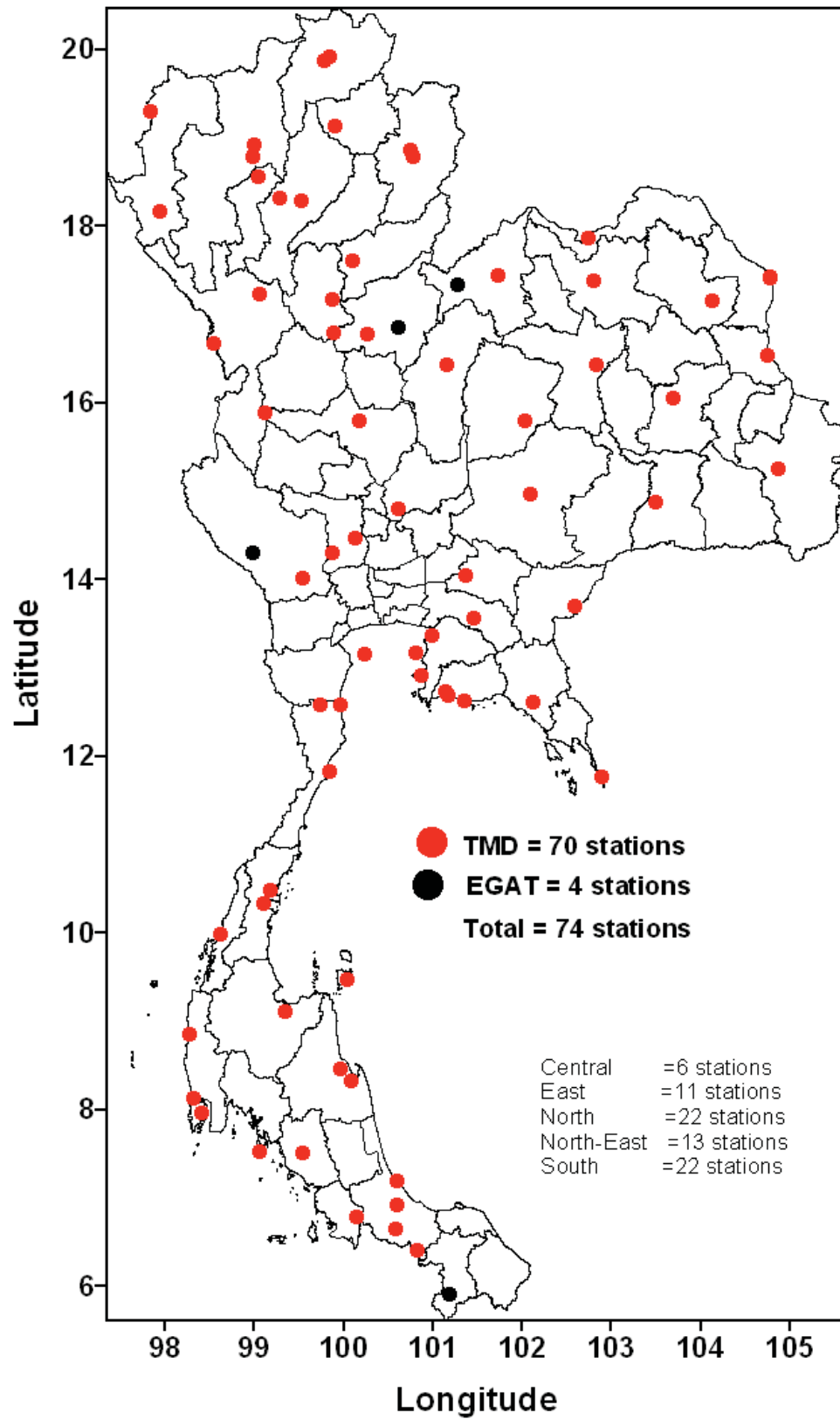
แหล่งข้อมูล	ช่วงระยะเวลา	พื้นที่ศึกษา	วิธี/เทคนิค	%ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล		
				ฝน	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์
Auer et al. 2005 ⁶²	1800-2000	Greater Alpine Region	Comparison of neighboring series	30-50		
Feng et al. 2004 ⁷⁰	1951-2000	China	Moving <i>t</i> test, Standard normal homogeneity and departure accumulating method	9	10.3	7.9
Wijngaard et al. 2003 ⁶⁵	1901-1999	Europe	Standard normal homogeneity test, Buishand rang test, Pettitt test and Von Neumann ratio test	14	92	
Wijngaard et al. 2003 ⁶⁵	1946-1999	Europe	Standard normal homogeneity test, Buishand rang test, Pettitt test and Von Neumann ratio test	9	54	
Wang and Gaffen, 2001 ³⁴	1961-1990	China	Subjective visual inspection		14	14
Brunet et al. 2005 ⁹⁷	1850-2003	Spain	Standard normal homogeneity test		2.6	
Prieto et al. 2004 ³⁸	1955-1988	Spain	Two-phase regression model and statistical tests		57.7	
Limjirakan, Limsakul and Sriburi, 2008	1951-2006	Thailand	Penalized Maximal <i>T</i> and <i>F</i> Tests	3.9	3.6	11.9



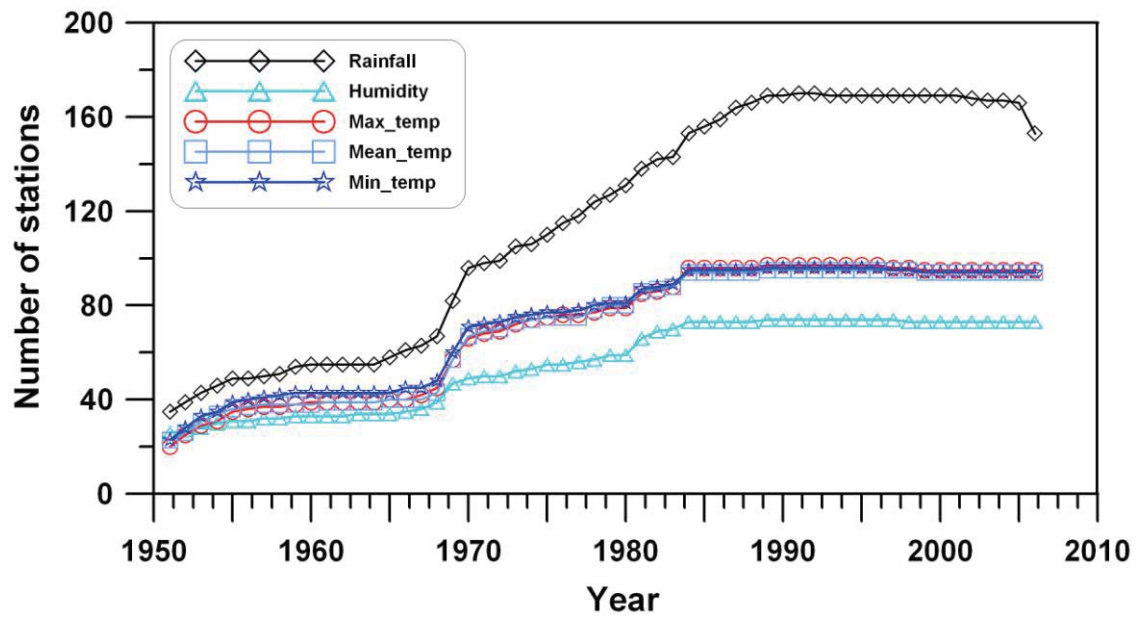
รูปที่ 4.18 แสดงที่ตั้งของสถานีปริมาณฝนรายวันคุณภาพสูงในประเทศไทย



รูปที่ 4.19 แสดงที่ตั้งของสถานีอุตุนิยมวิทยาสถาบัน (a) อุตุนิยมวิทยาสถาบัน (b) และอุตุนิยมวิทยาสถาบัน (c) ในประเทศไทย



รูปที่ 4.20 แสดงที่ตั้งของสถานีความชื้นสัมพัทธ์รายวัน ในประเทศไทย



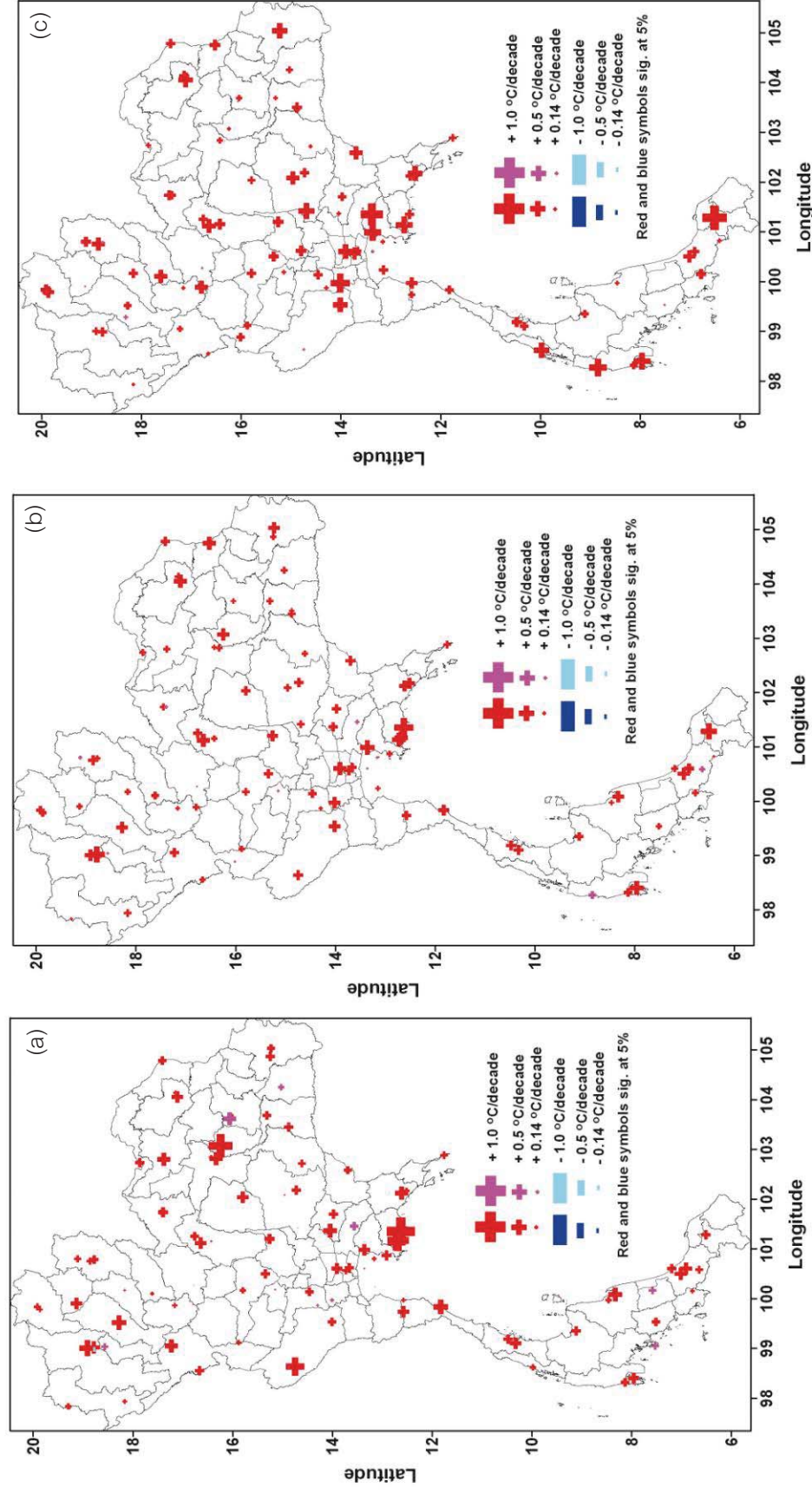
รูปที่ 4.21 แสดงจำนวนสถานีในแต่ละปีของฐานข้อมูลภูมิอากาศคุณภาพสูง

ทดสอบด้วยวิธี Non-parametric Kendall Tab Test ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงการเปลี่ยนแปลงอยู่ในรูปองศาเซลเซียสต่อทศวรรษ ดังแสดงในรูปที่ 4.22

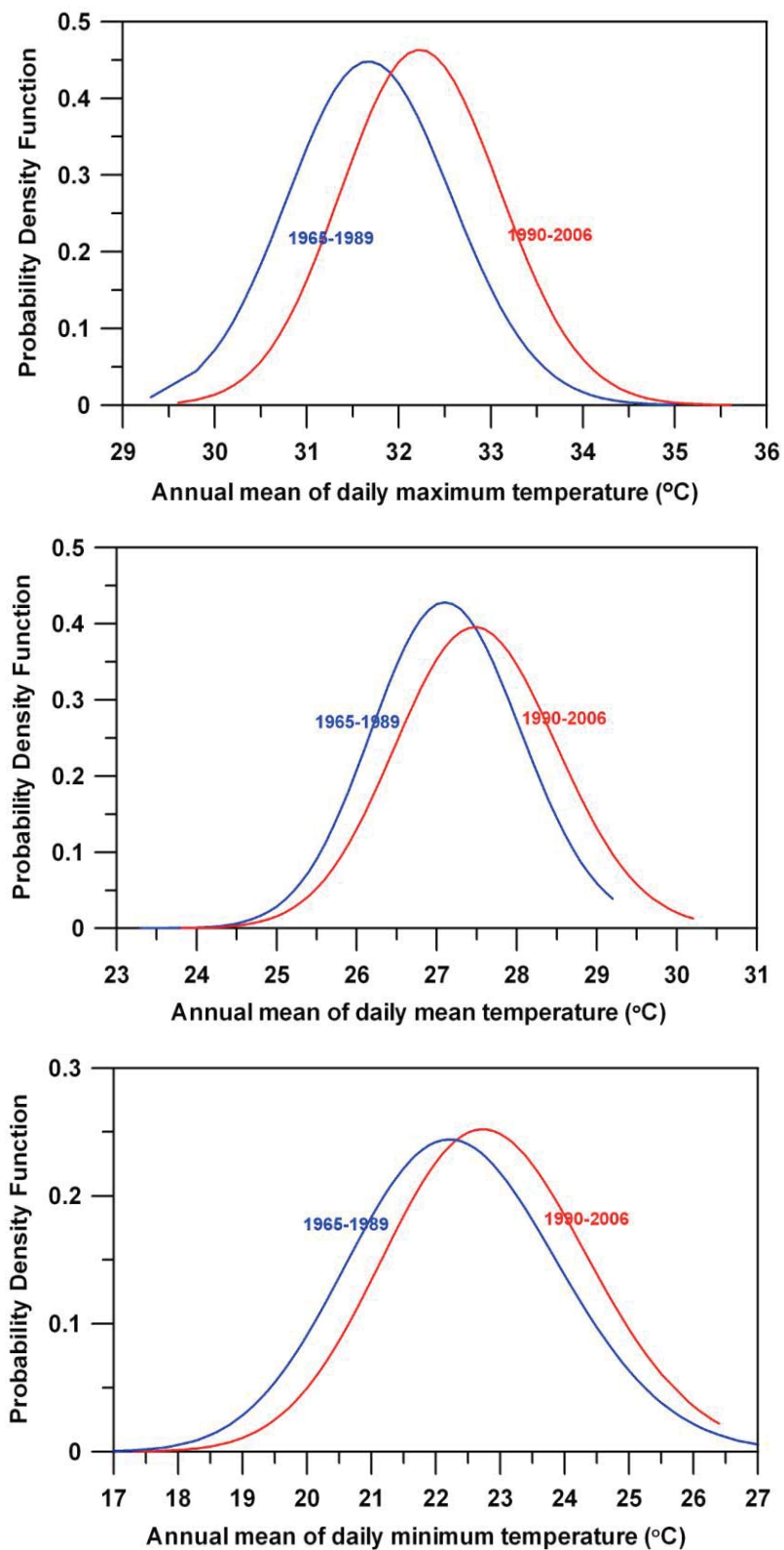
ผลการวิเคราะห์พบว่า อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีของประเทศไทย มีค่าเพิ่มขึ้น 75 % 86 % และ 82 % ของจำนวนสถานีทั้งหมดทั่วทุกภาค ตามลำดับ โดยค่าที่เพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงสุดมีค่าระหว่าง 0.12-0.91 °C/decade, อุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าระหว่าง 0.09-0.61 °C/decade และ อุณหภูมิต่ำสุดมีค่าระหว่าง 0.11-0.80 °C/decade

ผลการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงในแต่ละภาคพบว่า ภาคตะวันออกมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงที่สุดของประเทศโดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.39 และ 0.32 °C/decade ตามลำดับ ในขณะที่ภาคกลางระดับมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำสุดเพิ่มมากขึ้นที่สุด คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.32 °C/decade ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นสูงที่สุดของอุณหภูมิต่ำสุดในภาคกลางนั้นอาจมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการขยายตัวของชุมชนเมืองในพื้นที่ภาคกลาง ซึ่งเป็นที่ตั้งของเมืองและชุมชนขนาดใหญ่ ทำให้เกิดการกักตัวของโดมความร้อนเฉพาะที่ อันเนื่องจากการเสียสมดุลของการดูดกลืนและคายความร้อนจากพื้นดินและพื้นผิวของก่อสร้างต่าง ๆ เมื่อทำการเปรียบเทียบการแจกแจงข้อมูลของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีในสองช่วงเวลา คือเวลาก่อนและเวลาหลังปี ค.ศ. 1990 โดย PDF ของการแจกแจงดังกล่าวคำนวณจาก gamma distribution (รูปที่ 4.23) ได้แสดงให้เห็นถึงการขยับตัวสูงขึ้นของอุณหภูมิทั้งสามตัวแปรในประเทศไทยหลังจากปี ค.ศ. 1990 ซึ่ง two-tailed Kolmogorov-Smirnov test ได้ยืนยันถึงการแจกแจงของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลากว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 99% ($p < 0.01$)

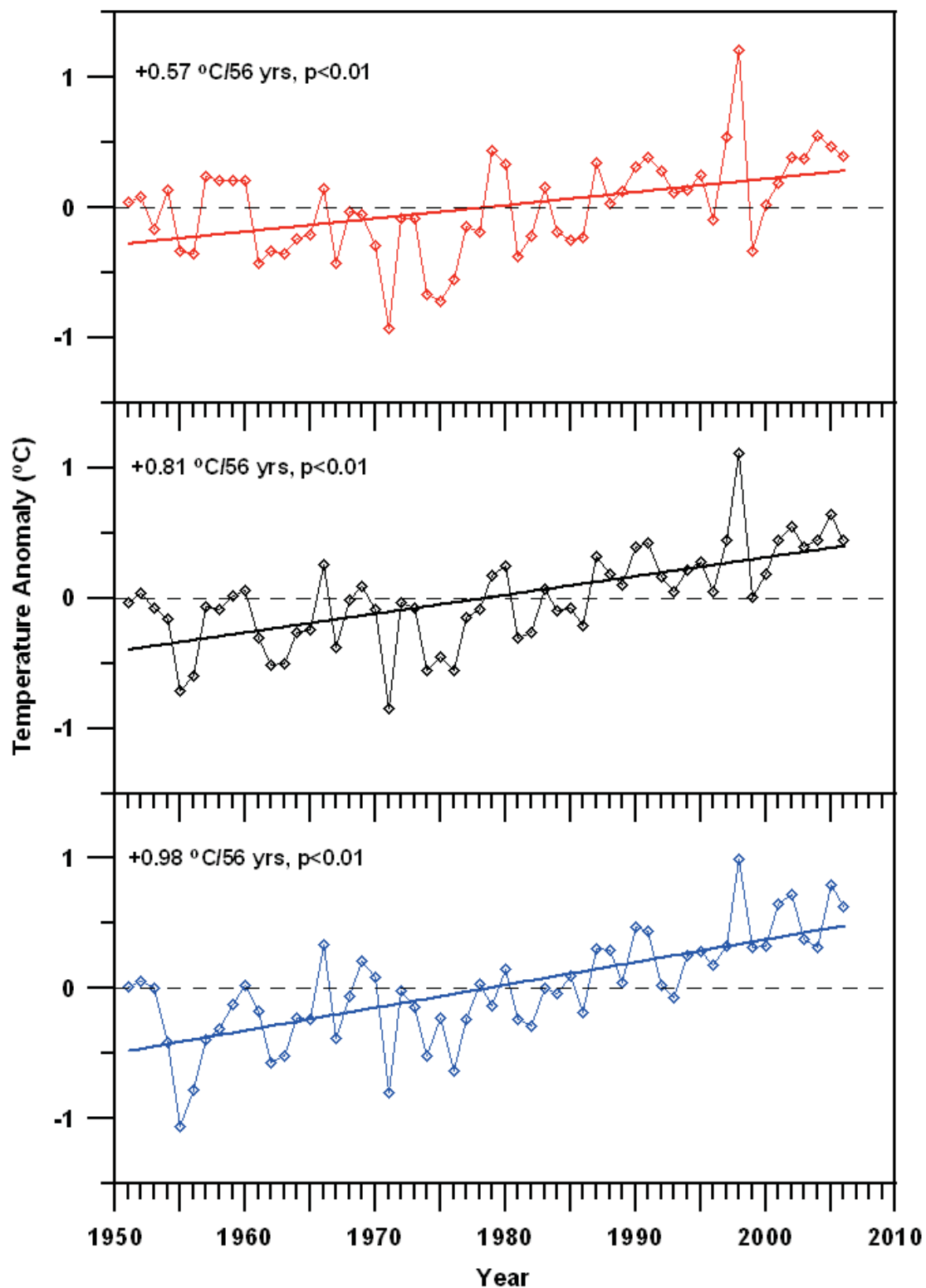
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทั้งสามตัวแปร ในภาพรวมของประเทศไทยโดยการคำนวณค่า anomaly ซึ่งเป็นค่า annual mean-climatological mean (รูปที่ 4.24) ที่คำนวณจากฐานข้อมูลทุกสถานี ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1951 ถึง ปี ค.ศ. 2006 และทำการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรง พบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในประเทศไทยมีลักษณะคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโลก โดยอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุด มีค่าเพิ่มขึ้น 0.57, 0.81 และ 0.98 °C ในช่วงระยะเวลา 56 ปีที่ผ่านมา ตามลำดับ นอกจากนี้การวิเคราะห์ด้วย Non-parametric Kendall Tab Test ยังได้ยืนยันถึง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทั้งสามตัวแปรนั้น มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 99% ($p < 0.01$) IPCC (2207) ได้ระบุในรายงานการประเมินครั้งที่ 4 ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในรอบ 50 ปีที่ผ่านมา มีการอัตราการเพิ่มขึ้น 0.128 °C/decade¹ เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้น 0.144 °C/decade แล้ว ผลปรากฏอย่างชัดเจนว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทย มีอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก 0.016 °C/decade



รูปที่ 4.22 Linear trends ของอุณหภูมิสูงสุด (a) อุณหภูมิต่ำสุด (b) และอุณหภูมิต่ำสุดรายปี (c) ในประเทศไทย



รูปที่ 4.23 PDF ของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิต่ำสุดรายปีในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของอุณหภูมิทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov test Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.24 ค่า anomaly (annual mean – climatological mean) ของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดรายปีทุกสถานีในประเทศไทย และ linear trends โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงของคืน/วันที่หนาวและอบอุ่น

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ควบคู่กับการขยับตัวสูงขึ้นของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิคือ การเปลี่ยนแปลงของคืน/วันที่หนาวและอบอุ่น ซึ่งเป็นสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิที่อยู่บริเวณปลายทั้งสองด้านของการแจกแจงของอุณหภูมิ สามารถอธิบายและนิยามด้วย Percentile-based indices ดังนี้

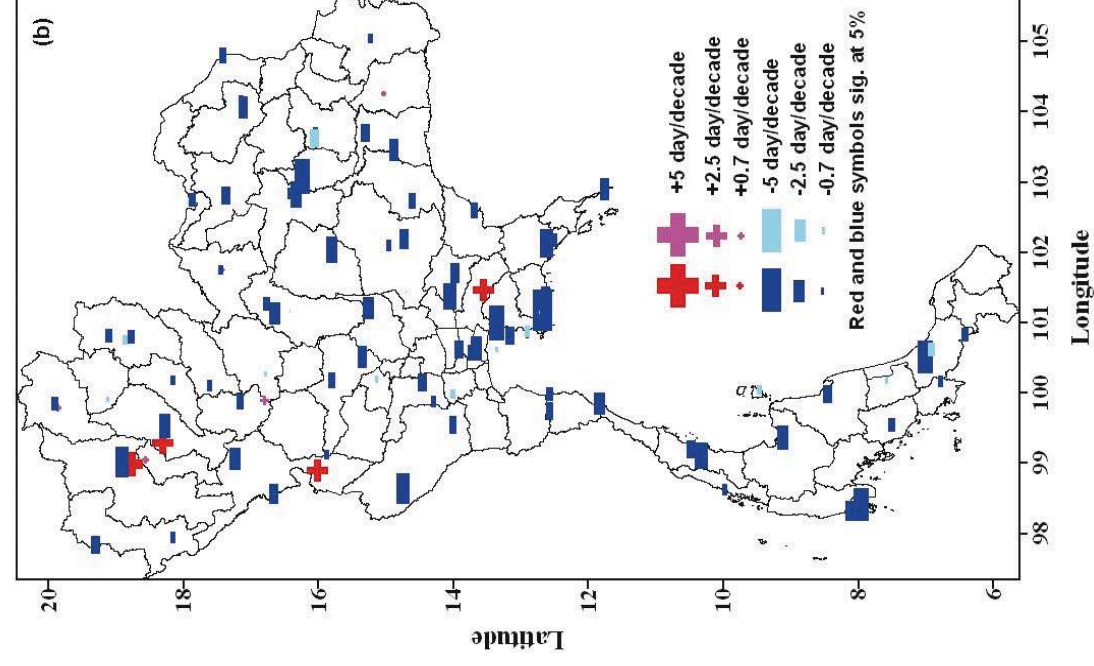
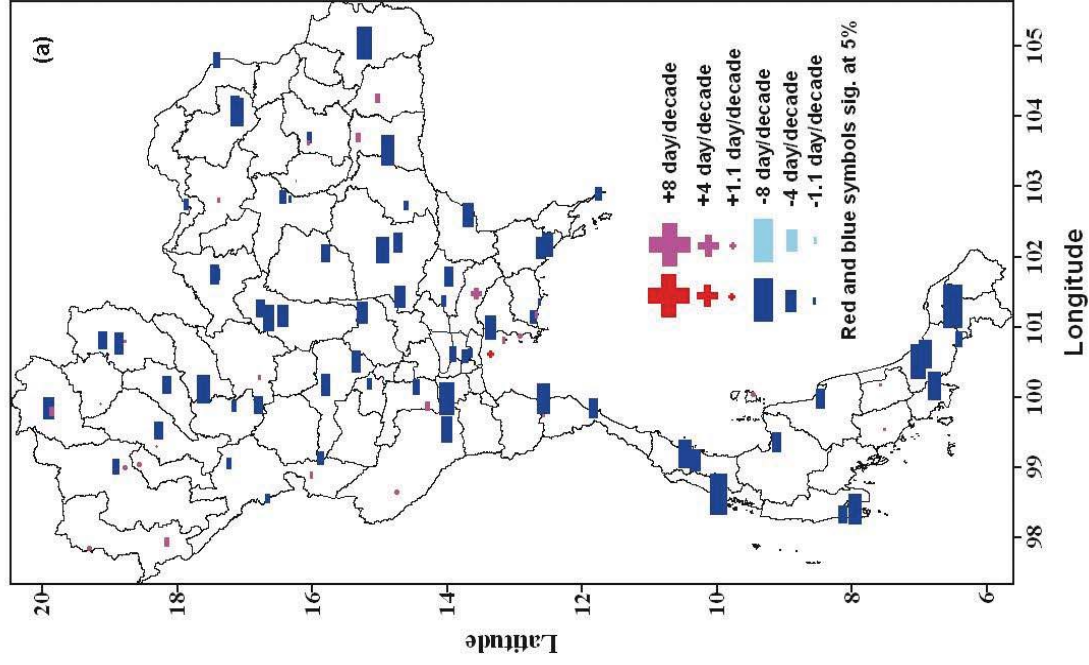
- ดัชนีของอุณหภูมิต่ำสุดประจำวันที่มีค่าต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 (คืนที่หนาว)
- ดัชนีของอุณหภูมิต่ำสุดประจำวันที่มีค่าสูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 (คืนที่อบอุ่น)
- ดัชนีของอุณหภูมิสูงสุดประจำวันที่มีค่าต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 (วันที่หนาว)
- ดัชนีของอุณหภูมิสูงสุดประจำวันที่มีค่าสูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 (วันที่อบอุ่น)

