

การพัฒนาศักยภาพการพยากรณ์ฝนบริเวณประเทศไทย โดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัล
Potential Development of Seasonal Forecasts for Rainfall in Thailand
using Canonical Correlation Analysis

จุฬารัตน์ ศรีกุล^{1,*} ชัยประเสริฐ แก้วเมือง² และ ชลัมภ์ อุ่นอารีย์³

^{1,2} คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก กรุงเทพมหานคร 10400

³ ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร 10260

E-mail: chularat.s@hotmail.com

Chularat Srikul^{1,*}, Chaiprasert Keawmuang² and Chalump Oonariya³

^{1,2} Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Tawan-OK, Bangkok 10400, Thailand

³ Thailand Meteorological Department, Bangkok 10260, Thailand

E-mail: chularat.s@hotmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาศักยภาพการพยากรณ์ฝนรายฤดูบริเวณประเทศไทยโดยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัล (Canonical Correlation Analysis: CCA) ความผันแปรทางภูมิอากาศของประเทศไทยมีอิทธิพลมาจากปรากฏการณ์เอนโซเนื่องมาจากความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของปริมาณฝนในประเทศไทย ผลการคำนวณการวิเคราะห์ฟังก์ชันออร์โธกอนัลเชิงประจักษ์แสดงถึงความแปรปรวนความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่ปกคลุมมหาสมุทรอินเดียและตอนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิกตลอดช่วงเวลา 65 ปีที่ผ่านมา รวมทั้งปริมาณฝนบริเวณประเทศไทย การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัลแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ร่วมระหว่างข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงเดือนสิงหาคม ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2494-2558 กับปริมาณฝนบริเวณประเทศไทยช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน (ก.ย. - พ.ย.) มีค่าประมาณ 0.6 การพัฒนาขีดความสามารถการพยากรณ์ คำนวณให้สามารถคาดหมายออกไปล่วงหน้าได้ถึง 4 ช่วง นั่นคือ ช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม (ต.ค. - ธ.ค.) (ช่วงที่ 1) เดือนพฤศจิกายน-มกราคม (พ.ย. - ม.ค.) (ช่วงที่ 2) เดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ (ธ.ค. - ก.พ.) (ช่วงที่ 3) และเดือนมกราคม-มีนาคม (ช่วงที่ 4) พบว่าความสามารถในการพยากรณ์เพิ่มขึ้นในช่วงที่ 4 มีระดับความสัมพันธ์ 0.3 ถึง 0.4 บริเวณภาคเหนือและภาคใต้บางส่วน และความสามารถในการพยากรณ์จะลดลงเมื่อฤดูกาลเป้าหมายเลื่อนไกลออกไป โดยความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณที่ศึกษามีผลต่อความผันแปรของปริมาณฝนบริเวณประเทศไทย เมื่อปรากฏการณ์เอนโซแสดงลักษณะของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลอุ่นส่งผลให้ปริมาณฝนบริเวณตอนบนประเทศไทยลดลงและทางตอนใต้ของประเทศไทยกลับมีปริมาณฝนเพิ่มขึ้น และเมื่อปรากฏการณ์เอนโซแสดงลักษณะของ

อุณหภูมิผิวน้ำทะเลเย็นลงส่งผลให้ปริมาณฝนบริเวณตอนบนประเทศไทยเพิ่มขึ้นและทางตอนใต้ของประเทศไทยกลับมีปริมาณฝนลดลง

คำสำคัญ: การพยากรณ์ฝน; ประเทศไทย; การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัล

Abstract

The objective of this research is to develop a potentially statistical model using the Canonical Correlation Analysis (CCA) for the climate seasonal prediction of rainfall in Thailand. The El Niño Southern Oscillation (ENSO) climate system and the Sea Surface Temperature (SST) over the tropical Pacific Ocean and Indian Ocean are taken as the main factors of precipitation. The Empirical Orthogonal Function Analysis (EOFs) is firstly performed into the calculation. The first few leading principal component has been analyzed via the spatiotemporal patterns of positive SST anomaly dominated the Indian Ocean and the central Pacific Ocean together with the tendency of increasing over past sixty-four years of data set. The CCA is applied to find the correlation between SST over the tropical Indian Ocean and the western Pacific Ocean during August 1951-2015 and precipitation in Thailand during the September-October-November (SON) of the first few leading EOFs. The result has been found that the correlation score is about 0.6. The levels of predictive skills have been also shown at lead times of up to 4 months (target seasons OND, NDJ, DJF and JFM). The skills scores have been improved to the moderate skills (about 0.3-0.4) in the northern Thailand and some regions of southern Thailand with zero-month lead (SON) and declined from OND to JFM. The CCA generally outperforms persistence at zero-lead times. The ENSO phenomenon and SST anomaly are found to play some role in the precipitation variability in Thailand regions: Warming ENSO episodes tend to suppress northern summer rainfall and enhance southern summer rainfall in Thailand and cooling ENSO episodes tend to enhance northern summer rainfall and suppress southern summer rainfall in Thailand.

Keywords: Forecasts for rainfall; Thailand; Canonical correlation analysis

1. บทนำ

การพยากรณ์ภูมิอากาศในปัจจุบันได้รับการพัฒนาทั้งวิธีการเชิงพลวัตและเชิงสถิติ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัล (Canonical Correlation Analysis, CCA) เป็นวิธีการเชิงสถิติประยุกต์ในงานด้านภูมิอากาศและอุตุนิยมวิทยาอย่างมาก [1] การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัล เป็นวิธีการเชิงประจักษ์ (empirical) ด้วยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ในรูปแบบสมการเชิงเส้น คือ ตัวพยากรณ์ (predictor) และตัวถูกพยากรณ์ (predictand) การพยากรณ์จะมีความถูกต้อง (skillful) ถ้าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการพยากรณ์ย้อนหลัง (hind cast) และข้อมูลในอดีต (observed) มีความสอดคล้องกัน เรียกว่าความสามารถในการพยากรณ์ (skill scores) [2] การพัฒนาศักยภาพความสามารถในการพยากรณ์ระยะนาน (long range forecast) เช่น รายหนึ่งเดือน รายสามเดือน และรายฤดูกาล เป็นการพยากรณ์ปริมาณฝนและอุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์ เพื่อใช้ในการเฝ้าติดตามสถานะภูมิอากาศและการเตือนภัย การวางแผนรับมือทางเศรษฐกิจและทางการเกษตร ตลอดจนการวางแผนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำภายในประเทศ ซึ่งตัวแปรสำคัญที่เป็นตัวขับเคลื่อนต่อปริมาณฝนและอุณหภูมิ คือ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล โดยเฉพาะบริเวณมหาสมุทรอินเดียและเขตร้อนของมหาสมุทรแปซิฟิก เมื่อพิจารณาความผันแปรของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเขตร้อนบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก ปรากฏการณ์เอลนีโญมีความสัมพันธ์และเชื่อมโยงกับความผันแปรของระบบอากาศในซีกโลกใต้ โดยปรากฏการณ์เอลนีโญเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดในมหาสมุทรส่วนความผันแปรของระบบอากาศในซีกโลกใต้เกิดในบรรยากาศ (El Niño Southern Oscillation, ENSO) เป็นความผันแปรที่เกิดร่วมกันระหว่างมหาสมุทรและบรรยากาศ ENSO จะรวมถึงปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญา ปรากฏการณ์ดังกล่าวทำให้เกิดขึ้นความผันแปรของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณศูนย์สูตรในมหาสมุทรแปซิฟิกด้านตะวันออก ส่งผลกระทบต่อความผิดปกติของปริมาณฝนโดยในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปริมาณฝนที่ลดลงสัมพันธ์กับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเขตร้อนบริเวณแปซิฟิกตะวันออกที่อุ่นขึ้น และในทางกลับกันความผิดปกติของปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเขตร้อนบริเวณแปซิฟิกตะวันออกที่เย็นลง

ความผันแปรของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเป็นแหล่งพลังงานขนาดใหญ่ที่มีอิทธิพลและส่งผลกระทบต่อความผิดปกติอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณต่างๆ เช่นอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย เขตร้อนส่งผลต่อปริมาณฝนบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ บทความนี้ได้ทำการศึกษาและประยุกต์การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัลเพื่อหาความสัมพันธ์สูงสุดระหว่างตัวแปรหลายมิติ วิธีการนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Hotelling [3] และต่อมาวิธีการดังกล่าวถูกประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางโดยที่ Glahn [4] และ Mardia et al. [5] ได้ขยายขอบเขตของวิธีการดังกล่าวสู่เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายมิติในระบบสมการเชิงเส้น ในหลายทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการประยุกต์วิธีการดังกล่าวในงานวิจัยทางภูมิอากาศทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศเชิงประจักษ์ [6-10] และในเชิงการพยากรณ์ [2], [11-15] ความสามารถในการพยากรณ์สูงสุดนับได้ว่าเป็นปริมาณที่สำคัญอย่างยิ่งตามงานวิจัยของ Mason and Mimmack [16] เนื่องจากเป็นปัจจัยที่เพิ่มความเชื่อมั่นของปริมาณที่ทำพยากรณ์ วิธีการลดความโน้มเอียงของระบบสมการเชิงเส้นในการพยากรณ์ หรือ cross-validated ได้ถูก

พัฒนาขึ้น โดย Michaelsen [17] การวิเคราะห์เชิงอนุกรมเวลาแสดงให้เห็นแนวโน้มความผันแปรของข้อมูล ในเชิงวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัลถูกประยุกต์ใช้สำหรับการพยากรณ์แบบเชิงเส้น ขณะที่งานวิจัยของ Lai and Fyfe [18] และ Hsieh [19-20] ได้เสนอวิธีการสำหรับการพยากรณ์แบบไม่เชิงเส้นด้วย Nurul Nadrah Aqilah Tukimat et. al. [21] ได้ประยุกต์ CCA ในการเลือกกลุ่มของตัวทำนายกับปริมาณฝน (ตัวถูกทำนาย) พบว่าศักยภาพการจำลองของ CCA ในการเลือกกลุ่มตัวทำนาย ทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างตัวถูกทำนายกับปริมาณฝนรายสถานีมีค่าลดลง ขอบเขตสำหรับบทความนี้จะพิจารณาในรูปแบบของการพยากรณ์แบบเชิงเส้นเท่านั้น

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาศักยภาพการพยากรณ์ปริมาณฝนระยะนาน ด้วยวิธีเชิงสถิติการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัล ปรากฏการณ์เอนโซ (ENSO) สามารถอธิบายกลไกของความเชื่อมโยงระหว่างปริมาณฝนบริเวณประเทศไทยกับอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิก เพื่อทดสอบศักยภาพของแบบจำลองเชิงสถิติที่พัฒนาขึ้น และประเมินขีดความสามารถในการพยากรณ์ปริมาณฝนระยะนาน

2. ระเบียบวิธีวิจัย

บทความนี้ได้ประยุกต์วิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัลในแบบจำลองเชิงสถิติเพื่อพัฒนาศักยภาพความสามารถการพยากรณ์ภูมิอากาศระยะนานราย 3 เดือน ด้วยการประเมินความสามารถในการพยากรณ์ขอบเขตของการวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของความผันแปรของตัวแปรอุณหภูมิผิวน้ำทะเล โดยเฉพาะบริเวณมหาสมุทรอินเดียและบริเวณเขตร้อนของมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก และเป็นบริเวณที่สำคัญของปรากฏการณ์เอนโซ (ENSO) ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนการไหลวนของบรรยากาศและส่งผลกระทบต่อความผิดปกติของปริมาณฝนบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งประเทศไทยด้วย วิธีการที่พัฒนาขึ้นอาศัยวิธีการเชิงคณิตศาสตร์และสถิติร่วมกับการวิเคราะห์ความหมายผลการคำนวณเชิงกายภาพ

2.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

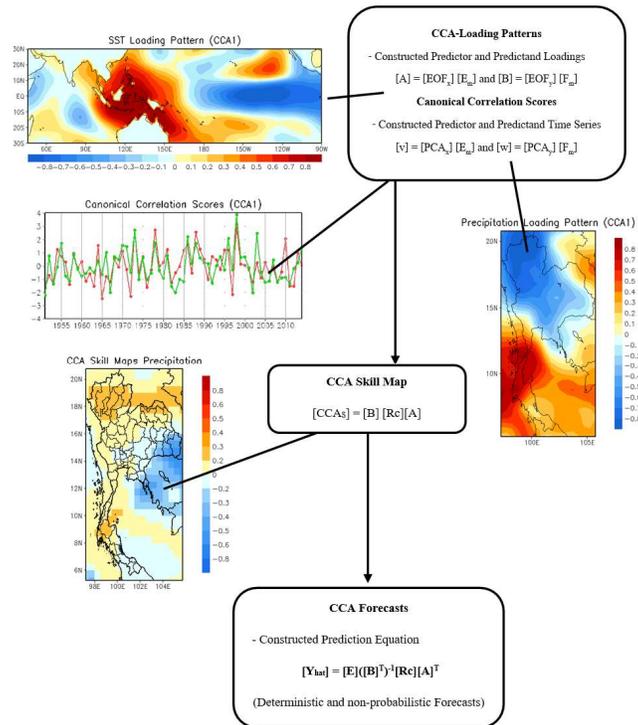
1) รวบรวมข้อมูล อุณหภูมิผิวน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝน และใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ หลักการพีชคณิตเชิงเส้น (Linear Algebra) ปัญหาเวกเตอร์เจาะจง (Eigenvalue Problems) วิธีการแยกองค์ประกอบค่าเชิงเดี่ยว (Singular Values Decomposition, SVD) การวิเคราะห์ฟังก์ชันออร์ทอโกนัลเชิงประจักษ์ (Empirical Orthogonal Function Analysis, EOFs) เพื่อแยกองค์ประกอบของข้อมูล

2) ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (ดูจากแผนผังการทำงานจากรูปที่ 1 เพื่อการวิเคราะห์ตัวแปรทางด้านชั้นบรรยากาศและสมุทรศาสตร์ โดยพัฒนาชุดคำสั่งเพื่อเตรียมข้อมูลก่อนและหลังการประมวลผลในรูปแบบ binary และ netcdf จากข้อมูลแบบรายสถานีและข้อมูลเชิงตาราง (gridded data) เช่น อุณหภูมิผิวน้ำทะเล อุณหภูมิผิวพื้น ปริมาณฝน โดยได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการ Linux โดยใช้คอมพิวเตอร์ Fortran 90 โดย Unix Shell scripts เป็นระบบหลักในการประมวลผลทั้งหมด รวมทั้งการออกแบบชุดคำสั่งเพื่อสร้างแผนที่ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ด้วยโปรแกรม The Grid Analysis and Display System (GrADS) Version 2.09 ที่

ได้รับการพัฒนาขึ้น โดยสถาบัน Brian Doty and the Institute of Global Environment and Society (IGES) และ The Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA).

