



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

**ความแปรปรวนของสภาพอากาศของประเทศไทย
อันเนื่องมาจากความผิดปกติทางสมุทรศาสตร์**

โดย ธชณัฐ ภัทรสถาพรกุล และคณะ

มีนาคม 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

ความแปรปรวนของสภาพอากาศของประเทศไทย
อันเนื่องมาจากความผิดปกติทางสมุทรศาสตร์

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. นายธณัฐ ภัทรสถาพรกุล | คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี |
| 2. นายเฉลิมรัฐ แสงมณี | ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัย และฝึกอบรม
การเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ |
| 3. นายธนัช เชิงบันลือศักดิ์ | ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัย และฝึกอบรม
การเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ |

ที่ปรึกษาโครงการ

สังกัด

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. ดร. อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา | ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัย และฝึกอบรม
การเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 2. ดร. ศุภิชัย ตั้งใจตรง | คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน กระทรวงพลังงาน |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชั้นบรรยากาศและผิวน้ำมหาสมุทรมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมเสถียรภาพของภูมิอากาศ ประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่บนคาบสมุทรอินโดจีนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีอาณาเขตเชื่อมต่อกับทั้งสองฟากฝั่งมหาสมุทร ได้แก่ ด้านฝั่งอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ถือเป็นส่วนหนึ่งของมหาสมุทรแปซิฟิก ส่วนทางด้านฝั่งทะเลอันดามันและเขตไหล่ทวีปถือเป็นส่วนหนึ่งของมหาสมุทรอินเดีย ดังนั้น ความผันแปรของสภาพทางสมุทรศาสตร์ที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดียนย่อมมีอิทธิพลในการขับเคลื่อนทั้งโดยตรงและทางอ้อมต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศของประเทศไทย

นอกเหนือจากปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาในมหาสมุทรแปซิฟิก ประเทศไทยยังได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole (IOD) ซึ่งเป็นความแปรปรวนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรอินเดีย โดยสภาวะดังกล่าวนี้เริ่มต้นจากการเย็นตัวลงอย่างผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลทางฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของมหาสมุทรอินเดีย บริเวณเกาะสุมาตราของประเทศอินโดนีเซีย พร้อมกับเกิดการอุ่นขึ้นของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรอินเดียในขณะเดียวกัน ปรากฏการณ์ดังกล่าวเชื่อว่าเป็นสาเหตุให้ประเทศไทยเผชิญกับสภาวะอากาศรุนแรง เกิดสภาพฝนตกหนักผิดปกติอย่างต่อเนื่องทำให้หลายภูมิภาคของประเทศไทยประสบอุทกภัยอย่างหนัก งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายความเชื่อมโยงของปรากฏการณ์ IOD ที่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยเพื่อนำไปสู่ความเป็นไปได้ในการระบุพื้นที่เสี่ยงภัยของประเทศไทย

การวิเคราะห์ตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาล พร้อมทั้งทดสอบความสัมพันธ์กับดัชนีสมุทรศาสตร์ DMI ยืนยันว่าปรากฏการณ์ IOD ในมหาสมุทรอินเดียมีอิทธิพลทำให้ปริมาณน้ำฝนรวมรายปีของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งผลกระทบดังกล่าวนี้เมื่อพิจารณาถึงความแปรปรวนในเชิงเวลาโดยการแยกวิเคราะห์ด้วยปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลพบว่าปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงฤดูฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ทว่าปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงฤดูแล้งถดถอยมากกลับมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตาม ผลกระทบข้างต้นนั้นพบว่ามีแนวโน้มไปตามอิทธิพลของสภาวะปรากฏการณ์ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก กล่าวคือ ปรากฏการณ์ IOD ในมหาสมุทรอินเดียนั้นทำหน้าที่เป็นเสมือนตัวกลาง (modulator) ในการปรับอิทธิพลของสัญญาณที่มาจากปรากฏการณ์ ENSO ซึ่งทรงกำลังมากกว่า เนื่องจากมหาสมุทรแปซิฟิกมีขนาดกว้างใหญ่นั้นเอง ดังนั้น การวิเคราะห์ระดับของผลกระทบในเชิงพื้นที่ที่มีต่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยนั้น จำเป็นต้องพิจารณาทั้งสภาวะปรากฏการณ์ ENSO และ IOD ควบคู่กัน

การวิเคราะห์ขอบเขตพื้นที่และรูปแบบการกระจายปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยในเบื้องต้นพบว่าไม่สามารถจะเชื่อมโยงเพื่อตอบโจทย์ประเด็นคำถามวิจัยเรื่องผลกระทบในเชิงพื้นที่ได้อย่างชัดเจนนัก แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ตรวจสอบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีในแต่ละสถานีโดยแสดงผลในรูปแบบเชิงพื้นที่ พร้อมทั้งพิจารณาเงื่อนไขเหตุการณ์ในการเกิดสภาวะคู่ควบระหว่างปรากฏการณ์ ENSO และ IOD ซึ่งพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วปริมาณน้ำฝนรวมรายปีมีแนวโน้มลดลงซึ่งเป็นไปตามอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ ทว่ายกเว้นในกรณีเงื่อนไขของเหตุการณ์สภาวะคู่ควบที่ปรากฏการณ์ IOD กำลังแรงเกิดร่วมกับปรากฏการณ์เอลนีโญกำลังอ่อนกลับพบว่าปริมาณน้ำฝนรวมรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในบริเวณตอนบนของประเทศไทย โดยพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวและเสี่ยงภัยสูงได้แก่ ภาคเหนือ และ ภาคกลางตอนบน เนื่องจากบริเวณดังกล่าวนั้นถือเป็นแนวพัดผ่านของลมตะวันตกที่เกิดมาจากลมประจำถิ่นในทะเลอาราเบียนและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หอบพาเอาความชื้นในอากาศสูงอันเป็นผลเนื่องจากการอุ่นขึ้นอย่างผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลด้านฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรอินเดียที่มีความเชื่อมโยงกับกลไกของสภาวะปรากฏการณ์ IOD จึงเป็นสาเหตุหลักให้เกิดสภาวะการผันผวนหนักและอุทกภัยในบริเวณดังกล่าวของประเทศไทย

การวิเคราะห์อนุกรมเวลาของสภาวะปรากฏการณ์ IOD ในรอบระยะเวลา 150 ปีที่ผ่านมาด้วยดัชนีสมุทรศาสตร์ DMI ระหว่างปี 1856-2006 ด้วยวิธีการในรูปแบบ wavelet power spectrum พบว่าคาบการอุบัติซ้ำของปรากฏการณ์ IOD นั้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากคาบเวลาระหว่าง 4-8 ปีในอดีตเป็นคาบเวลาระหว่าง 1-4 ปี นับตั้งแต่ช่วงปี 1990 เป็นต้นมา ซึ่งเห็นได้ว่าในรอบ 2 ทศวรรษที่ผ่านมาพบว่าสภาวะปรากฏการณ์ IOD มีแนวโน้มเกิดขึ้นถี่ครั้งมากขึ้น

ทั้งปรากฏการณ์ IOD และ ENSO จัดเป็นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในคาบเวลาระหว่างรอบปี (interannual variability) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศ อย่างไรก็ตามการแยกขนาดและน้ำหนักของสัญญาณร่วมระหว่างอิทธิพลของ IOD และ ENSO รวมทั้งนัยสำคัญสัมพัทธ์ต่อระดับของความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ยังเป็นสิ่งท้าทายสู่การวิจัยลำดับต่อยอดต่อไป เพื่อพัฒนาความสามารถในการคาดการณ์ผลกระทบแบบทันเวลา (real time) นอกจากนี้ พบว่ายังคงมีปัจจัยทางสมุทรศาสตร์อื่นๆที่จำแนกตามระดับของความแปรปรวนตามคาบเวลา ซึ่งผู้วิจัยได้กล่าวไว้ในเบื้องต้นของบทนำ ปัจจัยเหล่านั้นต่างมีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศของประเทศไทยเช่นเดียวกัน อาทิเช่น ความแปรผันเชิงฤดูกาล (seasonal variation) ซึ่งขึ้นกับปัจจัยหลักคือระบบลมมรสุม (monsoon) นอกจากนี้ยังพบความแปรปรวนภายในฤดูกาล (intraseasonal variability) เช่น ปรากฏการณ์ Madden Julian Oscillation (MJO) รวมไปถึงคลื่นพเนจร ได้แก่ คลื่นเคลวินและรอสบี โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวเหล่านี้ล้วนมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน และส่งอิทธิพลในเชิงพื้นที่และเวลาที่ต่างกัน จึงยังคงเป็นประเด็นวิจัยที่ควรต้องเร่งศึกษากันต่อไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อชุดโครงการวิจัยนี้ หากสามารถผนวกเข้ากับการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : RDG5030033

ชื่อโครงการ : ความแปรปรวนของสภาพอากาศของประเทศไทยอันเนื่องมาจากความผิดปกติทางสมุทรศาสตร์

ชื่อนักวิจัย : นายธณัฐ ภัทรสถาพรกุล
คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี
นายเฉลิมรัตน์ แสงมณี และ นายธนัช เชิงบันลือศักดิ์
ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัย และฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลก
แห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (START) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

email address : tachanat@buu.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : กรกฎาคม 2550 – กรกฎาคม 2551

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชั้นบรรยากาศและผิวหน้ามหาสมุทรมีบทบาทในการควบคุมเสถียรภาพของภูมิอากาศ นอกเหนือจากปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาในมหาสมุทรแปซิฟิก ประเทศไทยยังได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole (IOD) ซึ่งเป็นความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรอินเดียบ่งชี้ด้วยดัชนี Dipole Mode Index (DMI) ซึ่งเป็นความแตกต่างของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลระหว่างฝั่งตะวันตกและฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของมหาสมุทรอินเดีย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายความเชื่อมโยงของปรากฏการณ์ IOD ที่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยเมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลกับดัชนี DMI โดยใช้ข้อมูลสถิติปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทั้งสิ้น 80 สถานีทั่วประเทศในช่วงระหว่างปี 1976–2008 ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก (Principal Components Analysis) พบว่าปรากฏการณ์ IOD ทำให้ปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและปริมาณน้ำฝนสะสมในฤดูฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณน้ำฝนสะสมในฤดูแล้งถดถอยมีแนวโน้มลดลง โดยระดับของผลกระทบจะแปรผันไปตามอิทธิพลของปรากฏการณ์ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งปรากฏการณ์ IOD ทำหน้าที่เป็นเสมือนตัวกลางในการปรับอิทธิพลของปรากฏการณ์ ENSO โดยพื้นที่เสี่ยงภัยสูง ได้แก่ ภาคเหนือและภาคกลางตอนบน ในเงื่อนไขสภาวะคู่ควบระหว่างปรากฏการณ์ IOD กำลังแรงที่เกิดร่วมกับปรากฏการณ์เอลนีโญกำลังอ่อน นอกจากนี้ ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธี Wavelet Power Spectrum ยังพบว่าคาบการอุบัติซ้ำของปรากฏการณ์ IOD เปลี่ยนแปลงจากคาบ 4–8 ปีในอดีต เป็นคาบ 1–4 ปี นับตั้งแต่ช่วงปี 1990 เป็นต้นมา

คำหลัก : Indian Ocean Dipole, ENSO, สมุทรศาสตร์, ปริมาณน้ำฝน, ความแปรปรวนของสภาพอากาศ

Abstract

Project Code : RDG5030033

Project Title : Thailand's Climate Variability Associated with Some Oceanographic Anomalies

Investigators : Tachanat Bhatrasataponkul
 Faculty of Marine Technology, Burapha University, Chanthaburi Campus
 Chalermrat Sangmanee and Thanat Choengbunluesak
 Southeast Asia START Regional Center, Chulalongkorn University

email address : tachanat@buu.ac.th

Project Duration : July 2007 – July 2008

Atmosphere-ocean interaction plays a key role in stabilizing of climatic condition. Besides ENSO in the Pacific Ocean, Thailand is also influenced by Indian Ocean Dipole (IOD) which is characterized as an oscillatory mode of the anomalous sea surface temperature in the Indian Ocean indicated by Dipole Mode Index (DMI). A study was investigated with the aim of describing the relationship between IOD and rainfall variability of Thailand. Rainfall data sets spanning the period 1976–2008 obtained from totally 80 meteorological stations were examined using principal component analysis. The results revealed that the first principal components of total annual rainfall and accumulated wet season rainfall displayed slightly positive association, but that of subsequent accumulated dry season rainfall illustrated relatively negative relationship. However, the extent to which IOD affected the rainfall variability varied significantly upon the combination event and relative strength of ENSO in the Pacific Ocean. In a word, it is apparent that IOD be critically concerned as a modulator of ENSO influences. Furthermore, excess rainfall and severe floods are expected in the northern and upper central parts of Thailand with particular case of strong IOD combined with weak El Niño phase. In addition to time series analysis using wavelet power spectrum, IOD return period has changed from 4-8 years to 1-4 years since 1990s.

Keywords : Indian Ocean Dipole, ENSO, oceanography, rainfall, precipitation, climate variability

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้ชุดโครงการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบต่อประเทศไทย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณสุปราณี จงดีไพศาล ผู้อำนวยการฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำนาจ ชิตไธสง บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (JGSEE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเจ้าเกออร์จทาวน์ ผู้ประสานงานชุดโครงการ และขอขอบคุณ คุณอนุสรณ์ บุญปก และคุณนิสา แก้วแกมทอง ผู้ช่วยผู้ประสานงานชุดโครงการ ที่ช่วยประสานงานให้โครงการวิจัยนี้ดำเนินไปด้วยความราบรื่นตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา ผู้อำนวยการศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภิชัย ตั้งใจตรง กรรมการกำกับกิจการพลังงาน กระทรวงพลังงาน ในฐานะที่ได้กรุณาให้เกียรติเป็นที่ปรึกษาโครงการวิจัย ช่วยชี้แนะและให้ข้อสังเกตต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อทิศทางการทำวิจัยและทำให้งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. เจิดจินดา โชติยะปุตตะ นักวิชาการประมง 9 ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง และ ดร. สมเกียรติ ขอกเกียรติวงศ์ นักวิชาการประมง 8 หัวหน้าฝ่ายสมุทรศาสตร์และสิ่งแวดล้อม สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ที่ให้ความอนุเคราะห์แก่ผู้วิจัยในการเข้าร่วมสังเกตการณ์ในงานประชุม IOGOOS Workshop and The Fifth Annual Meeting (IOGOOS V) และ The Second High Level Review of Indian Ocean Panel (IOP) ซึ่งจัดขึ้นในระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน ถึง 3 ธันวาคม 2550 ณ โรงแรมเมโทรโพล จังหวัดภูเก็ต ซึ่งมีสาระที่เป็นประโยชน์ต่อแนวทางการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ชิตชนก เหลือสินทรัพย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ และศูนย์วิจัย Advanced Virtual Intelligent Computing (AVIC) คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับแนวคิด หลักการ และเทคนิควิธีทางด้านโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Networks) และตรรกะฟัซซี (Fuzzy Logic) ที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยชายฝั่งทะเลและสภาพภูมิอากาศ คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสารสนเทศจันทบุรี สำหรับห้องทำงานและสิ่งอำนวยความสะดวก ตลอดจนลูกศิษย์ทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือในการจัดหาและเรียบเรียงข้อมูล

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ คณาจารย์ในภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การอบรมสั่งสอนทั้งด้านวิชาการ แนวคิด และทัศนคติที่ดี อีกทั้งเป็นแบบอย่างที่ดีงามทั้งในการทำงานและการดำเนินชีวิต

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	ก
บทคัดย่อ ภาษาไทย	ค
บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่	
1 บทนำ	1
2 กรอบแนวคิดและวิธีดำเนินการวิจัย	17
3 ผลการศึกษาและอภิปราย	25
4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	47
เอกสารอ้างอิง	49
ภาคผนวก	52
ก สถานีตรวจอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา	53
ข ดัชนีความผิดปกติทางสมุทรศาสตร์	54
ค ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทย	58
ง ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์	92

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ปัจจัยทางสมุทรศาสตร์ในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดียเขตร้อนที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพและความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	2
3.1 สัดส่วนความแปรปรวนที่สกัดได้มาจากการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝน	28
3.2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสมุทรศาสตร์และตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝน	28
3.3 เปรียบเทียบจุดศูนย์กลางข้อมูลปริมาณน้ำฝนรวมรายปีในการใช้เทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูล	36
ก ตำแหน่งสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา	53
ข-1 ดัชนี Multivariate ENSO Index (MEI) บ่งชี้สภาวะ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก	54
ข-2 ดัชนี Niño 3.4 บ่งชี้สภาวะ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก	55
ข-3 ดัชนี Niño 1+2 บ่งชี้สภาวะ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก	56
ข-4 ดัชนี Dipole Mode Index (DMI) บ่งชี้สภาวะ Indian Ocean Dipole ในมหาสมุทรอินเดีย	57
ง ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์และผลการดำเนินงาน	93

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	กลไกของระบบลมมรสุมฤดูร้อนและมรสุมฤดูหนาว
1.2	ความแปรผันเชิงพื้นที่ของวันที่เริ่มต้นของมรสุมฤดูร้อนในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก
1.3	ความแปรผันเชิงพื้นที่ของวันที่สิ้นสุดของมรสุมฤดูร้อนในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก
1.4	ความแปรผันเชิงพื้นที่ของน้ำฝนสูงสุดของมรสุมฤดูร้อนในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก
1.5	การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวเบงกอลและการเซตตัวของมรสุมฤดูร้อน
1.6	กลไกการเปลี่ยนแปลงความเค็มและอุณหภูมิของชั้นน้ำตามทฤษฎี Barrier Layer Theory
1.7	สภาวะปรากฏการณ์ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก
1.8	ดัชนี Southern Oscillation Index (SOI) บ่งชี้สภาวะปรากฏการณ์ ENSO
1.9	ดัชนี Multivariate ENSO Index (MEI) บ่งชี้สภาวะปรากฏการณ์ ENSO
1.10	ดัชนี Niño 3.4 บ่งชี้สภาวะปรากฏการณ์ ENSO
1.11	ดัชนี Niño 1+2 บ่งชี้สภาวะปรากฏการณ์ ENSO
1.12	ดัชนีสมุทรศาสตร์จากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลของมหาสมุทรแปซิฟิก
1.13	สภาวะปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole ในมหาสมุทรอินเดีย
1.14	ดัชนี Dipole Mode Index (DMI) บ่งชี้สภาวะปรากฏการณ์ IOD
2.1	สถานการณ์ผลกระทบจากสภาวะปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole
2.2	ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา
2.3	ดัชนี MEI บ่งชี้สภาวะ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก
2.4	ดัชนี DMI บ่งชี้สภาวะ IOD ในมหาสมุทรอินเดีย
3.1	สัดส่วนความแปรปรวนที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนรวมรายปี
3.2	สัดส่วนความแปรปรวนที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนรายฤดูกาล
3.3	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักกับปริมาณน้ำฝนรวมรายปี
3.4	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักกับปริมาณน้ำฝนสะสมในฤดูฝน
3.5	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักกับปริมาณน้ำฝนสะสมในฤดูแล้ง
3.6	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนและดัชนีสมุทรศาสตร์ MEI
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนและดัชนีสมุทรศาสตร์ Niño 3.4
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนและดัชนีสมุทรศาสตร์ Niño 1+2
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนและดัชนีสมุทรศาสตร์ DMI

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี FCM แบบ 3 กลุ่มข้อมูล	37
3.11 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี SOM แบบ 3 กลุ่มข้อมูล	37
3.12 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี FCM แบบ 4 กลุ่มข้อมูล	38
3.13 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี SOM แบบ 4 กลุ่มข้อมูล	38
3.14 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี FCM แบบ 5 กลุ่มข้อมูล	39
3.15 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี SOM แบบ 5 กลุ่มข้อมูล	39
3.16 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี FCM แบบ 6 กลุ่มข้อมูล	40
3.17 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี SOM แบบ 6 กลุ่มข้อมูล	40
3.18 รูปแบบ wavelet power spectrum บ่งชี้คาบการอุบัติซ้ำของสภาวะปรากฏการณ์ IOD	41
3.19 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนภายใต้เงื่อนไขสภาวะ strong IOD และ strong El Niño	44
3.20 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนภายใต้เงื่อนไขสภาวะ strong IOD และ weak El Niño	45
3.21 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนภายใต้เงื่อนไขสภาวะ weak IOD และ strong El Niño	46
3.22 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนภายใต้เงื่อนไขสภาวะ weak IOD และ weak El Niño	47
ค-1 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1976	59
ค-2 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1977	60
ค-3 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1978	61
ค-4 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1979	62
ค-5 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1980	63
ค-6 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1981	64
ค-7 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1982	65
ค-8 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1983	66
ค-9 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1984	67
ค-10 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1985	68
ค-11 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1986	69
ค-12 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1987	70
ค-13 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1988	71
ค-14 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1989	72

บทที่ 1

บทนำ

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างชั้นบรรยากาศและผิวน้ำมหาสมุทรมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมเสถียรภาพของภูมิอากาศ ประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่บนคาบสมุทรอินโดจีนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีอาณาเขตเชื่อมต่อกับทั้งสองฟากฝั่งมหาสมุทร ได้แก่ ด้านฝั่งอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ถือเป็นส่วนหนึ่งของมหาสมุทรแปซิฟิก ส่วนทางด้านฝั่งทะเลอันดามันและเขตไหล่ทวีปถือเป็นส่วนหนึ่งของมหาสมุทรอินเดีย ดังนั้น ความผันแปรของสภาพทางสมุทรศาสตร์ที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดียนย่อมมีอิทธิพลในการขับเคลื่อนทั้งโดยตรงและทางอ้อมต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศของประเทศไทย

ความแปรปรวนของสภาพอากาศ (climate variability) จัดเป็นความผันแปรในระยะสั้นหรือการแกว่งตัวขึ้นลงจากค่าเฉลี่ยทางสถิติขององค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยา (weather elements) ที่ใช้เป็นตัวกำหนดลักษณะอากาศภาคพื้นทวีป เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิอากาศ และความกดอากาศ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยดังกล่าวล้วนมีอิทธิพลต่อวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์และการดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวัน เนื่องจากความแปรปรวนของสภาพอากาศนั้นเป็นกลไกที่มีความเชื่อมโยงอันนำไปสู่สภาวะอากาศรุนแรง (extreme weather events) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักให้เกิดภัยธรรมชาติในพื้นที่ล่อแหลมและมีความเปราะบาง เช่น ภัยแล้ง (drought) อุทกภัย (flood) ธรณีพิบัติภัย (geohazard) ทั้งที่เห็นผลในระยะสั้นและระยะยาว ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน นอกจากนี้ สภาวะอากาศรุนแรงเหล่านี้ยังส่งผลกระทบต่อผลผลิตของภาคเกษตรกรรมซึ่งเป็นรากฐานด้านความมั่นคงทางอาหาร (food security) รวมไปถึง ผลกระทบต่อการท่องเที่ยวซึ่งถือเป็นกลยุทธการกระตุ้นเศรษฐกิจและสร้างรายได้ให้กับประเทศ กรณีตัวอย่างที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ความแปรปรวนของสภาพอากาศนับว่ามีอิทธิพลและส่งผลกระทบทั้งโดยตรงและทางอ้อมต่อรูปแบบและการดำเนินกิจกรรมในทุกภาคส่วนของประเทศ

ความผิดปกติทางสมุทรศาสตร์ (oceanographic anomaly) เป็นสภาวะความแปรปรวนหรือการแกว่งตัวขึ้นลงจากค่าเฉลี่ยทางสถิติขององค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยา (weather elements) ที่ใช้เป็นตัวกำหนดลักษณะอากาศภาคพื้นสมุทร เช่น อุณหภูมิผิวน้ำทะเล ความกดอากาศเหนือระดับน้ำทะเล ทิศทางและความเร็วลมเหนือระดับน้ำทะเล เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีกลไกที่เชื่อมโยงกับกระบวนการสมุทรศาสตร์ในระดับภูมิภาค เมื่อพิจารณาบทบาทปรากฏการณ์ทางสมุทรศาสตร์ในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดียเขตร้อนที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของภูมิอากาศของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีการค้นพบและอ้างอิงมาจนถึงปัจจุบันพบว่าสามารถจำแนกระดับของความแปรปรวนตามเวลาของปรากฏการณ์ทางสมุทรศาสตร์เหล่านั้นดังแสดงในตารางที่ 1.1

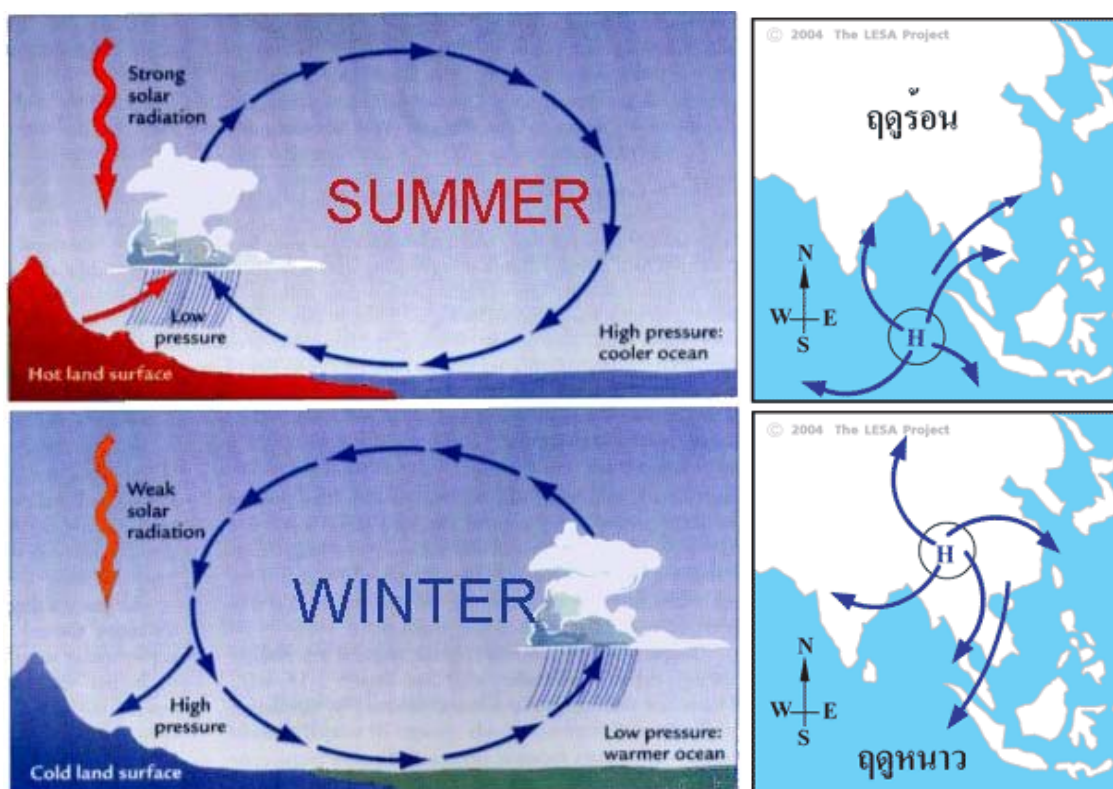
ตารางที่ 1.1 ปัจจัยทางสมุทรศาสตร์ในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดียเขตร้อนที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพและความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

คาบเวลา	ปัจจัยทางสมุทรศาสตร์
ความแปรผันเชิงฤดูกาล (Seasonal Variation)	■ Monsoon Circulation ■ Wyrcki Jets (Monsoon Transition) ■ Subtropical Gyre
ความแปรปรวนภายในฤดูกาล (Intraseasonal Variability)	■ Madden Julian Oscillation (MJO) ■ Planetary Waves (Kelvin Wave and Rossby Wave) ■ Oceanic Instability
ความแปรปรวนระหว่างรอบปี (Interannual Variability)	■ El Niño Southern Oscillation (ENSO) ■ Indian Ocean Dipole (IOD)
ความแปรปรวนในคาบทศวรรษ (Decadal Variability)	■ Pacific Decadal Oscillation (PDO) ■ Decadal Modulation of IOD ■ Cross Equatorial Cell (CEC)
การแลกเปลี่ยนระหว่างแอ่งมหาสมุทร (Inter-basin Exchanges)	■ Indonesian Throughflow (ITF) ■ Deep Overturning Circulation

ปัจจัยทางสมุทรศาสตร์ที่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศจำแนกตามคาบเวลาของความแปรปรวน กล่าวคือ (1) ความแปรผันเชิงฤดูกาล (seasonal variation) ซึ่งขึ้นกับปัจจัยหลักคือระบบมรสุมและการไหลเวียนกึ่งเขตร้อน (2) ความแปรปรวนภายในฤดูกาล (intraseasonal variability) เช่น ปรากฏการณ์ Madden Julian Oscillation (MJO) รวมไปถึงคลื่นพเนจร (planetary waves) ได้แก่ คลื่นเคลวิน และ คลื่นรอสบี้ เป็นต้น (3) ความแปรปรวนระหว่างรอบปี (interannual variability) เช่น ปรากฏการณ์ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก และ ปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole ในมหาสมุทรอินเดีย (4) ความแปรปรวนในคาบทศวรรษ (decadal variability) เช่น Pacific Decadal Oscillation (PDO) และ (5) การแลกเปลี่ยนระหว่างแอ่งมหาสมุทร (inter-basin exchanges) ทั้งในแง่สมดุลความร้อนและความเค็ม โดยที่ปรากฏการณ์เหล่านี้ต่างก็มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน และยังส่งผลกระทบต่อเชิงพื้นที่ในระดับที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ในเบื้องต้นของงานวิจัยด้านปฏิสัมพันธ์ระหว่างชั้นบรรยากาศและผิวหน้ามหาสมุทรฉบับนี้ จะกล่าวถึงเพียงความแปรผันเชิงฤดูกาลและความแปรปรวนระหว่างรอบปี เนื่องจากคาบเวลาดังกล่าวมีอิทธิพลหลักต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศรวมทั้งเชื่อมโยงสู่สภาวะอากาศรุนแรงและภัยธรรมชาติ

1.1 ความแปรผันเชิงฤดูกาล (Seasonal Variation)

ปัจจัยหลักทางด้านพลศาสตร์ระหว่างชั้นบรรยากาศและผิวหน้ามหาสมุทรที่มีอิทธิพลในระดับความแปรผันเชิงฤดูกาลของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ ระบบลมมรสุม (monsoon wind system) ซึ่งเปลี่ยนแปลงทิศทางตามความแตกต่างของฟลักซ์ความร้อนระหว่างพื้นทวีปและพื้นมหาสมุทรที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ กล่าวคือ ในกรณีมรสุมฤดูร้อน (summer monsoon) ขณะที่ซีกโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์ อากาศเหนือภาคพื้นมหาสมุทรที่เป็นเขตความกดอากาศสูง จึงไหลเข้ามาแทนที่อากาศภาคพื้นทวีปซึ่งเป็นเขตความกดอากาศต่ำ โดยมีทิศทางเบี่ยงขวาตามอิทธิพลของแรงโคริโอลิสเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ นำพาความชื้นและก่อให้เกิดฝนในช่วงระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคมของประเทศไทย ส่วนในกรณีมรสุมฤดูหนาว (winter monsoon) ขณะที่ซีกโลกใต้หันเข้าหาดวงอาทิตย์ อากาศภาคพื้นทวีปซึ่งเป็นเขตความกดอากาศสูงจึงไหลเข้ามาแทนที่อากาศภาคพื้นมหาสมุทรซึ่งเป็นเขตความกดอากาศต่ำ โดยมีทิศทางเบี่ยงขวาตามอิทธิพลของแรงโคริโอลิสเช่นเดียวกัน กลายเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นำพาอากาศเย็นและแห้งพัดปกคลุมประเทศไทยในช่วงระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 1.1



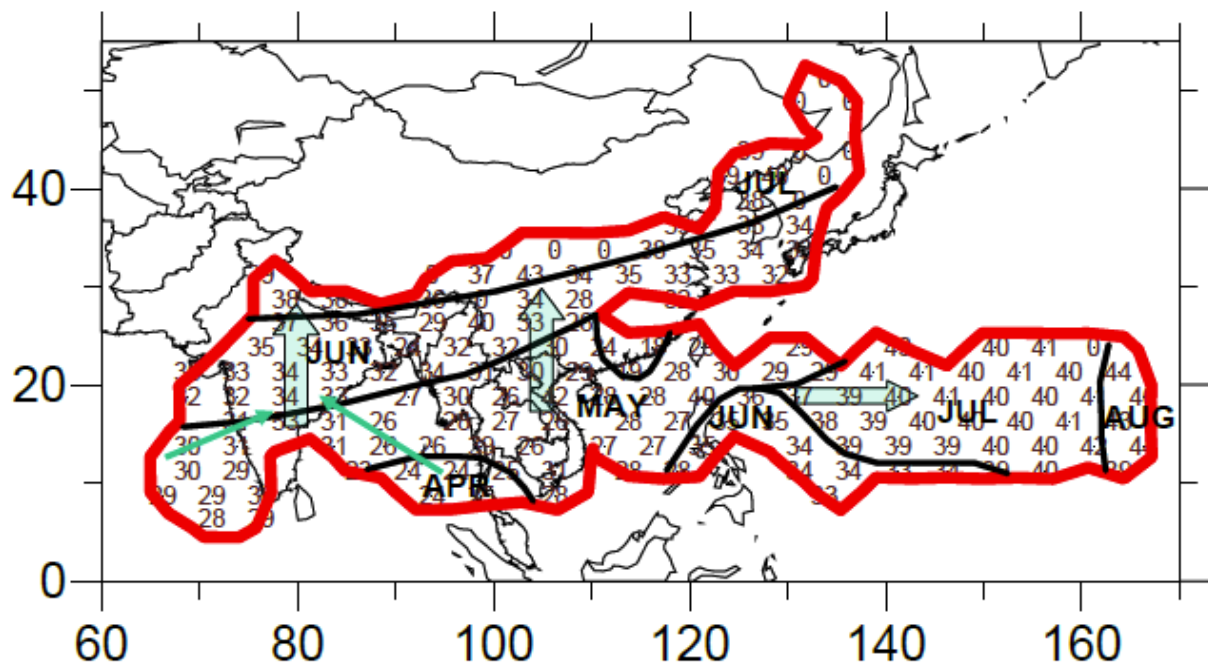
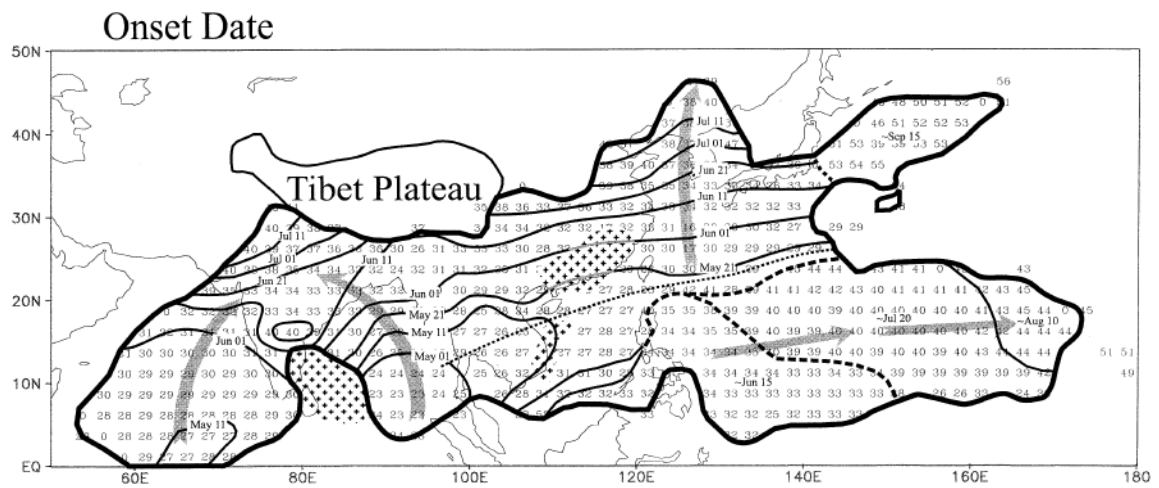
ที่มา: <http://www.geo.arizona.edu/>

ที่มา: <http://www.lesaproject.com/>

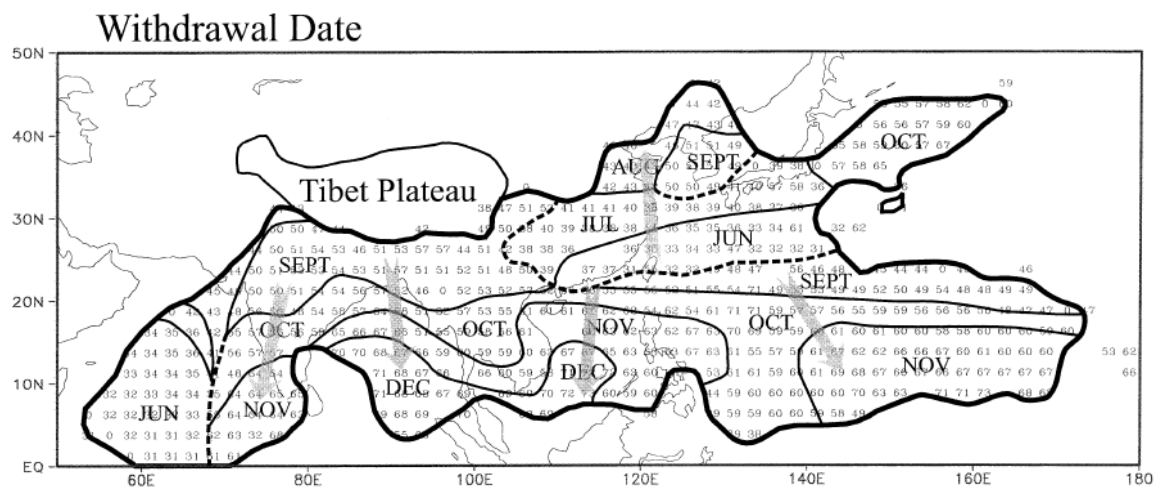
รูปที่ 1.1 กลไกของระบบลมมรสุมฤดูร้อน (summer monsoon) และมรสุมฤดูหนาว (winter monsoon)

อิทธิพลของมรสุมฤดูร้อนซึ่งนำพาความชื้นมาจากผิวน้ำมหาสมุทรจึงนับว่าเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมการกระจายของปริมาณน้ำฝนในภาคพื้นทวีป ความแปรผันเชิงพื้นที่และเวลาของมรสุมฤดูร้อนในเขตภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกซึ่งวิเคราะห์โดย Wang and LinHo (2002) และ Zhang and Wang (2008) ได้แสดงแผนภาพระบุวันที่เริ่มต้น (onset date) และวันที่สิ้นสุด (withdrawal date) ของมรสุมฤดูร้อน ดังรูปที่ 1.2 และ 1.3 พบว่ามรสุมฤดูร้อนดังกล่าวจะเริ่มเซตตัวบริเวณตะวันตกเฉียงใต้ของอ่าวเบงกอล ในเขตทะเลอันดามันในช่วงปลายเดือนเมษายน โดยถือว่าเป็นเกณฑ์ในการเริ่มต้นของการย่างเข้าสู่ฤดูฝน ดังนั้นภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทยจึงเริ่มเข้าสู่ฤดูฝนก่อนพื้นที่อื่นๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ภายหลังจากนั้นเมื่อร่องความกดอากาศต่ำ (Intertropical Convergence Zone: ITCZ) เคลื่อนตัวพาดผ่านภาคกลางและภาคเหนือของประเทศไทยจึงเริ่มเข้าสู่ฤดูฝนตามมาเป็นลำดับ โดยช่วงเวลาที่ประเทศไทยมีปริมาณน้ำฝนสูงสุด (rainfall peak) จะอยู่ในช่วงเดือนกันยายน ดังรูปที่ 1.4

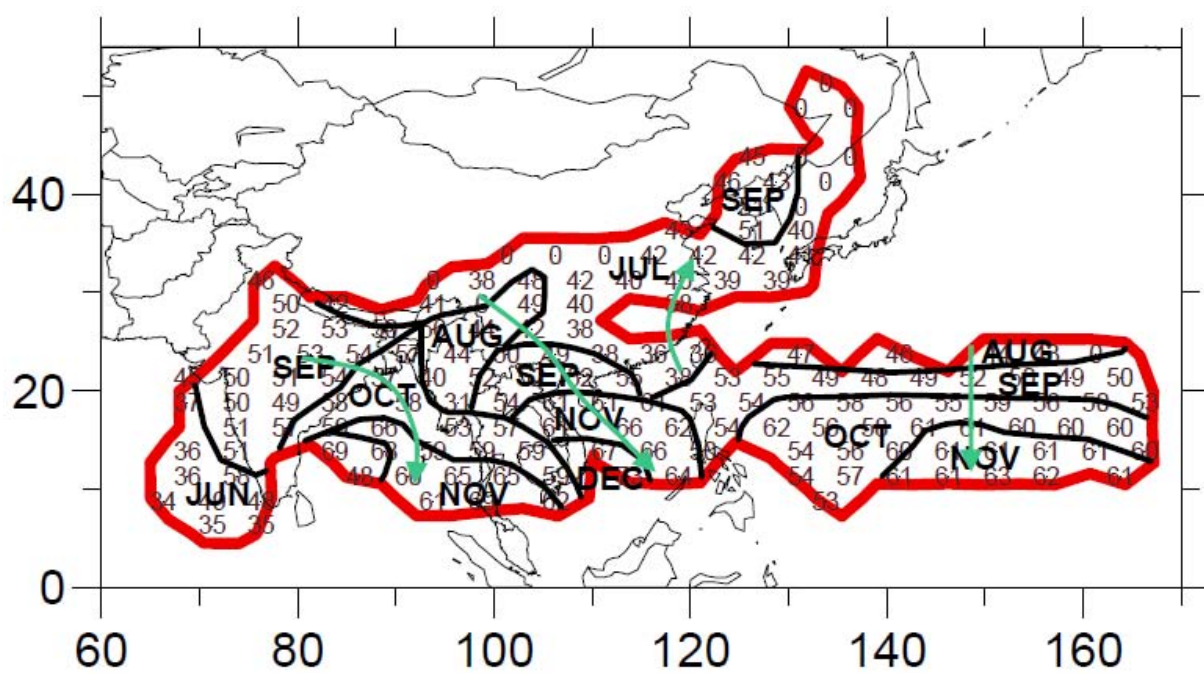
สาเหตุที่มรสุมฤดูร้อนเริ่มเซตตัวในอ่าวเบงกอลและทะเลอันดามันในช่วงปลายเดือนเมษายน เนื่องจากชั้นน้ำผิวน้ำมหาสมุทรในบริเวณนี้มีการเปลี่ยนแปลงความเค็มและอุณหภูมิในช่วงเวลาดังกล่าว เพราะอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงปลายฤดูซึ่งผลักดันให้มวลน้ำเดิมบริเวณชั้นผิวน้ำเคลื่อนที่ออกไปจากอ่าว อีกทั้งยังได้รับน้ำจืดที่ละลายลงมาจากน้ำแข็งที่ปกคลุมบริเวณเขตที่ราบสูงทิเบต ทำให้ชั้นน้ำบริเวณดังกล่าวแยกชั้นและระดับความลึกลดลงเมื่อได้รับฟลักซ์ความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องด้วยตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนเมษายนทำให้บริเวณนี้เป็นเสมือนแนวศูนย์สูตรทางความร้อน การถ่ายเทความร้อนไปสู่ชั้นน้ำในระดับลึกจึงเป็นไปได้ยาก ผิวน้ำน้ำทะเลบริเวณดังกล่าวจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าบริเวณทะเลรอบข้างและก่อเป็นบริเวณความกดอากาศต่ำ (รูปที่ 1.5) กระตุ้นให้มวลอากาศเย็นในซีกโลกใต้เคลื่อนเข้ามาแทนที่เกิดเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ถือเป็นการเซตตัวขึ้นของมรสุมฤดูร้อน ด้วยกลไกดังที่กล่าวมานี้ อธิบายโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎี Barrier Layer ของ Lukas and Lindstrom (1991) ดังแสดงในรูปที่ 1.6 แต่อย่างไรก็ตาม การเริ่มต้นของมรสุมฤดูร้อนพบที่มีความแปรผันไปในแต่ละรอบปี นั่นคือ ระบบลมมรสุมมีปฏิสัมพันธ์กับปรากฏการณ์ ENSO ซึ่งมีความแปรปรวนในคาบเวลาระหว่างรอบปี โดยในเบื้องต้นนี้ ผู้วิจัยพบว่าฤดูฝนจะมาเร็วกว่า (ช้ากว่า) ปกติในปีที่เกิดปรากฏการณ์ลานีญา (เอลนีโญ)