ผลการวิเคราะห์ พบว่าสถานะที่ตรวจวัดทั้งหมดมากกว่า 80 % แสดงแนวโน้มการลดลงของคืน/วันที่หนาว โดยพบการลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของคืนที่หนาวและวันที่หนาว คิดเป็น 70.7 % และ 72.8 % ตามลำดับ โดยอัตราการลดลงอยู่ในช่วง 1.2-8.0 days/decade และ 0.9-4.7 days/decade ตามลำดับ (รูปที่ 4.25) ในขณะที่สถานะทั้งหมดมากกว่า 95% แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของคืน/วันที่อบอุ่นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยการเพิ่มขึ้นของคืนที่อบอุ่นและวันที่อบอุ่นคิดเป็น 78.3 % และ 77.2 % ตามลำดับ โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 1.3-8.8 days/decade และ 1.4-10.9 days/decade ตามลำดับ (รูปที่ 4.26)

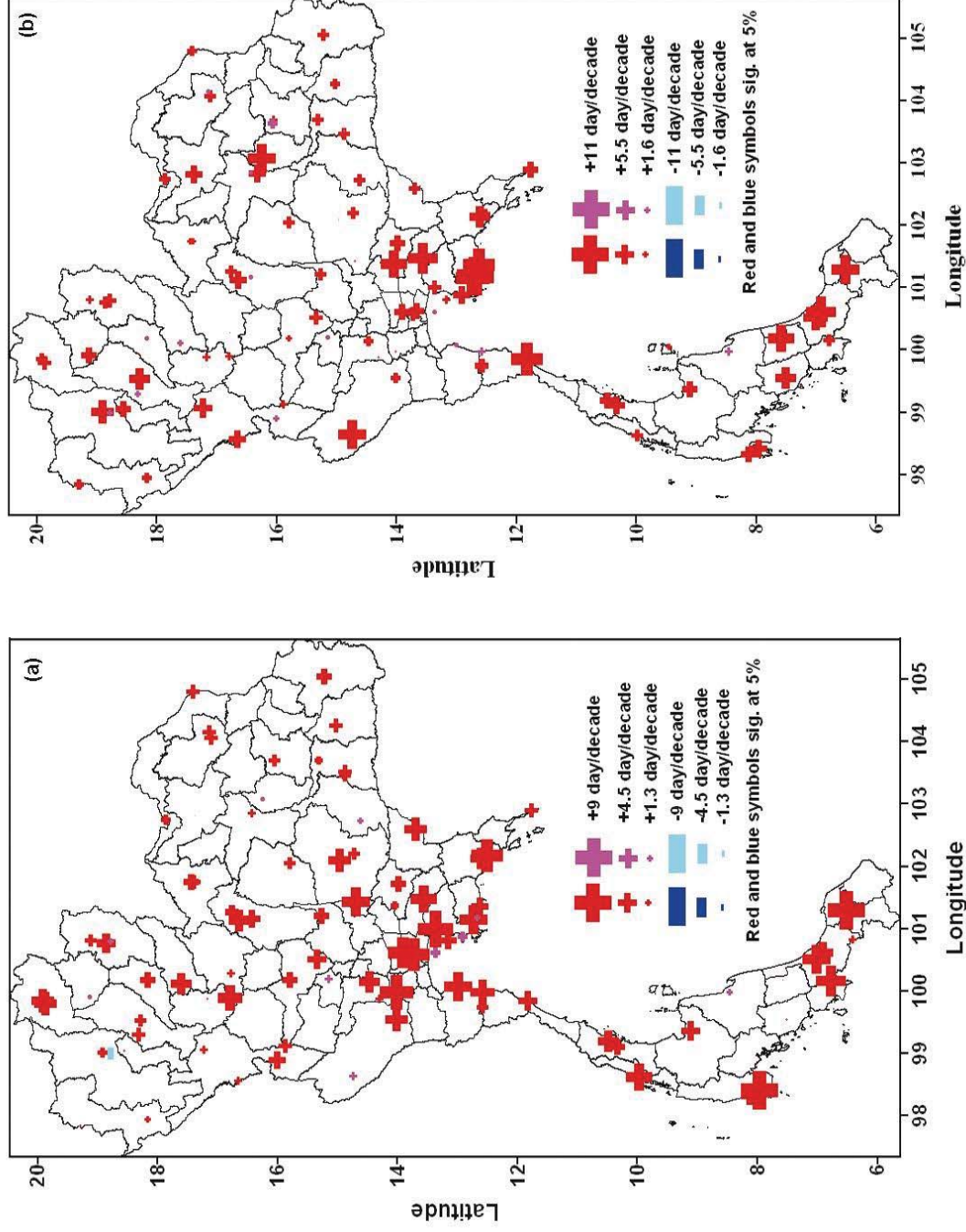
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในแต่ละภาคแล้ว ปรากฏว่าภาคใต้มีการลดลงของคืน/วันที่หนาวลงมากที่สุด โดยมีอัตราการลดลง 2.7 days/decade ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการเพิ่มขึ้นของคืน/วันที่อบอุ่นมากที่สุด โดยมีอัตราการลดลง 5.3 days/decade นอกจากนี้ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของทั้งสี่ตัวแปรในประเทศไทย พบว่าคืนที่หนาวและวันที่หนาวในประเทศไทย ลดลง 12.5 และ 7.9 วันในรอบ 42 ปี และคืน/วันที่อบอุ่น เพิ่มขึ้น 12.6 และ 11.8 วันในรอบ 42 ปี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 99% ($p < 0.01$) เมื่อทดสอบด้วย Non-parametric Kendall Tab Test (รูปที่ 4.27) PDF ของจำนวนคืน/วันที่หนาวและอบอุ่นในช่วงเวลาก่อนและหลัง ปี ค.ศ. 1990 (รูปที่ 4.28) แสดงให้เห็นถึงการแจกแจงในรูปของ gamma distribution ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (two-tailed Kolmogorov-Smirnov test; $p < 0.01$) โดยการแจกแจงของจำนวนคืน/วันที่หนาวและจำนวนคืน/วันที่อบอุ่นในช่วงหลัง ปี ค.ศ. 1990 มีการขยับลงและสูงขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลในช่วงเวลาก่อน ปี ค.ศ. 1990 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในประเทศไทยนี้ มีความสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงที่พบในภูมิภาคอื่น ๆ ของโลก ดังปรากฏในรายงานการประเมินฉบับที่ 4 ของ IPCC และการศึกษาของ Alexander, et al. (2006)²¹

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงของช่วงระยะเวลาที่อบอุ่นและหนาว

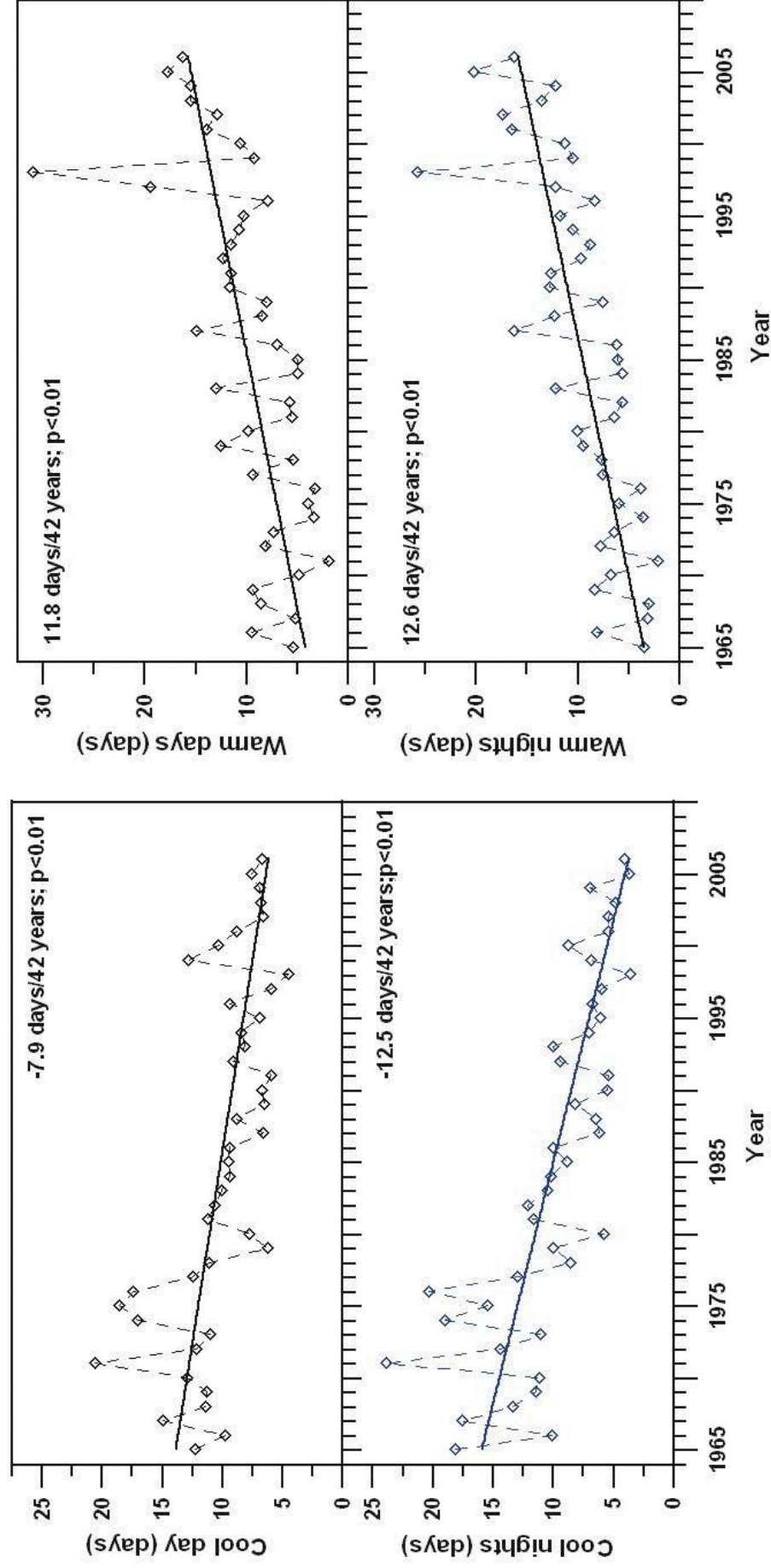
ช่วงระยะเวลาที่อบอุ่นและหนาว (Warm/Cold spell duration) นับเป็นดัชนีหนึ่งที่เชื่อมโยงและอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิเฉลี่ย และเหตุการณ์สถานะความรุนแรงที่เกิดขึ้นทั้งสองปลาย



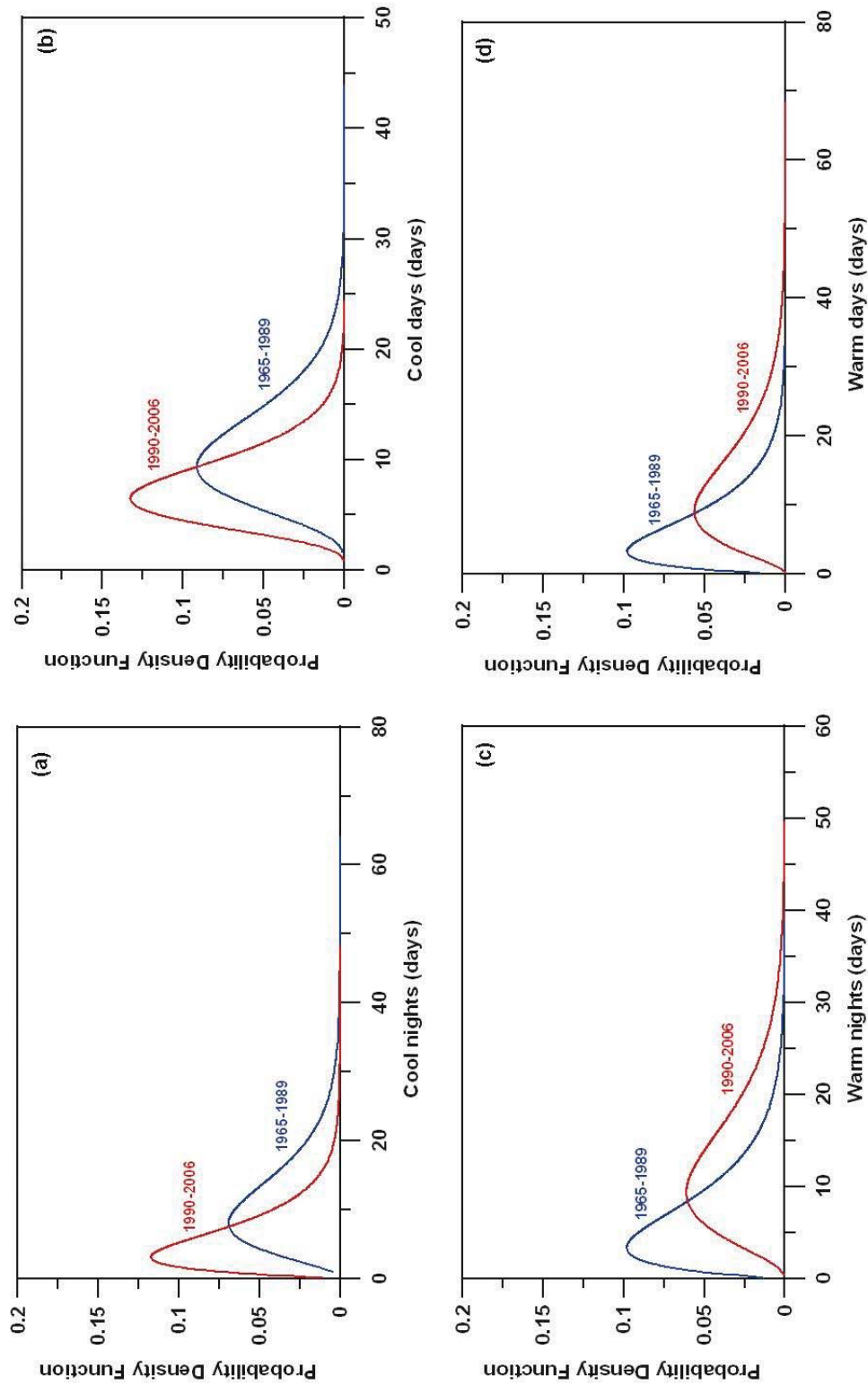
รูปที่ 4.25 Linear trends ของ Cool nights (a) และ Cool days (b) ในประเทศไทย



รูปที่ 4.26 Linear trends ของ Warm nights (a) และ Warm days (b) ในประเทศไทย



รูปที่ 4.27 จำนวน Cool nights/days และ Warm nights/days ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย และ linear trends โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมิน
นัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.28 PDF ของ Cool nights (a), Cool days (b), Warm nights (c) และ Warm days (d) ในระหว่างปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่างปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ

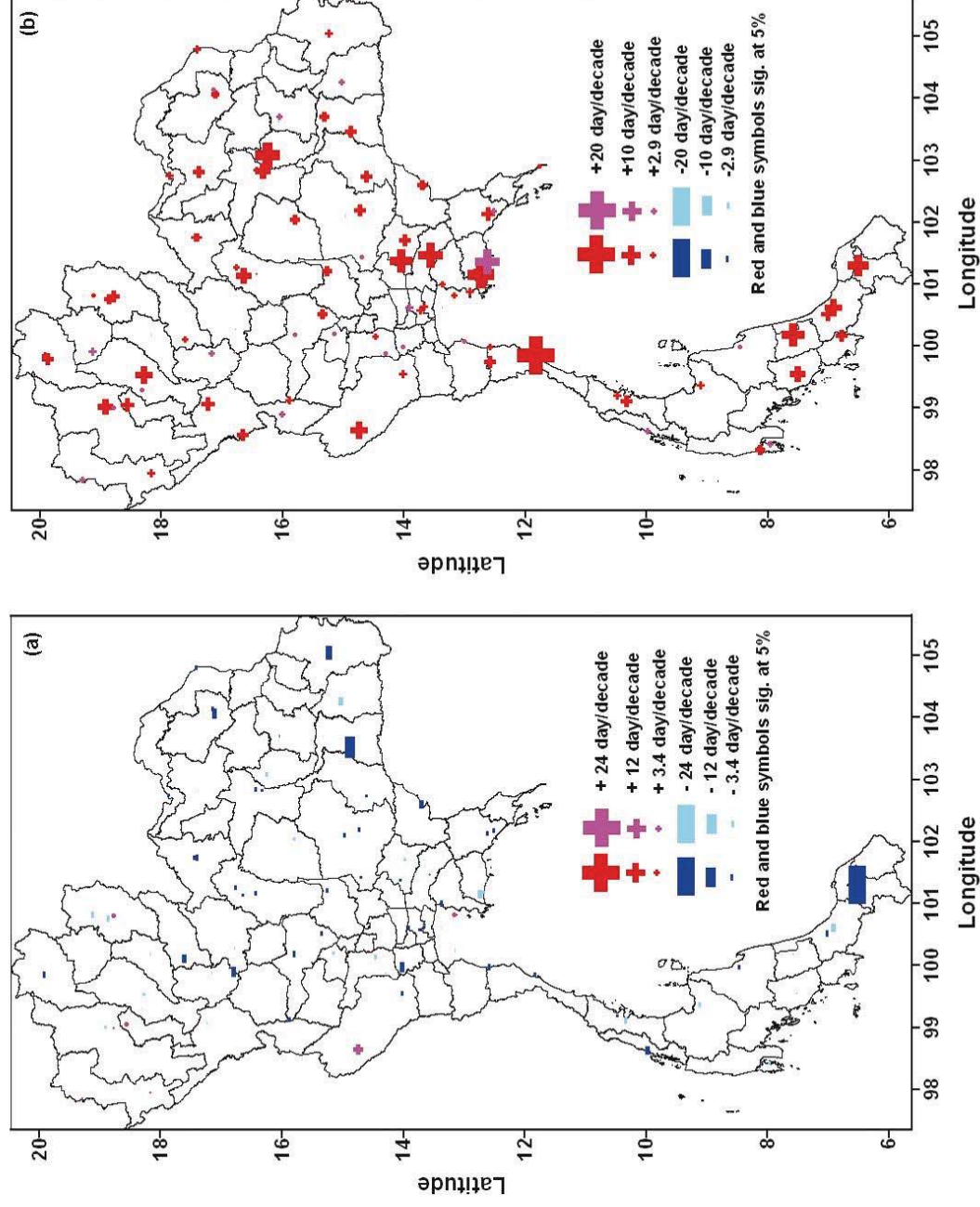
ด้านของอุณหภูมิ (high/low tail behaviors) โดยดัชนีช่วงระยะเวลาที่อบอุ่น (WSDI) หมายถึง จำนวนวันในรอบปีที่อุณหภูมิสูงสุดประจำวันสูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 อย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 6 วัน ส่วนดัชนีช่วงระยะเวลาที่หนาว (CSDI) หมายถึง จำนวนในรอบปีที่อุณหภูมิต่ำสุดประจำวันต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 อย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 6 วัน ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงที่คำนวณในแต่ละสถานีในประเทศไทย แสดงในรูปที่ 4.29

ผลการศึกษาวเคราะห์ บ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงของช่วงระยะเวลาที่หนาวในประเทศไทยว่ามีจำนวนวันลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและการลดลงของคืน/วันที่หนาว การลดลงของช่วงระยะเวลาที่หนาวเกิดขึ้นทั่วทุกภาค โดยการลดลงต่ำสุดเกิดขึ้นที่บริเวณใต้สุดของประเทศไทย คือ สถานีตรวจวัดภูมิอากาศผิพื้นอำเภอเบตง นอกจากนี้ การลดลงของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในระดับปานกลาง สามารถสังเกตได้ในหลายสถานีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 4.29) เมื่อพิจารณาสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงแล้ว พบว่า 89% ของสถานีทั้งหมด แสดงการลดลงของ CSDI ในอัตรา 0.1-23.3 days/decade โดย 49% ของสถานีทั้งหมด แสดงการลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในทางตรงกันข้าม ช่วงระยะเวลาที่อบอุ่นในประเทศไทย พบว่ามีระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและจำนวนคืน/วันที่อบอุ่น ทั้งนี้ 89% ของสถานีทั้งหมด แสดงการเพิ่มขึ้นของ WSDI ในอัตรา 1.4-19.5 days/decade ใน 67% ของสถานีทั้งหมดซึ่งกระจายอยู่ทั่วทุกภาค ไม่ได้จำกัดอยู่ภาคใดภาคหนึ่งหรือพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง การเพิ่มขึ้นดังกล่าวเป็นการเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการสังเกตพบว่ามี การเพิ่มขึ้นของ WSDI ในอัตราที่ค่อนข้างสูงนั้นเกิดขึ้นบริเวณภาคใต้ ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 4.29)

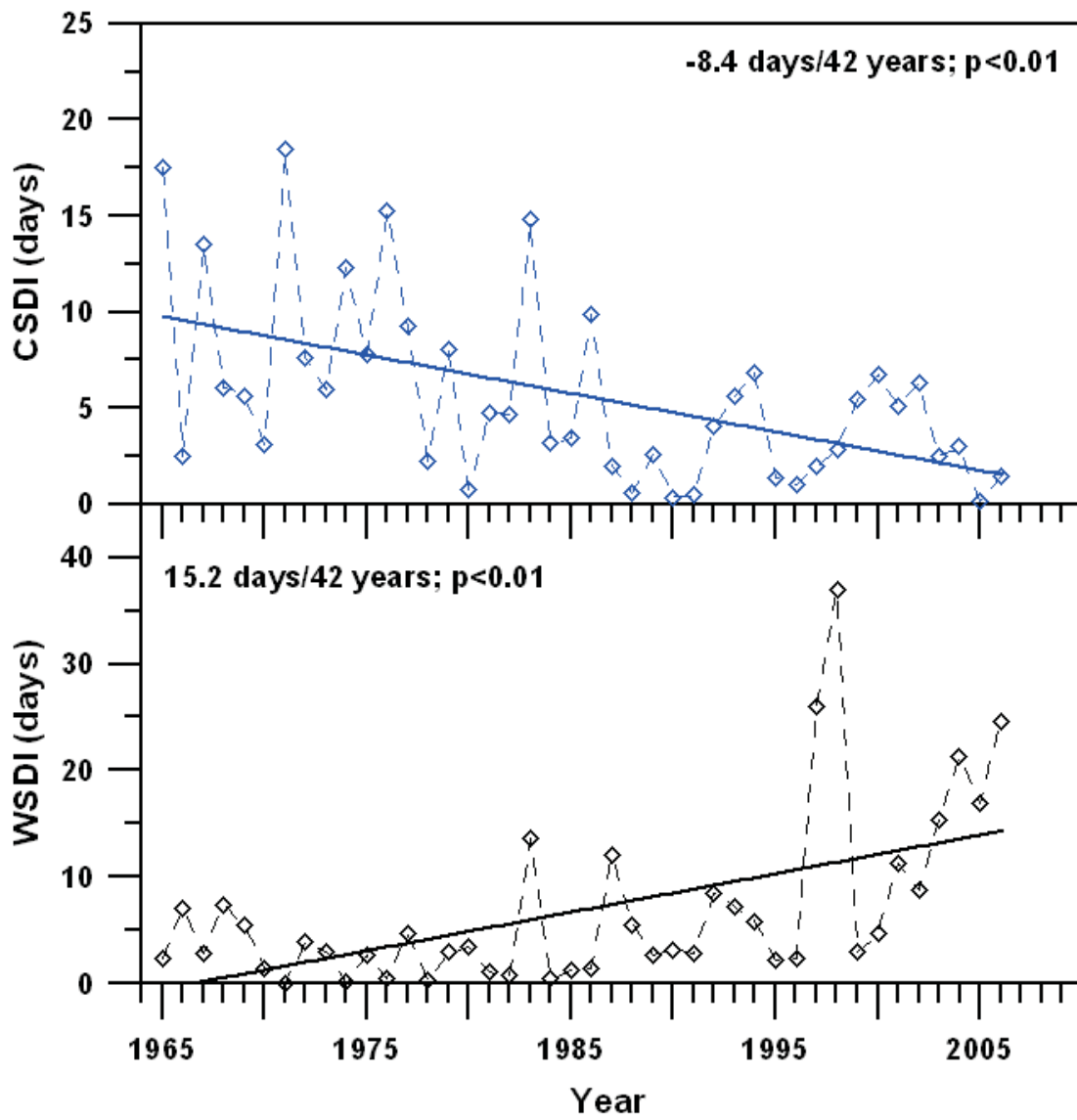
การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลาในภาพรวมของทั้งประเทศ ที่ทำการคำนวณจากข้อมูลทุกสถานีของทั้งสองดัชนีในแต่ละปี (รูปที่ 4.30) ยังแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของ CSDI และ WSDI เช่นเดียวกันกับอุณหภูมิเฉลี่ยและคืน/วันที่หนาวและอบอุ่น โดย CSDI มีค่าลดลง 8.4 days ในรอบ 42 ปี ($p < 0.01$) และ WSDI มีค่าเพิ่มขึ้นเกือบสองเท่า คือ 15.2 days ในรอบ 42 ปี ($p < 0.01$) เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ CSDI และ WSDI ในช่วงก่อนและหลัง ปี ค.ศ. 1990 ด้วย PDF ของ gamma distribution พบว่า PDF ของทั้งสองดัชนี มีลักษณะแบบเบ้บวก (Positively skewed distribution) ดังแสดงในรูปที่ 4.31 และ 4.32 โดยรูปแบบ PDF ของทั้ง CSDI และ WSDI ในช่วงก่อนและหลังปี ค.ศ. 1990 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) เมื่อทดสอบด้วย two-tailed Kolmogorov-Smirnov test ซึ่งผลการทดสอบได้ยืนยันถึงช่วงระยะเวลาที่หนาวและช่วงระยะเวลาที่อบอุ่นในประเทศไทยมีการลดลงและเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 16 ปีที่ผ่านมา