3) พัฒนาส่วนการประมวลผลเชิงตัวเลข โดยดูจากรายละเอียดของชุดสมการใน โปรแกรมและแผนผังการทำงานจากรูปที่ 2 ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ชุดคำสั่งการคำนวณเชิงตัวเลขจาก LAPACK LIBRARY 3.4 สำหรับการคำนวณ ปัญหาเวกเตอร์เจาะจง วิธีการแยกองค์ประกอบค่าเชิงเดี่ยว

4) ทดสอบผลการคำนวณกับงานวิจัยอื่นๆ และนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการปรับแก้ความถูกต้องของโปรแกรมก่อนการประยุกต์ใช้งานจริง หลังจากพัฒนาโปรแกรมเบื้องต้นสมบูรณ์ จะออกแบบและสร้างการทดลอง โดยพิจารณาถึงระบบภูมิอากาศที่มีผลกระทบต่อปริมาณฝนบริเวณประเทศไทย เช่น อุณหภูมิผิวน้ำทะเล บริเวณมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิก ในช่วงเดือนต่างๆ เพื่อเป็นการทดสอบผลการวิเคราะห์ความสามารถในการพยากรณ์ โดยได้นำข้อผิดพลาดมาปรับปรุงและแก้ไขผลการคำนวณจนมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ [22] เป็นการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการประมวลผลการทดสอบและการพยากรณ์ และแผนที่รูปแบบเชิงน้ำนักคาโนนิกัล แผนที่ความสามารถการพยากรณ์คาโนนิกัล และกราฟอนุกรมเวลาแอมพลิจูดคาโนนิกัล

5) ศึกษาและวิเคราะห์ความหมายของผลการคำนวณที่ได้ โดยเทียบเคียงกับปรากฏการณ์ทางภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในช่วง 65 ปีที่ผ่านมา เพื่อเป็นการประเมินศักยภาพและความสามารถของผลการคำนวณการพยากรณ์จาก

ตัวแปรทางชั้นบรรยากาศและสมุทรศาสตร์ต่างๆ เช่น อุณหภูมิผิวน้ำทะเล อุณหภูมิผิวน้ำ ปริมาณฝน ความชื้น การเคลื่อนตัวของน้ำในอากาศ โดยในงานวิจัยนี้จะเริ่มจากตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักทางภูมิอากาศ คือ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล และปริมาณฝน

2.2 บริเวณที่ศึกษา (Region of Interested)

พิจารณาจากอิทธิพลและระบบภูมิอากาศที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณฝนในประเทศไทย ได้แก่ อิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดียที่พัดพาความชื้นจากมหาสมุทรสู่พื้นทวีป และอิทธิพลปรากฏการณ์ ENSO ที่เกิดในมหาสมุทรแปซิฟิก โดยใช้บริเวณมหาสมุทรเขตร้อนขึ้นตำแหน่งละติจูดที่ 30 องศาใต้ ถึง 30 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 0 ถึง 360 องศาตะวันออก

2.3 ข้อมูลและการเก็บรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลตรวจวัดฝนรายวันจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ในช่วงฤดูมรสุมระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายน ปีพ.ศ. 2524-2553 ข้อมูลรายสถานีจะมีนัยสำคัญทางสถิติโดยใช้ T-Test เมื่อปริมาณข้อมูลในแต่ละสถานีไม่น้อยกว่า 95% ของข้อมูลทั้งหมด และแทนที่ค่าข้อมูลขาดหายจากการตรวจวัดโดยวิธีการประมาณค่าที่เหมาะสม (Optimized Interpolation) จากข้อมูลสถานีใกล้เคียง และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่ถูกรวบรวมใช้ในการวิเคราะห์ โดยเลือกใช้ข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน ชุดข้อมูลปริมาณฝนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้พยากรณ์สำหรับโปรแกรม BCCA (Barnett-Preisendorfer Canonical Correlation Analysis) จะใช้ตัวแปร 2 ตัวในการวิเคราะห์ ในตัวอย่างนี้จะเลือกข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยรายเดือนเป็นตัวพยากรณ์ (predictor) และข้อมูลฝนรวมหรือเฉลี่ยราย 3 เดือนเป็นตัวถูกพยากรณ์ (predictand) รูปแบบของข้อมูลจะอยู่ในแบบ netcdf ซึ่งสามารถเตรียมได้จากเว็บไซต์ของสถาบัน IRI (International Research Institute for Climate and Society)

1) ปริมาณฝน

ข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนแบบกริด (gridded data) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494 ถึง 2558 จากหน่วยงาน NOAA NCEP CPC (Climate Prediction Center) ข้อมูลฝน PRECL: Global Land Precipitation: A 50-yr Monthly Gauge-Based Analysis เป็นชุดข้อมูลกริด โดยเลือกข้อมูลฝนเฉลี่ยราย 3 เดือน เช่น ช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน ตุลาคมถึงธันวาคม พฤศจิกายนถึงมกราคม ธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ และมกราคมถึงมีนาคม และกำหนดขอบเขตข้อมูลครอบคลุมบริเวณประเทศไทยในตำแหน่งละติจูดที่ 5 ถึง 21 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 97 ถึง 106 องศาตะวันออก ข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนรายสถานีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494 ถึง 2558 จากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ ที่มีค่าข้อมูลความครบถ้วนแต่ละสถานีไม่น้อยกว่า 95% ของข้อมูลทั้งหมด ซึ่งจะครอบคลุมช่วงฤดูมรสุมที่กำลังปกคลุมประเทศไทย ในช่วงฤดูมรสุมช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน ตุลาคมถึงธันวาคม พฤศจิกายนถึงมกราคม ธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ และ มกราคมถึงมีนาคม ข้อมูลรายสถานีทั้งหมดจะถูกพิจารณาค่า นัยสำคัญทางสถิติและแทนที่ค่าผิดพลาดจากการตรวจวัด (missing data) โดยวิธีการประมาณค่าที่เหมาะสม

(Optimized Interpolation) ด้วยการถ่วงน้ำหนักของระยะกำลังสองผกผัน (inverse square law) จากข้อมูลสถานี
แวดล้อมไม่น้อยกว่า 10 สถานี

2) อุณหภูมิผิวน้ำทะเล

ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเฉลี่ยช่วงเดือนสิงหาคม และเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494 ถึง
2558 จากหน่วยงาน NOAA NCDC (National Climate Data Center) ข้อมูล ERSSTv4b (Extended Reconstructed
Sea Surface Temperature Dataset, Version 4) เป็นชุดข้อมูลแบบกริด (gridded data) ความละเอียด 1.0×1.0 องศา
โดยเลือกข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณเขตร้อนขึ้น ตำแหน่งละติจูดที่ 30 องศาใต้ ถึง 30 องศาเหนือ และ ลอง
จิจูดที่ 0 ถึง 360 องศาตะวันออก

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

วิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัลได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัยอย่างกว้างขวาง โดยอาศัยสมการ
เชิงเส้นหลายตัวแปร เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างรูปลักษณะของตัวพยากรณ์และตัวถูกพยากรณ์
กระบวนการคำนวณแบ่งออกได้เป็น

1) การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปค่ามาตรฐาน (standardized anomaly: Z_x, Z_y) เพื่อลดความโน้มเอียงจาก
ตัวแปรที่ต่างกัน

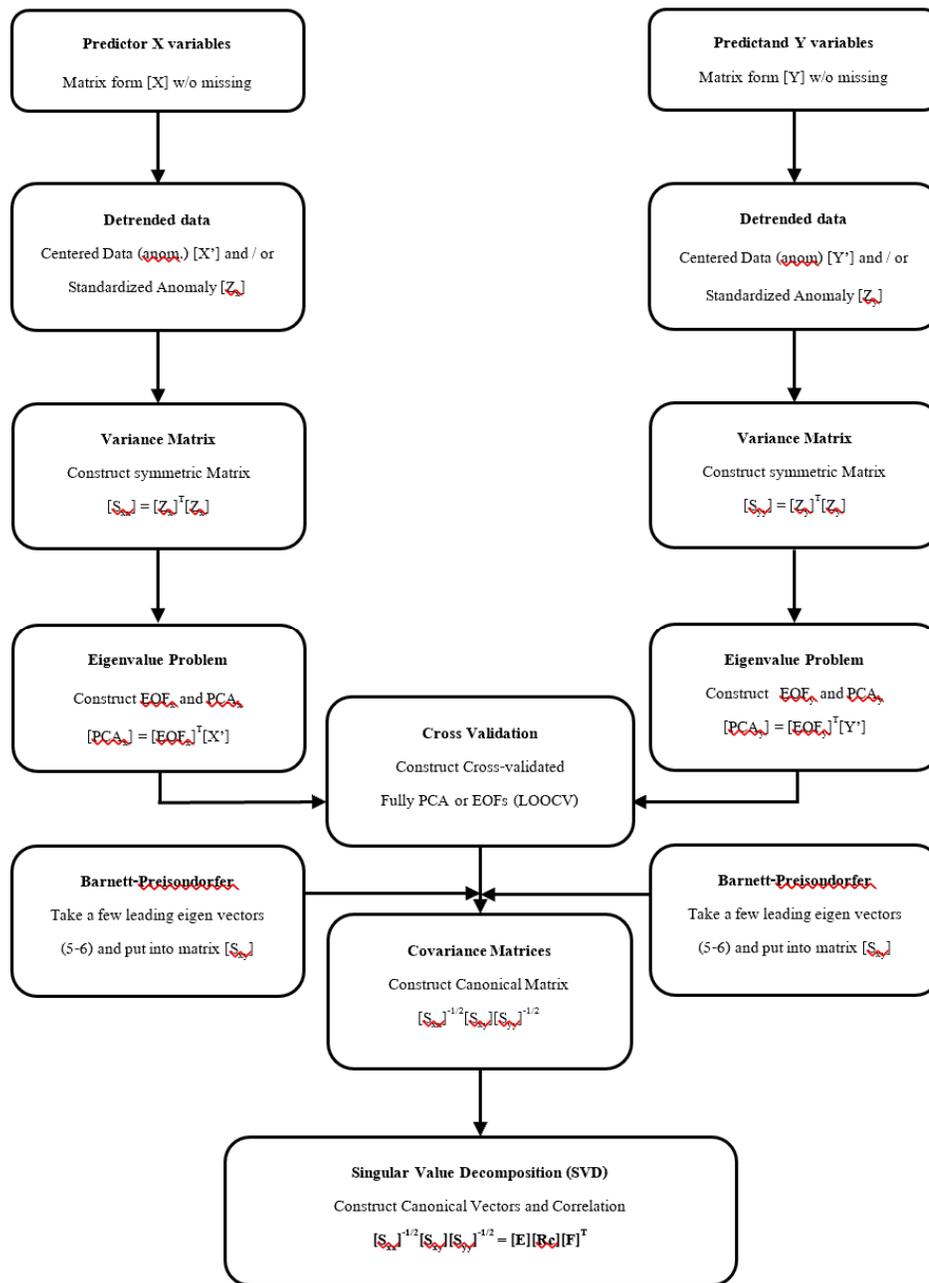
2) การเตรียมข้อมูลของทั้งสองตัวแปรในรูปเมตริกซ์ความแปรปรวน (variance matrix: S_x, S_y) เพื่อ
วิเคราะห์ฟังก์ชันออร์ธอกอนัล EOFs ที่มีความเป็นอิสระต่อกัน

3) สร้างรูปเมตริกซ์ความสัมพันธ์ (correlation matrix) ระหว่างฟังก์ชัน EOFs ของตัวแปรทั้งสอง (ตัวแปร
X เป็น predictor ในที่นี้คืออุณหภูมิผิวน้ำทะเล และ ตัวแปร Y เป็น predictand ในที่นี้คือ ปริมาณฝน) โดย
ประยุกต์ใช้วิธีการของ Barnett-Preisendorfer เพื่อลดมิติของเมตริกซ์ความสัมพันธ์ วิธีการดังกล่าวจะช่วยให้การ
หาคำตอบของระบบสมการผู้เข้าสู่คำตอบเร็วขึ้น และสามารถแก้ปัญหาการหาค่าเมตริกซ์ผกผันได้

4) ประยุกต์วิธีการแยกองค์ประกอบเวกเตอร์ (Singular Vector Decomposition) เพื่อคำนวณหาค่าเจาะจง
และเวกเตอร์เจาะจงสำหรับตัวแปรทั้งสอง

5) คำนวณค่าแอมพลิจูดของอนุกรมเวลา เรียกว่า องค์ประกอบคาโนนิกัล โดยคำนวณจากชุดของ
เวกเตอร์เจาะจงและชุดข้อมูลเริ่มต้นในรูปอนุกรมเวลา จากฟังก์ชันมูลฐานออร์ธอกอนัล

6) การประยุกต์วิธีการ cross-validation เพื่อประเมินความสามารถของการพยากรณ์ การทดสอบ
ความสามารถการพยากรณ์แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณมหาสมุทรอินเดียกับมหาสมุทรแปซิฟิก
ให้ผลการคำนวณที่ดีกว่าการใช้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณเขตร้อนทั้งหมด



รูปที่ 2 ขั้นตอนการประมวลผลของแบบจำลองเชิงสถิติด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัลสำหรับการพยากรณ์ภูมิอากาศระยะนาน 3 เดือน

3. ผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัล พบว่าจากตารางที่ 1 แสดงค่าสหสัมพันธ์คาโนนิกัล 5 อันดับแรก สำหรับบริเวณเขตร้อนชื้น ตำแหน่งละติจูดที่ 30 องศาใต้ ถึง 30 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 0 ถึง 360 องศาตะวันออก โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศทะเลในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมกับปริมาณฝนบริเวณประเทศไทยฤดูกาล ราย 3 เดือน ในเดือน ก.ย.-พ.ย. (SON) มีค่าสหสัมพันธ์คาโนนิกัลสูงสุด โดย CCA1 และ CCA2 มีค่า 0.60 และ 0.34 ตามลำดับ และตั้งแต่ CCA3 ถึง CCA5 มีค่าต่ำกว่า 0.30 เมื่อพิจารณาการคาดหมายราย 3 เดือน โดยเลื่อนระยะช่วงการพยากรณ์ออกไปครั้งละหนึ่งเดือน ได้แก่ เดือน ต.ค.-ธ.ค. (OND) เดือน พ.ย.-ม.ค. (NDJ) เดือน ธ.ค.-ก.พ. (DJF) และเดือน ม.ค. - มี.ค. (JFM) ค่าสหสัมพันธ์คาโนนิกัลมีแนวโน้มลดลงจากเดือน ก.ย.-พ.ย. ถึง เดือน ธ.ค.-ก.พ. ตามลำดับ ยกเว้นช่วงเดือน ม.ค.-มี.ค. กลับมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