รูปที่ 1.2 ความแปรผันเชิงพื้นที่ของวันที่เริ่มต้นของมรสุมฤดูร้อนในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก

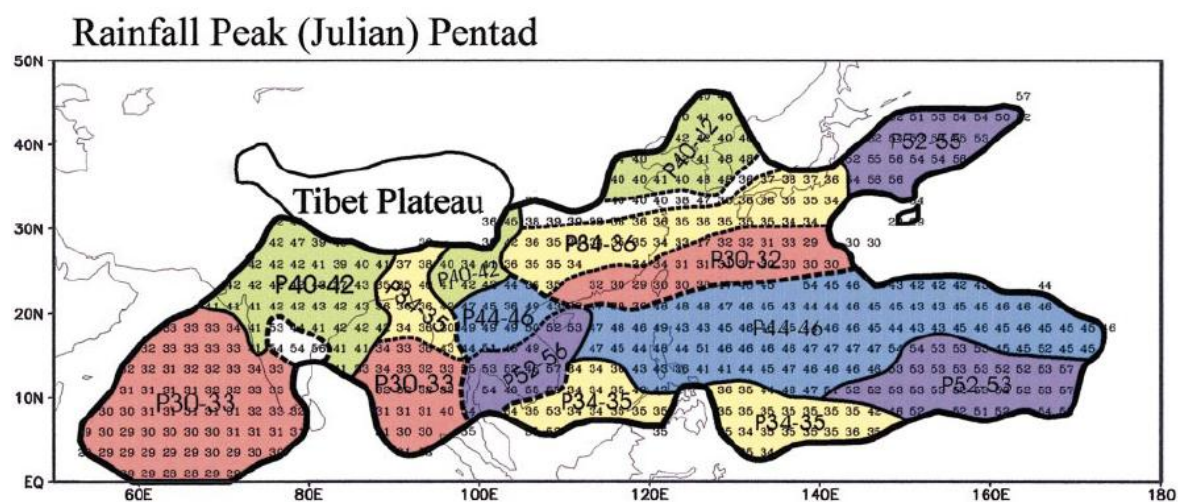


ที่มา: Wang and LinHo (2002)

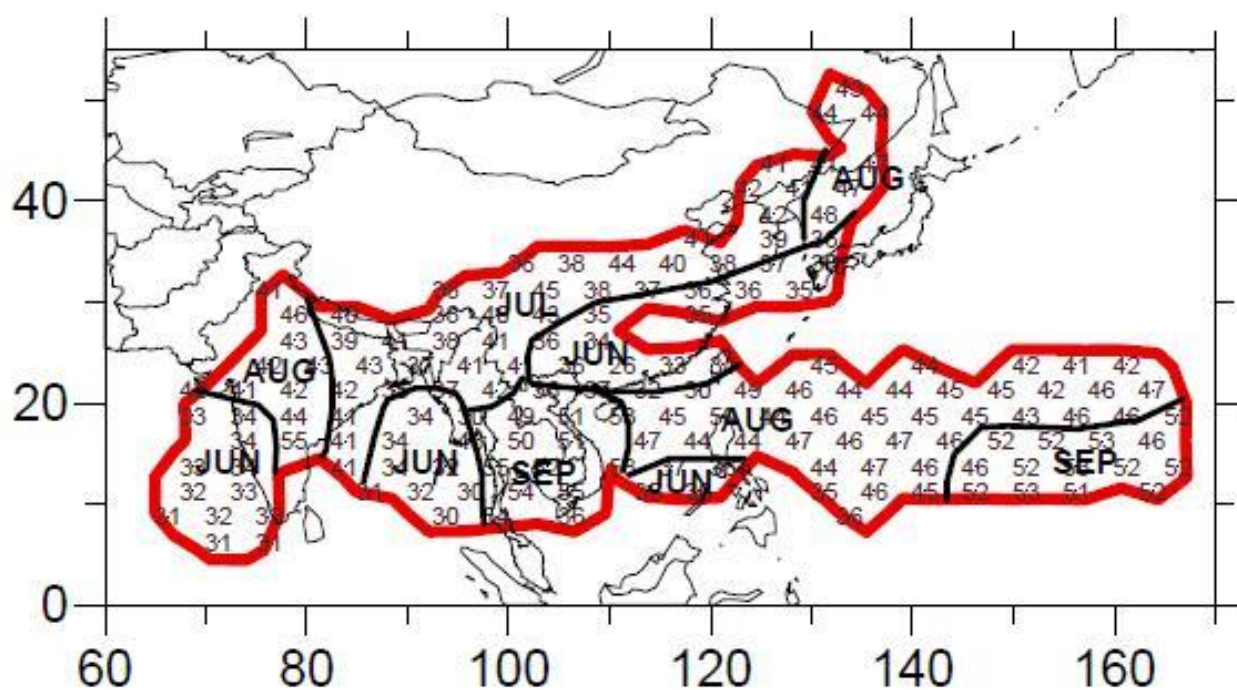


ที่มา: Zhang and Wang (2008)

รูปที่ 1.3 ความแปรผันเชิงพื้นที่ของวันที่สิ้นสุดของมรสุมฤดูร้อนในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก

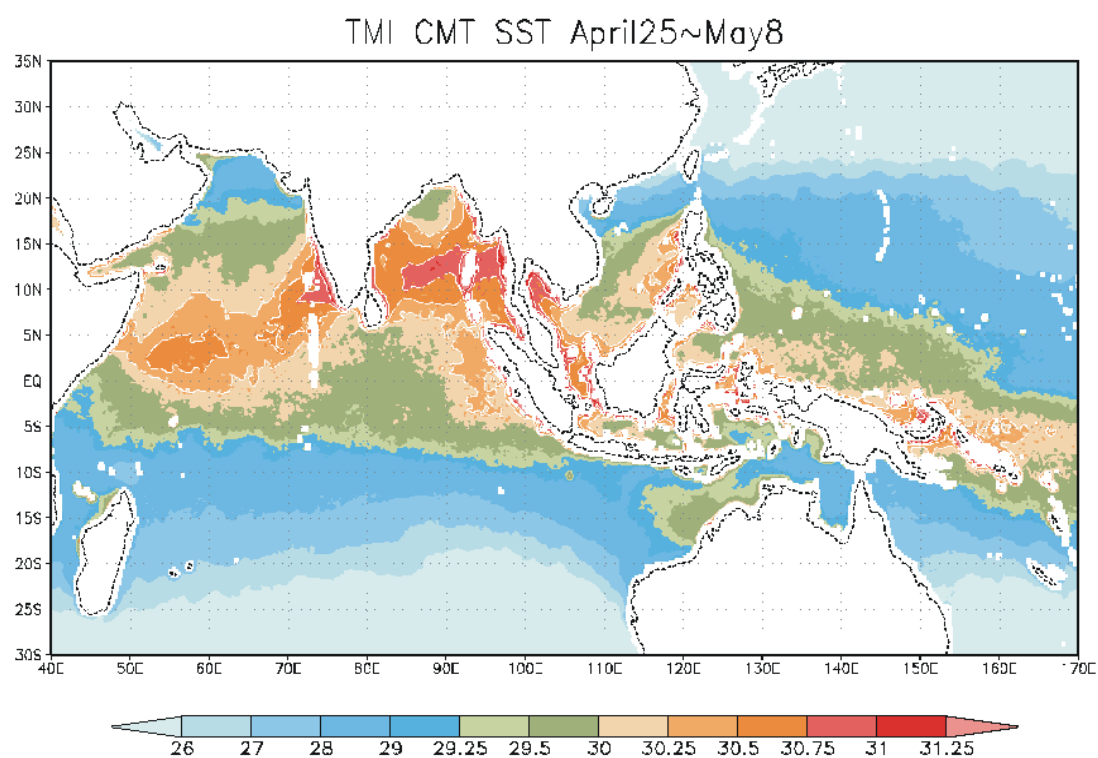


ที่มา: Wang and LinHo (2002)

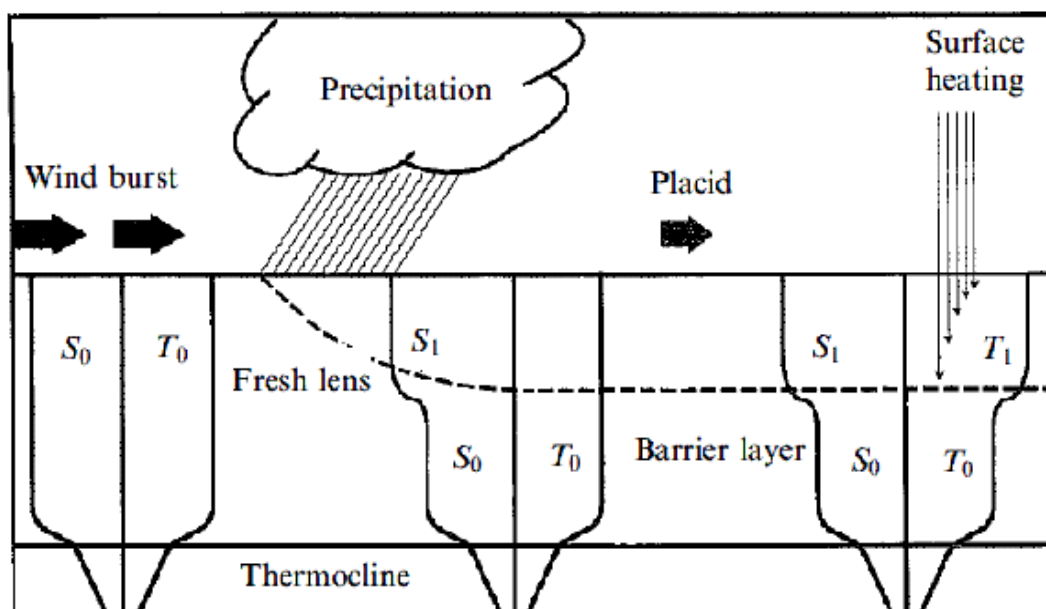


ที่มา: Zhang and Wang (2008)

รูปที่ 1.4 ความแปรผันเชิงพื้นที่ของช่วงเวลาที่มีน้ำฝนสูงสุดของมรสุมฤดูร้อนในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก



รูปที่ 1.5 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวเบงกอลและการเซตตัวของมรสุมฤดูร้อน



รูปที่ 1.6 กลไกการเปลี่ยนแปลงความเค็มและอุณหภูมิของชั้นน้ำตามทฤษฎี Barrier Layer Theory
ที่มา: Lukas and Lindstrom (1991)

1.2 ความแปรปรวนระหว่างรอบปี (Interannual Variability)

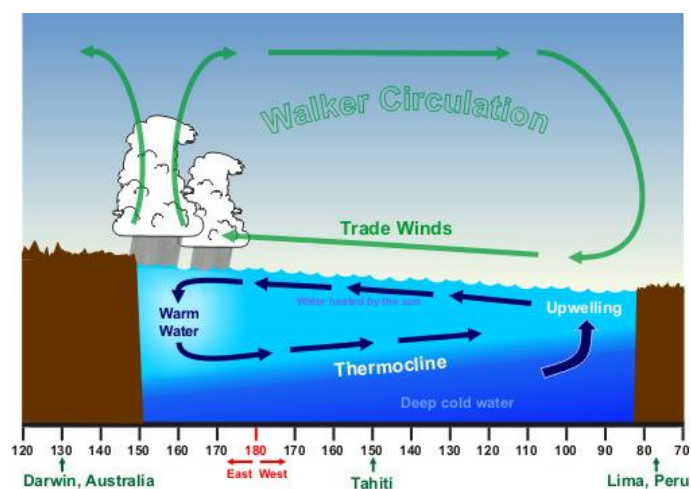
1.2.1 El Niño Southern Oscillation (ENSO)

ปรากฏการณ์ ENSO เป็นความแปรผันของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิก โดยที่ในสภาวะปกติ ลมสินค้า (trade winds) คือ ลมสินค้าตะวันออกเฉียงเหนือ และ ลมสินค้าตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งพัดปกคลุมบริเวณเขตร้อนของมหาสมุทรแปซิฟิก และพัดพาให้เกิดกระแสน้ำเลียบเส้นศูนย์สูตร ได้แก่ กระแสน้ำศูนย์สูตรเหนือ (north equatorial current) และกระแสน้ำศูนย์สูตรใต้ (south equatorial current) ซึ่งเป็นกระแสน้ำอุ่นที่ไหลจาก ด้านฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกมายังด้านฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเกิดเป็นแอ่งน้ำอุ่นแปซิฟิกตะวันตก (western pacific warm pool) บริเวณน่านน้ำของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และทวีปออสเตรเลียตอนบน ชั้นมวน้ำอุ่นบริเวณผิวน้ำมหาสมุทรดังกล่าวนำพาความชื้นและน้ำฝน ทำให้ภูมิภาคแถบนี้อุดมสมบูรณ์ ในขณะเดียวกัน ด้านฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกบริเวณชายฝั่งทะเลประเทศเปรูและชิลีจะเกิดปรากฏการณ์น้ำผุด (coastal upwelling) ซึ่งเป็นมวน้ำเย็นที่นำพาธาตุอาหารจากในทะเลลึกขึ้นมาแทนที่ ทำให้กำลังผลิตเบื้องต้นทางทะเลสูง และน่านน้ำบริเวณนี้จึงเป็นแหล่งทรัพยากรประมงที่สำคัญของโลก ดังแสดงในรูปที่ 1.7ก

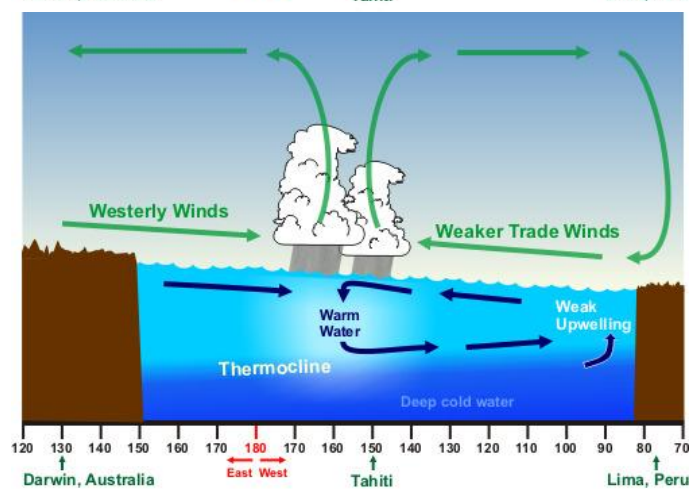
สภาวะปรากฏการณ์เอลนีโญ (el niño) เชื่อกันว่ามีสาเหตุมาจากการที่ลมสินค้าที่พัดปกคลุมเหนือมหาสมุทรแปซิฟิกอ่อนกำลังลง ทำให้กระแสน้ำอุ่น equatorial counter current (ECC) มีกำลังแรงขึ้น ชั้นมวน้ำอุ่นจึงไหลย้อนกลับไปยังบริเวณตอนกลางของมหาสมุทร ทำให้เกิดกลุ่มเมฆและฝนตกบริเวณนี้ นับเป็นการสูญเสียทรัพยากรน้ำภาคพื้นทวีปโดยเปล่าประโยชน์เนื่องจากน้ำฝนไปตกบริเวณภาคพื้นสมุทรเกิดภาวะความแห้งแล้งบริเวณภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และทวีปออสเตรเลีย ดังแสดงในรูปที่ 1.7ข นอกจากนั้นแล้ว ชั้นมวน้ำอุ่นดังกล่าวอาจขยายตัวเรื่อยไปจนถึงด้านฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิก เหตุการณ์เช่นนี้ยังบังไคและปิดกั้นกระบวนการเกิดน้ำผุด ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติสำคัญบริเวณนี้ ทำให้กลุ่มประเทศชายฝั่งทะเลตะวันตกของทวีปอเมริกาใต้สูญเสียผลผลิตทรัพยากรประมง

สภาวะปรากฏการณ์ลานีญา (la niña) กลไกเป็นเช่นเดียวกับในสภาวะปกติแต่มีกำลังแรงขึ้น นั่นคือเชื่อกันว่ามีสาเหตุมาจากการที่ลมสินค้าที่พัดปกคลุมเหนือมหาสมุทรแปซิฟิกทวีกำลังแรงขึ้น ทำให้กระแสน้ำเลียบเส้นศูนย์สูตรไหลมาทางด้านตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกด้วยปริมาณที่มากขึ้นกว่าปกติ เกิดแอ่งน้ำอุ่นแปซิฟิกตะวันตก (western pacific warm pool) ที่มีเสถียรภาพมากขึ้น นำพาความชื้นและก่อให้เกิดฝนตกบริเวณภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในปริมาณรวมทั้งสูงขึ้น ขณะที่ทางด้านฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรมวน้ำเย็นที่ถูกพัดพาขึ้นมาพร้อมกับปรากฏการณ์น้ำผุดชายฝั่งจะมีกำลังมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.7ค ส่งผลกระทบให้บริเวณดังกล่าวมีอุณหภูมิอากาศลดลงและยังประสบกับภาวะความแห้งแล้ง

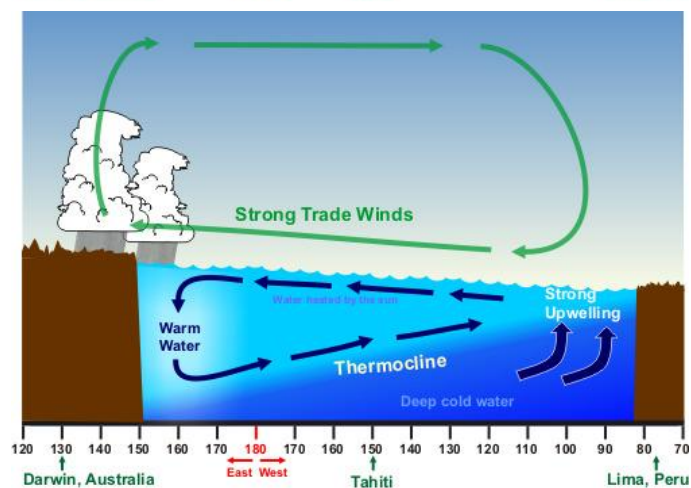
(ก) สภาวะปกติของมหาสมุทรแปซิฟิก



(ข) สภาวะปรากฏการณ์เอลนีโญ



(ค) สภาวะปรากฏการณ์ลานีญา

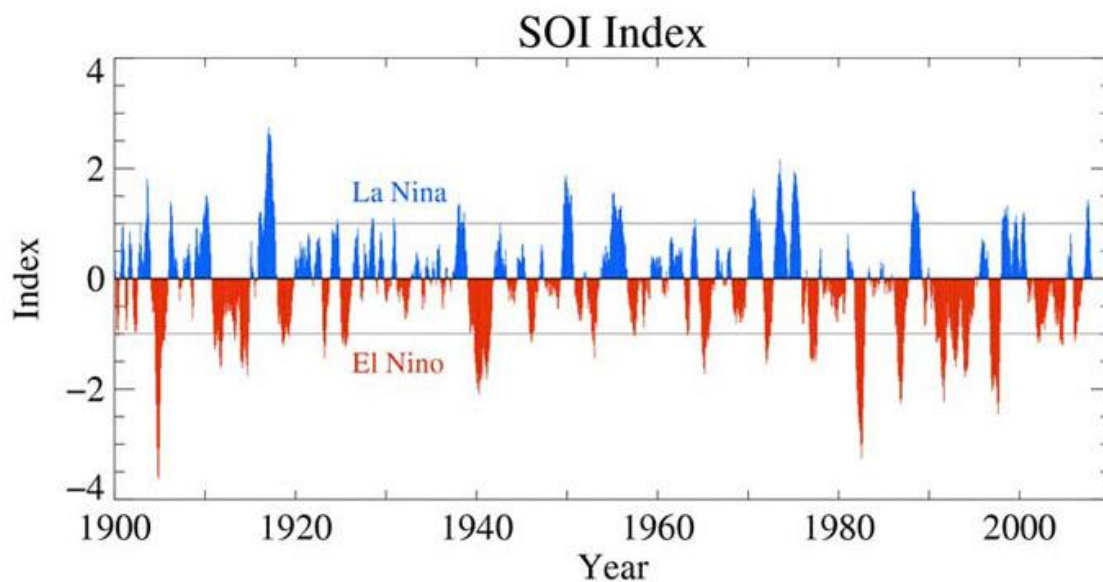


รูปที่ 1.7 สภาวะปรากฏการณ์ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก
ที่มา: <http://www.srh.noaa.gov/jetstream/tropics>

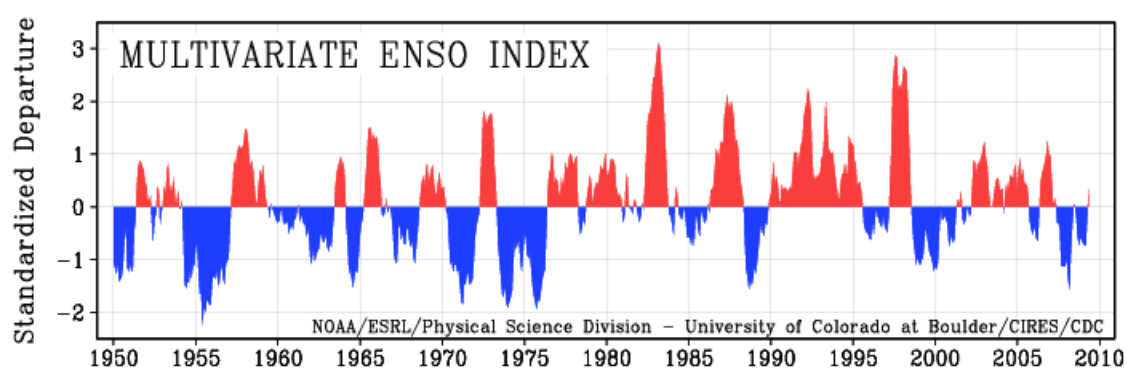
สภาวะปรากฏการณ์ ENSO มีความเชื่อมโยงกับความผันแปรของระบบอากาศในซีกโลกใต้ กล่าวคือ ความกดอากาศเหนือระดับน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกในซีกโลกใต้และมหาสมุทรอินเดีย มีความสัมพันธ์เป็นส่วนกลับหรือแปรผกผันกันนั่นเอง (Rasmusson and Wallace, 1983) ดังนั้นระยะแรก จึงได้มีข้อตกลงใช้ดัชนีความแปรผันของระบบอากาศในซีกโลกใต้ (Southern Oscillation Index: SOI) เพื่อบ่งชี้สภาวะ ENSO โดยดัชนีดังกล่าวนี้กำหนดให้เป็นค่าความแตกต่างระหว่างความกดอากาศเหนือระดับน้ำทะเล ณ เกาะดาร์วิน ซึ่งเป็นตัวแทนของระบบความกดอากาศของมหาสมุทรแปซิฟิกในซีกโลกใต้ และความกดอากาศเหนือระดับน้ำทะเล ณ เมืองดาร์วิน บริเวณชายฝั่งตะวันตกของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งเป็นตัวแทนของระบบความกดอากาศของมหาสมุทรอินเดีย นั่นคือ เมื่อดัชนีดังกล่าวมีค่าเป็นลบ (บวก) เป็นระยะเวลานานพอสมควร นั้นหมายถึง เกิดสภาวะปรากฏการณ์เอลนีโญ (ลานีญา) กำลังพัฒนาตัวขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.8

อย่างไรก็ตาม สภาวะปรากฏการณ์ ENSO ยังสามารถบ่งชี้ได้ด้วยดัชนีทางสมุทรศาสตร์อื่นๆ เช่น Multivariate ENSO Index (MEI) ซึ่งเป็นค่าองค์ประกอบหลักที่สกัดความแปรปรวนจาก 6 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล อุณหภูมิอากาศ ความกดอากาศเหนือระดับน้ำทะเล ลมผิวพื้นในทิศเหนือ-ใต้ ลมผิวพื้นในทิศตะวันออก-ตะวันตก และปริมาณเมฆปกคลุมรวม ซึ่งพัฒนาโดย Wolter and Timlin (1993) ดังแสดงในรูปที่ 1.9 นอกจากนี้ยังมีดัชนี Niño 3.4 (รูปที่ 1.10) และ Niño 1+2 (รูปที่ 1.11) ซึ่งได้มาจาก ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ณ บริเวณตำแหน่งต่างๆของมหาสมุทรแปซิฟิก (Reynolds et al., 2002) ดังแสดงในรูปที่ 1.12

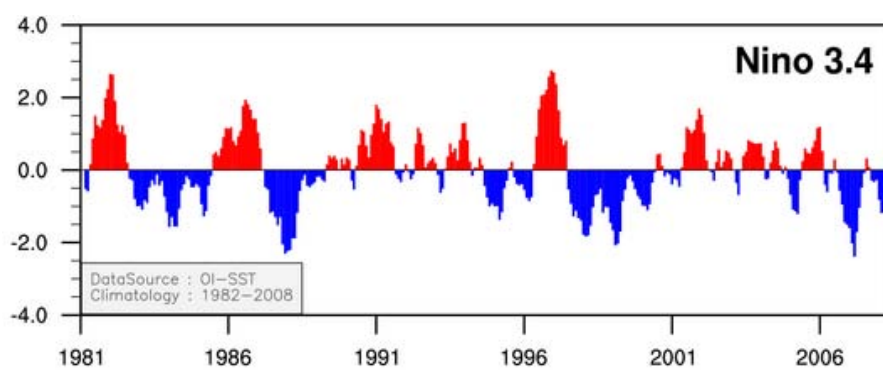
ผลกระทบของปรากฏการณ์ ENSO ที่มีต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศของประเทศไทย พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ลดลง) ในปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ (ลานีญา) (Limsakul and Goes, 2007) และพบว่าปริมาณน้ำฝนรวมรายปีมีแนวโน้มลดลง (เพิ่มขึ้น) ในปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ (ลานีญา) (Limsakul et al., 2008) นอกเหนือไปจากผลกระทบที่มีต่อรูปแบบของ อุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่แล้ว ปรากฏการณ์ ENSO ยังพบว่ามีอิทธิพลต่อการก่อตัวและการเคลื่อนตัวของพายุหมุนเขตร้อนที่เกิดทางด้านตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือและเขตทะเลจีนใต้ โดยปรากฏการณ์เอลนีโญ ไม่เอื้ออำนวยต่อการก่อตัวและการพัฒนาของพายุหมุนเขตร้อนบริเวณดังกล่าว (Wang and Chan, 2002)



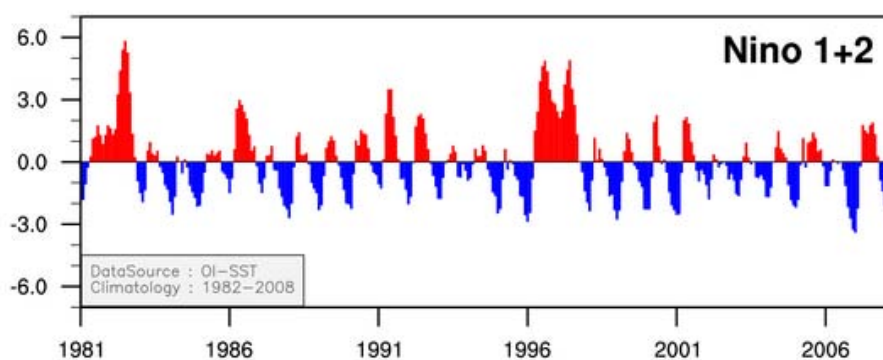
รูปที่ 1.8 ดัชนี Southern Oscillation Index (SOI) บ่งชี้สภาวะปรากฏการณ์ ENSO
ที่มา: <http://www.niwa.co.nz/>



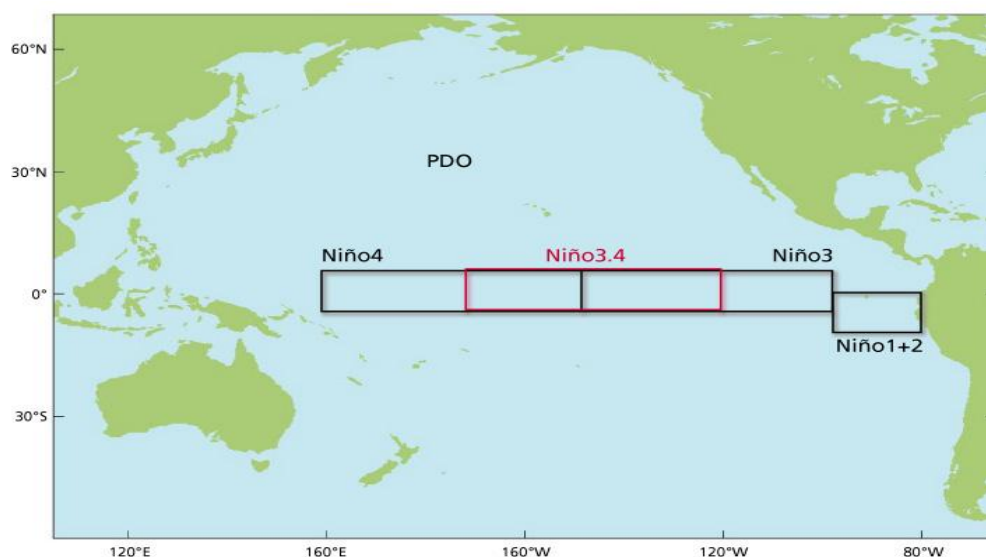
รูปที่ 1.9 ดัชนี Multivariate ENSO Index (MEI) บ่งชี้สภาวะปรากฏการณ์ ENSO
ที่มา: <http://www.cdc.noaa.gov/>



รูปที่ 1.10 ดัชนี Niño 3.4 บ่งชี้สภาวะปรากฏการณ์ ENSO



รูปที่ 1.11 ดัชนี Niño 1+2 บ่งชี้สภาวะปรากฏการณ์ ENSO



รูปที่ 1.12 ดัชนีสมุทรศาสตร์จากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลของมหาสมุทรแปซิฟิก

ที่มา: http://ioc3.unesco.org/oopc/state_of_the_ocean/

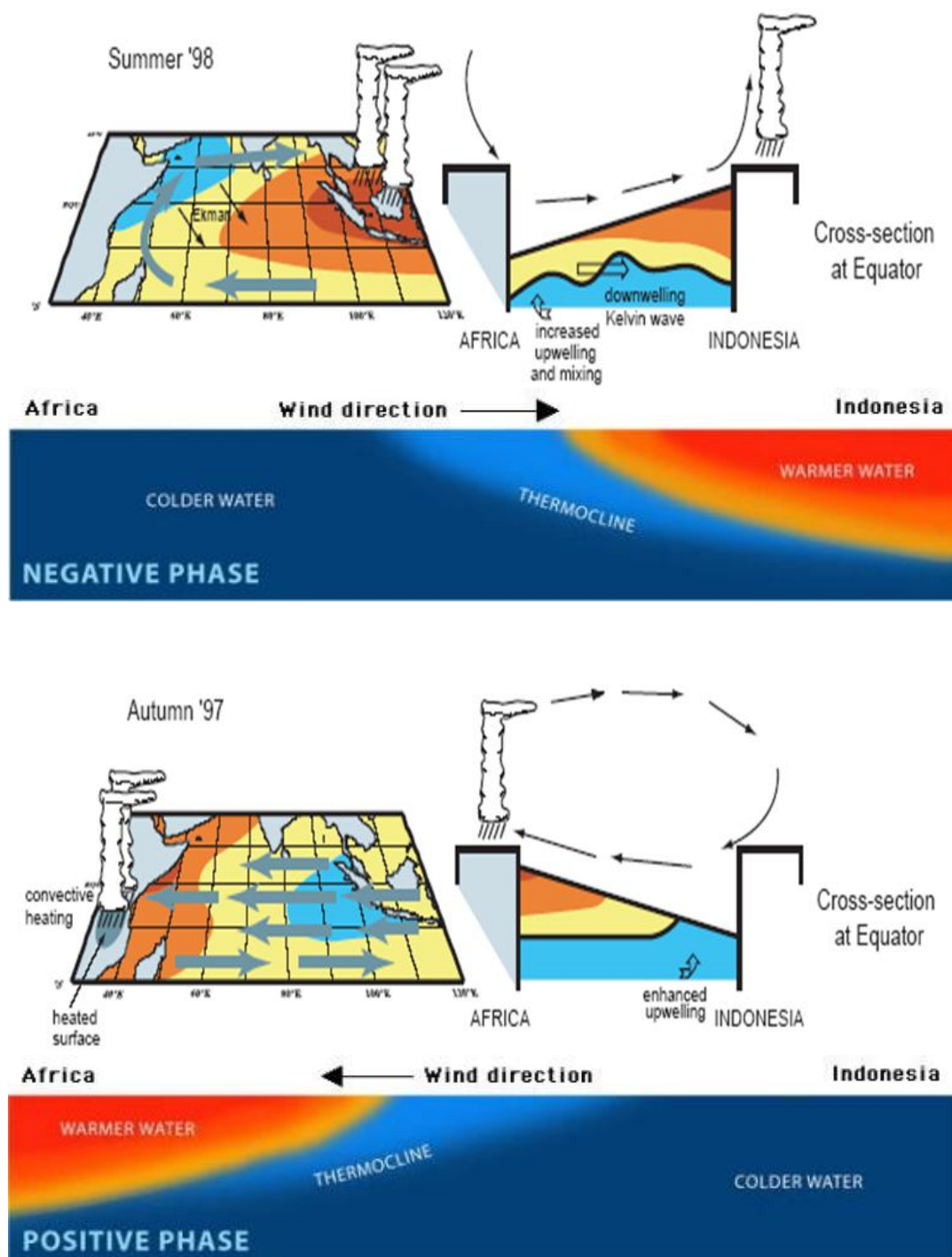
1.2.2 Indian Ocean Dipole (IOD)

ปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole (IOD) จัดว่าเป็นความแปรผันของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรอินเดีย เช่นเดียวกับปรากฏการณ์ ENSO ที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรแปซิฟิก โดยในสภาวะปกติด้านฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรอินเดีย ในบริเวณภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นอาณาเขตมวลน้ำอุ่นเคลื่อนเคลวินซึ่งเป็นคลื่นพเนจรในเขตร้อนของมหาสมุทรอินเดียที่มีความแปรปรวนอยู่ในคาบภายในฤดูกาล พัดพาเอาระแสน้ำไหลจากด้านฝั่งตะวันตกของมหาสมุทร ให้มาจมตัวลงด้านฝั่งตะวันออกของมหาสมุทร เกิดเป็นปรากฏการณ์น้ำผุด (upwelling) ด้านฝั่งตะวันตก และน้ำมุด (downwelling) ด้านฝั่งตะวันออก ดังแสดงในรูปที่ 1.13 (รูปบน)

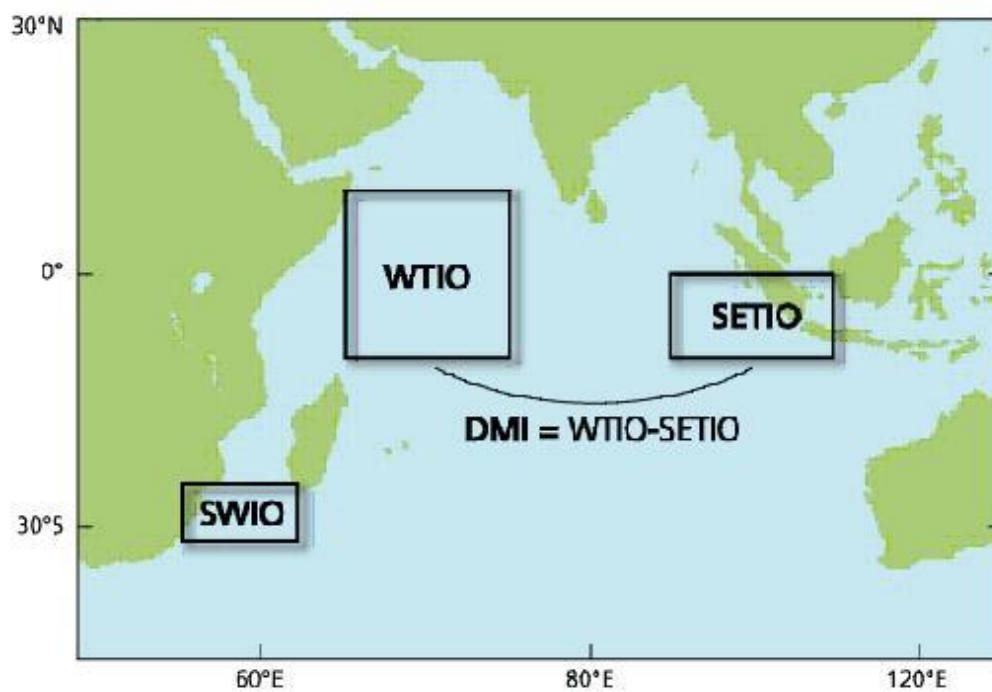
สภาวะปรากฏการณ์ IOD ซึ่งรายงานการค้นพบครั้งแรกโดย Saji et al. (1999) เริ่มต้นจากการเย็นตัวลงอย่างผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ด้านฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของมหาสมุทรอินเดียบริเวณเกาะสุมาตราของประเทศอินโดนีเซีย พร้อมกับเกิดการอุ่นขึ้นอย่างผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลด้านฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรอินเดียในขณะเดียวกัน นั่นคือ น้ำนํ้าสองฟากฝั่งของมหาสมุทรอินเดียแสดงสถานภาพความแตกต่างกันของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลอย่างชัดเจน (Behera et al., 2006; Rao et al., 2006) ดังแสดงในรูปที่ 1.13 (รูปล่าง)

สภาวะปรากฏการณ์ IOD เชื่อว่ามีกลไกขับเคลื่อนมาจากความผิดปกติของลมผิวพื้นในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตกที่พัดปกคลุมเหนือบริเวณมหาสมุทรอินเดียเขตร้อน (Behera et al., 1999) แต่ทว่าความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดปรากฏการณ์ IOD กับ ENSO ยังคงเป็นที่โต้แย้งกันอยู่ โดยในงานวิจัยของ Rao et al. (2002) และ Yamagata et al. (2004) กล่าวว่าประมาณ 30% ของ IOD เกิดร่วมกับ ENSO แต่หลายงานวิจัยค้านว่า IOD ในมหาสมุทรอินเดียเกิดขึ้นได้เองเป็นเอกเทศ ไม่มีความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกับสภาวะ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิกแต่ประการใด (Hastenrath, 2002; Baquero-Bernal et al., 2002; Dommengat and Latif, 2002; Ashok et al., 2003; Tozuka et al., 2006; Behera et al., 2006) โดยที่สภาวะปรากฏการณ์ IOD สามารถบ่งชี้ด้วยดัชนี Dipole Mode Index (DMI) ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ผิวดินระหว่างด้านฝั่งตะวันตกและด้านฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของมหาสมุทรอินเดีย ดังแสดงในรูปที่ 1.14

สภาวะปรากฏการณ์ IOD เชื่อว่าเป็นสาเหตุหลักทำให้เกิดสภาวะฝนตกหนักอย่างผิดปกติ นำไปสู่อุทกภัยเป็นบริเวณกว้างครอบคลุมกลุ่มประเทศอยู่รายรอบมหาสมุทรอินเดีย นับตั้งแต่ทางด้านฝั่งตะวันออกของทวีปแอฟริกา เรื่อยมายังบริเวณเอเชียใต้และตอนบนของคาบสมุทรอินโดจีน ซึ่งรวมไปถึงบริเวณตอนบนของประเทศไทยด้วยเช่นกัน รวมไปถึงงานวิจัยที่กล่าวถึงผลกระทบของปรากฏการณ์ IOD ก่อให้เกิดไฟป่าในประเทศอินโดนีเซียและภาวะภัยแล้งอย่างรุนแรงเป็นบริเวณกว้างในประเทศออสเตรเลีย (Ashok et al., 2003; Meyers et al., 2007; D'Arrigo and Smerdon, 2008; Ummenhofer et al. 2009)



รูปที่ 1.13 สภาวะปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole ในมหาสมุทรอินเดีย
ที่มา: Tan Chun Knee และ <http://www.whoi.edu/oceanus/>



รูปที่ 1.14 ดัชนี Dipole Mode Index (DMI) บ่งชี้สภาวะปรากฏการณ์ IOD
ที่มา: http://ioc3.unesco.org/oopc/state_of_the_ocean/

บทที่ 2

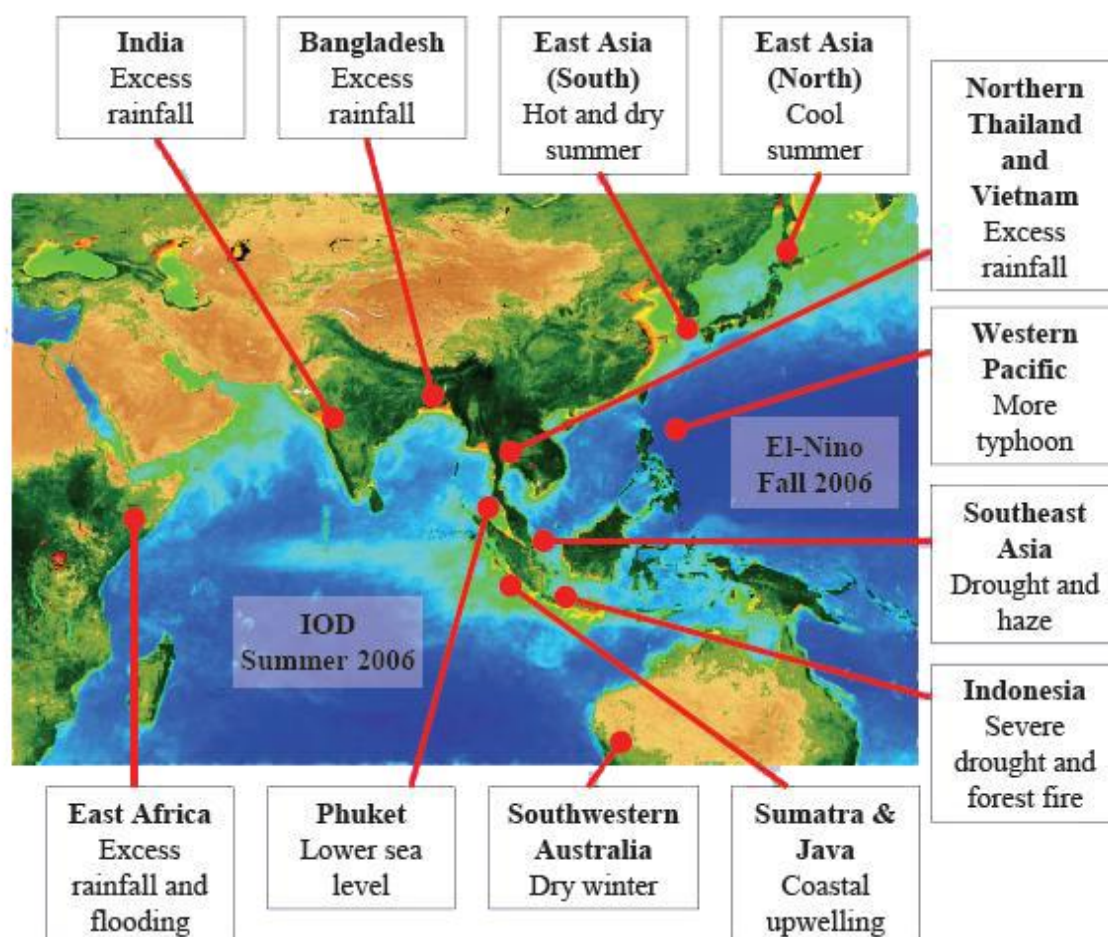
กรอบแนวคิดและวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 กรอบแนวคิดและประเด็นคำถามวิจัย

เป็นที่ทราบกันดีในเบื้องต้นสำหรับผลกระทบของปรากฏการณ์ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก ต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศของประเทศไทย การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ลดลง) ในปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ (ลานีญา) (Limsakul and Goes, 2007) และ ปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มลดลง (เพิ่มขึ้น) ในปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ (ลานีญา) (Limsakul et al., 2008) แต่ทว่าในปี 2006 ที่ผ่านมาซึ่งเกิดสภาวะปรากฏการณ์เอลนีโญในมหาสมุทรแปซิฟิก อิทธิพลของเอลนีโญ คาดว่าน่าจะทำให้ปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยลดลง แต่ประเทศไทยกลับเผชิญกับสภาวะอากาศรุนแรง เกิดสภาพฝนตกหนักผิดปกติอย่างต่อเนื่อง ทำให้หลายภูมิภาคของประเทศไทยประสบอุทกภัยอย่างหนัก นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดอุทกภัยเป็นบริเวณกว้างครอบคลุมกลุ่มประเทศต่างๆ ที่อยู่รอบมหาสมุทรอินเดีย นับตั้งแต่บริเวณชายฝั่งแอฟริกาตะวันออกเรื่อยมายังบริเวณเอเชียใต้ และตอนบนของคาบสมุทรอินโดจีน ดังแสดงในรูปที่ 2.1