4.2.4 การเปลี่ยนแปลงของวัน/คืนที่อุณหภูมิสูงกว่า 35°C / 25°C

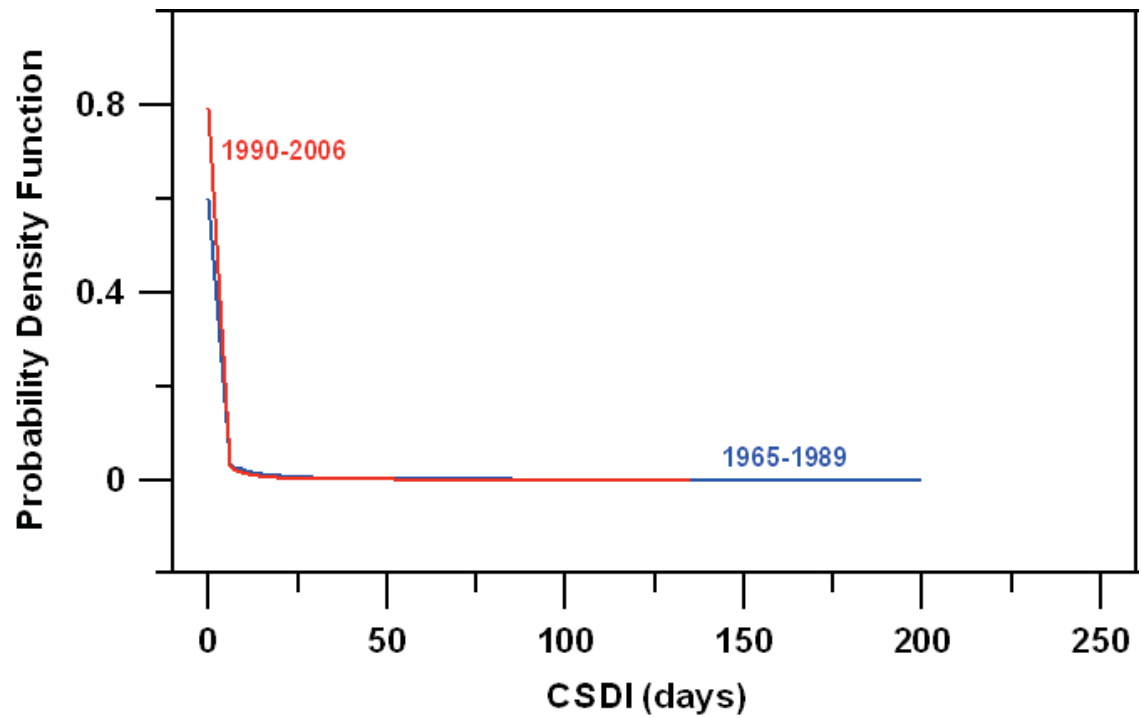
จำนวนวัน/คืนที่อุณหภูมิสูงกว่าค่าที่กำหนด (Fixed threshold) เป็นดัชนีหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์สภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิควบคู่กับดัชนีอื่น ๆ โดย Fixed threshold เป็นดัชนีที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความถี่ของอุณหภูมิที่สูงกว่า threshold ที่กำหนด อันเป็นดัชนีเบื้องต้นที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยงต่อสภาวะ



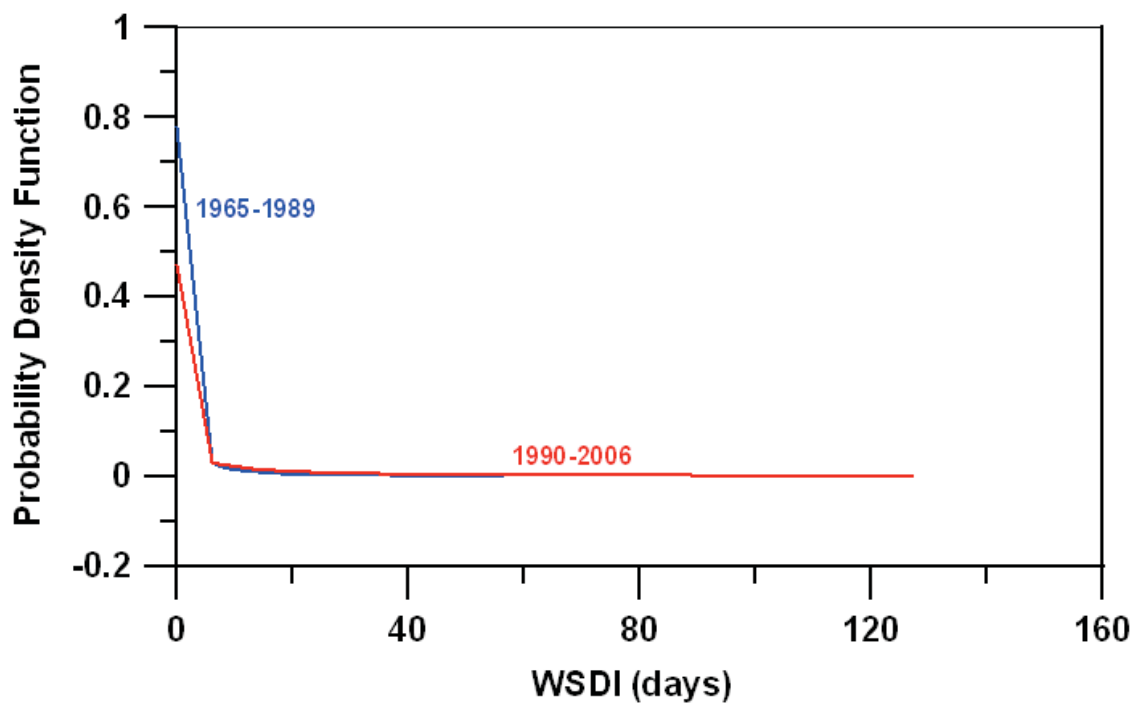
รูปที่ 4.29 Linear trends ของ CSDI (a) และ WSDI (b) ในประเทศไทย



รูปที่ 4.30 CSDI และ WSDI ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย และ linear trends โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.31 PDF ของ CSDI ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006



รูปที่ 4.32 PDF ของ WSDI ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006

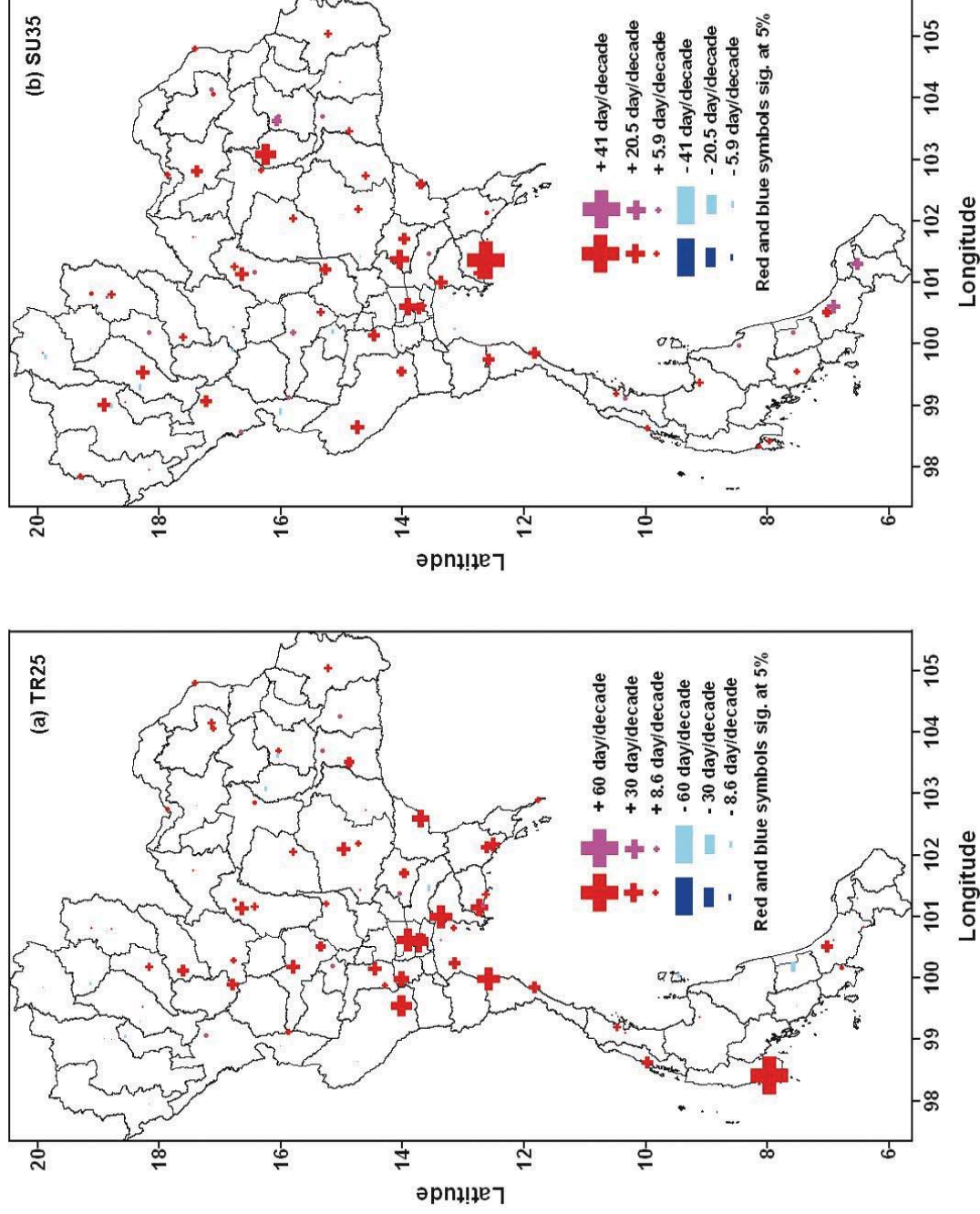
ความเครียดของสิ่งมีชีวิตในการสัมผัส โดยปกติระดับ threshold ของอุณหภูมิมักถูกกำหนดในช่วงเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75-85 หรือค่าที่สูงกว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 3-5 °C เนื่องจากเป็นระดับที่สามารถส่งผลกระทบต่อระบบเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิตและสุขภาพอนามัยของมนุษย์ได้ ถ้ามีการสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติดังกล่าวในระยะเวลาที่ยาวนาน³² ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้กำหนดให้ threshold ของอุณหภูมิสูงสุดประจำวันอยู่ที่ 35 °C และอุณหภูมิต่ำสุดประจำวันอยู่ที่ 25 °C ซึ่งสูงกว่า climatological mean 3 °C หรือตรงกับค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 80

ผลการวิเคราะห์พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงของแต่ละสถานะของการเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของประเทศไทย รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของจำนวนวัน/คืนที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 และ 25 °C ในช่วงระยะเวลาก่อนและหลัง ปี ค.ศ. 1990 ในรูปแบบ PDF ของ gamma distribution สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.33 ถึง 4.36 โดยพบว่า จำนวนวัน/คืนที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 และ 25 °C เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในหลายสถานะในบริเวณพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือบางส่วน รวมทั้งเกาะภูเก็ต จากการสังเกตพบว่า จำนวนคืนที่อุณหภูมิสูงกว่า 25 °C เพิ่มขึ้นสูงสุดที่เกาะภูเก็ตในอัตรา 59.2 days/decade ในขณะที่ จำนวนวันที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 °C เพิ่มขึ้นสูงสุดที่พัทธยาในอัตรา 40.8 days/decade เมื่อพิจารณาในภาพรวมของประเทศแล้ว จำนวนวันที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 35 °C ในประเทศไทย มีการขยับตัวสูงขึ้น 21.3 days ในรอบ 42 ปี ส่วนจำนวนคืนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 25 °C มีจำนวนวันเพิ่มขึ้นประมาณสองเท่าของจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 °C หรือ 42.9 days ในรอบ 42 ปี โดย PDF ของทั้งสองดัชนี ได้ยืนยันถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนวัน/คืนที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 และ 25 °C ในช่วงเวลาหลัง ปี ค.ศ. 1990 อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นดังกล่าวเกิดขึ้นในอัตราที่แตกต่างกันระหว่างจำนวนวันและจำนวนคืนที่สูงกว่าค่า threshold ที่กำหนด แสดงให้เห็นถึงโอกาสเสี่ยงของประชาชนในการสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงขึ้น และยาวนานขึ้นทั้งกลางวันและกลางคืนซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เด็กและคนชราซึ่งเป็นกลุ่มประชากรที่มีความอ่อนแอต่อการเกิดความเจ็บป่วยได้ง่ายจากการเกิดสภาวะความเครียด จากอุณหภูมิ/ความร้อนที่สูงขึ้นหากระยะเวลาที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ควบคู่กับการเพิ่มขึ้นของความชื้นในอากาศ ความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน จะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ³²

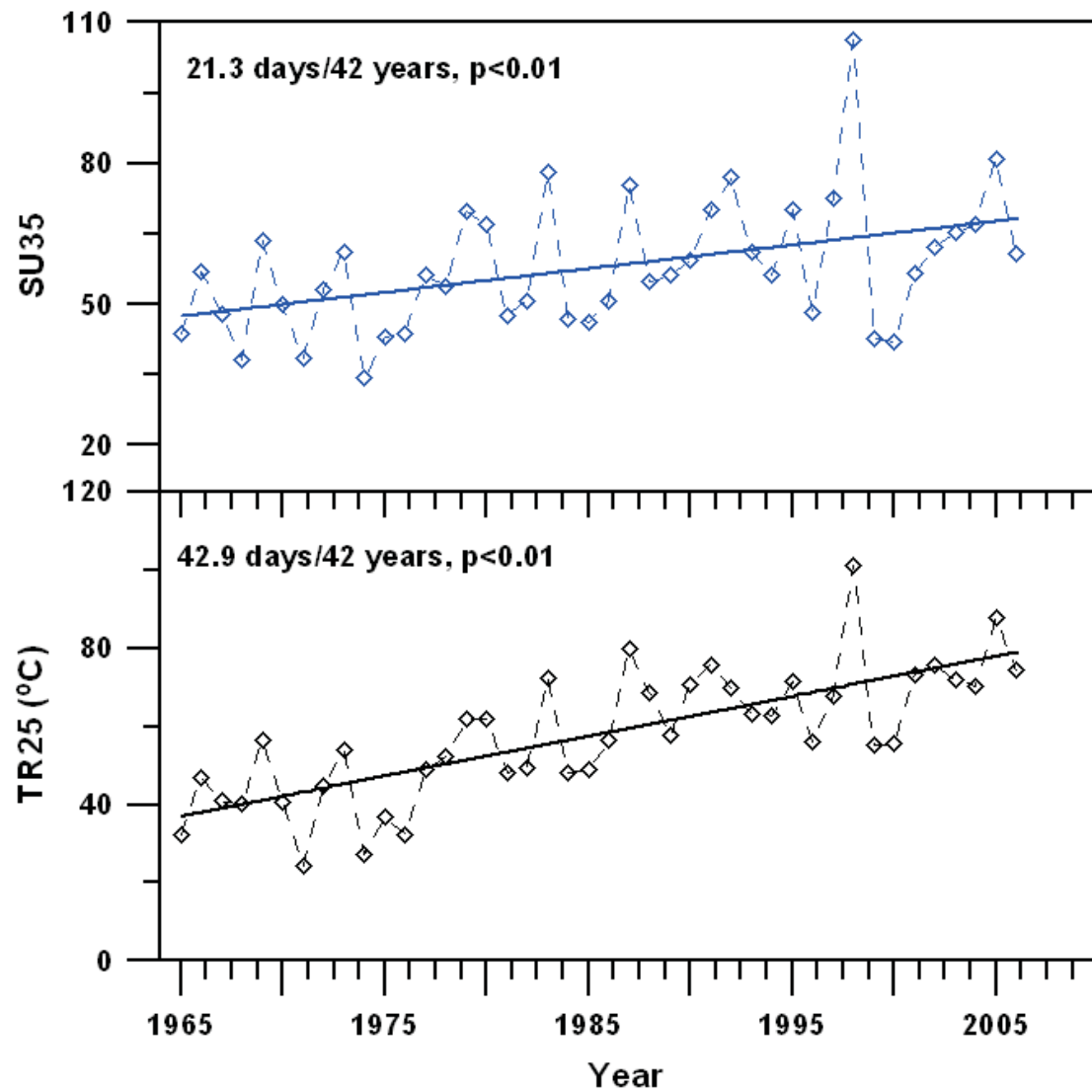
4.3 การเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนและจำนวนฝนตก

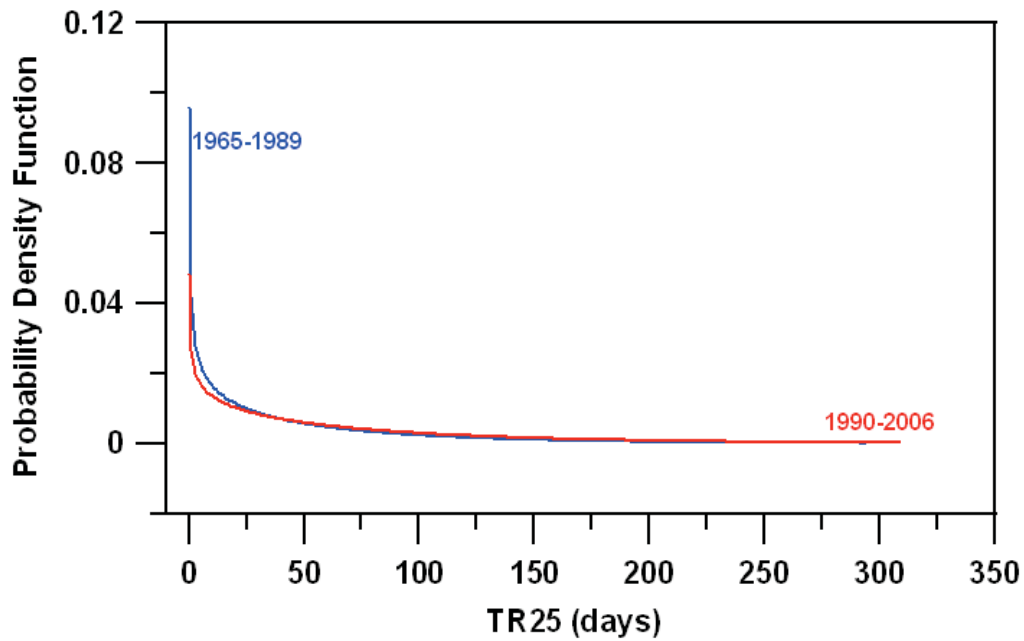
ในการประเมินสภาวะความรุนแรงของฝน ได้ทำการวิเคราะห์รูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ mean state ซึ่งดัชนีที่นิยมใช้แสดงสถานะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว คือ ปริมาณฝนรวมรายปี และจำนวนวันที่ฝนตกกรวมรายปี หรือจำนวนวันที่มีปริมาณฝนมากกว่าหรือเท่ากับ 1 mm โดยผลการวิเคราะห์ ประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรง (linear trend) ของแต่ละสถานะ การเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของประเทศไทยทั้งระยะสั้นและระยะยาว และ PDF ของข้อมูลก่อนและหลังปี ค.ศ. 1990 นอกจากนี้ อัตราการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในแต่ละภาค ยังได้แสดงในรูปของ Box plot เพื่อช่วยให้การเปรียบเทียบมีความชัดเจนและง่ายต่อการแปลผลมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของฝน มีความ



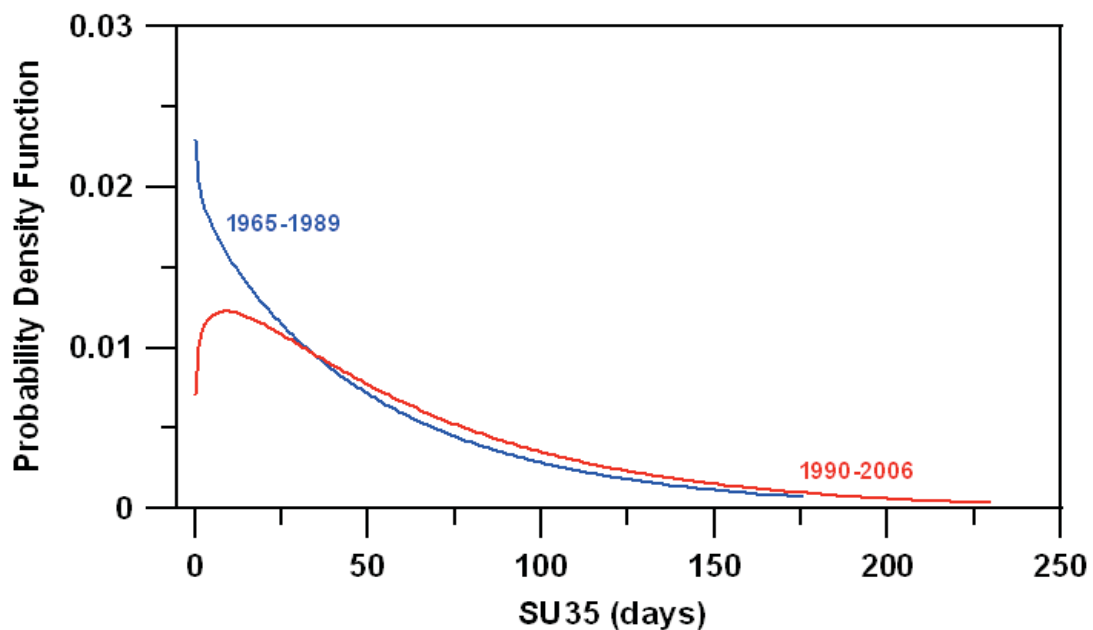
รูปที่ 4.33 Linear trends ของจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำสุดสูงกว่า 25 °C (a) และจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงสุดสูงกว่า 35 °C (b) ในประเทศไทย



รูปที่ 4.34 จำนวนวันที่อุณหภูมิสูงสุดประจำวันสูงกว่า 35 °C (SU35) และ จำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำสุดประจำวันสูงกว่า 25 °C ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย และ linear trends โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.35 PDF ของจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำสุดประจำวันสูงกว่า 25 °C ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov test Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ

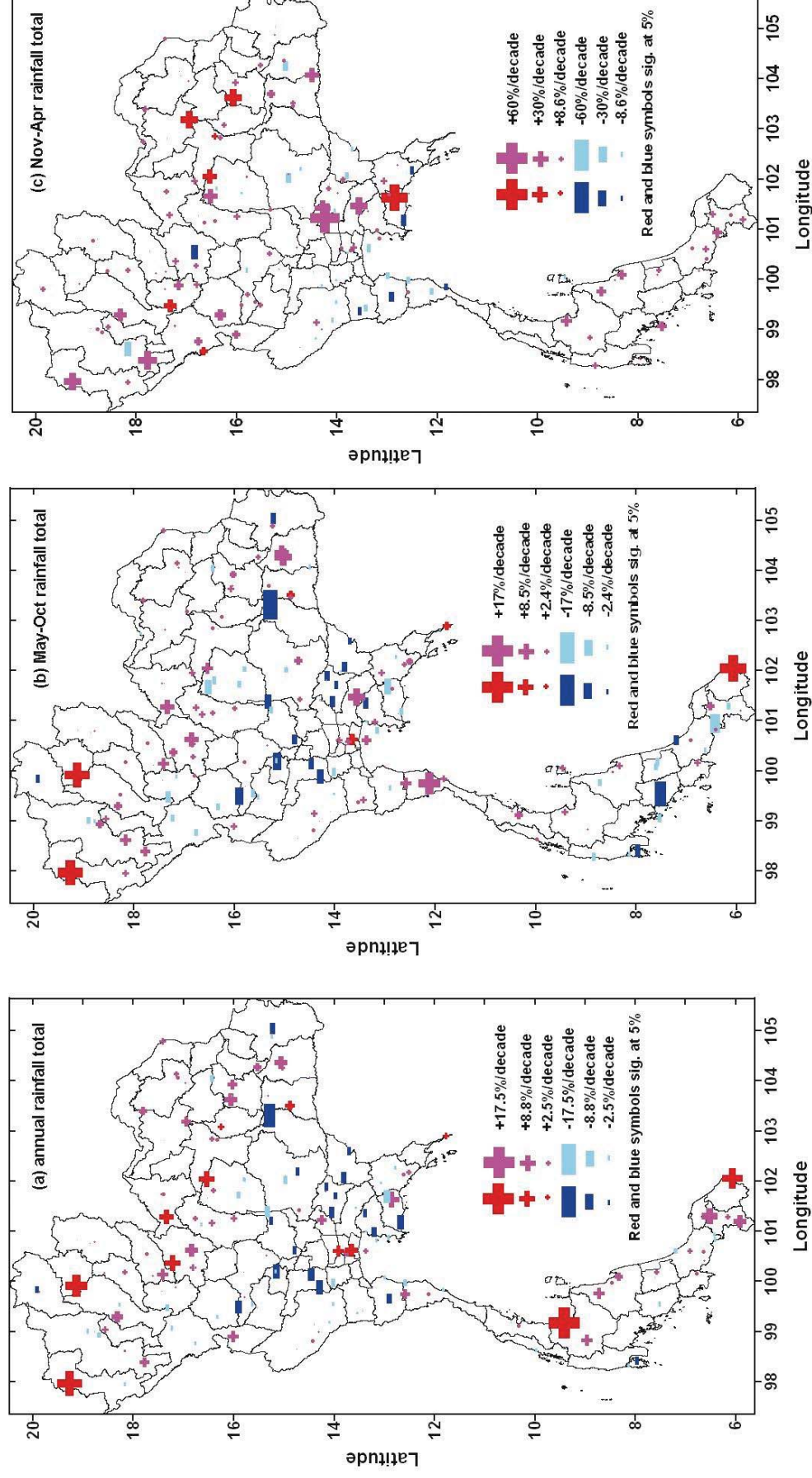


รูปที่ 4.36 PDF ของจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงสุดประจำวันสูงกว่า 25 °C ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของ ข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov test Test ใช้ในการประเมิน นัยสำคัญทางสถิติ