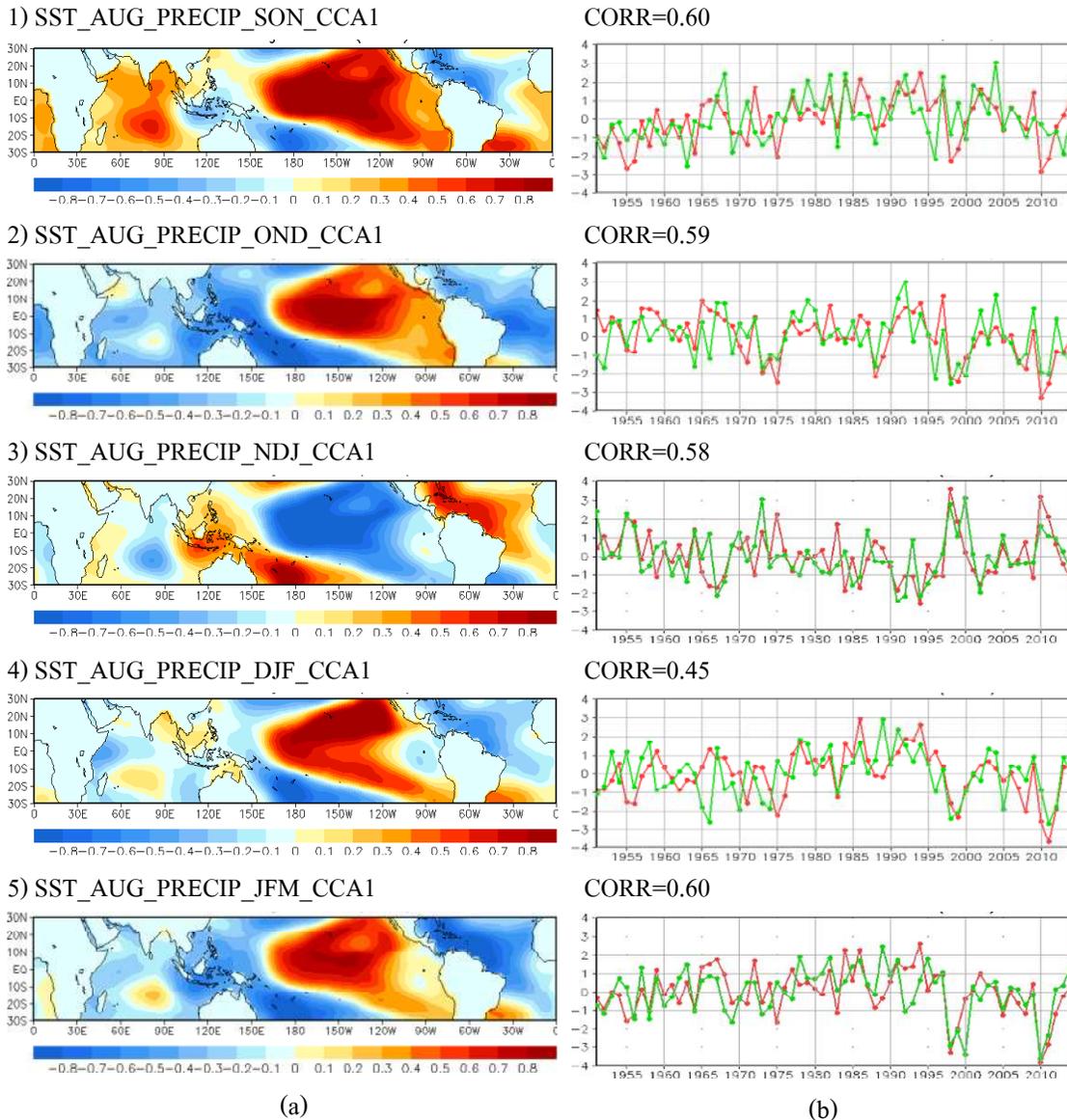
ตารางที่ 1 ค่าสหสัมพันธ์คาโนนิกัล 5 อันดับแรก สำหรับการบริเวณและช่วงเวลา ที่ 1

CCA th /Precipitation	SON	OND	NDJ	DJF	JFM
CCA1	0.604	0.591	0.582	0.452	0.600
CCA2	0.341	0.352	0.350	0.349	0.374
CCA3	0.284	0.138	0.249	0.240	0.267
CCA4	0.226	0.129	0.034	0.189	0.147
CCA5	0.127	0.043	0.012	0.030	0.099

* Tropical Pacific Ocean: 30N-30S; 0-360E

แผนที่ในรูปที่ 3(a) และ 4(a) แสดงลักษณะเชิงน้ำหนักรวมของสหสัมพันธ์คาโนนิกัล (เวกเตอร์เงา) ของ อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรเขตร้อนกับปริมาณฝนบริเวณประเทศไทย และค่าสหสัมพันธ์คาโนนิกัล ระหว่าง SST เดือนสิงหาคมกับปริมาณฝนบริเวณประเทศไทยในช่วงเดือน ก.ย.-พ.ย. เดือน ต.ค.-ธ.ค. เดือน พ.ย.-ม.ค. เดือน ม.ค.-มี.ค. ตามลำดับ ซึ่งรูปที่ 3(a) แสดงลักษณะหลักอันดับที่ 1 (CCA1) และรูปที่ 4(a) แสดง ลักษณะอันดับที่ 2 (CCA2) จากกราฟโทนิสแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ในทางเดียวกันและโทนิสน้ำเงินแสดงถึงค่า ความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้าม โดยที่กราฟอนุกรมเวลาแอมพลิจูดคาโนนิกัลในรูปที่ 3(b) แสดงให้เห็นความ แปรปรวนมีแนวโน้มคงที่ถึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัล ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรอินเดียและแปซิฟิกในช่วงเดือนสิงหาคมกับฝนบริเวณประเทศไทย ในช่วงเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายนมีค่าประมาณ +0.64 บริเวณแปซิฟิกตะวันตกถึงมหาสมุทรอินเดียตะวันออกมี ค่าเฉลี่ย +0.75 ทิศทางสอดคล้องกับปริมาณฝนบริเวณตอนล่างของประเทศ โดยเฉพาะภาคใต้ตอนล่างมี ค่าประมาณ +0.70 และในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝนบริเวณตอนบน ของประเทศ ทางภาคเหนือตอนบนมี ค่าประมาณ -0.20 ประกอบกับบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลางมีความสัมพันธ์ +0.80 เพิ่มสูงขึ้น ในช่วงเวลา

เดียวกัน แสดงในรูปที่ 4 (b) มีความสัมพันธ์ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตกถึงตอนกลางมีค่าประมาณ +0.6 ในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝนของประเทศเกือบทุกช่วง ยกเว้นช่วงเดือน ธ.ค.- ก.พ.และเดือน ม.ค.- มี.ค. มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ส่วนความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรอินเดียมีค่าประมาณ +0.4 ในทิศทางเดียวกับฝน