เมื่อพิจารณาลักษณะสภาพทางสมุทรศาสตร์ของมหาสมุทรอินเดีย จึงพบว่าเกิดปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole (IOD) เริ่มพัฒนาตัวขึ้นตั้งแต่ช่วงกลางปีจนกระทั่งแสดงสภาพเต็มขั้นในช่วงปลายปี เหตุการณ์ดังกล่าวนี้จึงนำมาสู่ประเด็นคำถามวิจัยว่าปรากฏการณ์ IOD น่าจะมีอิทธิพลส่งผลกระทบทำให้ ปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้น งานวิจัยฉบับนี้จึงพยายามอธิบายความเชื่อมโยงและอิทธิพลของ ปรากฏการณ์ IOD ที่มีต่อความแปรปรวนของปริมาณและการกระจายน้ำฝนของประเทศไทย เพื่อนำไปสู่ ความเป็นไปได้ในการระบุพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยของประเทศไทย อันเป็นประโยชน์ต่อการแจ้งเตือนภัยล่วงหน้าและ การเตรียมพร้อมรับสถานการณ์เมื่อปรากฏการณ์ดังกล่าวอุบัติซ้ำขึ้นอีกในอนาคต

ส่วนแรกของงานวิจัยฉบับนี้จึงได้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติ ระหว่างปริมาณน้ำฝนรายปีของประเทศไทยกับดัชนีความผิดปกติทางสมุทรศาสตร์ของ ENSO และ IOD เนื่องจากทั้งสองปรากฏการณ์ต่างเป็นความแปรปรวนในคาบเวลาระหว่างรอบปี (interannual variability) โดยมีความเป็นไปได้ที่ระดับของผลกระทบอาจแปรผันไปตามปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันของ ENSO และ IOD ส่วนหลังของงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (time series analysis) ของปรากฏการณ์ IOD เพื่อพิจารณาการอุบัติซ้ำ (return period) รวมไปถึงวิเคราะห์ความแปรผันของผลกระทบในเชิงพื้นที่ ที่มีต่อรูปแบบและการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีของประเทศไทย



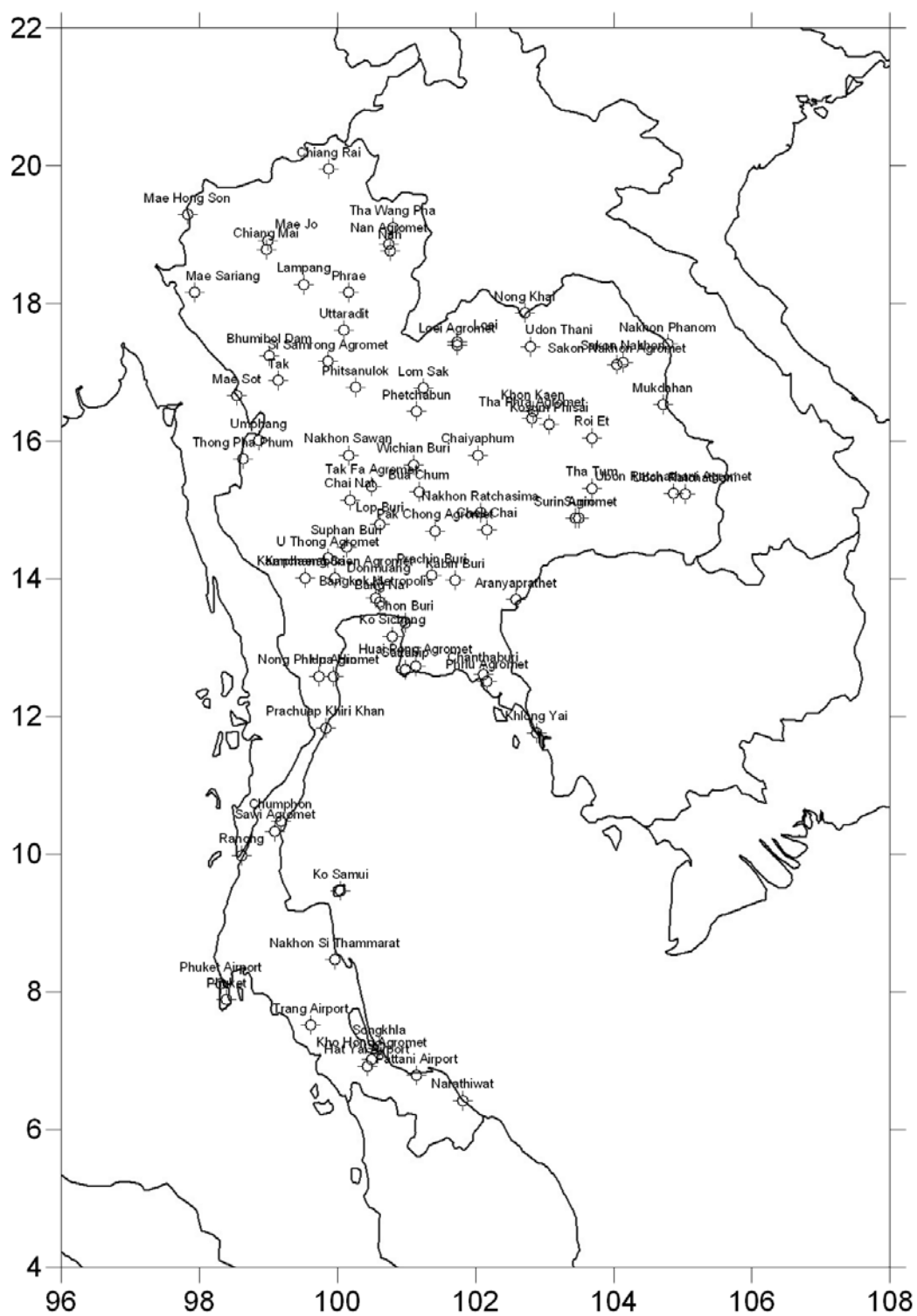
รูปที่ 2.1 สถานการณ์ผลกระทบจากสภาวะปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole
ที่มา: Tan Chun Knee, United Nations University (ติดต่อส่วนตัว)

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

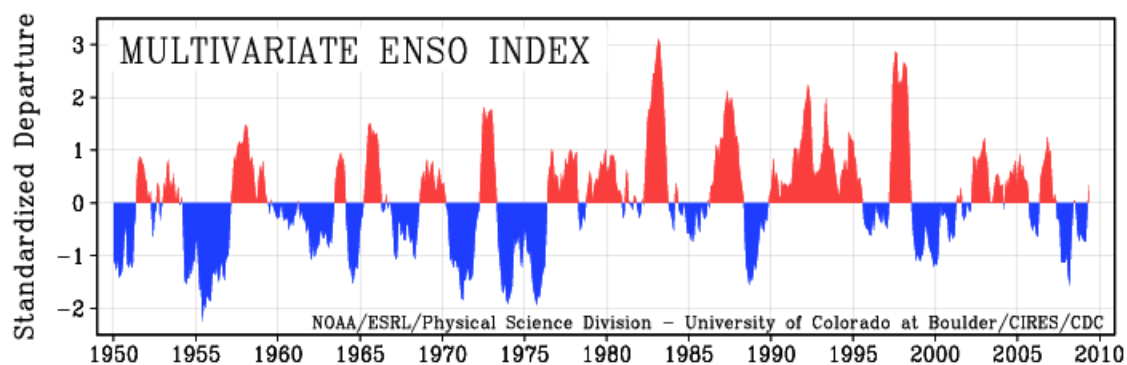
เลือกวิเคราะห์ฐานข้อมูลในขอบเขตของคาบระยะเวลา 30 ปี ณ ช่วงระหว่างปี 1976 – 2005 เนื่องจากการวิจัยหลายฉบับยืนยันหลักฐานการเกิด climatic shift ของแนวโน้มอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกในช่วงกลางทศวรรษ 1970s ซึ่งถือเป็นจุดเปลี่ยน (tipping point) ของสภาวะ ENSO ที่ส่งอิทธิพลต่อความแปรผันของสภาพอากาศในระดับโลกเนื่องจากมหาสมุทรแปซิฟิกมีอาณาบริเวณกว้าง โดยพบว่าก่อนหน้าปี 1976 ความถี่ของปรากฏการณ์ลานีญาจะเกิดขึ้นบ่อยครั้ง แต่ทว่าภายหลังปี 1976 เรื่อยมาจนกระทั่งปัจจุบัน ความถี่ของปรากฏการณ์เอลนีโญจะเกิดขึ้นบ่อยครั้งและทวีความรุนแรงมากขึ้น

ในส่วนของคุณข้อมูลต่าง ๆ พร้อมทั้งแหล่งที่มาที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- (1) ปริมาณน้ำฝน ใช้สถิติข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ทำการคัดเลือกสถานีที่มีข้อมูลระยะยาวครอบคลุมขอบเขตคาบระยะเวลาที่ทำการศึกษ จำนวนทั้งสิ้น 80 สถานีจากทั้งหมด 120 สถานีทั่วประเทศ (รูปที่ 2.2) (ภาคผนวก ก) โดยวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำฝนรวมรายปี ปริมาณน้ำฝนรวมในฤดูฝน (wet season) ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และปริมาณน้ำฝนรวมในฤดูแล้ง (dry season) ระหว่างเดือนพฤศจิกายนของปีก่อนหน้าถึงเดือนเมษายนของปีปัจจุบัน เพื่อพิจารณาความแปรผันเชิงฤดูกาล
- (2) ดัชนี Multivariate ENSO Index (MEI) บ่งชี้สภาวะ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก ดังรูปที่ 2.3 เป็นค่าองค์ประกอบหลักที่สกัดความแปรปรวนจาก 6 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล อุณหภูมิอากาศ ความกดอากาศเหนือระดับน้ำทะเล ลมผิวพื้นในทิศตะวันออก-ตะวันตก ลมผิวพื้นในทิศเหนือ-ใต้ และปริมาณเมฆรวม ซึ่งพัฒนาโดย Wolter and Timlin (1993) สามารถดาวน์โหลดได้จาก Physical Sciences Division, Earth System Research Laboratory National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ประเทศสหรัฐอเมริกา ผ่านทาง <http://www.cdc.noaa.gov/>
- (3) ดัชนี Dipole Mode Index (DMI) บ่งชี้สภาวะ IOD ในมหาสมุทรอินเดีย ดังรูปที่ 2.4 เป็นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลระหว่างฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรอินเดีย (50-70°E, 10°S-10°N) และฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของมหาสมุทรอินเดียบริเวณเกาะสุมาตรา (90-110°E, 10°S-0°N) ซึ่งพัฒนาโดย Saji et al. (1999) และ Yamagata et al. (2002) สามารถดาวน์โหลดได้จาก Frontier Research Center for Global Change (FRCGC) Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) ประเทศญี่ปุ่น ผ่านทาง <http://www.jamstec.go.jp/>

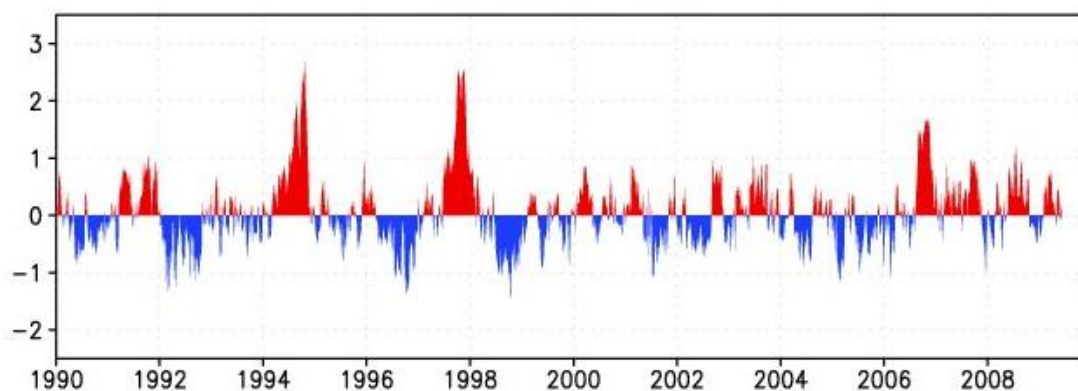


รูปที่ 2.2 ตำแหน่งสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 2.3 ดัชนี MEI บ่งชี้สภาวะ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก

ที่มา: <http://www.cdc.noaa.gov/>



รูปที่ 2.4 ดัชนี DMI บ่งชี้สภาวะ IOD ในมหาสมุทรอินเดีย

ที่มา: <http://www.jamstec.go.jp/>

2.2.1 การวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก (Principal Components Analysis)

ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนรวมรายปีกับดัชนีสมุทรศาสตร์ DMI และ MEI ด้วยการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก (Preisendorfer, 1988; Storch and Zwiers, 1999) ซึ่งเป็นเทคนิคในการลดจำนวนตัวแปร โดยสร้างเซตของตัวแปรใหม่ให้เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นที่คงรายละเอียดของตัวแปรเดิม วิธีนี้เป็นการดึงรายละเอียด หรือสกัดค่าความแปรปรวนจากตัวแปรเดิมเข้ามาไว้ในตัวแปรใหม่ให้มากที่สุด ตัวแปรใหม่หรือตัวประกอบหลักนั้นจะไม่มีความสัมพันธ์กันเอง นั่นคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเป็นศูนย์ แต่ตัวประกอบหลักกับตัวแปรเดิมจะมีความสัมพันธ์กัน โดยวัดความสัมพันธ์ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักและตัวแปรเดิมเรียกว่า loading ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรเดิมที่มีต่อการสร้างตัวประกอบหลัก กล่าวคือถ้าค่า loading ของตัวแปรเดิมใดมีค่ามาก แสดงให้เห็นว่าตัวแปรเดิมนั้นมีความสำคัญหรือมีส่วนร่วมในการสร้างตัวประกอบหลักมาก นั่นเอง

2.2.2 การวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis)

พิจารณากำหนดขอบเขตและรูปแบบของการกระจายปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยเชิงพื้นที่ ด้วยการวิเคราะห์กลุ่ม ซึ่งเป็นวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลตามคุณลักษณะบางประการที่เหมือนกันหรือคล้ายกัน โดยในการตัดสินใจว่าหน่วยใดบ้างที่สมควรรวมอยู่ภายในกลุ่มเดียวกันนั้น จะพิจารณาถึงการวัดความต่างหรือระยะห่าง (distance measure) เพื่อให้ได้จุดศูนย์กลางข้อมูล (centroid) ซึ่งเป็นตัวแทนกลุ่มที่เหมาะสม

2.2.2.1 Fuzzy C - Means Clustering (FCM)

เป็นเทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Bezdek (1981) ซึ่งปรับปรุงมาจากวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means ที่ได้นำเสนอไว้โดย Hartigan and Wong (1979) ด้วยอาศัยการระบุระดับคุณสมบัติ (membership grade) ของข้อมูลนำเข้าทุกตัวตามทฤษฎีของฟัซซีเซต (fuzzy set theory) ของ Zadeh (1965) เป็นผลทำให้วิธีการแบบ Fuzzy C-Means (FCM) เป็นเทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูลขั้นสูงที่มีศักยภาพและได้รับความนิยมขึ้นเป็นอย่างมากในปัจจุบัน โดยกำหนดให้เซตข้อมูล fuzzy partition ไว้ดังนี้

$$M_{fcm} = \left\{ U \in [0, 1]^{c \times n} \mid \sum_{i=1}^c u_{ik} = 1, k = 1, \dots, n, \sum_{k=1}^n u_{ik} > 0, i = 1, \dots, c \right\}$$

ฟังก์ชัน FCM ดังแสดงในสมการ

$$J_{FCM}(U, V; X) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n u_{ik}^m \|x_k - v_i\|^2$$

โดย fuzziness parameter $m \in (1, \infty)$ และใช้หลักการ optimization ของฟังก์ชันภายใต้เงื่อนไข

$$u_{ik} = 1 / \sum_{j=1}^c \left(\frac{\|x_k - v_i\|}{\|x_k - v_j\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}$$

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m x_k}{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m}$$

ฟังก์ชันดังกล่าวจะเริ่มต้นด้วยการเดาสุ่มจุดศูนย์กลางข้อมูลและทำการกำหนดระดับคุณสมบัติให้ข้อมูลนำเข้าแต่ละตัว จากนั้นจะมีการคำนวณเวียนรอบไปเรื่อยๆ เพื่ออัปเดตหาจุดศูนย์กลางใหม่ โดยรอบการคำนวณจะสิ้นสุดลงก็ต่อเมื่อให้ค่าฟังก์ชันต่ำที่สุด

2.2.2.2 Self-Organizing Feature Map (SOM)

เป็นเทคนิคหนึ่งทางด้านโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (artificial neural networks) ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้สำหรับการจำแนกกลุ่มข้อมูลแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) โดยอาศัยวิธีการเรียนรู้แบบแข่งขัน (competitive learning) ภายใต้ชั้นโครงข่าย (Kohonen, 1987) ข้อมูลนำเข้าทุกตัวในรูปเวกเตอร์จะเปรียบเสมือนนิวรอน โครงข่ายจะเรียนรู้และจดจำนิวรอนตามรูปแบบฟังก์ชันของระยะห่างและทอพอโลยีที่ผู้ใช้กำหนดให้ หลังจากนั้นโครงข่ายจะสุ่มหานิวรอนจากข้อมูลนำเข้าในรูปเวกเตอร์ให้เป็นผู้ชนะ และคำนวณเพื่อไปปรับค่าถ่วงน้ำหนักตามระยะห่างจากนิวรอนข้างเคียง โดยผู้ใช้ต้องกำหนดจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ต้องการไว้ล่วงหน้า โครงข่ายจึงจะทำการคำนวณเวียนรอบไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสามารถหานิวรอนผู้ชนะที่เหมาะสมที่สุดในการเป็นจุดกึ่งกลางของกลุ่มข้อมูล โดยพบว่าเมื่อมีข้อจำกัดบางประการ นั่นคือ นิวรอนบางตัวอาจไม่สามารถเป็นผู้ชนะได้เลย เนื่องจากค่าถ่วงน้ำหนักจากระยะทางนั้นอยู่ห่างไกลจากบรรดากลุ่มข้อมูลนำเข้าในรูปเวกเตอร์ ข้อจำกัดดังกล่าวจึงนับเป็นข้อดีประการหนึ่งที่ทำให้การจำแนกกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีนี้ไม่ตอบสนองต่อข้อมูลที่เป็ค่าผิดปกติ (outlier) ดังนั้นวิธีการ SOM จึงได้รับความนิยมมากในศาสตร์ด้านการพยากรณ์ทรัพยากรน้ำในปัจจุบัน

2.2.3 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis)

ตรวจสอบอนุกรมเวลาของสภาวะปรากฏการณ์ IOD ตลอดคาบระยะเวลา 150 ปีที่ผ่านมา ด้วยการวิเคราะห์สัญญาณ (signal analysis) ของดัชนีสมุทรศาสตร์ DMI ในช่วงระหว่างปี 1856–2006 ในรูปแบบของ wavelet power spectrum ตามหลักการและระเบียบวิธีของ Emery and Thomson (1997) ซึ่งเป็นการแปลงสัญญาณจาก time domain ไปเป็น frequency domain ด้วยวิธีการ Fourier Transform วิธีนี้ช่วยในการเปลี่ยนมุมมองเพื่อให้ทราบถึง frequency spectrum ที่เป็นองค์ประกอบของสัญญาณนั้น โดยช่วยให้สามารถตรวจสอบ power spectrum ที่เป็นการกระจายกำลังของสัญญาณในย่านความถี่ต่างๆ การวิเคราะห์อนุกรมเวลาในรูปแบบดังกล่าวนี้เป็นเทคนิคที่ใช้ในการบ่งชี้คาบการอุปติซ้ำ (return period) และสามารถพิจารณาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคาบและความถี่ของสภาวะปรากฏการณ์ IOD นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

2.2.4 การวิเคราะห์สภาวะคู่ควบ (Combination Analysis)

ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลแต่ละสถานะในรูปแบบของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย รวมทั้งแสดงผลให้อยู่ในรูปแบบเชิงพื้นที่ (Dobesch et al, 2007) โดยจำแนกเงื่อนไขเหตุการณ์ของการเกิดสภาวะคู่ควบ (event combination) ของปรากฏการณ์ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก และปรากฏการณ์ IOD ในมหาสมุทรอินเดีย พิจารณาออกเป็น 4 เงื่อนไขดังต่อไปนี้

- (1) เหตุการณ์ที่ strong IOD เกิดร่วมกับ strong El Niño;
- (2) เหตุการณ์ที่ strong IOD เกิดร่วมกับ weak El Niño;
- (3) เหตุการณ์ที่ weak IOD เกิดร่วมกับ strong El Niño;
- (4) เหตุการณ์ที่ weak IOD เกิดร่วมกับ weak El Niño

เพื่อประกอบการพิจารณาพื้นที่อ่อนไหวและเสี่ยงภัยต่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทย โดยสาเหตุที่ได้ทำการจำแนกเหตุการณ์ตามเงื่อนไขข้างต้น เนื่องจากว่าผลกระทบของปรากฏการณ์ทั้งคู่มิแนวโน้มไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ อิทธิพลของปรากฏการณ์ IOD คาดว่ามีแนวโน้มทำให้ปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น แต่ทว่าอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญกลับมีแนวโน้มทำให้ปริมาณน้ำฝนลดลง โดยที่มีความแตกต่างจากอิทธิพลของปรากฏการณ์ลานีญาที่มีแนวโน้มทำให้ปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับปรากฏการณ์ IOD ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันอยู่แล้ว ในเบื้องต้นนี้จึงมีได้พิจารณาสภาวะคู่ควบของปรากฏการณ์ลานีญา

บทที่ 3

ผลการศึกษาและวิจารณ์

3.1 การวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก (Principal Components Analysis)

ในการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักพบว่าสามารถสกัดหรือดึงรายละเอียดค่าความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีจากทั้งหมด 80 สถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศออกมาอยู่ในตัวประกอบหลักอันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 ได้ถึง 26.05 % และ 11.40 % ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักโดยพิจารณาจำแนกเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนออกเป็นรายฤดูกาล ได้แก่ ฤดูฝน (wet season) และฤดูแล้ง (dry season) โดยฤดูฝนใช้เป็นปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมภายในปีเดียวกันนั้น และฤดูแล้งใช้เป็นปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนของปีนั้นถึงเดือนเมษายนของปีถัดไป โดยผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนรวมรายฤดูกาลพบว่าสามารถสกัดค่าความแปรปรวนออกมาอยู่ในตัวประกอบหลักอันดับที่ 1 คิดเป็น 22.33 % สำหรับปริมาณน้ำฝนสะสมในฤดูฝน และ 56.88 % สำหรับปริมาณน้ำฝนสะสมในฤดูแล้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยมีสัดส่วนความแปรปรวนของตัวประกอบหลักลำดับต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ซึ่งค่าความแปรปรวนที่สกัดได้ในรูปของตัวประกอบหลักนี้สามารถทดสอบความสัมพันธ์ย้อนกลับในรูปของการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlation analysis) กับปริมาณน้ำฝนในแต่ละสถานี ดังแสดงในรูปที่ 3.3–3.5 เพื่อยืนยันทิศทางและขนาดของความสัมพันธ์นั้น

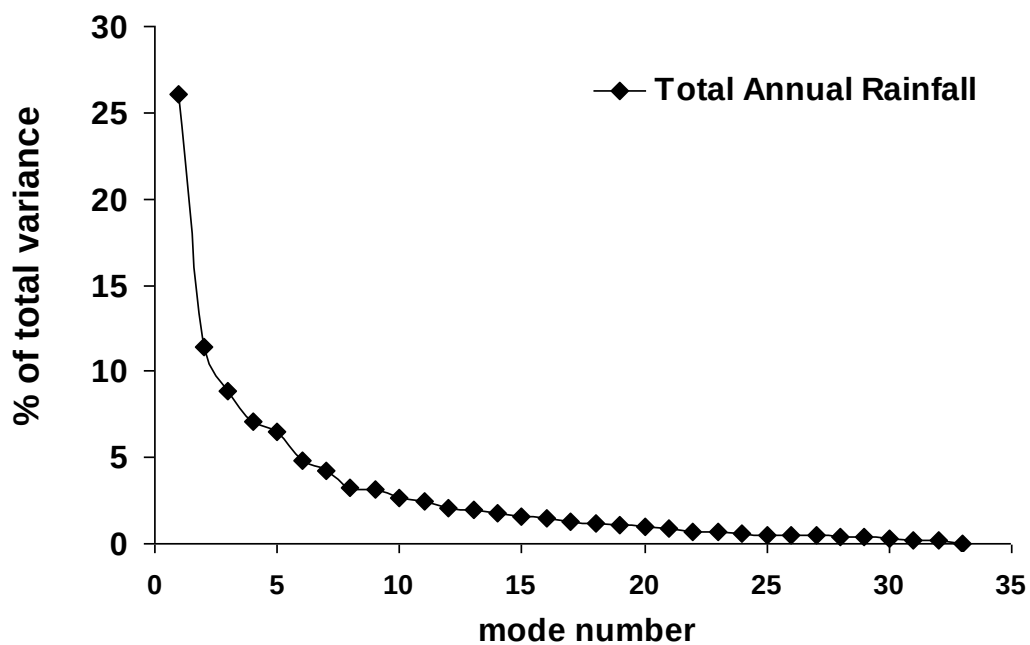
ตัวประกอบหลักอันดับที่ 1 ของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลพบว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในเชิงบวกหรือเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนในเกือบทุกสถานีทั่วประเทศ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ตัวประกอบหลักดังกล่าวมีความสอดคล้องและสามารถใช้อธิบายความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนในภาพรวมของประเทศไทยได้อย่างมีนัยสำคัญ

ตัวประกอบหลักอันดับที่ 2 ของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูฝนเป็นที่น่าสังเกตว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในเชิงบวก ณ ตำแหน่งสถานที่อยู่ตอนบนของประเทศเท่านั้น แต่ทว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในเชิงลบ หรือ เป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม ณ ตำแหน่งสถานที่อยู่ในเขตภาคใต้และภาคกลางตอนล่าง รูปแบบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีปัจจัยสำคัญบางประการที่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนในเชิงพื้นที่ของประเทศไทย ซึ่งยังคงพบข้อน่าสังเกตอีกประการหนึ่งว่ารูปแบบดังกล่าวไม่แสดงให้เห็นในช่วงฤดูแล้ง จึงเป็นไปได้ว่าปัจจัยดังกล่าวเป็นอิทธิพลของมรสุมฤดูร้อน โดยเฉพาะมรสุมฤดูร้อน Western North Pacific Summer Monsoon (WNPSM)

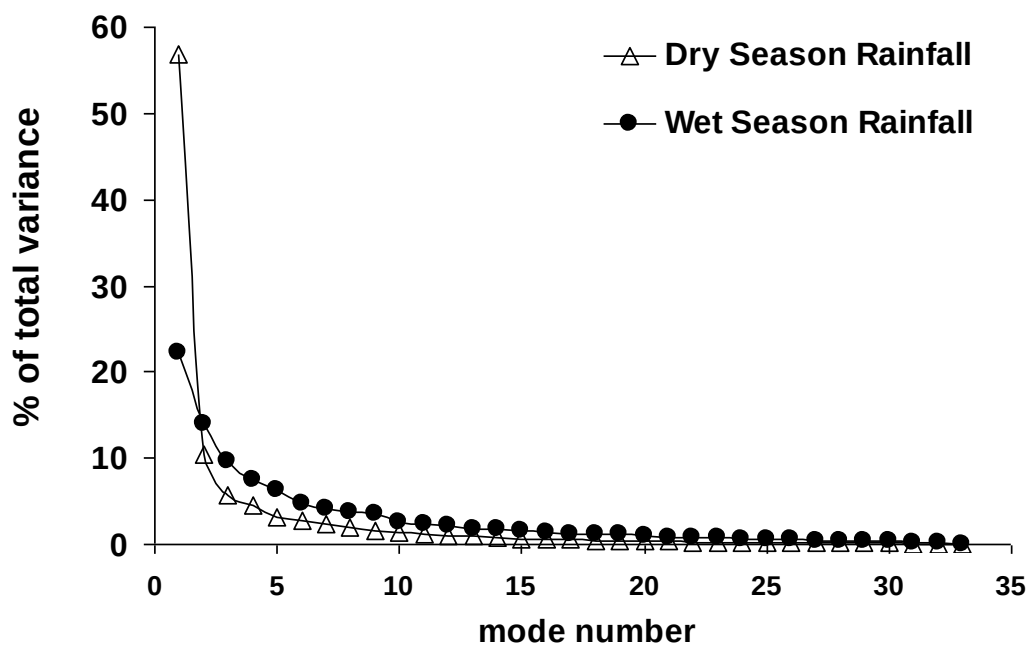
ภายหลังจากการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักจึงใช้ค่าความแปรปรวนที่สกัดได้ในตัวประกอบหลัก นำมาทดสอบความสัมพันธ์กับดัชนีความผิดปกติทางสมุทรศาสตร์ของปรากฏการณ์ ENSO และ IOD ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ โดยสำหรับปรากฏการณ์ ENSO ใช้ดัชนี annual MEI ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยรายปี นอกจากนี้ยังได้ทดลองเปรียบเทียบกับดัชนีอื่นของปรากฏการณ์ ENSO ได้แก่ Niño 3.4 และ Niño 1+2 ส่วนสำหรับปรากฏการณ์ IOD ใช้ดัชนี seasonal DMI ซึ่งได้พัฒนาขึ้นใหม่โดยใช้เป็นค่าเฉลี่ยรายฤดูกาล ในช่วงระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายนของดัชนี DMI เนื่องจากสภาวะของปรากฏการณ์ IOD มักเริ่มพัฒนาตัวจนแสดงสภาวะเต็มขั้นชัดเจนในช่วงระยะเวลาดังกล่าว ผลจากการทดสอบความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 – 3.9 โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักและดัชนีสมุทรศาสตร์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2

สำหรับในกรณีของปรากฏการณ์ ENSO ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนี annual MEI กับตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนรวมรายปี คิดเป็น -0.52 กล่าวคือ ปริมาณน้ำฝนรวมรายปีมีแนวโน้มลดลงในปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญและเพิ่มขึ้นในปีที่เกิดปรากฏการณ์ลานีญา โดยข้อสังเกตหนึ่งพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนสะสมในฤดูฝนและฤดูแล้งคิดเป็น -0.18 และ -0.42 ตามลำดับ ซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้ได้ว่าปรากฏการณ์ ENSO มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงฤดูแล้งเป็นหลัก นั่นคือ ในปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ (ลานีญา) ปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงฤดูแล้งจะมีแนวโน้มลดลง (เพิ่มขึ้น) เป็นสัดส่วนที่สูงกว่าปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงฤดูฝน กล่าวอีกนัยหนึ่ง ปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายนมีความแปรปรวนเนื่องมาจากอิทธิพลของปรากฏการณ์ ENSO มากกว่า นั่นเอง นอกจากนี้พบว่าทั้งดัชนี Niño 3.4 และดัชนี Niño 1+2 ก็แสดงแนวโน้มในรูปแบบนี้เช่นเดียวกัน โดยที่ดัชนี Niño 3.4 กับ MEI มีความสอดคล้องกันในการบ่งชี้สภาวะปรากฏการณ์ ENSO

สำหรับในกรณีของปรากฏการณ์ IOD ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนี seasonal DMI กับตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนรวมรายปี คิดเป็น 0.08 กล่าวคือ ปริมาณน้ำฝนรวมรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในปีที่เกิดปรากฏการณ์ IOD โดยข้อสังเกตประการหนึ่งพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนสะสมในฤดูฝนและฤดูแล้งคิดเป็น 0.10 และ -0.22 ตามลำดับ นั่นคือ นอกเหนือจากปรากฏการณ์ IOD มีอิทธิพลทำให้แนวโน้มของปริมาณน้ำฝนสะสมในฤดูฝนเพิ่มขึ้นแล้ว ยังมีอิทธิพลทำให้ปริมาณน้ำฝนสะสมในฤดูแล้งถัดมามีแนวโน้มลดลงอีกด้วย กล่าวคือ ในปีที่เกิดสภาวะปรากฏการณ์ IOD ปริมาณน้ำฝนสะสมจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝนและมีแนวโน้มลดลงในช่วงฤดูแล้งที่ตามมาในปีถัดไป อย่างไรก็ตามแม้ว่าดัชนี DMI ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนที่ไม่สูงมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากความแปรปรวนในคาบเวลาระหว่างรอบปี (interannual variability) ของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นั้นยังคงได้รับอิทธิพลหลักมาจากสภาวะปรากฏการณ์ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิกซึ่งทรงกำลังมากกว่า ดังนั้น สภาวะปรากฏการณ์ IOD ที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรอินเดียจึงทำหน้าที่เป็นเสมือนตัวกลาง (modulator) ในการปรับอิทธิพลของสัญญาณที่มาจากสภาวะปรากฏการณ์ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก



รูปที่ 3.1 สัดส่วนความแปรปรวนที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนรวมรายปี



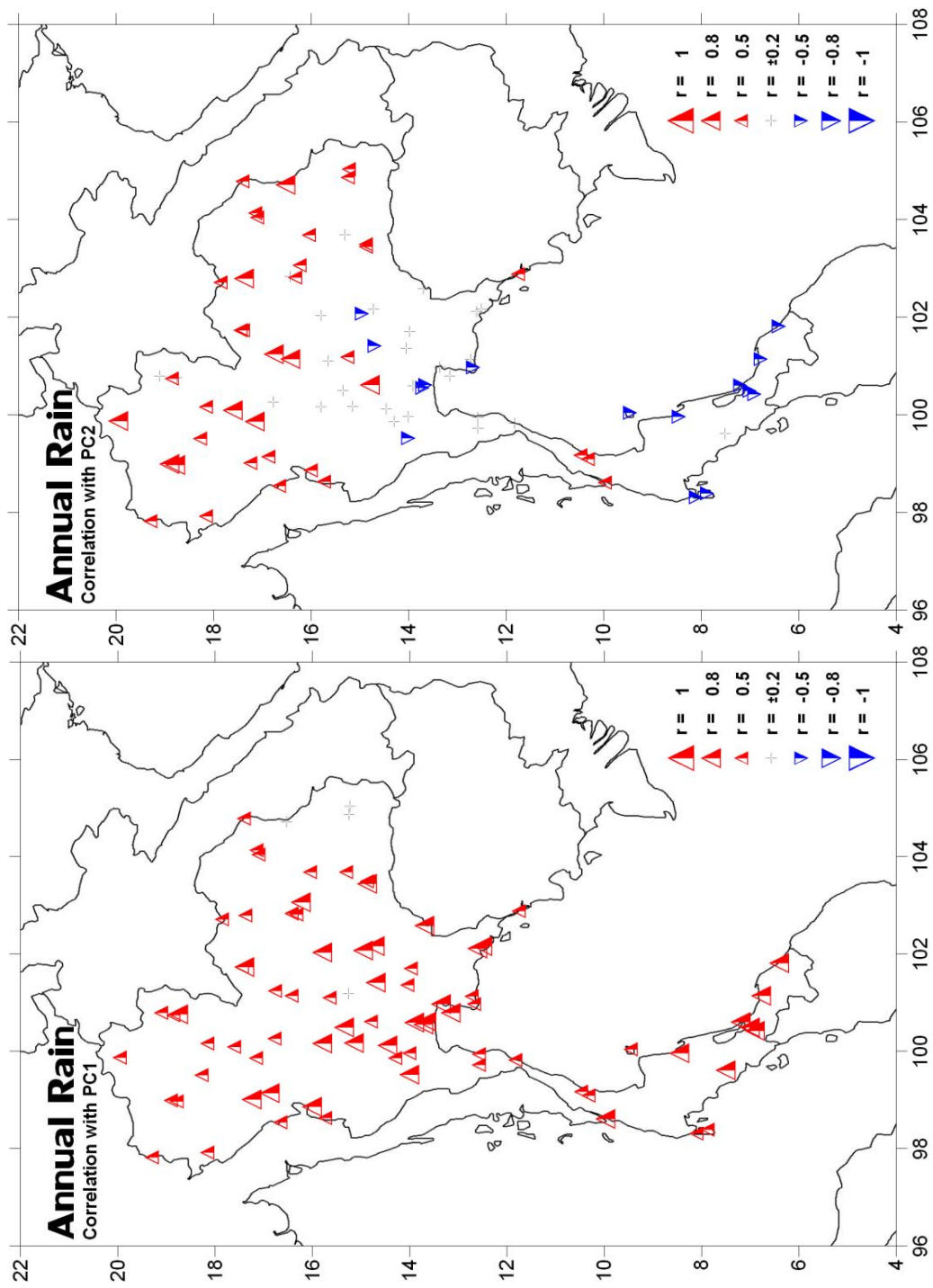
รูปที่ 3.2 สัดส่วนความแปรปรวนที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนรายฤดูกาล

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนความแปรปรวนที่สกัดได้มาจากการวิเคราะห์ตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝน

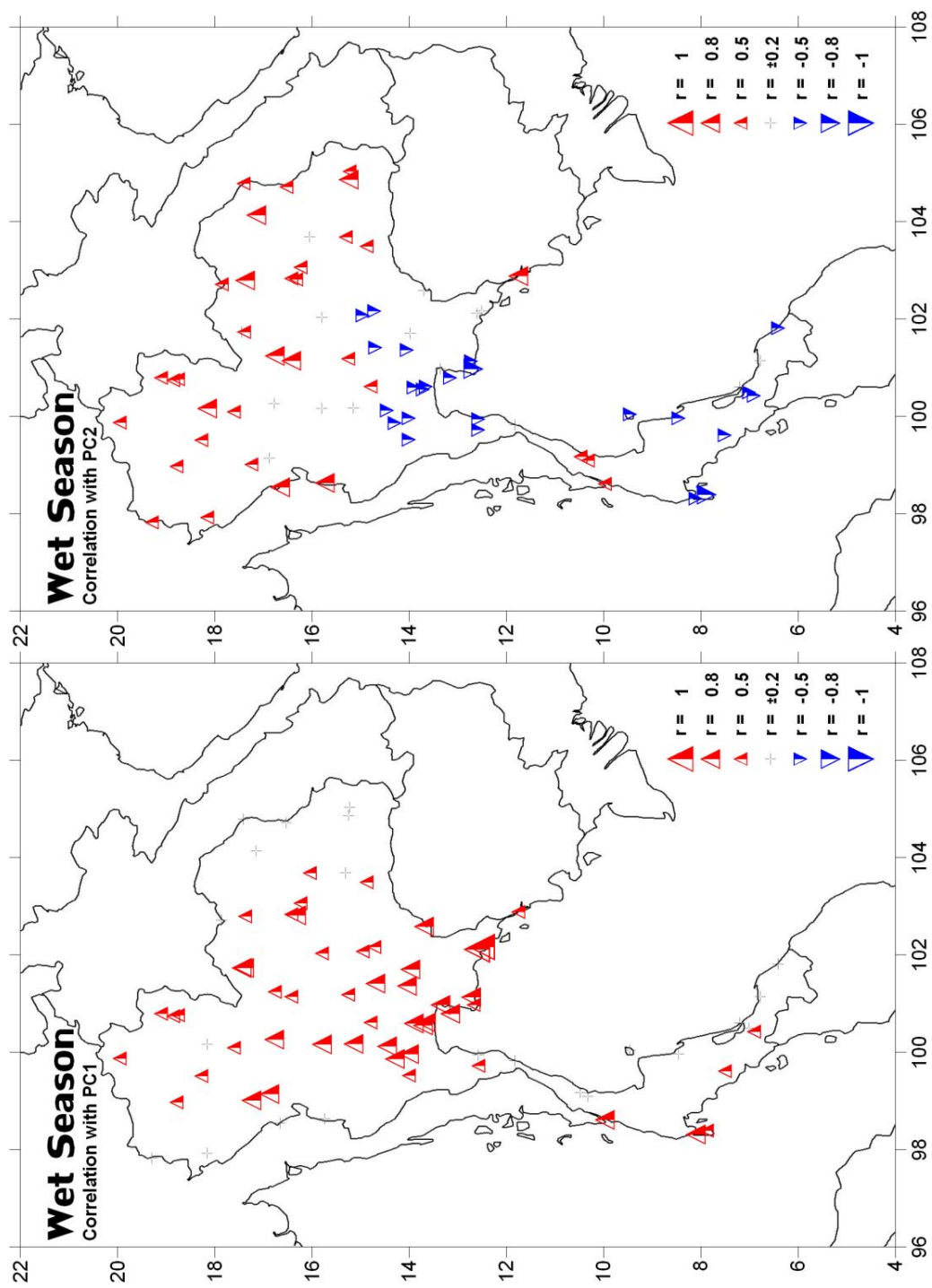
ตัวแปร	เปอร์เซ็นต์ความแปรปรวน					
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	Sum
ปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Total Annual Rainfall)	26.05	11.40	8.81	7.13	6.49	59.89
ฤดูฝน (Wet Season) ระหว่างเดือน พ.ค. ถึง ต.ค.	22.33	13.99	9.70	7.39	6.26	59.66
ฤดูแล้ง (Dry Season) ระหว่างเดือน พ.ย. ถึง เม.ย.	56.88	10.51	5.73	4.43	3.16	80.71

ตารางที่ 3.2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีสมุทรศาสตร์และตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝน

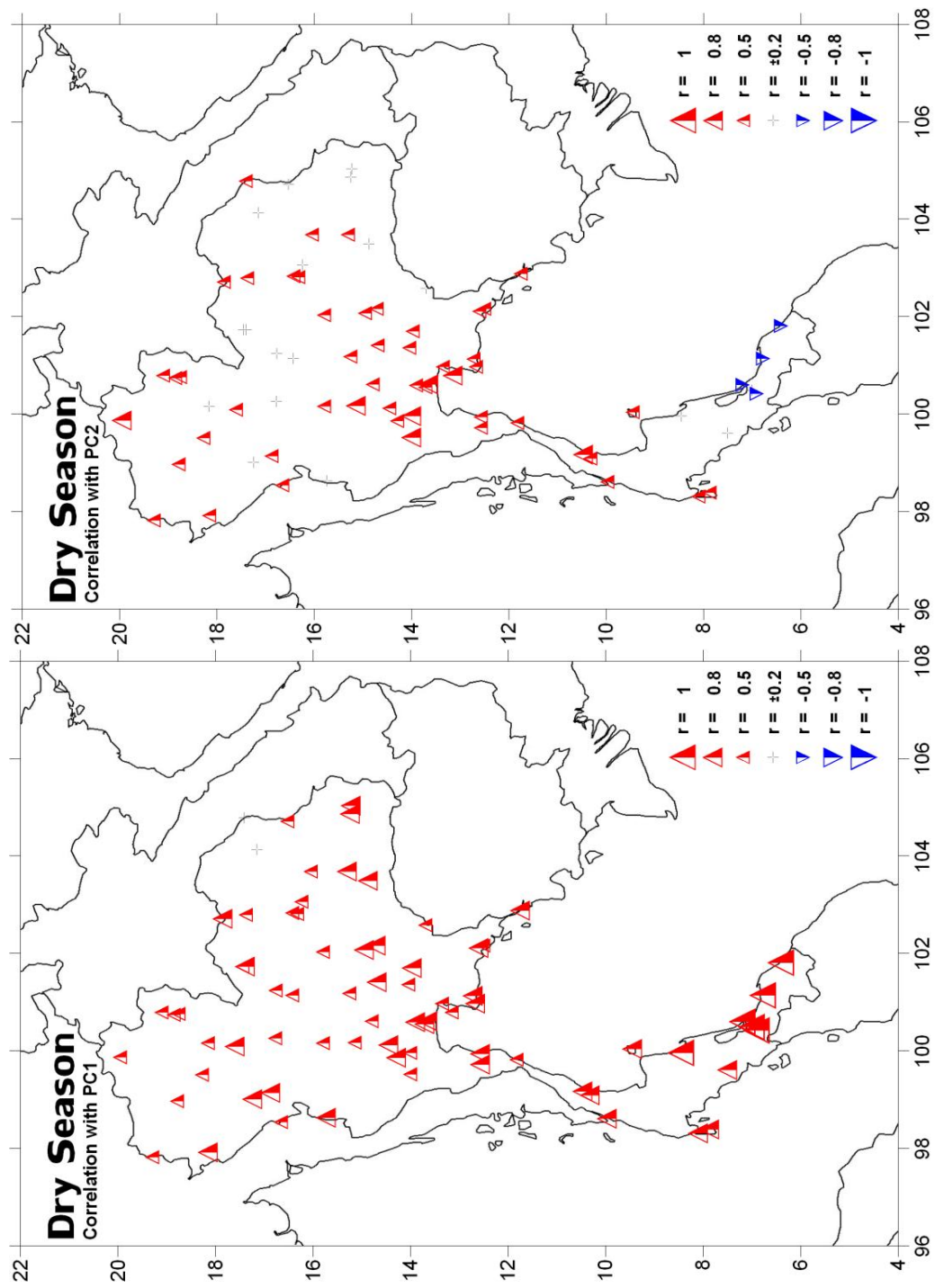
ตัวแปร	ดัชนีความผิดปกติทางสมุทรศาสตร์			
	ENSO			IOD
	annual MEI	annual Nino 3.4	annual Nino 1+2	seasonal DMI
ปริมาณน้ำฝนรวมรายปี (Total Annual Rainfall)	-0.52	-0.56	-0.25	0.08
ฤดูฝน (Wet Season) ระหว่างเดือน พ.ค. ถึง ต.ค.	-0.18	-0.30	-0.02	0.10
ฤดูแล้ง (Dry Season) ระหว่างเดือน พ.ย. ถึง เม.ย.	-0.42	-0.34	-0.24	-0.22