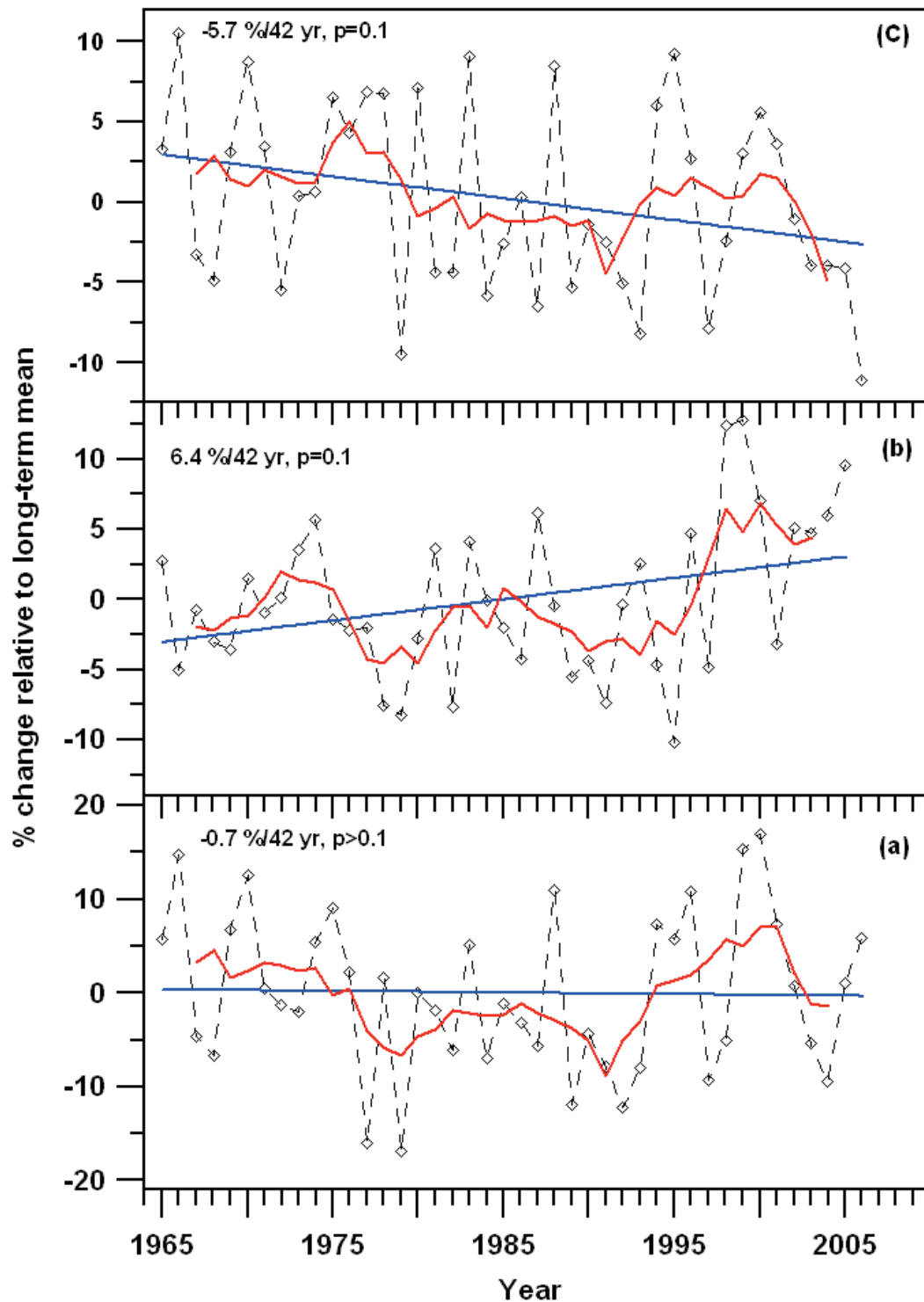
แปรปรวนสูงทั้งเชิงพื้นที่และเวลา อีกทั้งรูปแบบมีลักษณะที่แตกต่างกันค่อนข้างมากในแต่ละพื้นที่ อัตราการเปลี่ยนแปลงของฝนและดัชนีสถานะความรุนแรงอื่น ๆ จะรายงานในรูปแบบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเมื่อเปรียบเทียบกับ climatological mean ของแต่ละสถานี ซึ่งการแสดงในรูปแบบดังกล่าว จะสามารถเปรียบเทียบลักษณะและอัตราการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายและชัดเจน เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงได้ถูก normalize ให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน ด้วยค่าเฉลี่ยของปริมาณฝน จำนวน หรือเหตุการณ์ของดัชนีสถานะความรุนแรง ซึ่งมีความแตกต่างกันมากระหว่างสถานีหรือระหว่างภาค^{18,45}

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงของปริมาณฝนรวมรายปี แสดงในรูปที่ 4.37 พบว่าปริมาณฝนรวมรายปีในประเทศไทย มีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ทั้งในแง่อัตราและรูปแบบ โดยปริมาณฝนรวมรายปี มีแนวโน้มลดลงในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออก คิดเป็น 11.8 % ของสถานีทั้งหมด ในขณะที่ปริมาณฝนรวมรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นบางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย คิดเป็น 7.1 % ของสถานีทั้งหมด โดยมีอัตราการลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเพิ่มเติมถึงการเปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาล โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นสองช่วงเวลาของรอบปี กล่าวคือ ปริมาณฝนรวมในช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยอยู่ในช่วงฤดูฝน และปริมาณฝนรวมในช่วงเดือนพฤศจิกายน-เมษายน อันเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยอยู่ในช่วงฝนตกน้อยและฤดูร้อนแล้ว พบว่าโดยทั่วไปรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรวมในช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม มีลักษณะคล้ายคลึงกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรวมรายปี ยกเว้นบริเวณภาคใต้ตอนล่างที่มีการลดลงของปริมาณฝนเด่นชัดมาก (รูปที่ 4.37) การเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกันดังกล่าว เกิดจากปริมาณฝนรวมในช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม มีสัดส่วนถึง 80 % ของปริมาณฝนรวมรายปี ในทางตรงข้าม สถานีทั้งหมด 73 % มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนรวมในช่วงเดือนพฤศจิกายน-เมษายน ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดเกิดขึ้นที่สถานีที่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออก ผลการศึกษานี้พบว่ามีความสอดคล้องกับการศึกษาอื่นๆ ที่ได้ระบุการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนช่วงเดือนธันวาคม-มกราคมบริเวณ mid-latitude^{25,98}

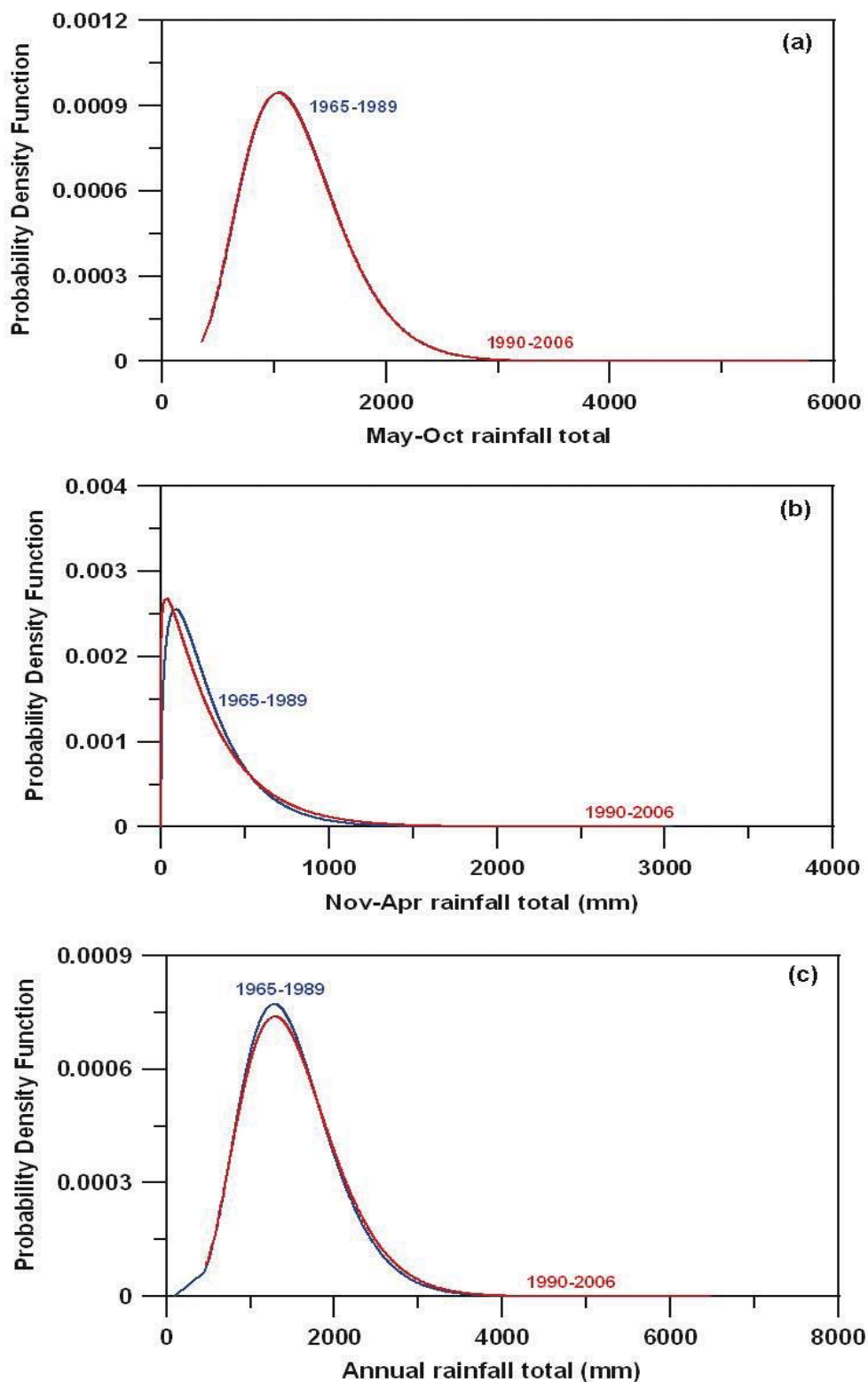
สำหรับการเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของทั้งสามดัชนีดังกล่าวของประเทศ โดยนำข้อมูลทุกสถานีมาเฉลี่ยในแต่ละปี ไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวที่มีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าปริมาณฝนรวมในช่วงเดือนพฤศจิกายน - เมษายน และ เดือนพฤษภาคม - ตุลาคม แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการลดลงตามลำดับ (รูปที่ 4.38) โดยทั่วไปความแปรปรวนระยะสั้น (ปีต่อปีหรือทศวรรษต่อทศวรรษ) เป็นลักษณะที่โดดเด่นในอนุกรมปริมาณฝนของประเทศไทย ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจมีความเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงของระบบหมุนเวียนของบรรยากาศและมหาสมุทร (atmospheric and oceanic circulation) ที่เกิดจากปรากฏการณ์ El Niño-Southern Oscillation¹⁴ ตัวอย่างเช่น ปริมาณฝนในประเทศไทยที่มีค่าต่ำกว่าปกติในปี ค.ศ. 1982 และ 1997 ซึ่งเป็นปีที่เกิดเหตุการณ์ El Niño รุนแรงที่สุดในรอบ 100 ปีที่ผ่านมา⁹⁹ (รูปที่ 4.39) นอกจากนี้ การเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาก่อนและหลัง ปี ค.ศ. 1990 ในแง่ PDF ของ gamma distribution พบเพียงแต่ปริมาณฝนรวมในช่วงเดือนพฤศจิกายน - เมษายน ที่มีรูปแบบ



รูปที่ 4.37 Linear trends ของปริมาณฝนรายปี (a) ปริมาณฝนในระหว่างเดือน พ.ค.-ต.ค. (b) และปริมาณฝนในระหว่างเดือน พ.ย. - เม.ย. (c) ในประเทศไทย



รูปที่ 4.38 ปริมาณฝนรวมรายปี (a) ปริมาณฝนรวมในช่วงเดือน พ.ย.- เม.ย. (b) และ ปริมาณฝนรวมในช่วงเดือน พ.ค.-ต.ค. (c) ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย เส้นสีน้ำเงินและสีแดง คือ linear trends และ 5-yr running mean โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.39 PDF ของปริมาณฝนรวมในช่วงเดือน พ.ค.-ต.ค. (a) ปริมาณฝนรวมในช่วงเดือน พ.ย.-เม.ย. (b) และปริมาณฝนรวมรายปี (c) ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov test Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ

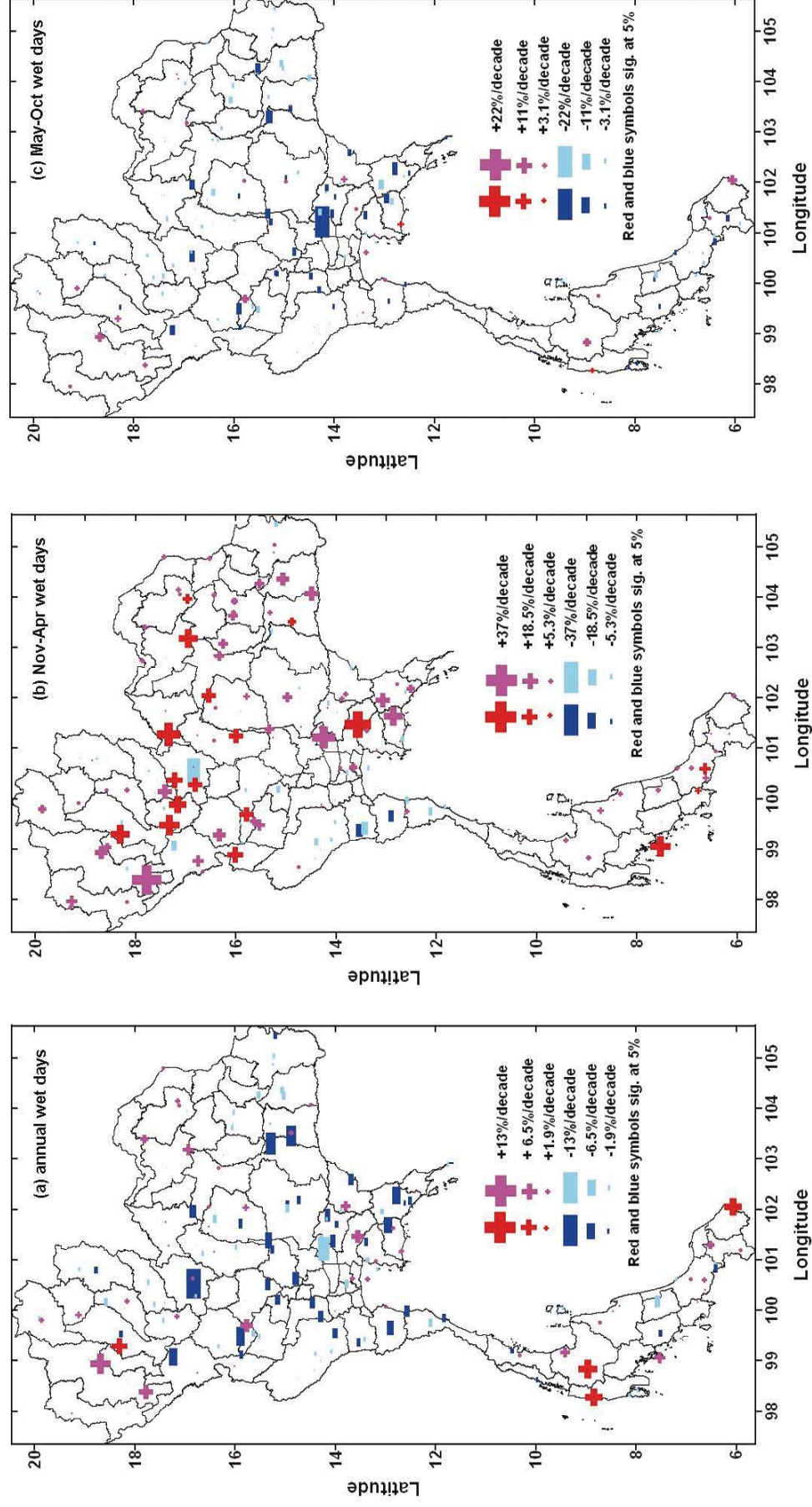
PDF แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ในช่วงเวลาก่อนและหลังปี ค.ศ. 1990 เมื่อทดสอบด้วย two-tailed Kolmogorov-Smirnov test โดยพบว่า PDF ช่วงหลังปี ค.ศ. 1990 มีการขยับตัวสูงขึ้น

รูปที่ 4.40 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงของจำนวนวันฝนตก โดยพบว่าในหลายพื้นที่ของประเทศไทยมีจำนวนวันฝนตกรวมรายปีลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือบางส่วน โดย 67% ของสถานีทั้งหมด มีอัตราการลดลงของจำนวนวันฝนตกรวมรายปีอยู่ในช่วง 0.46 – 12.6 day/decade โดย 23% ของสถานีทั้งหมดแสดงการลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงของจำนวนวันฝนตกในช่วงฤดูฝนหรือช่วงเดือน พฤษภาคม - ตุลาคม มีรูปแบบเหมือนกับจำนวนวันฝนตกรวมรายปี ซึ่งจะปรากฏเด่นชัดในพื้นที่บริเวณกว้างเกือบทุกภาคของประเทศ ซึ่งอัตราการลดลงดังกล่าวมีสัดส่วนมากถึง 75% ของสถานีตรวจวัดทั้งหมด โดยการลดลงมีอัตราเฉลี่ย 2.7 day/decade ผลการวิเคราะห์ยังพบว่า ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีการลดลงของจำนวนวันฝนตกในช่วงเดือนพฤษภาคม - ตุลาคม มากที่สุด กล่าวคือ การลดลงมีอัตราเฉลี่ย 2.9 และ 4.3 day/decade และมีสัดส่วนสูงถึง 83 และ 75% ของสถานีทั้งหมดของในแต่ละภาค ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม จำนวนวันฝนตกในช่วงฝนตกน้อยและฤดูร้อนหรือช่วงเดือนพฤศจิกายน - เมษายน กลับเพิ่มขึ้นในหลายสถานี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ภาคตะวันออก ภาคเหนือตอนล่าง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งการเพิ่มขึ้นมีอัตราเฉลี่ย 8.2 day/decade และมีสัดส่วนเป็น 63.5% ของสถานีทั้งหมด ทั้งนี้สถานีที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสถานีที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง

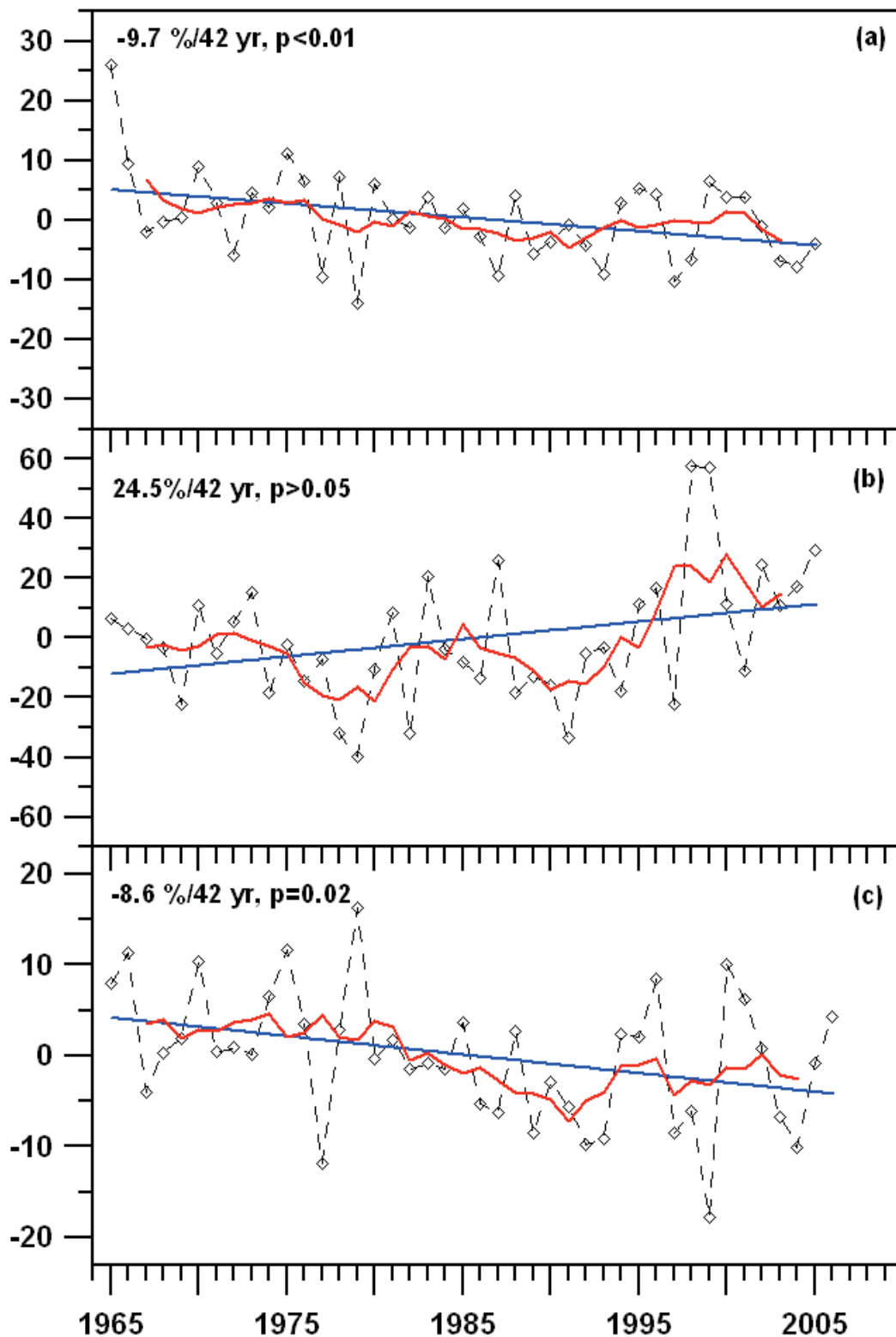
เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงในภาพรวมในประเทศแล้วพบว่า จำนวนวันฝนตกรวมรายปีและจำนวนวันฝนตกรวมในช่วงเดือนพฤษภาคม - ตุลาคม มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งผลการวิเคราะห์นี้มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Limsakul, et al. (2007) ที่รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของ EOF โหมดที่ 1 ของจำนวนวันฝนตกในประเทศไทย มีแนวโน้มลดลงอย่างผิดปกติในช่วงสามสิบปีที่ผ่านมา¹⁴ ส่วนจำนวนวันฝนตกรวมในช่วงเดือนพฤศจิกายน - เมษายนนั้น ไม่พบการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.41) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนวันฝนตกระหว่างสองช่วงเวลา คือ ก่อนและหลัง ปี ค.ศ. 1990 ด้วย PDF ของ gamma distribution จำนวนวันฝนตกรวมในช่วงเดือน พฤษภาคม - ตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน - เมษายน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ระหว่างข้อมูลก่อนและหลัง ปี ค.ศ. 1990 ทั้งในแง่ความโด่งและความเบ้ของ PDF เมื่อทำการทดสอบด้วย two-tailed Kolmogorov-Smirnov test ดังแสดงในรูปที่ 4.42

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงของความแรงฝน

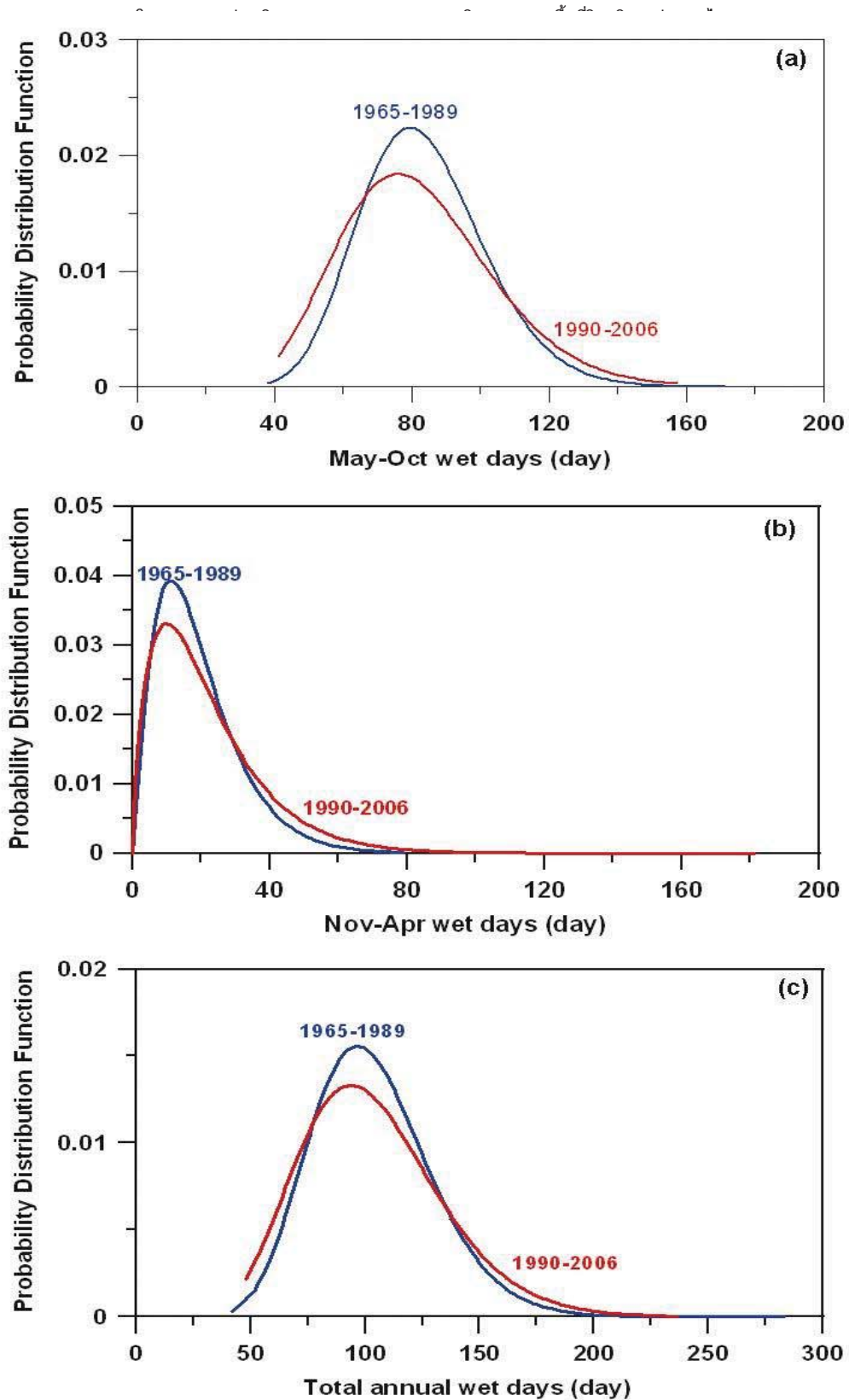
ความแรงฝน เป็นดัชนีสถานะความรุนแรงที่คำนวณจากปริมาณฝนรวมรายปีและจำนวนวันฝนตก ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของความแรงฝน จึงขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรวมรายปีหรือจำนวนวันฝนตกหรือทั้งสองปัจจัยรวมกัน ผลการวิเคราะห์ พบว่า ความแรงฝนในประเทศไทย มีการเปลี่ยนแปลงทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงในอัตราที่แตกต่างกันซึ่งมีลักษณะที่ไม่สมมาตรในเชิงพื้นที่ โดยรูปแบบการเปลี่ยน



รูปที่ 4.40 Linear trends ของจำนวนวันฝนตกภายในปี (a) ในระหว่างเดือน พ.ย. – เม.ย. (b) และในระหว่างเดือน พ.ค.-ต.ค. (c) ในประเทศไทย



รูปที่ 4.41 จำนวนวันฝนตกรวมรายปี (a) จำนวนวันฝนตกรวมในช่วงเดือน พ.ย.- เม.ย. (b) และ จำนวนวันฝนตกรวมในช่วงเดือน พ.ค.-ต.ค. (c) ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย เส้นสีน้ำเงินและสีแดง คือ linear trends และ 5-yr running mean โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ



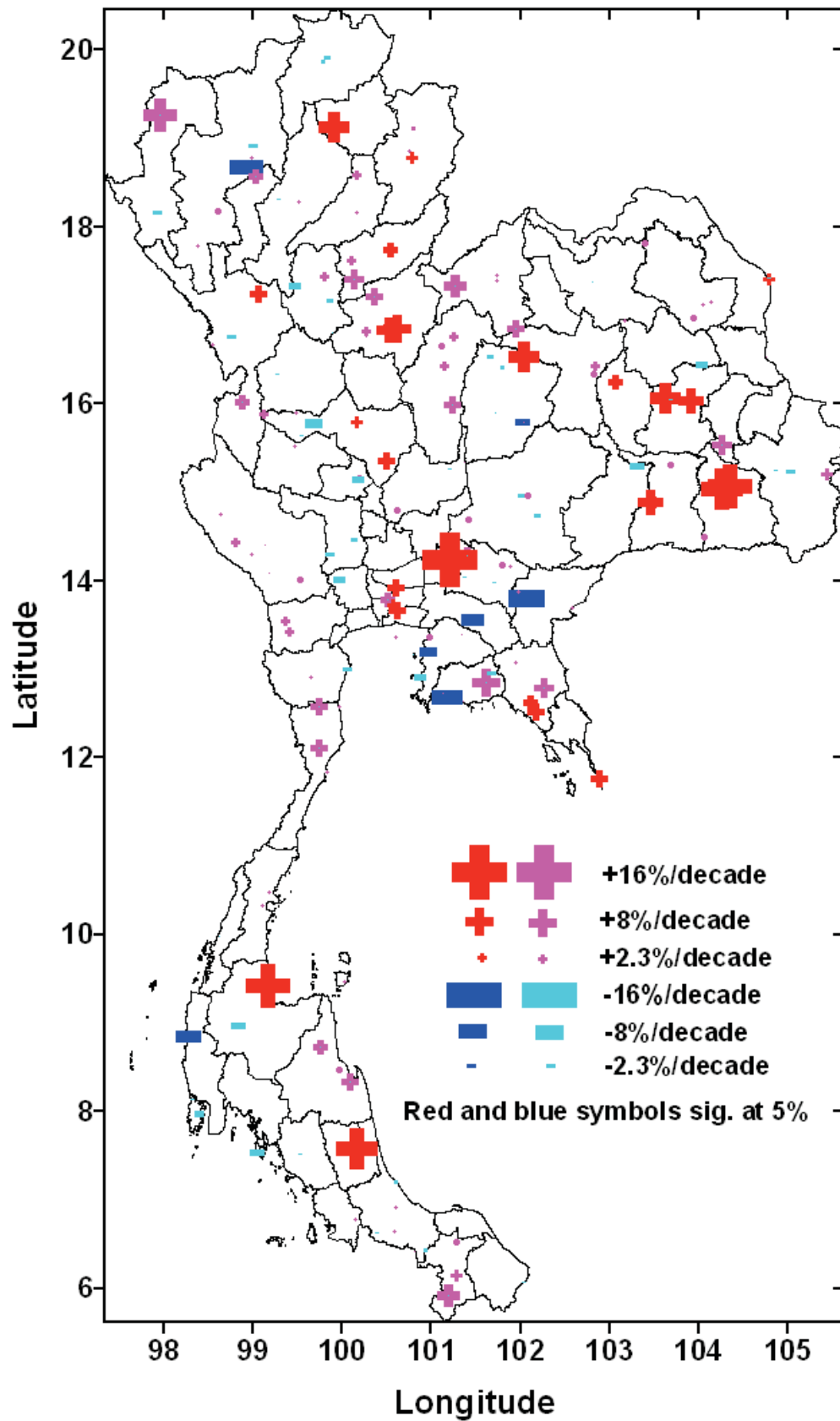
รูปที่ 4.42 PDF ของจำนวนวันฝนตกรวมในช่วงเดือน พ.ค.-ต.ค. (a) จำนวนวันฝนตกรวมในช่วงเดือน พ.ย.-เม.ย. (b) และจำนวนวันฝนตกรวมรายปี (c) ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov test Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ

แปลงที่คล้ายคลึงกันในพื้นที่ขนาดใหญ่ไม่ปรากฏชัดเจน (รูปที่ 4.43) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรวมรายปีและจำนวนวันฝนตก มีลักษณะไม่สอดคล้องกันในแต่ละพื้นที่ทั้งในแง่อัตราและรูปแบบ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลส่วนใหญ่ (69% ของสถานีทั้งหมด) แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความแรงฝนในอัตราเฉลี่ย $3.1 \text{ mm day}^{-1}/\text{decade}$ โดยมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ 15 % อัตราการเพิ่มขึ้นของความแรงฝนที่สูงสุดในลำดับต้นๆเกิดขึ้นที่จังหวัดนครนายก ศรีสะเกษ นครศรีธรรมราช และพัทลุง ส่วนการเพิ่มขึ้นในระดับปานกลาง สามารถสังเกตได้ในบางพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคกลาง รวมทั้งภาคตะวันออก ในทางตรงข้าม สถานีที่ตั้งอยู่บริเวณภาคตะวันออก ภาคใต้ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือจำนวน 7 สถานี ได้บ่งชี้ถึงสัญญาณการลดลงของความแรงฝนอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.43) เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในแต่ละภาคพบว่า ความแรงฝนมีการเพิ่มขึ้นในทุกภาค ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของความแรงฝนในภาพรวมของประเทศไทย มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.02$) ในอัตรา $0.6 \text{ mm day}^{-1}/\text{decade}$ ในรอบ 42 ปี (รูปที่ 4.44) ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Alexander, et al. (2006) ที่ระบุว่าความแรงของฝนมากกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นผิวทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะหลังของศตวรรษที่ 20 นอกจากนี้ PDF ของความแรงฝน (รูปที่ 4.45) ยังชี้ให้เห็นการขยับตัวที่สูงขึ้นของความแรงฝนหลังปี ค.ศ. 1990 ซึ่งผลการทดสอบด้วย two-tailed Kolmogorov-Smirnov test ได้ยืนยันถึงการแจกแจงของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($p<0.01$)

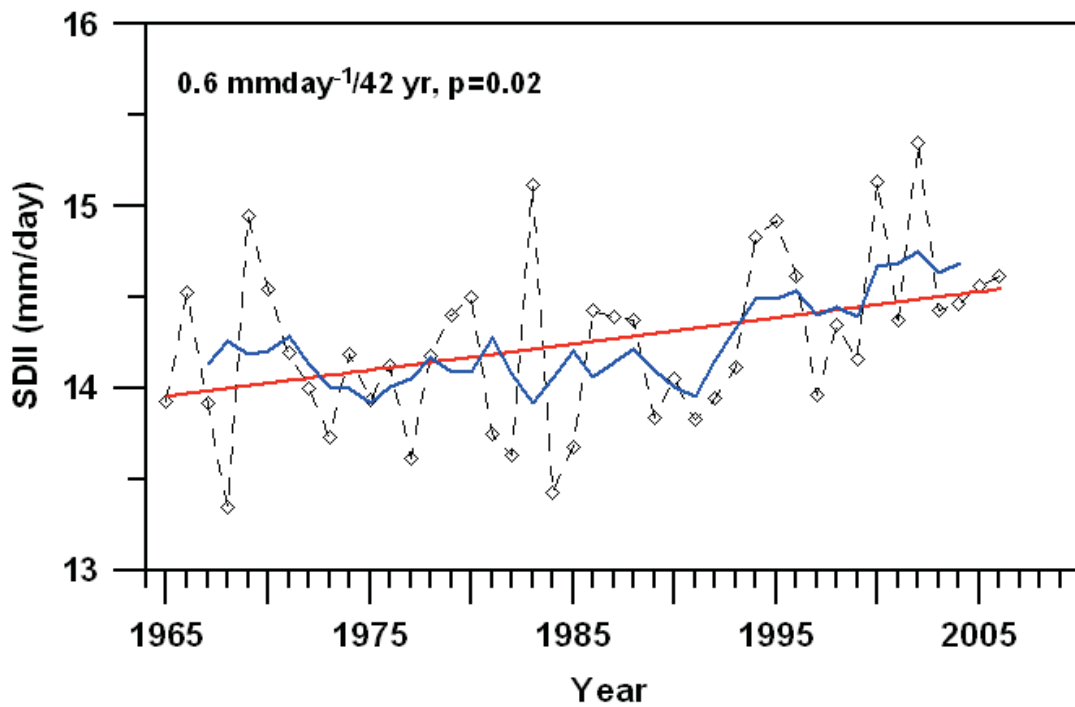
4.3.3 ปริมาณฝนที่มากผิดปกติ

ปริมาณฝนที่มากผิดปกติ (very wet day) คือ สัดส่วนของปริมาณฝนที่มากกว่าหรือเท่ากับฝนเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ซึ่งเป็นปริมาณฝนรวมในเหตุการณ์ที่ฝนตกหนักหรือเหตุการณ์บริเวณ upper tail ของการแจกแจงข้อมูล สำหรับประเทศไทย ผลการวิเคราะห์ข้อมูลฝน จำนวน 170 สถานี พบว่า ปริมาณฝนที่มากผิดปกติ มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงที่กว้าง (รูปที่ 4.46) โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนที่มากผิดปกติ มีสัดส่วนมากกว่าคิดเป็น 59 % ของสถานีทั้งหมด จำนวนสถานีที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ระดับ 95 % มีสัดส่วนคิดเป็น 20 % ของสถานีที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 20 % / decade สถานีที่ปริมาณฝนมากผิดปกติเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลาง เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณฝนที่มากผิดปกติในกรุงเทพฯ มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 4.46) นอกจากนี้ สถานีที่มีปริมาณฝนที่มากผิดปกติลดลงอย่างมีนัยสำคัญพบเกือบทุกภาคยกเว้นภาคใต้ สถานีจังหวัดยะลาและสงขลาเป็นสถานีที่ปริมาณฝนที่มากผิดปกติ โดยมีอัตราการลดลงต่ำสุดถึง 54.7 % / decade

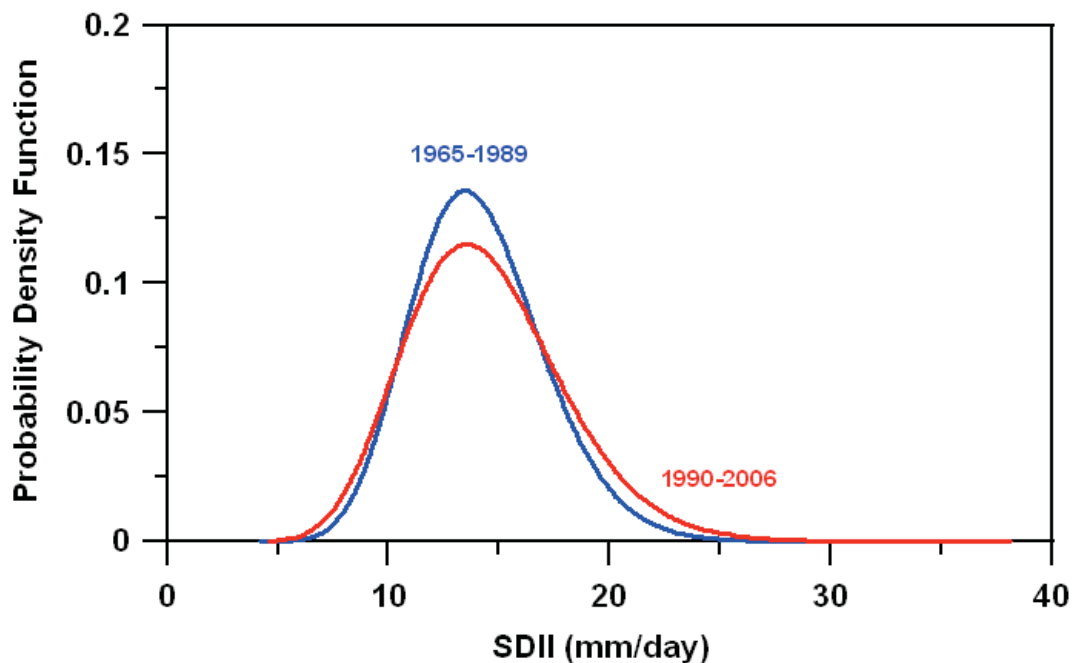
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยในระดับภาค ปรากฏว่าปริมาณฝนที่มากผิดปกติเพิ่มขึ้นเกือบทุกภาคยกเว้นภาคตะวันออก อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของปริมาณฝนที่มากผิดปกติในประเทศไทย ในช่วงระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-2006 พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งรูปแบบของปริมาณฝนที่มากผิดปกติที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับปริมาณฝนรวมรายปี โดยเกิด



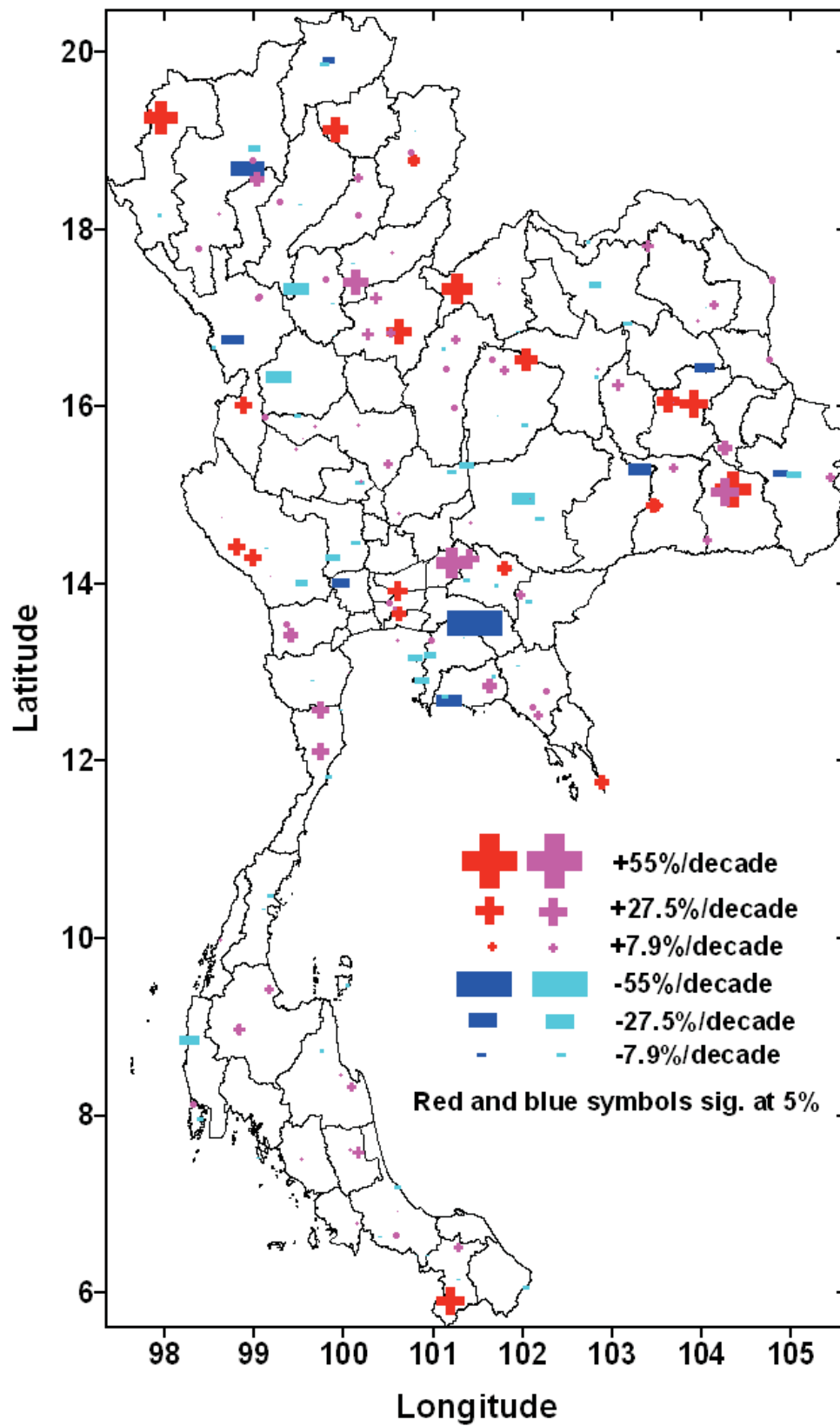
รูปที่ 4.43 Linear trends ของดัชนีความแรงของฝน (SDII) ในประเทศไทย



รูปที่ 4.44 ความแรงของฝนที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย เส้นสีน้ำเงินและสีแดง คือ linear trends และ 5-yr running mean โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4-45 PDF ของความแรงฝน ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov test Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ



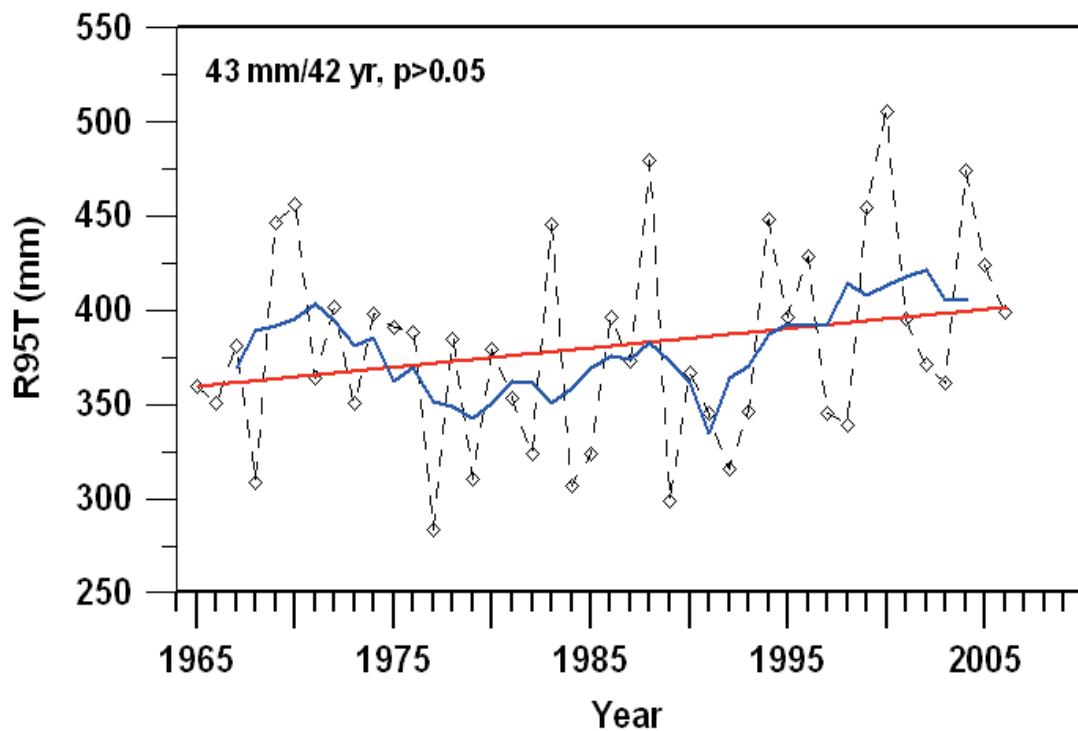
รูปที่ 4.46 Linear trends ของปริมาณฝนที่มากผิดปกติ (very wet day) ในประเทศไทย

ความแปรปรวนในระยะสั้น มีลักษณะที่โดดเด่นในอนุกรมของข้อมูล ทำให้การเปลี่ยนแปลงในระยะยาวไม่ปรากฏชัดเจน (รูปที่ 4.38 และ 4.47) เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในคาบเวลาทศวรรษต่อทศวรรษ พบว่า ปริมาณฝนที่มากผิดปกติที่มีค่าสูงมาก มักเกิดขึ้นช่วงเวลาลง ปี ค.ศ. 1990 ดังแสดงในรูปที่ 4.48 ที่ upper tail ของปริมาณฝนที่มากผิดปกติ ได้แผ่ขยายไปทางด้านขวามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ upper tail ของปริมาณฝนที่มากผิดปกติในช่วงก่อนปี ค.ศ. 1990 ซึ่งการทดสอบด้วย two-tailed Kolmogorov-Smirnov test ได้ยืนยันถึงการแจกแจงของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ($p < 0.01$)

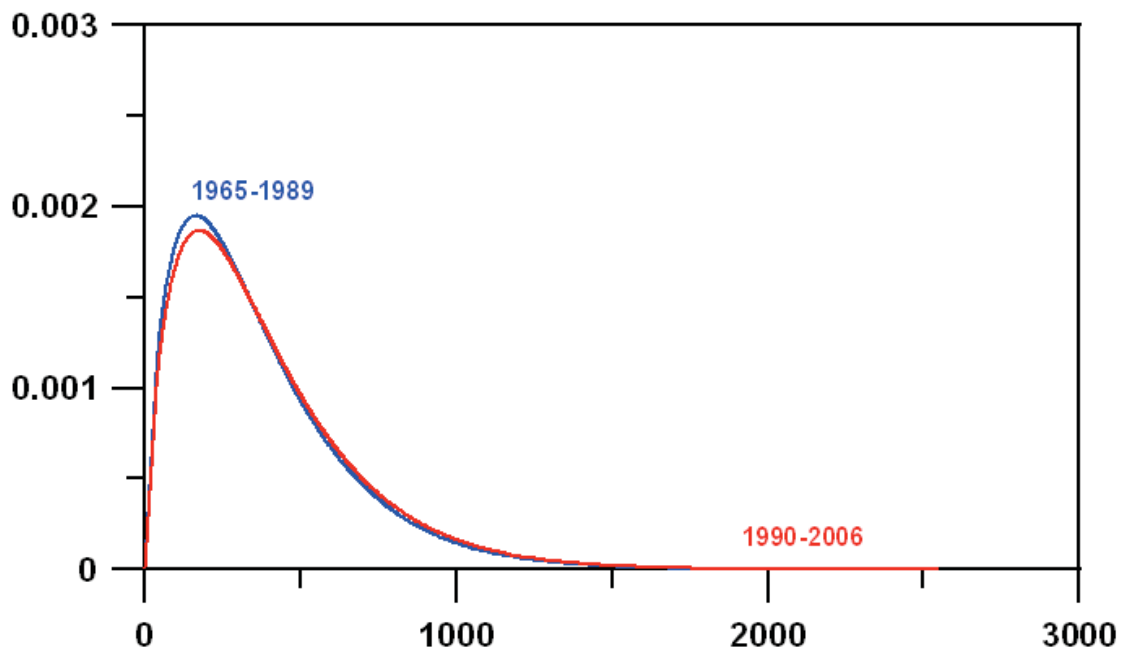
4.3.4 จำนวนวันที่ฝนไม่ตกและจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง

จำนวนวันที่ฝนไม่ตกและจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง (Consecutive dry and wet days) เป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงช่วงระยะเวลาที่ยาวนานที่สุดที่ฝนไม่ตกและฝนตกอย่างต่อเนื่อง มักใช้ประเมินสถานะความแห้งแล้งและความเปียกชุ่ม (dryness and wetness) ที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบหนึ่งปี^{21,31,35} สำหรับประเทศไทย ผลการวิเคราะห์ พบว่า จำนวนวันที่ฝนไม่ตกและจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง มีการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏเด่นชัดและมีรูปแบบที่สอดคล้องในพื้นที่กว้าง โดยการเปลี่ยนแปลงได้แสดงถึงจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่องมีระยะเวลายาวนานขึ้น ในขณะที่ จำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่องมีระยะเวลาลดลง ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับการลดลงของจำนวนฝนตกรวมรายปีและการเพิ่มขึ้นของความแรงฝนในประเทศไทย การเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของดัชนีทั้งสอง บ่งชี้ถึงความเสี่ยงต่อสถานะความแห้งแล้งและน้ำท่วมฉับพลันของประเทศ ที่มีแนวโน้มจะทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณารูปที่ 4.49 พบว่า การเพิ่มขึ้นของจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง และการลดลงของจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง เกิดขึ้นเกือบทุกภาคของประเทศยกเว้นภาคใต้ โดยการเพิ่มขึ้นและลดลงมีอัตราเฉลี่ย 6.7 และ 6.1 day/decade ตามลำดับ จำนวนสถานที่ที่จำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่องเพิ่มขึ้น และจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่องลดลง มีสัดส่วนประมาณ 62% ของสถานีตรวจวัดทั้งหมด อัตราการการเพิ่มขึ้นสูงสุดของจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่องปรากฏที่สถานีราชบุรี ในขณะที่อัตราการลดลงต่ำสุดของจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง เกิดขึ้นที่สถานีสุรินทร์ เป็นที่น่าสังเกตว่า ภาคใต้มีการเปลี่ยนแปลงตรงกันข้ามกับภาคอื่น ๆ โดยจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่องมีค่าลดลง ส่วนจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่องกลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในบางสถานี อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงโดยรวมในภาคใต้ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

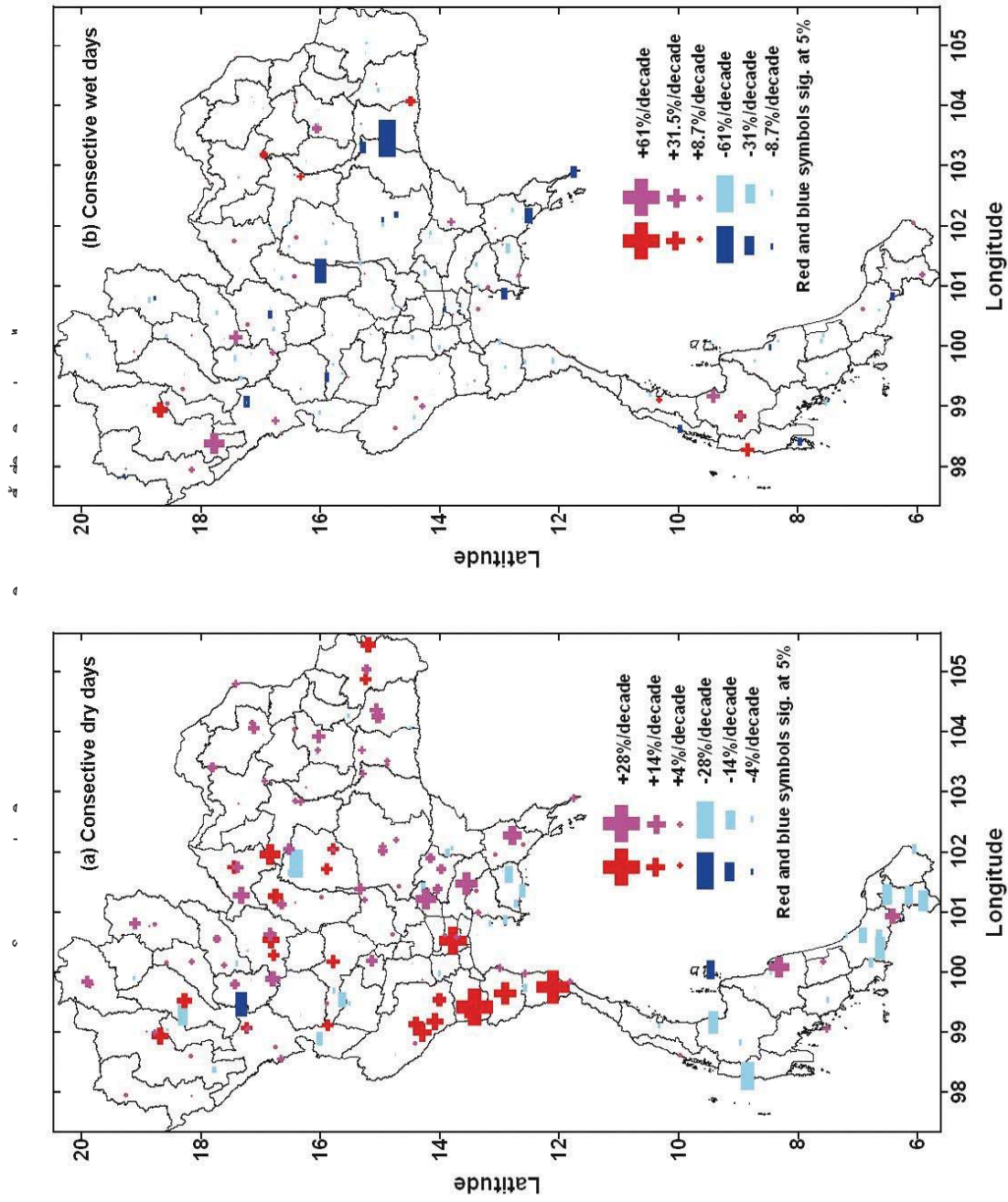
เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในภาพรวมของประเทศไทย โดยนำข้อมูลทุกสถานีตรวจวัดมาหาค่าเฉลี่ยพบว่า การเปลี่ยนแปลงในระยะยาวช่วงระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-2006 ของทั้งสองดัชนี มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบด้วย Non-parametric Kendall Tab Test พบว่าจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่องมีอัตราการเพิ่มขึ้น 23.6 day ในรอบ 42 ปีที่ผ่านมา สำหรับจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่องมีอัตราการลดลง 1.6 day ในรอบ 42 ปีที่ผ่านมา (รูปที่ 4.50) โดยการเปลี่ยนแปลงของทั้งสองดัชนีในช่วงก่อนและหลัง ปี ค.ศ. 1990 มีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแง่การแจกแจงของข้อมูลในรูป PDF ของ gamma distribution (รูปที่ 4.51)