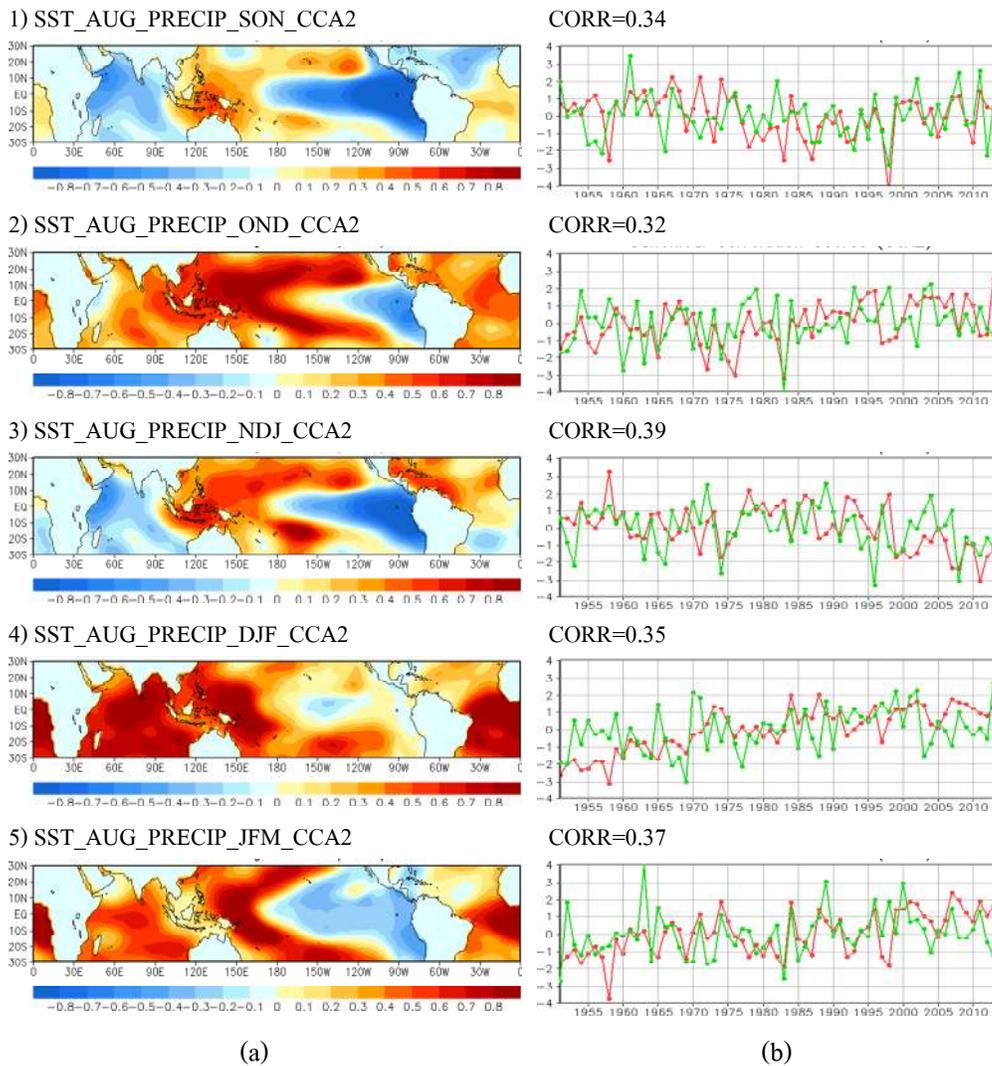


รูปที่ 3 (a) แผนที่ลักษณะเชิงน้ำหนักราคาโนนิคัลของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลช่วงเดือน มิ.ย.-ส.ค. อันดับที่ 1 CCA1

(b) กราฟอนุกรมเวลาแอมพลิจูดสหสัมพันธ์คาโนนิคัลช่วงเดือน มิ.ย.-ส.ค.อันดับที่ 1 CCA1

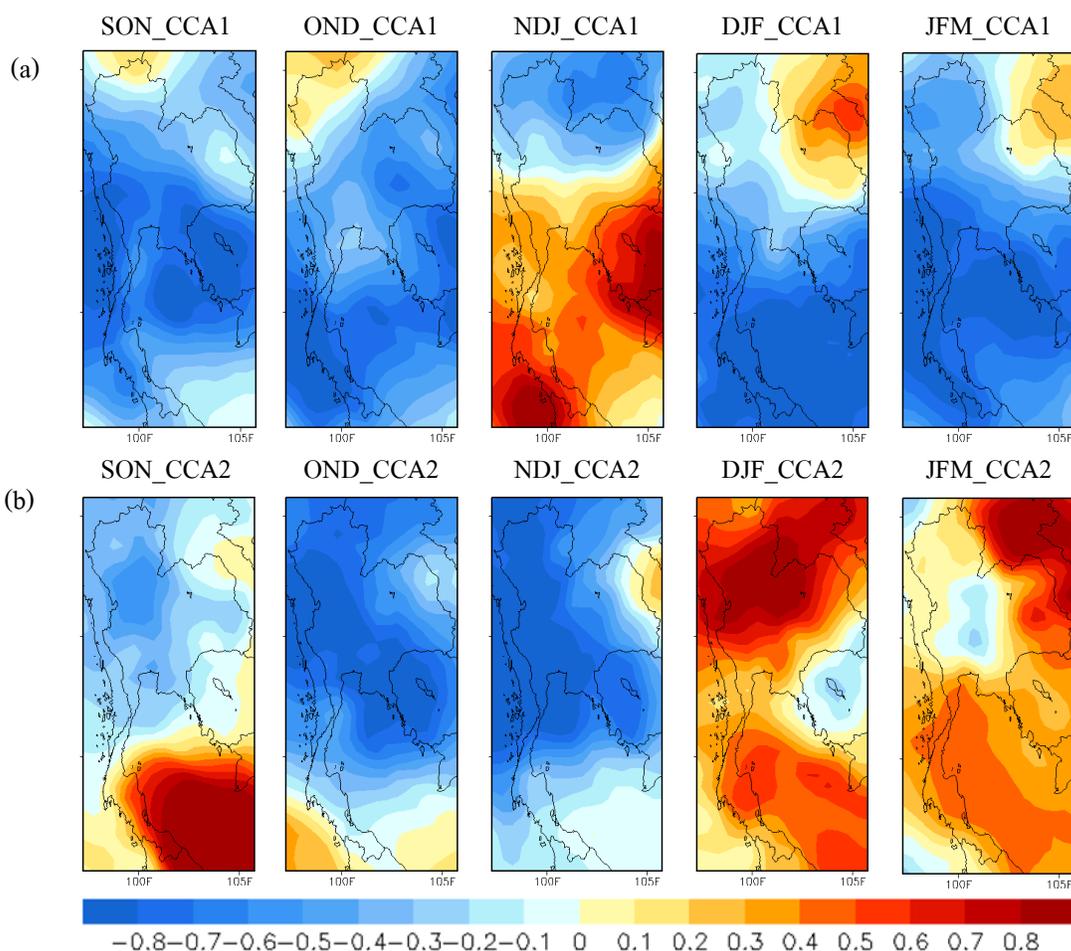
รูปที่ 3(b) และ 4(b) กราฟอนุกรมเวลาแอมพลิจูดคาโนนิคัลของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและฝนโดยกราฟสีเขียวแสดงอนุกรมเวลาของฝนและกราฟสีแดงแสดงอนุกรมเวลาของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล รูปที่ 3(b) ช่วงเดือน