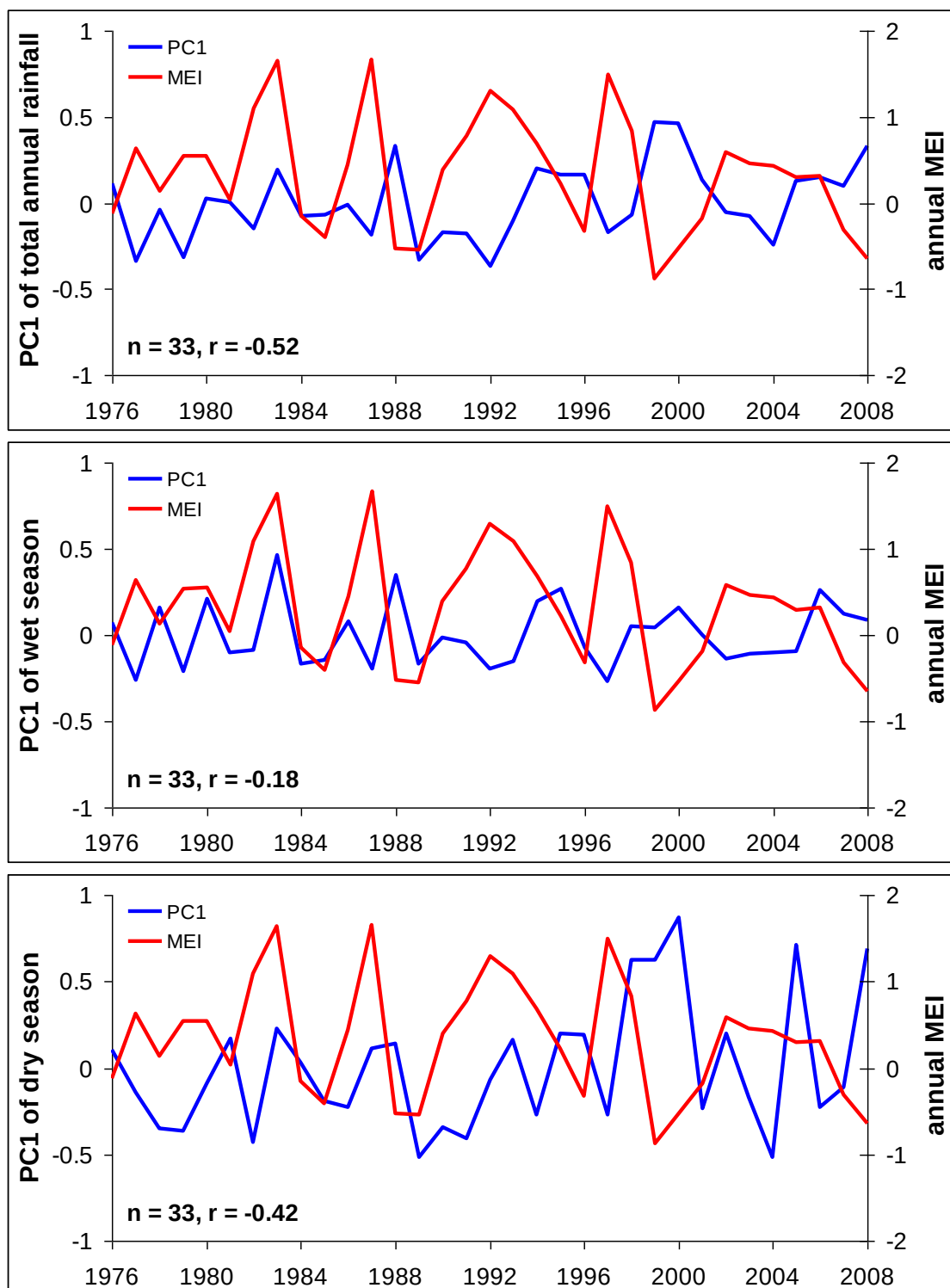
รูปที่ 3.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักกับปริมาณน้ำฝนรายปี



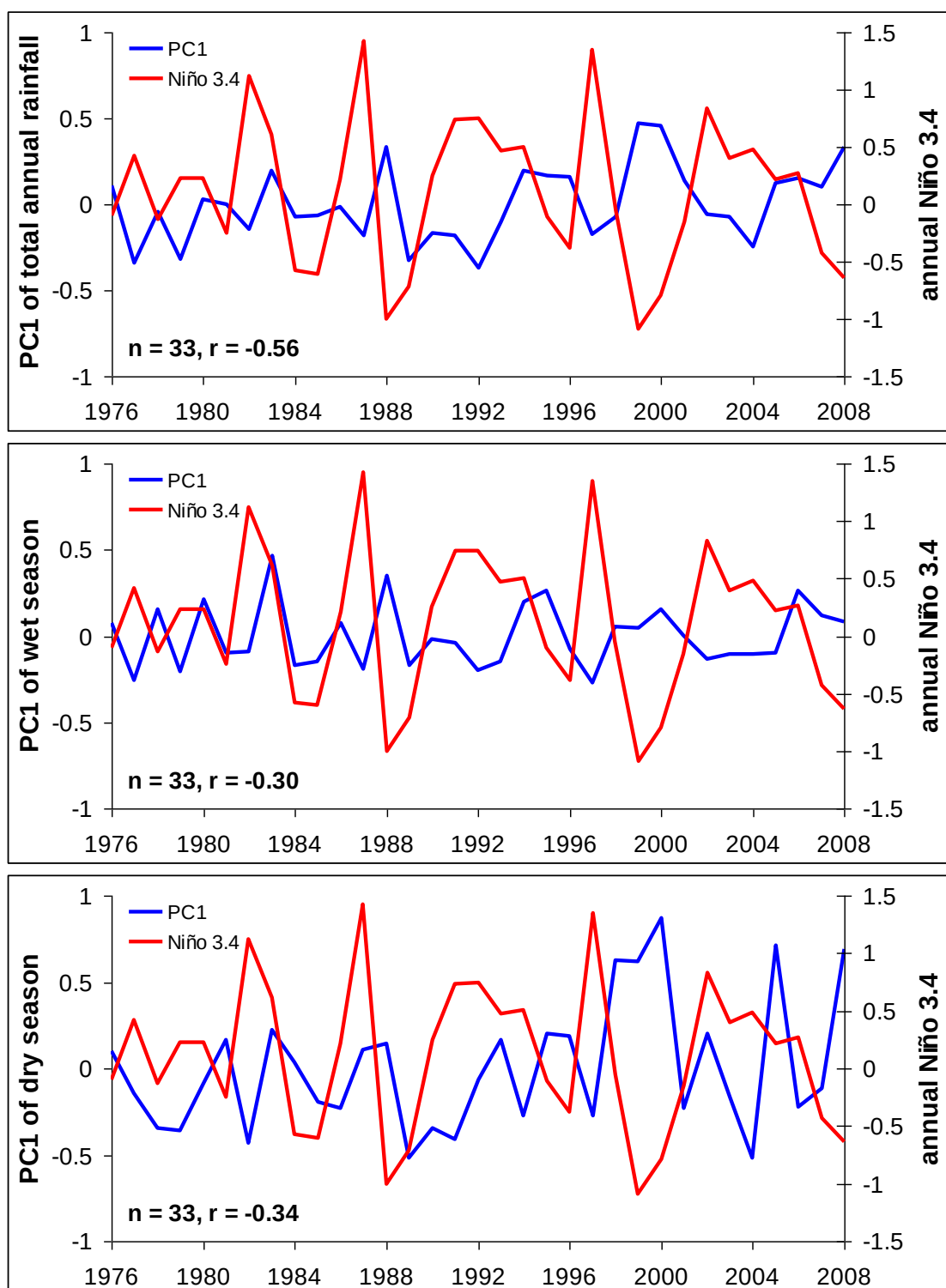
รูปที่ 3.4 สมบัติสหสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักกับปริมาณน้ำฝนในฤดูฝน



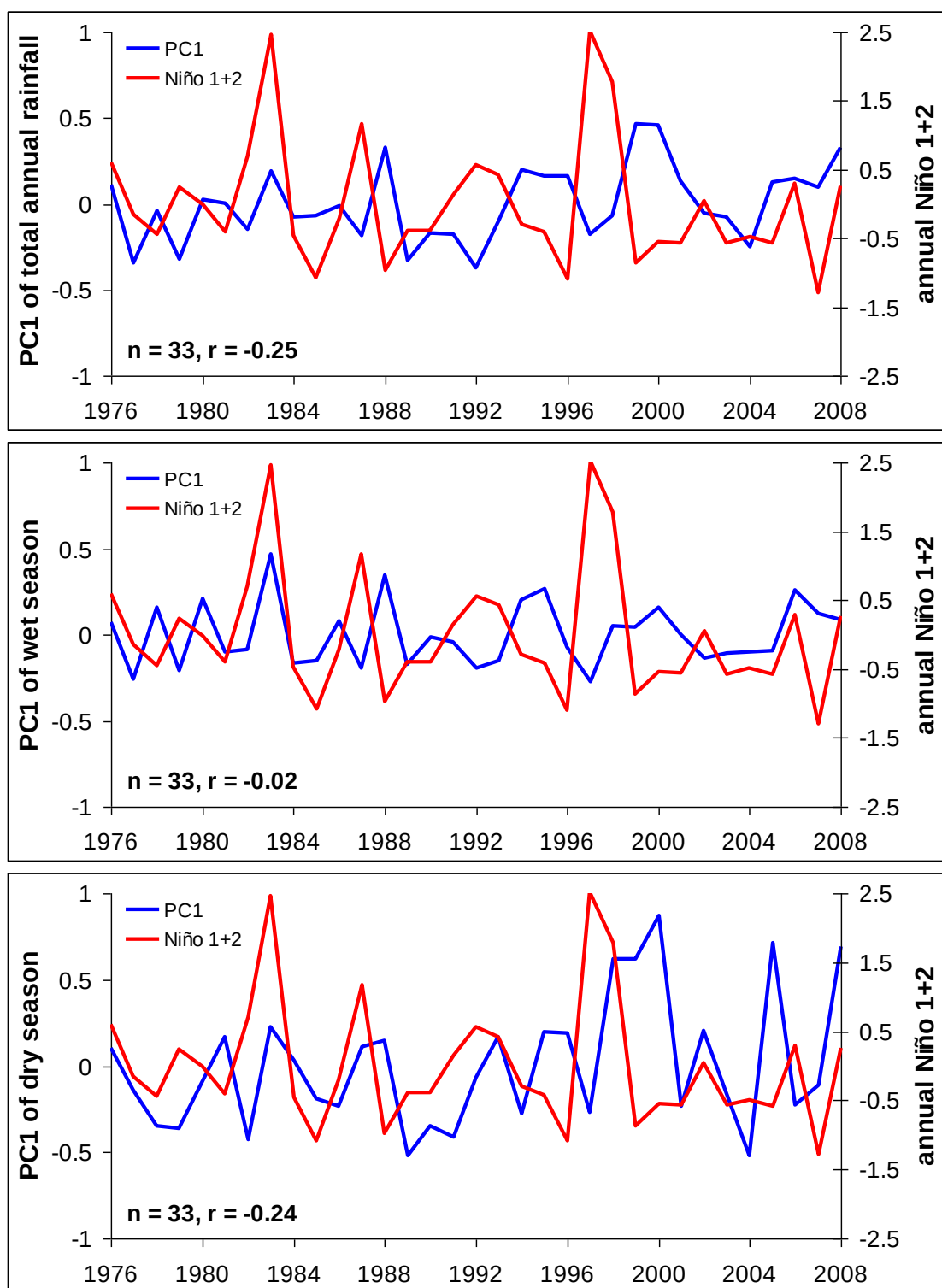
รูปที่ 3.5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักกับปริมาณน้ำฝนในฤดูแล้ง



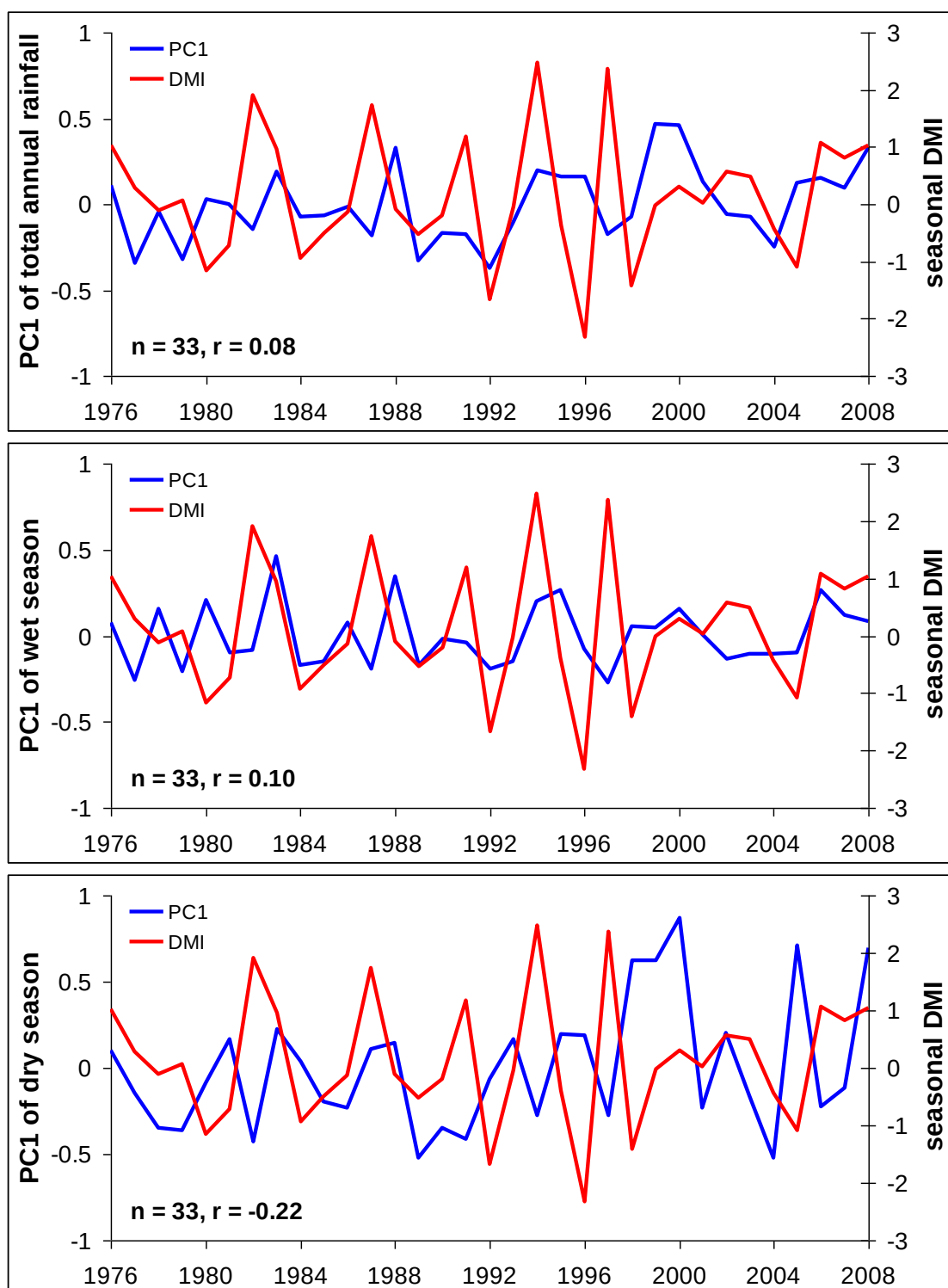
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝน PC_1 และดัชนีสมุทรศาสตร์ MEI



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝน PC_1 และดัชนีสมุทรศาสตร์ Niño 3.4



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝน PC_1 และดัชนีสมุทรศาสตร์ Niño 1+2



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝน PC_1 และดัชนีสมุทรศาสตร์ DMI

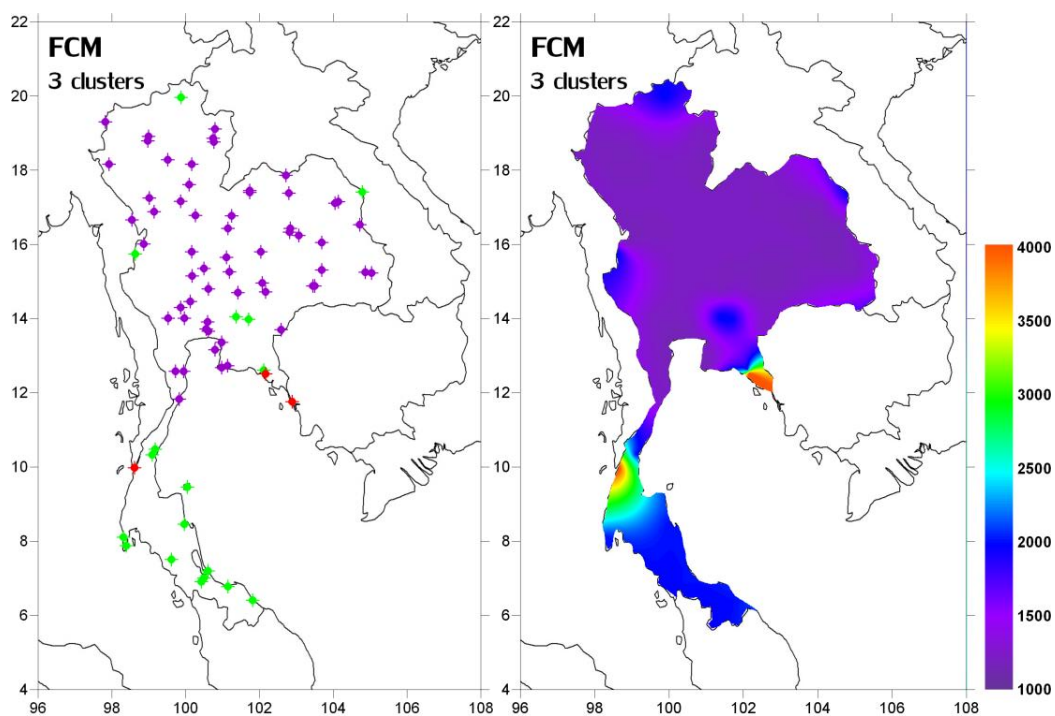
3.2 การวิเคราะห์กลุ่ม (Cluster Analysis)

เมื่อทราบถึงผลกระทบของปรากฏการณ์ IOD ในเบื้องต้นจากการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก แล้วว่าสภาวะปรากฏการณ์ IOD มีอิทธิพลทำให้ปริมาณน้ำฝนรวมรายปีของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนสะสมในฤดูฝน จึงนำมาสู่โจทย์วิจัยถัดมานั้นคือรูปแบบของผลกระทบในเชิงพื้นที่ โดยมีประเด็นคำถามวิจัยซึ่งคาดว่าจะระดับของผลกระทบจะแตกต่างกันออกไปในเชิงพื้นที่และมีเป้าหมายในการระบุพื้นที่เสี่ยงภัยอันเนื่องมาจากอิทธิพลของสภาวะปรากฏการณ์ IOD งานวิจัยในส่วนนี้จึงหันกลับมาพิจารณาถึงการจำแนกขอบเขตพื้นที่ และรูปแบบของการกระจายปริมาณน้ำฝนรวมรายปีของประเทศไทย ด้วยเทคนิควิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูล ได้แก่ Fuzzy C-Means (FCM) และ Self-Organizing Mapping (SOM) ทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลปริมาณน้ำฝนรวมรายปีจาก 80 สถานีตรวจอากาศทั่วประเทศออกเป็น 3 – 6 กลุ่ม เพื่อให้ได้ค่าจุดศูนย์กลางข้อมูลที่เหมาะสม

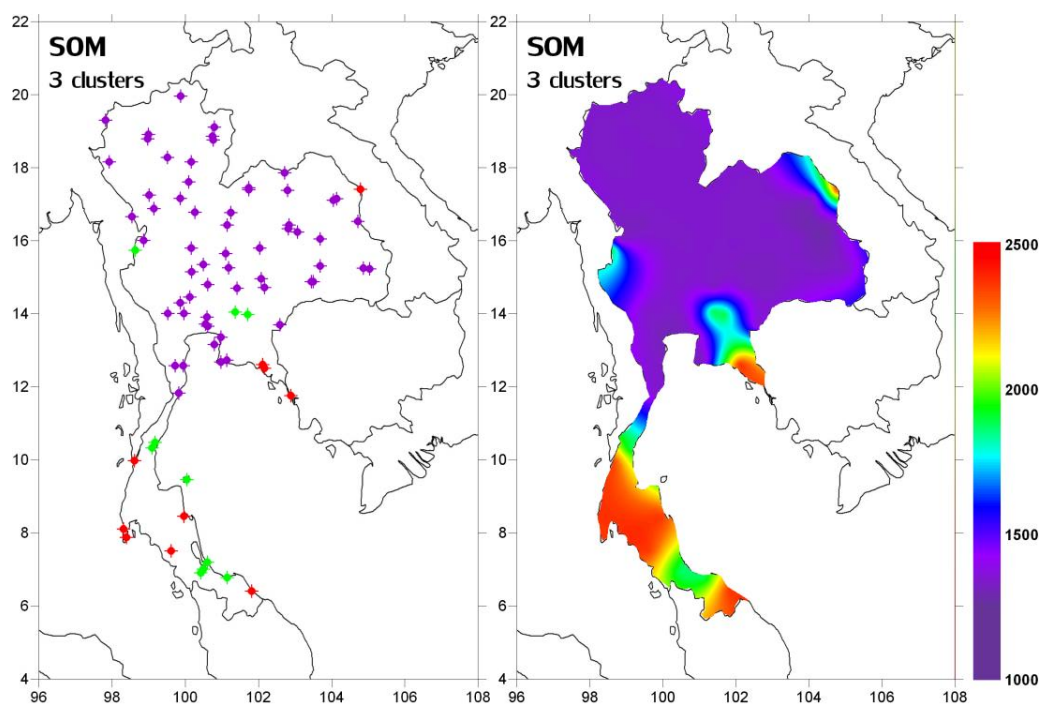
เมื่อได้จุดศูนย์กลางข้อมูลดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 จากนั้นจึงตัดสินใจว่าหน่วยใดบ้างที่สมควรรวมอยู่ภายในกลุ่มเดียวกันโดยพิจารณาถึงเกณฑ์ระยะห่าง (distance measure) ซึ่งผลการวิเคราะห์กลุ่มนี้ นำไปสู่การจำแนกรูปแบบของการกระจายปริมาณน้ำฝนของประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 3.10 – 3.17 โดยผู้วิจัยเลือกใช้รูปแบบที่ได้จากวิธี SOM แบบ 4 กลุ่มข้อมูล เนื่องจากวิธีนี้สามารถแบ่งช่วงชั้นข้อมูลได้อย่างเหมาะสมและยังไม่ตอบสนองต่อข้อมูลที่เป็นค่าผิดปกติ (outlier) ของสถานีที่มีปริมาณน้ำฝนสูงมาก เช่น จังหวัดตราดและจังหวัดระนอง นั่นเอง

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบจุดศูนย์กลางข้อมูลปริมาณน้ำฝนรวมรายปีในการใช้เทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูล

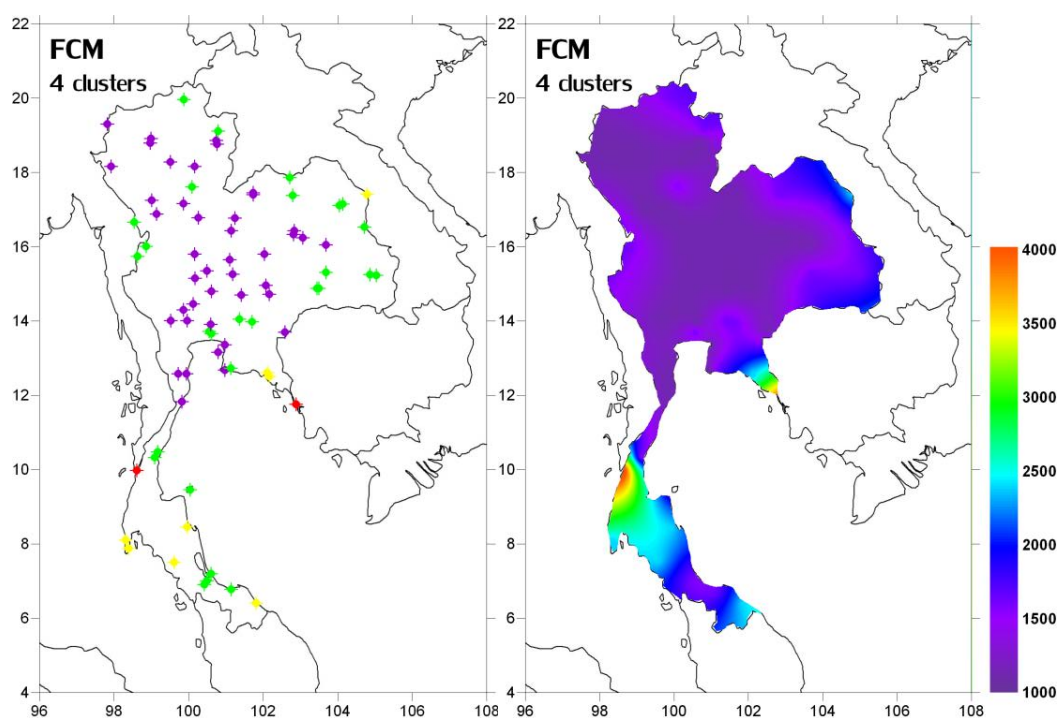
Clustering Techniques	Centroids					
	1	2	3	4	5	6
FCM – 6 clusters	4429.3	2493.9	1917.5	1577.7	1301.3	1060.1
FCM – 5 clusters	4417.2	2476.9	1833.1	1402.9	1084.6	-
FCM – 4 clusters	4388.5	2392.6	1602.3	1135.0	-	-
FCM – 3 clusters	4220.1	2004.1	1211.1	-	-	-
SOM – 6 clusters	2452.6	2036.1	1612.0	1315.3	1128.3	1032.0
SOM – 5 clusters	2459.3	2018.3	1581.8	1246.9	1074.8	-
SOM – 4 clusters	2423.3	1961.7	1463.7	1107.7	-	-
SOM – 3 clusters	2364.7	1886.9	1343.6	-	-	-



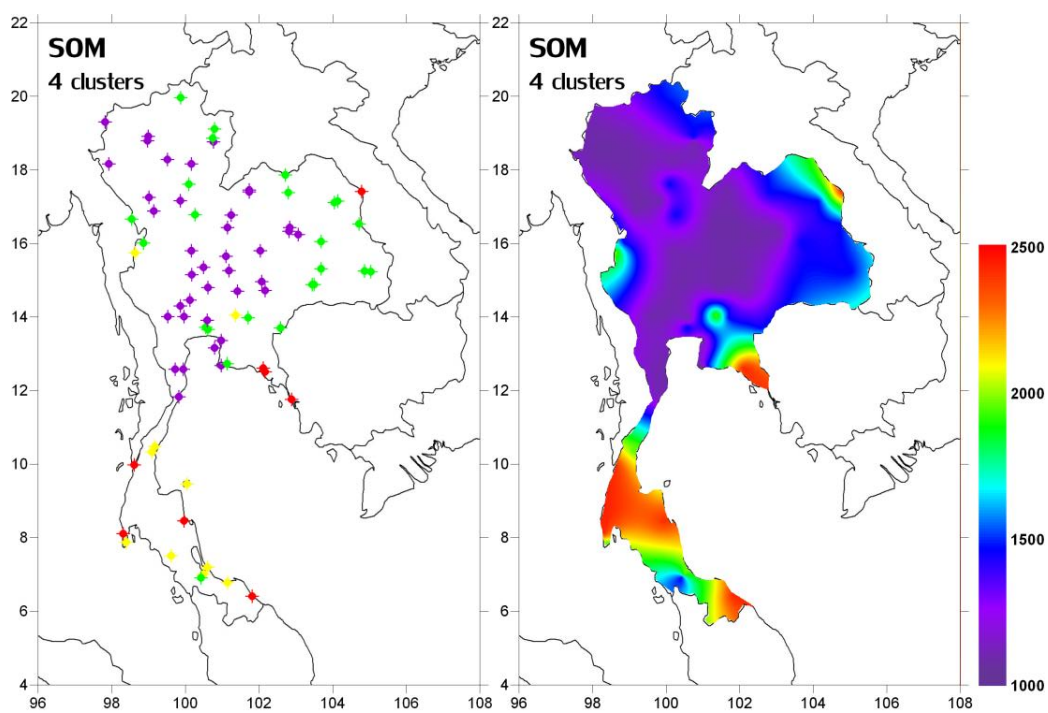
รูปที่ 3.10 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี FCM แบบ 3 กลุ่มข้อมูล



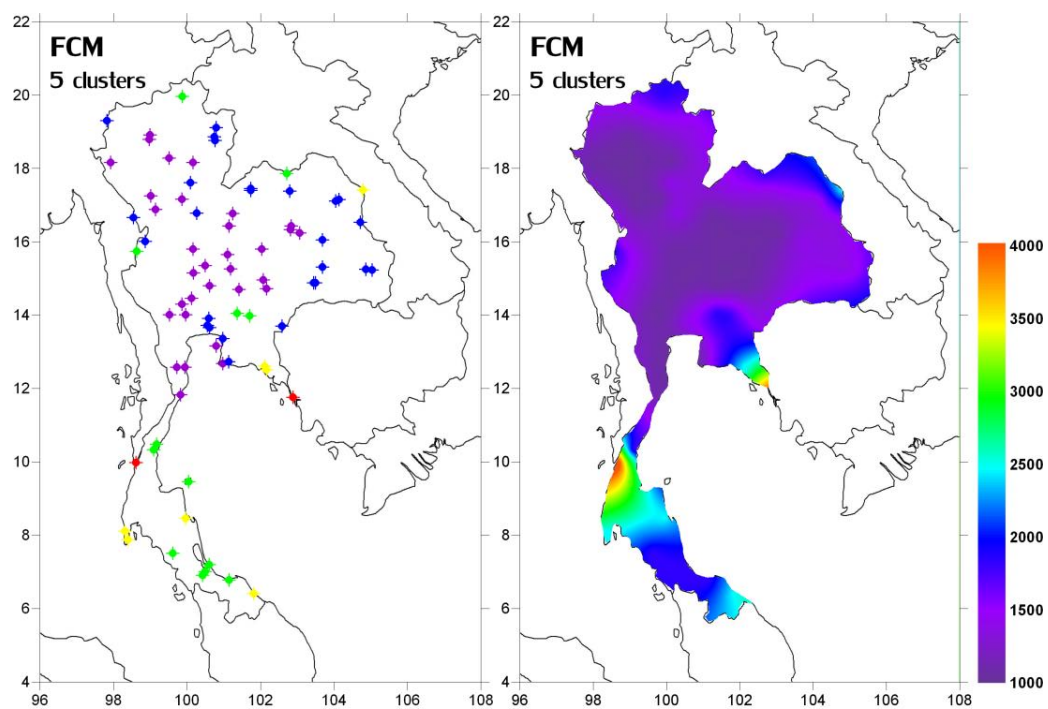
รูปที่ 3.11 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี SOM แบบ 3 กลุ่มข้อมูล



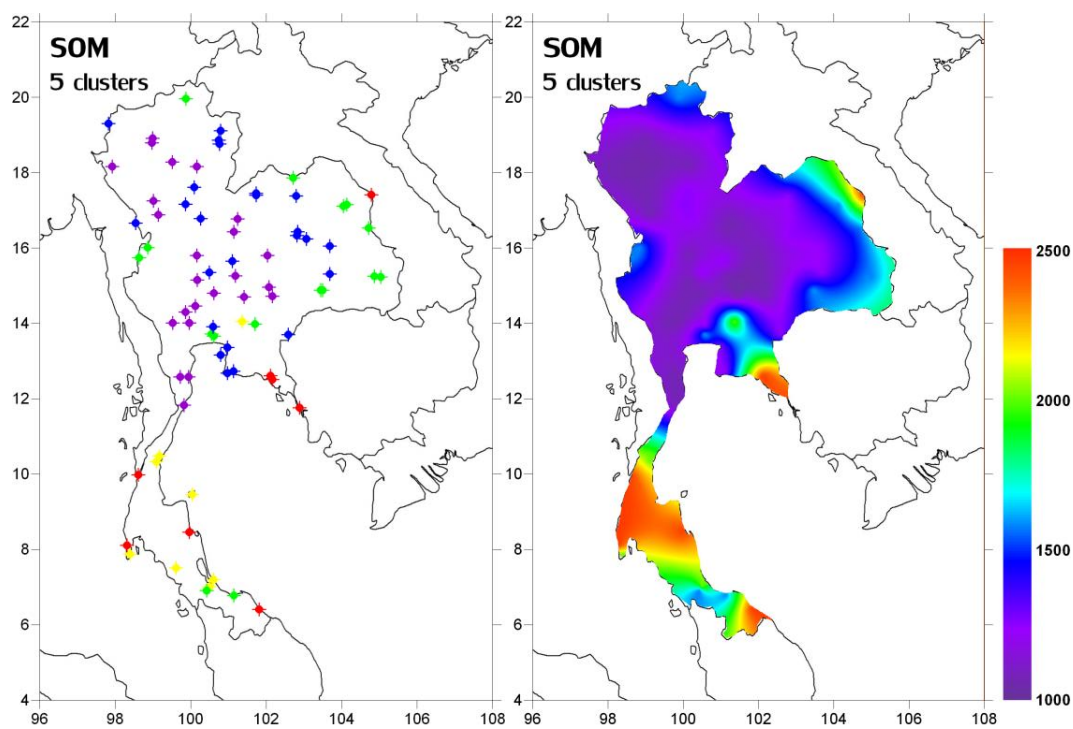
รูปที่ 3.12 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี FCM แบบ 4 กลุ่มข้อมูล



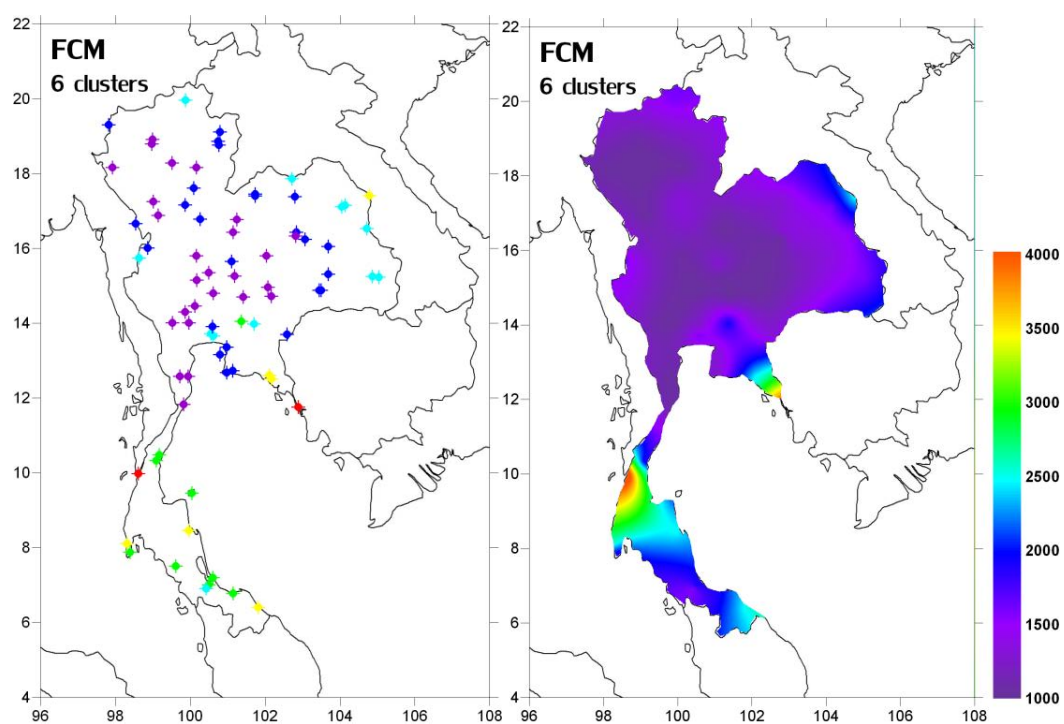
รูปที่ 3.13 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี SOM แบบ 4 กลุ่มข้อมูล



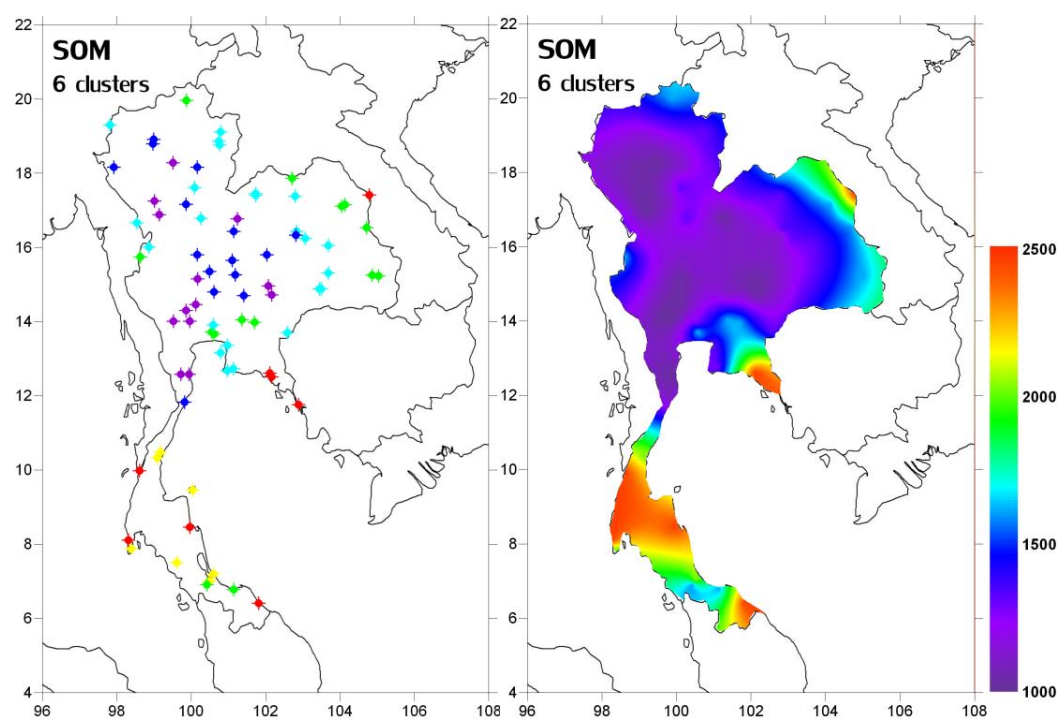
รูปที่ 3.14 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี FCM แบบ 5 กลุ่มข้อมูล



รูปที่ 3.15 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี SOM แบบ 5 กลุ่มข้อมูล



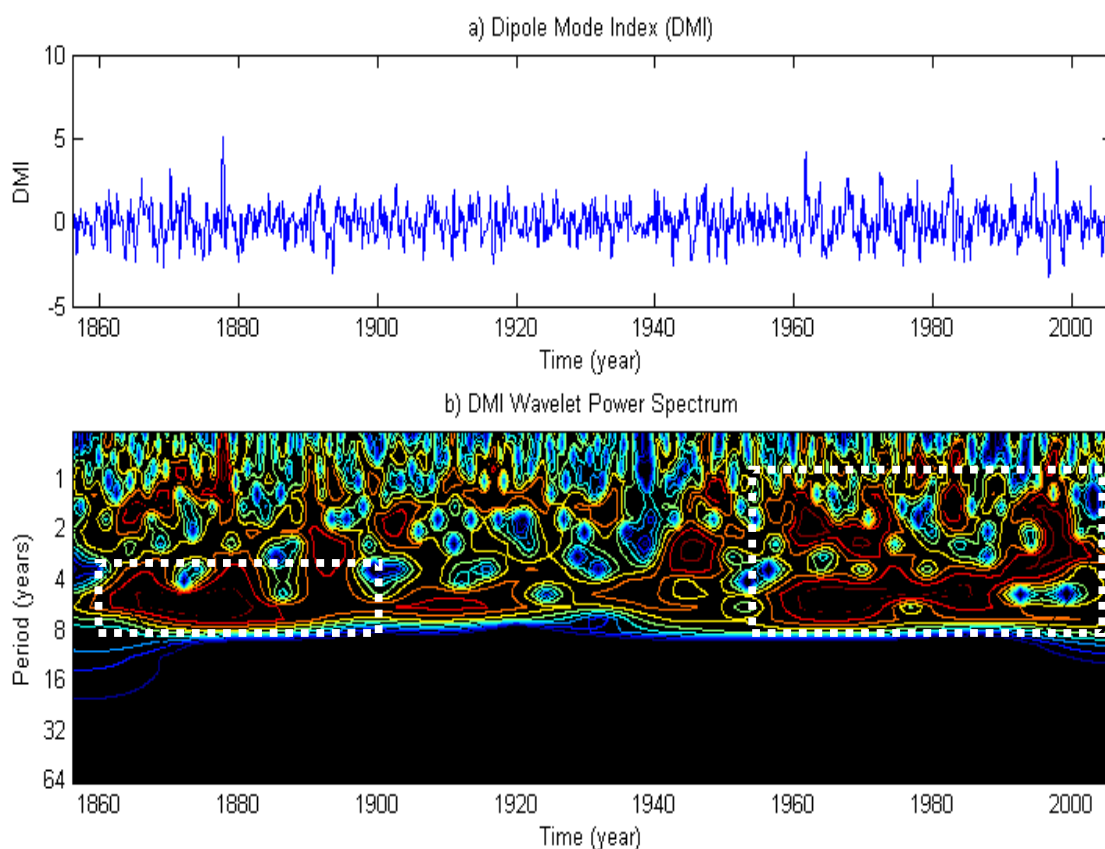
รูปที่ 3.16 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี FCM แบบ 6 กลุ่มข้อมูล



รูปที่ 3.17 รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีด้วยวิธี SOM แบบ 6 กลุ่มข้อมูล

3.3 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis)

ตรวจสอบโดเมนความถี่ (frequency domain) เพื่อช่วยบ่งชี้คาบการอุปติซ้ำ (return period) ของสภาวะปรากฏการณ์ IOD ในระยะเวลา 150 ปีที่ผ่านมาด้วยดัชนี DMI ในช่วงระหว่างปี 1856–2006 โดยวิธีแปลงสัญญาณจาก time domain ไปเป็น frequency domain ในรูปแบบ wavelet power spectrum ดังแสดงในรูปที่ 3.18 พบว่าคาบการอุปติซ้ำของสภาวะปรากฏการณ์ IOD นั้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากคาบเวลาระหว่าง 4–8 ปีในอดีต เป็นคาบเวลาระหว่าง 1–4 ปี นับตั้งแต่ช่วงปี 1990 เป็นต้นมา สอดคล้องกับสถานการณ์ในปัจจุบันซึ่งเห็นได้ว่าสภาวะปรากฏการณ์ IOD มีแนวโน้มเกิดขึ้นถี่ครั้งมากขึ้น โดยในรอบ 2 ทศวรรษที่ผ่านมา พบว่าเกิดสภาวะปรากฏการณ์ IOD อุปติซ้ำขึ้นตามคาบเวลาดังกล่าวจริง ซึ่งได้แก่เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในปี 1991, 1994, 1997, 2001, 2003 และ 2006 – 2008 ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยเป็นสภาวะปรากฏการณ์ IOD ที่มีกำลังรุนแรงในปี 1994 และ 1997 รวมไปถึงในปี 2006 ที่ผ่านมามีด้วยเช่นกัน



รูปที่ 3.18 รูปแบบ wavelet power spectrum บ่งชี้คาบการอุปติซ้ำของสภาวะปรากฏการณ์ IOD