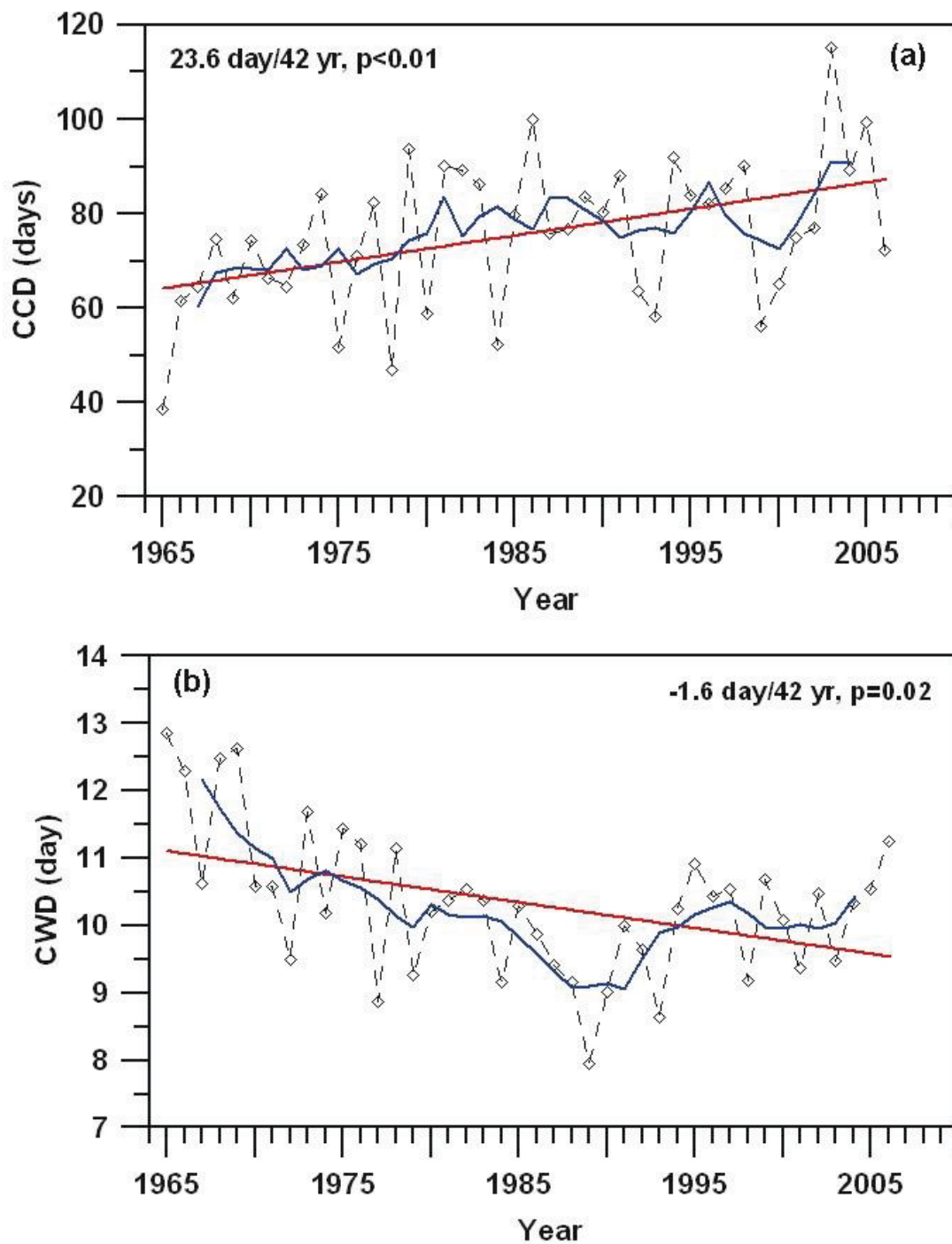
รูปที่ 4.47 ปริมาณฝนที่มากผิดปกติที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย เส้นสีน้ำเงินและสีแดง คือ linear trends และ 5-yr running mean โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ



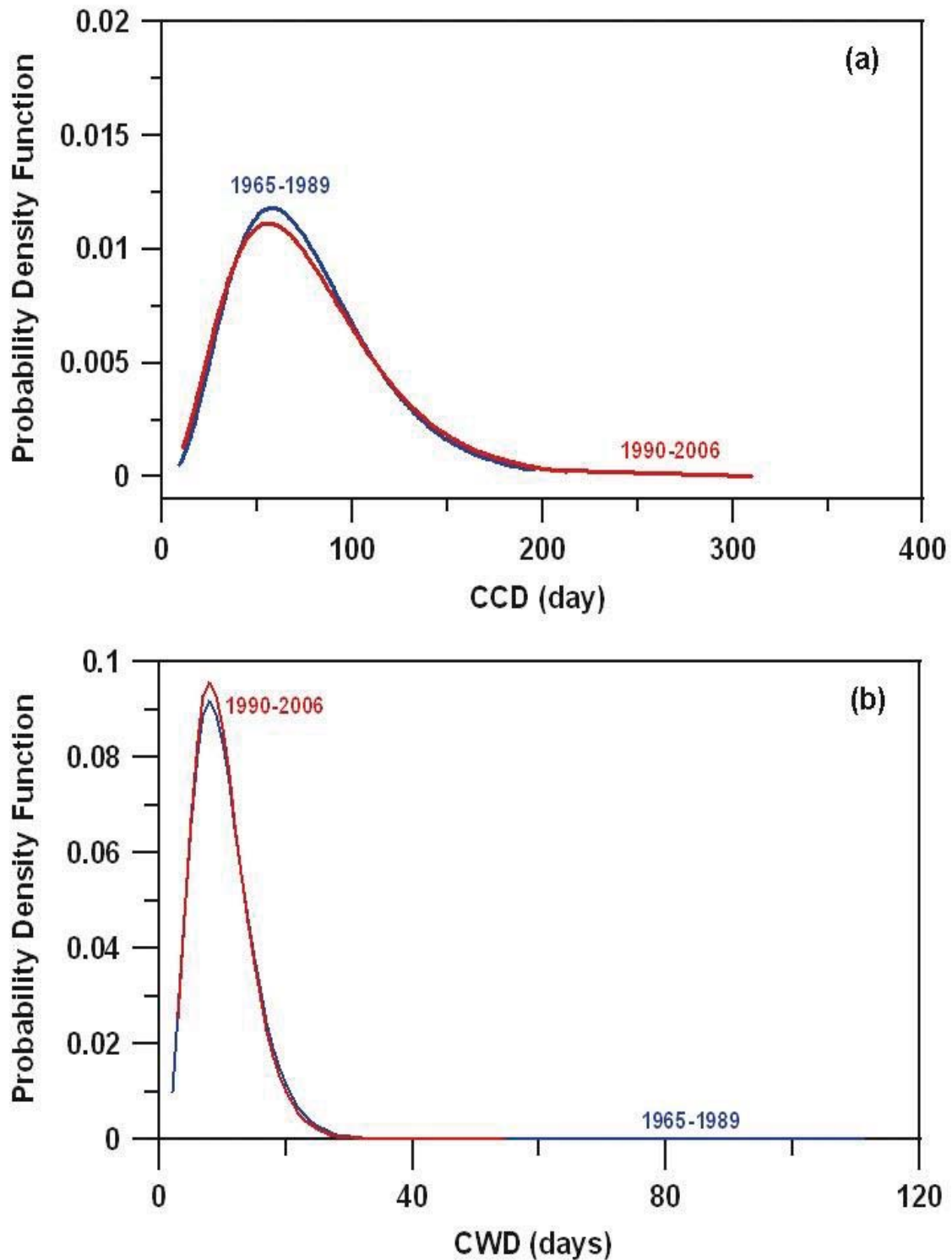
รูปที่ 4.48 PDF ของปริมาณฝนที่มากผิดปกติ ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov test Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.49 Linear trends ของจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง (a) และจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง (b) ในประเทศไทย



รูปที่ 4.50 จำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง (a) และจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง (b) ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย เส้นสีน้ำเงินและสีแดง คือ linear trends และ 5-yr running mean โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 4.51 PDF ของจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง (a) และจำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง (b) ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov test Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ

4.4 การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ในประเทศไทย

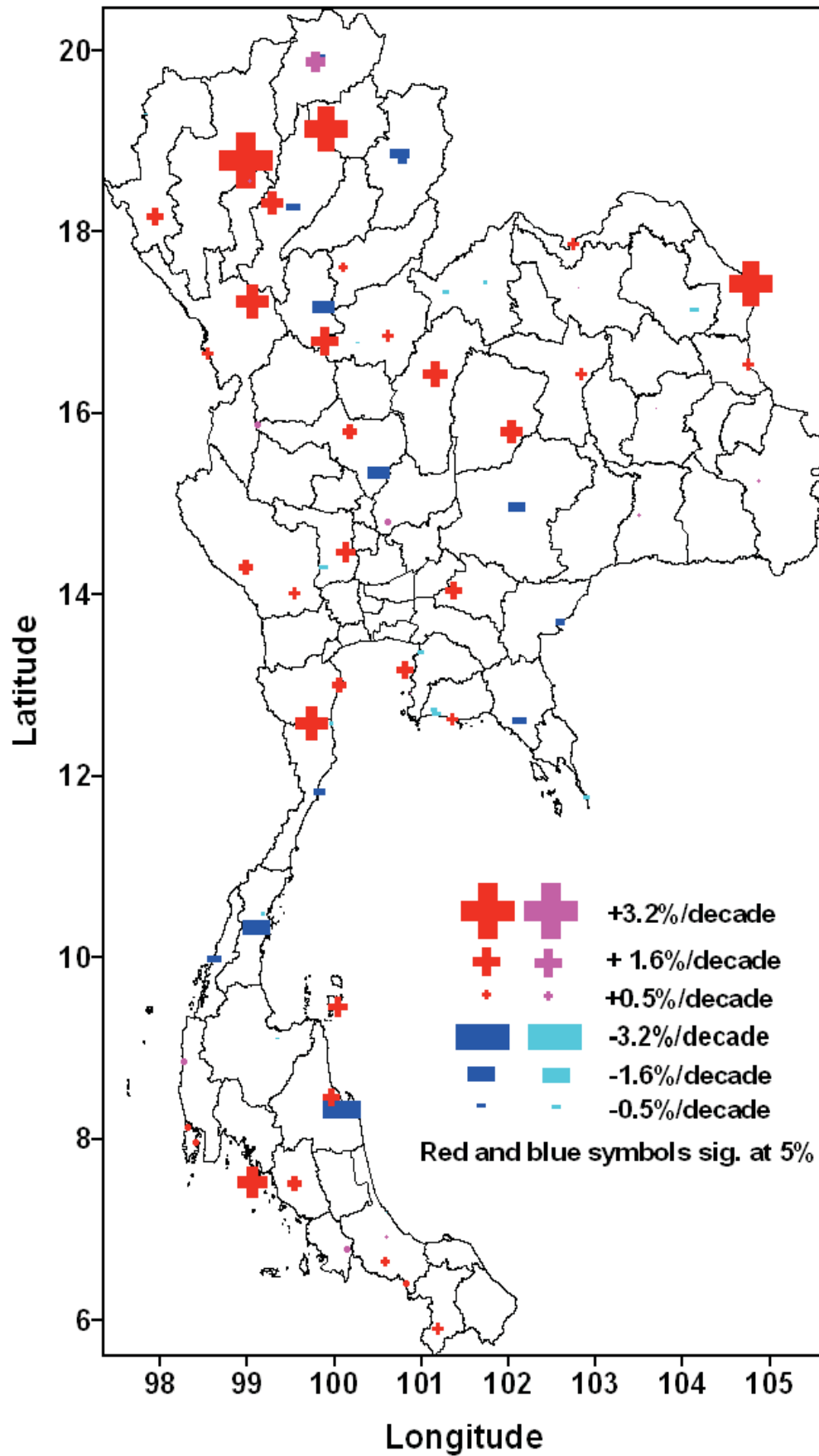
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ นับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในระบบภูมิอากาศ เนื่องจากมีบทบาทในการควบคุมกระบวนการระเหยและการคายน้ำของพืช ซึ่งเชื่อมโยงโดยตรงกับวัฏจักรน้ำของโลกและสมดุลพลังงานภาคพื้นดิน ได้มีการคาดการณ์ว่าความชื้นของอากาศหรือไอน้ำ จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก เนื่องจากมวลอากาศแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีจุดอิ่มตัวของความดันไอสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ชั้นบรรยากาศมีความสามารถในการรองรับความชื้นและไอน้ำเพิ่มขึ้น จากการศึกษาอื่นๆ ที่ได้ทำการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของอากาศในหลายพื้นที่ของโลก^{32,34,41,55} ตัวอย่างเช่น ในสหรัฐอเมริกา ความชื้นสัมพัทธ์และ dewpoint ในฤดูหนาว ฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อน เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1995 โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในช่วงเวลากลางคืน มีอัตราการเพิ่มที่สูงกว่าความชื้นในช่วงเวลากลางวัน โดยทั่วไปการเพิ่มขึ้นของความชื้นมีลักษณะที่สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ³² นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในสหรัฐอเมริกา ยังได้ตรวจพบในประเทศจีน แคนาดา และหลายพื้นที่ของโลก^{34,41,55} สำหรับประเทศไทยการวิเคราะห์ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ได้บ่งชี้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสอดคล้องกับผลการศึกษานี้เช่นกัน กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในหลายสถานี ในสัดส่วนที่แตกต่างกันในแต่ละภาค โดยภาคเหนือและภาคกลาง มีการเพิ่มขึ้นที่เด่นชัดที่สุด (รูปที่ 4.52) สถานีตรวจวัดที่จังหวัดเชียงใหม่มีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็น 43 % ของสถานีตรวจวัดทั้งหมดในอัตราเพิ่มเฉลี่ย 1.1 % / decade นอกจากนี้บางสถานีตรวจวัดภาคใต้บริเวณอ่าวไทย ได้บ่งชี้ถึงการลดลงของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม สถานีตรวจวัดที่มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญมีสัดส่วน 17.6 % ของสถานีตรวจวัดทั้งหมด เมื่อพิจารณาในภาพรวมของประเทศแล้ว ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในประเทศไทย มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ในอัตรา 2.2 % ในรอบ 42 ปีที่ผ่านมา (รูปที่ 4.53) โดย PDF ของ gamma distribution ได้ยืนยันถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงหลัง ปี ค.ศ. 1990 ว่ามีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากช่วงก่อน ปี ค.ศ. 1990 โดยมีการขยับตัวสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณปลายด้านขวาของการแจกแจง (รูปที่ 4-54)

4.5 การวิเคราะห์พื้นที่วิกฤติของสภาวะความรุนแรงของฝนและอุณหภูมิ

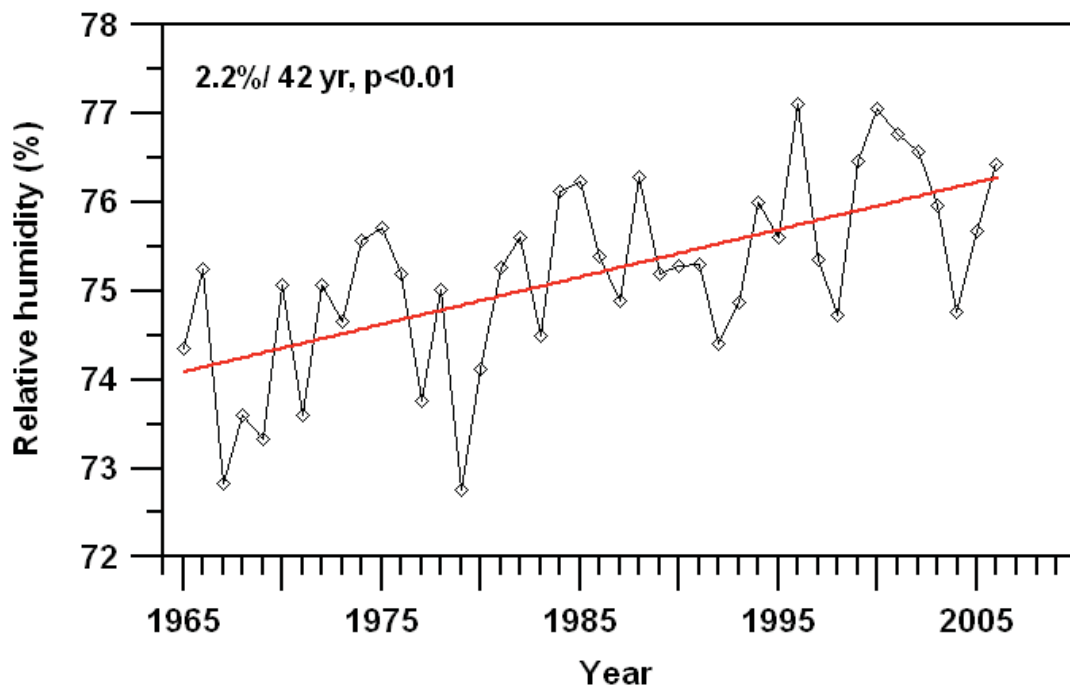
ดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝนและอุณหภูมิที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าพื้นที่วิกฤติ (Hotspot areas) ประกอบด้วย

- 1) ดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ จำนวน 15 ดัชนี ได้แก่ CDSI, WDSI, SU35, TR25, TXx, TNx, TXn, TNn, TN10p, TX10p, TN90p, TX90p, AMAX, MEAN และ AMIN
- 2) ดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝนจำนวน 10 ดัชนี ได้แก่ RX1DAY, RX5DAY, SDII, R10, R50, R95p, CDD, CWD, RAINtot และ WETtotal

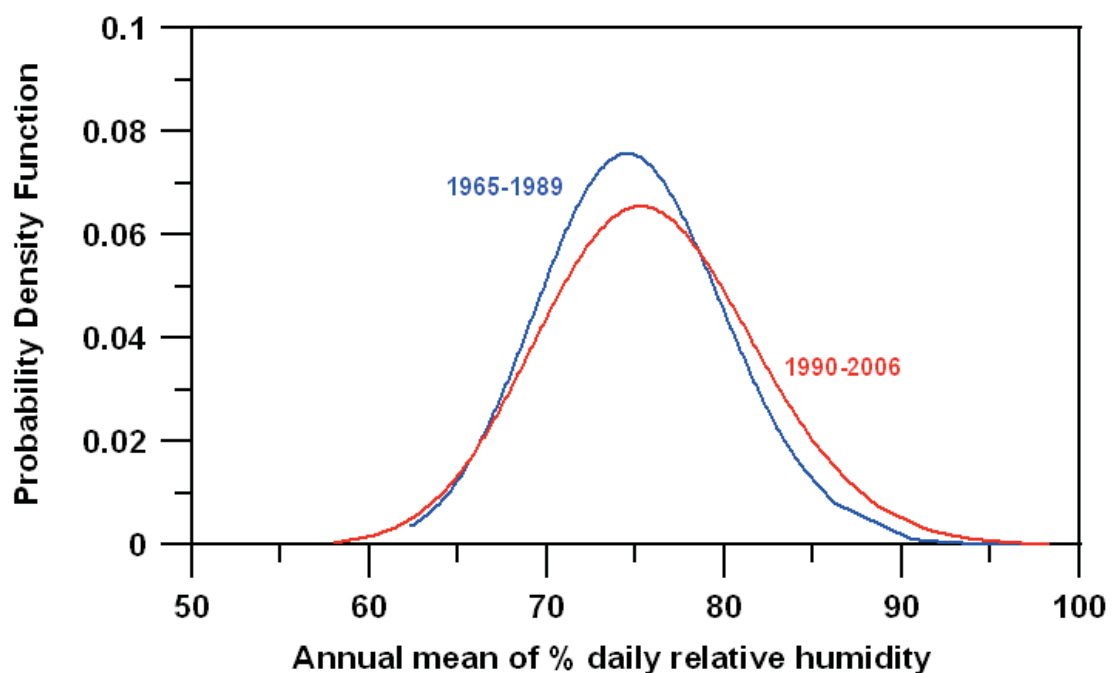
ดัชนีดังกล่าว ได้ถูกนำไปสังเคราะห์ดัชนีรวมสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิและฝน (Temperature and rainfall extreme indices) โดยใช้เทคนิคทางสถิติในการวิเคราะห์และลดจำนวนตัวแปรให้น้อยลง ซึ่งดัชนี



รูปที่ 4.52 Linear trends ของค่าเฉลี่ยรายปีของ % ความชื้นสัมพัทธ์รายวัน ในประเทศไทย



รูปที่ 4.53 ค่าเฉลี่ยรายปีของ % ความชื้นสัมพัทธ์รายวัน ที่เฉลี่ยจากทุกสถานีในประเทศไทย เส้นสีแดง คือ linear trends โดย Non-parametric Kendall Tab ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ



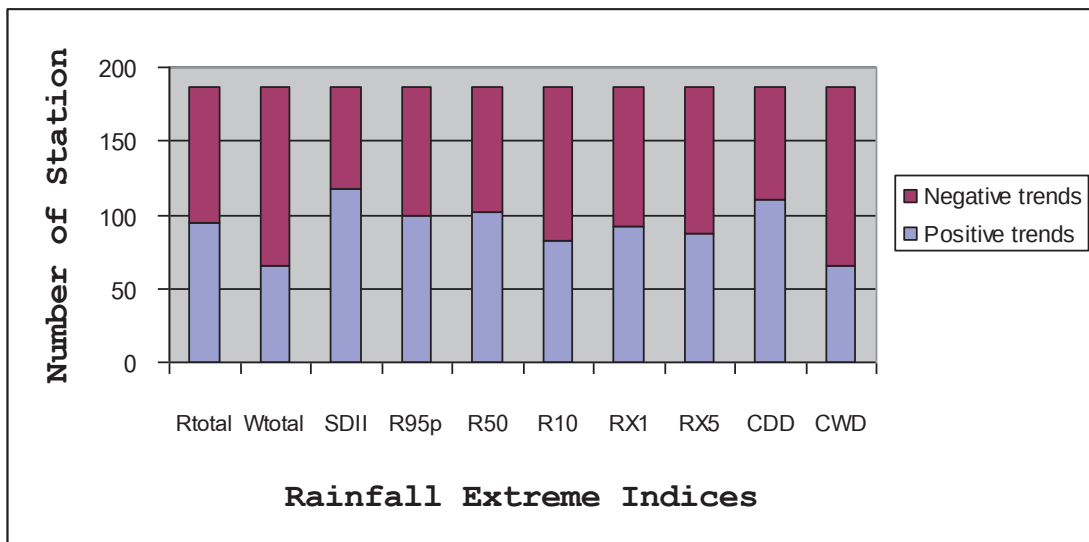
รูปที่ 4.54 PDF ของค่าเฉลี่ยรายปีของ % ความชื้นสัมพัทธ์รายวัน ในระหว่าง ปี ค.ศ. 1965-1989 และระหว่าง ปี ค.ศ. 1990-2006 โดย Gamma distribution ใช้ในการคำนวณ PDF ของข้อมูลทั้งสองช่วงเวลา และ two-tailed Kolmogorov-Smirnov test Test ใช้ในการประเมินนัยสำคัญทางสถิติ

รวมดังกล่าวจะเป็นดัชนีตัวแทนที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของฝนและอุณหภูมิ ในภาพรวม ทั้งในแง่ความถี่ ความรุนแรง และระยะเวลา ทั้งนี้การแจกแจงของข้อมูลและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนี ได้ถูกนำมาพิจารณาเพื่อคัดเลือกเทคนิคทางสถิติที่ใช้ให้มีความเหมาะสม

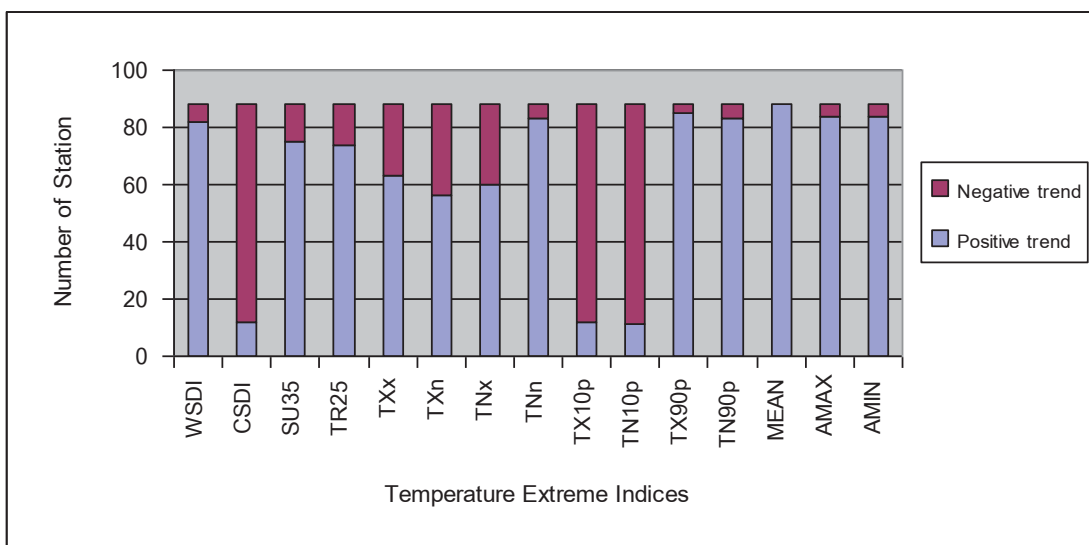
จากการศึกษาวิเคราะห์พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงของดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝนและอุณหภูมิ (รูปที่ 4.55 และ 4.56) มีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน กล่าวคือ ดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝนทั้ง 10 ดัชนี มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั้งสองทิศทาง โดยค่าบวกและค่าลบมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันในลักษณะที่ค่อนข้างสมมาตร (รูปที่ 4.55) ในขณะที่ ดัชนีสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ ทั้ง 15 ดัชนี มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน รูปแบบการแจกแจงข้อมูลจึงไม่สมมาตร โดยพบว่าแต่ละดัชนีมีค่าบวกหรือค่าลบในสัดส่วนที่สูงผิดปกติ (รูปที่ 4.56) ดังนั้นจึงได้นำเทคนิค PCA มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ดัชนีรวมของสภาวะความรุนแรงของฝน เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถลดจำนวนตัวแปรในชุดข้อมูลเดิมที่มีขนาดใหญ่ ให้เป็นชุดข้อมูลใหม่ที่มีตัวแปรน้อยลง แต่ยังคงเป็นตัวแทนความแปรปรวนส่วนใหญ่ของชุดข้อมูลเดิมได้ดี ในกรณีที่ชุดข้อมูลนั้นมีการแจกแจงแบบปกติหรือสมมาตร ก่อนทำการวิเคราะห์ PCA ดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝนทั้ง 10 ดัชนี ได้ถูก normalized ด้วยค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละดัชนี เพื่อให้ค่าที่ได้อยู่ในสเกลมาตรฐานเดียวกัน โดย PCA จะถูกคำนวณจากเมตริกซ์ของจำนวนสถานีและดัชนี ที่ทำการศึกษารวบรวมทั้งหมด (170 สถานี x 10 ดัชนี)

สำหรับดัชนีรวมของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Non-parametric ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่ายในการกำหนดค่าน้ำหนักของแต่ละดัชนี ตามค่า p value โดยค่าน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับดัชนีที่มีค่า p value น้อยกว่า 0.05 และค่าน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีที่ดัชนีมีค่า p value มากกว่า 0.05 ทั้งนี้ผลรวมค่าน้ำหนักของทั้ง 15 ดัชนี ได้นำมาคำนวณในแต่ละสถานี เพื่อเป็น score ที่แสดงถึงระดับสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิ ซึ่ง score มีค่าอยู่ในช่วง 15 - 0 โดย score มีค่าสูงสุดเท่ากับ 15 ในกรณีที่สถานีนั้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญของทุกดัชนี ในขณะที่ score มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0 สำหรับสถานีที่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงไม่มีนัยสำคัญของทุกดัชนี สำหรับการศึกษารวบรวมนี้ ได้กำหนดให้ค่า score มีค่าสูงกว่า 10 (มากกว่า 70% ของดัชนีมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ) ซึ่งเป็นระดับที่การเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิละดับที่สูงผิดปกติหรืออยู่ในระดับวิกฤติ

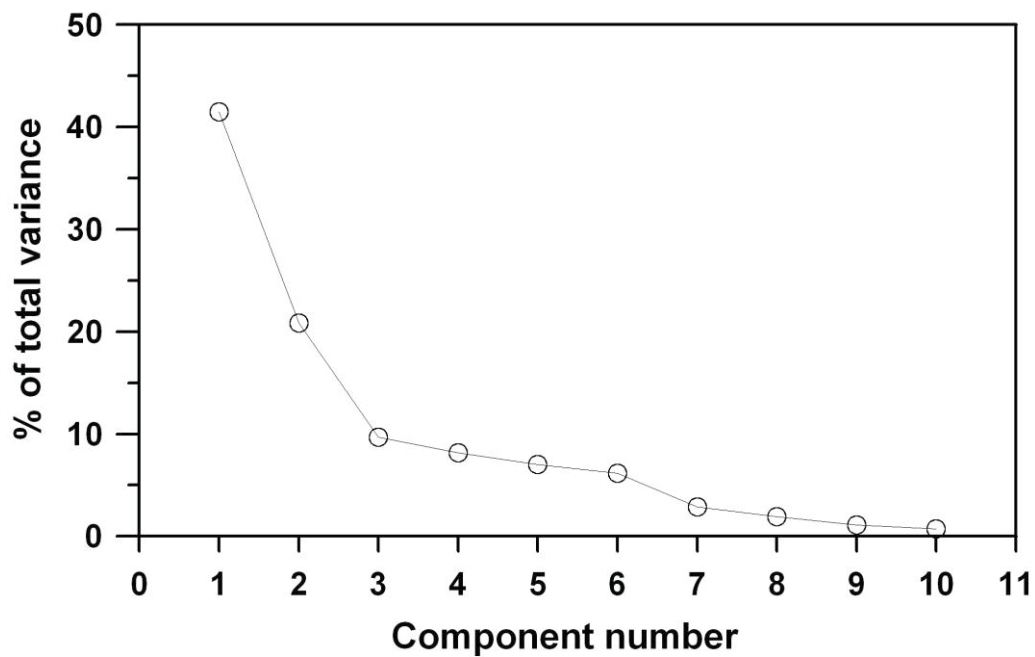
ผลการวิเคราะห์ PCA พบว่า โหมดที่ 1 ถึง 3 ของ Principal Component (PC) สามารถอธิบายความแปรปรวนของฝนได้ถึงร้อยละ 72.5 ของความแปรปรวนทั้งหมดในชุดข้อมูลเดิมของทั้ง 10 ดัชนี ส่วน 7 โหมดที่เหลืออธิบายความแปรปรวนของฝนได้เพียง 28% (รูปที่ 4.57) ลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงผลรวม PC ของโหมดที่ 1 ถึง 3 ว่าสามารถเป็นดัชนีตัวแทนที่อธิบายความแปรปรวนของฝนหรือการเปลี่ยนแปลงของฝนในภาพรวมของดัชนีทั้ง 10 ดัชนีได้ในแต่ละสถานี โดยค่า Component loadings (รูปที่ 4.58) ได้บ่งชี้ถึง PC ของทั้งสามโหมดที่เป็นตัวแทนของดัชนีความรุนแรงฝนในรูปแบบ RAINtot, SDII, R95p R50, R10, R1day และ R5day นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ระดับสภาวะความรุนแรงของฝนหรือพื้นที่วิกฤติในแต่ละสถานี โดยพิจารณาจากค่าผลรวมของ principal score ของ PC โหมดที่ 1-3 (รูปที่ 4.59) พบว่า ค่าผลรวมของ principal score ที่เบี่ยงเบนทางด้านบวกสูงสุด 3 ลำดับแรก (พื้นที่เสี่ยงต่ออุทกภัย) เกิดขึ้นที่สถานีในจังหวัดนครศรีธรรมราช



รูปที่ 4.55 สัดส่วนของจำนวนสถานีที่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงของ 10 ดัชนีสถานะความรุนแรงของฝน มีค่าเป็นบวกและลบ



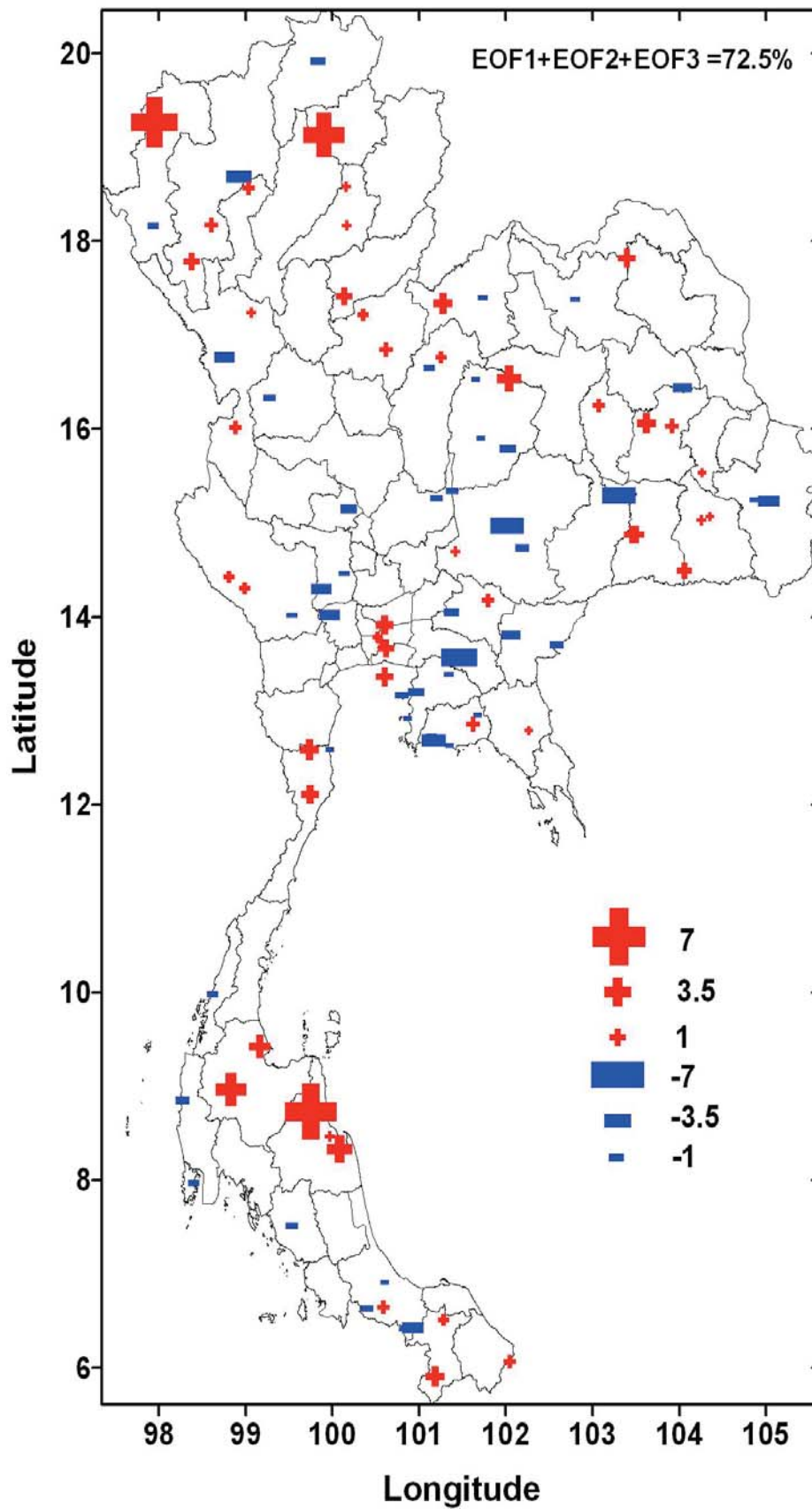
รูปที่ 4.56 สัดส่วนของจำนวนสถานีที่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงของ 15 ดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ มีค่าเป็นบวกและลบ



รูปที่ 4.57 สัดส่วนของความแปรปรวนทั้งหมดที่ปรากฏในแต่ละโหมดของ Principal Component

Variables	EOF1	EOF2	EOF3
1. Rainfall total	0.40*	0.74*	0.21
2. Wet day total	-0.03	0.17	-0.04
3. Simple daily intensity index	0.44*	0.33*	0.32*
4. Very wet day	0.74*	0.18	0.36*
5. Number of days above 50 mm	0.97*	0.13	0.08
6. Number of heavy precipitation day	0.07	0.97*	0.03
7. Max. 1-day precipitation amount	0.19	0.09	0.92*
8. Max. 5-day precipitation amount	0.28	0.11	0.40*
9. Consecutive dry days	0.03	-0.13	-0.03
10. Consecutive wet days	0.01	0.13	-0.06

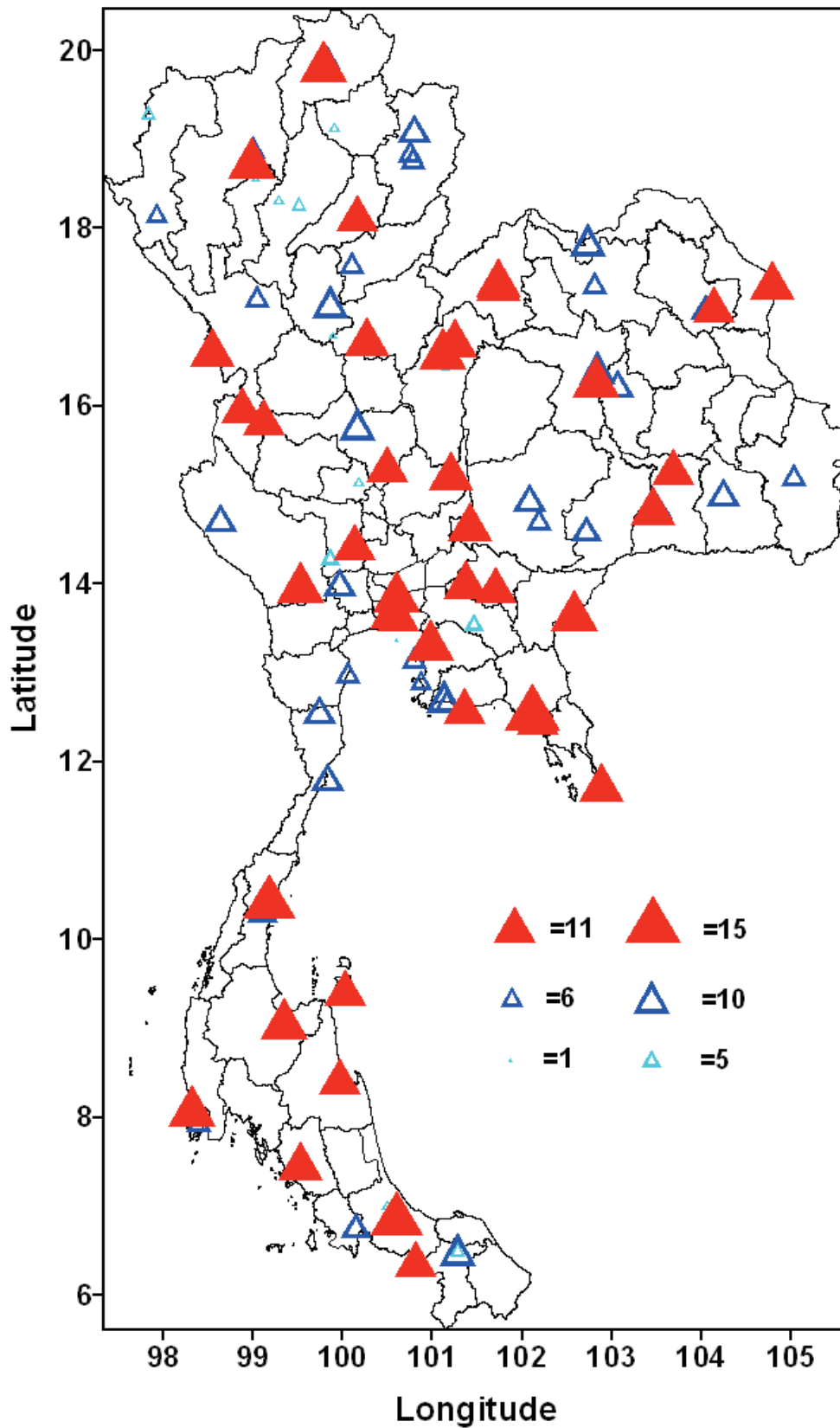
รูปที่ 4.58 Component loading ระหว่างโหมดที่ 1 ถึง 3 ของ Principal Component และดัชนีสถานะความรุนแรงของฝนทั้ง 10 ดัชนี



รูปที่ 4.59 ผลรวมของ Principal component score ในโหมดที่ 1 ถึง 3 ของดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝน ทั้ง 10 ดัชนี โดยรูปดังกล่าว แสดงเฉพาะค่า score ที่สูงหรือต่ำกว่า 1SD เท่านั้น

แม่ฮ่องสอน และพะเยา ส่วนค่าผลรวมของ principal score ที่เบี่ยงเบนทางด้านลบสูงสุด 3 ลำดับแรก (พื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้ง) เกิดขึ้นที่สถานีในจังหวัดฉะเชิงเทรา นครราชสีมา และบุรีรัมย์

สำหรับค่า score ของดัชนีรวมที่แสดงถึงระดับสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิหรือพื้นที่วิกฤติในแต่ละสถานี แสดงในรูปที่ 4.60 พบว่ารูปแบบและอัตราการเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิในภาพรวม มีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีรวมของสภาวะความรุนแรงของฝน (รูปที่ 4.59 และ 4.60) โดยสถานีที่มีค่า score ของดัชนีรวมสูงกว่า 10 ซึ่งเป็นระดับที่การเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิอยู่ในระดับที่สูงผิดปกติหรือระดับวิกฤติ มีจำนวนมากถึง 40 สถานี คิดเป็น 46% ของสถานีตรวจวัดทั้งหมดที่กระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ โดยค่า score ของดัชนีรวมสูงสุด 3 ลำดับแรก เกิดขึ้นที่สถานีในจังหวัดจันทบุรี สงขลา และประจวบคีรีขันธ์ ตามลำดับ



รูปที่ 4.60 ผลรวม score ของดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิทั้ง 15 ดัชนี

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 การทดสอบและควบคุมภาพข้อมูลภูมิอากาศ

การศึกษาการประเมินสถานะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศ และพื้นที่วิกฤติของประเทศไทย ได้ทำการสังเคราะห์และจัดทำฐานข้อมูลคุณภาพสูง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงและการประเมินพื้นที่วิกฤติของสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ โดยการรวบรวมข้อมูลฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์รายวันที่มีการตรวจวัดอย่างต่อเนื่องของประเทศไทยจาก 3 หน่วยงาน คือ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ข้อมูลที่รวบรวมทำการศึกษามีระยะเวลาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1951 (พ.ศ. 2494) ถึงปี ค.ศ. 2006 (พ.ศ. 2549) โดยข้อมูลแต่ละปีมีความสมบูรณ์ค่อนข้างสูง ซึ่งแต่ละสถานีมีความสมบูรณ์ของอนุกรมข้อมูลมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 98.6 – 99.2 % และมีข้อมูลที่ขาดหายไปน้อยกว่า 2 % ข้อมูลที่ผ่านการคัดเลือกเบื้องต้น ได้ผ่านขั้นตอนการทดสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูลอย่างเข้มงวด ตามวิธีมาตรฐานสำหรับการควบคุมและประกันคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศที่หน่วยงานนานาชาติ เช่น องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization, WMO), Global Historical Climatology Network (GHCN) และ National Climatic Data Center (NCDC)^{58,61,63,65,68,70} ให้อยู่ในปัจจุบัน

ขั้นตอนสำคัญของกระบวนการทดสอบและควบคุมคุณภาพ สำหรับฐานข้อมูลภูมิอากาศรายวันในประเทศไทย ประกอบด้วย การตรวจสอบและปรับแก้ค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่และเวลา การประมาณค่าข้อมูลที่สงสัยและข้อมูลที่หายไปในอนุกรมข้อมูล รวมทั้งการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล ทั้งนี้ เทคนิคทางสถิติเป็นวิธีมาตรฐานที่หน่วยงานต่าง ๆ ใช้กันโดยทั่วไปในกระบวนการทดสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูล ประกอบด้วย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล⁵⁹ ค่าพิสัยระหว่างควอไทล์⁵⁷ สมการถดถอยเชิงเส้นตรง^{57,59,70} การประมาณค่าข้อมูลที่ขาดหายไปหรือข้อมูลที่สงสัย และ Penalized Maximal T และ F Test^{86,87} ได้นำมาประยุกต์ใช้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา นี้ นอกจากนี้ เทคนิคดังกล่าวข้างต้นบางส่วน ได้มีการปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มเติมให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้นในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูลรายวันที่เป็นฐานข้อมูลขนาดใหญ่

ผลการทดสอบคุณภาพข้อมูล พบว่า ฐานข้อมูลฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์รายวัน มีคุณภาพข้อมูลในแง่ความผิดปกติของข้อมูล ข้อมูลที่ขาดหายไป และความเป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูล อยู่ในเกณฑ์เมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลคุณภาพสูงของแหล่งข้อมูลอื่นๆ โดยค่าผิดปกติในเชิงพื้นที่และเวลาของข้อมูลฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าน้อยกว่า 0.03 % นอกจากนี้ ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลที่ปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลพบว่ามีสัดส่วนที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลที่มีการจัดทำขึ้นจากการศึกษาอื่นๆ^{62,65,70} ฐานข้อมูลที่ผ่านขั้นตอนการตรวจสอบและการควบคุมคุณภาพ มีการกระจายตัวของสถานีในเชิงพื้นที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ครอบคลุมทั่วทุกภาคของประเทศ โดยจำนวนสถานีในแต่ละภาค ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ส่วนความครอบคลุมในเชิงเวลาพบว่าจำนวนสถานีในแต่ละปีของฐานข้อมูลหลังกลางทศวรรษที่ 1970 มีจำนวนค่อนข้างสม่ำเสมอเช่นกัน

ฐานข้อมูลที่ถูกสังเคราะห์และจัดทำขึ้นนี้ สามารถสรุปได้ว่ามีคุณภาพในระดับใกล้เคียงกับฐานข้อมูลระดับโลกที่ใช้ในการศึกษาวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของหลายหน่วยงาน รวมทั้งเป็นฐานข้อมูลที่มีความถี่และความสมบูรณ์สูง โดยอนุกรมข้อมูลมีความต่อเนื่องในระยะเวลาที่ยาวนานเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ และประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์ที่มีความถี่ของการเกิดไม่บ่อยครั้งนัก^{18,20} เช่น สถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ การศึกษานี้ นับเป็นครั้งแรกของการจัดทำฐานข้อมูลรายวันคุณภาพสูงของประเทศไทย ที่ได้ยึดหลักเกณฑ์และวิธีการที่เป็นมาตรฐานสากลทุกกระบวนการ อันเป็นหลักประกันถึงความมั่นใจในการใช้ฐานข้อมูลดังกล่าวในการศึกษาวิจัย รวมทั้งความน่าเชื่อถือของผลการศึกษาระดับที่เป็นที่ยอมรับในวงการนักวิชาการ โดยเทคนิคการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูลและฐานข้อมูลที่ถูกพัฒนาขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้และขยายผลเพิ่มเติมกับฐานข้อมูลภูมิอากาศอื่น ๆ ทั้งข้อมูลที่ตรวจวัดภาคพื้นดินและข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ดังนั้นการศึกษานี้ นับได้ว่าเป็นจุดริเริ่มสำคัญในการสร้างระบบควบคุมคุณภาพข้อมูล ซึ่งเป็นองค์ประกอบพื้นฐานสำคัญของศูนย์ข้อมูลภูมิอากาศกลางในประเทศไทยที่หลายหน่วยงาน ได้เรียกร้องให้มีการตั้งจัดขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการและส่งเสริมงานวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยให้มีความถูกต้อง เชื่อถือได้ เพื่อช่วยสนับสนุนและรองรับการอนุวัติ อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศให้มีประสิทธิภาพ เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ อีกทั้งเทคนิคและองค์ความรู้จากการศึกษานี้ ยังสามารถเผยแพร่ให้กับนักวิจัยเพื่อเสริมสร้างศักยภาพการจัดการและวิเคราะห์ผลจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการนำฐานข้อมูลขนาดใหญ่ของ Global Observing System มาใช้ในการศึกษาวิจัยในอนาคต

5.2 การเปลี่ยนแปลงสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทย

ฐานข้อมูลคุณภาพสูงดังกล่าว ได้ถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศในประเทศไทย ด้วยการคำนวณดัชนีสถานะความรุนแรงของฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ จากอนุกรมข้อมูลรายวันของแต่ละสถานี จำนวน 36 ดัชนี (20 ดัชนีสำหรับสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ 15 ดัชนีสำหรับสถานะความรุนแรงของฝน และ 1 ดัชนีสำหรับสถานะความรุนแรงของความชื้นสัมพัทธ์) ซึ่งดัชนีส่วนใหญ่เป็น ‘core climate extreme indices’ ที่ถูกพัฒนาและเสนอแนะโดย ETCCDMI²³ ทั้งนี้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรง (linear trend) ในแต่ละสถานีของดัชนีดังกล่าว ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยวิธี Ordinary Least-Square Method และ Kendall Tab Test ซึ่งเป็นเทคนิคทาง non-parametric statistical method ที่เป็นวิธีมาตรฐานที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในการศึกษาสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีลักษณะการแจกแจงที่ไม่ปกติได้ดี รวมทั้งมีความทนทานต่อข้อมูลที่สูงหรือต่ำกว่าปกติ^{31,39,40,41,43,51,88-89}

ผลการวิเคราะห์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสถานะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย ในช่วงปี ค.ศ. 1965-2006 โดยสรุปพบว่า สถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ ในรูปแบบของดัชนีจำนวนวัน/คืนที่อบอุ่น ดัชนีช่วงระยะเวลาที่อบอุ่น ดัชนีจำนวนวัน/คืนที่อุณหภูมิสูงกว่า 35/25 °C และดัชนีค่าสูงสุดรายเดือนของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประจำวัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั่วทุกภาคของประเทศ ในขณะที่

สถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ ในรูปแบบของดัชนีจำนวนวัน/คืนที่หนาว ดัชนีช่วงระยะเวลาที่หนาว ดัชนีจำนวนวัน/คืนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30/20 °C และดัชนีค่าต่ำสุดรายเดือนของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประจำวัน มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทั้งประเทศเช่นกัน รูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏในประเทศไทยพบว่ามีลักษณะที่คล้ายคลึง และสอดคล้องกับหลักฐานการเปลี่ยนแปลงที่ตรวจพบในบริเวณกว้างในหลายพื้นที่ของโลก^{1,21,35,41} ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในลักษณะที่สอดคล้องและมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันในบริเวณกว้างทั้งประเทศนี้ น่าจะมีสาเหตุจากการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุด ที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกเฉลี่ย เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยในประเทศไทย ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในรอบ 50 ปีที่ผ่านมาแล้ว ในอนาคตอันใกล้นี้คาดว่า สถานะความรุนแรงของอุณหภูมิในประเทศไทย จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงขึ้นเป็นเท่าตัว ตามสัดส่วนการขยับตัวสูงขึ้นในอัตราที่สูงกว่าปกติของอุณหภูมิเฉลี่ย ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการกระจายตัวของตัวแปรทางสถิติ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาในภาพรวมของพื้นที่วิกฤติจากดัชนีรวมทั้งค่ารวมจากดัชนีหลักทั้ง 15 ดัชนีแล้ว พบว่าสถานที่ที่ดัชนีสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิต่ำน้อย 11 ดัชนี มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งถือว่าเป็นระดับการเปลี่ยนแปลงในระดับที่สูงผิดปกติหรือระดับวิกฤติ โดยมีจำนวนสูงถึง 40 สถานี คิดเป็น 46% ของสถานีตรวจวัดทั้งหมด โดยมีการกระจายตัวของสถานีตรวจวัดอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย การเปลี่ยนแปลงสูงสุดสามอันดับแรก เกิดขึ้นในจังหวัดจันทบุรี สงขลา และประจวบคีรีขันธ์