ก.ย.-พ.ย. มีความสัมพันธ์ 60 เปอร์เซ็นต์โดยความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลางถึงฝั่งตะวันออก มีค่าประมาณ 0.80 ในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝนของประเทศที่มีค่าประมาณ -0.55 เกือบทุกช่วง ยกเว้นช่วงเดือน พ.ย.- ม.ค. โดยมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับตอนล่างของประเทศ ประกอบกับความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรอินเดียมีค่าประมาณ +0.40 ในทิศทางเดียวกับปริมาณฝนของประเทศ เมื่อพิจารณากราฟอนุกรมเวลาแอมพลิจูดคาโนนิกัลในรูปที่ 4(b) แสดงให้เห็นความแปรปรวนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 15 ปีที่ผ่านมา



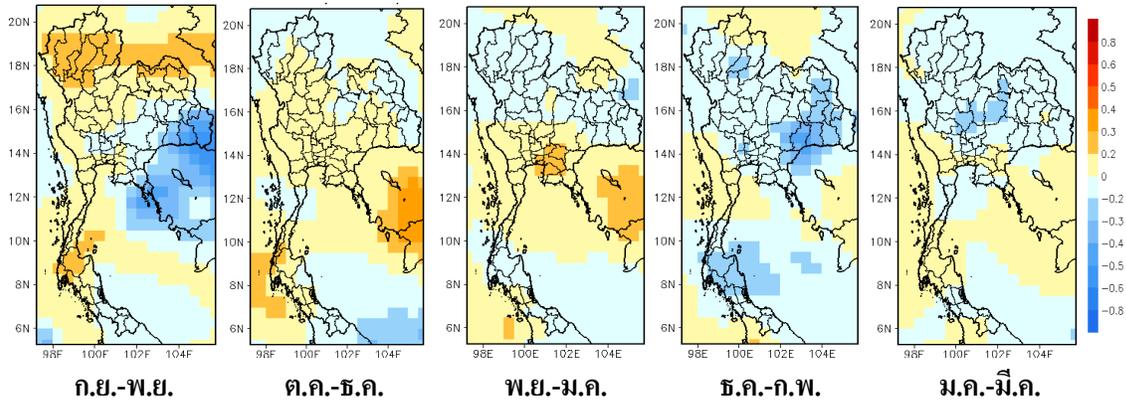
รูปที่ 4 (a) แผนที่ลักษณะเชิงน้ำหนักราคาโนนิกัลของปริมาณฝนบริเวณประเทศไทยในช่วงเดือน ก.ย.-พ.ย. เดือน ต.ค.-ธ.ค. เดือน พ.ย.-ม.ค. เดือน ธ.ค.-ก.พ. และ เดือน ม.ค.-มี.ค. อันดับที่ 2 (CCA2) และ (b) กราฟอนุกรมเวลาแอมพลิจูดสหสัมพันธ์คาโนนิกัลช่วงเดือน มิ.ย.-ส.ค. อันดับที่ 2 (CCA2)

โดยมหาสมุทรอินเดียตอนล่างมีบริเวณแคบลงอยู่ที่ค่าเฉลี่ย -0.20 ในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณฝนเกือบทั่วประเทศ ขณะที่กราฟอนุกรมเวลาคาโนนิกัลแสดงแนวโน้มความผันแปรของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับปริมาณฝนมีค่าลดลงในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา โดยการคาดหมายปริมาณฝนเดือน ก.ย.-พ.ย. สำหรับการปรับปรุงผลคำนวณ รูปที่ 4(a) มีค่าสูงสุดประมาณ $+0.20$ ถึง $+0.25$ ช่วงอีกทุกหนึ่งเดือน นั่นคือ ช่วงเดือน ต.ค.-ธ.ค. มีประมาณ 0.16 เดือน พ.ย.-ม.ค. ประมาณ 0.10 เดือน ธ.ค.-ก.พ. ประมาณ -0.20 และ เดือน ม.ค.-มี.ค. มีค่าประมาณ -0.10 โดยเมื่อพิจารณาเดือน ก.ย.-พ.ย. โดยเฉพาะทางภาคเหนือและบางส่วนของภาคใต้ฝั่งตะวันตก โดยทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือให้ผลต่ำที่สุด



รูปที่ 5 แผนที่ลักษณะเชิงนำหลักคาโนนิกัลของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลช่วงเดือน มิ.ย.-ส.ค. สหสัมพันธ์กับฝนบริเวณประเทศไทยในช่วงเดือน ก.ย.-พ.ย. เดือน ต.ค.-ธ.ค. เดือน พ.ย.-ม.ค. เดือน ธ.ค.-ก.พ. และ เดือน ม.ค.-มี.ค.

(a) อันดับที่ 1 CCA1 และ (b) อันดับที่ 2 CCA2



รูปที่ 6 แผนที่ความสามารถการพยากรณ์ปริมาณฝน (จากข้าวไปขวา) ในช่วงเดือน ก.ย.-พ.ย. เดือน ต.ค.-ธ.ค. เดือน พ.ย.-ม.ค. เดือน ธ.ค.-ก.พ. และ เดือน ม.ค.-มี.ค.

จากรูปที่ 5 แสดงถึงแผนที่ลักษณะเชิงน้ำหนักคาโนนิคัลของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลช่วงเดือน มิ.ย.-ส.ค. สหสัมพันธ์กับฝนบริเวณประเทศไทยในช่วงเดือน ก.ย.-พ.ย. เดือน ต.ค.-ธ.ค. เดือน พ.ย.-ม.ค. เดือน ธ.ค.-ก.พ. และ เดือน ม.ค.-มี.ค. รูปที่ 5(a) แสดงถึง CCA อันดับที่ 1 (CCA1) และรูปที่ 5(b) อันดับที่ 2 (CCA2) ทั้งสองลักษณะมีความเป็นอิสระเชิงเส้นต่อกัน โทนสีแดงแสดงถึงน้ำหนักคาโนนิคัลในทิศทางบวกและโทนสีน้ำเงินแสดงถึงน้ำหนักคาโนนิคัลในทิศทางลบ และจากรูปที่ 6 ความสามารถในการพยากรณ์มีค่าลดลง เมื่อการพยากรณ์ราย 3 เดือนเลื่อนออกไปความสามารถในการพยากรณ์ พบว่าเป้าหมายการพยากรณ์ราย 3 เดือนในช่วงเดือน ธ.ค.-ก.พ. มีค่าต่ำสุด โดยเงื่อนไขเชิงพลวัตสามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ที่พัดพาความชื้นจากมหาสมุทรอินเดียเข้าสู่ประเทศไทยมีกำลังอ่อนลงประกอบกับบริเวณความกดอากาศสูงจากเขตละติจูดตอนกลางบริเวณประเทศจีนมีกำลังแรงขึ้น เป็นผลทำให้เกิดแนวปะทะอากาศที่มีความผันผวนในช่วงเปลี่ยนฤดูกลางบริเวณประเทศไทย โดยเฉพาะประเทศไทยตอนบน (พิจารณาจากรูปที่ 6 เดือน ธ.ค.-ก.พ.) ส่งผลให้ความสามารถในการพยากรณ์ต่ำและมีค่าเป็นลบส่วนใหญ่ทางตอนบนของประเทศ และความสามารถการพยากรณ์กลับมีค่าสูงขึ้น เมื่อเลื่อนเป้าหมายการพยากรณ์ราย 3 เดือนมาช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม เนื่องจากอิทธิพลของความผันแปรของอากาศลดลงจากการเลื่อนเข้าสู่ฤดูหนาวเต็มช่วงฤดูกลาง จากการทดสอบด้วยเงื่อนไขพลวัตทางภูมิอากาศพบว่าความสามารถในการพยากรณ์เพิ่มขึ้น เมื่อเลือกอุณหภูมิผิวน้ำบริเวณมหาสมุทรอินเดีย ซึ่งมีอิทธิพลต่อลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ที่ปกคลุมประเทศไทย ประกอบกับอุณหภูมิผิวน้ำบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกที่เป็นปัจจัยของปรากฏการณ์เอนโซที่ส่งผลกระทบถึงปริมาณฝนบริเวณประเทศไทย