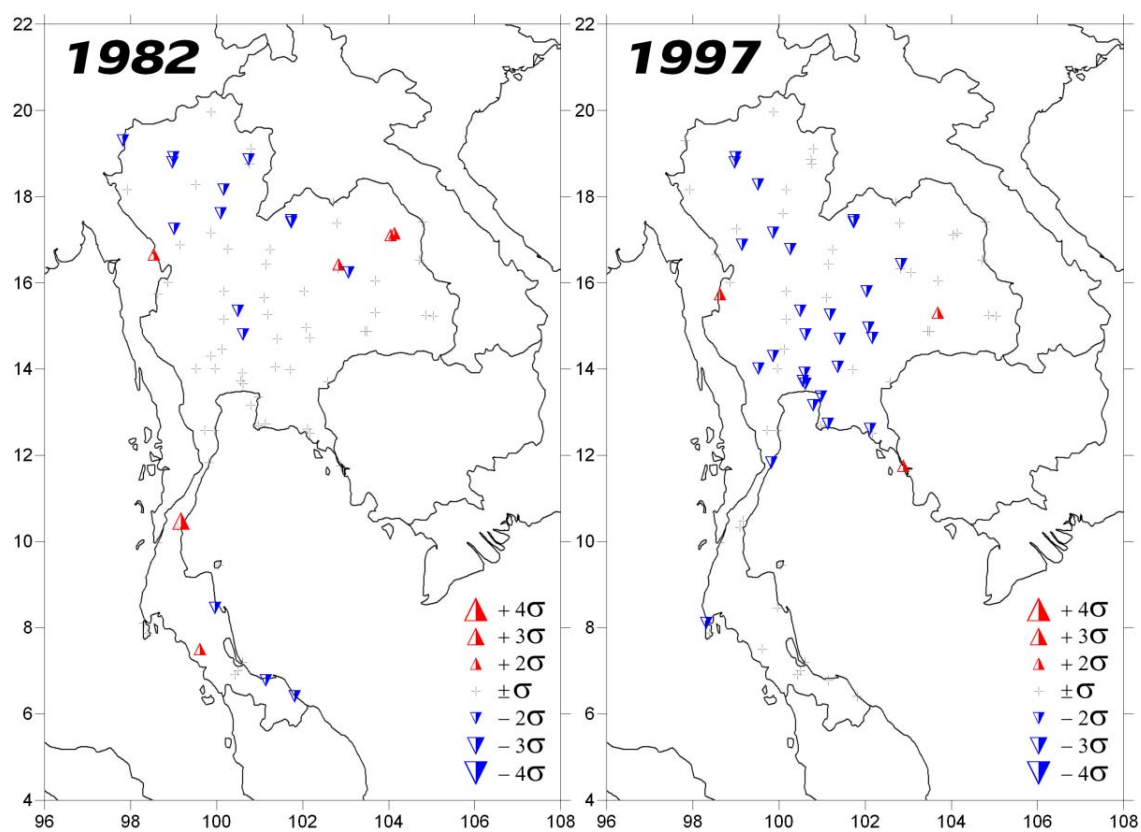
3.4 การวิเคราะห์สภาวะคู่ควบ (Combination Analysis)

การวิเคราะห์ผลกระทบในเชิงพื้นที่ที่มีต่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยนั้นจำเป็นต้องพิจารณาทั้งสภาวะปรากฏการณ์ ENSO และ IOD ควบคู่กัน โดยตรวจสอบความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลแต่ละสถานีโดยแสดงผลในรูปแบบเชิงพื้นที่ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย ดังแสดงในภาคผนวก ค พร้อมทั้งวิเคราะห์เหตุการณ์ในการเกิดสภาวะคู่ควบ (event combination) ของสภาวะปรากฏการณ์ ENSO และ IOD โดยพิจารณาจำแนกออกเป็น 4 เงื่อนไขดังนี้

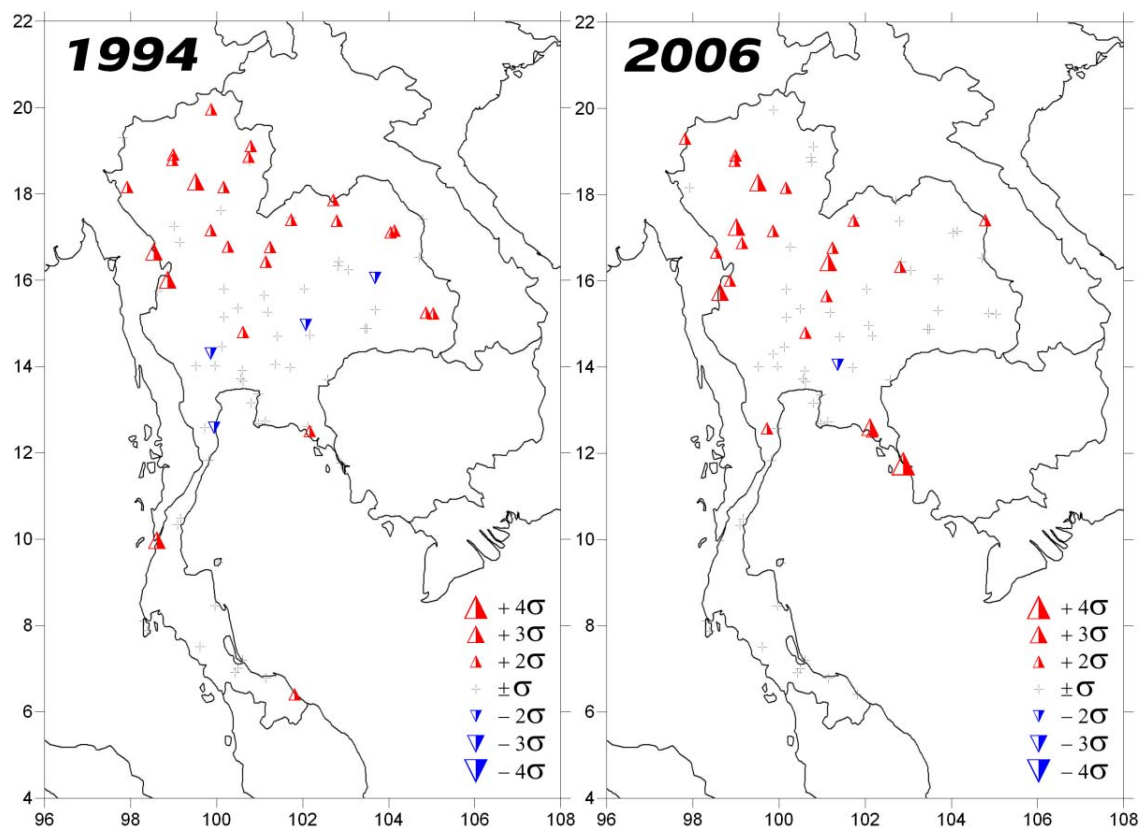
- (1) เหตุการณ์ที่ strong IOD เกิดร่วมกับ strong El Niño ดังแสดงในรูปที่ 3.19
- (2) เหตุการณ์ที่ strong IOD เกิดร่วมกับ weak El Niño ดังแสดงในรูปที่ 3.20
- (3) เหตุการณ์ที่ weak IOD เกิดร่วมกับ strong El Niño ดังแสดงในรูปที่ 3.21
- (4) เหตุการณ์ที่ weak IOD เกิดร่วมกับ weak El Niño ดังแสดงในรูปที่ 3.22

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนจากกรณีเงื่อนไขเหตุการณ์ที่เกิดสภาวะคู่ควบระหว่างปรากฏการณ์ IOD ที่เกิดในมหาสมุทรอินเดียและปรากฏการณ์เอลนีโญที่เกิดในมหาสมุทรแปซิฟิกพบว่าปริมาณน้ำฝนรวมรายปีมีแนวโน้มลดลงซึ่งเป็นไปตามอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ โดยยกเว้นในกรณีเงื่อนไขของเหตุการณ์ที่ strong IOD เกิดร่วมกับ weak El Niño ดังแสดงในรูปที่ 3.20 กลับพบว่าปริมาณน้ำฝนรวมรายปีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนในบริเวณตอนบนของประเทศไทย สอดคล้องกับสภาวะการผันตกหนักผิดปกติและเหตุการณ์อุทกภัยในปี 1994 และ 2006 ซึ่งมีรายงานการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ IOD กำลังแรงในมหาสมุทรอินเดียและปรากฏการณ์เอลนีโญกำลังอ่อนในมหาสมุทรแปซิฟิก โดยภาคเหนือและภาคกลางตอนบนจัดเป็นพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวและเสี่ยงภัยสูง (hot spot) เนื่องจากพบแนวโน้มความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน

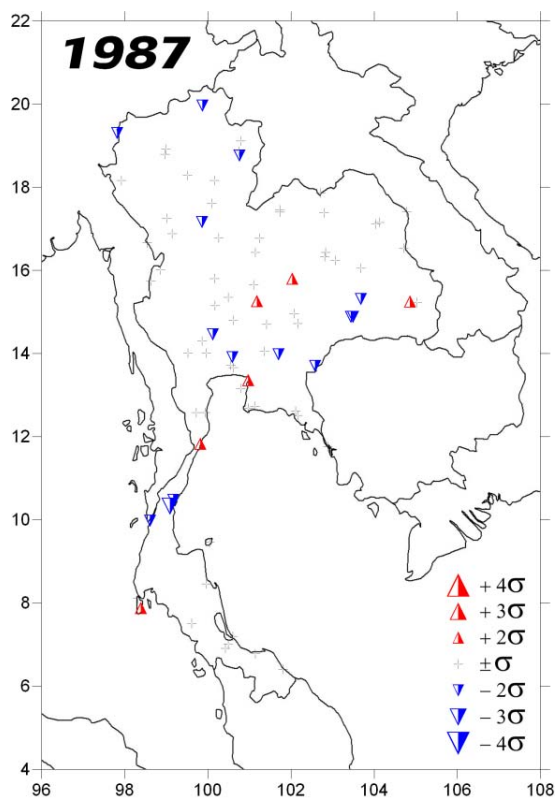
ผลกระทบเชิงพื้นที่ดังกล่าวนี้สามารถอธิบายโดยการเชื่อมโยงกลไกสภาวะปรากฏการณ์ IOD กล่าวคือ มวลน้ำอุ่นที่อยู่ทางฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรอินเดีย บริเวณชายฝั่งตะวันออกของทวีปแอฟริกาทำให้เกิดกลุ่มเมฆฝนเนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำได้ดี ประกอบกับลมประจำถิ่นในทะเลอาราเบียนและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดพากลุ่มเมฆฝนดังกล่าวขึ้นไปในแถบภูมิภาคเอเชียใต้ (Ashok et al., 2001) และเรื่อยมาทางด้านตะวันออกจนถึงตอนบนของคาบสมุทรอินโดจีน ซึ่งรวมไปถึงเขตประเทศไทยตอนบน สอดคล้องกับสภาวะการผันตกหนักผิดปกติและอุทกภัย ซึ่งมักเริ่มมาจากทางด้านฝั่งแอฟริกาตะวันออก (Marchant et al., 2006) เรื่อยมายังบริเวณประเทศอินเดีย บังคลาเทศ พม่า ไทย และเวียดนาม ตามลำดับ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ภาคเหนือและภาคกลางตอนบนของประเทศไทยถือเป็นแนวพัดผ่านของลมตะวันตกที่หอบพาเอาความชื้นในอากาศที่มีปริมาณสูงอันเป็นผลเนื่องมาจากการอุ่นขึ้นของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลทางฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรอินเดียในสภาวะปรากฏการณ์ IOD จึงเป็นสาเหตุให้เกิดสภาวะการผันตกหนักและอุทกภัยในบริเวณดังกล่าวของประเทศไทย



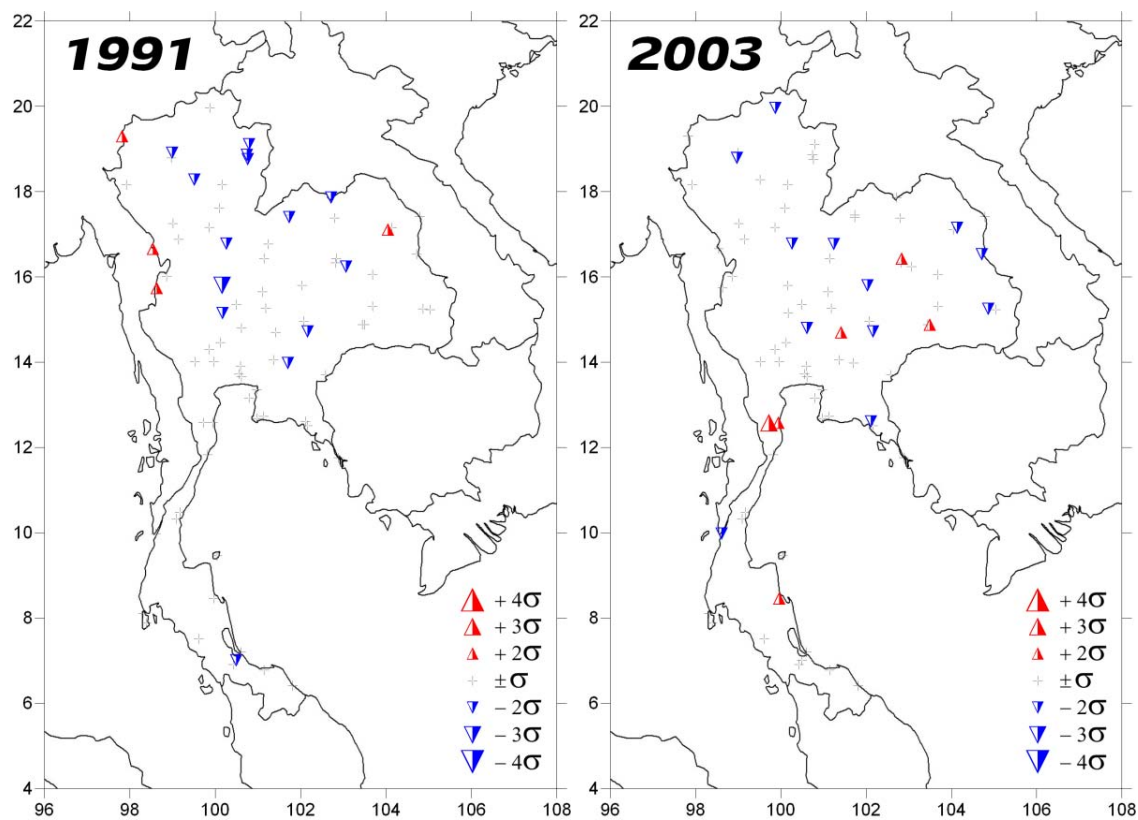
รูปที่ 3.19 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนภายใต้เงื่อนไขสภาวะ strong IOD และ strong El Niño



รูปที่ 3.20 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนภายใต้เงื่อนไขสภาวะ strong IOD และ weak El Niño



รูปที่ 3.21 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนภายใต้เงื่อนไขสภาวะ weak IOD และ strong El Niño



รูปที่ 3.22 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนภายใต้เงื่อนไขสภาวะ weak IOD และ weak El Niño

บทที่ 4

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการศึกษา

การวิเคราะห์ตัวประกอบหลักของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาล พร้อมทั้งทดสอบความสัมพันธ์กับดัชนีสมุทรศาสตร์ DMI ยืนยันว่าปรากฏการณ์ IOD ในมหาสมุทรอินเดีย มีอิทธิพลทำให้ปริมาณน้ำฝนรวมรายปีของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งผลกระทบดังกล่าวนี้ เมื่อพิจารณาถึงความแปรปรวนในเชิงเวลาโดยการแยกวิเคราะห์ด้วยปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลพบว่า ปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงฤดูฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ทว่าปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงฤดูแล้งถดถอยมากกลับมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตาม ผลกระทบข้างต้นนั้นพบว่ามีแนวโน้มแปรผันไปตามอิทธิพลของสถานะปรากฏการณ์ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก กล่าวคือ ปรากฏการณ์ IOD ในมหาสมุทรอินเดียนั้น ทำหน้าที่เป็นเสมือนตัวกลาง (modulator) ในการปรับอิทธิพลของสัญญาณที่มาจากปรากฏการณ์ ENSO ซึ่งทรงกำลังมากกว่า เนื่องจากมหาสมุทรแปซิฟิกมีขนาดกว้างใหญ่ไพศาลนั่นเอง ดังนั้น การวิเคราะห์ระดับของผลกระทบในเชิงพื้นที่ที่มีต่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยนั้น จำเป็นต้องพิจารณาทั้งสถานะปรากฏการณ์ ENSO และ IOD ควบคู่กัน

การวิเคราะห์ขอบเขตพื้นที่และรูปแบบการกระจายปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยในเบื้องต้น พบว่าไม่สามารถจะเชื่อมโยงเพื่อตอบโจทย์ประเด็นคำถามวิจัยเรื่องผลกระทบในเชิงพื้นที่ได้อย่างชัดเจนนัก แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ตรวจสอบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีในแต่ละสถานีโดยแสดงผลในรูปแบบเชิงพื้นที่ พร้อมทั้งพิจารณาเงื่อนไขเหตุการณ์ในการเกิดสภาวะคู่ควบระหว่างปรากฏการณ์ ENSO และ IOD ซึ่งพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วปริมาณน้ำฝนรวมรายปีมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นไปตามอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ ทว่ายกเว้นในกรณีเงื่อนไขของเหตุการณ์สภาวะคู่ควบที่ปรากฏการณ์ IOD กำลังแรงเกิดร่วมกับปรากฏการณ์เอลนีโญกำลังอ่อนกลับพบว่าปริมาณน้ำฝนรวมรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในบริเวณตอนบนของประเทศไทย โดยพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวและเสี่ยงภัยสูง ได้แก่ ภาคเหนือ และ ภาคกลางตอนบน เนื่องจากบริเวณดังกล่าวนี้ถือเป็นแนวพัดผ่านของลมตะวันตกที่เกิดมาจากลมประจำถิ่นในทะเลอาราเบียนและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หอบพาเอาความชื้นในอากาศสูง อันเป็นผลเนื่องจากการอุ่นขึ้นอย่างผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลด้านฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรอินเดียที่มีความเชื่อมโยงกับกลไกของสภาวะปรากฏการณ์ IOD จึงเป็นสาเหตุหลักให้เกิดสภาวะการผันผวนหนักและอุทกภัยในบริเวณดังกล่าวของประเทศไทย

การวิเคราะห์หอนุกรมเวลาของสภาวะปรากฏการณ์ IOD ในรอบระยะเวลา 150 ปีที่ผ่านมา ด้วยดัชนีสมุทรศาสตร์ DMI ระหว่างปี 1856-2006 ด้วยวิธีการในรูปแบบ wavelet power spectrum พบว่า คาบการอุบัติซ้ำของปรากฏการณ์ IOD นั้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากคาบเวลาระหว่าง 4–8 ปีในอดีต เป็นคาบเวลาระหว่าง 1–4 ปี นับตั้งแต่ช่วงปี 1990 เป็นต้นมา ซึ่งเห็นได้ว่าในรอบ 2 ทศวรรษที่ผ่านมา พบว่าสภาวะปรากฏการณ์ IOD มีแนวโน้มเกิดขึ้นถี่ครั้งมากขึ้น

4.2 ข้อเสนอแนะ

ทั้งปรากฏการณ์ IOD และ ENSO จัดเป็นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในคาบเวลาระหว่างรอบปี (interannual variability) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศ อย่างไรก็ตาม การแยกขนาดและน้ำหนักของสัญญาณร่วมระหว่างอิทธิพลของ IOD และ ENSO รวมทั้งนัยสำคัญสัมพัทธ์ ต่อระดับของความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทยทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ยังเป็นสิ่งท้าทายสู่ การวิจัยลำดับต่อยอดต่อไป เพื่อพัฒนาความสามารถในการคาดการณ์ผลกระทบแบบทันเวลา (real time) ซึ่งเป็นประเด็นโจทย์ทางด้านกระบวนการสโตแคสติก โครงข่ายใยประสาทประดิษฐ์ และตรรกะแบบฟัซซี่

นอกจากนี้ ปัจจัยทางสมุทรศาสตร์อื่นๆที่จำแนกตามระดับของความแปรปรวนตามคาบเวลา ซึ่งผู้วิจัยได้กล่าวไว้ในเบื้องต้นของบทนำ ปัจจัยเหล่านั้นต่างมีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศ ของประเทศไทยเช่นเดียวกัน อาทิเช่น ความแปรผันเชิงฤดูกาล (seasonal variation) ซึ่งขึ้นกับปัจจัยหลัก คือระบบลมมรสุม (monsoon) นอกจากนี้ยังพบความแปรปรวนภายในฤดูกาล (intraseasonal variability) เช่น ปรากฏการณ์ Madden Julian Oscillation (MJO) รวมไปถึงคลื่นเพนจร ได้แก่ คลื่นเคลวินและรอสบี โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวเหล่านี้ล้วนมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน และส่งอิทธิพลในเชิงพื้นที่และเวลาที่ต่างกัน จึงยังคงเป็นประเด็นวิจัยที่ควรต้องเร่งศึกษากันต่อไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อชุดโครงการวิจัยนี้ หากสามารถผนวกเข้ากับการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ

สำหรับการเตือนภัยเบื้องต้นแก่พื้นที่เสี่ยงภัย โดยเฉพาะเขตภาคเหนือและภาคกลางตอนบน ที่อาจเผชิญกับสภาวะการผันตกหนักผิดปกติและอุทกภัย เมื่อสภาวะปรากฏการณ์ IOD เริ่มพัฒนาตัวขึ้น จึงควรติดตั้งระบบเฝ้าระวังความแปรผันของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและติดตามดัชนีสมุทรศาสตร์อย่างใกล้ชิด รวมทั้งวิเคราะห์โอกาสความเป็นไปได้ในกรณีเหตุการณ์ต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้นล่วงหน้า ตลอดจนเสริมสร้างความร่วมมือระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และวางยุทธศาสตร์หรือมาตรการป้องกันและบรรเทาผลกระทบ นอกจากนี้ สิ่งสำคัญประการหนึ่ง คือ การผนวกองค์ความรู้ใหม่นี้เข้าไปสู่ตำราและแบบเรียนต่างๆทางด้าน ภูมิศาสตร์ อุทกนิยมนิเวศวิทยา และสมุทรศาสตร์ ในทุกระดับการศึกษา เพื่อการขยายฐานความรู้ความเข้าใจต่อ ภาคสาธารณะให้กว้างขวางมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Ashok, K., Guan, Z. and Yamagata, T. 2001. Influence of Indian Ocean Dipole on the relationship between Indian monsoon rainfall and ENSO. *Geophys. Res. Lett.* 28: 4499–4502.
- Ashok, K., Guan, Z. and Yamagata, T. 2003. A look at the relationship between the ENSO and the Indian Ocean Dipole. *J. Met. Soc. Japan* 81: 41–56.
- Ashok, K., Guan, Z. and Yamagata, T. 2003. Influence of Indian Ocean dipole on the Australian winter rainfall. *Geophys. Res. Lett.* 30: 1821.
- Baquero-Bernal, A., Latif, M. and Legutke, S. 2002. On dipole-like variability in the tropical Indian Ocean. *J. Climate* 15: 1358–1368.
- Behera, S.K., Krishnan, S. and Yamagata, T. 1999. Unusual ocean-atmosphere conditions in the tropical Indian Ocean during 1994. *Geophys. Res. Lett.* 26: 3001–3004.
- Behera, S.K., Luo, J.J., Masson, S., Rao, S.A., Sakuma, H. and Yamagata, T. 2006. A CGCM study on the interaction between IOD and ENSO. *J. Climate* 19: 1608–1705.
- Bezdek, J. C. 1981. *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*. Plenum Press, New York.
- D'Arrigo, R. and Smerdon J.E. 2008. Tropical climate influences on drought variability over Java, Indonesia. *Geophys. Res. Lett.* 35: L05707.
- Dobesch, H., Dumolard, P. and Dyras, I. 2007. *Spatial Interpolation for Climate Data: The Use of GIS in Climatology and Meteorology*. Geographical Information Systems Series. Wiley-ISTE. 284pp.
- Dommenget, D. and Latif, M. 2002. A cautionary note on interpretation of EOFs. *J. Climate* 15: 216–225 .
- Emery, W.J. and Thomson, R.E., 1997. *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Pergamon Press, New York, USA. 634pp.
- Hartigan, J. and Wong, M. 1979. A K-Means Clustering Algorithm. *Applied Statistics* 28: 100–108.
- Hastenrath, S. 2002. Dipoles, temperature gradient, and tropical climate anomalies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 83: 735–738.
- Limsakul, A., Limjirakan, S. and Suthamanuswong, B. 2007. Spatio-temporal changes in total annual rainfall and the annual number of rainy days in Thailand. *Journal of Environmental Research* 29(2): 1–21.

- Limsakul, A. and Goes, J. 2008. Empirical evidence for interannual and longer period variability in Thailand surface air temperature. *J. Atmospheric Research* 87: 89–102.
- Lukas, R. and Lindstrom, E. 1991. The mixed layer of the western equatorial Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.* 96: 3343–3357.
- Madden, R.A. and Julian, P.R. 1994. Observations of the 40-50 day tropical oscillation: A review. *Monthly Weather Review* 122: 814–837.
- Mantua, N.J., Hare, S.R., Zhang, Y., Wallace, J.M. and Francis, R.C. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78: 1069–1079.
- Marchant, R., Mumbi, C., Behera, S.K. and Yamagata, T. 2006. The Indian Ocean Dipole - the unsung driver of climatic variability in East Africa. *African Journal of Ecology* 45: 4–16.
- Meyers, G., McIntosh, P., Pigot, L. and Pook M. 2007. The years of El Nino, La Nina and interactions with the tropical Indian Ocean, *J. Climate* 20: 2872–2880.
- Preisendorfer, R.W., 1988. *Principal Component Analysis in Meteorology and Oceanography*. Elsevier, New York, USA. 419pp.
- Rao, S.A., Behera, S.K., Masumoto, Y. and Yamagata, T. 2002. Interannual variability in the subsurface tropical Indian Ocean with a special emphasis on the Indian Ocean Dipole. *Deep-Sea Res.* 49B: 1549–1572.
- Rao, S.A., Masson, S., Luo, J.J., Behera, S.K. and Yamagata, T. 2007. Termination of Indian Ocean Dipole Events in a Coupled General Circulation Model. *J. Climate* 20: 3018–3035.
- Rasmusson, E.M. and Wallace, J.M. 1983. Meteorological Aspects of the El Niño/Southern Oscillation. *Science* 222: 1195–1202.
- Reynolds, R.W., Rayner, N.A., Smith, T.M., Stokes D.C. and Wang, W. 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *J. Climate* 15: 1609–1625.
- Saji, N.H., Goswami, B.N., Vinayachandran, P.N. and Yamagata, T. 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature* 401: 360–363.
- Storch, H. and Zwiers, F. 1999. *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press. 484pp.
- Tozuka, T., Luo, J.J., Masson, S. and Yamagata, T. 2007. Decadal Modulations of the Indian Ocean Dipole in the SINTEX-F1 Coupled GCM. *J. Climate* 20: 2881–2894.

- Ummenhofer, C.C., England, M.H., McIntosh, P.C., Meyers, G.A., Pook, M.J., Risbey, J.S., Gupta, A.S. and Taschetto A. S. 2009. What causes southeast Australia's worst droughts? *Geophys. Res. Lett.* 36: L04706.
- Wang, B. and LinHo. 2002. Rainy season of the Asian-Pacific summer monsoon. *J. Climate* 15: 386–398.
- Yamagata, T., Behera, S.K., Luo, J.J., Masson, S., Jury, M.R. and Rao, S.A. 2004. Coupled Ocean-Atmosphere Variability in the Tropical Indian Ocean. "Earth Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction" Eds. by Wang, C., Xie, S.P. and Carton, J.A. *Geophysical Monograph* 147: 189–212.
- Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets. *Information and Control* 8: 338–353.
- Zhang, S. and Wang, B. 2008. Global summer monsoon rainy season. *Int. J. Climatol.* 12: 1563–1578.
- Zhang, Y., Wallace, J.M. and Battisti, D.S. 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900–1993. *J. Climate* 10: 1004–1020.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
สถานีตรวจอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ ก สถานีตรวจอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา

No.	Station	Station Name	Lon	Lat	No.	Station	Station Name	Lon	Lat
1	300201	Mae Hong Son	97.83	19.30	41	426201	Lop Buri	100.62	14.80
2	300202	Mae Sariang	97.93	18.17	42	426401	Bua Chum	101.18	15.27
3	303201	Chiang Rai	99.88	19.96	43	430201	Prachin Buri	101.37	14.05
4	327301	Mae Jo	99.00	18.92	44	430401	Kabin Buri	101.71	13.98
5	327501	Chiang Mai	98.98	18.79	45	431201	Nakhon Ratchasima	102.08	14.96
6	328201	Lampang	99.52	18.28	46	431301	Pak Chong Agromet	101.42	14.70
7	330201	Phrae	100.17	18.17	47	431401	Chok Chai	102.17	14.72
8	331201	Nan	100.77	18.77	48	432201	Surin	103.50	14.88
9	331301	Nan Agromet	100.75	18.87	49	432301	Surin Agromet	103.45	14.88
10	331401	Tha Wang Pha	100.80	19.11	50	432401	Tha Tum	103.68	15.32
11	351201	Uttaradit	100.10	17.62	51	440201	Aranyaprathet	102.58	13.70
12	352201	Nong Khai	102.72	17.87	52	450201	Kanchanaburi	99.53	14.02
13	353201	Loei	101.73	17.45	53	450401	Thong Pha Phum	98.64	15.74
14	353301	Loei Agromet	101.73	17.40	54	451301	Kamphaeng Saen Agromet	99.97	14.02
15	354201	Udon Thani	102.80	17.38	55	455201	Bangkok Metropolis	100.56	13.73
16	356201	Sakon Nakhon	104.13	17.15	56	455301	Bang Na	100.62	13.67
17	356301	Sakon Nakhon Agromet	104.05	17.12	57	455601	Donmuang	100.60	13.92
18	357201	Nakhon Phanom	104.78	17.42	58	459201	Chon Buri	100.98	13.37
19	373301	Si Samrong Agromet	99.87	17.17	59	459202	Ko Sichang	100.80	13.17
20	376201	Tak	99.15	16.88	60	459204	Sattahip	100.98	12.68
21	376202	Mae Sot	98.55	16.67	61	478301	Huai Pong Agromet	101.13	12.73
22	376203	Bhumibol Dam	99.02	17.25	62	480201	Chanthaburi	102.11	12.62
23	376401	Umphang	98.87	16.02	63	480301	Phriu Agromet	102.17	12.52
24	378201	Phitsanulok	100.27	16.78	64	500201	Prachuap Khiri Khan	99.83	11.83
25	379201	Phetchabun	101.15	16.43	65	500202	Hua Hin	99.95	12.58
26	379401	Lom Sak	101.25	16.77	66	500301	Nong Phlup Agromet	99.73	12.58
27	379402	Wichian Buri	101.11	15.66	67	501201	Khlung Yai	102.88	11.77
28	381201	Khon Kaen	102.83	16.43	68	517201	Chumphon	99.18	10.48
29	381301	Tha Phra Agromet	102.82	16.33	69	517301	Sawi Agromet	99.10	10.33
30	383201	Mukdahan	104.72	16.53	70	532201	Ranong	98.62	9.98
31	387401	Kosum Phisai	103.07	16.25	71	551203	Ko Samui	100.05	9.47
32	400201	Nakhon Sawan	100.17	15.80	72	552201	Nakhon Si Thammarat	99.97	8.47
33	400301	Tak Fa Agromet	100.50	15.35	73	564201	Phuket	98.40	7.88
34	402301	Chai Nat	100.18	15.15	74	564202	Phuket Airport	98.32	8.12
35	403201	Chaiyaphum	102.03	15.80	75	567201	Trang Airport	99.62	7.52
36	405201	Roi Et	103.68	16.05	76	568301	Kho Hong Agromet	100.50	7.02
37	407301	Ubon Ratchathani Agromet	104.87	15.25	77	568501	Songkhla	100.60	7.20
38	407501	Ubon Ratchathani	105.03	15.23	78	568502	Hat Yai Airport	100.43	6.92
39	425201	Suphan Buri	100.13	14.47	79	580201	Pattani Airport	101.15	6.78
40	425301	U Thong Agromet	99.87	14.30	80	583201	Narathiwat	101.82	6.42

ภาคผนวก ข

ดัชนีความผิดปกติทางสมุทรศาสตร์

ตารางที่ ข-1 ดัชนี Multivariate ENSO Index (MEI) บ่งชี้สภาวะ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1976	-1.613	-1.384	-1.254	-1.191	-0.506	0.276	0.615	0.712	1.027	0.914	0.420	0.541
1977	0.499	0.285	0.159	0.563	0.368	0.488	0.847	0.688	0.780	0.998	1.004	0.895
1978	0.778	0.898	0.958	0.180	-0.354	-0.532	-0.377	-0.203	-0.354	0.007	0.240	0.406
1979	0.606	0.373	0.022	0.310	0.423	0.470	0.374	0.629	0.792	0.692	0.751	1.035
1980	0.655	0.567	0.693	0.892	0.917	0.882	0.788	0.365	0.259	0.196	0.241	0.104
1981	-0.294	-0.205	0.418	0.636	0.070	-0.027	-0.038	-0.137	0.135	0.118	-0.012	-0.154
1982	-0.294	-0.175	0.083	-0.057	0.453	0.994	1.605	1.770	1.797	2.031	2.459	2.447
1983	2.726	2.962	3.104	2.992	2.564	2.230	1.768	1.198	0.490	0.041	-0.148	-0.189
1984	-0.355	-0.529	0.167	0.392	0.098	-0.137	-0.199	-0.242	-0.103	0.023	-0.306	-0.583
1985	-0.563	-0.600	-0.706	-0.471	-0.740	-0.137	-0.196	-0.426	-0.563	-0.136	-0.046	-0.280
1986	-0.308	-0.204	0.042	-0.107	0.333	0.312	0.392	0.732	1.105	1.020	0.858	1.191
1987	1.249	1.174	1.703	1.877	2.133	1.925	1.833	2.008	1.885	1.641	1.224	1.271
1988	1.119	0.671	0.477	0.295	0.085	-0.653	-1.196	-1.326	-1.553	-1.372	-1.492	-1.348
1989	-1.123	-1.266	-1.020	-0.743	-0.498	-0.316	-0.479	-0.553	-0.270	-0.343	-0.070	0.156
1990	0.229	0.529	0.870	0.412	0.574	0.436	0.097	0.109	0.424	0.309	0.369	0.344
1991	0.311	0.296	0.372	0.350	0.682	1.040	1.018	1.035	0.722	1.005	1.173	1.256
1992	1.714	1.849	1.992	2.246	2.108	1.799	1.017	0.588	0.482	0.600	0.525	0.621
1993	0.640	0.941	0.956	1.380	1.982	1.558	1.123	1.049	1.002	1.041	0.828	0.582
1994	0.384	0.191	0.133	0.451	0.614	0.622	0.827	0.616	0.638	1.345	1.238	1.188
1995	1.174	0.883	0.784	0.339	0.459	0.477	0.283	0.045	-0.359	-0.439	-0.488	-0.503
1996	-0.605	-0.620	-0.266	-0.519	-0.238	-0.013	-0.176	-0.265	-0.335	-0.388	-0.110	-0.351
1997	-0.424	-0.488	-0.188	0.480	1.104	2.317	2.646	2.872	2.830	2.192	2.308	2.203
1998	2.400	2.663	2.652	2.557	1.969	1.144	0.342	-0.212	-0.598	-0.822	-1.110	-0.965
1999	-1.042	-1.110	-0.957	-0.962	-0.676	-0.386	-0.527	-0.737	-0.884	-0.943	-1.054	-1.212
2000	-1.127	-1.186	-1.017	-0.422	0.011	-0.260	-0.219	-0.168	-0.248	-0.335	-0.744	-0.634
2001	-0.530	-0.682	-0.587	-0.142	0.148	-0.001	0.146	0.287	-0.237	-0.335	-0.252	-0.044
2002	-0.012	-0.175	-0.111	0.384	0.882	0.842	0.556	0.856	0.768	0.895	0.972	1.142
2003	1.230	0.909	0.795	0.359	0.037	-0.004	0.037	0.259	0.451	0.552	0.535	0.340
2004	0.313	0.361	-0.114	0.251	0.439	0.268	0.455	0.612	0.560	0.516	0.808	0.675
2005	0.302	0.742	0.928	0.540	0.705	0.463	0.422	0.420	0.192	-0.263	-0.399	-0.532
2006	-0.387	-0.464	-0.585	-0.637	-0.022	0.469	0.638	0.736	0.844	0.989	1.265	0.953
2007	0.996	0.491	0.104	0.048	0.162	-0.308	-0.293	-0.442	-1.127	-1.129	-1.133	-1.131
2008	-0.958	-1.359	-1.546	-0.890	-0.400	0.050	0.028	-0.206	-0.569	-0.739	-0.563	-0.633

ตารางที่ ข-2 ดัชนี Niño 3.4 บ่งชี้สภาวะ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1976	-1.85	-1.08	-0.66	-0.69	-0.54	-0.10	0.13	0.37	0.56	0.98	0.96	0.73
1977	0.87	0.33	0.40	-0.11	0.27	0.36	0.30	0.14	0.32	0.71	0.77	0.69
1978	0.83	0.24	0.22	-0.46	-0.37	-0.38	-0.40	-0.58	-0.44	-0.18	-0.11	0.06
1979	-0.01	0.00	0.46	0.20	0.05	0.27	-0.24	-0.02	0.86	0.27	0.37	0.56
1980	0.62	0.49	0.13	0.17	0.20	0.62	0.25	-0.11	-0.05	-0.09	0.09	0.43
1981	-0.40	-0.53	-0.23	-0.40	-0.30	-0.08	-0.43	-0.70	-0.08	0.20	-0.10	0.10
1982	0.21	0.01	0.06	0.33	0.77	1.25	1.02	1.23	1.47	2.05	2.29	2.74
1983	2.85	2.44	1.89	1.22	1.13	0.74	-0.01	-0.18	-0.20	-0.73	-0.93	-0.89
1984	-0.87	-0.31	-0.28	-0.29	-0.37	-0.64	-0.33	-0.36	-0.22	-0.67	-1.10	-1.47
1985	-1.08	-1.02	-0.92	-0.89	-0.65	-0.63	-0.38	-0.20	-0.39	-0.41	-0.32	-0.37
1986	-0.72	-0.75	-0.49	-0.25	-0.26	0.19	0.29	0.45	0.69	0.97	1.22	1.23
1987	1.39	1.33	1.32	1.11	0.99	1.53	1.73	1.88	1.75	1.48	1.47	1.13
1988	0.81	0.53	0.17	-0.36	-1.28	-1.38	-1.51	-1.46	-1.21	-1.98	-2.24	-2.14
1989	-1.98	-1.36	-1.24	-1.00	-0.67	-0.51	-0.34	-0.37	-0.39	-0.34	-0.28	-0.09
1990	0.04	0.26	0.32	0.33	0.30	0.09	0.18	0.35	0.11	0.38	0.21	0.43
1991	0.50	0.24	0.10	0.30	0.59	0.87	0.85	0.73	0.43	1.03	1.34	1.89
1992	1.90	1.94	1.69	1.46	1.23	0.52	0.45	-0.06	-0.16	-0.26	-0.01	0.25
1993	0.18	0.28	0.52	0.90	1.06	0.79	0.48	0.14	0.28	0.33	0.39	0.29
1994	0.08	-0.10	0.13	0.22	0.28	0.49	0.28	0.65	0.36	0.90	1.36	1.40
1995	1.04	0.76	0.48	0.25	-0.04	0.09	-0.07	-0.38	-0.68	-0.93	-0.86	-0.91
1996	-0.77	-0.85	-0.52	-0.32	-0.39	-0.17	0.01	-0.14	-0.30	-0.36	-0.32	-0.45
1997	-0.55	-0.33	-0.11	0.34	0.84	1.45	1.85	2.14	2.29	2.64	2.80	2.78
1998	2.59	2.17	1.53	0.87	0.71	-0.78	-1.14	-1.22	-1.04	-1.26	-1.33	-1.69
1999	-1.61	-1.28	-0.89	-0.84	-0.79	-0.90	-0.73	-1.12	-0.94	-0.96	-1.39	-1.57
2000	-1.86	-1.51	-1.06	-0.67	-0.64	-0.46	-0.36	-0.25	-0.43	-0.63	-0.74	-0.88
2001	-0.77	-0.58	-0.30	-0.16	-0.16	0.19	0.24	0.17	-0.09	0.00	-0.07	-0.30
2002	-0.02	0.25	0.17	0.26	0.39	0.94	0.90	1.08	1.19	1.46	1.75	1.62
2003	1.24	0.80	0.66	0.13	-0.39	-0.01	0.35	0.15	0.32	0.60	0.53	0.42
2004	0.23	0.17	-0.05	0.17	0.29	0.27	0.61	0.83	0.83	0.79	0.79	0.84
2005	0.59	0.27	0.40	0.39	0.44	0.56	0.39	0.17	-0.01	0.16	-0.18	-0.58
2006	-0.87	-0.61	-0.58	-0.09	0.15	0.35	0.27	0.51	0.70	0.88	1.21	1.29
2007	0.74	0.12	0.03	0.10	-0.19	0.06	-0.29	-0.50	-0.87	-1.38	-1.45	-1.50
2008	-1.81	-1.86	-1.08	-0.85	-0.58	-0.32	0.11	0.14	-0.20	-0.26	-0.22	-0.73

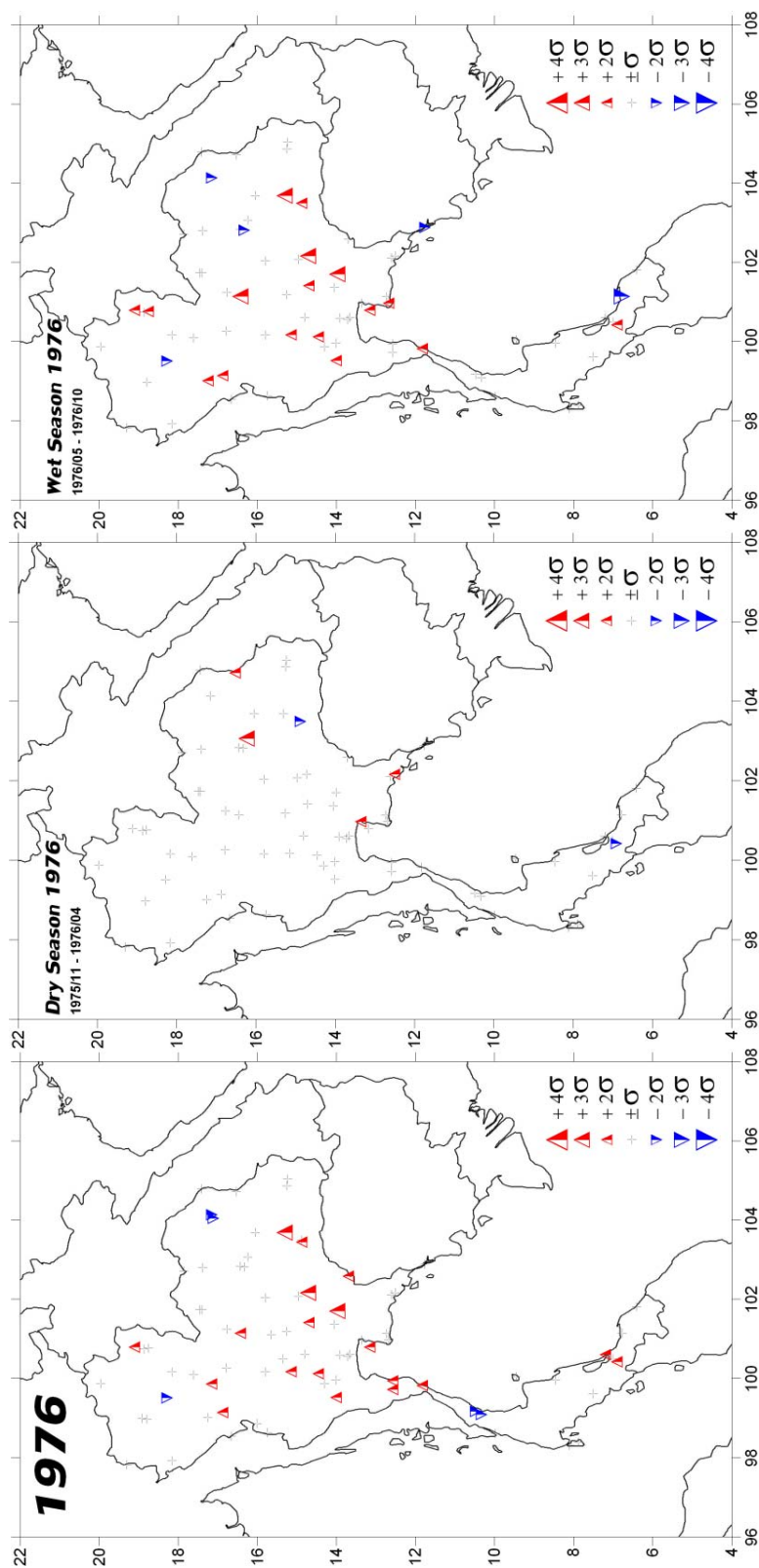
ตารางที่ ข-3 ดัชนี Niño 1+2 บ่งชี้สภาวะ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิก

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1976	-0.75	-0.42	-0.27	0.32	0.99	1.37	1.61	1.37	1.21	0.61	0.32	0.86
1977	0.82	-0.07	-0.13	-0.21	-0.39	-0.20	-0.10	-0.54	-0.61	0.07	-0.03	-0.35
1978	-0.15	-0.06	-0.94	-0.44	-0.87	-0.93	-0.74	-0.79	-0.61	-0.56	0.31	0.46
1979	0.28	-0.34	-0.23	-0.07	-0.21	0.27	0.33	0.39	0.83	0.69	0.52	0.41
1980	0.29	-0.27	0.13	0.34	0.21	0.25	-0.33	-0.05	0.19	-0.55	-0.12	-0.30
1981	-1.01	-0.84	-0.17	-0.43	-0.28	-0.28	-0.47	-0.30	-0.54	-0.36	-0.27	0.16
1982	-0.14	-0.48	-1.15	-0.84	-0.27	-0.06	0.67	0.96	1.36	2.06	2.95	3.33
1983	2.99	2.13	2.32	3.22	3.94	4.49	4.15	3.00	1.80	0.97	0.26	0.21
1984	-0.25	-0.79	-0.36	-0.17	-1.01	-1.00	-0.56	-0.62	-0.07	-0.37	-0.14	-0.21
1985	-0.84	-1.10	-0.63	-1.08	-1.95	-1.20	-1.36	-1.50	-1.00	-0.99	-0.95	-0.39
1986	0.19	0.09	-0.46	-0.76	-0.86	-0.98	-0.68	0.18	0.00	0.18	0.38	0.21
1987	0.88	1.17	1.65	1.83	1.34	1.11	0.98	0.94	1.00	1.50	0.99	0.67
1988	0.21	-0.23	-0.58	-0.79	-0.64	-1.68	-1.54	-1.67	-1.26	-1.39	-1.10	-0.99
1989	-0.33	0.29	0.30	0.30	-1.06	-0.95	-0.68	-0.47	-0.57	-0.56	-0.34	-0.61
1990	-0.41	-0.09	-0.20	-0.11	-0.19	-0.27	-0.80	-0.54	-0.31	-0.61	-0.81	-0.34
1991	-0.57	0.00	0.15	-0.34	0.13	0.10	0.25	0.29	0.31	0.24	0.54	0.63
1992	0.40	0.71	1.40	2.34	2.06	0.87	0.15	-0.23	-0.39	-0.06	-0.15	-0.32
1993	0.00	0.53	0.81	1.10	0.91	0.80	0.26	0.27	0.39	0.11	-0.01	-0.05
1994	-0.10	-0.18	-0.93	-1.02	-1.02	-0.52	-0.59	-1.09	-0.28	0.64	0.77	0.82
1995	0.91	0.46	-0.25	-0.87	-1.14	-0.50	-0.57	-0.77	-0.27	-0.74	-0.44	-0.78
1996	-0.58	-0.26	-0.28	-1.49	-1.35	-1.40	-1.77	-1.25	-1.20	-0.93	-1.38	-1.18
1997	-0.75	-0.23	0.59	1.30	2.47	3.31	3.79	4.01	3.96	3.69	3.99	4.13
1998	3.80	3.01	2.79	3.28	3.45	2.22	1.63	0.98	0.43	0.27	-0.21	-0.24
1999	-0.69	-0.33	0.26	-1.03	-0.78	-1.12	-1.36	-1.04	-1.21	-0.84	-1.14	-1.07
2000	-0.65	-0.32	-0.29	0.36	-0.23	-0.77	-1.23	-0.70	-0.54	-0.54	-1.05	-0.62
2001	-0.63	-0.11	0.97	1.21	-0.56	-1.29	-0.94	-0.90	-1.10	-1.39	-1.16	-0.88
2002	-0.87	0.03	1.05	1.05	0.47	-0.36	-0.81	-0.86	-0.60	0.25	0.60	0.60
2003	-0.13	-0.22	-0.50	-1.04	-1.84	-1.45	-1.06	-0.66	-0.48	0.08	0.27	0.15
2004	0.09	-0.22	-0.54	-0.16	-1.28	-1.43	-1.11	-1.18	-0.42	0.01	0.31	0.10
2005	-0.04	-0.54	-0.88	-0.58	0.07	-0.56	-0.64	-0.19	-0.77	-1.19	-1.03	-0.55
2006	-0.18	0.43	0.29	-1.33	-0.47	-0.26	0.37	0.79	0.94	1.31	1.04	0.61
2007	0.48	0.21	-0.73	-1.18	-1.60	-1.44	-1.55	-1.64	-1.92	-2.11	-2.16	-1.82
2008	-0.66	0.30	0.82	0.41	0.08	0.52	0.82	0.99	0.70	-0.16	-0.20	-0.41

ตารางที่ ข-4 ดัชนี Dipole Mode Index (DMI) ป่งชี้สภาวะ Indian Ocean Dipole ในมหาสมุทรอินเดีย

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1976	0.219	0.534	0.718	1.062	1.504	1.629	1.462	1.348	0.938	0.477	0.308	0.172
1977	0.378	0.467	0.240	0.239	0.363	0.089	-0.001	0.498	0.472	0.535	0.167	-0.143
1978	-0.868	-0.957	-1.286	-0.870	-0.489	-0.142	-0.076	0.022	-0.174	-0.327	-0.020	-0.051
1979	0.194	0.347	0.257	0.168	0.107	0.022	0.063	0.230	-0.029	0.090	0.052	0.001
1980	-0.187	-0.100	-0.019	-0.115	-0.395	-0.633	-1.031	-1.422	-1.457	-1.388	-1.024	-0.605
1981	-0.201	0.151	0.556	0.596	0.253	-0.176	-0.722	-1.108	-1.177	-0.821	-0.342	0.237
1982	0.620	0.918	1.145	1.293	1.420	1.627	1.956	2.310	2.324	1.941	1.280	0.381
1983	-0.773	-1.443	-1.315	-0.600	0.299	1.189	1.641	1.522	0.982	0.457	-0.076	-0.251
1984	-0.234	0.027	-0.074	-0.103	-0.203	-0.427	-0.834	-1.040	-1.083	-1.067	-1.139	-1.270
1985	-1.293	-1.163	-1.068	-1.116	-0.877	-0.748	-0.678	-0.821	-0.281	-0.339	-0.167	-0.196
1986	-0.071	-0.370	-0.109	-0.159	-0.407	-0.495	-0.297	-0.154	-0.122	0.044	0.199	0.242
1987	0.075	0.120	0.520	0.743	0.930	1.326	1.833	1.958	1.843	1.760	1.712	1.195
1988	0.664	0.577	0.131	-0.263	-0.198	-0.118	-0.234	-0.182	-0.112	0.073	-0.015	0.142
1989	0.184	-0.082	-0.606	-0.919	-1.167	-1.107	-0.828	-0.636	-0.308	-0.158	-0.106	-0.278
1990	-0.191	-0.267	-0.357	-0.644	-0.561	-0.695	-0.457	-0.402	-0.046	0.091	0.329	0.269
1991	0.383	0.628	0.957	1.171	1.502	1.626	1.565	1.301	1.126	0.925	0.536	0.048
1992	-0.548	-1.033	-1.454	-1.791	-1.798	-1.811	-1.937	-1.945	-1.599	-1.532	-1.206	-0.668
1993	-0.535	-0.414	-0.147	-0.011	-0.100	-0.054	0.038	-0.013	-0.055	-0.153	-0.006	-0.104
1994	0.047	0.378	0.987	1.353	1.926	2.435	2.655	2.822	2.705	2.428	1.814	1.407
1995	0.717	0.286	-0.066	-0.171	-0.373	-0.394	-0.288	-0.329	-0.506	-0.372	-0.394	-0.409
1996	-0.317	-0.422	-0.653	-0.879	-1.300	-1.709	-1.896	-2.491	-2.807	-2.695	-2.368	-1.895
1997	-1.144	-0.547	-0.166	0.041	0.378	0.884	1.512	2.207	3.105	3.367	3.179	2.808
1998	2.003	1.048	0.560	0.360	-0.179	-0.501	-0.810	-1.406	-1.999	-2.005	-1.754	-1.507
1999	-0.962	-0.491	-0.308	-0.231	-0.050	-0.039	0.033	0.105	0.146	-0.075	-0.257	-0.314
2000	-0.146	0.041	0.315	0.487	0.636	0.714	0.645	0.525	0.330	0.053	-0.456	-0.495
2001	-0.487	-0.167	0.192	0.702	0.685	0.545	0.370	-0.006	-0.276	-0.254	-0.226	-0.232
2002	0.011	-0.103	-0.256	-0.219	-0.286	-0.394	0.177	0.782	0.990	1.007	0.875	0.551
2003	0.095	-0.097	-0.059	0.290	0.417	0.577	0.680	0.659	0.414	0.386	0.222	0.223
2004	0.344	0.353	-0.178	-0.455	-0.730	-0.856	-0.806	-0.345	-0.190	-0.131	-0.238	-0.708
2005	-1.1562	-1.0166	-0.8976	-0.8763	-0.6935	-0.5735	-0.9604	-1.2147	-1.2901	-1.2772	-1.2114	-1.147
2006	-1.096	-0.932	-0.810	-0.684	-0.362	0.051	0.482	1.142	1.579	1.643	1.557	1.257
2007	0.819	0.503	0.655	0.605	0.610	0.792	1.011	0.944	0.929	0.697	0.537	0.220
2008	0.162	0.054	0.441	0.609	0.932	1.032	1.329	1.297	1.064	0.811	0.670	0.541

ภาคผนวก ค
ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทย
ในระหว่างปี 1976 – 2008

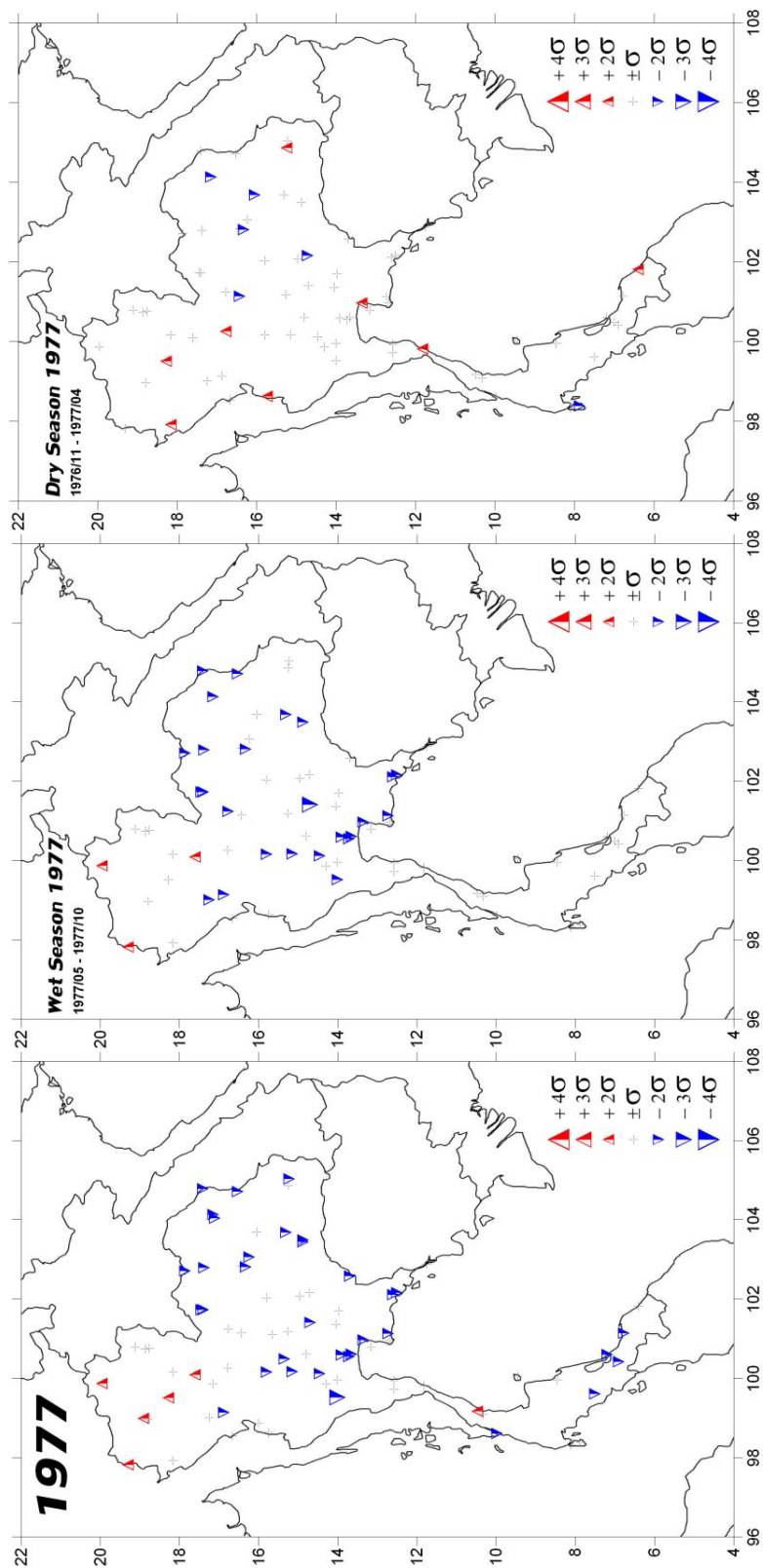


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-1 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1976

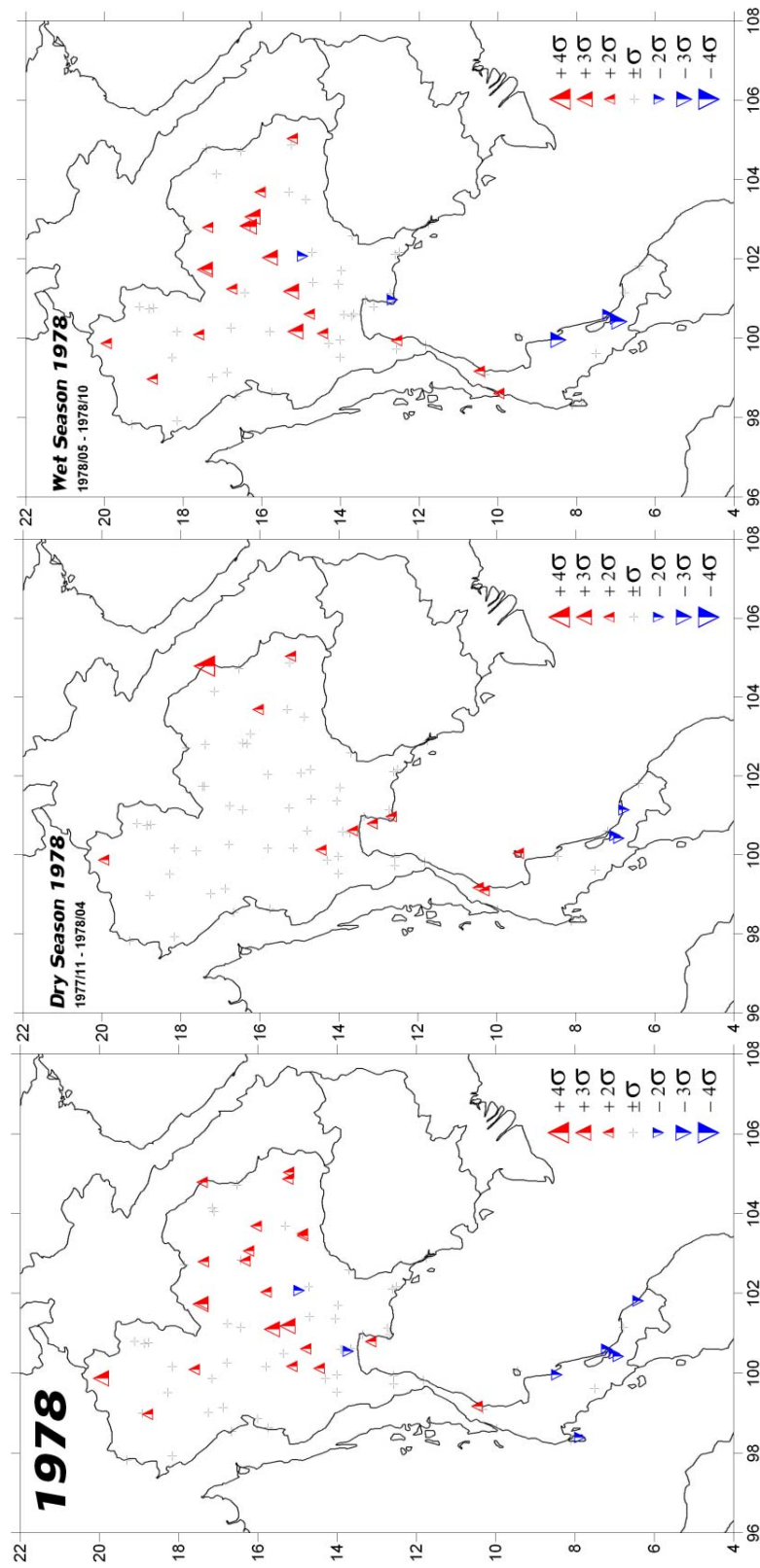


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-2 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1977

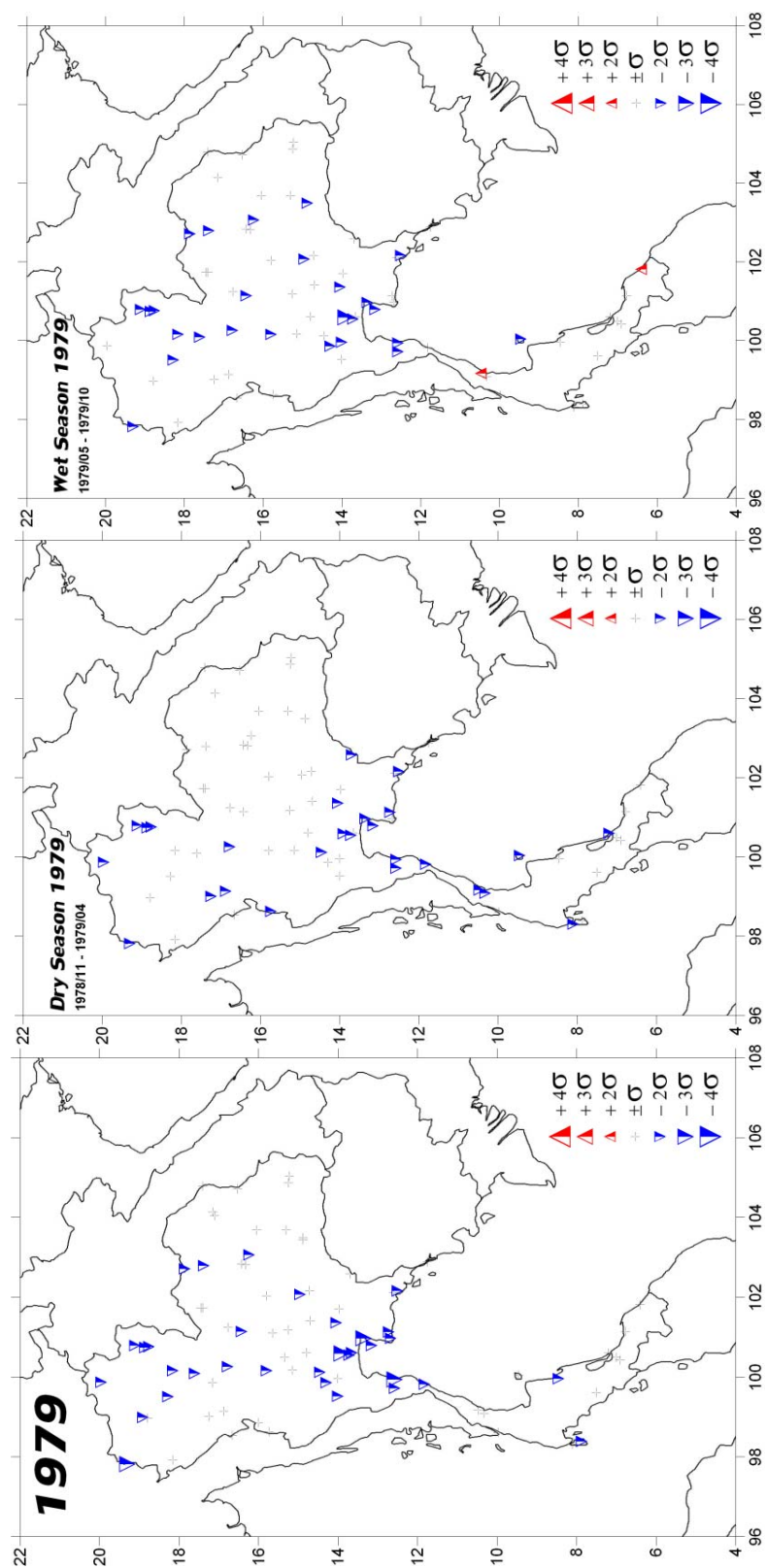


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-3 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1978

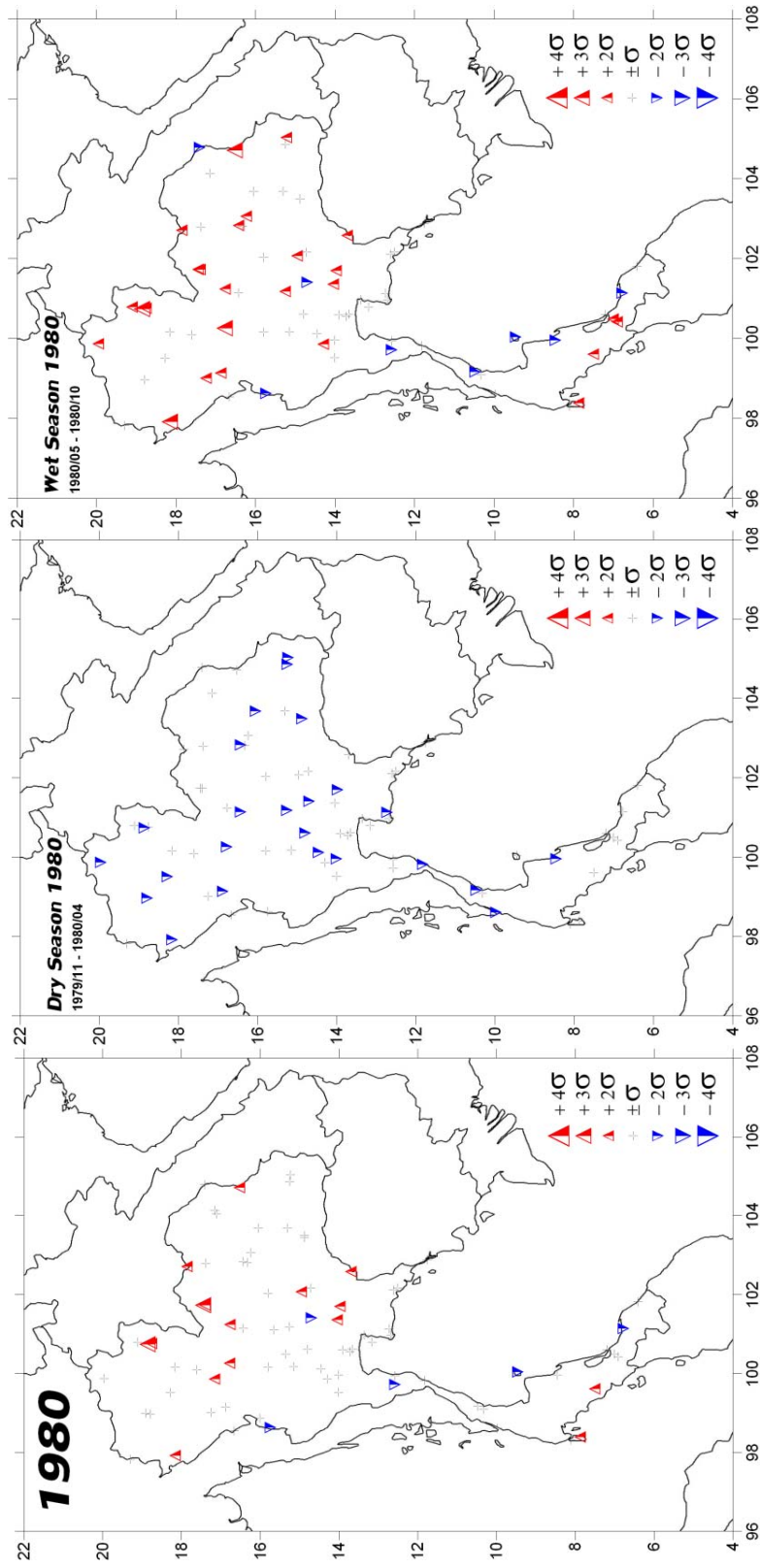


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-4 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1979

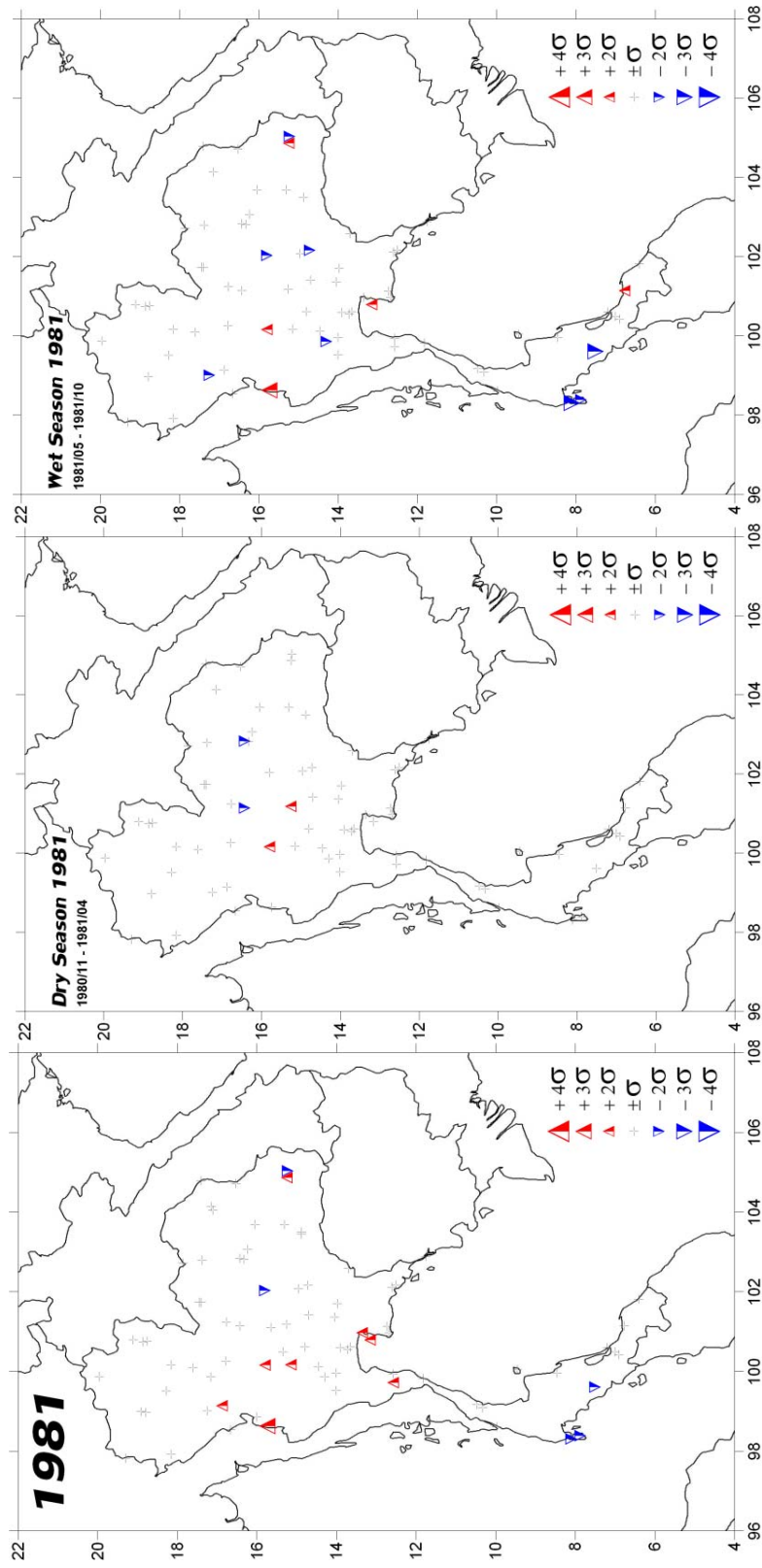


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-5 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1980

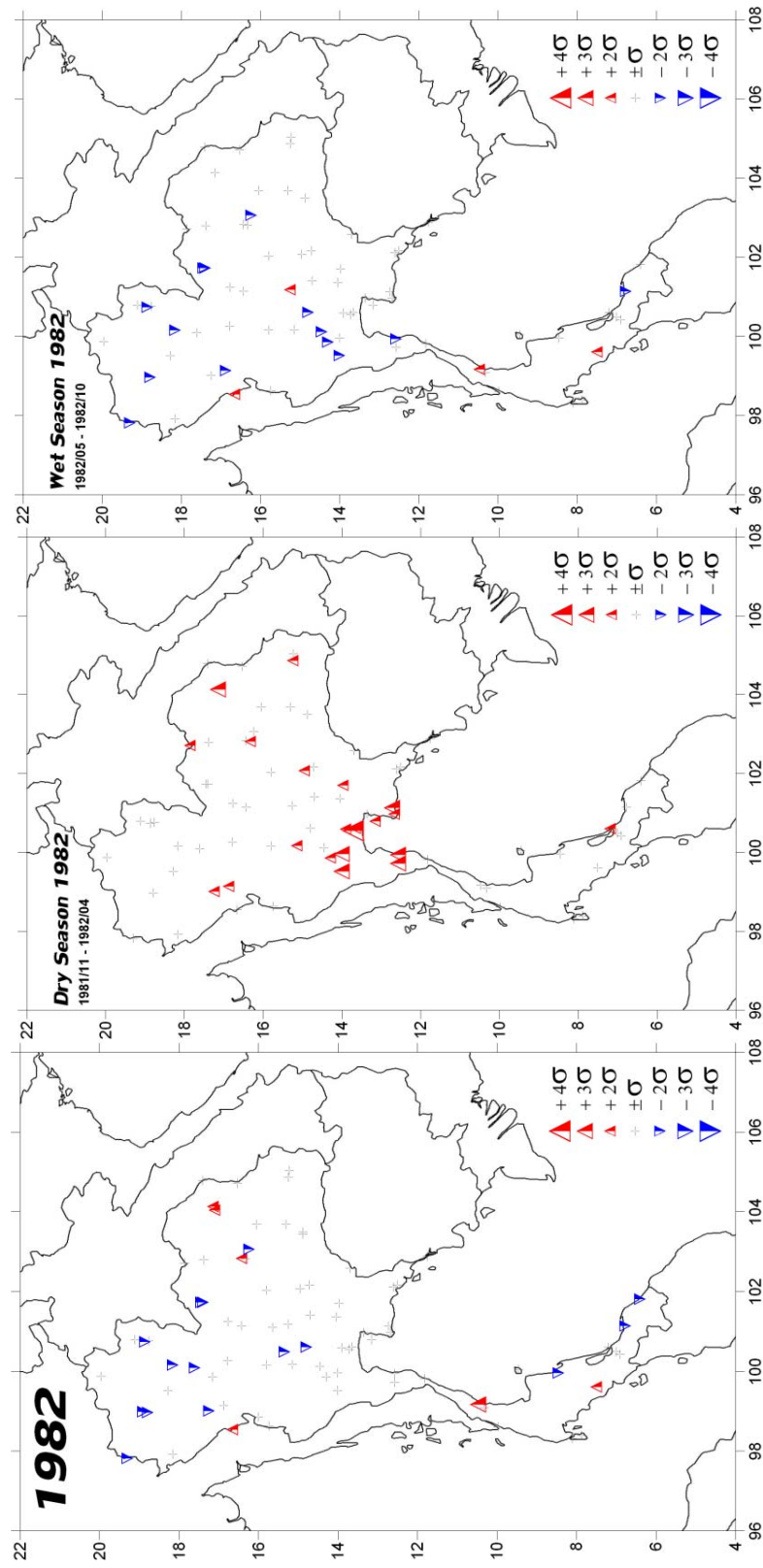


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-6 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1981

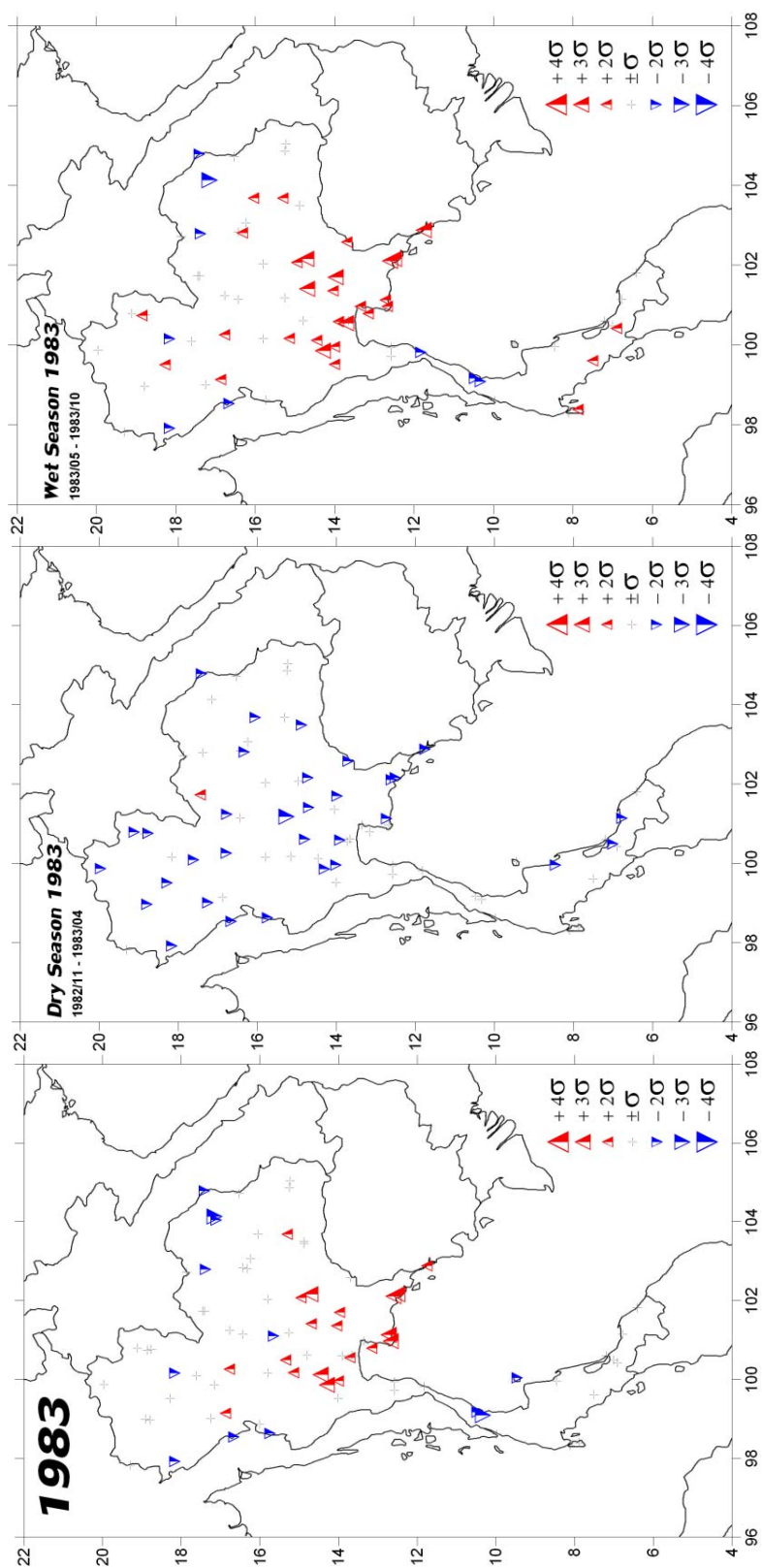


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-7 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1982

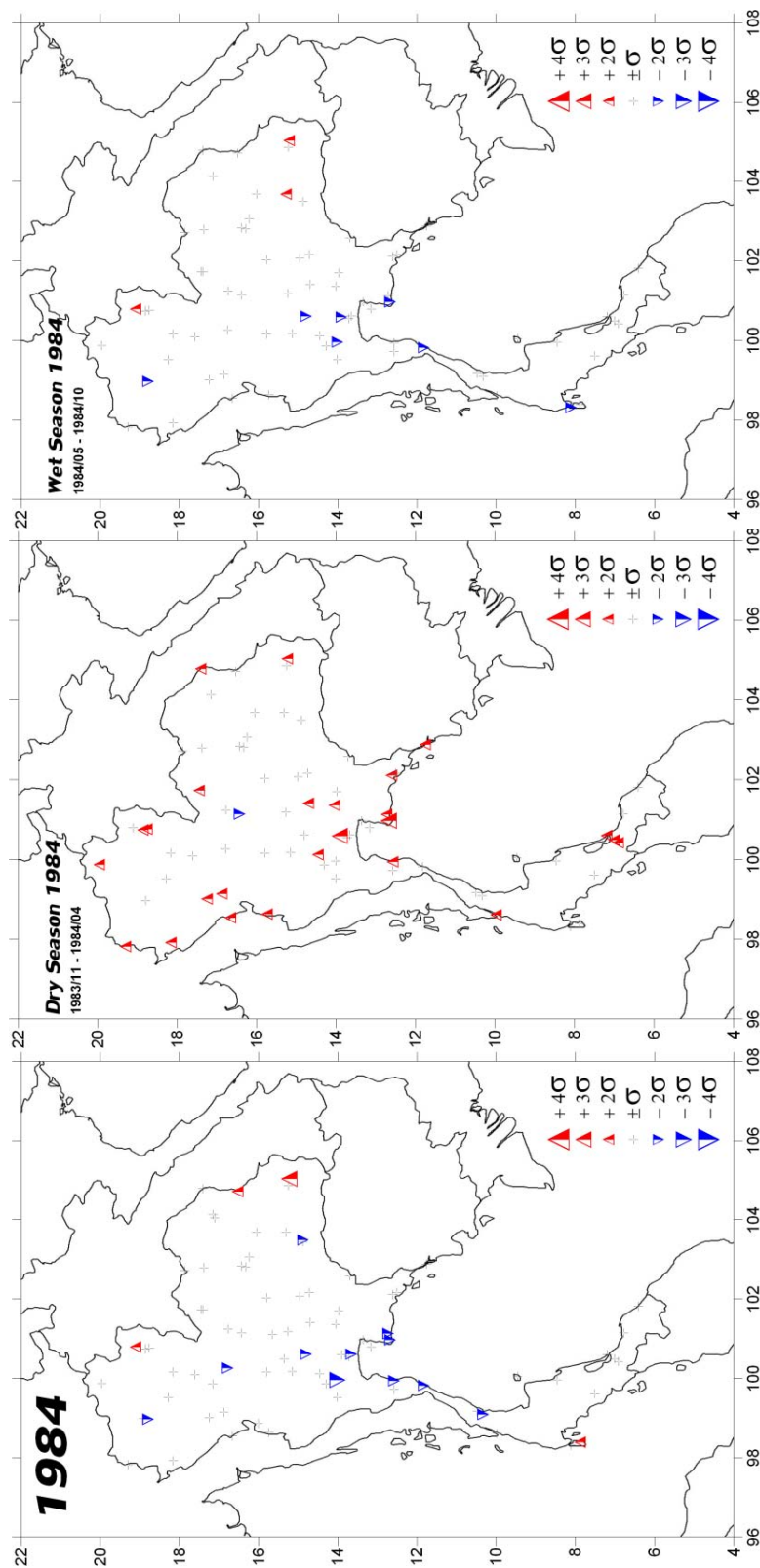


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-8 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1983

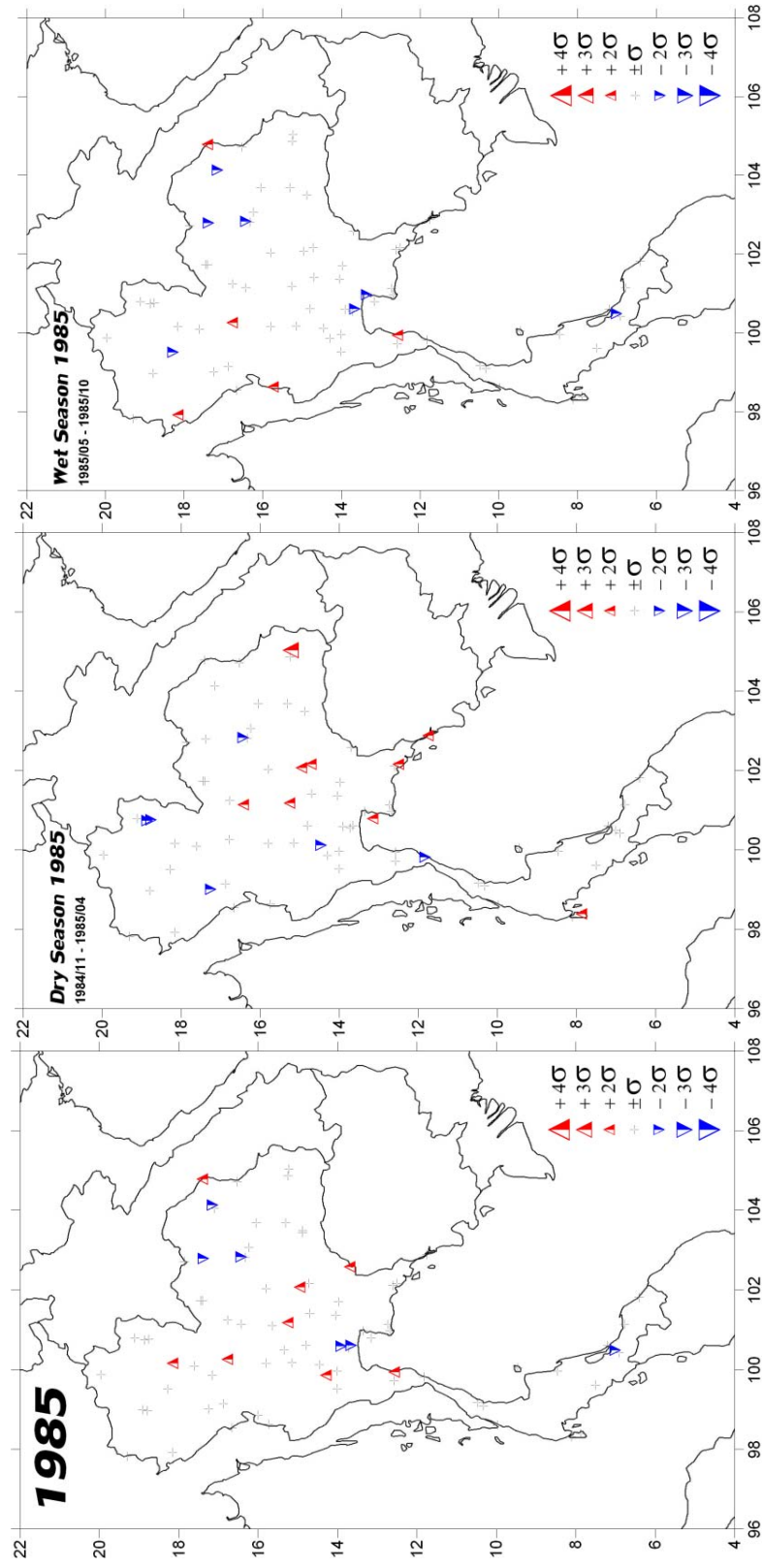


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-9 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1984