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงของสถานะความรุนแรงของอุณหภูมิ ในแง่ความถี่ของความรุนแรง และระยะเวลาที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ย่อมส่งผลกระทบต่อระบบสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว มีความเชื่อมโยงโดยตรงกับวัฏจักรน้ำและสมดุลพลังงานภาคพื้นดิน รวมทั้งกระบวนการระเหยและการคายน้ำของพืช^{1,49-56,100} โดยหลักฐานที่ช่วยสนับสนุนถึงการเปลี่ยนแปลงของสมดุลน้ำและพลังงานภาคพื้นดิน ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิและสถานะความรุนแรงเพิ่มสูงขึ้น คือ ความชื้นหรือไอน้ำในอากาศซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในระยะยาวอย่างมีนัยสำคัญทั่วทุกภาคของประเทศไทย การเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า ภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะทำให้มวลอากาศในชั้นบรรยากาศแห้งกว่าปกติ ซึ่งทำให้ความสามารถในการรองรับความชื้นและไอน้ำของชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกัน อุณหภูมิที่ขยับตัวสูงขึ้นจะเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเร่งอัตราการระเหยของน้ำและการคายน้ำของพืช ซึ่งส่งผลให้การเคลื่อนย้ายมวลน้ำจากพื้นดินและทะเลมีอัตราที่สูงกว่าปกติที่เกิดขึ้นในอดีต^{1,49-56,100} การเปลี่ยนแปลงสมดุลน้ำและพลังงานภาคพื้นดิน ไม่ว่าจะเกิดขึ้นในระดับ local scale ถือว่าเป็นกลไกสำคัญที่ผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบภูมิอากาศและระบบสิ่งแวดล้อมในพื้นที่นั้นๆ^{1,49-56,100} นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของความชื้นในชั้นบรรยากาศจะช่วยเสริมให้ปรากฏการณ์เรือนกระจกมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากไอน้ำเป็นก๊าซเรือนกระจกตามธรรมชาติ ที่สามารถดูดซับพลังงานความร้อนที่สะท้อนกลับสู่ผิวภาคได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิและสถานะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศ มีการเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ อันเนื่องมาจากการวนการ positive feedback ของระบบภูมิอากาศ^{1,49-56,100} การเพิ่มขึ้นทั้งอุณหภูมิและความชื้น อาจจะทำให้ความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนอันเนื่องมาจาก heat

stress โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เด็กและผู้สูงอายุ เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการกำหนดค่าความร้อนหรืออุณหภูมิที่ร่างกายมนุษย์รู้สึกได้ (Apparent temperature)^{32,101} จากผลการศึกษาของ Gaffen and Ross, 1998³² พบว่า ในช่วงฤดูร้อนของประเทศสหรัฐอเมริการะหว่างปี ค.ศ. 1949-1995 ความถี่ของสภาวะเครียดจากความร้อนของมนุษย์หรือ Apparent temperature ที่เกิดจากอุณหภูมิและความชื้นที่สูงผิดปกติ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และมีความสัมพันธ์กับจำนวนผู้เสียชีวิตและเจ็บป่วยจากโรคที่เกี่ยวข้องกับความชื้น

ในแง่ผลกระทบต่อระบบนิเวศ ในประเทศไทยยังไม่มีผลการศึกษาที่ชัดเจน ยกเว้นผลการศึกษาล่าสุดของ Round and Gale, 2008¹⁰² พบว่า ไร่ข้าวโพดซึ่งเป็นชนิดที่หากินพื้นที่ระดับล่างของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ มีการเพิ่มจำนวนประชากรอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา เมื่อเปรียบเทียบกับไร่ข้าวหลังคาซึ่งมีถิ่นอาศัยในบริเวณพื้นที่สูงของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ การเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากรของสิ่งมีชีวิตทั้งสองชนิดดังกล่าวนี้มีสัมพันธ์กับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของถิ่นที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหาร อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิบริเวณโดยรอบอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่

5.3 การเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย

ดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย มีรูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อนและแตกต่างจากอุณหภูมิโดยสิ้นเชิง โดยพบว่าดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝนมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั้งสองทิศทางคือ การเพิ่มขึ้นและการลดลงในอัตราที่แตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏในประเทศไทยนั้น มีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของฝนในหลายพื้นที่ของโลก^{1, 21,35} ผลการวิเคราะห์ ยังพบว่าความแปรปรวนในระยะสั้น (ปีต่อปีหรือทศวรรษต่อทศวรรษ) เป็นลักษณะที่โดดเด่นอีกประการหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย ซึ่งความแปรปรวนในช่วงเวลาดังกล่าว อาจมีความเชื่อมโยงกับความแปรปรวนของปรากฏการณ์เอนโซ และลมมรสุมโซนร้อน ที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างมหาสมุทร บรรยากาศ และพื้นดิน บริเวณเส้นศูนย์สูตรระหว่างมหาสมุทรอินเดีย และมหาสมุทรแปซิฟิก อันเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบภูมิอากาศโลก^{1,10,11,14,24,43,44} Limsakul, et al. (2007) พบว่า Principal Component โหมดที่ 1 ของปริมาณฝนรวมรายปี (R_{total}) และจำนวนวันฝนตกรายปี (R_{day}) ในประเทศไทย มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปรากฏการณ์เอนโซ โดยคาบเวลาปีต่อปี โดย R_{total} และ R_{day} มีค่าสูงและต่ำกว่าปกติในปีที่เกิดเหตุการณ์ลานีญาและเอลนีโญของปรากฏการณ์เอนโซ สำหรับการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว R_{total} และ R_{day} ในประเทศไทย มีแนวโน้มลดลงอย่างผิดปกติในช่วงสามสิบปีที่ผ่านมา ซึ่งมีความสอดคล้องอย่างมีนัยสำคัญกับช่วงเวลาที่ปรากฏการณ์เอนโซมีแนวโน้มผิดปกติในคาบเวลาที่ยาวนานมากกว่า 10 ปี ที่ความถี่ของการเกิดเหตุการณ์เอลนีโญเพิ่มมากขึ้นหลังปลายทศวรรษที่ 1970

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของดัชนีสภาวะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย ในช่วงปี ค.ศ. 1965-2006 สรุปได้ว่า ปริมาณฝนรวมในช่วงฝนตกน้อยและฤดูร้อน(เดือน พฤศจิกายน – เมษายน) เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคตะวันออก ในขณะที่ จำนวนวันฝนตกรวมรายปีและจำนวนวันฝนตกรวมในช่วง

ฤดูฝน(เดือน พฤษภาคม – ตุลาคม)มีแนวโน้มลดลงในหลายพื้นที่ของประเทศไทย เช่น ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Limsakul, et al. (2007)

สำหรับดัชนีความแรงของฝนพบว่า มีการเพิ่มขึ้นทั่วทุกภาค ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงความแรงของฝนในภาพรวมของประเทศไทย มีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Alexander, et al. (2006) ที่ระบุถึง ความแรงของฝนมากกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นดินทั่วโลกในระยะหลังของศตวรรษที่ 20 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าดัชนีปริมาณฝนที่มากผิดปกติ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลาง ซึ่งผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในช่วงทศวรรษต่อทศวรรษพบว่า ดัชนีปริมาณฝนที่มากผิดปกติ มีค่าสูงขึ้นหลัง ปี ค.ศ. 1990

ส่วนสภาวะความรุนแรงของฝนในรูปแบบของจำนวนวันที่ฝนไม่ตกและจำนวนวันฝนตกอย่างต่อเนื่องในประเทศไทย มีหลักฐานที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัด และมีลักษณะที่สอดคล้องในพื้นที่กว้างเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีอื่น โดยการเปลี่ยนแปลงได้บ่งชี้ถึงจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่องมีระยะเวลายาวนานขึ้น ในขณะที่จำนวนวันที่ฝนตกอย่างต่อเนื่องมีระยะเวลาล้นลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว แสดงถึงความเสี่ยงต่อสภาวะแห้งแล้ง และน้ำท่วมฉับพลันในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น

การประเมินพื้นที่วิกฤติของสภาวะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย โดยการวิเคราะห์ดัชนีของสภาวะความรุนแรงของฝน 10 ดัชนี ด้วยเทคนิค PCA พบว่า ผลรวมของ principal score ของ PC ใหม่ที่ 1-3 ซึ่งเป็นดัชนีรวมที่เป็นตัวแทนดัชนีความรุนแรงของฝนในรูปแบบ RAINtot, SDII, R95p R50, R10, R1day และ R5day มีการเบี่ยงเบนทางด้านบวกสูงสุด 3 ลำดับแรก (พื้นที่เสี่ยงต่ออุทกภัย) เกิดขึ้นในจังหวัด นครศรีธรรมราช แม่ฮ่องสอน และพะเยา ในขณะที่ค่าผลรวมของ principal score ที่มีการเบี่ยงเบนทางด้านลบสูงสุด 3 ลำดับแรก (พื้นที่เสี่ยงต่อภัยแล้ง) เกิดขึ้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา นครราชสีมา และบุรีรัมย์

การเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของฝนในประเทศไทย ย่อมส่งผลกระทบต่อระบบสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะทั้งการเพิ่มขึ้นและการลดลงในอัตราที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายในแง่รูปแบบ ความถี่ และความรุนแรงของผลกระทบและภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะความรุนแรงของฝนในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศ ซึ่งเห็นได้จาก เหตุการณ์ภัยแล้ง และอุทกภัย อันเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นซ้ำซาก มีแนวโน้มความถี่ของการเกิดและความรุนแรงเพิ่มขึ้นในหลายพื้นที่ของประเทศไทย จากความหลากหลายของรูปแบบและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของฝนที่เกิดขึ้นในประเทศไทย แสดงให้เห็นว่า แนวทางการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมต่อการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น มีความสลับซับซ้อน และจะต้องมีการดำเนินการในเชิงบูรณาการ รวมทั้งมีแผนเชิงรุกมากกว่าแนวทางที่ดำเนินการในปัจจุบัน อีกทั้งแนวทางการปรับตัวและการตั้งรับสภาวะความรุนแรงของฝน ควรมีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบ ความรุนแรง และความถี่ของเหตุการณ์ ตลอดจนบริบทด้านต่าง ๆ ของพื้นที่นั้น

ผลการศึกษาครั้งนี้ นับว่ามีส่วนสำคัญที่สร้างความรู้ความเข้าใจและองค์ความรู้ใหม่ถึงรูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการขยายผลการศึกษาวิจัยในรายละเอียด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ สามารถนำไปสู่การ

วางแผน การดำเนินการ การจัดการ ในการแก้ไข และนำไปปฏิบัติให้เกิดการบรรเทา หรือหยุดยั้งผลกระทบและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างเป็นรูปธรรมและทันต่อเหตุการณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประเมินความเสี่ยง ความล่อแหลม และความเสียหายจากสภาวะความรุนแรงของอุณหภูมิและน้ำฝนในระดับจังหวัด โดยพื้นที่วิกฤติที่ได้วิเคราะห์จากการศึกษานี้ ควรให้ความสำคัญในลำดับต้น ๆ นอกจากนี้ ความเชื่อมโยงของการเปลี่ยนแปลงของสภาวะความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศในระยะสั้น กับความแปรปรวนของภูมิอากาศระดับภูมิภาคและระดับโลก ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียด ซึ่งจะช่วยให้แนวทางการจัดการและการตั้งรับในระยะสั้นต่อสภาวะความรุนแรงของลมฟ้าอากาศมีความชัดเจนและสมบูรณ์มากขึ้น ประการสำคัญที่ควรมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง คือ การพัฒนาระบบการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพข้อมูลภูมิอากาศรายปี รายเดือน รายวัน รวมทั้งรายชั่วโมง รวมทั้งการจัดทำฐานข้อมูลภูมิอากาศคุณภาพสูงอื่นๆ ที่เป็นข้อมูลจากการตรวจวัดจากภาคพื้นดินและข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวจะเป็นเครื่องมือพื้นฐานสำคัญยิ่งของการศึกษาวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่นับวันจะมีความสำคัญมากขึ้น อีกทั้งยังทำให้ระดับการศึกษาวิจัยดังกล่าวในประเทศไทย มีมาตรฐานเทียบเท่าในระดับสากล

บทที่ 6

เอกสารอ้างอิง

1. IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and USA, 996 pp.
2. IPCC. 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and USA, 976 pp.
3. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). 2006. Asian aspirations for climate regime beyond 2012. Japan. 115 pp.
4. สมบัติ อยู่เมือง. 2005. การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลเพื่อการบริหารจัดการพิบัติภัยที่เกิดจากน้ำท่วมในลุ่มน้ำปิง วัง ยมและน่าน. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์, 4/1, 1-19.
5. สุขประโชค เอื้อกฤดาภิกร. 2006. ภัยธรรมชาติกับภาวะโลกร้อน. วารสารสิ่งแวดล้อม, 10/2, 32-40.
6. Guha-Sapir, D., Hargitt, D. and Hoyois, P. 2004. Thirty years of natural disasters 1974-2003: The numbers. Center for Research on the Epidemiology of Disasters, Department of Public Health, Université catholique de Louvain. 190 pp.
7. กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. <http://www.disaster.go.th>.
8. Asian Disaster Reduction Center (ADRC). 2005. ADRC-Natural Disasters Data Book. <http://www.adrc.or.jp>. 88 pp.
9. Gregory, J.M., Mitchell, F.B. and Brady, A.J. 1997. Summer drought in northern mid-latitudes in a time-dependent CO₂ climate experiment. Journal of Climate, 10, 662-686.
10. Juneng, L. and Tangang, F.T. 2005. Evolution of ENSO-related rainfall anomalies in Southeast Asia region and its relationship with atmosphere-ocean variations. Climate Dynamic, 25, 337-350.
11. Lau, N.C. and Nath, M.J. 2003. Atmosphere-Ocean variation in the Indo-Pacific sector during ENSO episode. Journal of Climate, 16, 3-20.
12. Timmermann, A., Oberhuber, J., Bacher, A., Esch, M., Latif, M., Roeckner, E. 1999. Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. Nature, 398, 694-697.

13. Limsakul, A. and Goes, J.I. 2008. Empirical evidence of interannual and longer period variability in Thailand surface air temperature. *Journal of Atmospheric Research*, 87, 89-102.
14. Limsakul, A., Sangchan, L. and Boonchon, S. 2007. Spatio-temporal changes in total annual rainfall and the annual number of rainy days in Thailand. *Journal of Environmental Research*, 29, 1-21.
15. Meehl, G.A. et al. 2000. An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observation, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts and model projections. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81, 413-416.
16. Harvard Medical School 2005. Climate change futures: Health, ecological and economic dimensions. The Center for Health and the Global Environment, 138 pp.
17. Coles, S. 2001. An introduction to statistical modeling of extreme values. Springer-Verlag, London, 208 pp.
18. Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R. and Mearns, L.O. 2000. Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science*, 289, 2068-2074.
19. Karl, T.R., Knight, R.W. Easterling, D.R., Quayle, R.G. 1996. Indices of climate change for the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 279-291.
20. Easterling, D.R., Evans, J.L., Groisman, P.Y., Karl, T.R., Kunkel, K.E. and Ambenje, P. 2000. Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81, 417-425.
21. Alexander, L.V. et al. 2006. Global observed changes in daily climate extreme of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111, D05109, doi: 10.1029/2005JD006290.
22. Easterling, D.R., Alexander, L.V., Mokssit, A. and Detemmerman, V. 2003. CCI/CLIVAR Workshop to develop priority climate indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84, 1403-1407.
23. The joint World Meteorological Organization (WMO) Commission for Climatology (CCI)/World Climate Research Program (WCRP) Climate Variability and Predictability (CLIVAR) Project's Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI). <http://www.clivar.org/organization/etccd>.
24. May, W. 2004. Variability and extremes of daily rainfall during the Indian summer monsoon in the period 1901-1989. *Global and Planetary Change*, 44, 83-105.
25. Osborn, T.J. and Hulme, M. 2002. Evidence for trends in heavy rainfall events over the UK. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*. 360, 1313-1325.

100. Trenberth, K.E. 1999. Conceptual framework for changes of extremes of the hydrological cycle with climate change. *Climatic Change*, 42, 327-339.
101. Kunkel, K.E., Changnon, S.A., Reinke, B.C. and Arritt, R.W. 1996. The July 1995 heat wave in the Midwest: A climatic perspective and critical weather factors. *Bulletin of the American Metrological Society*, 77, 1507-1518.
102. Round, P.D. and Gale, G.A. 2008. Changes in the status of Lophura Pheasants in Khao Yai National Park, Thailand: A response to warming climate?. *Biotropica*, 40, 225-230.

26. Nadarajah, S. 2005. Extremes of daily rainfall in west central Florida. *Climatic Change*, 69, 325-342.
27. Fowler, H.J. and Kilsby, C.G. 2003. A regional frequency analysis of United Kingdom extreme rainfall from 1961 to 2000. *International Journal of Climatology*, 23, 1313-1334.
28. Schiermeier, Q. 2005. Hurricane liken to climate change is hazy. *Nature*, 437, 461.
29. Appel, A. 2005. After Katrina: Tracking the toxic flood. *Nature*, 437, 462.
30. United Nations 2008. Myanmar tropical cyclone Nargis: Flash appeal. 50 pp.
31. Griffiths, M.L. and Bradley, R.S. 2007. Variation of twentieth-century temperature and precipitation extreme indicators in the Northeast United States. *Journal of Climate*, 20, 5401-5417.
32. Gaffen, D.J. and Ross, R.J. 1998. Increased summertime heat stress in the US. *Nature*, 396, 529-530.
33. Manton M.J., et al. 2001. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998.
34. Wang, J.X.L. and Gaffen, D.J. 2001. Late-twentieth-century climatology and trends of surface humidity and temperature in China. *Journal of Climate*, 14, 2833-2845.
35. 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.
36. Domonkos, P., Kysely, J., Piotrowicz, K., Petrovic, P. and Likso, T. 2003. Variability of extreme temperature events in south-central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation. *International Journal of Climatology*, 23, 987-1010.
37. Rusticucci, M. and Barrucand, M. 2004. Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *Journal of Climate*, 17, 4099-4107.
38. Prieto, L., Herrera, R.G., Diaz, J., Hernandez, E. And del Teso, T. 2004. Minimum extreme temperatures over Peninsular Spain. *Global and Planetary Change*, 44, 59-71.
39. Gong, D. and Ho, C.H. 2004. Intra-seasonal variability of wintertime temperature over East Asia. *International Journal of Climatology*, 24, 131-144.
40. Bhutiyani, M.R., Kale, V.S. and Pawar, N.J. 2007. Long-term trends in maximum, minimum and mean annual air temperatures across the Northwestern Himalaya during the twentieth century. *Climatic Change*, 85, 159-177.
41. Vincent, L.A., van Wijngaarden, W.A. and Hopkinson, R. 2007. Surface temperature and humidity trends in Canada for 1953-2005. *Journal of Climate*, 20, 5100-5113.

42. Dash, S.K., Jenamani, R.K., Kalasi, S.R. and Panda, S.K. 2007. Some evidence of climate change in twentieth-century India. *Climatic Change*, 85, 299-321.
43. Suppiah, R. and Hennessy, K. 1998. Trends in total rainfall, heavy rainfall events and number of dry days in Australia, 1910-1990. *International Journal of Climatology*, 10, 1141-1164.
44. Goswami, B.N., Venugopal, V., Sengupta, D., Madhusoodanan, S. and Xavier, P.X. 2006. Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment. *Science*, 314, 1442-1445.r.
45. Karl, T.R. and Knight, R.W. 1998. Secular trends of precipitation amount, frequency and intensity in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, 231-241.
46. Schmidli, J. and Frei, C. 2003. 20th century trends of extreme precipitation conditions in the Swiss Alps. *STARDEX*, 1-5.
47. Groisman, P.Y., Knight, R.W., Easterling, D.R., Karl, T.R., Hegerl, G.C. and Razuvaev, V.N. 2005. Trends in intense precipitation in the climate record. *Journal of Climate*, 18, 1326-1349.
48. Zhai P., Zhang, X., Wan, H. And Pan, X. 2005. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *Journal of Climate*, 18, 1096-1108.
49. Ross, R.J. and Elliott, W.P. 1996. Tropospheric water vapor climatology and trends over North America: 1973-1993. *Journal of Climate*, 9, 3561-3574.
50. Elliott, W.P. and Angell, J.K. 1997. Variations of cloudiness, precipitable water, and relative humidity over the United States: 1973-1993. *Geophysical Research Letters*, 24, 41-44.
51. Gaffen, D.J. and Ross, R.J. 1999. Climatology and trends of U.S. surface humidity and temperature. *Journal of Climate*, 12, 811-828.
52. Robinson, P.J. 2000. Temporal trends in United States dewpoint temperature. *International Journal of Climatology*, 20, 985-1002.
53. Ross, R.J. and Elliott, W.P. 2001. Radiosonde-based Northern Hemisphere tropospheric water vapor trends. *Journal of Climate*, 14, 1602-1612.
54. Trenberth, K.E., Fasullo, J. And Smith, L. 2005. Trends and variability in column-integrated atmospheric water vapor. *Climate Dynamics*, 24, 741-758.
55. Dai, A.G. 2006. Recent climatology, variability and trends in global surface humidity. *Journal of Climate*, 19, 3589-3606.
56. Seidal, T.M., Grant, A.N., Pszenny, A.A.P. and Allman, D.J. 2007. Dewpoint and humidity measurements and trends at the summit of Mount Washington, New Hampshire, 1935-2004. *Journal of Climate*, 20, 5629-5641.
57. Eischeid, J.K., Baker, C.B., Karl, T.R. and Diaz, H.F. 1995. The quality control of long-term

- climatological data using objective data analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 34, 2787-2795.
58. Peterson, T.C. and Vose, R.S. 1997. An overview of the global historical climatology network temperature database. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 2837-2849.
 59. Peterson, T.C., Vose, R., Schmoyer, R. and Razuvaev, V. 1998. Global historical climatology network (GHCN) quality control of monthly temperature data. *International Journal of Climatology*, 18, 1169-1179.
 60. www.tmd.go.th และ www.rid.go.th
 61. Vincent, L.A. and Gullett, D.W. 1999. Canadian historical and homogeneous temperature datasets for climate change analyses. *International Journal of Climatology*, 19, 1375-1388.
 62. Auger, I. et al. 2005. A new instrumental precipitation dataset for the Greater Alpine Region for the period 1800-2002. *International Journal of Climatology*, 25, 139-166.
 63. Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T.C. and Wieringa, J. 2003. Guideline on climate metadata and homogenization. World Climate Programme Data and Monitoring WCDMP-No. 53. WMO-TD No. 1186, WMO, Geneva.
 64. WMO. 1996. Guide to metrological instrument and methods of observation (6th edition), WMO-No. 8., World Meteorological Organization, Geneva.
 65. Wijngaard, J.B., Klein, A.M.G. and Können, G.P. 2003. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology*, 23, 679-692.
 66. Vincent, L.A. and Zhang, X. 2002. Homogenization of daily temperatures over Canada. *Journal of Climate*, 15, 1322-1334.
 67. Filippov, V.V. 1968. Quality control procedures for meteorological data, World Weather Watch Planning Report No. 26, World Meteorological Organization, Geneva, 38 pp.
 68. Peterson, T.C. 1994. Report of the International Workshop on quality control of monthly climate data. NCDC Global Climate Laboratory Monograph, 28 pp.
 69. Szalai, S., Szentimrey, T. and Szinell, C (eds). 1999. Proceedings of the second seminar for homogenisation of surface climatological data bases. Budapest, 9-13 Nov.1998, WCDMP 41, WMO-TD 962. WMO, Geneva.
 70. Feng, S., Hu. Q. and Qian, W. 2004. Quality control of daily metrological data in China, 1951-2000: A new dataset. *International Journal of Climatology*, 24, 853-870.
 71. Kubecka, P. 2001. A possible world record maximum natural ground surface temperature. *Weather*, 56, 218-221.
 72. Gleason, E. 2002. Global daily climatology network, V1.0. National Climatic Data Center, 151

Patton Ave., Asheville, NC.

73. Reek, T., Doty, S.R., Owen, T.W. 1992. A deterministic approach to the validation of historical daily temperature and precipitation data from the cooperative network. Bulletin of the American Meteorological Society, 73, 753-762.
74. Hubbard, K.G. 2001. Multiple station quality control procedures. In proceedings of Automated weather stations for applications in agriculture and water resource management : current use and future perspectives, Hubbard, K.G. and Sivakumar, M.V.K. (eds.), Lincoln, Nebraska, USA, 6-10 March 2000, 133-136
75. Szalai, S. and Szentimrey, T. (eds.) 2004. Proceedings of the 4th seminar for homogenisation and quality control in climatological data base, Budapest, 6-10 October 2003. WCDMP 56, WMO-TD 1236. WMO, Geneva.
76. Busishand, T.A. 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. Journal of Hydrology, 58, 11-27.
77. Craddock, J.M. 1979. Methods of comparing annual rainfall records for climate purposes. Weather, 34, 332-346.
78. Auer, I. 1992. Experiences with the completion and homogenization of long-term precipitation series in Austria, Centr. Europ. Research Initiative, Proj. Gr. Meteorology, Wp. 1, Vienna.
79. Szentimrey, T. 1996. Statistical procedure for joint homogenization of climate time series. Proceedings of the seminar for homogenization of surface climatological data. Budapest, Hungary, pp. 47-62.
80. Szentimrey, T. 1999. Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). Proceedings of the second seminar for homogenization of surface climatological data, Budapest, Hungary, WMO, WCDMP-No. 41, pp. 27-46.
81. Szentimrey, T. 2000. Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH); Seasonal application of MASH, automated using of meta data. Proceedings of the 3rd seminar for homogenization of surface climatological data, Budapest, Hungary.
82. Vincent, L.A. 1998. A technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series. Journal of Climate, 11, 1094-1104.
83. Pettit, A.N. 1979. A non-parametric approach to the change-point detection. Applied Statistics, 28, 126-135.
84. Lanzante, J.R. 1996. Resistant robust and nonparametric techniques for the analysis of climate data; theory and examples including application to historical radiosonde station data. International Journal of Climatology, 16, 1197-1226.

85. Alexandersson, H. 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climate*, 6, 661-675.
86. Wang, X.L., Wen, Q.H. and Wu, Y. 2007. Penalized maximal t test for detecting undocumented mean change in climate data series. *Journal of Applied Meteorological Climatology*, 46, 916-931.
87. Wang, X.L. 2008. Penalized maximal F -test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change. *Journal of Atmospheric Oceanic Technology*, Accepted.
88. Griffiths, G.M. et al. 2005. Changes in mean temperature as a predictor of extreme temperature change in the Asia-Pacific region. *International Journal of Climatology*, 25, 1301-1330.
89. Lanzante, J.R. 1996. Resistant, robust and non-parametric techniques for the analysis of climate data: Theory and examples, including applications to historical radiosonde station data. *International Journal of Climatology*, 16, 1197-1226.
90. Kendall, M.G. 1970. Rank correlation methods. 4th ed., London Griffin, 258 pp.
91. Ntale, H.K. and Gan T.Y. 2003. Drought indices and their application to East Africa. *International Journal of Climatology*, 23, 1335-1357.
92. Edwards, C.D. and McKee, T.B. 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Atmospheric Science Paper No. 634, Climatology Report, No. 97-2, Department of Atmospheric Sciences, Colorado State University.*
93. Preisendorfer, R.W. 1988. Principal component analysis in meteorology and oceanography. Elsevier, New York, USA. 419 pp.
94. Emery, W.J. and Thomson, R.E. 1997. Data analysis methods in physical oceanography. Pergamon Press, New York, USA. 634 pp.
95. Jolliffe, I.T. 2002. Principal component analysis, 2nd edition. Springer-Verlag New York, Inc., USA. 478 pp.
96. Moberg, A., et al. 2006. Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901-2000. submitted to *Journal of Geophysical Research*.
97. Brunet, et al. 2006. The development of a new daily adjusted temperature dataset for Spain (1850-2003). *International Journal of Climatology*, in review.
98. Osborn, T.J., Hulme, M., Jones, P.D. and Basnett, T.A. 2000. Observed trends in the daily intensity of United Kingdom Precipitation. *International Journal of Climatology*, 20, 347-364.
99. Trenberth, K.E. and Hoar, T.J., 1996. The 1990-1995 El Niño-Southern Oscillation event: Longest on record. *Geophysical Research Letters*, 23, 57-60.