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการพัฒนาศักยภาพความสามารถในการพยากรณ์ภูมิอากาศระยะนาน 3 เดือน จากแบบจำลองเชิงสถิติการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัล (CCA) โดยเฉพาะการคาดหมายฝนรายฤดูกาลบริเวณประเทศไทย โดยขั้นตอนการประมวลผลของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น แสดงในรูปที่ 1 เมื่อความผันแปรทางภูมิอากาศของประเทศไทยส่วนหนึ่งมีอิทธิพลมาจากปรากฏการณ์เอนโซ่ เนื่องจากความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกและปรากฏการณ์คูวบในมหาสมุทรเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของปริมาณฝนในประเทศไทย ผลการคำนวณแสดงให้เห็นความผิดปกติที่ปกคลุมทั่วทั้งมหาสมุทรอินเดียและตอนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิกตลอดช่วงเวลา 65 ปีที่ผ่านมา การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัลได้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ร่วมระหว่างข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงเดือนสิงหาคม ตั้งแต่ปี 2494-2558 กับปริมาณฝนบริเวณประเทศไทยช่วงเดือนก.ย.-พ.ย. มีค่าประมาณ 0.6 การพัฒนาขีดความสามารถในการพยากรณ์ คำนวณให้สามารถคาดหมายออกไปล่วงหน้าจนถึงเดือนที่ 4 นั่นคือช่วงเดือน ต.ค.-ธ.ค. เดือน พ.ย.-ม.ค. เดือน ธ.ค.-ก.พ. และ เดือน ม.ค.-มี.ค. โดยความสามารถในการพยากรณ์มีค่าปรับปรุงสูงขึ้นจนกระทั่งมีระดับความสัมพันธ์ 0.3 ถึง 0.4 ทางภาคเหนือและภาคใต้บางส่วนในช่วงเดือน ก.ย.-พ.ย. และความสามารถในการพยากรณ์จะลดลงตามลำดับเมื่อฤดูกาลเป้าหมายเลื่อนไกลออกไป ซึ่งถือว่าเป็นลักษณะปกติของค่าความคาดเคลื่อนที่มีค่าสูงขึ้น ทำให้ความสามารถของการพยากรณ์ลดลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Goddard, et. al., "Current approaches to seasonal-to-interannual climate prediction," *Int. J. Climatol.*, Vol. 21, No. 1, 2001, pp. 1111–1152.
- [2] T.P. Barnett and R. Preisendorfer, "Origins and levels of monthly and seasonal forecast skill for United States air temperatures determined by canonical correlation analysis," *Monthly Weather Review*, Vol. 115, No. 9, 1987, pp. 1825 –1850.
- [3] H. Hotelling, "Relations between two sets of variants," *Biometrika*, Vol. 28, No. 3-4, 1936, pp. 321-377.
- [4] H.R. Glahn, "Canonical correlation and its relationship to discriminant analysis and multiple regression," *J. Atmos. Sci.*, Vol. 25, No. 1, 1968, pp. 23–31.
- [5] K.V. Mardia, J.T. Kent and J.M. Bibby, *Multivariate Analysis*, Academic Press, London, 1979.
- [6] C.S. Bretherton, C. Smith and J.M. Wallace, "An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data," *J. Climate*, Vol. 5, No. 6, 1992, pp. 541–560.
- [7] N.E. Graham, "Prediction of rainfall in northeast Brazil for MAM 1994 using an atmospheric GCM with persisted SST anomalies. Experimental Long – Lead Forecast Bulletin," Vol. 3, No. 1, 1994, pp. 8–10.

- [8] R.E. Livezey and T.M. Smith, "Covariability of aspects of North American climate with global sea surface temperatures on interannual to interdecadal timescales," *J. Climate*, Vol. 12, No. 1, 1999, pp.289–302.
- [9] A. Gershunov and D.R. Cayan, "Heavy daily precipitation frequency over the contiguous United States: sources of climatic variability and seasonal predictability," *J. Climate*, Vol. 16, No. 1, 2003, pp. 2752–2765.
- [10] J.H. Bowden and F.H.M. Semazzi, "Empirical analysis of intraseasonal climate variability over the Greater Horn of Africa," *J. Climate*, Vol. 20, No. 23, 2007, pp. 5715–5731.
- [11] N.E. Graham et.al., "An investigation of the El Niño-Southern Oscillation cycle with statistical models: 1. Predictor field characteristics," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 92, No. 1, 1987, pp. 14251-14270.
- [12] A.G. Barnston and C.F. Ropelewski, "Prediction of ENSO episodes using Canonical Correlation Analysis," *J. Climate*, Vol. 5, No. 11, 1992, pp. 1316–1345.
- [13] A.G. Barnston, "Linear statistical short-term climate predictive skill in the northern hemisphere," *J. Climate*, Vol. 7, No. 10, 1994, pp. 1513–1564.
- [14] W.A. Landman and S.J. Mason, "Forecasts of near-global sea surface temperatures using canonical correlation analysis," *J. Climate*, Vol. 14, No. 1, 2001, pp. 3819–3833.
- [15] D.S. Wilks, "Improved statistical seasonal forecasts using extended training data," *Int. J. Climatol*, Vol. 28, No. 1, 2008, pp. 1589–1598.
- [16] S.J. Mason and G.M. Mimmack, "Comparison of some statistical methods of probabilistic forecasting of ENSO," *J. Climate*, Vol. 15, No. 1, 2002, pp. 8–29.
- [17] J. Michaelsen, "Cross-Validation in Statistical Climate Forecast Models," *J. Climate and Applied Meteorology*, Vol. 26, No. 11, 1987, pp. 1589-1600.
- [18] P.L. Lai and C. Fyfe, "A neural implementation of canonical correlation analysis," *Neural Networks*, Vol. 12, No. 10, 1999, pp. 1391–1397.
- [19] W.W. Hsieh, "Nonlinear canonical correlation analysis by neural networks," *Neural Networks*, Vol. 13, No. 10, 2000, pp. 1095–1105.
- [20] W.W. Hsieh, "Nonlinear principal component analysis by neural networks," *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, Vol. 53, No. 5, 2001, pp.599–615.
- [21] N.N.A. Tukimat, S. Harun and M.Y.M. Tadza, "The potential of canonical correlation analysis in multivariable screening of climate model," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 365, No. 1, 2019, 012025.
- [22] A.G. Barnston, W. Thiao and V. Kumar, "Long-lead forecasts of seasonal precipitation in Africa using CCA," *Weather and Forecasting*, Vol. 11, No.1, 1996, pp. 506–520.