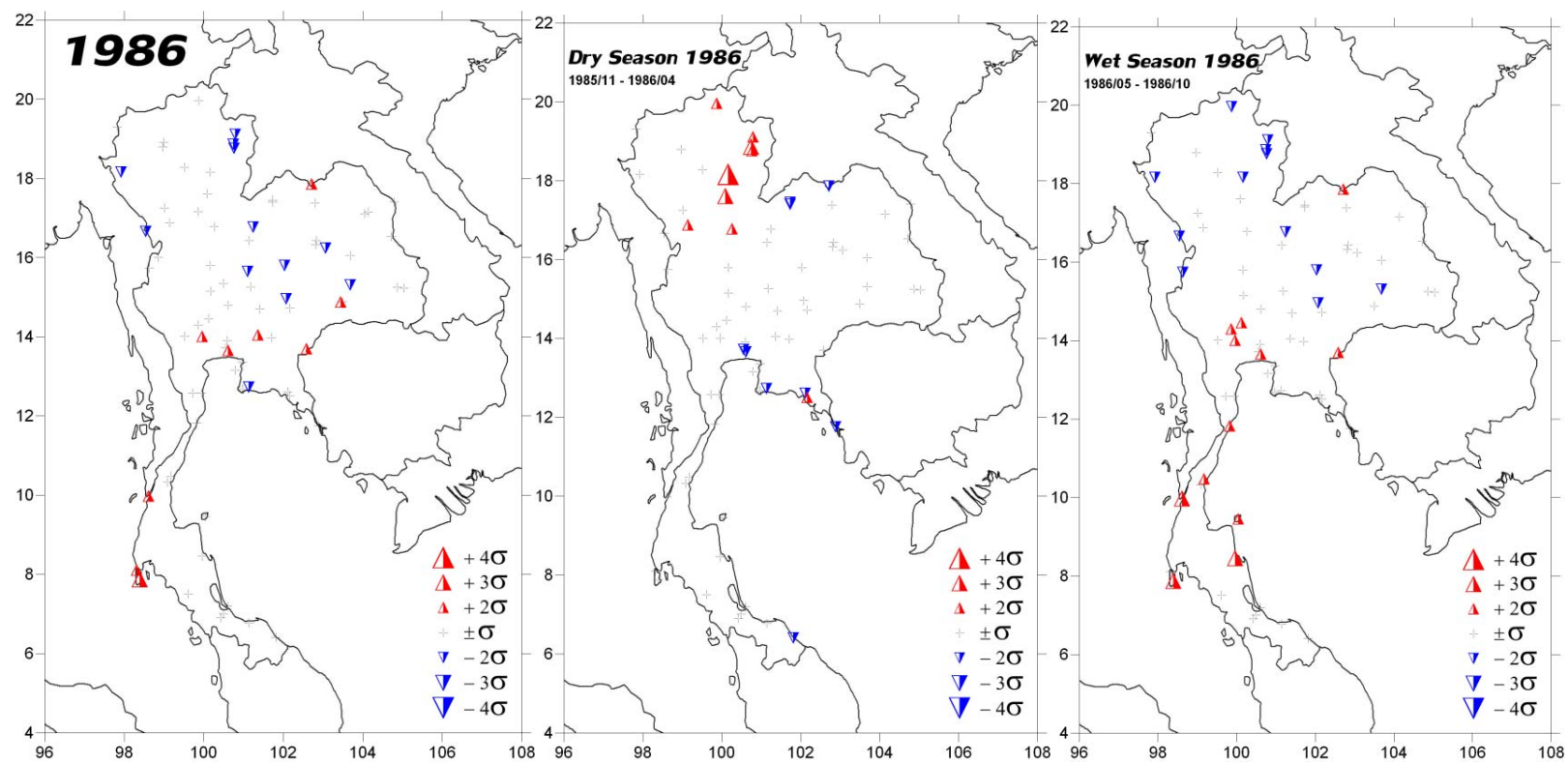


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-10 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1985

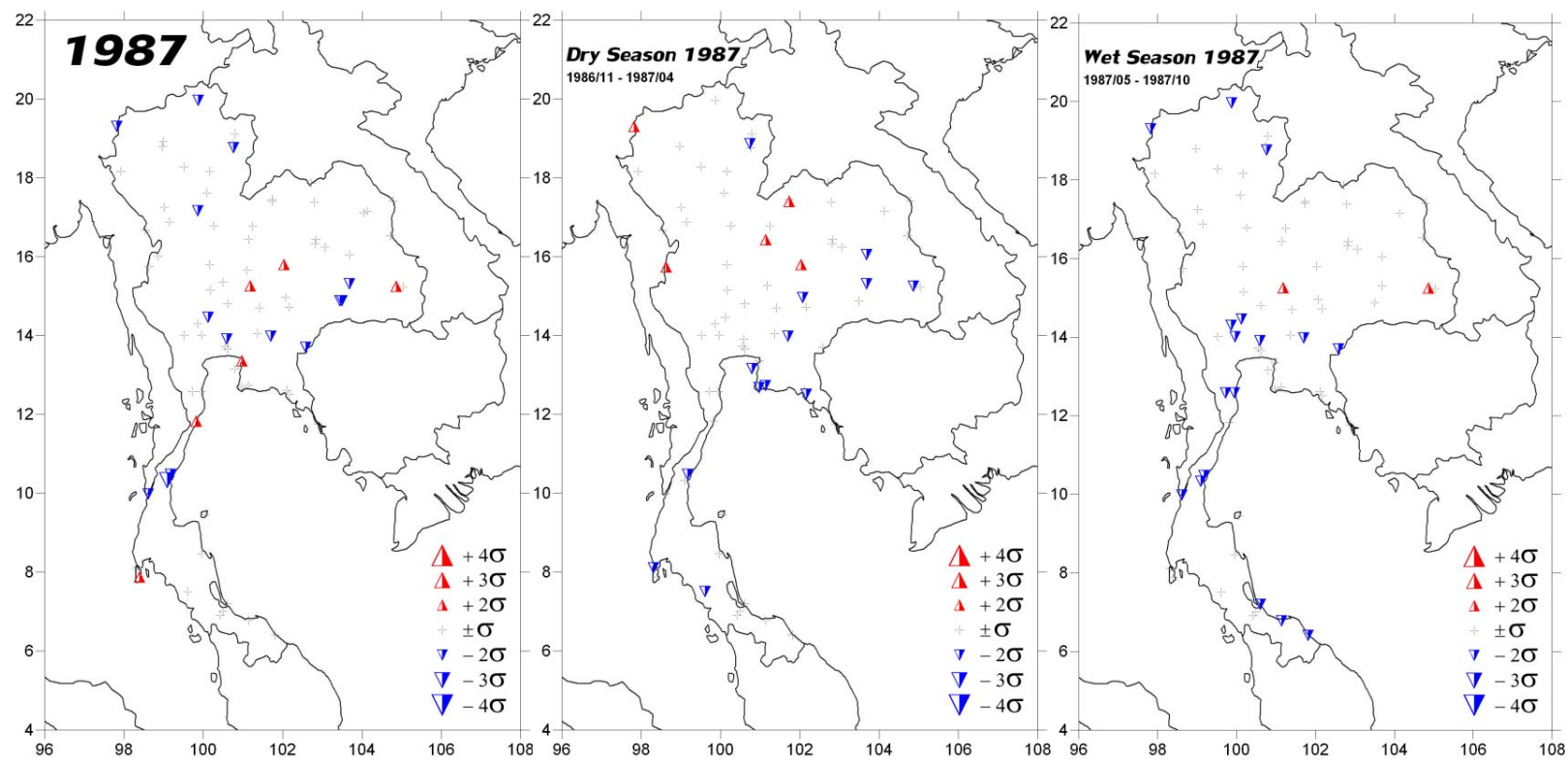


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-11 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1986

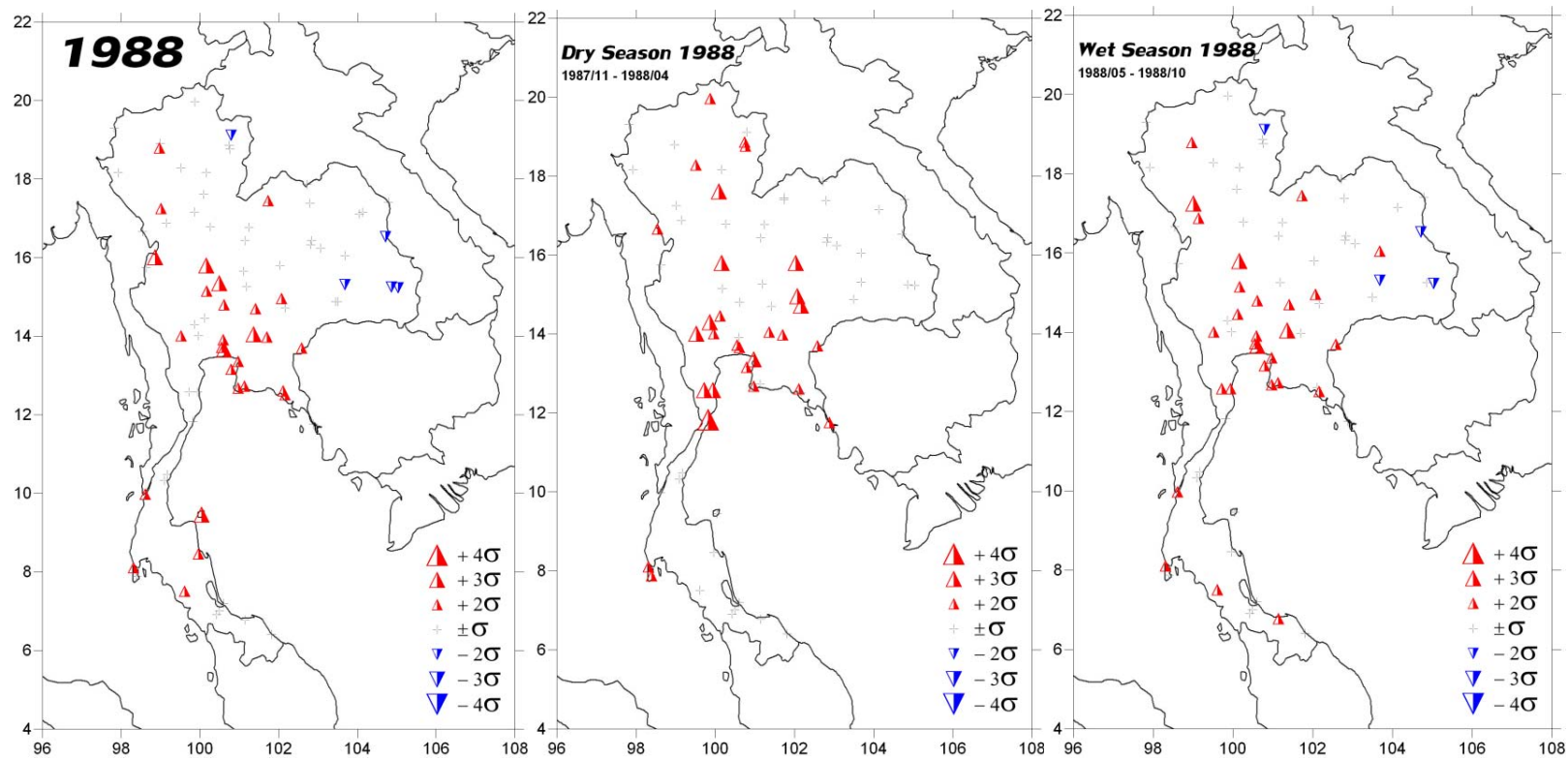


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-12 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1987

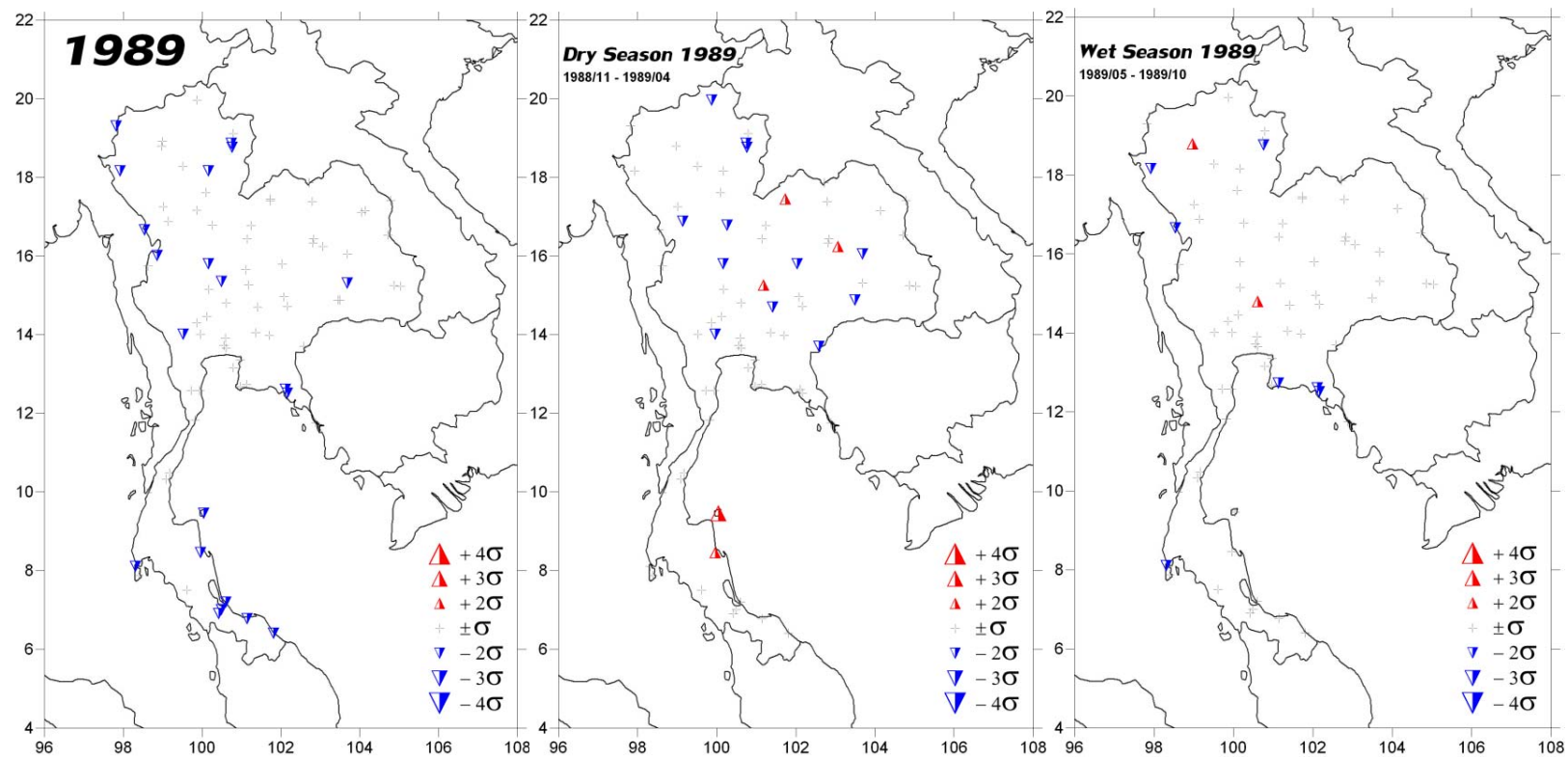


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-13 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1988

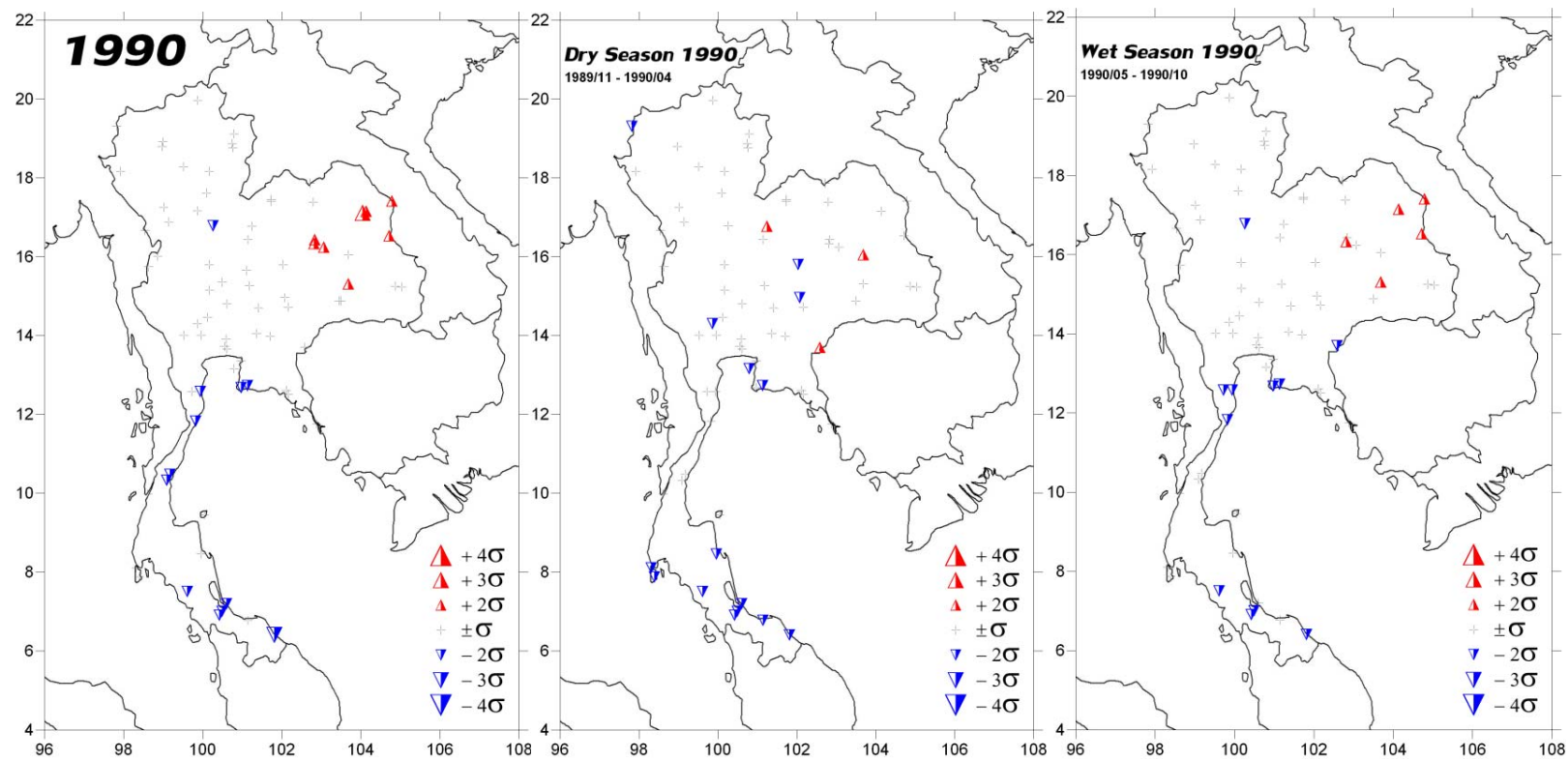


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-14 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1989

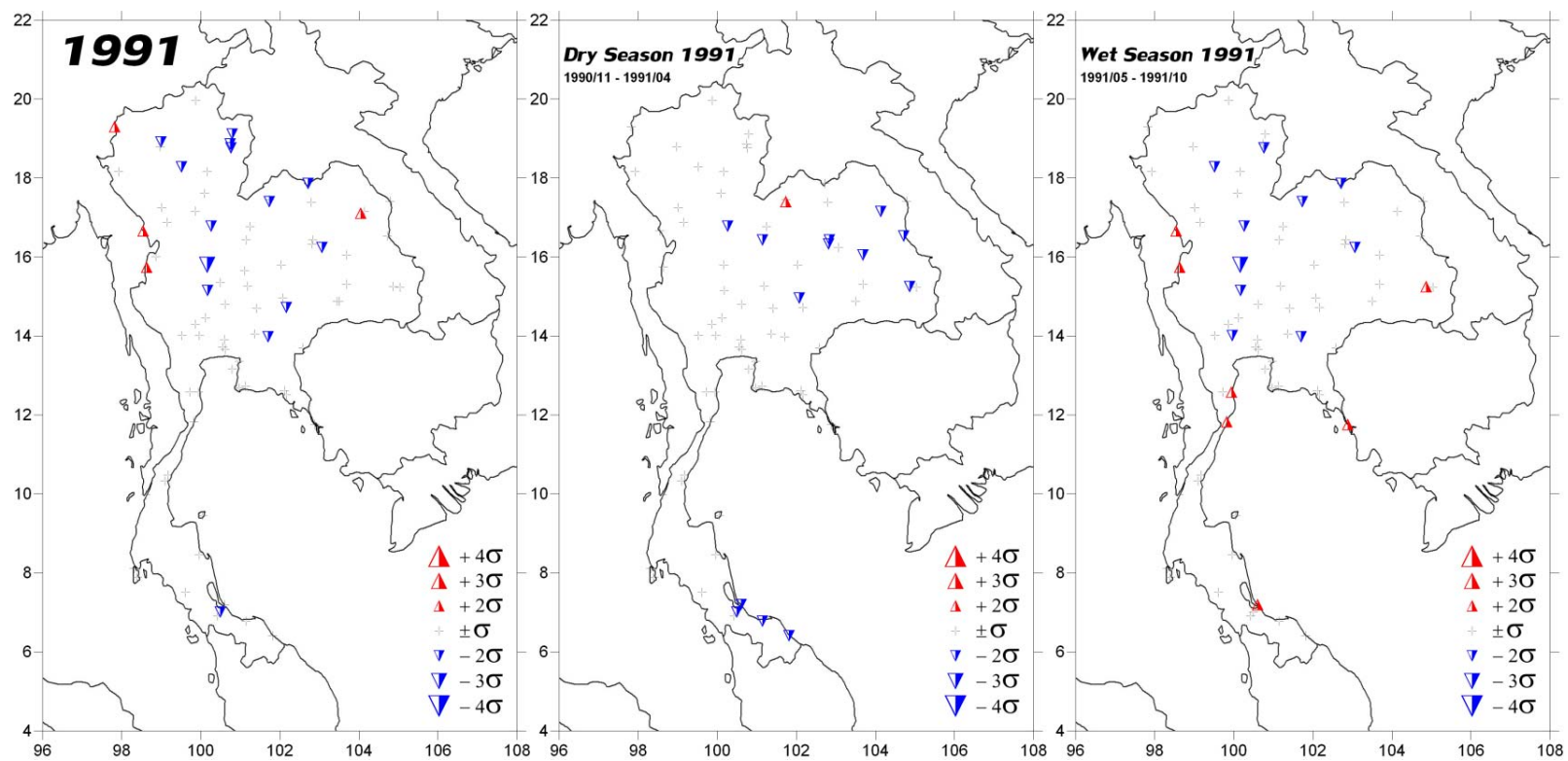


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-15 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1990

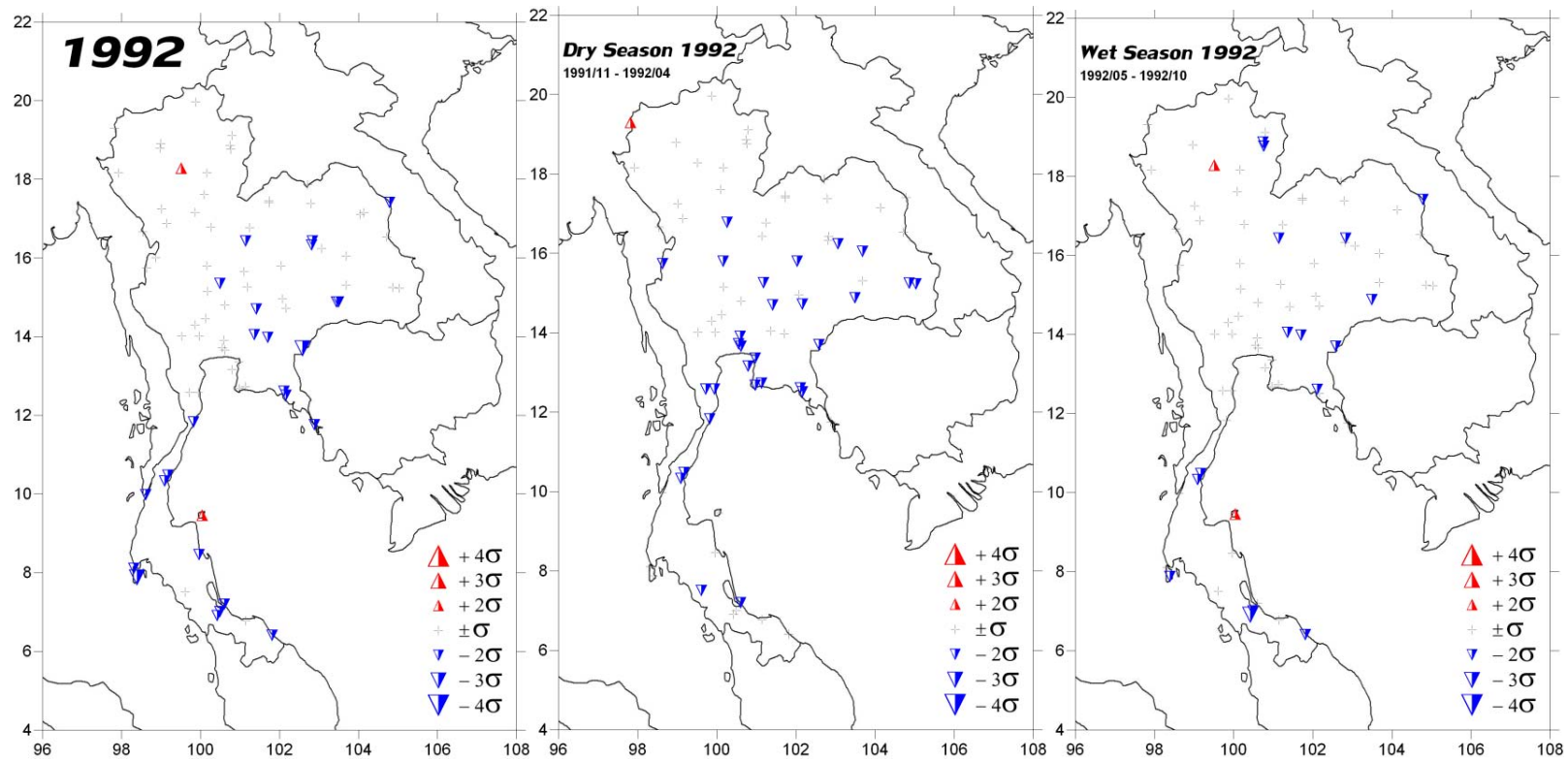


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-16 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1991

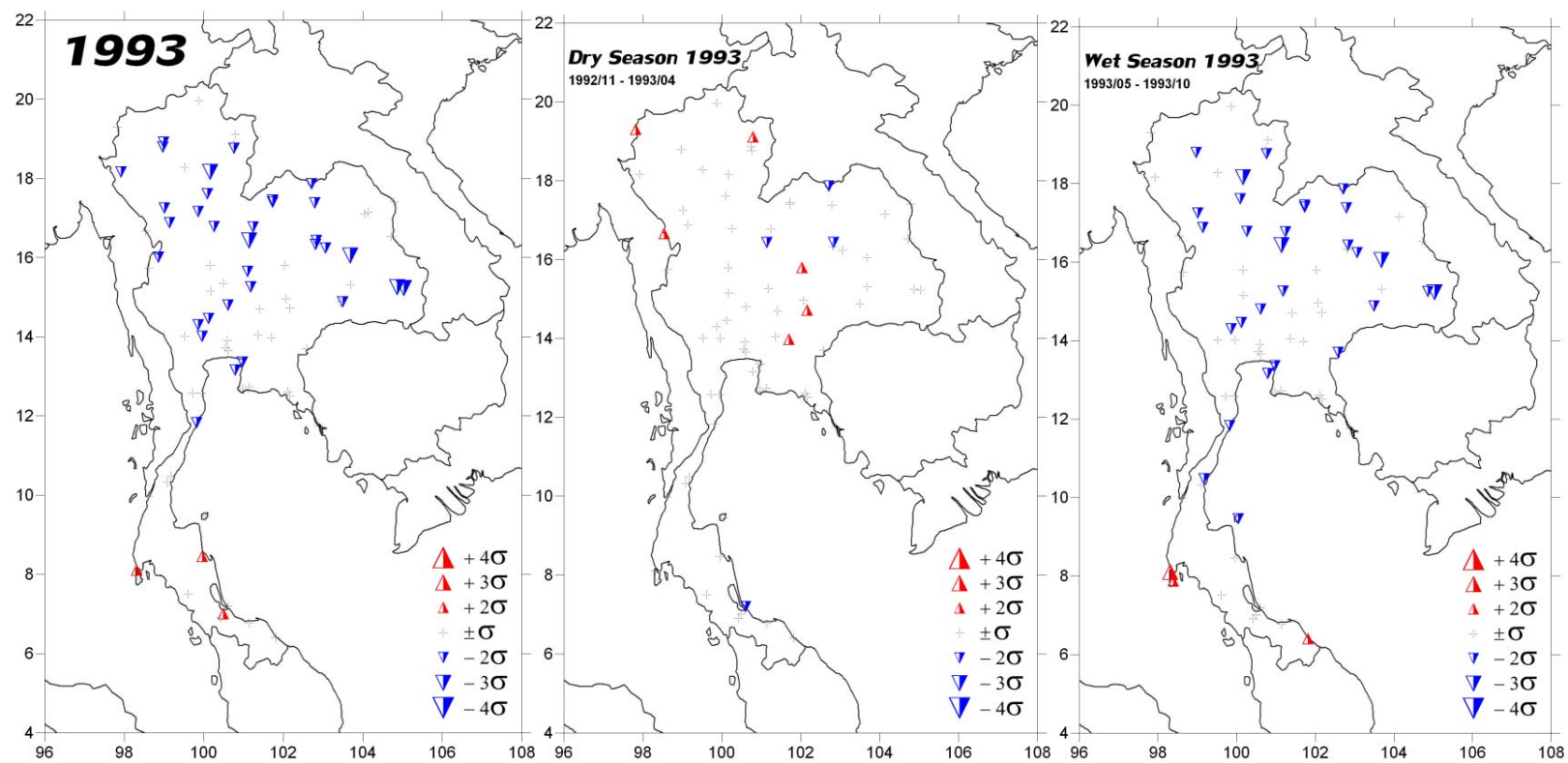


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-17 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1992

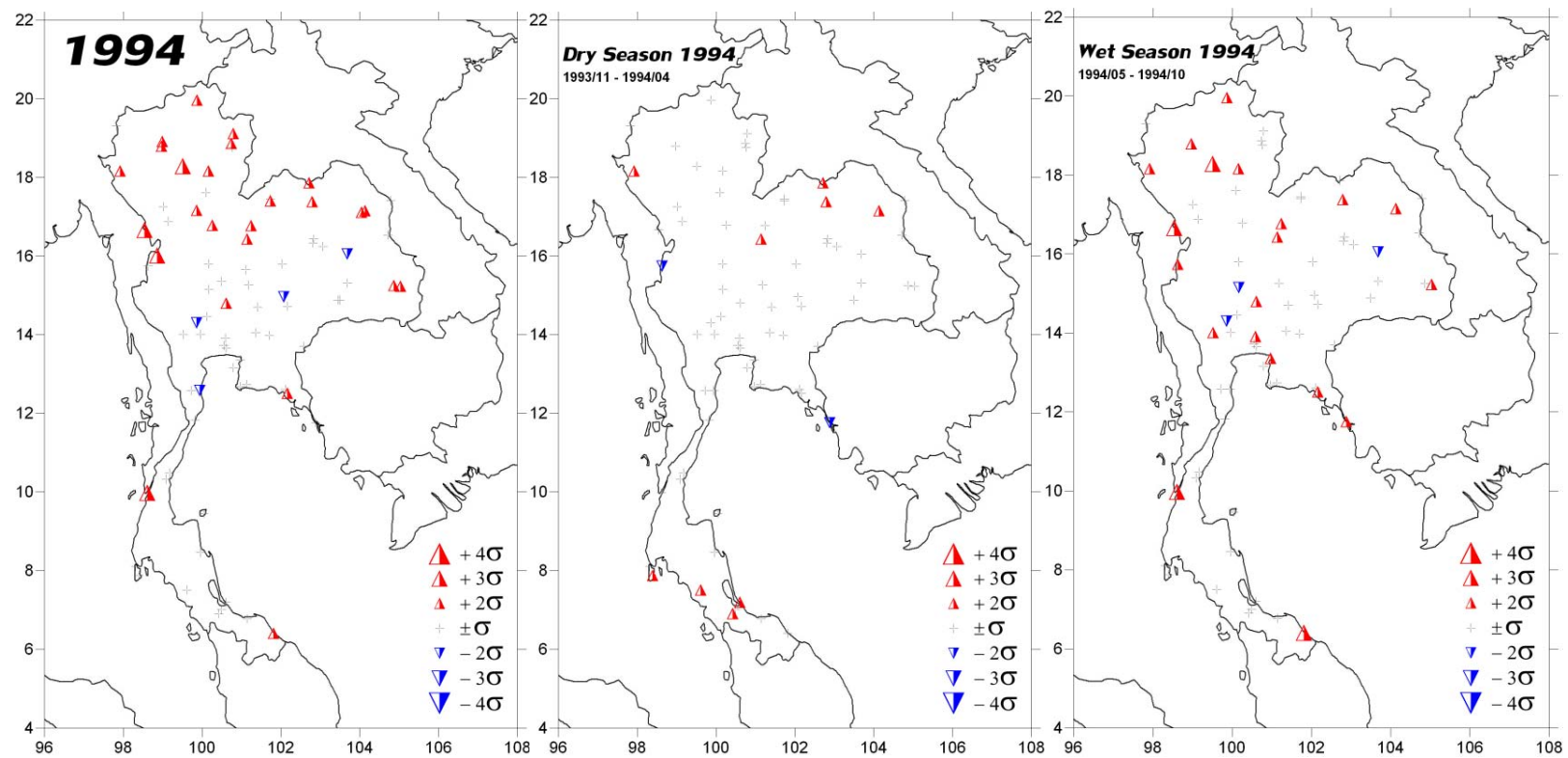


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-18 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1993

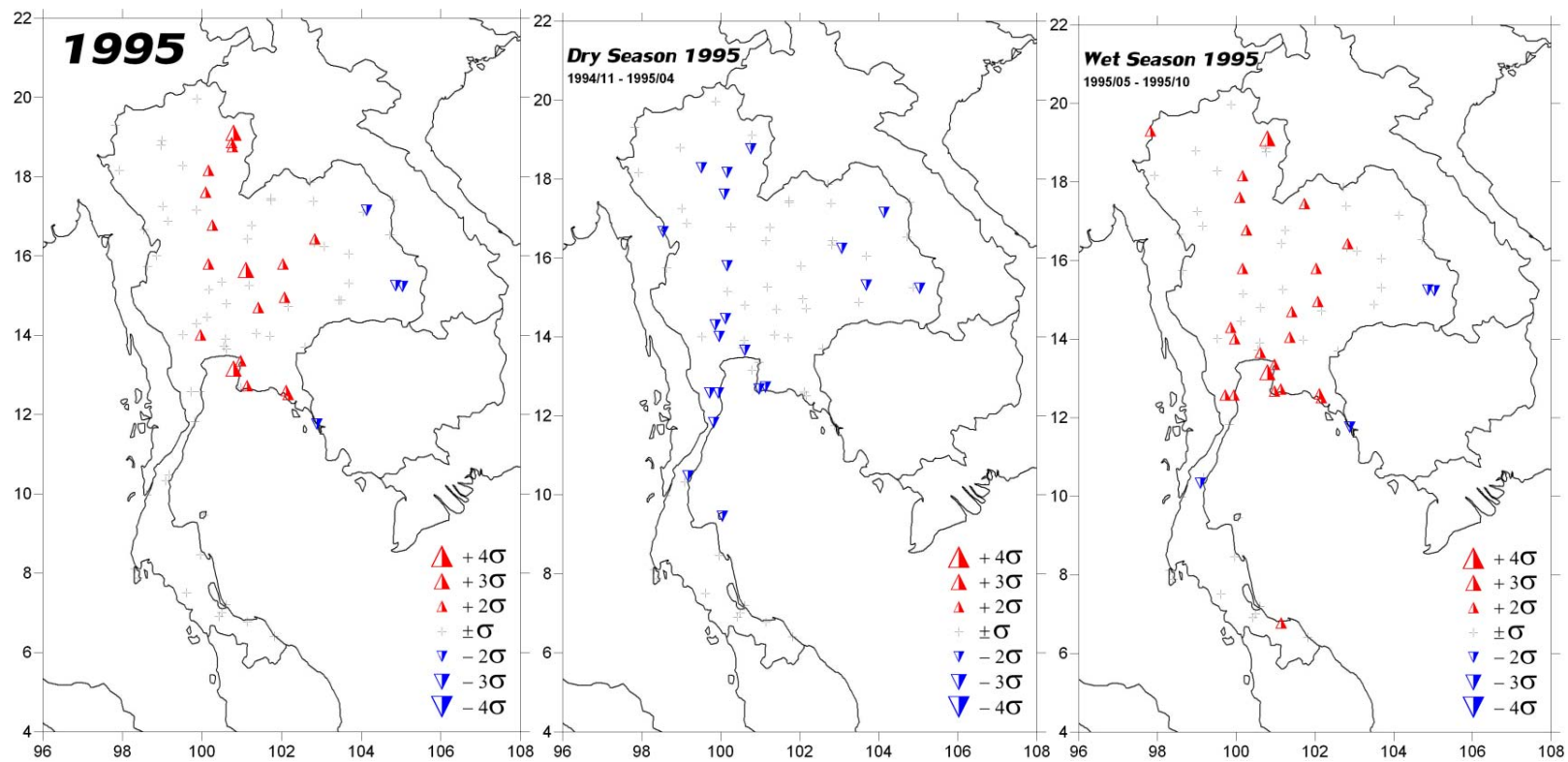


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-19 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1994

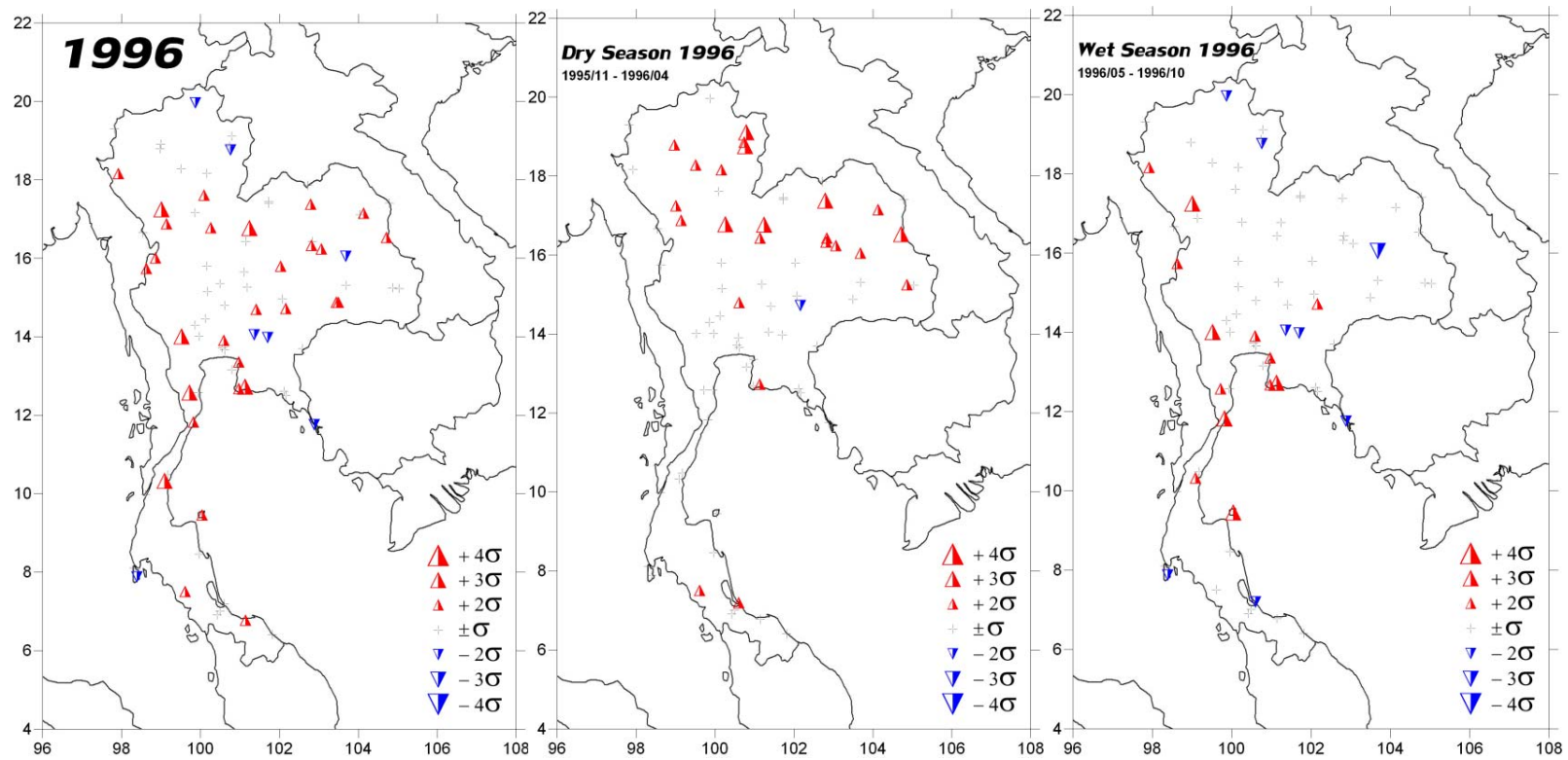


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-20 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1995



(ก) ตลอดทั้งปี (overall)

มกราคมถึงธันวาคม

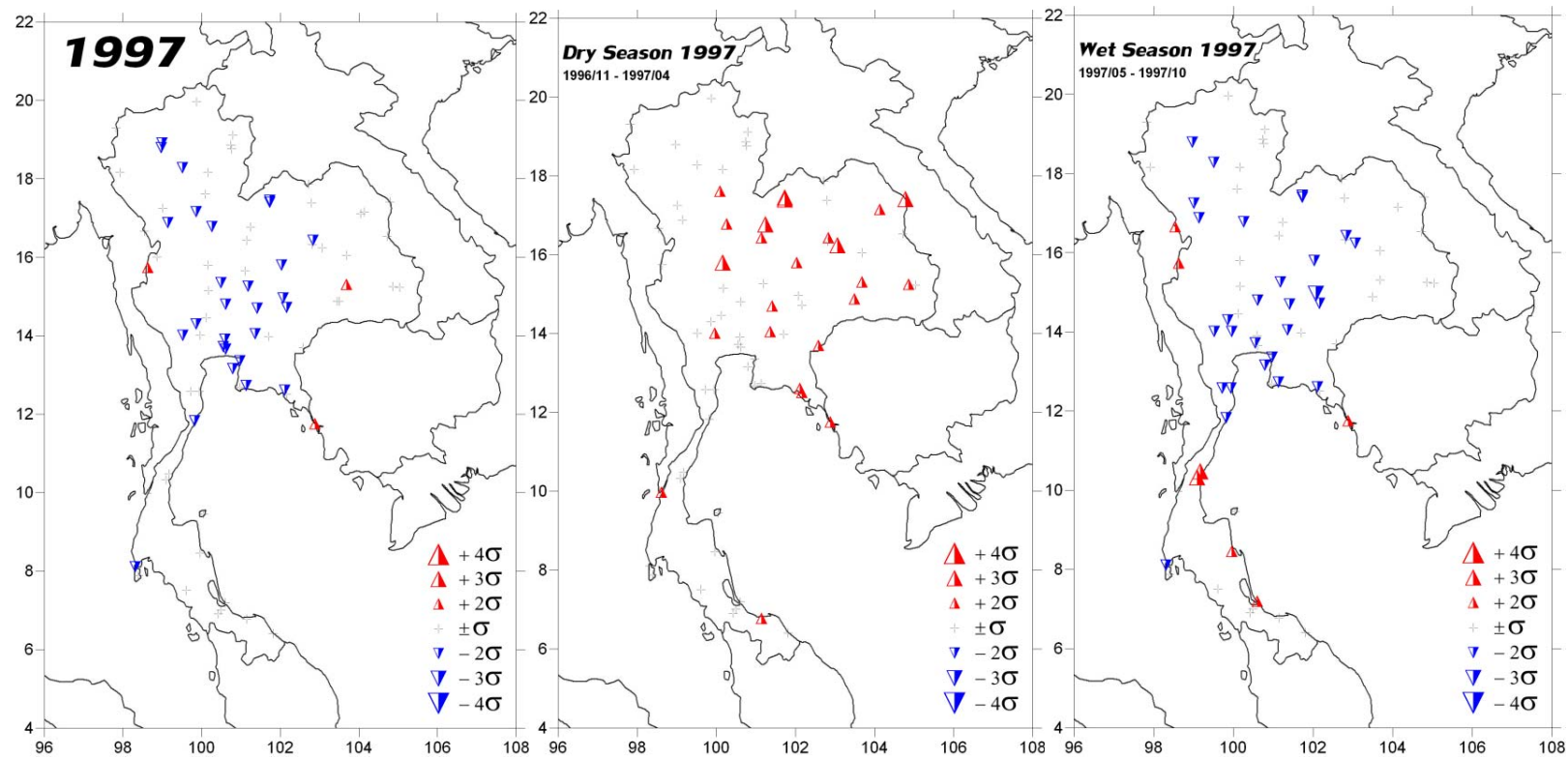
(ข) ฤดูแล้ง (dry season)

พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)

พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-21 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1996

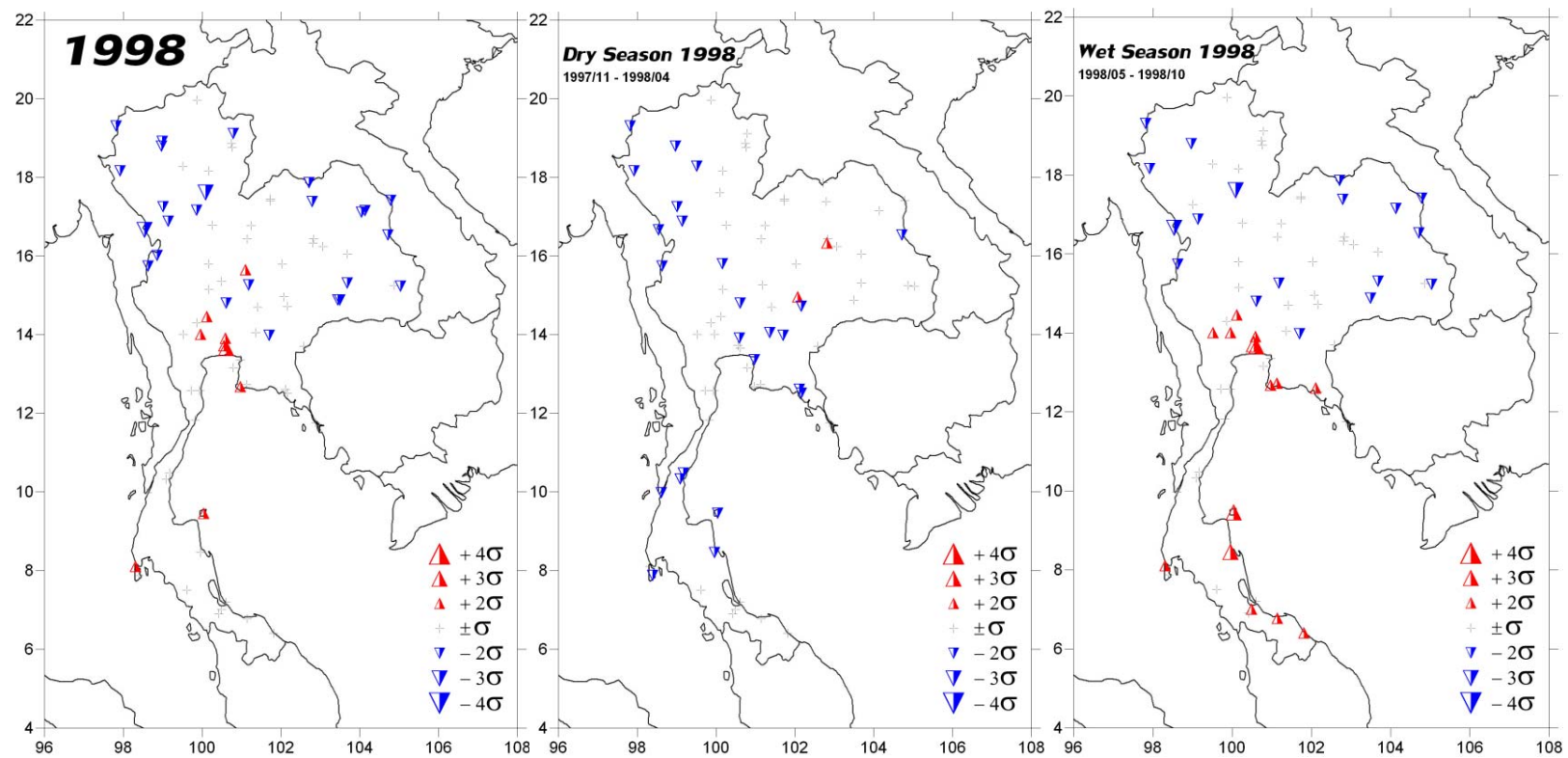


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-22 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1997

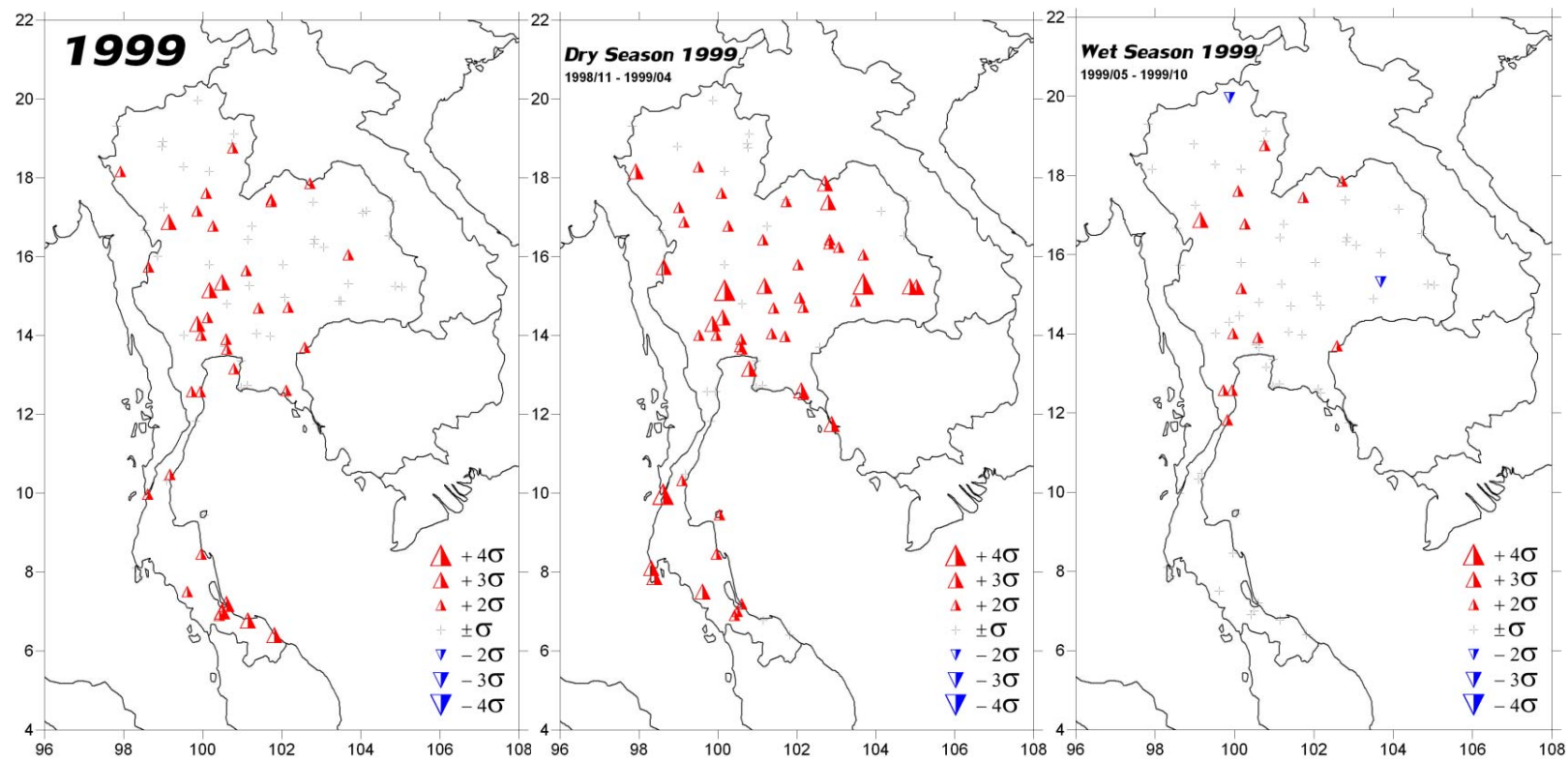


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-23 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1998

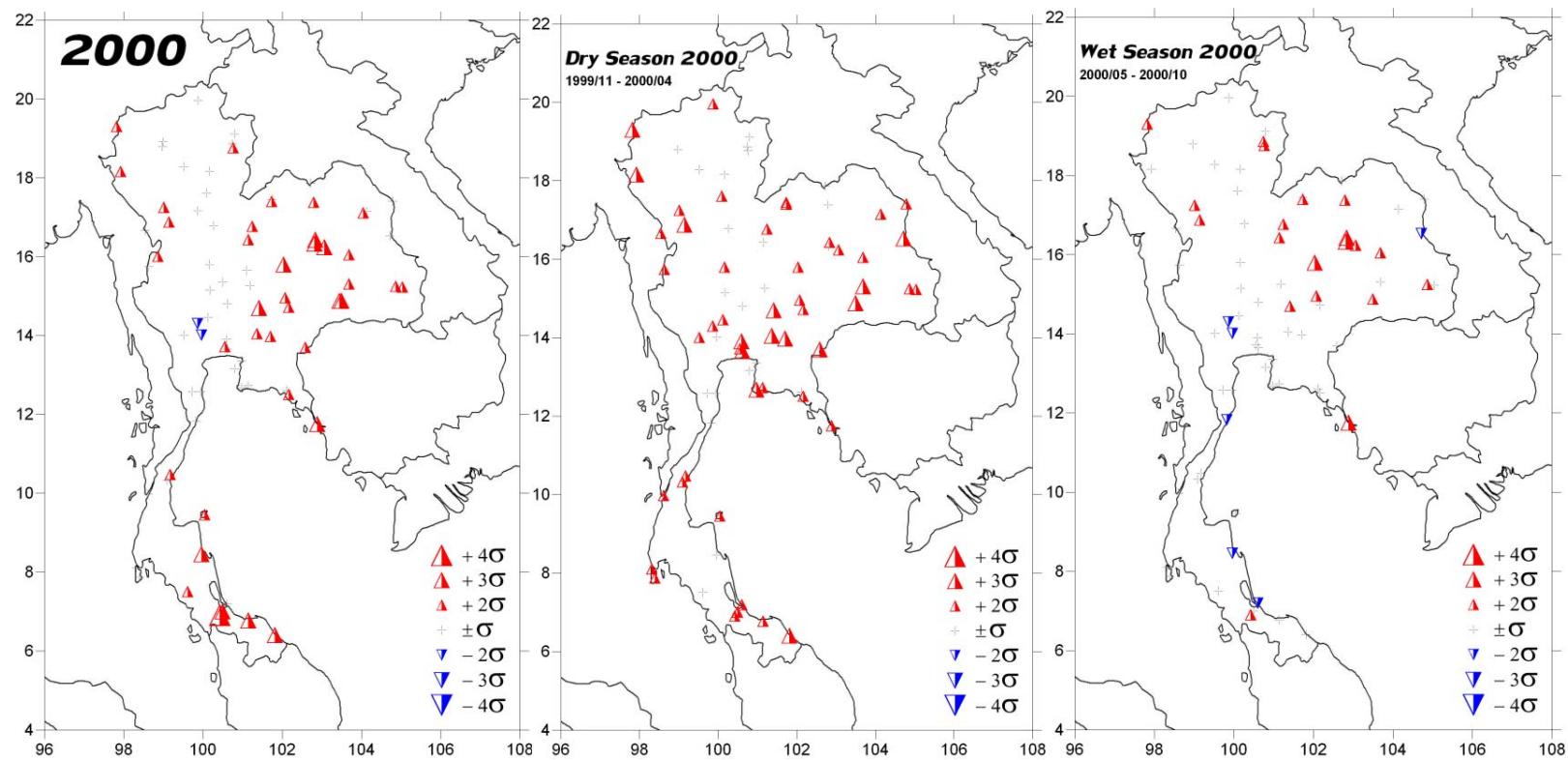


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-24 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 1999

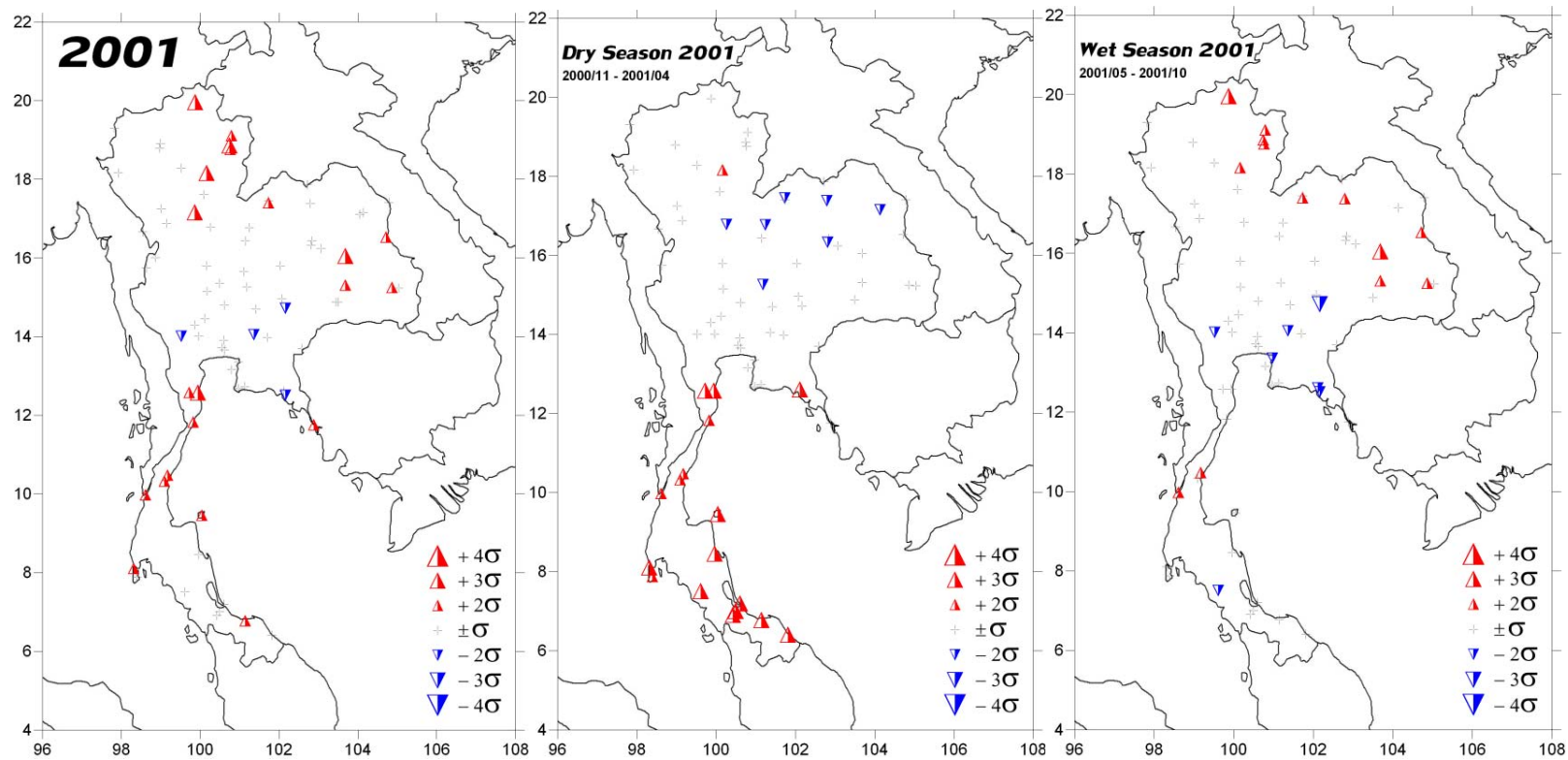


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-25 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 2000

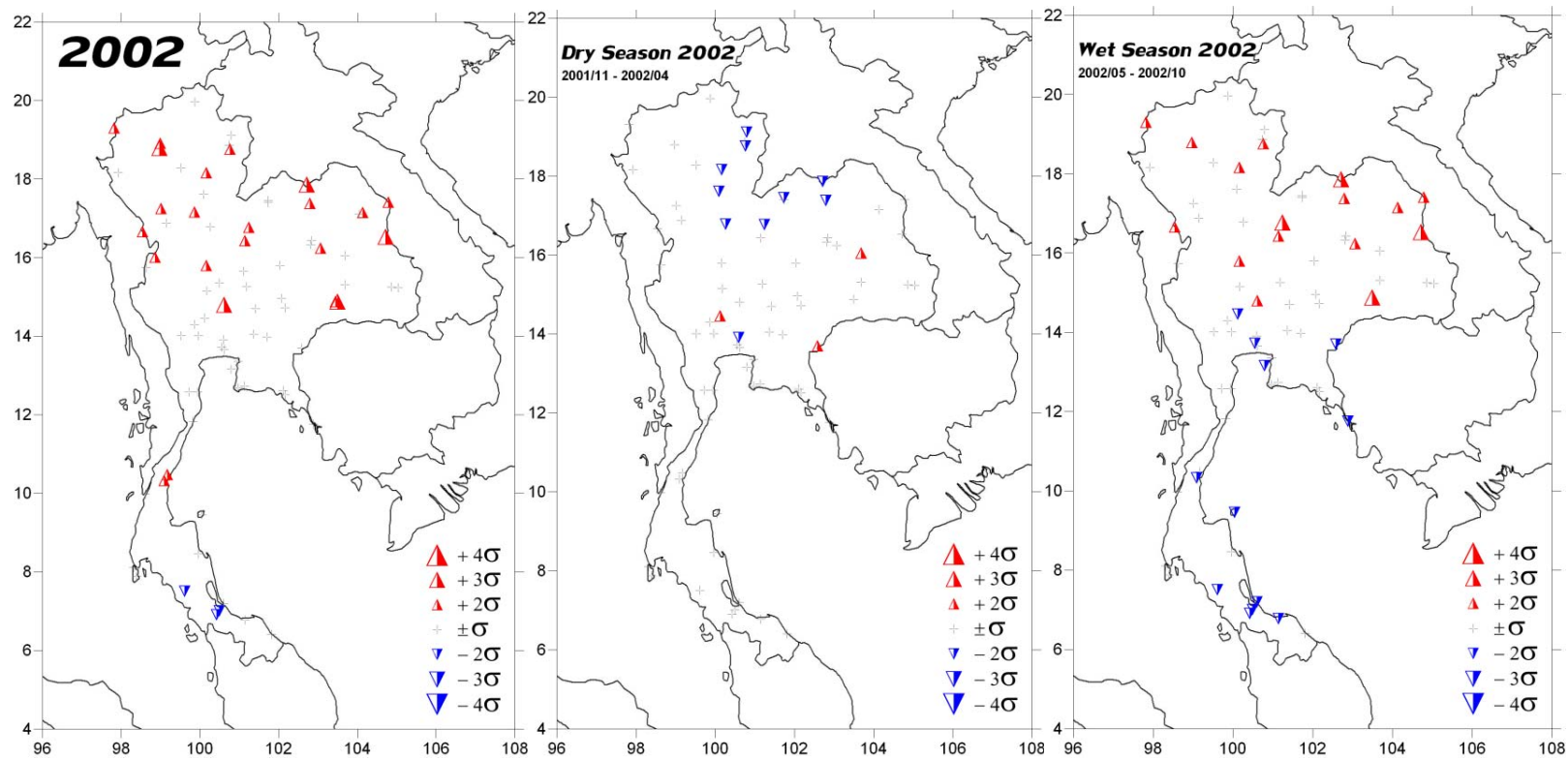


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-26 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 2001

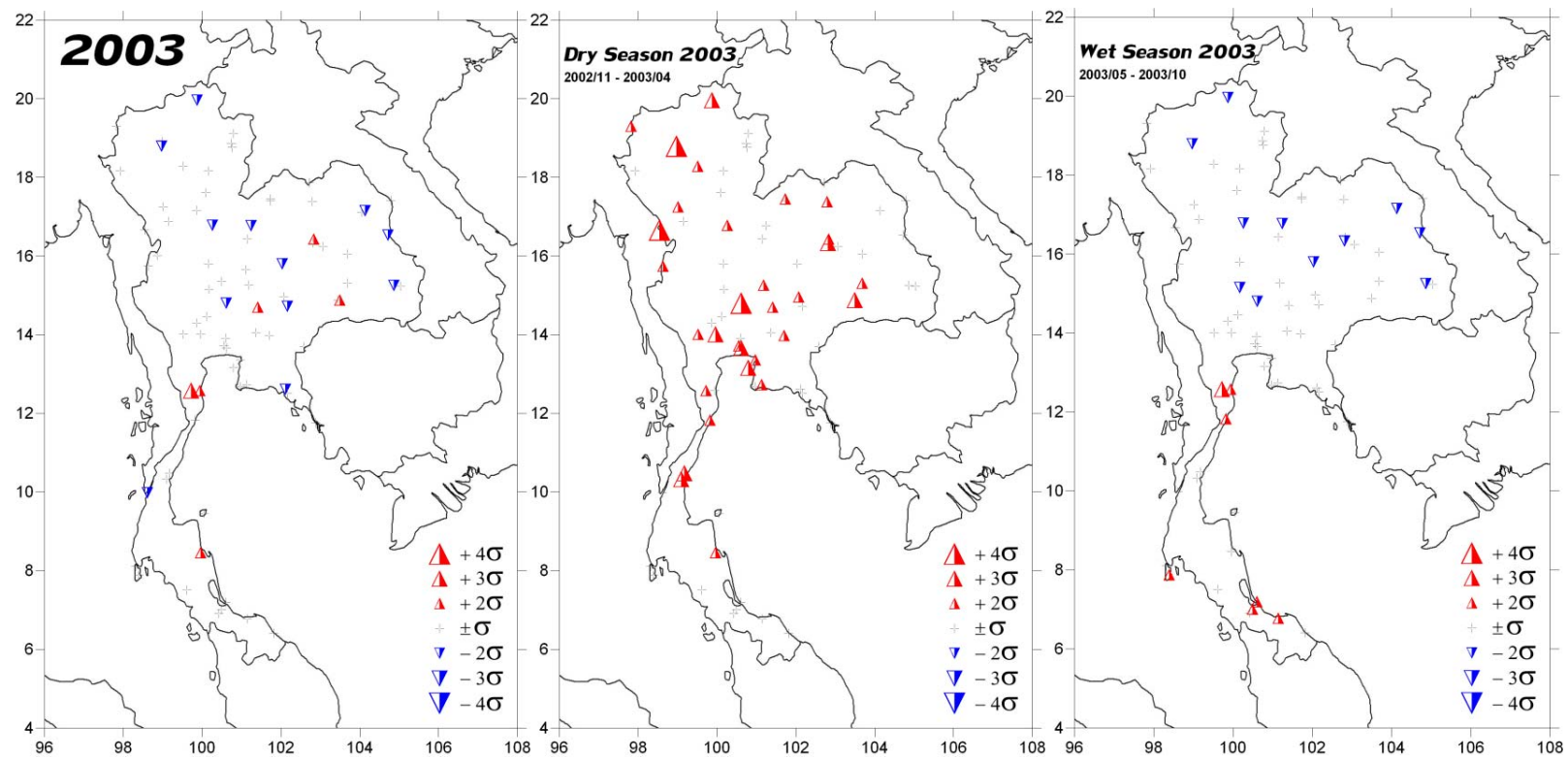


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-27 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 2002



(ก) ตลอดทั้งปี (overall)

มกราคมถึงธันวาคม

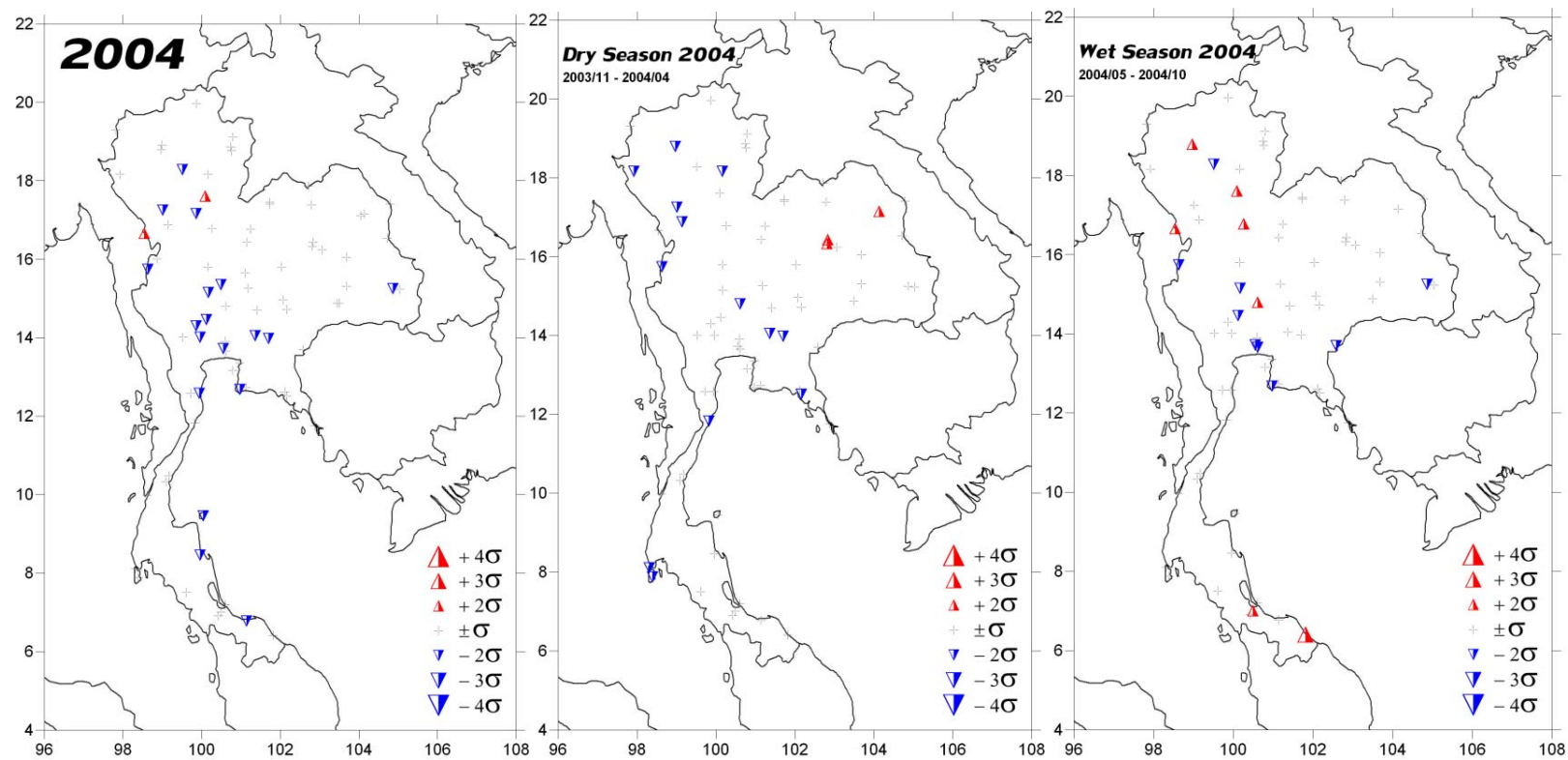
(ข) ฤดูแล้ง (dry season)

พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)

พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-28 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 2003

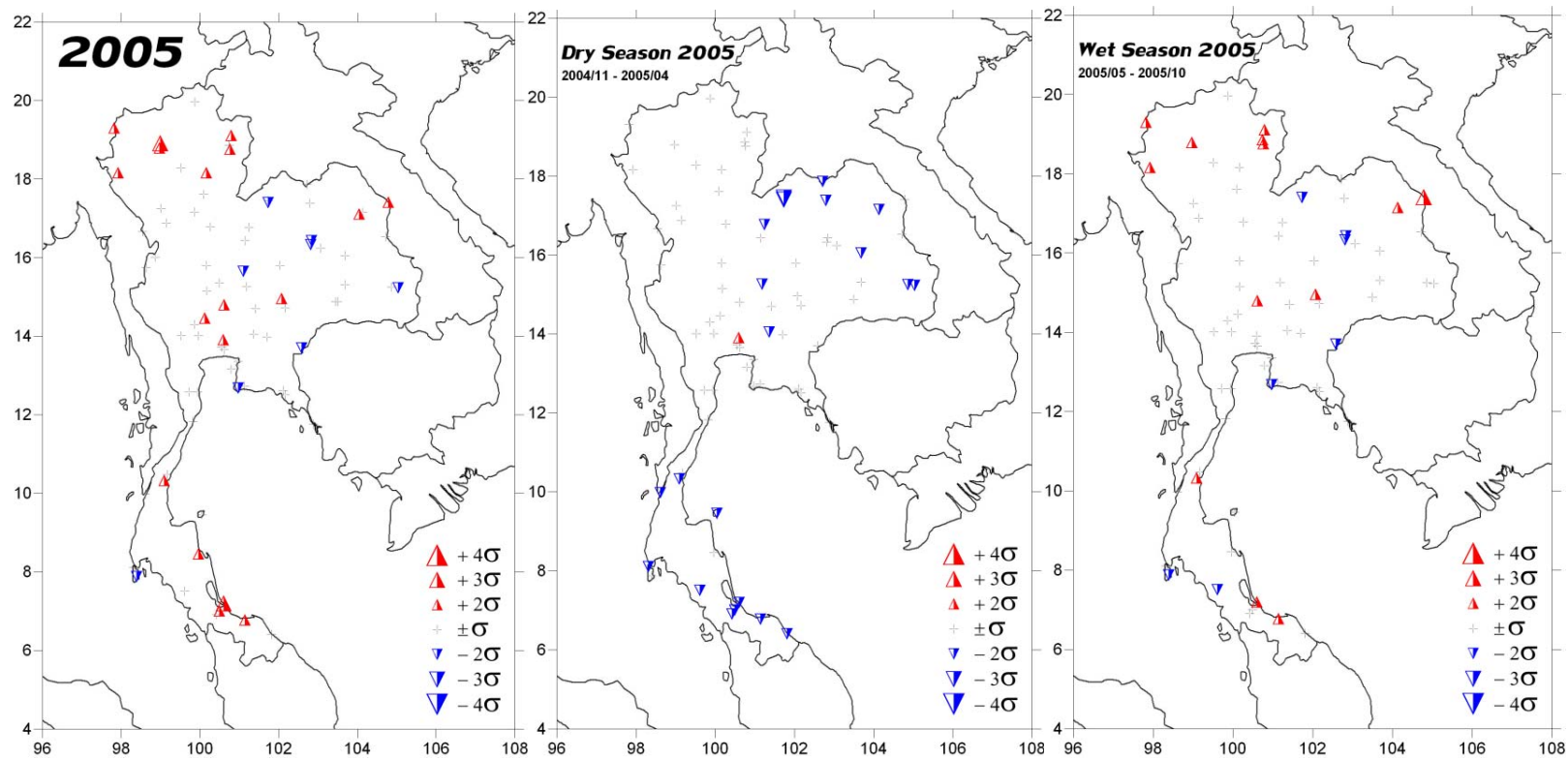


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-29 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 2004

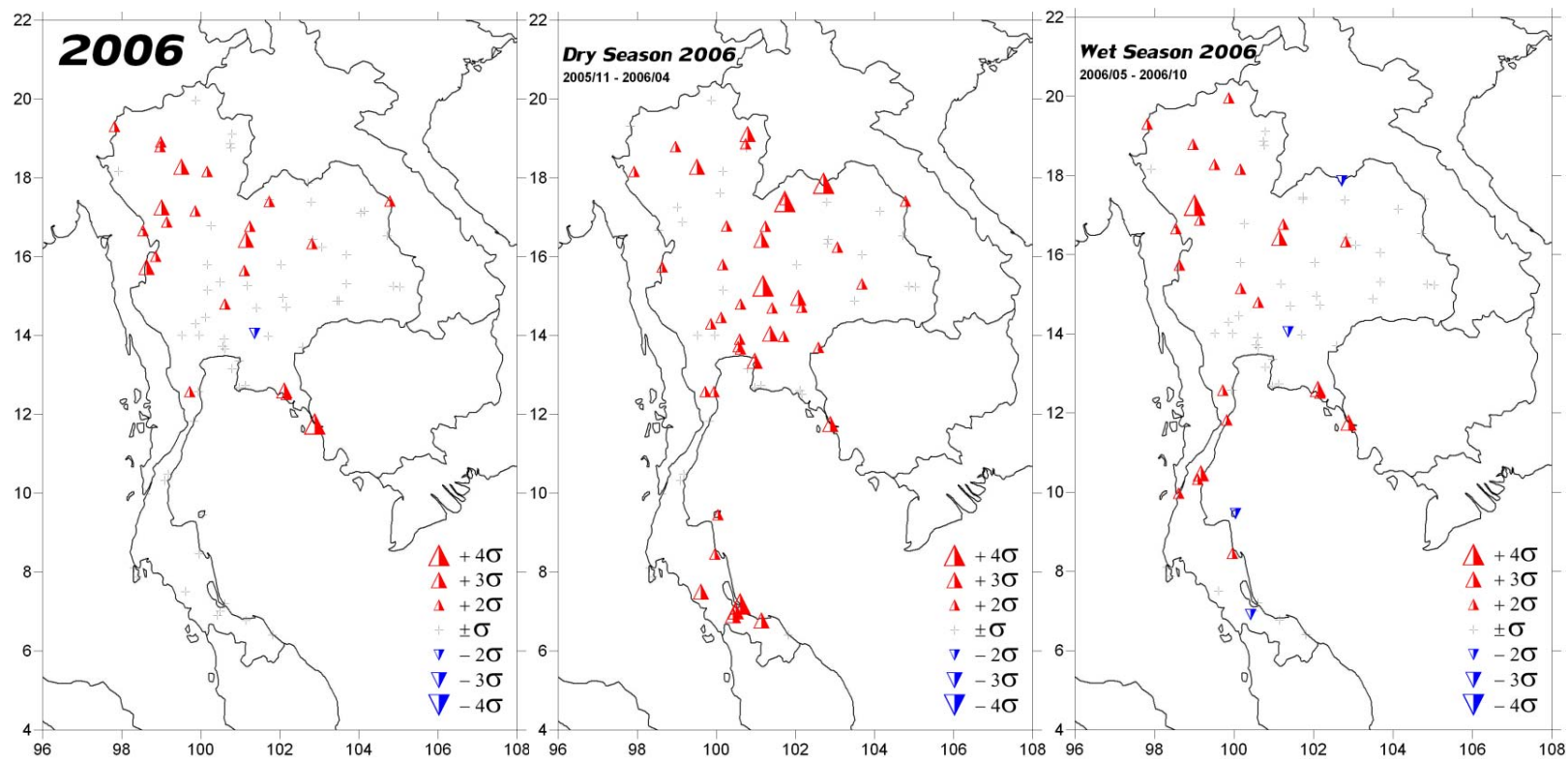


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-30 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 2005

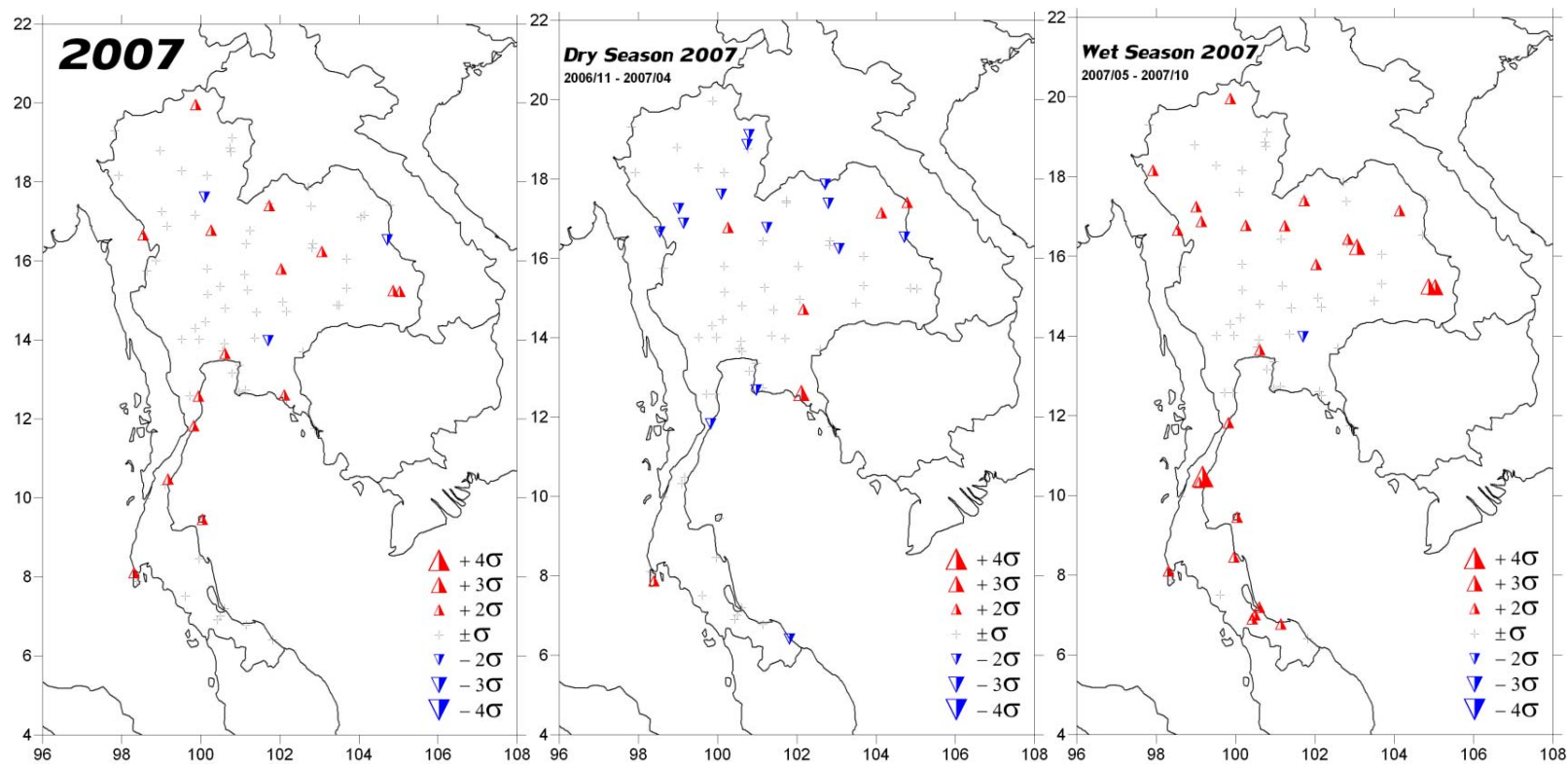


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-31 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 2006

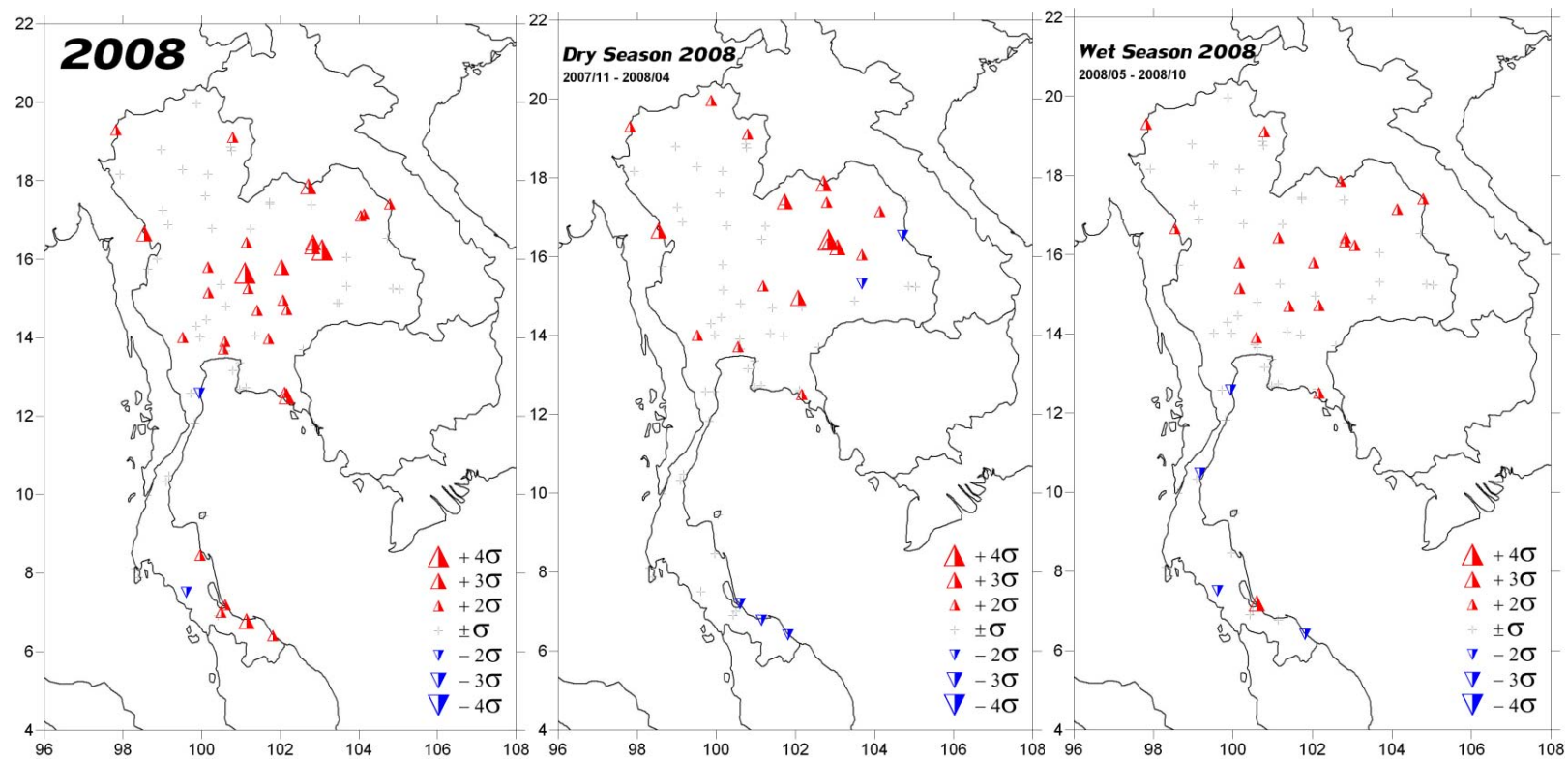


(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-32 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 2007



(ก) ตลอดทั้งปี (overall)
มกราคมถึงธันวาคม

(ข) ฤดูแล้ง (dry season)
พฤศจิกายนถึงเมษายน

(ค) ฤดูฝน (wet season)
พฤษภาคมถึงตุลาคม

รูปที่ ค-33 ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนรวมรายปีและรายฤดูกาลของประเทศไทยในปี 2008

ภาคผนวก ง
ตารางเปรียบเทียบวัสดุอุปกรณ์

ตารางที่ ง ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์และผลการดำเนินงาน

วัตถุประสงค์	กิจกรรม (ตามแผน)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	หมายเหตุ
เพื่ออธิบายความเชื่อมโยงของปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole ที่มีต่อปริมาณและการกระจายน้ำฝนของประเทศไทย	1. รวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลปริมาณน้ำฝนของประเทศไทย	1. ได้ฐานข้อมูลสถิติปริมาณน้ำฝนของประเทศไทย	1. ได้ฐานข้อมูลน้ำฝนรายวันจากกรมอุตุนิยมวิทยา รวม 120 สถานีทั่วประเทศ ในระหว่างปี 1975 – 2008	
	2. จัดแบ่งขอบเขตพื้นที่และรูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทย	2. ได้ขอบเขตพื้นที่และรูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทย	2. ได้รูปแบบการกระจายของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทย	รูปแบบการกระจายน้ำฝนดังกล่าวไม่สามารถใช้ตอบโจทย์ประเด็นคำถามวิจัยในเรื่องผลกระทบเชิงพื้นที่
	3. ทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนและดัชนีทางสมุทรศาสตร์ด้วยวิธีวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบต่างๆ	3. ได้ขอบเขตพื้นที่ที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจาก Indian Ocean Dipole ในประเทศไทย	3. พบความสัมพันธ์ของ Indian Ocean Dipole ที่มีต่อปริมาณน้ำฝนทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา	การแยกน้ำหนักระหว่าง ENSO และ IOD ที่มีต่อของความแปรปรวนน้ำฝนยังไม่สามารถทำได้ชัดเจน
	4. บรรยายความเชื่อมโยงของผลกระทบเชิงพื้นที่อันเนื่องมาจากอิทธิพลของ Indian Ocean Dipole	4. สามารถอธิบายผลกระทบของ Indian Ocean Dipole ที่มีต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศของประเทศไทย	4. พบความเชื่อมโยงของ Indian Ocean Dipole ที่มีต่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทย	