

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาระบบคาดการณ์ฝนเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา
Research and development of a rainfall forecasting system for water management in
the Chao Phraya River Basin

โดย

นางสาวกนกศรี ศรีนินภากร และคณะ
สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)

กันยายน พ.ศ. 2565



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การวิจัยและพัฒนาระบบคาดการณ์ฝนเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา
Research and development of a rainfall forecasting system for water management in
the Chao Phraya River Basin

ดร. กนกศรี ศรีนนภากร	หัวหน้าโครงการ	สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)
ดร. ชลัมภ์ อุ่นอารีย์	ผู้ร่วมโครงการ	กรมอุตุนิยมวิทยา
นายจรูญ เลาทเลิศชัย	ผู้ร่วมโครงการ	ข้าราชการบำนาญกรมอุตุนิยมวิทยา
ดร. ปิยธิดา เรืองรัมย์	ผู้ร่วมโครงการ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ดร. พีรพล เวทีกุล	ผู้ร่วมโครงการ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ดร. นครินทร์ สาทรัตน	ผู้ร่วมโครงการ	กรมโยธาธิการและผังเมือง
ดร. วินัย เชาว์วิวัฒน์	ผู้ร่วมโครงการ	สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)
ดร. กฤตชัย ต่อศรี	ผู้ร่วมโครงการ	สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)
นายนิธิวัชร สิ้นพัฒนัฐกุล	ผู้ร่วมโครงการ	สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)
ผู้ร่วมโครงการ	ทีมงานภูมิอากาศและสภาพอากาศ และงานวิทยาการข้อมูลน้ำ	สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)

ที่ปรึกษาโครงการ

Prof. Dr. Zhaohui Lin	Institute of Atmospheric Physics (IAP)
ดร. สุกัญญาณี ยะวิญชาญ	ผู้ตรวจราชการกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม
ดร. สุรเจตส์ บุญญาอรุณเนตร	สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)

แผนงานยุทธศาสตร์เป้าหมายด้านสังคม แผนการบริหารจัดการน้ำระยะที่ 2

บทสรุปผู้บริหาร

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการภายใต้แผนงานวิจัยกลุ่มที่ 3 การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มต้นทุนน้ำในเขื่อนของการวิจัยเชิงมุ่งเพื่อการขับเคลื่อนผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ ภายใต้โครงการแผนงานยุทธศาสตร์เป้าหมาย (Spearhead) ด้านสังคม แผนงานการบริหารจัดการน้ำ เพื่อตอบสนองต่อยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 และยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศ น้ำเป็นทรัพยากรที่หมุนเวียนได้ แต่ก็มีจำนวนจำกัด การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศส่งผลให้วัฏจักรน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง และกระทบต่อทรัพยากรน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยง ปริมาณน้ำฝนที่มีความแปรปรวนทำให้การบริหารจัดการน้ำเป็นเรื่องที่ยาก การคาดการณ์ฝนเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่ดีและการวางแผนในลุ่มน้ำจึงมีความสำคัญ การคาดการณ์ปริมาณฝนให้แม่นยำเป็นสิ่งจำเป็นมากในการรับมือกับความไม่แน่นอนของสภาพภูมิอากาศ โครงการนี้เป็นการต่อยอดจากโครงการพัฒนาระบบคาดการณ์ปริมาณฝนรายสองสัปดาห์เพื่อการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยในปีที่สองนี้มีวัตถุประสงค์คือ 1) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์ถึงหกเดือนล่วงหน้าด้วยการพัฒนานวัตกรรมการบูรณาการเทคโนโลยีการคาดการณ์ฝนต่าง ๆ อย่างเหมาะสม 2) เพื่อส่งเสริมความร่วมมือระหว่างนักวิจัยและหน่วยงานปฏิบัติเพื่อให้เกิดนวัตกรรมการคาดการณ์ฝนของประเทศไทย และ 3) เพื่อพัฒนาบุคลากรของประเทศด้านการคาดการณ์ฝน โดยการแลกเปลี่ยนประสบการณ์และองค์ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีและนวัตกรรมระหว่างนักวิจัยภายในประเทศและต่างประเทศ กิจกรรมหลักของโครงการระยะที่สองมีดังนี้

1) การพัฒนาระบบคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์โดยใช้แบบจำลองคู่ควบ WRF-ROMS ซึ่งเป็นการทำ dynamical downscaling กับข้อมูลคาดการณ์ฝนของ CFSv2 (Climate Forecast System) จาก National Centers for Environmental Prediction (NCEP) กิจกรรมนี้เป็นการดำเนินงานต่อยอดจากโครงการปีที่ 1 พบว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าวสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยามีผลความแม่นยำเป็นที่น่าพอใจ ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จริงและค่าพยากรณ์อยู่ที่ระดับ 0.60-0.70 สำหรับกรณีฝนตกหนักในช่วงพายุเชินกาและนกกเต็นเมื่อปี พ.ศ. 2554 ในปี 2 ของโครงการ ทีมวิจัยได้ติดตั้งระบบคาดการณ์ฝนที่พัฒนาขึ้น และใช้ปฏิบัติงานจริงที่สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) พร้อมทั้งให้บริการผลคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าแก่หน่วยงานต่าง ๆ นำไปใช้ประโยชน์ในการติดตามสถานการณ์น้ำเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำต่อไป

2) การศึกษาวิธีการคาดการณ์ฝนและการประเมินประสิทธิภาพของการคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้า ทั้งวิธีทางพลวัตที่ใช้หลักการและทฤษฎีทางฟิสิกส์ประกอบกับกระบวนการทางคณิตศาสตร์ วิธีการทางสถิติ และวิธีการทาง machine learning ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของหน่วยงานในประเทศ เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา และ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) และหน่วยงานต่างประเทศ เช่น European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), และแบบจำลองต่างๆ ในกลุ่มของ North American Multimodel Ensemble (NMME) สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้ ผลคาดการณ์จากหน่วยงานระหว่างประเทศที่เผยแพร่อยู่ เช่น ECMWF และ JAMSTEC อยู่ในรูปแบบแผนที่โลกซึ่งเป็นผลคาดการณ์ในลักษณะภาพกว้าง ๆ เท่านั้น สำหรับแบบจำลอง NMME มีจำนวน 8 แบบจำลอง แต่ละแบบจำลองให้ผลที่มีความแตกต่างกันค่อนข้างสูง ส่วนแบบจำลองของประเทศไทยที่ใช้ในปัจจุบัน ทั้งของกรมอุตุนิยมวิทยา สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) (สสน.) และฝน OneMap มีผลลัพธ์น่าพอใจ แต่ก็ยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้อีกด้วยการบูรณาการเพื่อให้สามารถบริหารจัดการน้ำแบบทางเลือกได้

3) การพัฒนาวิธีการคาดการณ์ฝนโดยใช้วิธี machine learning เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์ของวิธี SimIDX ของสสน. ด้วยการเพิ่มดัชนี ENSO Modoki Index (EMI) และปรับเทคนิคการหาปีคู่เหมือนโดยใช้วิธีการ Dynamic Time Warping (DTW) นอกจากนี้ยังเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์ฝนล่วงหน้า 3 เดือน ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิค deep learning ร่วมกับการเพิ่มปัจจัยในการคาดการณ์คือ ดัชนี Madden-Julian Oscillation (MJO) ดัชนีมรสุม Indian Summer Monsoon (ISM), และ Western North Pacific Summer Monsoon (WNPSM) ทำให้การคาดการณ์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

4) การพัฒนาวิธีการคาดการณ์แบบชุด (ensemble forecasting) ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการคาดการณ์แบบชุดเมื่อมีผลคาดการณ์จากแบบจำลอง NMME (8 แบบจำลอง) พร้อมทั้งผลการคาดการณ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา และ สสน. รวมทั้งหมด 10 แบบจำลอง เพื่อให้สามารถคาดการณ์ฝนเพิ่มเติมในลักษณะค่าต่ำและค่าสูงซึ่งจะช่วยให้บริหารจัดการน้ำแบบทางเลือกได้ ผลการศึกษารูปได้ว่า การใช้ผลคาดการณ์ทั้ง 10 แบบจำลองให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าการคาดการณ์แบบชุดเมื่อใช้ประโยชน์จากผลคาดการณ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา และสสน. เพียงสองแหล่ง คาดว่าอาจเนื่องจากแบบจำลอง NMME มีความแตกต่างกันมากพอสมควรและยังไม่มีมีการปรับความคลาดเคลื่อนให้เหมาะสมกับการคาดการณ์ฝนของประเทศไทย ดังนั้นการคาดการณ์แบบชุดที่เลือกใช้ จะใช้เฉพาะผลคาดการณ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา และ สสน. โดยภาพรวม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์



สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เช่นกรณีการคาดการณ์ฝนบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ปี 2564 ค่า RMSE ลดลงจากประมาณ 60 มม. เป็น 40 มม.

5) การพัฒนาระบบคาดการณ์เพื่อสนับสนุนผลการคาดการณ์ฝนให้กับทีมวิจัยกลุ่มอื่นนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในเรื่องการบริหารจัดการเขื่อน และการบริหารจัดการน้ำ

กล่าวโดยสรุป ผลลัพธ์จากการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้ชี้ว่าระบบคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์และคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าระบบปัจจุบันที่ใช้งานอยู่ อย่างไรก็ตาม การคาดการณ์ฝนให้มีความถูกต้องทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาและให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ยังเป็นสิ่งที่ต้องศึกษาเพราะสภาพภูมิอากาศไม่มีการหยุดเปลี่ยนแปลง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องยังมีมากมาย ดังนั้นจึงควรได้รับการสนับสนุนให้มีการวิจัยและพัฒนาต่อไปอย่างต่อเนื่องในอนาคต

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในความแปรปรวนของสภาพอากาศ และในระดับความรุนแรง ขอบเขตพื้นที่ ความถี่ ระยะเวลา และเวลาที่เกิดสภาพอากาศแบบต่าง ๆ สภาพอากาศที่มีความแปรปรวนสูงขึ้น ทำให้การคาดการณ์สภาพอากาศยุ่งยากขึ้น โดยเฉพาะการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนให้แม่นยำทำได้ค่อนข้างยาก ทั้งนี้การคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับการบริหารจัดการน้ำเพื่อรับมือกับความไม่แน่นอนของสภาพภูมิอากาศ โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการภายใต้โครงการแผนงานยุทธศาสตร์เป้าหมาย (Spearhead) ด้านสังคม แผนงานการบริหารจัดการน้ำ เพื่อตอบสนองต่อยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี เป็นโครงการต่อยอดในปีที่สอง โดยมีกิจกรรมหลัก คือ 1) การพัฒนาระบบคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์ด้วยแบบจำลองคู่ควบ WRF-ROMS 2) การศึกษาวิธีการคาดการณ์และการประเมินประสิทธิภาพของการคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบันทั้งหน่วยงานในประเทศ เช่น กรมอุตุนิยมวิทยา และ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) และ หน่วยงานต่างประเทศ ได้แก่ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) และ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ซึ่งมีแบบจำลองหลายชุดในกลุ่มของ North American Multimodel Ensemble (NMME) และ 3) การพัฒนานวัตกรรมการคาดการณ์ฝนรายเดือนด้วยเทคนิค machine learning และการคาดการณ์แบบชุด (ensemble forecasting)

ผลลัพธ์จากโครงการวิจัยสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้ 1) ได้พัฒนาระบบคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำในกลุ่มเจ้าพระยา โดยทำการประเมินผลการคาดการณ์เทียบกับค่าตรวจวัดจริงในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) สูงอยู่ในช่วง 0.7-0.9 2) ทำการศึกษาการคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าของกรมอุตุนิยมวิทยา สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.) และ แผนที่คาดการณ์ฝน OneMap ที่ใช้ในการประเมินสถานการณ์น้ำล่วงหน้าของสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (สทนช.) ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2561 ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 ซึ่งพบว่า แผนที่คาดการณ์ฝน OneMap ที่เป็นการบูรณาการผลคาดการณ์จาก กรมอุตุนิยมวิทยา และ สสน. ให้ผลที่น่าพอใจในแง่ของค่า root mean square error (RMSE) ที่ต่ำ ทั้งค่า r และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (PBIAS) ก็อยู่ในระดับที่ดีเกือบทุกกรณีที่ศึกษา 3) การพัฒนาวิธีการคาดการณ์ฝนด้วยวิธี deep learning ซึ่งเป็นเทคนิค machine learning แบบหนึ่ง และการใช้การคาดการณ์แบบชุด (ensemble forecasting) ทำให้ประสิทธิภาพของแผนที่คาดการณ์ฝน OneMap เพิ่มสูงขึ้น เช่นกรณีการคาดการณ์ฝนบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ปี 2564 ผลจากการใช้การคาดการณ์แบบชุดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแผนที่



สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

การคาดการณ์ฝน OneMap เดิม โดยที่ค่า RMSE ลดลงจากประมาณ 60 มม. เป็น 40 มม. นอกจากนี้ การคาดการณ์แบบชุดยังให้ผลคาดการณ์เพิ่มเติมในลักษณะค่าต่ำและค่าสูงช่วยให้สามารถบริหารจัดการน้ำแบบทางเลือกได้ 4) ได้สนับสนุนผลการคาดการณ์ฝนให้กับทีมวิจัยกลุ่มอื่นนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในเรื่องการบริหารจัดการเขื่อน และการบริหารจัดการน้ำ

คำสำคัญ การคาดการณ์ฝนล่วงหน้าสองสัปดาห์ การคาดการณ์ฝนรายฤดูกาล แผนที่บูรณาการคาดการณ์ฝน การบริหารจัดการน้ำ การคาดการณ์แบบชุด



Abstract

Climate change causes changes in climate variability and in the intensity, spatial extent, frequency, duration, and timing of weather events. More volatile weather conditions complicate weather forecasting. In particular, forecasting accurate rainfall is a rather difficult task. Precipitation forecasting is essential for water management to cope with climate uncertainty. This research project is a project under the Social Spearhead Strategic Plan for Water Management Program in response to the 20-year national strategy. It is the second year of extension project. The main activities are 1) Developing a biweekly rainfall forecast system using the WRF-ROMS coupled model; 2) Studying forecasting methods and evaluating the effectiveness of the monthly precipitation forecasts six months in advance that are currently in use in both domestic agencies such as the Meteorological Department and Hydro-Informatics Institute (Public Organizations) and foreign agencies, including European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), and National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), which have a series of models in the group of North American Multimodel Ensemble (NMME); and 3) Developing innovative monthly precipitation forecasts using machine learning techniques and ensemble forecasting.

The following key points summarize the results from this research project: 1) A biweekly rainfall forecast system to support water management in the Chao Phraya Basin was developed and evaluated. The forecasts were compared against the actual measurements for the period September 2021 to February 2022, and they showed a good agreement with high correlation coefficient (r) in the range of 0.7-0.9. 2) The monthly rainfall forecasts six months in advance from the Meteorological Department, Hydro-Informatics Institute (HII) and OneMap rain forecast map were investigated. *Office of the National Water Resources (ONWR) used the forecasts to assess the water situation in advance during September 2018 to August 2021.* It was found that the OneMap rain forecast map, which integrates forecasts from the Meteorological Department and HII, yielded satisfactory results in terms of achieving low root mean square error (RMSE). Both r and percent bias (PBIAS) were also good in most of the



สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

cases studied. 3) The development of a rain forecasting method using a deep learning method, which is a machine learning technique, and using ensemble forecasting helped increase the efficiency of OneMap rain forecast maps. For example, in the case of rain forecasts for the Upper Chao Phraya Basin area in 2021, the use of ensemble forecasting enhanced the performance of the original OneMap rain forecast map where the RMSE decreased from about 60 mm. to 40 mm. The ensemble forecasting also provided additional low and high forecasts, enabling alternative water management. 4) The rain forecast results have been provided to other research teams for further use in dam management and water management.

Keywords: Biweekly rainfall forecast, seasonal rainfall forecast, OneMap rain forecast map, water management, ensemble forecasting.



สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	ข
บทคัดย่อ	จ
Abstract	ช
สารบัญ	ฅ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ความเชื่อมโยงของกิจกรรมภายใต้โครงการ	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	6
2.1 การพยากรณ์สภาพอากาศและภูมิอากาศ	6
2.2 แบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical Model)	7
2.3 แบบจำลองเชิงสถิติ (Statistical Model)	27
2.4 วิธีการย่อยส่วนแบบสถิติ (Statistical Downscaling)	36
2.5 วิธีการย่อยส่วนแบบพลวัต (Dynamical Downscaling)	38
2.6 การพยากรณ์แบบชุด (Ensemble Forecasting)	39
2.7 การพยากรณ์ฝนรายเดือนและรายฤดูกาลในลุ่มน้ำเจ้าพระยา	45
บทที่ 3 ระบบคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์	53
3.1 การพัฒนาระบบคาดการณ์สภาพอากาศรายสองสัปดาห์ล่วงหน้าโดยใช้แบบจำลองคู่ควบ WRF-ROMS จากข้อมูล CFSv2	53
3.2 การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์บริเวณประเทศไทย	57
3.3 การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ สำหรับเหตุการณ์ฝนตกหนัก	62
	ฅ



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การศึกษาการคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน	73
4.1 การคาดหมายฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าของกรมอุตุนิยมวิทยา	73
4.2 การคาดการณ์ฝนของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน., HII)	75
4.3 การบูรณาการการคาดการณ์ฝนของ TMD และ HII เป็น OneMap	76
4.4 การประเมินผลการคาดการณ์ฝนหกเดือนล่วงหน้า สำหรับรายเดือนและรายสามเดือน	78
4.5 การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าจากแบบจำลอง NMME	87
บทที่ 5 การพัฒนาการคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้า	93
5.1 การพัฒนาการคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าด้วยวิธีการ bias correction กับ ข้อมูล CFSV2	93
5.2 การพัฒนาการคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าด้วยวิธี Machine Learning	96
5.3 การพัฒนาการคาดการณ์ฝนแบบซุ่ม (Ensemble Forecast)	107
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	116
6.1 สรุปผลการวิจัย	116
6.2 ข้อเสนอแนะ	118
เอกสารอ้างอิง	120
ภาคผนวก ก. สถานที่ทำการศึกษาวิจัย	137
ภาคผนวก ข รายงานการสัมมนา “ระบบการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศรายฤดูกาล SINTEX-F”	138
ภาคผนวก ค การคาดการณ์ฝนรายฤดูกาลของศูนย์พยากรณ์ JAMSTEC และ ECMWF ช่วงเดือน กันยายน 2564–มิถุนายน 2565	146
ภาคผนวก ง ผลงานวิจัยที่เผยแพร่	223

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 รายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์ที่ได้จาก GFS (NCEI, 2021A)	9
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์ที่ได้จาก IFS (ECMWF, 2021C)	15
ตารางที่ 2.3 รายละเอียดข้อมูลผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก CFS (NCEI, 2021B)	19
ตารางที่ 2.4 รายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์ที่ได้จาก CFS (NCEI, 2021B)	20
ตารางที่ 2.5 รายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์ที่ได้จาก UM (MET OFFICE, 2021B)	21
ตารางที่ 2.6 รายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์รายฤดูกาลและระยะยาว (MET OFFICE, 2021C)	22
ตารางที่ 2.7 รายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์ที่ได้จาก NWP MODEL ซึ่งเผยแพร่โดยกรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย	25
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของแบบจำลองต่าง ๆ ภายใต้โครงการ NATIONAL MULTI-MODEL ENSEMBLE (NMME)	74
ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (CORR) ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (PBIAS) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของปริมาณฝนคาดการณ์ล่วงหน้า 1 เดือน (T1) 2 เดือน (T2) 3 เดือน (T3) 4 เดือน (T4) 5 เดือน (T5) และ 6 เดือน (T6) จาก การคาดการณ์ 5 แบบ เทียบกับข้อมูลฝนตรวจวัดรายสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา	79
ตารางที่ 4.3 รายชื่อลุ่มน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่	81
ตารางที่ 4.4 ค่าสถิติของค่า CORRELATION COEFFICIENT และ ROOT MEAN SQUARE ERROR จากการคาดการณ์รายฤดูกาล ของสถานีทั้งหมด	91
ตารางที่ 5.1 ผลการประเมินผลการคาดการณ์ CFSV2 และ BC CFSV2 รายเดือน ตั้งแต่ปี 2561-2562 ด้วยวิธีการทางสถิติ	96
ตารางที่ 5.2 ผลการคำนวณค่า RMSE เฉลี่ย 3 ปี ช่วงปีพ.ศ. 2559 - 2561	102
ตารางที่ 5.3 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง	104
ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยใช้ MONSOON INDEX และ MJO	105
ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนภาพรวมโดยใช้ MJO, MONSOON INDICES และ/หรือดัชนีสมุทรศาสตร์เมื่อคาดการณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 3 เดือน	106
ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองของการสร้างแบบจำลอง ENSEMBLE ในการหาค่ากลาง	110
ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองของการสร้างแบบจำลอง ENSEMBLE ในการหาค่าสูงสุด-ต่ำสุด	111
ตารางที่ 5.8 การวัดผลการสร้างแผนที่ฝนของปี พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2564 ด้วยตัวชี้วัด RMSE	115



สารบัญญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนผังความเชื่อมโยงของกิจกรรมภายใต้โครงการ	3
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างผลการพยากรณ์ปริมาณฝนสะสมราย 3 ชั่วโมง (นิ้ว) ที่ได้จาก GFS (NCEP ประเทศสหรัฐอเมริกา) พยากรณ์ ณ วันที่ 16 ก.ค. 2564 ที่เวลา 00UTC โดยพยากรณ์ล่วงหน้า	10
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการประเมินประสิทธิภาพด้วยค่า BIAS ของ GFS เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด	11
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการประเมินประสิทธิภาพด้วยค่า RMSE ของ GFS เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด	11
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างผลการพยากรณ์ภูมิอากาศราย 12 ชั่วโมง ที่ได้จาก GEM (CMC ประเทศแคนาดา)	12
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการประเมินประสิทธิภาพด้วยค่า RMSE ของ GDPS เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด	13
รูปที่ 2.6 โครงสร้างการทำงานร่วมกันของแบบจำลองต่าง ๆ ภายใต้ IFS (ECMWF, 2021A)	15
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างผลการพยากรณ์ราย 12 ชั่วโมงที่ได้จาก IFS	17
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างผลการประเมินประสิทธิภาพของ IFS ด้วยดัชนีหลัก 2 ตัว	18
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างผลการพยากรณ์ปริมาณฝนราย 6 ชั่วโมง (มม.) ที่ได้จาก UM (MET OFFICE สหราชอาณาจักร) พยากรณ์ ณ วันที่ 2 ส.ค. 2564 ที่เวลา 12Z โดยพยากรณ์ล่วงหน้า 144 ชั่วโมง	23
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างผลการพยากรณ์อุณหภูมิพื้นผิว ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จาก WRF MODEL (กรมอุตุนิยมวิทยา)	24
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างผลการพยากรณ์อุณหภูมิพื้นผิว ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จาก NWP MODEL (กรมอุตุนิยมวิทยา)	25
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างผลการพยากรณ์ปริมาณฝนสะสม 24 ชั่วโมง (มม.)	26
รูปที่ 2.13 แสดงประสิทธิภาพการคาดการณ์สภาพอากาศตามคาบเวลาต่าง ๆ	27
รูปที่ 2.14 แผนภาพแสดงการไหลเวียนอากาศที่สัมพันธ์กับปรากฏการณ์ MJO	29
รูปที่ 2.15 ลักษณะปรากฏการณ์ EL NIÑO และ EL NIÑO MODOKI	30
รูปที่ 2.16 ลักษณะของปรากฏการณ์ EL NINO	31
รูปที่ 2.17 ลักษณะของปรากฏการณ์ LA NINA	31
รูปที่ 2.18 POSITIVE IOD	32
รูปที่ 2.19 NEGATIVE IOD	33
รูปที่ 3.1 ระบบคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์ WRF-ROMS-CFSV2	54

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.2 เว็บไซต์แสดงผลคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์ WRF-ROMS-CFSV2 (HTTPS://LIVE1.HII.OR.TH/PRODUCT/LATEST/FORECAST/RAINFALL/CPY/WRF ROMS_CFSV2_CPY.HTML)	54
รูปที่ 3.3 ผลคาดการณ์ฝนรายวันช่วงสองสัปดาห์จากระบบ WRF-ROMS-CFSV2 ที่สามารถดาวน์โหลดผ่านทางเว็บไซต์ได้	55
รูปที่ 3.4 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์บริเวณประเทศไทย	58
รูปที่ 3.5 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ บริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน	59
รูปที่ 3.6 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ บริเวณลุ่มน้ำวัง	60
รูปที่ 3.7 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ บริเวณลุ่มน้ำยม	61
รูปที่ 3.8 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ บริเวณลุ่มน้ำน่าน	62
รูปที่ 3.9 ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์บริเวณประเทศไทย ช่วงก่อนเกิดเหตุการณ์ (บนซ้าย), ช่วงเกิดเหตุการณ์ (บนขวา) พายุโซนร้อนเตี้ยนหมู่ และช่วงก่อนเกิดเหตุการณ์ (ล่างซ้าย), ช่วงเกิดเหตุการณ์ (ล่างขวา) หย่อมความกดอากาศต่ำ	63
รูปที่ 3.10 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อนเตี้ยนหมู่ บริเวณประเทศไทย ช่วง BEFORE EVENT (รูปบน) และ EVENT (รูปล่าง) ค่า ROOT MEAN SQUARE ERROR แสดงในรูปด้านซ้าย และ ค่า PERCENT BIAS แสดงในรูปด้านขวา	64
รูปที่ 3.11 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ช่วงเหตุการณ์หย่อมความกดอากาศต่ำ บริเวณประเทศไทย ช่วง BEFORE EVENT (รูปบน) และ EVENT (รูปล่าง) ค่า ROOT MEAN SQUARE ERROR แสดงในรูปด้านซ้าย และ ค่า PERCENT BIAS แสดงในรูปด้านขวา	65
รูปที่ 3.12 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อนเตี้ยนหมู่ บริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน ช่วง BEFORE EVENT (รูปบน) และ EVENT (รูปล่าง) ค่า ROOT MEAN SQUARE ERROR แสดงในรูปด้านซ้าย และ ค่า PERCENT BIAS แสดงในรูปด้านขวา	67

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อน เตี้ยนหมู่ บริเวณลุ่มน้ำวัง ช่วง BEFORE EVENT (รูปบน) และ EVENT (รูปล่าง) ค่า ROOT MEAN SQUARE ERROR แสดงในรูปด้านซ้าย และ ค่า PERCENT BIAS แสดงใน รูปด้านขวา	68
รูปที่ 3.14 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อน เตี้ยนหมู่ บริเวณลุ่มน้ำยม ช่วง BEFORE EVENT (รูปบน) และ EVENT (รูปล่าง) ค่า ROOT MEAN SQUARE ERROR แสดงในรูปด้านซ้าย และ ค่า PERCENT BIAS แสดงใน รูปด้านขวา	69
รูปที่ 3.15 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อน เตี้ยนหมู่ บริเวณลุ่มน้ำน่าน ช่วง BEFORE EVENT (รูปบน) และ EVENT (รูปล่าง) ค่า ROOT MEAN SQUARE ERROR แสดงในรูปด้านซ้าย และ ค่า PERCENT BIAS แสดงใน รูปด้านขวา	71
รูปที่ 4.1 โครงสร้างระบบการพยากรณ์ระยะนานที่ศูนย์ภูมิอากาศใช้ในปัจจุบันและส่วนที่กำลังวิจัย (กรอบสีฟ้า S2S PROJECT และ CLIMATE DRIVERS: ENSO, MJO, IOD และ MONSOON SYSTEM)	73
รูปที่ 4.2 แผนภาพดัชนีความเชื่อมโยงระยะไกล (TELECONNECTION) ที่ใช้ในแบบจำลอง คาดการณ์ฝนของ สสน.	75
รูปที่ 4.3 การจัดกลุ่มด้วยวิธี HIERARCHICAL CLUSTERING ของปีที่ดัชนี ONI, PDO, DMI 12 เดือนก่อนหน้ามีค่าใกล้เคียงกัน (รูปบน) และกราฟแสดงรูปแบบดัชนีทั้งสามของปี พ.ศ. 2551 เทียบเคียงกับปี พ.ศ. 2564 ที่มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด (รูปล่าง)	76
รูปที่ 4.4 แผนที่ฝน ONEMAP แสดงปริมาณฝนคาดการณ์รายเดือนหกเดือนล่วงหน้า	77
รูปที่ 4.5 แผนที่ขอบเขตลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่	80
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยสามเดือนแรกรายลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน	82
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยสามเดือนแรกรายลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง	83
รูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นผลการคาดการณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือนหลัง บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยา ตอนบนจากวิธีการคาดการณ์แบบต่าง ๆ เปรียบเทียบกับปริมาณฝนจริงจากการตรวจวัด	84
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือนหลังรายลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน	85
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือนหลังรายลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง	86

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11 ผลการคาดการณ์จากแบบจำลองในกลุ่ม NMME ระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565 ที่มา: กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา HTTP://119.46.126.98/CLIMATE_CENTRE/NMME_MODELS/PRECIP_MONTHLY.HTML)	87
รูปที่ 4.12 ค่า CORRELATION COEFFICIENT เชิงพื้นที่ สำหรับแต่ละ INITIAL TIME	88
รูปที่ 4.13 ค่า ROOT MEAN SQUARE ERROR เชิงพื้นที่ สำหรับแต่ละ INITIAL TIME	89
รูปที่ 4.14 ค่า CORRELATION COEFFICIENT เชิงเวลา รายสถานี เฉลี่ยทุก INITIAL TIME	90
รูปที่ 4.15 ค่า ROOT MEAN SQUARE ERROR เชิงเวลา รายสถานี เฉลี่ยทุก INITIAL TIME	90
รูปที่ 4.16 การประเมินผลการคาดการณ์เฉลี่ยทุกสถานี สำหรับแต่ละ INITIAL TIME	91
รูปที่ 5.1 การประเมินผลการคาดการณ์ CFSV2 และ BC CFSV2 กับค่าตรวจวัดรายเดือน ปี 2561 : ม.ค. ถึง มิ.ย.	94
รูปที่ 5.2 การประเมินผลการคาดการณ์ CFSV2 และ BC CFSV2 กับค่าตรวจวัดรายเดือน ปี 2561 : ก.ค. ถึง ธ.ค.	94
รูปที่ 5.3 การประเมินผลการคาดการณ์ CFSV2 และ BC CFSV2 กับค่าตรวจวัดรายเดือน ปี 2562 : ม.ค. ถึง มิ.ย.	95
รูปที่ 5.4 การประเมินผลการคาดการณ์ CFSV2 และ BC CFSV2 กับค่าตรวจวัดรายเดือน ปี 2562 : ก.ค. ถึง ธ.ค.	95
รูปที่ 5.5 แผนภาพบริเวณ NINO 3.4	97
รูปที่ 5.6 บริเวณที่ใช้คำนวณดัชนี INDIAN OCEAN DIPOLE	97
รูปที่ 5.7 ภาพแสดงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือที่ส่งผลต่อดัชนี PDO	98
รูปที่ 5.8 แผนที่บริเวณที่ใช้คำนวณดัชนี EMI	99
รูปที่ 5.9 ตัวอย่างกราฟแสดงข้อมูล MJO รายวัน	100
รูปที่ 5.10 บริเวณที่ใช้ลมในการคำนวณ MONSOON INDICES	100
รูปที่ 5.11 ขั้นตอนการคาดการณ์ฝนด้วยวิธี SIMIDX V2	103
รูปที่ 5.12 โครงสร้างของแบบจำลองคาดการณ์ปริมาณน้ำฝน	103
รูปที่ 5.13 โครงสร้างของแบบจำลองสำหรับทำนายปริมาณน้ำฝนภาพรวมโดยใช้ดัชนี MJO MONSOON INDICES และดัชนีสมุทรศาสตร์ ในขั้นตอนที่ 3 ของวิธี SIMIDX V2	104
รูปที่ 5.14 โครงสร้างของแบบจำลองทำนายปริมาณน้ำฝนเชิงสถานีของวิธีการ SIMIDX V2	105
รูปที่ 5.15 โครงสร้างของแบบจำลอง ENSEMBLE ที่รวมผลการคาดการณ์จากแบบจำลองต่าง ๆ 108	



สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.16 ขั้นตอนการหาค่าสูงสุด-ต่ำสุดโดยใช้แบบจำลอง DEEP LEARNING	109
รูปที่ 5.17 การวัดผลการสร้างแผนที่ฝนจากแบบจำลอง ENSEMBLE เชิงลุ่มน้ำของกลุ่มลุ่มน้ำปิง	112
รูปที่ 5.18 การวัดผลการสร้างแผนที่ฝนจากแบบจำลอง ENSEMBLE เชิงลุ่มน้ำของกลุ่มลุ่มน้ำวัง	113
รูปที่ 5.19 การวัดผลการสร้างแผนที่ฝนจากแบบจำลอง ENSEMBLE เชิงลุ่มน้ำของกลุ่มลุ่มน้ำยม	114
รูปที่ 5.20 การวัดผลการสร้างแผนที่ฝนจากแบบจำลอง ENSEMBLE เชิงลุ่มน้ำของกลุ่มลุ่มน้ำน่าน	115

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการภายใต้แผนงานวิจัยกลุ่มที่ 3 การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มต้นทุนน้ำในเขื่อนของการวิจัยเข้มมุ่งเพื่อการขับเคลื่อนผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ ภายใต้โครงการแผนงานยุทธศาสตร์เป้าหมาย (Spearhead) ด้านสังคม แผนงานการบริหารจัดการน้ำ เพื่อตอบสนองต่อยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 และยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศ น้ำเป็นสิ่งที่หมุนเวียนได้แต่ก็มีปริมาณจำกัด การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศส่งผลให้วัฏจักรน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง และกระทบต่อทรัพยากรน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยง ปริมาณน้ำฝนที่มีความแปรปรวนทำให้การบริหารจัดการน้ำเป็นเรื่องที่ยาก การคาดการณ์ฝนเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่ดีและการวางแผนในลุ่มน้ำจึงมีความสำคัญมาก โครงการนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนานวัตกรรมการคาดการณ์ฝนที่ให้ข้อมูลฝนคาดการณ์ที่แม่นยำ และส่งเสริมให้มีการแลกเปลี่ยนความรู้กันระหว่างหน่วยงานปฏิบัติ นักวิจัยและนักวิชาการจากมหาวิทยาลัยทั้งในและต่างประเทศ โดยเป็นโครงการที่ต่อยอดมาจากโครงการพัฒนาระบบคาดการณ์ปริมาณฝนรายสองสัปดาห์เพื่อการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ที่ได้รับสนับสนุนทุนวิจัยในปีที่ 1 จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การบริหารจัดการน้ำในปัจจุบันจึงมีความยุ่งยากซับซ้อนเพิ่มขึ้นด้วย การเตรียมความพร้อมเพื่อการปรับตัวและรับมือกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นสิ่งที่ท้าทายอย่างมาก ปัจจัยแรกที่สำคัญที่เป็นเครื่องมือเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำคือปริมาณฝนคาดการณ์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ต้องมีความถูกต้องแม่นยำและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการน้ำได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นจึงเป็นความจำเป็นเร่งด่วนที่จะต้องดำเนินการศึกษาและพัฒนาระบบการคาดการณ์ปริมาณฝนให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนระดับนโยบายและระดับปฏิบัติงานเพื่อการบริหารจัดการน้ำโดยรวมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายและความสูญเสียลงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์จนถึงหกเดือนล่วงหน้าจัดว่าสำคัญ เพราะเป็นช่วงเวลานานพอที่จะปรับเปลี่ยนแผนและเตรียมรับมือกับความไม่แน่นอนของสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปได้ เป็นต้นว่า มีการดำเนินการบริหารจัดการเขื่อนให้สอดคล้องกับสถานการณ์

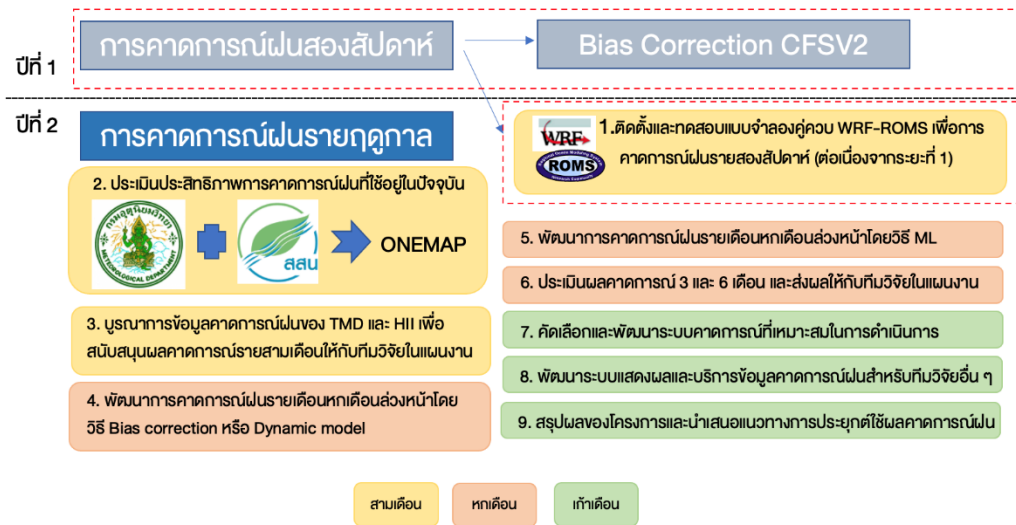
เทคโนโลยีการคาดการณ์ปริมาณฝนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดตามเทคนิคและวิธีการในการพัฒนา เช่น การคาดการณ์ฝนด้วยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ที่ได้รับการพัฒนาโดยอาศัยทฤษฎีทางฟิสิกส์และพลวัตเป็นพื้นฐาน จะเกิดความผิดพลาดได้จาก 1) การที่มนุษย์เรายังขาดความเข้าใจกระบวนการการเกิดฝนอย่างครบถ้วนสมบูรณ์ 2) ข้อมูลนำเข้าเริ่มต้นของแบบจำลองสะท้อนสภาพอากาศปัจจุบันยังไม่ดีพอ และ 3) มีปัจจัยเกี่ยวข้องอีกหลายอย่างที่ยังไม่สามารถนำมาใช้สร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในแบบจำลองได้ นอกจากนี้ข้อจำกัดอีกประการคือ แบบจำลองประเภทนี้จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรของระบบคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงในการประมวลผล เทคนิคในการคาดการณ์ฝนอีกประเภทหนึ่งคือการคาดการณ์โดยการศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติของข้อมูลในอดีต อย่างไรก็ตาม การใช้วิธีการทางสถิติ มักมีการกำหนดข้อสมมุติบางประการเกี่ยวกับข้อมูล ซึ่งมีปัญหาว่า ข้อสมมุติดังกล่าวอาจไม่ตรงกับความเป็นจริง ส่งผลให้การคาดการณ์มีความคลาดเคลื่อน แนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการคาดการณ์ฝนให้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นควรเป็นการบูรณาการเทคนิคต่าง ๆ กล่าวคือ เป็นการผสมผสานผลจากแบบจำลองเชิงตัวเลข แบบจำลองทางสถิติ และวิธีการทาง machine learning มาประกอบกันดังที่จะดำเนินการในโครงการนี้ ซึ่งแนวทางนี้ช่วยลดข้อจำกัดของแต่ละวิธีได้ และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์ฝน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์ถึงหกเดือนล่วงหน้าด้วยการพัฒนานวัตกรรมการบูรณาการเทคโนโลยีการคาดการณ์ฝนต่าง ๆ อย่างเหมาะสม
- 2) เพื่อส่งเสริมความร่วมมือระหว่างนักวิจัยและหน่วยงานปฏิบัติเพื่อให้เกิดนวัตกรรมการคาดการณ์ฝนของประเทศไทย
- 3) เพื่อพัฒนาบุคลากรของประเทศด้านการคาดการณ์ฝนโดยการแลกเปลี่ยนประสบการณ์และองค์ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีและนวัตกรรมระหว่างนักวิจัยภายในประเทศและต่างประเทศ

1.3 ความเชื่อมโยงของกิจกรรมภายใต้โครงการ

กิจกรรมแบ่งเป็นสามส่วน ตามงวดงานที่จะรายงานความก้าวหน้าทุกสามเดือน



รูปที่ 1.1 แผนผังความเชื่อมโยงของกิจกรรมภายใต้โครงการ

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1) ทบทวนผลการคาดการณ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทั้งของกรมอุตุนิยมวิทยา และสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.) เพื่อให้ผลการคาดการณ์เชิงพื้นที่และเชิงเวลาดีขึ้น งานวิจัยนี้จะพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ฝนรายฤดูกาลแต่ยังไม่ได้นำมาใช้กับแบบจำลองคาดการณ์ในปัจจุบันด้วย เช่น MJO และดัชนีมรสุมต่าง ๆ

2) ปรับปรุงและพัฒนาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์ด้วยการบูรณาการผลการคาดการณ์จากวิธีการต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับการปฏิบัติงานจริง (ได้แก่ วิธีการทางสถิติ และ/หรือ machine learning เช่น canonical correlation analysis (CCA), clustering, k-nearest neighbors (KNN), deep learning และอื่น ๆ เป็นต้น) โดย Input ที่ใช้จะเป็นผลลัพธ์จากแบบจำลอง dynamics ต่าง ๆ ที่ทางกรมอุตุนิยมวิทยาสามารถจัดหาให้ ตลอดจนมีการพัฒนาปรับปรุงการคาดการณ์รายสองสัปดาห์ที่ใช้แบบจำลองคู่ควบ (dynamic) จากงานในระยะที่ 1 ในการปฏิบัติงานจริงด้วย

3) กรมอุตุนิยมวิทยาสนับสนุนข้อมูลจากแบบจำลองต่าง ๆ ที่กรมอุตุนิยมวิทยาใช้ รวมทั้งร่วมพัฒนาวิธีการและประเมินผลการคาดการณ์รายเดือน และรายฤดูกาล โดยจะมีผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศให้คำแนะนำเกี่ยวกับการปรับค่าพารามิเตอร์ แบบจำลอง dynamic และวิธีการทางสถิติ

- 4) พัฒนาการบริการข้อมูลผลการคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์ถึงหกเดือนล่วงหน้าเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำด้านต่าง ๆ
- 5) ศึกษาแนวทางในการทำนายสภาพอากาศรายฤดูกาลจากแหล่งข้อมูลสภาพอากาศที่คาดการณ์ล่วงหน้าของต่างประเทศเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการคาดการณ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้
- 6) พัฒนารฐานข้อมูลผลการคาดการณ์ฝนล่วงหน้ารายสองสัปดาห์ถึงรายฤดูกาล (14 วันถึง 6 เดือน) ที่เชื่อมโยงข้อมูลกับโครงการวิจัยอื่นในแผนงานวิจัยที่ 3 และให้บริการข้อมูลผลการคาดการณ์ฝน ที่สามารถใช้งานได้ทั้งในระดับงานวิจัยและผู้สนใจทั่วไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลผลิต

- ระบบคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนรายสองสัปดาห์เพื่อการบริหารจัดการน้ำสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา
- ระบบคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าเพื่อการบริหารจัดการน้ำสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ผลลัพธ์

- มีข้อมูลคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์และรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ผลกระทบ

- พัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการคาดการณ์ฝนเพื่อการบริหารจัดการน้ำ
- พัฒนาองค์ความรู้และส่งเสริมให้เกิดความร่วมมือระหว่างบุคลากรในหน่วยงานปฏิบัติ และนักวิจัยทั้งภายในและต่างประเทศ

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 การพยากรณ์สภาพอากาศและภูมิอากาศ

การพยากรณ์หรือการคาดการณ์ภูมิอากาศในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบตามขนาดพื้นที่ที่ครอบคลุมในการคาดการณ์ ได้แก่ การคาดการณ์ภูมิอากาศโลก (global weather forecast) ซึ่งคาดการณ์ภูมิอากาศโดยครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดทั่วโลก และการคาดการณ์ภูมิอากาศท้องถิ่น (local weather forecast) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่จำกัดแบบเฉพาะเจาะจง เช่น ทวีป ประเทศ ภูมิภาค เป็นต้น การคาดการณ์ภูมิอากาศโลกและท้องถิ่นสามารถแสดงผลเป็นตารางพื้นที่ (grid) ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) ในหลายระดับตั้งแต่ 1 กิโลเมตรถึง 100 กิโลเมตร และสามารถพยากรณ์หรือคาดการณ์ภูมิอากาศในหลายช่วงระยะเวลา เช่น การพยากรณ์ระยะสั้น (แบบรายชั่วโมงและรายวัน) การพยากรณ์ระยะกลาง (แบบรายสัปดาห์) และการคาดการณ์ระยะยาว (แบบรายเดือน รายฤดูกาล และรายปี) โดยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการนำผลการพยากรณ์หรือการคาดการณ์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ นอกจากนี้ การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองหรือวิธีในการคาดการณ์ภูมิอากาศยังมุ่งเน้นในเรื่องระยะเวลาล่วงหน้าของการคาดการณ์ เพื่อให้สามารถเตรียมการหรือวางแผนในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำได้ล่วงหน้าก่อนฤดูมรสุมหรือก่อนเกิดภัยพิบัติ (disaster) ทำให้สามารถลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากภัยพิบัติต่าง ๆ หรือผลกระทบจากความแปรปรวน (variability) และความผิดปกติ (anomaly) ของภูมิอากาศ เช่น ปรากฏการณ์ El Niño/La Niña และสภาวะโลกร้อน (global warming) แต่ประสิทธิภาพของการคาดการณ์ล่วงหน้าขึ้นอยู่กับระยะเวลาล่วงหน้าของการคาดการณ์ โดยทั่วไปการคาดการณ์ภูมิอากาศที่ระยะเวลาล่วงหน้าสั้น (ระยะเวลาล่วงหน้าไม่เกิน 3 วัน) จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการคาดการณ์ที่ระยะเวลาล่วงหน้าปานกลาง (ระยะเวลาล่วงหน้าไม่เกิน 10 วัน) และการคาดการณ์ล่วงหน้าแบบระยะยาว (ระยะเวลาล่วงหน้ามากกว่า 10 วัน)

แบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ภูมิอากาศ

การศึกษาวิจัยเพื่อทำความเข้าใจสภาพภูมิอากาศและสามารถพยากรณ์อากาศ ตลอดจนนำผลการพยากรณ์ไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรแหล่งน้ำนั้น ต้องอาศัยการพัฒนาแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องแม่นยำน่าเชื่อถือ ซึ่งแบ่งเป็นแบบจำลองเชิงตัวเลข (numerical model) และแบบจำลองเชิงสถิติ (statistical model)

2.2 แบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical Model)

แบบจำลองเชิงตัวเลขอาศัยการจำลองระบบภูมิอากาศ (climate system) ที่อธิบายด้วยหลักการหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา โดยประยุกต์ใช้สมการคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลก เช่น สมการความต่อเนื่อง (continuity equation) สมการอุทกสถิต (hydrostatic equation) สมการอุทกพลศาสตร์ (hydrodynamic equation) เป็นต้น วัฏจักรตามธรรมชาติอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสาเหตุตามธรรมชาติหรือสาเหตุจากการกระทำของมนุษย์ ทั้งนี้แบบจำลองเชิงตัวเลขอย่างง่าย (simplified numerical model) เป็นแบบจำลองที่อธิบายกระบวนการพลวัตตามธรรมชาติด้วยทฤษฎีสมดุลด้านพลังงาน (energy balance model: EBM) ผลที่ได้จากแบบจำลองเป็นค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยอาจเป็นค่าเฉลี่ยของทั้งโลก และเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงระยะเวลายาวนาน ด้วยเหตุที่เป็นแบบจำลองอย่างง่าย จึงไม่สามารถสะท้อนหรืออธิบายด้วยตัวแปรทั้งหมดที่มีอิทธิพลต่อระบบภูมิอากาศ แต่อย่างน้อยแบบจำลองเชิงตัวเลขอย่างง่ายก็สามารถอธิบายกระบวนการทางฟิสิกส์ที่สัมพันธ์กันของชั้นบรรยากาศ (atmosphere) อุทกภาค (hydrosphere) และหิมะภาค (cryosphere) ซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของระบบภูมิอากาศได้ แบบจำลองเชิงตัวเลขที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากเป็นแบบจำลองที่สามารถจำลองกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติได้อย่างถูกต้องและละเอียดมากขึ้นทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองเชิงตัวเลขอย่างง่าย เนื่องจากแบบจำลองเชิงตัวเลขที่ซับซ้อนพัฒนาขึ้นโดยใช้ตัวแปรหลายตัวที่มีอิทธิพลต่อระบบภูมิอากาศ ซึ่งสามารถแสดงถึงความสัมพันธ์กันระหว่างการหมุนเวียนในชั้นบรรยากาศ (atmospheric circulation) และการหมุนเวียนในมหาสมุทร (oceanic circulation) แบบจำลองเชิงตัวเลขที่ซับซ้อนโดยทั่วไปเรียกว่า general circulation model (GCM) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ atmospheric general circulation model (AGCM) และ oceanic general circulation model (OGCM) นอกจากนี้แบบจำลองเชิงตัวเลขที่ซับซ้อนแบ่งเป็น 2 แบบตามขนาดพื้นที่ในการวิเคราะห์ของแบบจำลอง คือ แบบจำลองที่ครอบคลุมพื้นที่โลก (global model) และแบบจำลองที่ครอบคลุมเฉพาะภูมิภาค (regional model)

แบบจำลองที่ครอบคลุมพื้นที่โลก

หน่วยงานที่ศึกษาวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศหลายหน่วยงาน ได้พัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ในการพยากรณ์ภูมิอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่โลก ระบบภูมิอากาศ (climate system) มีองค์ประกอบที่สัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่องเป็นวัฏจักร ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบใด ๆ ในระบบภูมิอากาศ ย่อมส่งผลให้เกิดความแปรปรวนหรือการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบอื่น ๆ และท้ายที่สุดย่อมส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศทั่ว

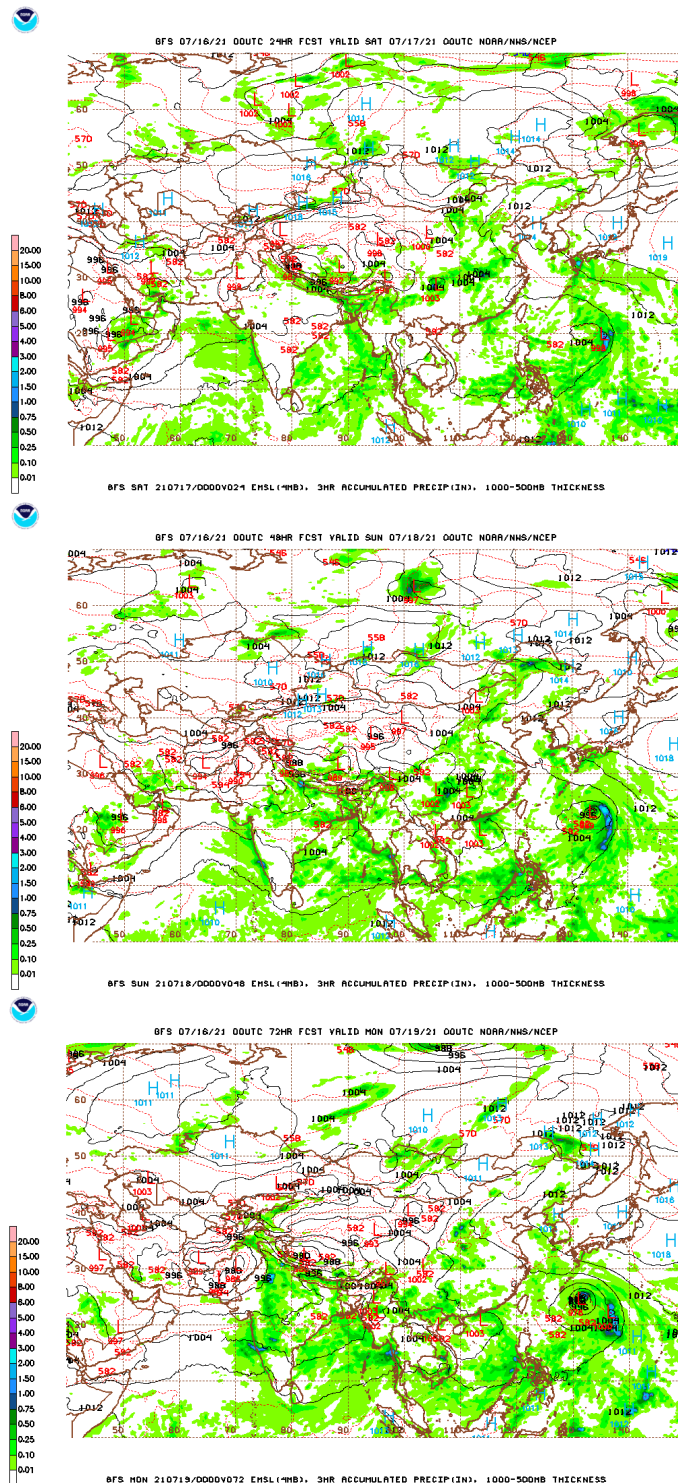
โลก แบบจำลองหรือระบบการพยากรณ์ที่ครอบคลุมพื้นที่โลก (global model) ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) Global Forecast System (GFS) เป็นระบบที่พัฒนาและเผยแพร่โดย National Centers for Environmental Prediction (NCEP) ซึ่งเป็นหน่วยงานหนึ่งภายใต้ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ประเทศสหรัฐอเมริกา GFS ประกอบด้วยแบบจำลองย่อยจำนวน 4 ระบบ ได้แก่ แบบจำลองระบบชั้นบรรยากาศ (atmospheric model) แบบจำลองระบบทะเลและมหาสมุทร (oceanic model) แบบจำลองระบบธรณี (land/soil model) และแบบจำลองระบบน้ำแข็งในทะเล/มหาสมุทร (sea ice model) GFS ทำงานครอบคลุมพื้นที่โลก โดยพยากรณ์ภูมิอากาศและตัวแปรด้านธรณี (land-soil variable) จำนวน 4 ครั้งต่อวัน ณ เวลา 00, 06, 12 และ 18UTC (NCEI, 2021a) ระยะเวลาล่วงหน้าในการพยากรณ์ไม่เกิน 16 วัน ชุดข้อมูลจากการพยากรณ์แบ่งเป็นอุณหภูมิ ลม ปริมาณฝน ปริมาณความชื้นในดิน และความเข้มข้นของโอโซนในชั้นบรรยากาศ ผลการพยากรณ์จาก GFS แสดงเป็นแบบรายชั่วโมงที่ระยะเวลาล่วงหน้าในการพยากรณ์ไม่เกิน 5 วัน และแสดงเป็นแบบราย 3 ชั่วโมงที่ระยะเวลาล่วงหน้า 6-16 วัน โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ขนาดประมาณ 28 กิโลเมตร เมื่อพยากรณ์ล่วงหน้าไม่เกิน 1 สัปดาห์ และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ขนาดประมาณ 70 กิโลเมตร เมื่อพยากรณ์ล่วงหน้าประมาณ 1-2 สัปดาห์ ทั้งนี้แบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ชั้นบรรยากาศ (atmospheric forecast model) อันเป็นส่วนประกอบหนึ่งใน GFS พัฒนาจากแบบจำลอง global spectral model (GSM) ที่อาศัยสมการคณิตศาสตร์ spherical harmonic basis functions โดยปรับปรุงให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ทั้งในแนวราบและแนวดิ่งมากขึ้น ผลการพยากรณ์จาก atmospheric forecast model มีความละเอียดเชิงพื้นที่ในแนวราบที่มีขนาดประมาณ 13 กิโลเมตร และแบ่งเป็นชั้นความสูงจำนวนทั้งหมด 64 ชั้น (EMC, 2021) ผลการพยากรณ์ภูมิอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่โลกซึ่งได้จาก GFS (ตารางที่ 2.1) เผยแพร่และสามารถดาวน์โหลดได้ที่ <https://mag.ncep.noaa.gov/model-guidance-model-area.php> รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างผลการพยากรณ์ที่ได้จาก GFS ณ วันที่ 16 ก.ค. 2564 เวลา 00UTC นอกจากนี้การประเมินประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของ GFS ที่เผยแพร่ไว้บน <https://www.emc.ncep.noaa.gov/users/verification/global/gfs/ops/> ได้แสดงถึงประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของ GFS เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยค่าดัชนี 2 ตัว คือ bias (รูปที่ 2.2) และ root mean square error (RMSE) (รูปที่ 2.3) และเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพของ GFS กับของแบบจำลองอื่น ๆ ที่พัฒนาขึ้นโดยหน่วยงานต่าง ๆ ทั่วโลก เช่น Canadian Meteorological Center (CMC), United Kingdom Meteorological Office (UKMO) เป็นต้น ค่าดัชนีต่าง ๆ ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพ ได้แก่ anomaly correlation coefficient, bias, RMSE, Murphy's mean square error skill

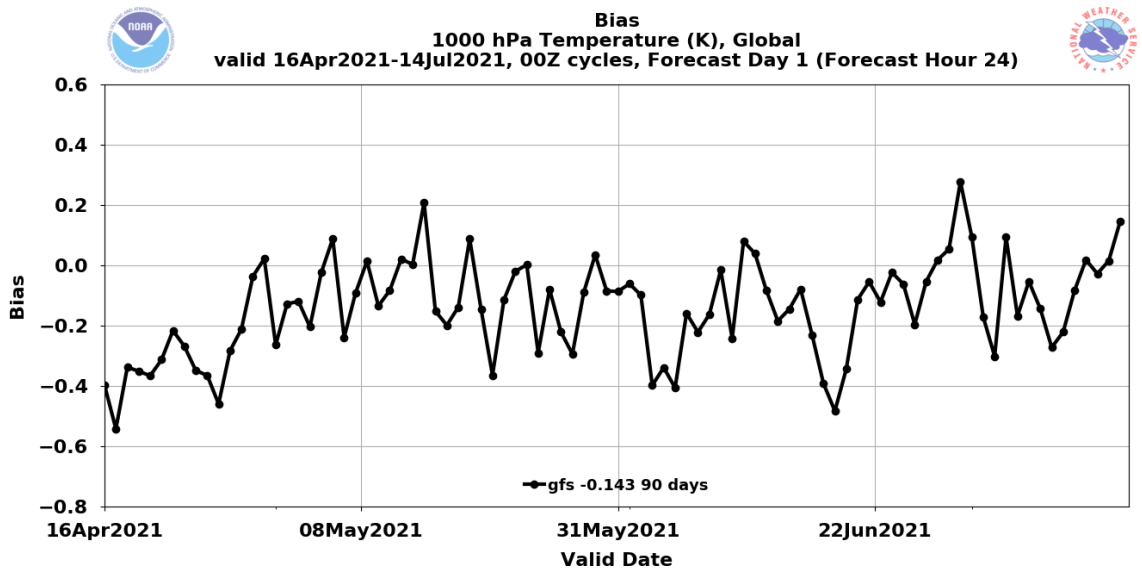
score, ratio of standard deviation, RMSE from mean difference และ RMSE from pattern variation

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์ที่ได้จาก GFS (NCEI, 2021a)

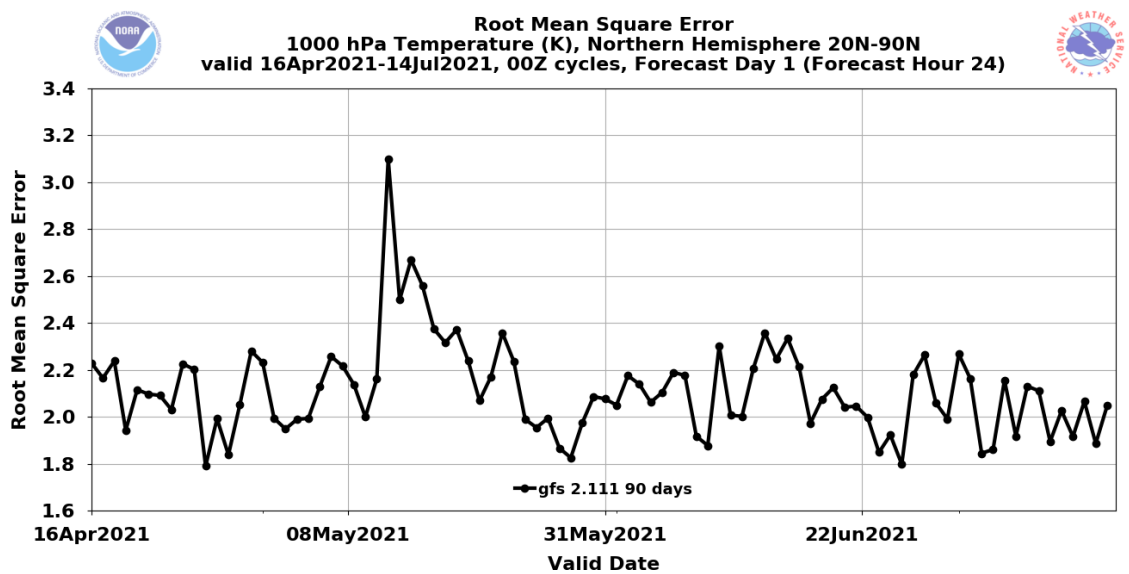
Model	Grid/Scale	Period		Model Cycle ¹ (times/day)	Output Timestep
		online	in archive		
GFS	0.5° - Domain	18/05/2020- Present	since 10/10/2006	4	3-hourly, +000 to +192 hours
	1° - Domain	18/05/2020- Present	since 15/02/2005	4	3-hourly, +000 to +240 hours 12-hourly, +252 to +384 hours
GFS, Historical	0.5° - Domain	01/08/2019- 15/05/2020	-	4	3-hourly, +000 to +192 hours
	1° - Domain	16/05/2019- 15/05/2020	-	4	3-hourly, +000 to +240 hours 12-hourly, +252 to +384 hours
GFS-AVN ²	1° - Domain	02/03/2004-15/02/2005		4	3-hourly, +000 to +240 hours
หมายเหตุ: ¹ ที่เวลา 00, 06, 12 และ 18UTC ² GFS ในช่วงก่อน ค.ศ. 2003 ซึ่งประกอบด้วย GFS aviation model (GFS-AVN) และ GFS medium range forecast model (MRF)					



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างผลการพยากรณ์ปริมาณฝนสะสมราย 3 ชั่วโมง (นิ้ว) ที่ได้จาก GFS (NCEP ประเทศสหรัฐอเมริกา) พยากรณ์ ณ วันที่ 16 ก.ค. 2564 ที่เวลา 00UTC โดยพยากรณ์ล่วงหน้า (บน) 24, (กลาง) 36 และ (ล่าง) 48 ชั่วโมง



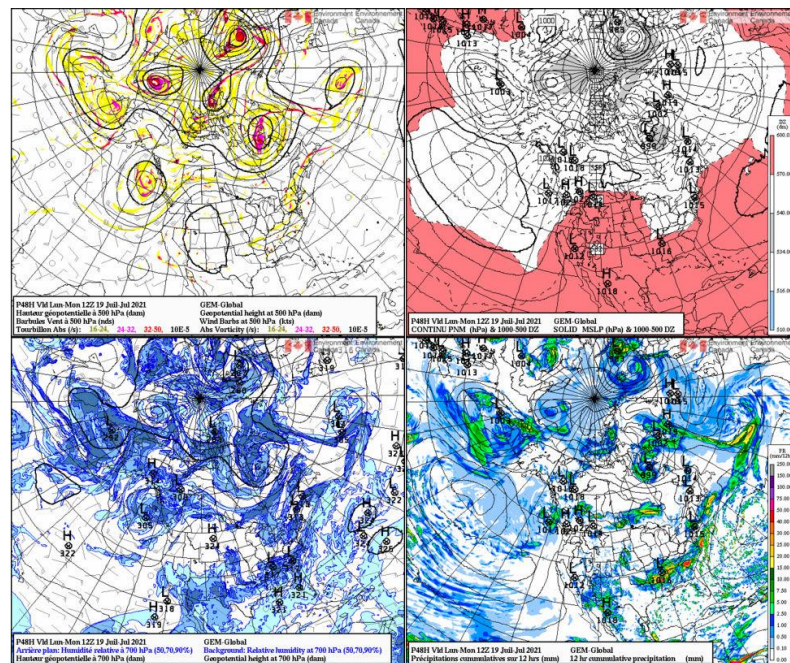
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการประเมินประสิทธิภาพด้วยค่า bias ของ GFS เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด



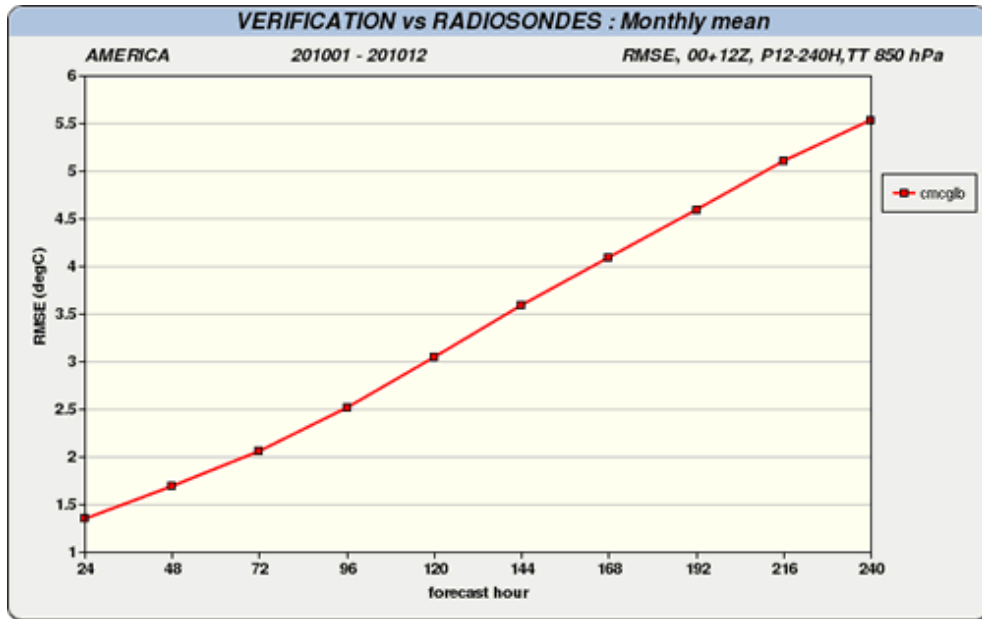
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการประเมินประสิทธิภาพด้วยค่า RMSE ของ GFS เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด

2) Global Environmental Multiscale Model (GEM) เป็นแบบจำลองที่พัฒนาและรับผิดชอบโดย Canadian Meteorological Center (CMC) ประเทศแคนาดา ระบบปฏิบัติการของ GEM เป็นที่รู้จักโดยทั่วไปในชื่อว่า Global Deterministic Prediction System (GDPS) ซึ่งเป็นระบบที่รวมเอาการพยากรณ์และเทคนิคการปรับข้อมูล (data assimilation) เข้าไว้ด้วยกัน วัตถุประสงค์หลักในการพัฒนา GEM คือ การพยากรณ์ระยะสั้นที่ครอบคลุมพื้นที่ในระดับภูมิภาค (short-range regional forecasting) และการพยากรณ์ระยะกลางที่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก (medium-range

global forecasting) รวมทั้งการพัฒนาและปรับปรุงเทคนิคการปรับข้อมูลสำหรับใช้กับการพยากรณ์ ทั้ง 2 แบบดังกล่าว ในปัจจุบัน GEM ใช้เทคนิคการปรับข้อมูลกับข้อมูลทั่วโลก (global data assimilation) สำหรับการพยากรณ์ระยะกลาง และใช้เทคนิคการปรับข้อมูลกับข้อมูลระดับภูมิภาค (regional data assimilation) สำหรับการพยากรณ์ระยะสั้น ทั้งนี้ GEM พยากรณ์ภูมิอากาศทั่วโลก และเผยแพร่ผลการพยากรณ์จำนวน 2 ครั้งต่อวัน ณ เวลา 00 และ 12UTC (Government of Canada, 2021a) โดยระยะเวลาล่วงหน้าในการพยากรณ์ไม่เกิน 6 วัน ผลการพยากรณ์ภูมิอากาศที่ได้จาก GEM แสดงเป็นแบบราย 12 ชั่วโมง ซึ่งสามารถดาวน์โหลดในรูปแบบแผนที่ (รูปที่ 2.4) ได้ที่ https://weather.gc.ca/model_forecast/global_e.html และดาวน์โหลดในรูปแบบ GRIB ได้ที่ https://weather.gc.ca/grib/index_e.html ความละเอียดเชิงพื้นที่ในแนวราบมีขนาด 0.24° หรือประมาณ 25 กิโลเมตร และ 0.6° หรือประมาณ 66 กิโลเมตร จำนวนตารางพื้นที่ (grid) ตามแนวเส้นรุ้งและเส้นแวง คิดเป็น $1,500 \times 751$ ตาราง และ 601×301 ตาราง ตามลำดับ และแบ่งเป็นชั้นความสูงทั้งหมด 28 ชั้น โดยจำนวนชั้นความสูงขึ้นอยู่กับตัวแปรภูมิอากาศที่สนใจ นอกจากนี้ การประเมินประสิทธิภาพของ GDPS อาศัยค่า RMSE โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งโดยทั่วไปแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่า เมื่อพยากรณ์ที่ระยะเวลาล่วงหน้าสั้น รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการประเมินประสิทธิภาพของ GDPS ในการพยากรณ์อุณหภูมิที่ระดับ 850 hPa (Government of Canada, 2021b)



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างผลการพยากรณ์ภูมิอากาศราย 12 ชั่วโมง ที่ได้จาก GEM (CMC ประเทศแคนาดา) พยากรณ์ ณ วันที่ 19 ก.ค. 2564 ที่เวลา 12UTC โดยพยากรณ์ล่วงหน้า 48 ชั่วโมง



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการประเมินประสิทธิภาพด้วยค่า RMSE ของ GDPS เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด

3) Integrated Forecasting System (IFS) เป็นระบบที่ พัฒนาและรับผิดชอบโดย European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองและระบบต่าง ๆ ที่ทำงานร่วมกัน (ECMWF, 2021a) ได้แก่

3.1) แบบจำลองระบบชั้นบรรยากาศ (atmospheric model) สามารถพยากรณ์ได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับช่วงระยะเวลาในการพยากรณ์ เช่น การพยากรณ์แบบความละเอียดสูง (high resolution: HRES) การพยากรณ์แบบชุด (ensemble forecasting: ENS) การพยากรณ์แบบขยายช่วงระยะเวลา (extended range forecast) การพยากรณ์แบบรายฤดูกาล (seasonal forecast) เป็นต้น

3.2) แบบจำลองระบบมหาสมุทร (ocean model: NEMO) ซึ่งรวมทั้งแบบจำลองระบบน้ำแข็งในทะเล/มหาสมุทร (sea ice model: LIM2)

3.3) แบบจำลองคลื่นในมหาสมุทร (ocean wave model: ECWAM) ทำงานร่วมกับแบบจำลองระบบชั้นบรรยากาศและแบบจำลองระบบมหาสมุทร (NEMO)

3.4) แบบจำลองระบบพื้นผิวดิน (land surface model) และแบบจำลองระบบผิวน้ำ (lake model)

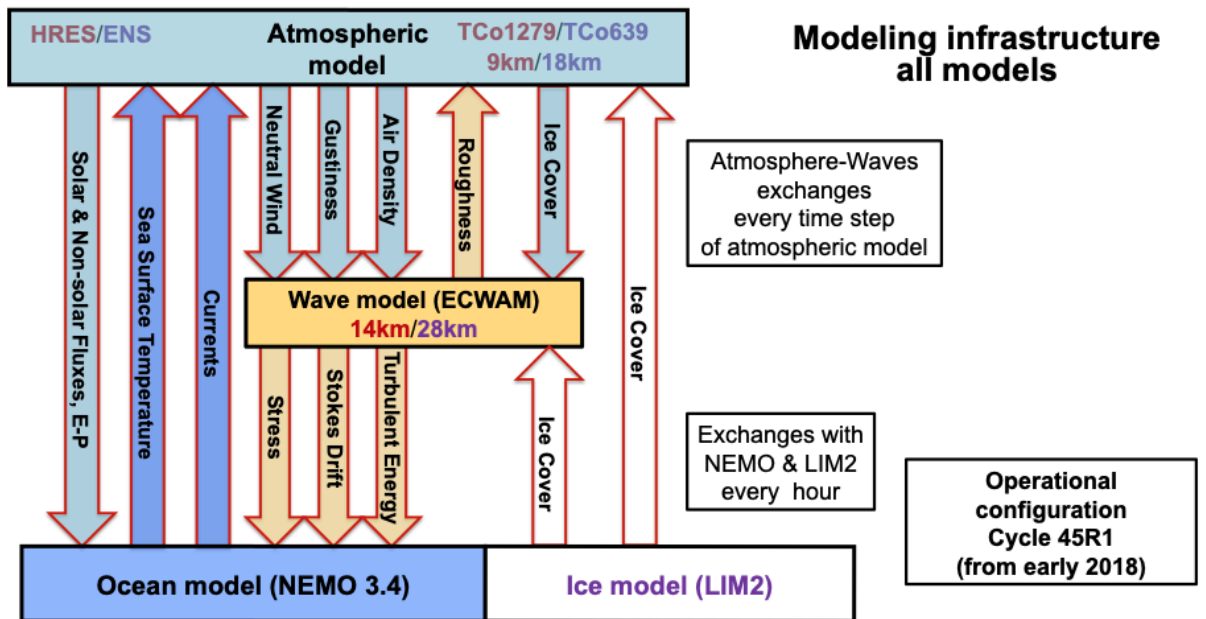
3.5) ระบบวิเคราะห์ข้อมูล (data analysis system: 4D-VAR)

3.6) ระบบเทคนิคในการสร้างชุดข้อมูล (perturbation techniques for generation of the ensembles)

รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างการทำงานร่วมกันและการส่งถ่ายข้อมูลหรือผลที่ได้จากการวิเคราะห์ของแต่ละแบบจำลองหรือแต่ละระบบที่เป็นส่วนประกอบของ IFS (ECMWF, 2021a) ECMWF เน้นการพยากรณ์ภูมิอากาศแบบระยะกลาง (medium-range forecast) ครอบคลุมพื้นที่โลก และทำการพยากรณ์วันละ 2 ครั้ง สำหรับชุดข้อมูลภูมิอากาศจำนวน 52 ชุด ตัวแปรภูมิอากาศที่ได้จากการพยากรณ์และการวิเคราะห์ภายใต้ IFS แบ่งเป็น 6 ตัวแปรหลัก ได้แก่ อุณหภูมิ ฝน หิมะ พายุหมุนเขตร้อน ลม และอื่น ๆ ตัวแปรหลักแต่ละตัวประกอบด้วยตัวแปรย่อยจำนวน 9, 10, 6, 3, 3 และ 13 ตัว ตามลำดับ (ECMWF, 2021b) เช่น อุณหภูมิประกอบด้วยตัวแปรย่อยจำนวน 9 ตัว ได้แก่

- T1: 2m temperature in the presence of inversions
- T2: city temperatures too low
- T3: screen temperatures fall too much near coasts
- T4: meteogram temperature issues in complex topography
- T5: China cold spot
- T6: persistent hot spots in Central Africa
- T7: high temperature spikes
- T8: temperatures in the vicinity of deep lakes
- T9: temperature errors related to vegetation

ผลการพยากรณ์ภูมิอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่โลกซึ่งได้จาก IFS (ตารางที่ 2.2) เผยแพร่และสามารถดาวน์โหลดในรูปแบบแผนที่ได้ที่ <https://apps.ecmwf.int/webapps/opencharts> และสามารถดาวน์โหลดในรูปแบบอื่น ๆ ได้ที่ <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/accessing-forecasts> ทั้งนี้การดาวน์โหลดผลการพยากรณ์และข้อมูลต่าง ๆ ของ ECMWF ขึ้นอยู่กับสิทธิที่ได้รับจาก ECMWF ตามสถานะการเป็นสมาชิกของแต่ละหน่วยงานหรือแต่ละประเทศ



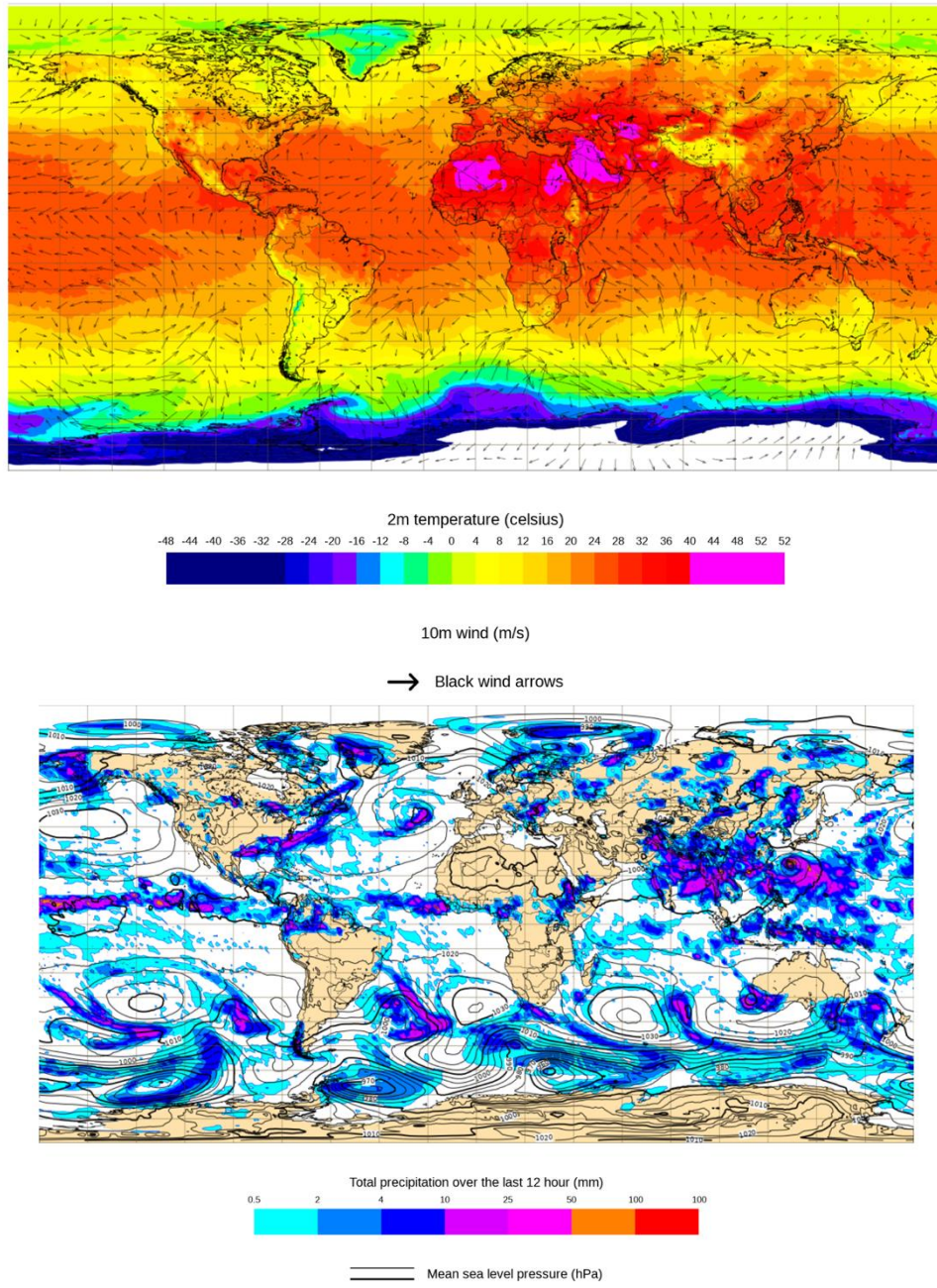
รูปที่ 2.6 โครงสร้างการทำงานร่วมกันของแบบจำลองต่าง ๆ ภายใต้ IFS (ECMWF, 2021a)

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์ที่ได้จาก IFS (ECMWF, 2021c)

รูปแบบการพยากรณ์	ระยะเวลา	จำนวนชุดข้อมูล (ชุด)	ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Horizontal Resolution)	จำนวนระดับชั้นความสูง (Vertical Levels)
HRES	0-10 วัน	1	ประมาณ 9 กม. ⁴ /0.1 ⁰⁵	137
ENS	0-15 วัน	51	ประมาณ 18 กม. ⁴ /0.2 ⁰⁵	137
ENS extended	16-46 วัน ¹	51	ประมาณ 36 กม. ⁴ /0.4 ⁰⁵	137
Seasonal Forecast	0-7 เดือน ² 0-13 เดือน ³	51 15	ประมาณ 36 กม. ⁴ /0.4 ⁰⁵	91
หมายเหตุ: ¹ พยากรณ์สัปดาห์ละ 2 ครั้ง		⁴ ความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ได้จากแบบจำลองตามวิธี spherical harmonics		
² พยากรณ์เดือนละ 1 ครั้ง		⁵ ความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ได้จากการแปลงเป็นระบบ latitude/longitude		
³ พยากรณ์ทุก 3 เดือน				

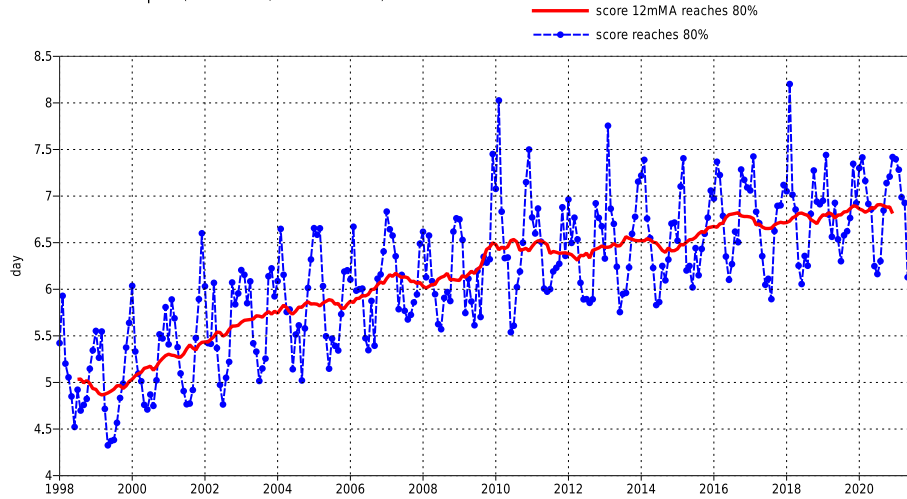
รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างผลการพยากรณ์จาก IFS ในรูปแบบแผนที่ที่ครอบคลุมพื้นที่โลก ECMWF ประเมินประสิทธิภาพของ IFS ด้วยค่าดัชนีต่าง ๆ และรายงานผลการประเมินทุกปี โดยประเมินประสิทธิภาพในแง่การพยากรณ์สภาพภูมิอากาศทั่วไป (weather) สภาพคลื่นอากาศ (waves) และ

เหตุการณ์สภาพอากาศที่รุนแรง (severe weather events) รวมทั้งรายงานการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปีที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับข้อมูล (data assimilation) และการพัฒนาหรืออัปเดตระบบที่ใช้ในการพยากรณ์ ดัชนีที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพแบ่งเป็นดัชนีหลักจำนวน 2 ตัว และดัชนีรองจำนวน 6 ตัว ดัชนีทั้ง 8 ตัวใช้ประเมินทั้งการพยากรณ์ระยะกลาง การพยากรณ์แบบขยายช่วงระยะเวลา และการพยากรณ์แบบรายฤดูกาล ดัชนีหลักตัวแรกคือ ดัชนีที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของ IFS เมื่อพยากรณ์ geopotential height ที่ระดับ 500 hPa แบบความละเอียดสูง (HRES) โดยแสดงผลการประเมินด้วยช่วงหรือระยะเวลาล่วงหน้าของการพยากรณ์ (เป็นจำนวนวัน) ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ผิดปกติ (anomaly correlation coefficient) มีค่าลดลงต่ำกว่า 80% สำหรับค่าเฉลี่ยของเดือน ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากการพยากรณ์และผลที่ได้จากการตรวจสอบ (verifying analysis) ดัชนีหลักอีกตัวใช้ประเมินประสิทธิภาพของ IFS เมื่อพยากรณ์อุณหภูมิที่ระดับ 850 hPa ด้วยการพยากรณ์แบบชุดในรูปความน่าจะเป็น (ensemble probabilistic forecast) โดยแสดงผลเป็นระยะเวลาล่วงหน้าของการพยากรณ์ (เป็นจำนวนวัน) ที่ค่า continuous ranked probability skill score (CRPSS) ในการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการพยากรณ์กับผลที่ได้จากการตรวจสอบ ลดลงเหลือ 25% สำหรับค่าเฉลี่ย 3 เดือนและ 12 เดือน รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างผลการประเมินประสิทธิภาพของ IFS ด้วยดัชนีหลักทั้ง 2 ตัว รายละเอียดสามารถศึกษาได้จากรายงานของ ECMWF ฉบับล่าสุด ค.ศ. 2020 (Haiden et al., 2021) ทั้งนี้ ECMWF ยังได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ IFS กับแบบจำลองของหน่วยงานอื่นที่ทำการพยากรณ์ภูมิอากาศระยะกลางเช่นเดียวกัน โดยอาศัยหลักการประเมินมาตรฐานที่กำหนดขึ้นโดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization: WMO) ผลการประเมินประสิทธิภาพทั้งหมดของ IFS สามารถดาวน์โหลดได้ที่ <https://apps.ecmwf.int/webapps/opencharts/>

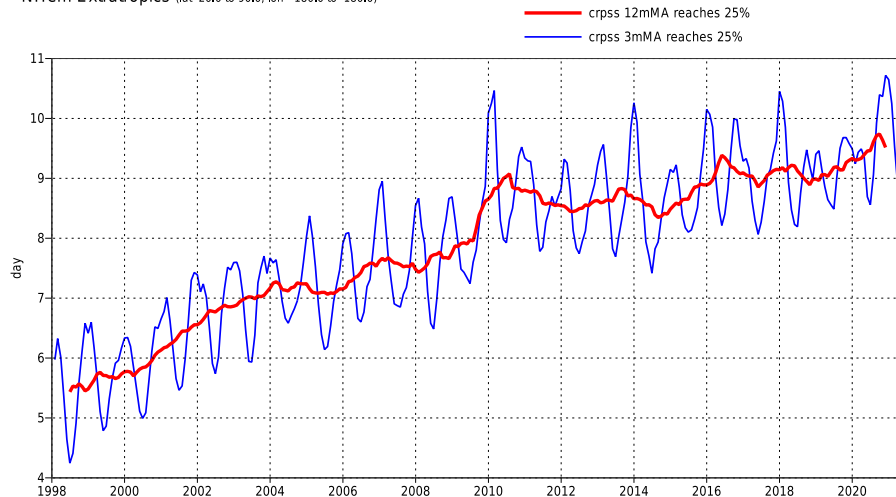


รูปที่ 2.7 ตัวอย่างผลการพยากรณ์ราย 12 ชั่วโมงที่ได้จาก IFS
 พยากรณ์ ณ วันที่ 20 ก.ค. 2564 ที่เวลา 00UTC โดยพยากรณ์ล่วงหน้า 12 ชั่วโมง
 (บน) อุณหภูมิที่ระดับ 2 เมตร ($^{\circ}\text{C}$) และ (ล่าง) ปริมาณฝนสะสม (มม.)

500hPa geopotential
Lead time of Anomaly correlation reaching 80%
NHem Extratropics (lat 20.0 to 90.0, lon -180.0 to 180.0)



850hPa temperature
Lead time of Continuous ranked probability skill score reaching 25%
NHem Extratropics (lat 20.0 to 90.0, lon -180.0 to 180.0)



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างผลการประเมินประสิทธิภาพของ IFS ด้วยดัชนีหลัก 2 ตัว

ในการพยากรณ์บริเวณพื้นที่ซีกโลกเหนือนอกเขตร้อน สำหรับ

(บน) geopotential height ที่ระดับ 500 hPa และ (ล่าง) อุณหภูมิที่ระดับ 850 hPa

4) Climate Forecast System (CFS) เป็นระบบการพยากรณ์ที่ครอบคลุมพื้นที่โลกภายใต้ความรับผิดชอบของ NCEP ประเทศสหรัฐอเมริกา ระบบแบ่งเป็น 3 ส่วนที่ทำงานร่วมกัน ได้แก่ ส่วนมหาสมุทรและทะเล ส่วนพื้นดิน และส่วนชั้นบรรยากาศ ผลการพยากรณ์เป็นข้อมูลแบบรายชั่วโมงที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ในแนวราบขนาด 0.5° หรือประมาณ 56 กิโลเมตร ในปัจจุบัน NCEP พัฒนาและปรับปรุงระบบเป็น CFS version 2 (CFSv2) ซึ่งใช้ข้อมูลนำเข้าที่หลากหลาย เช่น ข้อมูลจากการตรวจวัดภาคพื้นดิน ข้อมูลจากการตรวจวัดในอากาศชั้นบนด้วยบอลลูน ข้อมูลตรวจวัดด้วยอากาศ

ยานและดาวเทียม เป็นต้น ผลผลิตจากการปฏิบัติการที่ได้จาก CFSv2 แบ่งเป็นผลการวิเคราะห์ (CFSv2 operational analysis) และผลการพยากรณ์ (CFSv2 operational forecasts) โดยผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ 2.3) และผลการพยากรณ์ (ตารางที่ 2.4) นำเสนอข้อมูลทั้งในแบบอนุกรมเวลา (time series) ค่าเฉลี่ยรายเดือน (monthly means) และข้อมูลราย 6 ชั่วโมง (6-hourly products) ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่แตกต่างกัน (NCEI, 2021b)

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดข้อมูลผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก CFS (NCEI, 2021b)

Products	Grid/Scale	Period of Record	Model Cycle ¹ (times/day)	Output Timestep
Time series	various	01/04/2011-present	-	hourly, full month
Monthly means				
Energetics (EGY)	various	01/04/2011-present	-	+00, +01, +02, +03, +04, +05, +06
Fluxes (FLX)	various	01/04/2011-present	-	+00, +01, +02, +03, +04, +05, +06
Isentropics (IPV)	various	01/04/2011-present	-	+00, +01, +02, +03, +04, +05, +06
Ocean (OCN)	various	01/04/2011-present	-	+01, +02, +03, +04, +05, +06
Pressure (PGB)	various	01/04/2011-present	-	+00, +01, +02, +03, +04, +05, +06
6-hourly				
Surface and radiative fluxes (FLX)	Gaussian: T574	01/08/2011-present	4	+00, +01, +02, +03, +04, +05, +06, +09
Low-resolution data	Gaussian: T62 Lat./Long. 1.0°, 2.5°	01/08/2011-present	4	+00, +01, +02, +03, +04, +05, +06, +09
3D isentropics level data (IPV)	Lat./Long. 0.5°	01/08/2011-present	4	+00, +01, +02, +03, +04, +05, +06, +09
3D ocean data (OCN)	Lat./Long. 0.5°	01/08/2011-present	4	+00, +01, +02, +03, +04, +05, +06, +09
3D pressure level data (PGB)	Lat./Long. 0.5°	01/08/2011-present	4	+00, +01, +02, +03, +04, +05, +06, +09
หมายเหตุ: ¹ ที่เวลา 00, 06, 12 และ 18UTC				

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์ที่ได้จาก CFS (NCEI, 2021b)

Products	Grid/Scale	Period of Record	Model Cycle ¹ (times/day)	Output Timestep
Time series	various	01/04/2011-present	4	hourly, out ~9 months
Monthly means	various	01/04/2011-present	4	monthly, 00, 06, 12, 18UTC, out ~9 months
6-hourly				
Surface and radiative fluxes (FLX)	Gaussian: T126	01/04/2011-present	4	6-hourly: +00, +06, +12, ..., out ~6 months
3D isentropics level data (IPV)	Lat./Long. 0.5°	01/04/2011-present	4	6-hourly: +00, +06, +12, ..., out ~6 months
3D ocean data (OCN)	Lat./Long. 0.5°	01/04/2011-present	4	6-hourly: +00, +06, +12, ..., out ~6 months
3D pressure level data (PGB)	Lat./Long. 0.5°	01/04/2011-present	4	6-hourly: +00, +06, +12, ..., out ~6 months
หมายเหตุ: ¹ ที่เวลา 00, 06, 12 และ 18UTC				

5) Unified Model (UM) เป็นแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการพยากรณ์ภูมิอากาศที่พัฒนาและปรับปรุงโดย United Kingdom Meteorological Office (UKMO) หรือ Met Office สหราชอาณาจักร จัดเป็นแบบจำลองที่ปฏิบัติการตาม seamless approach อันถือเป็นยุทธศาสตร์สำคัญในการดำเนินงานของ Met Office ที่ประยุกต์ใช้มาตั้งแต่ ค.ศ. 1990 วัตถุประสงค์หลักของ seamless approach คือ dynamical core และผังการกำหนดพารามิเตอร์ (parameterization scheme) เหมือนกัน สามารถใช้งานข้ามข้อจำกัดต่าง ๆ ได้กว้างขึ้นทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ภายใต้กรอบการทำงานที่สามารถติดตามผลได้ (Met Office, 2021a) การประยุกต์ใช้ UM เหมาะสำหรับการคาดการณ์สภาพอากาศเชิงตัวเลข (numerical weather prediction: NWP) การพยากรณ์อากาศแบบรายฤดูกาล และการคาดการณ์ภูมิอากาศ (climate prediction) ซึ่งช่วงระยะเวลาของการพยากรณ์หรือการคาดการณ์ครอบคลุมตั้งแต่รายวันจนถึงรายปี และครอบคลุมการวิเคราะห์ทั้งพื้นที่โลกและพื้นที่เฉพาะภูมิภาค ทั้งนี้การพยากรณ์ภูมิอากาศครอบคลุมพื้นที่โลกของ UM โดย Met Office หรือที่เรียกว่า numerical weather prediction models เป็นการพยากรณ์แบบระยะสั้นและระยะกลาง (short- and medium-range forecast) มีช่วงระยะเวลาอยู่ที่ 6 วัน สำหรับผลการพยากรณ์แบบ deterministic มีความละเอียดเชิงพื้นที่ในแนวราบประมาณ 10 กิโลเมตร และช่วงระยะเวลาของการพยากรณ์เป็น 7-36 วัน ส่วนผลการพยากรณ์แบบชุด (ensemble forecasts) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ในแนวราบประมาณ 20 กิโลเมตร (ตารางที่ 2.5)

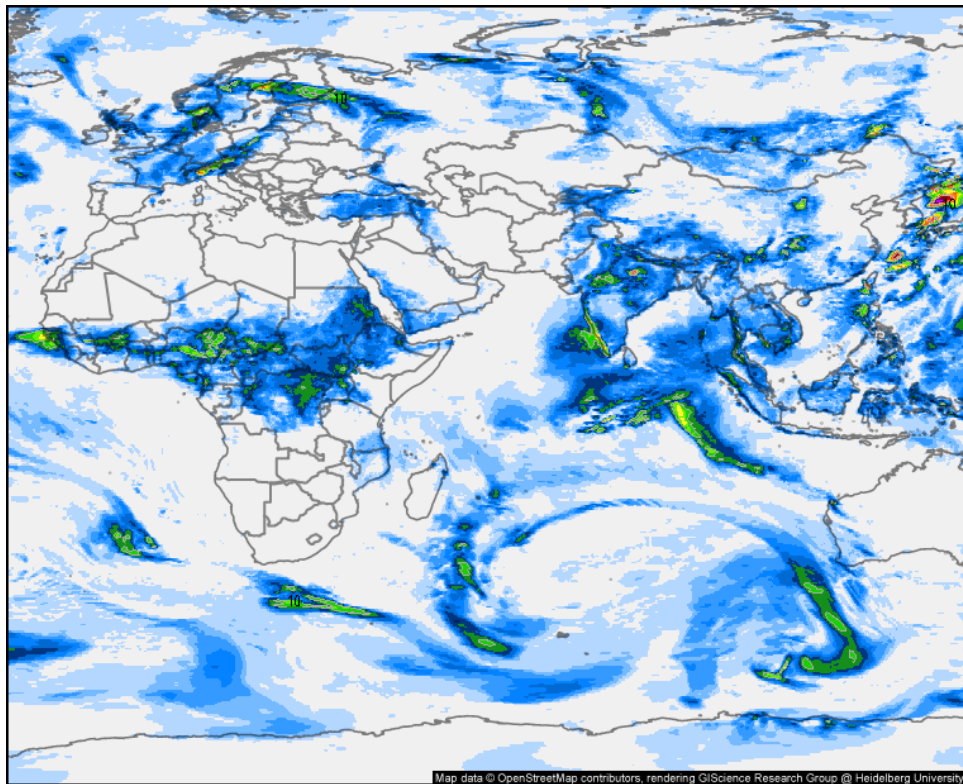
ตารางที่ 2.5 รายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์ที่ได้จาก UM (Met Office, 2021b)

Model	Grid/Scale	Vertical Levels	Model Cycle ¹ (times/day)	Forecast Length
Deterministic	10 km (2560 x 1920 grid points)	70	4	6 days ²
Ensemble	20 km (1280 x 960 grid points)	70	4	7-36 days
หมายเหตุ: ¹ ที่เวลา 00, 06, 12 และ 18UTC		² สำหรับ 00z และ 12z		

นอกจากนี้ ยังมีการนำ UM ไปประยุกต์ใช้สำหรับการพยากรณ์รายฤดูกาลและการคาดการณ์ภูมิอากาศระยะยาว (ระยะเวลา 10 และ 100 ปี) การพยากรณ์รายฤดูกาลและการคาดการณ์ในช่วงระยะเวลา 10 ปี (decadal forecast) สะท้อนให้เห็นถึงความแปรปรวนทางธรรมชาติรวมทั้งภูมิอากาศ ที่เป็นผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนผ่านกระบวนการทางทะเลและมหาสมุทร อันเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ เช่น ปรากฏการณ์ El Niño/La Niña ความผันผวนของกระแสน้ำเทอร์โมฮาไลน์ (thermohaline circulation) และความผิดปกติขนาดใหญ่ของปริมาณความร้อนในมหาสมุทร (large-scale anomalies of ocean heat content) เป็นต้น โดยที่สภาวะโลกร้อนมีสาเหตุจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ในปัจจุบันระบบการพยากรณ์ภูมิอากาศโลกรายฤดูกาลของ Met Office เป็นที่รู้จักในชื่อ GloSea5 หรือ Met Office Global Seasonal Forecasting System version 5 (MacLachlan et al., 2015; Scaife et al., 2014) ซึ่งเริ่มดำเนินการใช้งานในเดือนกรกฎาคม 2556 การคาดการณ์ภูมิอากาศโลกรยะยาวในช่วงระยะเวลา 100 ปี (centennial climate forecast) อยู่ภายใต้การดูแลรับผิดชอบของ Met Office Hadley Centre ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในระยะยาว (climate change) โดยกำหนดสถานการณ์สมมติ (scenario) ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศในอนาคต หรือภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (representative concentration pathway) ที่เป็นไปตามกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์และการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงด้านสังคม (เช่น การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลก) ด้านเศรษฐกิจ (เช่น ทิศทางการเจริญเติบโตด้านเศรษฐกิจในแต่ละภูมิภาค) ด้านเทคโนโลยี (เช่น การพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานสะอาดหรือพลังงานทดแทน) และด้านอุตสาหกรรม ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์รายฤดูกาลและการคาดการณ์ภูมิอากาศระยะยาว ภายใต้การดำเนินการของ Met Office และ Met Office Hadley Centre และรูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างผลที่ได้จากการพยากรณ์ของ UM (Meteologix, 2021)

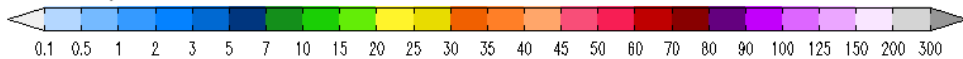
ตารางที่ 2.6 รายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์รายฤดูกาลและระยะยาว (Met Office, 2021c)

Configuration	Atmosphere Resolution	Ocean Resolution	Initial Conditions	Typical Run Length
Seasonal	85 levels to 85 km $0.83^\circ \times 0.55^\circ$ (~50 km at mid-latitudes)	75 levels $0.25^\circ \times 0.25^\circ$	Atmosphere: Met Office global analyses	42-member ensembles of ~7 month runs (updated monthly)
			Ocean and sea ice (concentrations): data assimilation based on multi institutional NEMOVAR project ¹	
Decadal	85 levels to 85 km $0.83^\circ \times 0.55^\circ$ (~50 km at mid-latitudes)	75 levels $0.25^\circ \times 0.25^\circ$	Atmosphere: ECMWF global analyses	10-member ensembles of ~5-year runs (updated annually)
			Ocean: data assimilation of observed full fields	
Centennial	38 levels to 40 km $1.875^\circ \times 1.25^\circ$ (~140 km at mid-latitudes)	40 levels $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ (increasing smoothly from 30°N/S to 0.33° at equator)	Atmosphere: Met Office global analyses representative of current climate	~100s years
			Ocean: Levitus present-day observed ocean conditions	
			Sea ice: present-day conditions taken from previous climate model 20 th century simulation	
หมายเหตุ: ¹ Morgensen et al. (2009)				



Precipitation, 6h (mm)

Valid for
Sun 08/08/2021, 07:00pm GMT+07



Africa and Asia
UKMO (6 days) from 08/02/2021/12z

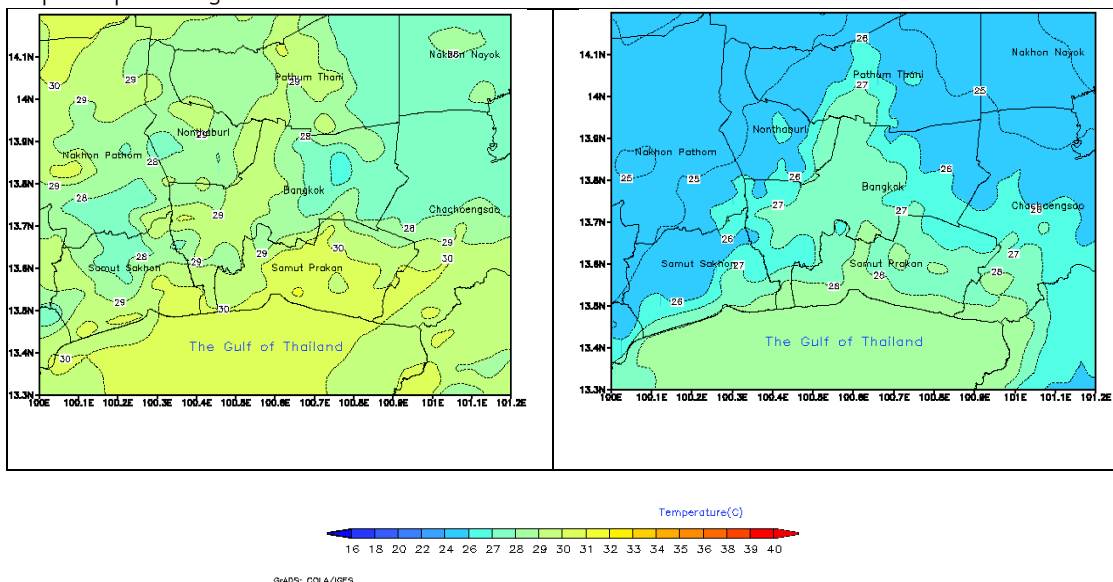
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างผลการพยากรณ์ปริมาณฝนราย 6 ชั่วโมง (มม.) ที่ได้จาก UM (Met Office สหราชอาณาจักร) พยากรณ์ ณ วันที่ 2 ส.ค. 2564 ที่เวลา 12z โดยพยากรณ์ล่วงหน้า 144 ชั่วโมง

แบบจำลองที่ครอบคลุมพื้นที่เฉพาะภูมิภาค: ประเทศไทย

หน่วยงานหลักที่รับผิดชอบด้านการพยากรณ์อากาศและการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศสำหรับประเทศไทย ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยาและสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)

(1) กรมอุตุนิยมวิทยา มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาข้อมูลและการพยากรณ์อากาศ ตลอดจนการศึกษา ค้นคว้า และวิจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ภูมิสารสนเทศ แผ่นดินไหว และเทคนิควิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อเตือนภัยทางธรรมชาติล่วงหน้าและป้องกันหรือลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน อันเนื่องมาจากภัยทางธรรมชาติต่าง ๆ กรมอุตุนิยมวิทยาดำเนินการพยากรณ์อากาศและลักษณะอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่ทุกภาคทั่วประเทศโดยแบ่งเป็น การพยากรณ์ระยะสั้น ได้แก่ รายชั่วโมง ราย 3 ชั่วโมง และรายวัน และการคาดการณ์ระยะยาว ได้แก่ รายเดือน ราย 3 เดือน และรายฤดูกาล แบบจำลองเชิงตัวเลขที่กรมอุตุนิยมวิทยาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์คือ Weather Research and Forecasting (WRF) model ซึ่งเป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากระบบ

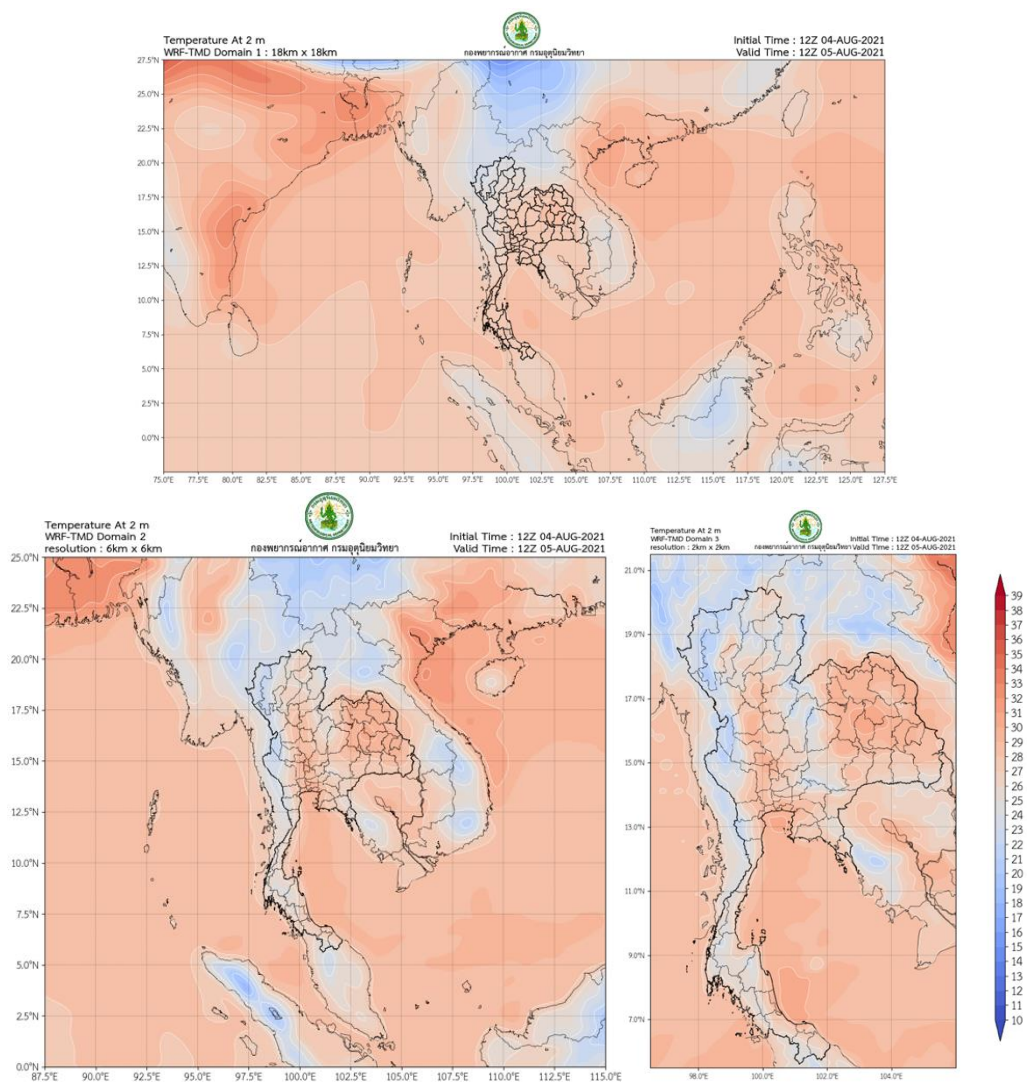
พยากรณ์อากาศเชิงตัวเลขขนาดกลาง (mesoscale numerical weather prediction system) WRF เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นภายใต้ความร่วมมือระหว่าง National Center for Atmospheric Research (NCAR) ที่เป็นหน่วยงานหนึ่งภายใต้ NOAA, U.S. Air Force, Naval Research Laboratory, University of Oklahoma และ Federal Aviation Administration (FAA) ประเทศสหรัฐอเมริกา ทั้งนี้ WRF เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวกับบรรยากาศ และการประยุกต์ใช้ในเชิงปฏิบัติการสำหรับการพยากรณ์อากาศ WRF ประกอบด้วย dynamical core จำนวน 2 ส่วน ได้แก่ advance research WRF core (ARW) และ nonhydrostatic mesoscale model core (NMM) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยระบบการปรับข้อมูล (data assimilation system) และระบบสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์ (software architecture) ที่สนับสนุนการทำงานแบบคู่ขนานระหว่างการคำนวณและการเพิ่มสมรรถนะของระบบ (NCAR, 2021; Powers et al., 2017) กรมอุตุนิยมวิทยาประยุกต์ใช้ WRF ในการพยากรณ์อากาศครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพฯ ที่มีขนาดพื้นที่ประมาณ 1.5×1.5 ตารางกิโลเมตร ผลการพยากรณ์เป็นแบบรายชั่วโมง (รูปที่ 2.10) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ที่ http://www2.tmd.go.th/wrf_tmd/images/BKK_WRFDA1/zoom_bkk_prec3h.html นอกจากนี้ กรมอุตุนิยมวิทยายังประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการพยากรณ์อากาศ (NWP model) ครอบคลุมประเทศไทยและภูมิภาคโดยรอบ (ตารางที่ 2.7) ผลการพยากรณ์อากาศแสดงเป็นแบบแผนที่ขนาด 18×18 , 6×6 และ 2×2 ตารางกิโลเมตร (รูปที่ 2.11) โดยสามารถดาวน์โหลดได้ที่ <https://hpc.tmd.go.th>



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างผลการพยากรณ์อุณหภูมิพื้นผิว ($^{\circ}\text{C}$) ที่ได้จาก WRF model (กรมอุตุนิยมวิทยา) พยากรณ์ ณ วันที่ 2 ส.ค. 2564 ที่เวลา 12UTC โดยพยากรณ์ล่วงหน้า (ซ้าย) 24 และ (ขวา) 36 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดข้อมูลผลการพยากรณ์ที่ได้จาก NWP model ซึ่งเผยแพร่โดยกรมอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย

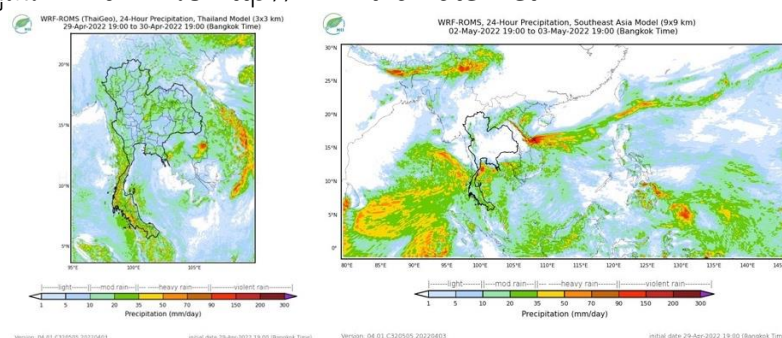
ขนาดพื้นที่ (ตร.กม.)	Area Description	Initial Time	Output Timestep	Forecast Length (days)
18 x 18	เอเชียตะวันออกเฉียงใต้	00 และ 12z	3-hourly	10
6 x 6	คาบสมุทรมอินโดจีน	00 และ 12z	hourly	4
2 x 2	ประเทศไทย	00 และ 12z	hourly	3



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างผลการพยากรณ์อุณหภูมิพื้นผิว (°C) ที่ได้จาก NWP model (กรมอุตุนิยมวิทยา)

พยากรณ์ ณ วันที่ 4 ส.ค. 2564 ที่เวลา 12z โดยพยากรณ์ล่วงหน้า 24 ชั่วโมง
ขนาดพื้นที่ (บน) 18 x 18, (ล่าง-ซ้าย) 6 x 6 และ (ล่าง-ขวา) 2 x 2 ตารางกิโลเมตร

(2) สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) หรือ สสน. เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านสารสนเทศทรัพยากรน้ำ รวมทั้งรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลด้านน้ำและภูมิอากาศ ตลอดจนบูรณาการข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ และช่วยเรื่องการพัฒนาและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศ แบบจำลองที่ สสน. ประยุกต์ใช้สำหรับพยากรณ์หรือคาดการณ์สภาพอากาศคือ แบบจำลองคาดการณ์สภาพอากาศระยะสั้นแบบคู่ควบ (WRF-ROMS coupled model) ซึ่งเป็นระบบพยากรณ์ที่ประกอบด้วยแบบจำลองสภาพอากาศ (WRF model) และแบบจำลองมหาสมุทรระดับภูมิภาค (regional ocean modeling system: ROMS) ที่ทำงานร่วมกัน โดยพัฒนาจากระบบแบบจำลองคู่ควบของ U.S. Geological Survey (USGS) ประเทศสหรัฐอเมริกา หรือที่เรียกว่า coupled-ocean-atmosphere-wave-sediment transport modeling system (COAWST) อันเป็นระบบที่มีองค์ประกอบทั้งหมด 6 ส่วน ได้แก่ แบบจำลองมหาสมุทรระดับภูมิภาค (ROMS) แบบจำลองสภาพอากาศ (WRF) แบบจำลองคลื่น (simulating waves nearshore: SWAN, WAVEWATCH III: WW3 และ infragravity wave model: InWave) แบบจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอน (community sediment transport modeling systems: CSTMS) แบบจำลองระบบน้ำแข็งในทะเล/มหาสมุทร (sea ice model) และชุดเครื่องมือสำหรับแบบจำลองคู่ควบ (model coupling toolkit: MCT) (Warner et al., 2010) ผลการพยากรณ์แบบรายวันที่ได้จาก WRF-ROMS coupled model (Torsri et al., 2014) เมื่อคาดการณ์ล่วงหน้าไม่เกิน 3 วัน แสดงด้วยแผนที่ที่มีความละเอียดในแนวราบประมาณ 3 กิโลเมตร ซึ่งครอบคลุมเฉพาะประเทศไทย และเมื่อคาดการณ์ล่วงหน้าไม่เกิน 7 วัน แสดงด้วยแผนที่ที่มีความละเอียดประมาณ 9 กิโลเมตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน และความละเอียดประมาณ 27 กิโลเมตร ซึ่งครอบคลุมภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (รูปที่ 2.12) โดย สสน. นำเสนอผลการคาดการณ์ดังกล่าวไว้บนคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ หรือ <http://www.thaiwater.net>



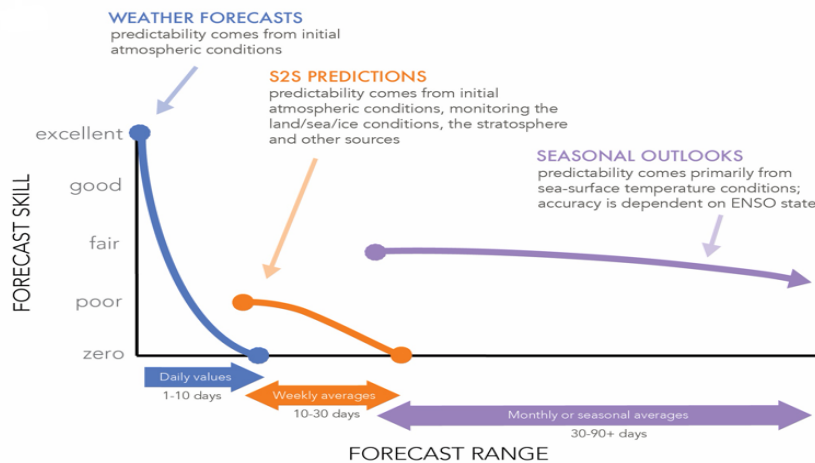
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างผลการพยากรณ์ปริมาณฝนสะสม 24 ชั่วโมง (มม.)

ที่ได้จาก WRF-ROMS (สสน.) พยากรณ์ ณ วันที่ 29 เมษายน 2565 เวลา 7.00 น.

โดยความละเอียดกริด (ซ้าย) 3 x 3 และ (ขวา) 9 x 9 ตารางกิโลเมตร

2.3 แบบจำลองเชิงสถิติ (Statistical Model)

เทคโนโลยีที่ใช้คาดการณ์สภาพอากาศและภูมิอากาศได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันภาพรวมความสามารถในการคาดการณ์สภาพอากาศล่วงหน้ามีระดับแตกต่างกันตามระยะเวลาดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่า ความสามารถในการคาดการณ์สภาพอากาศระยะสั้นจะสูงเมื่อคาดการณ์รายวันล่วงหน้า 1-2 วัน และความสามารถจะลดลงตามการคาดการณ์ล่วงหน้าทีนานขึ้น การคาดการณ์ระยะ 1-10 วัน ส่วนใหญ่จะอาศัยแบบจำลองพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลข (NWP) ที่อาศัยกฎทางพลวัตและกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์ในการจำลองกระบวนการต่าง ๆ ของระบบโลก โดยจะใช้สภาพบรรยากาศปัจจุบันเป็นข้อมูลหลัก สำหรับการคาดการณ์ที่มีความสามารถรองลงมา คือ การคาดการณ์รายฤดูกาลที่เป็นการคาดการณ์สภาพอากาศเฉลี่ยรายเดือนหรือรายสามเดือน ซึ่งโดยทั่วไปจะอาศัยความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล เช่น ปรากฏการณ์ El Niño-Southern Oscillation (ENSO), Indian Ocean Dipole (IOD) และดัชนีความเชื่อมโยงระยะไกลอื่น ๆ เป็นปัจจัยในการคาดการณ์ ส่วนการคาดการณ์ที่มีความสามารถในการคาดการณ์ต่ำคือ การคาดการณ์สภาพอากาศเฉลี่ยรายสัปดาห์ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 10-30 วันล่วงหน้า ซึ่งถือว่าอยู่ในกลุ่มของการคาดการณ์กึ่งฤดูกาลถึงฤดูกาล “sub-seasonal to seasonal prediction (S2S)”



ที่มา: Potential applications of subseasonal-to-seasonal (S2S) predictions.

Meteorological Applications (White, et al. 2017)

รูปที่ 2.13 แสดงประสิทธิภาพการคาดการณ์สภาพอากาศตามคาบเวลาต่าง ๆ

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นว่า การคาดการณ์สภาพอากาศและภูมิอากาศรายสัปดาห์และรายฤดูกาลนั้นยังมีประสิทธิภาพไม่สูงมากนัก จึงถือว่าเป็นความจำเป็นเร่งด่วนที่จะต้องดำเนินการศึกษาและพัฒนาระบบการคาดการณ์ปริมาณฝนรายสัปดาห์ถึงรายฤดูกาลให้ได้ผลการคาดการณ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำขึ้นและเหมาะสมกับการใช้งานในประเทศ อันจะทำให้ได้ข้อมูลสนับสนุนสำหรับ

ระดับนโยบายและระดับปฏิบัติงานนำไปใช้งาน และส่งผลให้การบริหารจัดการน้ำโดยรวมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

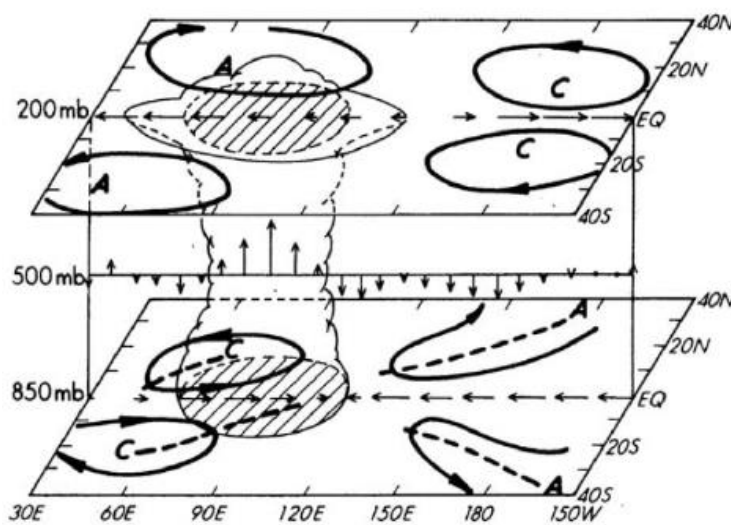
ประเทศไทยและบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีสภาพภูมิอากาศเขตร้อนชื้น และตั้งอยู่ในบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากความผันแปรของระบบอากาศ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเล จาก 2 มหาสมุทรคือ มหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย จากข้อมูลเชิงสถิติของกรมอุตุนิยมวิทยาในรอบ 30 ปีที่ผ่านมา แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดในประเทศไทยอย่างต่อเนื่อง ทั้งความผันแปรในช่วงฤดูกาล (intraseasonal variability) ความผันแปรกึ่งฤดูกาล (subseasonal variability) และความผันแปรระหว่างฤดูกาล (intra-annual variability) ซึ่งส่งผลให้เกิดปริมาณและช่วงเวลาของฝนที่ผิดจากค่าปกติ รวมทั้งเหตุการณ์ความรุนแรงที่สุดต่างๆ (extreme events) ในช่วงฤดูมรสุม การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและการถ่ายเทความร้อนของชั้นบรรยากาศในมหาสมุทรแปซิฟิกและมหาสมุทรอินเดีย ทำให้เกิดความผันแปรของปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น

- 1) ปรากฏการณ์ Madden-Julian Oscillation (MJO) มีคาบการเกิดอยู่ระหว่าง 30-60 วัน
- 2) ปรากฏการณ์ El Niño–Southern Oscillation (ENSO) หรือปรากฏการณ์ El Niño และ La Nina โดยเกิดปรากฏการณ์สลับกันในระหว่าง 18 ถึง 36 เดือน
- 3) ปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole (IOD) มีช่วงเวลากการเกิดซ้ำไม่แน่ชัด

ปรากฏการณ์ Madden-Julian Oscillation (MJO)

การยกตัวและจมตัวเป็นวงรอบแนวเส้นศูนย์สูตร เริ่มจากบริเวณทวีปแอฟริกาตะวันตก เคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันออกเข้าสู่มหาสมุทรอินเดียตะวันตกและยกตัวอย่างรุนแรงบริเวณมหาสมุทรอินเดียฝั่งตะวันตกถึงตอนกลางของมหาสมุทรอินเดีย และเคลื่อนตัวผ่านบริเวณ Maritime Continent และเข้าสู่มหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก ก่อนจะอ่อนกำลังลงบริเวณตอนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิก การยกตัวของอากาศอย่างรุนแรงทำให้เกิดกลุ่มเมฆฝน จึงเกิดทั้งการขยายตัวเพิ่มขึ้นและลดลงของบริเวณฝน ระยะเวลาการเกิดอยู่ในช่วง 30 ถึง 60 วัน มักเรียกบริเวณกลุ่มเมฆฝนว่า MJO enhanced phase ทั้งปริมาณและการกระจายตัวของฝนมีความผันแปร คือเมื่อ MJO อยู่บริเวณมหาสมุทรอินเดียทำให้มีปริมาณฝนต่ำกว่าค่าปกติ ส่วน MJO อยู่บริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก ทำให้มีปริมาณฝนสูงกว่าค่าปกติ ข้อมูลการคายพลังงานความร้อนที่คายออกจากผิวน้ำสู่ชั้นบรรยากาศ (Outgoing Longwave Radiation) ใช้โตนสีน้ำเงินแสดงบริเวณที่ปริมาณกลุ่มเมฆฝนสูงกว่าค่าปกติ และโตนสีแดงแสดงบริเวณที่ปริมาณกลุ่มเมฆฝนต่ำกว่าค่าปกติ

ลักษณะเด่นของปรากฏการณ์ MJO คือมีรูปแบบของการก่อตัวของกลุ่มเมฆฝนที่เกิดจากความผิดปกติของระบบการไหลเวียนอากาศในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์เนื่องจากการคายพลังงานความร้อนในกระบวนการเปลี่ยนสถานะของไอน้ำที่ลอยสูงขึ้นจนถึงระดับที่สามารถควบแน่นเป็นเมฆ ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เกิดลมพัดสอบเข้าหาบริเวณอากาศยกตัวในระดับล่างของชั้นบรรยากาศ (convergence) และลมที่พัดออกจากบริเวณยอดเมฆในบรรยากาศระดับบน (divergence) และเกิดการจมตัวทางด้านตะวันออกและตะวันตกของบริเวณกลุ่มเมฆฝน ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แผนภาพแสดงการไหลเวียนอากาศที่สัมพันธ์กับปรากฏการณ์ MJO

ที่มา: Rui and Wang (1990)

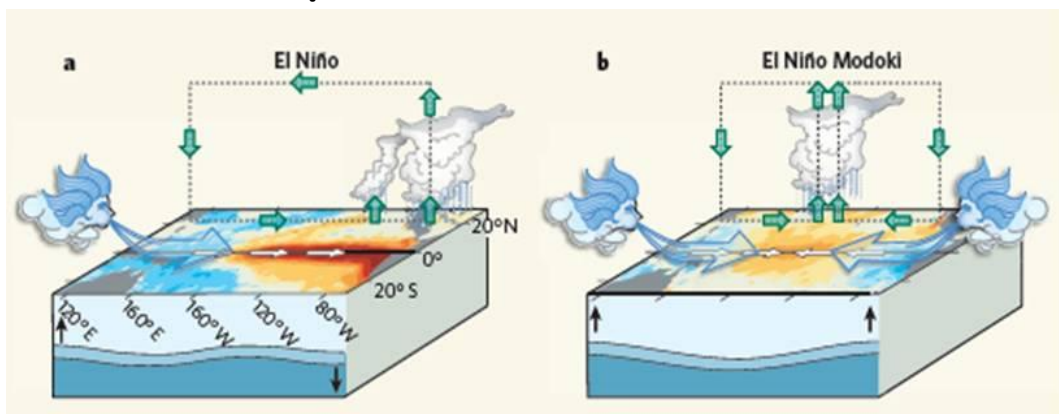
จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ปริมาณฝนในประเทศไทยโดยเฉลี่ยมีค่ามากกว่าปกติตามฤดูกาลเมื่อ MJO อยู่ในระยะที่ 3, 4, 5 และ 6 และมีค่าต่ำกว่าค่าปกติตามฤดูกาล เมื่อ MJO อยู่ในระยะที่ 7, 8, 1 และ 2 เมื่อจำแนกตามฤดูมรสุม พบว่า MJO ส่งผลต่อความผันแปรของปริมาณฝนทั่วทุกภูมิภาคของประเทศในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ สำหรับในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ MJO จะส่งผลกระทบต่อภาคใต้เท่านั้น นอกจากนี้ปรากฏการณ์ ENSO ขณะที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ ส่วนใหญ่ทำให้ปริมาณฝนในประเทศไทยต่ำกว่าปกติ จะมีฝนตกสูงได้เมื่อศูนย์กลางของกลุ่มเมฆฝนที่เกิดจาก MJO ผ่านบริเวณประเทศไทย ในขณะที่เกิดปรากฏการณ์ La Nina ศูนย์กลางของกลุ่มเมฆฝนที่เกิดจาก MJO จะมีกำลังแรงขึ้น อย่างไรก็ตาม อิทธิพลของปรากฏการณ์ MJO จะส่งผลต่อปริมาณฝนในพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับทะเล เช่น ภาคตะวันตก ภาคใต้ และภาคตะวันออกของประเทศไทย ขณะที่อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ระหว่างบรรยากาศกับพื้นแผ่นดินเป็นปัจจัยสำคัญในการก่อเกิดเมฆฝนบนแผ่นดินมากกว่า (ปัทมา สิงห์รักษ์ และคณะ 2556, 2558)

ปรากฏการณ์ ENSO

ปรากฏการณ์ El Nino เป็นหนึ่งในกลไกสำคัญที่เป็นปัจจัยควบคุมความผันแปรของปริมาณฝนในทุก ๆ ช่วงของฤดูกาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูมรสุม รวมทั้งอาจมีความสัมพันธ์กับพายุหมุนเขตร้อนที่พัดเข้าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ด้วย กลไกหลักของปรากฏการณ์ El Nino เกิดขึ้นจากการไหลวนในชั้นบรรยากาศและการยกตัวของอากาศขึ้นไปในระดับสูง (convection) ทำให้เกิดกลุ่มเมฆและเกิดฝนตก สลับกับบริเวณอากาศจมตัว (subsidence) คือไม่มีฝนตก โดยลักษณะเด่นของปรากฏการณ์ El Nino เราสามารถจำแนกออกเป็น 3 รูปแบบ

(1) Canonical El Nino ค่าของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงกว่าค่าปกติบริเวณเส้นศูนย์สูตรทางแถบมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออกแผ่ขยายถึงแถบมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลาง ทำให้มีปริมาณฝนเฉลี่ยต่ำกว่าค่าปกติบริเวณประเทศอินเดีย ตอนล่างของคาบสมุทรอินโดจีน เขตมารีนไทม์ (Maritime Continent) และตอนล่างของประเทศไทย โดยมีคาบการเกิดซ้ำช่วง 2-3 ปี

(2) El Niño Modoki ค่าของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงกว่าค่าปกติบริเวณเส้นศูนย์สูตรทางแถบมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลางในช่วงม.ย.-ก.ย. ทำให้ประเทศไทยมีปริมาณฝนมากกว่าปกติ โดยมีคาบการเกิดซ้ำช่วง 1-3 ปี ดังรูปที่ 2.15



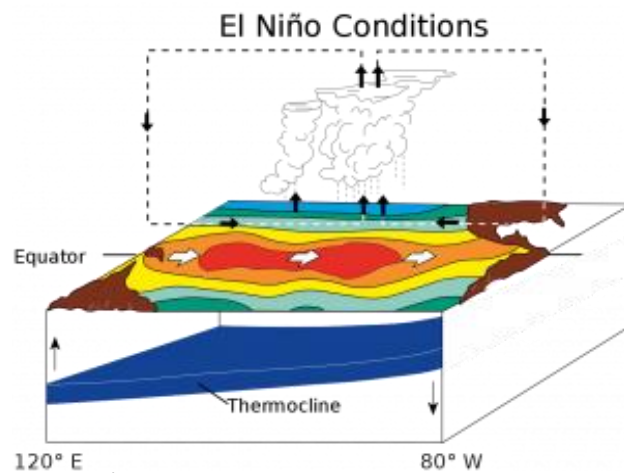
รูปที่ 2.15 ลักษณะปรากฏการณ์ El Niño และ El Niño Modoki

ที่มา: Marathe and Karumuri (2021)

(3) Basin wide warming El Nino ค่าของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงกว่าค่าปกติบริเวณเส้นศูนย์สูตรทั่วทั้งแถบมหาสมุทรแปซิฟิก ทำให้บริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลางมีฝนต่ำกว่าปกติ ส่วนภาคตะวันออกและภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติ โดยมีคาบการเกิดซ้ำช่วง 3-4 ปี

ปรากฏการณ์ El Nino เกิดจากการเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันออกส่งผลให้ความกดอากาศต่ำกว่าความกดอากาศบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันตก ลมค้า (Walker Circulation) พัดย้อนกลับจากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก พัดพา

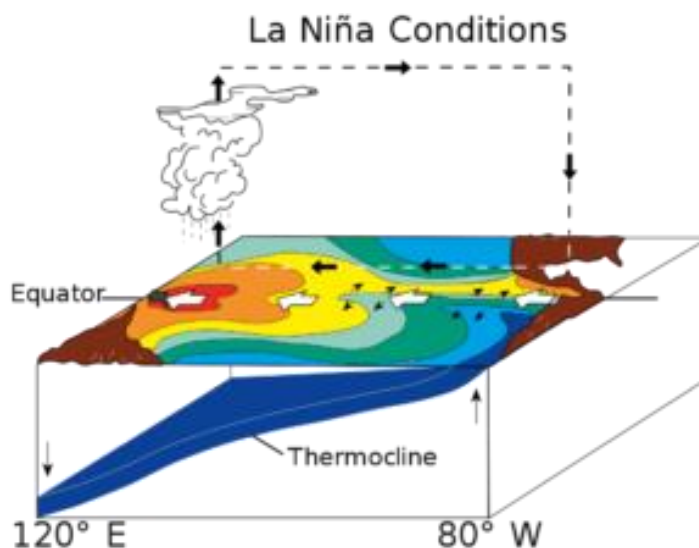
กระแสน้ำอุ่นให้ไหลย้อนไปทางมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันออกทำให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันออกสูงกว่าค่าเฉลี่ยปกติ ดังรูปที่ 2.16 ลักษณะดังกล่าวส่งผลต่อการจมตัวของอากาศในบริเวณแปซิฟิกตะวันตกซึ่งส่งผลให้ประเทศไทยมีฝนที่ต่ำกว่าปกติ



รูปที่ 2.16 ลักษณะของปรากฏการณ์ El Niño

ที่มา: www.pmel.noaa.gov

ปรากฏการณ์ La Niña เกิดจากการเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันตก ทำให้ความกดอากาศบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันตกต่ำกว่าความกดอากาศบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันออกเกิดเป็นลมที่พัดเสริมลมสินค้าจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก ดังรูปที่ 2.17 ลักษณะดังกล่าวส่งผลต่อการก่อตัวของอากาศในบริเวณแปซิฟิกตะวันตกซึ่งส่งผลให้ประเทศไทยมีฝนที่มากกว่าปกติ



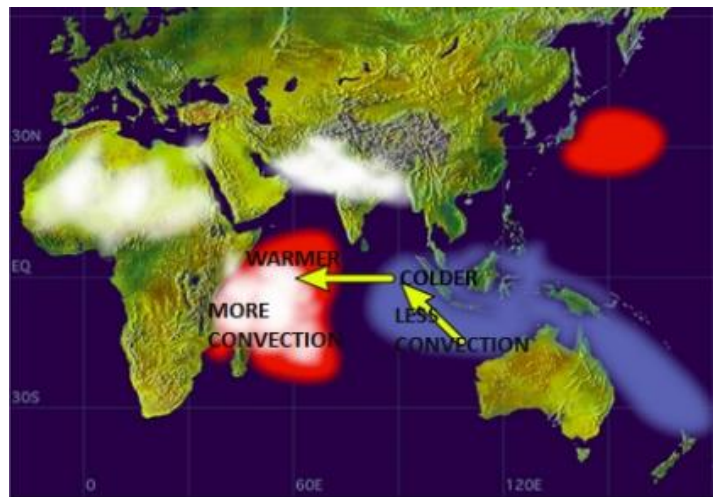
รูปที่ 2.17 ลักษณะของปรากฏการณ์ La Niña

ที่มา: www.pmel.noaa.gov

ปรากฏการณ์ IOD

ปรากฏการณ์ IOD เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิสัมพันธ์ของมหาสมุทรกับบรรยากาศ (ocean-atmospheric interactive phenomena) บริเวณมหาสมุทรอินเดีย โดยพิจารณาจากค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (SSTA) ในรูปดัชนี IOD (Dipole Mode Index: DMI) ที่ถูกกำหนดเป็นความแตกต่างระหว่าง SSTA บริเวณมหาสมุทรอินเดียตะวันตกและมหาสมุทรอินเดียตะวันออก สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

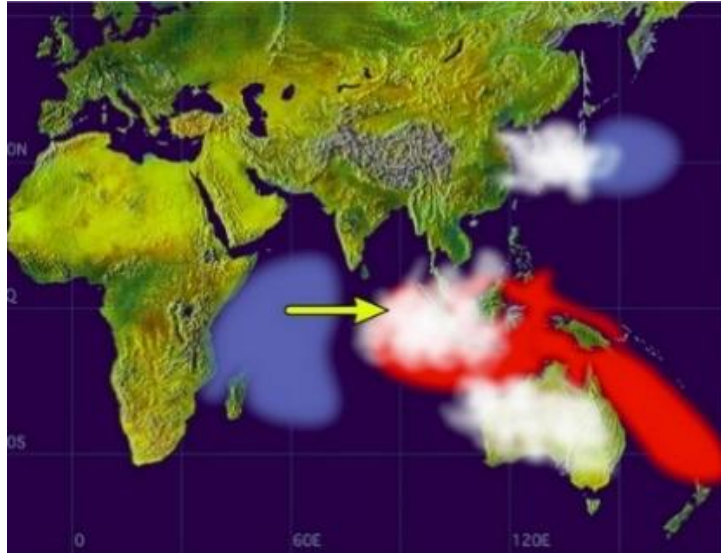
(1) Positive IOD ค่า SSTA บริเวณมหาสมุทรอินเดียด้านตะวันตกสูงกว่ามหาสมุทรอินเดียด้านตะวันออก ส่งผลให้เกิดสภาวะแห้งแล้งบริเวณประเทศไทย อินโดนีเซีย และออสเตรเลีย ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 Positive IOD

ที่มา: <http://www.marine.tmd.go.th/thai/>

(2) Negative IOD ค่า SSTA บริเวณมหาสมุทรอินเดียด้านตะวันตกต่ำกว่ามหาสมุทรอินเดียด้านตะวันออก ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมบริเวณประเทศไทย อินโดนีเซีย และออสเตรเลีย ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 Negative IOD

ที่มา: <http://www.marine.tmd.go.th/thai/>

ปรากฏการณ์ IOD ในมหาสมุทรอินเดียมีอิทธิพลทำให้ปริมาณฝนรวมรายปีของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปริมาณฝนสะสมช่วงฤดูฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่า คาบการเกิดซ้ำของปรากฏการณ์ IOD มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากคาบเวลาระหว่าง 4–8 ปีในอดีตเป็นคาบเวลาระหว่าง 1–4 ปี นับตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2533 เป็นต้นมา ในช่วงที่ปรากฏการณ์ IOD กำลังแรงเกิดร่วมกับปรากฏการณ์ El Nino อ่อนกำลัง ธรณีรัฐ ภัทรสภาพรกุล และคณะ (2553) พบว่าปริมาณฝนรวมรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในบริเวณตอนบนของประเทศไทย โดยพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวและเสี่ยงภัยสูงได้แก่ ภาคเหนือ และภาคกลางตอนบน เพราะบริเวณดังกล่าวถือเป็นแนวพัดผ่านของลมตะวันตกที่เกิดมาจากลมประจำถิ่นในทะเลอาราเบียน และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หอบพาเอาความชื้นเข้ามาในบรรยากาศสูง อันเป็นผลมาจากการอุ่นขึ้นอย่างผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลด้านฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรอินเดียที่มีความเชื่อมโยงกับปรากฏการณ์ IOD นั้นจึงเป็นสาเหตุหลักให้เกิดสภาวะการณ์ฝนตกหนักและอุทกภัยในบริเวณดังกล่าวของประเทศไทย

แบบจำลองเชิงสถิติมีบทบาทในการพยากรณ์อากาศตั้งแต่อดีตเนิ่นนานจนถึงปัจจุบัน โดยมีบทบาทในอุตุนิยมวิทยาตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น จนถึงขั้นตอนการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ตามวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เช่น การพยากรณ์อากาศ การประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงสถิติ (statistical weather forecasting model) ร่วมกับแบบจำลองเชิงตัวเลข (NWP model) ในการพยากรณ์อากาศ ทำให้ผลการพยากรณ์มีตรรกะในเชิงวิทยาศาสตร์และสมเหตุสมผลมากยิ่งขึ้นกว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองสำหรับการพยากรณ์เพียงในสาขาเดียวเท่านั้น วิธีการหรือเทคนิคที่ใช้ในแบบจำลองเชิงสถิติมีตั้งแต่เทคนิคขั้นพื้นฐานอย่างง่ายสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีพื้นฐานที่รู้จักกันโดยทั่วไป จนถึงเทคนิคขั้นสูงที่ประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่ซับซ้อนและมีขั้นตอนใน

การดำเนินการที่ยุ่งยาก ต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน เช่น ผู้เชี่ยวชาญด้านอุตุนิยมวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตีความผลการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลอง เนื่องจากพื้นฐานของแบบจำลองเชิงสถิติคือ การศึกษาและวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลตัวแปรตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์โดยใช้ชุดข้อมูลอนุกรมเวลา (time series) ของตัวแปรที่สนใจ ผลการวิเคราะห์แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปร ที่เป็นความสัมพันธ์ในเชิงตัวเลขเท่านั้น เพื่อให้ความสัมพันธ์ในเชิงตัวเลขนั้นสมเหตุสมผลและสอดคล้องกับกระบวนการตามธรรมชาติของระบบภูมิอากาศ การเชื่อมโยงหรือการอธิบายความสัมพันธ์เชิงสถิติดังกล่าวให้สอดคล้องกับทฤษฎีหรือหลักเกณฑ์ต่าง ๆ เช่น ทฤษฎีด้านอุตุนิยมวิทยา หลักเกณฑ์เชิงวิทยาศาสตร์ด้านภูมิอากาศ และกระบวนการทางฟิสิกส์ของระบบภูมิอากาศ เป็นต้น จึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ

วิธีการในการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงสถิติในการพยากรณ์อากาศ แบ่งเป็น 3 วิธี ได้แก่

(1) วิธีการดั้งเดิม (classical method) คือ วิธีที่วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติแบบเลื่อนเวลา (lead-lag relationship) ระหว่างตัวแปรอิสระที่ใช้ในการพยากรณ์ (independent variable หรือ predictor: X) และตัวแปรตามที่ต้องการพยากรณ์ (dependent variable หรือ predictand: Y) และประยุกต์ความสัมพันธ์แบบเลื่อนเวลานั้นในแบบจำลองเชิงสถิติสำหรับการพยากรณ์ตัวแปรตาม หรือ Y ณ เวลา t โดยใช้ตัวแปรอิสระหรือ X ณ เวลา $t-1$ (สมการ 2.1)

$$Y_t = f(X_{t-1}) \quad (2.1)$$

เมื่อ Y_t คือ ตัวแปรตาม ณ เวลา t และ X_{t-1} คือ ตัวแปรอิสระ ณ เวลา $t-1$

ทั้งนี้ ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามอาจเป็นข้อมูลอากาศตัวเดียวกันหรือแตกต่างกันก็ได้ เช่น การพยากรณ์อุณหภูมิในวันนี้ (Y_t) โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิของเมื่อวานนี้ (X_{t-1}) หรือการพยากรณ์ปริมาณฝนในวันนี้ (Y_t) โดยใช้ข้อมูลความกดอากาศของเมื่อวานนี้ (X_{t-1}) เป็นต้น

(2) วิธี perfect prognosis (perfect prog method) (Klein et al., 1959) คือ วิธีที่วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปรอิสระ X และตัวแปรตาม Y ณ ช่วงเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน และพัฒนาแบบจำลองเชิงสถิติที่สอดคล้องกับความสัมพันธ์ดังกล่าว (สมการ 2.2) ข้อมูลของตัวแปรอิสระมาจากการพยากรณ์ของแบบจำลองเชิงตัวเลข (numerical prediction model) ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแบบจำลองเชิงสถิติไม่ได้ใช้สำหรับการพยากรณ์ล่วงหน้าโดยตรง แต่ใช้สำหรับคำนวณค่าตัวแปรทางภูมิอากาศที่ไม่สามารถพยากรณ์ล่วงหน้าได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลข เช่น อุณหภูมิสูงสุด จึงเป็นวิธีที่สนับสนุนให้การพยากรณ์ด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลขมีความครบถ้วนสมบูรณ์และครอบคลุมตัวแปรทางภูมิอากาศที่จำเป็นต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น จึงเรียกวิธีการนี้ว่า “perfect” prognosis method (Glahn, 1982)

$$Y_t = f(X_t) \quad (2.2)$$

เมื่อ Y_t คือ ตัวแปรตาม ณ เวลา t และ X_t คือ ตัวแปรอิสระ ณ เวลา t

(3) วิธีการใช้ผลที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลข (model output statistics method: MOS) (Glahn and Lowry, 1972) ซึ่งคล้ายกับวิธี perfect prog หลักการของ MOS คือ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติแบบเหลื่อมเวลา (lead-lag relationship) ระหว่างตัวแปรอิสระที่ใช้ในการพยากรณ์ และตัวแปรตามที่ต้องการพยากรณ์ โดยช่วงเวลาของตัวแปรอิสระอาจจะก่อนหรือหลังช่วงเวลาของตัวแปรตามก็ได้ ซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากวิธี perfect prog การพัฒนาแบบจำลองเชิงสถิติที่สอดคล้องกับความสัมพันธ์ดังกล่าว (สมการ 2.3) ใช้ข้อมูลตัวแปรอิสระที่เป็นผลการพยากรณ์จากแบบจำลองเชิงตัวเลข (numerical prediction model)

$$Y = f(X) \quad (2.3)$$

เมื่อ Y คือตัวแปรตาม ณ เวลาที่ต้องการพยากรณ์ และ X คือตัวแปรอิสระ ณ เวลาที่สอดคล้องกับความสัมพันธ์เชิงสถิติแบบเหลื่อมเวลา (lead-lag relationship) ระหว่างตัวแปรทั้งสอง

ในปัจจุบันแบบจำลองเชิงสถิติมีบทบาทมากขึ้นโดยเฉพาะในการประยุกต์ใช้กับการย่อส่วน (downscaling) ข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศที่ได้จากการตรวจวัดหรือข้อมูล re-analysis และข้อมูลผลการคาดการณ์ภูมิอากาศที่ได้จากแบบจำลองเชิงตัวเลขซึ่งครอบคลุมพื้นที่โลก (general circulation model: GCM) เนื่องจากผลการคาดการณ์ภูมิอากาศจาก GCM ที่คาดการณ์ล่วงหน้าระยะยาว (climate projection) หรือประมาณ 100 ปี สามารถแสดงให้เห็นถึงสภาพภูมิอากาศที่อาจเปลี่ยนแปลงไปในอนาคต (climate change) แต่ข้อมูลจากการตรวจวัดหรือข้อมูล re-analysis และข้อมูลจากการคาดการณ์ของ GCM เป็นข้อมูลระดับพื้นที่โลกหรือพื้นที่ทวีปที่มีขนาดตารางพื้นที่ (grid) ประมาณ 150-300 กิโลเมตร นั่นคือ มีความละเอียดเชิงพื้นที่ค่อนข้างหยาบ (coarse spatial resolution) และมีความละเอียดเชิงเวลาที่ครอบคลุมช่วงระยะเวลายาว (long-ranged temporal resolution) โดยเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน รายฤดูกาล รายปี หรือค่าเฉลี่ยในช่วงระยะยาว (Trzaska and Schnarr, 2014) การนำข้อมูลดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่เฉพาะเพื่อศึกษาหรือวิเคราะห์เพิ่มเติมด้านภูมิอากาศ หรือเพื่อศึกษาผลกระทบของ climate change ในพื้นที่เฉพาะที่มีตารางพื้นที่ขนาดเล็กกว่า 100 x 100 ตารางกิโลเมตร (high resolution) เช่น พื้นที่ลุ่มน้ำ หรือมีความละเอียดเชิงเวลาที่ครอบคลุมช่วงระยะเวลาสั้นกว่ารายเดือน เช่น รายวันและรายชั่วโมง จึงไม่เหมาะสมและไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการนำข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศหรือผลการคาดการณ์จาก GCM ไปประยุกต์ใช้งาน เทคนิคการย่อส่วนข้อมูลดังกล่าวจึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการปรับข้อมูลนั้น ๆ ให้เหมาะสมกับขนาดพื้นที่ศึกษาที่สนใจ (spatial downscaling) หรือเหมาะสมกับช่วงระยะเวลาที่ต้องการ (temporal

downscaling) โดยเทคนิคการย่อส่วนแบ่งเป็น 2 วิธี ได้แก่ การย่อส่วนแบบสถิติ (statistical downscaling) และการย่อส่วนแบบพลวัต (dynamical downscaling)

2.4 วิธีการย่อส่วนแบบสถิติ (Statistical Downscaling)

การย่อส่วนแบบสถิติแบ่งเป็นการย่อส่วนเชิงพื้นที่ (statistical spatial downscaling: SSD) และการย่อส่วนเชิงระยะเวลา (statistical temporal downscaling: STD) SSD เป็นเทคนิคอย่างง่ายที่อาศัยการศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศที่สนใจที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ค่อนข้างหยาบ (coarse resolution: CR) และข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง (high resolution: HR) ส่วน STD อาศัยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศที่สนใจในช่วงระยะเวลายาว (เช่น รายเดือน รายฤดูกาล และรายปี) ซึ่งเป็นผลที่ได้จาก GCM และข้อมูลในช่วงระยะเวลาสั้นที่ต้องการ (เช่น รายวันและรายชั่วโมง) ซึ่งได้จากการตรวจวัด ทั้งนี้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์สำหรับ SSD และ STD ใช้ชุดข้อมูลในอดีตจนถึงปัจจุบัน และประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ที่พัฒนาขึ้นกับชุดข้อมูลในอนาคต ภายใต้ข้อสมมุติที่ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองเป็นความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งหรือมีนัยยะสำคัญในเชิงสถิติ และรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองยังคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลงตั้งแต่อดีตจนถึงอนาคต นอกจากนี้ชุดข้อมูลในอนาคตที่นำมาใช้ในการย่อส่วนมีความถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการย่อส่วนแบบสถิติ (statistical downscaling model: SDSM) จึงใช้ข้อมูลประกอบด้วยตัวแปรอิสระหรือตัวแปรที่ใช้ในการย่อส่วน (X) อันได้แก่ ข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศที่สนใจที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ค่อนข้างหยาบหรือครอบคลุมช่วงระยะเวลายาว และตัวแปรตามหรือตัวแปรที่ได้จากการย่อส่วน (Y) ได้แก่ ข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศที่เป็นข้อมูลในพื้นที่ขนาดเล็กซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษา หรือครอบคลุมช่วงระยะเวลาสั้นตามที่ต้องการ โดยการย่อส่วนแบบสถิติมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับข้อมูลให้เหมาะสมกับความละเอียดเชิงพื้นที่สำหรับพื้นที่ศึกษา ขจัดหรือลด bias ที่ปรากฏอยู่ในระบบการทำงานของ GCM และเพื่อสร้างชุดข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศที่นอกเหนือจากชุดข้อมูลที่ได้จาก GCM (Lanzante et al., 2018) วิธีการย่อส่วนแบบสถิติมีอยู่หลากหลายวิธี ซึ่งยังไม่มีหลักเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน แต่อาจแบ่งได้เป็นดังนี้ (Lanzante et al., 2018; Smid and Costa, 2018; Trzaska and Schnarr, 2014)

(1) Direct transfer function (Gudmundsson et al., 2012; Saengsawang et al., 2017) ได้แก่ เทคนิคในการย่อส่วนเชิงพื้นที่ที่เป็น linear และ nonlinear techniques เช่น delta method, simple และ multiple linear regression, canonical correlation analysis (CCA) และ singular value decomposition

(2) Weather classification (Cannon, 2018; Cannon et al., 2015; Mehrotra and Sharma, 2016; Tavakolifar et al., 2017; Wuthiwongyothin et al., 2019; Zorita and Storch, 1999) เป็นวิธีที่วิเคราะห์การแจกแจงเชิงสถิติ (statistical distribution function) ของข้อมูลตรวจวัดและประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ได้จาก GCM ซึ่งเป็นเทคนิคการย่อส่วนทั้งในเชิงพื้นที่และในเชิงเวลา เช่น analog method, cluster analysis, artificial neural network (ANN) และ self-organizing map (SOM)

(3) Weather generator (Mehrotra and Sharma, 2010; Mehrotra et al., 2013; Volosciuk et al., 2017; Wilks, 2012) เป็นเทคนิคการย่อส่วนทั้งในเชิงพื้นที่และในเชิงเวลา ได้แก่ stochastic ensemble methods เช่น unconditional และ conditional generators, long Ashton Research Station weather generator (LARS-WG) และ nonhomogeneous hidden Markov model (NHMM)

การย่อส่วนแบบสถิติมีการศึกษากันอย่างแพร่หลายเป็นจำนวนมาก เพราะเป็นวิธีการที่เข้าใจง่าย และการวิเคราะห์ไม่ซับซ้อน การตีความผลที่ได้จากการย่อส่วนไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน นอกจากนี้โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถดาวน์โหลดได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย การทำงานของโปรแกรมไม่ยุ่งยาก ไม่จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูง ทำให้ราคาค่าใช้จ่ายในการศึกษาไม่สูงมากนัก การศึกษาการย่อส่วนแบบสถิติครอบคลุมตัวแปรภูมิอากาศต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ (Dixon et al., 2016; Gutiérrez et al., 2013; Manzananas et al., 2018; Yuan et al., 2019) ปริมาณฝน (Cheevaprasert et al., 2020; Laflamme et al., 2016; Liu et al., 2016; Wilks, 1999; Wong et al., 2014) และลม (Michelangeli et al., 2009) เป็นต้น โดยการย่อส่วนครอบคลุมพื้นที่เฉพาะในระดับประเทศหรือระดับลุ่มน้ำ อาทิ ในภูมิภาคเอเชีย เช่น พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอิหร่าน (Baghanam et al., 2020) ประเทศอินเดีย (Salvi et al., 2013) และพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนในประเทศไทย (Sharma and Babel, 2013) เป็นต้น ในภูมิภาคยุโรป เช่น เมือง Trøndelag ในประเทศนอร์เวย์ (Yuan et al., 2019) กลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย (Hanssen-Bauer et al., 2005) และประเทศสเปน (Mehrotra et al., 2013) เป็นต้น และในทวีปอเมริกา เช่น เขตพื้นที่ New England ในประเทศสหรัฐอเมริกา (Laflamme et al., 2016) เป็นต้น ผลจากการศึกษาโดยส่วนใหญ่แสดงถึงประสิทธิภาพของการย่อส่วนแบบสถิติ เกณฑ์ในการประเมินประสิทธิภาพ ได้แก่ Nash-Sutcliffe coefficient of efficiency, สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient), ค่าความคลาดเคลื่อนหรือความผิดพลาดสัมพัทธ์ (relative error), root mean square error (RMSE) และ relative RMSE เป็นต้น ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการย่อส่วนแบบสถิติขึ้นอยู่กับพื้นที่ศึกษา ตัวแปรภูมิอากาศที่สนใจ ช่วงระยะเวลาของตัวแปร การเลือกใช้ชุดข้อมูลนำเข้าซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จาก GCM ที่มีอยู่หลายแบบจำลองภายใต้การดูแลของหลายหน่วยงาน จำนวนและคุณภาพของข้อมูลตรวจวัดที่ใช้ในการพัฒนาความสัมพันธ์ และเทคนิคหรือวิธีการย่อส่วนแบบสถิติที่เลือกใช้ ดังนั้นการเลือก

วิธีการย่อยส่วนแบบสถิตินี้ที่เหมาะสมจำเป็นต้องเข้าใจในเบื้องต้นถึงวัตถุประสงค์ในการนำผลจากการย่อยส่วนไปใช้งาน และศึกษาในรายละเอียดเฉพาะพื้นที่ศึกษาหนึ่ง ๆ ตลอดจนพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนของแต่ละวิธีเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าว

2.5 วิธีการย่อยส่วนแบบพลวัต (Dynamical Downscaling)

วิธีการย่อยส่วนแบบพลวัต อาศัยแบบจำลองภูมิอากาศเฉพาะภูมิภาค (regional climate model: RCM) ในการย่อยส่วน โดยนำเข้าข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ค่อนข้างหยาบ โดยปกติข้อมูลนำเข้าเป็นผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก GCM จะกำหนดข้อมูลนำเข้าดังกล่าวเป็นเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) พร้อมกับนำเข้าข้อมูลที่เป็นข้อมูลเฉพาะสำหรับพื้นที่ศึกษา เช่น สภาพภูมิประเทศและกระบวนการในชั้นบรรยากาศในท้องถิ่น ทั้งนี้วิธีการย่อยส่วนแบบพลวัตด้วย RCM อาศัยการวิเคราะห์ตามกระบวนการทางกายภาพ (physical process) ซึ่งเหมือนกับกระบวนการที่อยู่ใน GCM แต่ผลการวิเคราะห์จาก RCM จะมีความละเอียดเชิงพื้นที่มากกว่า GCM และขอบเขตพื้นที่ของ RCM ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ศึกษาหรือภูมิภาคที่สนใจเท่านั้น มีขนาดตารางพื้นที่ประมาณ 20-50 กิโลเมตร ดังนั้นวิธีการย่อยส่วนแบบพลวัตจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลนำเข้าจำนวนมาก สำหรับการวิเคราะห์ตามกระบวนการทางกายภาพ และจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูง เพราะการวิเคราะห์ดังกล่าวมีความยุ่งยากซับซ้อน นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้และประสบการณ์เฉพาะด้านในการดำเนินการย่อยส่วนแบบพลวัต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ (physical parameter) และตีความผลที่ได้จากการวิเคราะห์ (Trzaska and Schnarr, 2014)

เนื่องจากข้อจำกัดที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง จึงเป็นอุปสรรคในการพัฒนา RCM สำหรับบางประเทศที่ขาดแคลนเงินลงทุน ดังนั้นการศึกษาและพัฒนา RCM จึงอยู่ในวงจำกัด ภายใต้ความรับผิดชอบของหน่วยงานหรือองค์กรขนาดใหญ่ หรือภายใต้ความร่วมมือของหลายประเทศ ทำให้การย่อยส่วนแบบพลวัตครอบคลุมพื้นที่แค่บางส่วนเท่านั้น เช่น ทวีปยุโรป (Diez et al., 2011; Linstedt et al., 2015; Patarčić and Brankvić, 2011; Sangelantoni et al., 2019; Sangelantoni et al., 2020; Sangelantoni et al., 2021) ทวีปอเมริกา (Castro et al., 2012; De Sales and Xue, 2013; Fennessy and Shukla, 2000; Knutson et al., 2013) และทวีปแอฟริกา (Diro et al., 2012; Siegmund et al., 2015) เป็นต้น นอกจากนี้ แม้ว่า RCM จะสามารถย่อยส่วนขนาดของตารางพื้นที่ (grid) ให้เล็กลงและมีความละเอียดมากขึ้น แต่ขนาดของตารางพื้นที่ที่ได้จาก RCM ก็ยังมีขนาดใหญ่กว่า 10 กิโลเมตร อันถือว่าเป็นข้อจำกัดหนึ่งของการย่อยส่วนแบบพลวัต ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ได้ยังหยาบเกินไป ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการศึกษาที่จำเป็นต้องใช้

ข้อมูลในระดับท้องถิ่นหรือระดับสถานี เช่น การศึกษาผลกระทบด้านเกษตรกรรมและด้านอุทกวิทยา (Benestad, 2009) ดังนั้นการมีส่วนร่วมแบบพลวัตจึงควรทำร่วมกับการมีส่วนร่วมแบบสถิต (Manzanas et al., 2018; Maraun et al., 2010; Vrac et al., 2012; Yhang et al., 2017) เพื่อให้ผลที่ได้จากการมีส่วนร่วมตรงตามวัตถุประสงค์ในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

2.6 การพยากรณ์แบบชุด (Ensemble Forecasting)

การคาดการณ์สภาพอากาศเชิงตัวเลข (NWP) เป็นการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำลองบรรยากาศเพื่อพยากรณ์สภาพอากาศในอีกหลายวันข้างหน้า ค่าเริ่มต้นของแบบจำลองได้มาจากการวิเคราะห์สถานะปัจจุบันของบรรยากาศจากค่าสังเกตหรือข้อมูลล่าสุดที่ผ่านการรวบรวมจากหลายแหล่ง NWP เป็นวิธีการแบบ deterministic ที่ให้ค่าพยากรณ์ค่าเดียว ไม่มีข้อมูลที่จะสร้างความเชื่อมั่นในค่าพยากรณ์ ทั้งนี้ ค่าพยากรณ์ ความไม่แน่นอนของการพยากรณ์ หรือความสามารถในการคาดการณ์ ล้วนขึ้นกับเงื่อนไขเริ่มต้น แต่เราไม่สามารถสังเกตทุกรายละเอียดของสถานะเริ่มต้นของชั้นบรรยากาศ และสภาพอากาศก็มีความแปรปรวนสูง ข้อผิดพลาดเล็กน้อยในสถานะเริ่มต้นจะถูกขยายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้คุณภาพของการพยากรณ์ต่ำ การพยากรณ์อาจผิดพลาดมากและไม่มีสิ่งเตือนให้ทราบ ความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์นอกจากจะเป็นผลมาจากความไม่แน่นอนในเงื่อนไขเริ่มต้นแล้ว ยังเกิดจากการเลือกกำหนดค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองที่ไม่ดีพอด้วย เนื่องจากเราไม่อาจทราบเงื่อนไขเริ่มต้นอย่างแม่นยำ เพื่อให้ทราบปริมาณความไม่แน่นอนในกระบวนการพยากรณ์อากาศ ก็จะมีการใช้แบบจำลอง NWP ทำการพยากรณ์หลายครั้งแทนที่จะทำเพียงครั้งเดียว เรียกว่าระบบการคาดการณ์แบบชุด (Ensemble Prediction System, EPS) ผลที่ได้จากการใช้แบบจำลอง NWP พยากรณ์รวบรวมเป็นชุดของค่าพยากรณ์ (ensemble of forecasts) ที่ช่วยให้เราสามารถประเมินความไม่แน่นอนในการพยากรณ์อากาศรวมถึงให้ค่าพยากรณ์ที่เป็นไปได้มากที่สุด จึงให้ข้อมูลที่มีคุณค่ามากกว่าค่าพยากรณ์แบบค่าเดียว

สมาชิกของชุดค่าพยากรณ์ (ensemble member) จากวิธี EPS คือค่าพยากรณ์แต่ละค่าที่มาจากการใช้แบบจำลองแต่ละครั้งภายใต้เงื่อนไขเริ่มต้นหรือการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันเล็กน้อย เช่น กำหนดพารามิเตอร์ทางฟิสิกส์ของแบบจำลองต่างกันเล็กน้อย หรือใช้หลายแบบจำลอง ทั้งนี้ถึงแม้ว่าความแตกต่างในค่าเริ่มต้นของสมาชิกทั้งหลายจะน้อยและสอดคล้องกับค่าสังเกต เมื่อดูต่อไปในหลายวันข้างหน้า ค่าพยากรณ์อาจมีค่าต่างกันได้มาก การประมวลผลชุดค่าพยากรณ์ทำให้ทราบว่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อผลลัพธ์ของการพยากรณ์อย่างไร EPS ได้รับการออกแบบมาให้แต่ละสมาชิกถูกสุ่มตัวอย่างมาอย่างอิสระกันและมีโอกาสเกิดขึ้นเท่า ๆ กัน หากสมาชิกต่าง ๆ ใน ensemble มีค่าใกล้เคียงกันหรือ ensemble มีการกระจายน้อย จะทำให้มีความมั่นใจสูงในการ

พยากรณ์ ในทางกลับกัน ถ้าค่าต่างกันมาก แสดงว่ามีความไม่แน่นอนอยู่มากกว่าสภาพอากาศจะเป็นเช่นใด ก็จะไม่มั่นใจนักในการพยากรณ์ สมาชิกทั้งหลายของ ensemble จะให้ค่าประมาณที่แม่นยำและน่าเชื่อถือของช่วงที่เป็นไปได้ของสภาพอากาศในอนาคต และยังประมาณค่าความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ต่าง ๆ ได้ทำให้ทราบว่าค่าใดมีความเป็นไปได้มากที่สุด สำหรับตัวแปรที่แจกแจงแบบปกติ เราสามารถใช้ค่าเฉลี่ยของ ensemble เป็นค่าพยากรณ์แบบค่าเดียว ซึ่งมักจะเป็นค่าพยากรณ์ที่ดีกว่าการใช้สมาชิกใดสมาชิกหนึ่งของ ensemble และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ensemble ก็ช่วยในการประเมินความไม่แน่นอนในการพยากรณ์ นั่นคือ การพยากรณ์แบบชุดจะให้ข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์กว่าการพยากรณ์แบบค่าเดียว โดยสามารถให้ค่าพยากรณ์ในรูปความน่าจะเป็น (probabilistic forecast) เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นในการพยากรณ์

การพยากรณ์ย่อมเกิดความคลาดเคลื่อน ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (forecast error) เป็นความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตและค่าพยากรณ์ ประกอบด้วยสองส่วนคือ systematic error ซึ่งได้แก่ bias อันเนื่องมาจากแบบจำลองไม่ถูกต้อง และ random error ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดขึ้นเป็นปกติในข้อมูลใด ๆ จากความไม่แน่นอนต่าง ๆ และเป็นสิ่งที่ยากจะคาดการณ์ การใช้การพยากรณ์แบบชุดจะช่วยจัดการกับ random error เพราะแต่ละสมาชิกถือว่าได้มาจากการสุ่มตัวอย่างความไม่แน่นอนของระบบสภาพอากาศ สำหรับ systematic error หรือ bias จำเป็นต้องมีการแก้ไขเพื่อให้ค่าพยากรณ์มีความแม่นยำขึ้น World Meteorological Organization (WMO, 2021) เสนอแนะแนวทางการประมวลผลข้อมูลจาก EPS ที่เสริมหรือปรับปรุงการพยากรณ์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและค่าพยากรณ์มีคุณภาพสูงขึ้น คำแนะนำประกอบไปด้วยเรื่อง การแก้ไข bias (bias correction) การสอบเทียบกลุ่ม (ensemble calibration) และอื่น ๆ

Bias ของค่าพยากรณ์หรือผลจากแบบจำลอง NWP อาจขจัดได้โดยผ่านขั้นตอนการแก้ไข bias เมื่อมีชุดค่าพยากรณ์และค่าสังเกตในอดีต ถ้าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติและสอดคล้องกันในกลุ่มตัวอย่างทั้งหลาย เราสามารถแก้ไข bias แบบง่าย หรือใช้การถดถอยช่วยแก้ไข bias วิธีการหนึ่งที่ใช้การถดถอยเชิงเส้นและเป็นที่ยอมรับใช้คือ model output statistics (MOS) ที่หาสมการเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างค่าพยากรณ์จากแบบจำลองกับค่าสังเกต

2.6.1 การแก้ไข bias ด้วย Kalman filter

Kalman filter (Kalman, 1960) เป็นการแก้ไข deterministic bias แบบง่ายวิธีหนึ่งที่ใช้แก้ไขค่าพยากรณ์แต่ละค่าใน ensemble หรือปรับค่าเฉลี่ยของ ensemble โดยเหมาะกับตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียงแบบปกติ และตัวแปรที่มีค่า systematic error ค่อนข้างใหญ่

เมื่อเทียบกับ random error วิธีนี้ให้ผลดีในการปรับตัวแปรอุณหภูมิพื้นผิว ความกดอากาศ และลม
ชั้นตอนมีดังนี้

- 1) สร้างค่าพยากรณ์ $F_c(t)$ ที่แก้ไข bias แล้ว ณ เวลา t :

$$F_c(t) = F(t) - B(t) \quad (2.4)$$

เมื่อ $F(t)$ เป็นค่าพยากรณ์ ณ เวลา t และ $B(t)$ เป็นค่าประมาณของ bias เมื่อเริ่ม
ชั้นตอน มักจะกำหนดให้ $B(t)$ มีค่า 0.0

- 2) คำนวณค่า forecast bias ล่าสุด: เมื่อมีค่าสังเกตใหม่ของเวลา t , $O(t)$, จะคำนวณ
sample forecast bias $b(t)$ ดังนี้

$$b(t) = F(t) - O(t) \quad (2.5)$$

- 3) อัปเดตค่าประมาณ bias:

$$B(t + 1) = (1 - w)B(t) + wb(t) \quad (2.6)$$

ค่าประมาณ bias ณ เวลา $t+1$ เป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าประมาณ bias ณ เวลา
ก่อนหน้าและค่าประมาณ bias จากตัวอย่าง โดย w เป็นค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนัก

น้ำหนัก w เป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมลักษณะของ bias สะสม $B(t)$ ค่า w ที่เหมาะสมที่สุด
มักได้จากการลองผิดลองถูกและอยู่ที่ความสำคัญที่ให้กับข้อมูลที่ผ่านมา ค่า w ที่มาก ทำให้
ค่าประมาณ bias สะท้อนถึงข้อมูลล่าสุดมาก ซึ่งเหมาะสมหาก bias ค่อนข้างสอดคล้องกันในแต่ละ
วัน และมีลักษณะขึ้นกับฤดูกาลบ้าง ค่า w ที่น้อยจะให้น้ำหนักที่มากแก่ข้อมูลในอดีต ซึ่งจะเหมาะสม
ถ้ามีการใช้ตัวอย่างขนาดใหญ่สำหรับประมาณ bias และ/หรือ bias ไม่ค่อยขึ้นอยู่กัฤดูกาล ในทาง
ปฏิบัติ w ที่เหมาะสมที่สุดอาจเป็นฟังก์ชันของตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ ระยะเวลาที่คาดการณ์
ล่วงหน้า (forecast lead time) สถานที่หรือฤดูกาล เป็นต้น ค่าที่นิยมใช้คือ $w=0.02$ (Cui et al.,
2012) เป็นการใช้อัตราส่วนล่าสุดประมาณ 50–80 วันในการประมาณ bias ส่วนข้อมูลที่เก่ากว่านั้นจะ
ไม่มีน้ำหนักมากนัก

ข้อดีของวิธีการแก้ไข bias แบบ Kalman filter คือคำนวณง่าย และไม่จำเป็นต้องจัดเก็บชุด
ค่าพยากรณ์ก่อนหน้า หรือข้อมูล training เป็นเวลานาน เพียงแต่บันทึกค่าประมาณ $B(t)$ ของวันหรือ
เวลาก่อนหน้าเท่านั้น และยังลดค่า mean absolute errors ได้มาก อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับ
กรณีที่มีชุดข้อมูล training ยาวมาก เช่น การพยากรณ์หลายทศวรรษ นอกจากนี้ ยังไม่ใช่วิธีการที่ควร
ใช้กรณีตัวแปรไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ เช่น ปริมาณน้ำฝน

2.6.2 วิธี model output statistics (MOS) แบบ deterministic

วิธีแก้ไข bias นี้ใช้การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อแก้ไขทั้ง bias โดยรวมและ bias ที่ขึ้นกับ state (เช่น bias ในการพยากรณ์อุณหภูมิ ที่มีค่าเป็นบวกเมื่ออากาศอบอุ่น และมีค่าเป็นลบเมื่ออากาศเย็น) วิธีการ MOS จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์กับตัวแปรที่เป็นผลจากแบบจำลอง NWP ด้วยการสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพหุในรูป

$$F_c(t) = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i X_i(t) \quad (2.7)$$

โดยที่ $F_c(t)$ คือค่าพยากรณ์ที่แก้ไข bias แล้ว และ $X_i(t)$, $i=1, \dots, p$, คือชุดของตัวแปรที่ใช้คาดการณ์ที่ได้จากแบบจำลอง NWP ณ เวลา t ส่วนพารามิเตอร์ β_0 และ β_i , $i=1, \dots, p$ ได้จากการประมาณด้วยวิธีความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยที่สุด (least squares method)

นอกจากการแก้ไข bias อันเนื่องมาจาก model errors ด้วยสมการ 2.7 เรายังสามารถทำการพยากรณ์ในรูปความน่าจะเป็นหรือหาช่วงความเชื่อมั่นของค่าพยากรณ์ หากมีการประมาณการแจกแจงของค่าพยากรณ์ที่แก้ไขแล้ว ซึ่งโดยมากมักใช้การแจกแจงแบบปกติ หรืออาจปรับค่าแต่ละสมาชิกของ ensemble แยกกัน

การขยายแนวคิด MOS ไปใช้กับ ensemble forecasts ช่วยให้ทราบถึงความผันแปรของความไม่แน่นอนโดยพิจารณาจากความผันแปรที่เห็นได้จากการกระจายของค่าใน ensemble อย่างไรก็ตาม แม้ว่าวิธี MOS จะเป็นวิธีที่ดี แต่ก็ไม่เหมาะสมเมื่อชุดข้อมูลมีการแจกแจงที่ต่างจากการแจกแจงแบบปกติมาก เช่น ปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง แนวทางอื่นที่เป็นไปได้คือ การแปลงข้อมูลเพื่อการแจกแจงใกล้เคียงแบบปกติ หรือใช้การแจกแจงแบบอื่น ได้แก่ ลอจิสติก แกมมา หรือ generalized extreme value หรืออาจจะผสมใช้หลายการแจกแจง หรือใช้ truncated distribution

สองวิธีที่กล่าวข้างต้นสามารถประยุกต์ใช้ได้กับ ensemble mean หรือแต่ละสมาชิกของ ensemble แต่มีข้อควรระวังหากจะแก้ไขสมาชิกของ ensemble แต่ละตัวแยกกัน ทั้งนี้เพราะการกระจายของ ensemble โดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นตาม lead time ของการพยากรณ์ที่เพิ่มขึ้น การแก้ไข bias ของค่าพยากรณ์ตามสมการ 2.4 ถึง 2.7 เป็นการแก้ไข systematic errors แต่ทว่าข้อมูลที่นำมาใช้ในการปรับค่าพยากรณ์ก็มี random errors ด้วย ซึ่งจะมีค่ามากขึ้นตาม lead time ของการพยากรณ์เช่นกัน การประยุกต์ขั้นตอน MOS กับแต่ละสมาชิกของ ensemble เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เป็นการลดอิทธิพลของ random errors ให้น้อยที่สุด ถ้าเทคนิคดังกล่าวถูกนำไปใช้กับสมาชิกทุกค่าใน ensemble อย่างอิสระกัน สมาชิกใน ensemble ที่ผ่านการแก้ไขด้วยการถดถอยก็จะมีกระจายที่ลดลงมาก ซึ่งทำให้ ensemble ไม่แสดงให้เห็น random errors ที่แท้จริง

การแก้ปัญหาเพื่อให้การกระจายในค่าพยากรณ์จาก EPS คงเดิมมีหลายทางเลือก เช่น การใช้วิธี perfect prog หรือ แทนการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ก็ปรับเปลี่ยน cost function และกำหนดข้อจำกัดเพื่อแก้ไขเรื่องการกระจายของ ensemble พร้อมกับค่าเฉลี่ย (Vannitsem, 2009; Van Schaeybroeck and Vannitsem, 2015)

วิธีการอื่นที่ปรับการแจกแจงของทั้ง ensemble แทนที่จะจัดการกับแต่ละสมาชิกของ ensemble จะกล่าวถึงในส่วนที่ 2.6.3

2.6.3 วิธี ensemble calibration

เนื่องจาก raw ensemble forecasts มักมีการกระจายน้อย ทำให้มีความมั่นใจในการพยากรณ์มากเกินไป โดยคิดว่าพยากรณ์ได้แม่นยำ ฉะนั้น เมื่อ ensemble ไม่ค่อยน่าเชื่อถือ การแก้ไขเพียงค่า bias เฉลี่ยไม่เพียงพอ ควรต้องแก้ไขเรื่องการกระจายด้วย เพื่อให้สามารถคาดการณ์ความไม่แน่นอนได้ดีขึ้น วิธีการแก้ไขอาจซับซ้อนขึ้นเล็กน้อย โดยจะสร้างฟังก์ชันความน่าจะเป็นหนาแน่น (probability density function: PDF) และใช้สมการคาดการณ์ค่าเฉลี่ยและการกระจาย (ซึ่งวัดด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ensemble เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย) วิธีการปรับแก้ไขทั้งค่าเฉลี่ยและการกระจายของ ensemble ที่นิยมใช้มีดังต่อไปนี้

Ensemble model output statistics

ระบบพยากรณ์แบบชุดที่ดีควรสามารถแสดงได้อย่างแม่นยำเรื่องความไม่แน่นอนของการพยากรณ์อันเป็นผลจากความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองและเงื่อนไขเริ่มต้นที่เราไม่สามารถทราบได้แน่ชัด ชุดค่าพยากรณ์ที่แคบหรือกระจายน้อย ซึ่งหมายถึงมีความเชื่อมั่นสูงในการพยากรณ์ โดยเฉลี่ยแล้วก็ควรมี forecast errors น้อยกว่าชุดค่าพยากรณ์ที่กว้างมาก ซึ่งบ่งบอกถึงความเชื่อมั่นต่ำในการพยากรณ์ ดังนั้นจึงมีการขยายวิธี MOS ให้ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายของ ensemble โดยจะแก้ไขทั้งค่าเฉลี่ยและการกระจาย การปรับการแจกแจงความน่าจะเป็นให้เหมาะสมกับชุดค่าพยากรณ์ (ensemble of forecasts) ลักษณะนี้มักถูกเรียกว่า ensemble MOS (EMOS)

วิธี EMOS ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งคือ non-homogeneous Gaussian regression (NGR) (Jewson et al., 2004; Gneiting, 2005; Wilks, 2018) เราไม่สามารถคาดหวังได้ว่าความสอดคล้องหรือสัมพันธ์ระหว่างการกระจายของ ensemble และ forecast error จะสมบูรณ์แบบ เพราะความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ทั้งจาก model errors และความผันแปรตามธรรมชาติ แต่ก็สมเหตุสมผลที่จะสมมติว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นอยู่ ดังนั้นจึงอาจใช้การถดถอยในการปรับเทียบทั้ง ensemble mean และ ensemble spread วิธี NGR แสดงให้เห็นว่า การ

คาดการณ์ในรูปแบบความน่าจะเป็นที่คำนึงถึงการกระจายของ ensemble ที่แตกต่างกันไปในแต่ละกรณี สามารถให้ skill score ที่ดีกว่าวิธี MOS ที่ปรับเพียงค่าเฉลี่ยของ ensemble NGR มีข้อสมมติว่าค่าสังเกตมีการแจกแจงแบบปกติ จึงใช้ค่าพยากรณ์ที่ผ่านมาและค่าสังเกตในอดีต (ข้อมูล training) สร้างการแจกแจงแบบปกติที่เหมาะสมกับชุดสมาชิกของ ensemble โดยมีค่าเฉลี่ยที่ถดถอยเชิงเส้นกับค่าเฉลี่ยของ ensemble และความแปรปรวนที่เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของความแปรปรวนของ ensemble ดังนี้

สมมติ X_1, X_2, \dots, X_m เป็นชุดของค่าพยากรณ์สำหรับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ Y สมการถดถอยเชิงเส้นพหุสำหรับ Y เขียนได้ในรูป

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon \quad (2.8)$$

เมื่อ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ เป็นสัมประสิทธิ์การถดถอย และ ε เป็นความคลาดเคลื่อนที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และความแปรปรวนคือ

$$\text{Var}(\varepsilon) = a + bS^2 \quad (2.9)$$

เมื่อ S^2 เป็นความแปรปรวนของ ensemble ส่วน a และ b เป็นสัมประสิทธิ์ที่มีค่าไม่เป็นลบ

ทั้งนี้ แทนการกำหนดให้ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของความแปรปรวนของ ensemble ก็อาจให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของความคลาดเคลื่อนเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ensemble

$$SD(\varepsilon) = a + bS \quad (2.10)$$

NGR ใช้ได้ดีมากกับตัวแปรที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบปกติ เช่น อุณหภูมิ สำหรับตัวแปรอื่น ควรใช้การแจกแจงแบบอื่น เช่น ความเร็วลมใช้การแจกแจงแบบ log-normal หรือปริมาณน้ำฝน ใช้การแจกแจงแบบ generalized extreme value เป็นต้น (Scheuerer, 2013)

Bayesian model averaging

Bayesian model averaging (BMA) เป็นการรวมชุดของโมเดลหรือการแจกแจงความน่าจะเป็นของสมาชิกต่าง ๆ ของ ensemble เพื่อสร้างการแจกแจงความน่าจะเป็นสำหรับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ (Wilks, 2018) การแจกแจงที่ปรับแก้จะอยู่ในรูปผลรวมถ่วงน้ำหนักของการแจกแจงความน่าจะเป็นของ m สมาชิก ตามสมการต่อไปนี้

$$f(F_c(t)) = \sum_{i=1}^m w_i f_i(X_i(t)) \quad (2.11)$$

โดยที่ w_i เป็นน้ำหนักที่ให้การแจกแจง f_i ของสมาชิกที่ i ของ ensemble, $X_i(t)$, $i=1, \dots, m$ และผลรวมของน้ำหนักเป็น 1 ดังนั้น w_i จึงเหมือนกับความน่าจะเป็นที่ f_i จะเป็นการแจกแจงที่แท้จริง

BMA ใช้ประโยชน์จากค่าพยากรณ์ที่ผ่านมากับค่าสังเกตที่มีอยู่ในการกำหนดน้ำหนักและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแต่ละการแจกแจง รวมทั้งมีการแก้ไข bias และการกระจาย ผลจาก BMA ตามสมการ 2.11 คือการแจกแจงแบบต่อเนื่องที่สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ อย่างไรก็ตาม แนวทาง BMA จะไม่มีประโยชน์นักเมื่อมีโมเดลใดโมเดลหนึ่งดีกว่าโมเดลอื่นมาก ๆ

นอกจากวิธีการที่กล่าวไปข้างต้น ก็ยังมีอีกหลายวิธีที่มีการนำมาใช้ในการประมวลผลชุดค่าพยากรณ์ แต่การใช้งานอาจมีความซับซ้อนหรือยุ่งยากมากขึ้น ตัวอย่างเช่น การแก้ไข bias ด้วยวิธี quantile mapping เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการจัดการกับ bias ที่ขึ้นกับระดับค่าของตัวแปรที่จะพยากรณ์ (Hamill and Scheuerer, 2018) โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสมาชิกแต่ละตัวของ ensemble วิธี ensemble learning ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในกลุ่มของวิธี machine learning เป็นการรวมเอาข้อมูลเชิงลึกที่ได้จากหลากหลายแบบจำลองผสมกันเพื่อช่วยให้การตัดสินใจถูกต้องและดีขึ้น เทคนิคของ ensemble learning ที่ใช้ในเรื่องของการจำแนกประเภทและการถดถอย คือการสร้าง random forest ที่ประกอบด้วย decision trees ต่าง ๆ การเฉลี่ยค่าพยากรณ์จาก trees ทั้งหมดใน forest จะทำให้การคาดการณ์แม่นยำขึ้น วิธี ensemble learning ช่วยแก้ปัญหारेื่องการกระจายที่ต่ำกว่าที่ควรของ ensemble และยังสามารถระบุและแก้ไข bias ที่ไม่ใช่เชิงเส้น (Loken et al., 2019) แต่่ววิธีนี้มีข้อกำหนดเกี่ยวกับข้อมูลที่ต้องมีจำนวนมากสำหรับใช้ training และทดสอบ

โดยทั่วไป การพยากรณ์แบบชุดที่เป็นผลจากการรวมค่าพยากรณ์จากหลายแบบจำลองจะดีกว่าการใช้แบบจำลองเดี่ยว แบบจำลองเหล่านั้นอาจมาจากวิธีการพยากรณ์แบบเดียวกันแต่ภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน หรืออาจใช้วิธีการพยากรณ์คนละวิธีการก็ได้ ทั้งนี้สิ่งสำคัญคือแต่ละแบบจำลองต้องเป็นอิสระกัน

2.7 การพยากรณ์ฝนรายเดือนและรายฤดูกาลในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา

การพยากรณ์สภาพภูมิอากาศและสภาพเชิงอุตุ-อุทกวิทยา เช่น อุณหภูมิ ปริมาณฝน และปริมาณน้ำท่า เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการปฏิบัติงาน การวางแผน และการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำและทรัพยากรน้ำตามแหล่งน้ำต่าง ๆ ทุกประเทศทั่วโลกต่างพยายามศึกษาและพัฒนาแบบจำลองหรือระบบที่มีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือสำหรับการพยากรณ์สภาพทางอุตุ-อุทกวิทยาในพื้นที่ศึกษาที่สนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันที่ปัญหาหรือผลกระทบของสภาพภูมิอากาศที่ความรุนแรงมากขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดภัยพิบัติทั้งภัยแล้ง อุทกภัย และภัยธรรมชาติอื่น ๆ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (climate change) ส่งผลให้การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำมีความยุ่งยากและ

ซับซ้อนมากขึ้น ผลการพยากรณ์สภาพทางอุตุนิยมวิทยาได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการวางแผน และกำหนดทิศทางในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ตลอดจนช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการ ปฏิบัติงานของหลายหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองการพยากรณ์จึงมี ความจำเป็นมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้การพยากรณ์แบ่งเป็นหลายช่วงระยะเวลา เช่น การพยากรณ์ระยะสั้น (แบบรายชั่วโมงและรายวัน) การพยากรณ์ระยะกลาง (แบบรายสัปดาห์) และการพยากรณ์ระยะยาว (แบบรายเดือน รายฤดูกาล และรายปี) โดยขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการนำผลการพยากรณ์ไป ประยุกต์ใช้ การพยากรณ์แบบรายเดือนและรายฤดูกาล (ได้แก่ ราย 3 เดือน หรือ 6 เดือน) มี วัตถุประสงค์เพื่อนำผลการพยากรณ์ไปใช้ในการวางแผน กำหนดแนวทางการปฏิบัติงาน และเป็น ข้อมูลประกอบการตัดสินใจในหลาย ๆ ด้าน เช่น ด้านการบริหารจัดการแหล่งน้ำ ด้านความมั่นคงทาง อาหาร และด้านการจัดการพื้นที่ชายฝั่งทะเล เป็นต้น

การพยากรณ์แบบรายเดือน

การพยากรณ์แบบรายเดือน เช่น ปริมาณฝนสะสมรายเดือน มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ผลการ พยากรณ์เป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนด้านการเกษตร การวางแผนรับมือกับภัยพิบัติต่าง ๆ และการ จัดการระบบสาธารณสุขภาคด้านการใช้น้ำ เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากระบบภูมิอากาศมี ความสัมพันธ์หมุนเวียนต่อเนื่องกันเป็นวัฏจักร การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศใน พื้นที่ศึกษาและตัวแปรภูมิอากาศโลก เช่น อุณหภูมิผิวน้ำในมหาสมุทรแปซิฟิก หรือดัชนีชี้วัด ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศโลก เช่น Indian Ocean Dipole (IOD) index และ El Niño-Southern Oscillation (ENSO) index ทำให้เข้าใจถึงความแปรปรวนหรือการเปลี่ยนแปลงของ สภาพอากาศในพื้นที่ศึกษานั้น ๆ มากขึ้น (Chaowiwat and Koontanakulvong, 2016; Singhrattna et al., 2005a; Singhrattna et al., 2005b; Singhrattna et al., 2012; Weesakul et al., 2013) ทั้งนี้จากการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่า ความผิดปกติของสภาพภูมิอากาศโลก ส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศในระดับภูมิภาคหรือระดับท้องถิ่น ทั้งในเชิงอุณหภูมิ (Gershunov, 1998; Pavia et al., 2006) ปริมาณฝนหรือปริมาณหยาดน้ำฟ้า (Chaowiwat and Koontanakulvong, 2016; Harshburger et al., 2002; Imada et al., 2015; Kim et al., 2006; Mason and Goddard, 2001) และปริมาณน้ำท่า (Shrestha and Kostaschuk, 2005) นอกจากนี้ การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (climate change) ต่อสภาพ ภูมิอากาศในภูมิภาคหรือในท้องถิ่นซึ่งเป็นการคาดการณ์แบบล่วงหน้าระยะยาว (climate projection) หรือคาดการณ์ล่วงหน้า 10-100 ปี ก็เป็นหัวข้อที่หลายหน่วยงานหรือนักวิจัยหลายคน ให้ความสนใจ (เจียมใจ เครือสุวรรณ, 2553; นงศ์นาถ อุประสิทธิ์วงศ์, 2544; วนิดา สุขสุวรรณ, 2550; Singhrattna and Babel, 2011) การคาดการณ์แบบล่วงหน้าระยะยาวมีความจำเป็นอย่าง

ยิ่งต่อการกำหนดนโยบายและทิศทางสำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ อย่างไรก็ตาม แบบจำลองการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศโลก (GCM) นั้นมีอยู่หลายแบบจำลอง ซึ่งอยู่ภายใต้การดำเนินงานของหลากหลายหน่วยงาน และสมมติฐานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (representative concentration pathway: RCP) มีหลายรูปแบบ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ GCM และการนำผลการคาดการณ์จาก GCM มาประยุกต์ใช้เฉพาะในพื้นที่ศึกษา จึงต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์ เพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเลือกใช้ผลคาดการณ์ของ GCM ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่ศึกษานั้น ๆ Supharatid (2016) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ GCM จาก Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) จำนวน 2 แบบ ได้แก่ CMIP3 และ CMIP5 ในการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนในประเทศไทย โดยอาศัยข้อมูลปริมาณฝนตั้งแต่ ค.ศ. 1980-1999 จากสถานีตรวจวัด จำนวน 83 แห่ง ผลการประเมินประสิทธิภาพของ CMIP3 และ CMIP5 พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนรายเดือนในภาคตะวันตกเฉียงใต้และภาคตะวันออกของประเทศไทย ที่ได้จาก CMIP3 และ CMIP5 ต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด ทั้งนี้ CMIP ทั้งสองแบบไม่สามารถรักษาความแปรปรวนของปริมาณฝนรายเดือนของประเทศไทยไว้ได้ ซึ่งอาจเกิดจากอิทธิพลของลักษณะภูมิประเทศที่มีความซับซ้อนและแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ รวมทั้งความแตกต่างของกระบวนการระหว่างพื้นดินและทะเล (Chen and Dudhia, 2001) เมื่อพิจารณาการคาดการณ์ปริมาณฝนรายปีในประเทศไทย GCM ที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง ได้แก่ nested regional climate model (NRCM) ซึ่งวิเคราะห์ภายใต้ RCP8.5 โดยแสดงค่า coefficient of determination (R^2) ระหว่างผลคาดการณ์จาก NRCM และปริมาณฝนตรวจวัดเป็น 0.94-0.97 เมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนตั้งแต่ ค.ศ. 1990-1999 จากสถานีตรวจวัดในประเทศไทย จำนวน 44 แห่ง (Amnuaylojaroen, 2021) การศึกษาดังกล่าวชี้ว่า ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกจะทำให้ปริมาณฝนสะสมรายปีในประเทศไทยในช่วง ค.ศ. 2020-2029 มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงด้วยอัตรา 100-200 มม. ต่อทศวรรษ จำนวนวันที่ฝนตกต่อปีและจำนวนวันที่ฝนตกต่อเนื่องมีแนวโน้มลดลงในบริเวณพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ ทั้งนี้จำนวนวันที่ฝนตกต่อเนื่องในภาคกลาง ภาคใต้ และภาคตะวันออก มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญในเชิงสถิติ ซึ่งเป็นไปตามลักษณะภูมิประเทศ

สำหรับลุ่มน้ำเจ้าพระยา การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่า กล่าวคือ ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำเจ้าพระยาในอนาคตจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น (Ligaray et al., 2015; Watanabe et al., 2014) ผลการคาดการณ์แบบลุ่มน้ำระยะยาวตั้งแต่ ค.ศ. 2080-2099 พบว่า ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำเจ้าพระยาโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือน ก.ย. จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นประมาณ 60-90% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าใน ค.ศ. 1980-1999 (Watanabe et al., 2014) เมื่อวิเคราะห์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกแบบ RCP8.5 (IPCC, 2014) การวิเคราะห์ดังกล่าวใช้ข้อมูลนำเข้า ได้แก่ อุณหภูมิรายวัน ปริมาณฝน long- และ short-wave radiation

ความชื้นจำเพาะ ความดันระดับพื้นผิว และความเร็วมวล ที่เป็นผลการคาดการณ์ในช่วง ค.ศ. 2080-2099 จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCM) จำนวน 9 แบบจำลอง ในทำนองเดียวกัน Ligaray et al. (2015) พบว่า ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำเจ้าพระยาในช่วง ค.ศ. 2050-2059 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น คิดเป็น 72.3% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าในปีอ้างอิง ได้แก่ ค.ศ. 2003-2011 โดยปริมาณน้ำท่าในช่วงต้นเดือน พ.ค. หรือช่วงก่อนฤดูมรสุมจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยประมาณ 22.7% แต่ปริมาณน้ำท่าในช่วงหลังจากเดือน พ.ค. หรือช่วงฤดูมรสุมจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมาก คิดเป็น 70.1% ของปริมาณน้ำท่าในปีอ้างอิง ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง SWAT โดยประสิทธิภาพของแบบจำลองประเมินด้วยดัชนี 3 ตัว ได้แก่ R^2 , Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) และ RMSE ทั้งนี้ประสิทธิภาพของ SWAT ที่พัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำท่ารายเดือนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดย $R^2 = 0.81-0.89$, $NSE = 0.54-0.66$ และ $RMSE = 2,546-3,022$ ลูกบาศก์เมตร/วินาที

สำหรับการพยากรณ์ปริมาณฝนรายเดือนพบว่า การประยุกต์ใช้แบบจำลองที่อาศัยเทคนิคเชิงสถิติต่าง ๆ นั้นมีอยู่หลากหลายวิธี เช่น วิธีอัตราส่วนต่อแนวโน้ม (ratio-to-trend method) วิธีแยกส่วนประกอบ (decomposition method) เทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบ Box-Jenkins เทคนิคการปรับให้เรียบด้วย Holt-Winters exponential smoothing method และวิธีการพยากรณ์ร่วม (combined forecasting method) เป็นต้น นักวิจัยพยายามศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อเลือกใช้วิธีหรือเทคนิคเชิงสถิติที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์แบบรายเดือนสำหรับพื้นที่ศึกษาแต่ละแห่ง (นิภาดา พากักดี และคณะ, 2562; Nansaior, 1999; Wichitarapongsakun et al., 2016) สำหรับการพยากรณ์ปริมาณฝนรายเดือนในลุ่มน้ำสะแกกรังซึ่งเป็นลุ่มน้ำสำคัญในภาคกลาง และเป็นลุ่มน้ำที่มีระบบต่อเนื่องกับลุ่มน้ำเจ้าพระยา Wichitarapongsakun et al. (2016) ได้ศึกษาแบบจำลองที่ประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลาและการพยากรณ์ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ single moving average, simple exponential smoothing และ double exponential smoothing หรือ Holt's model โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้ง 3 วิธี ด้วยค่า minimum mean percentage error (MPE) วิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ปริมาณฝนรายเดือนในลุ่มน้ำสะแกกรัง ซึ่งสอดคล้องกับค่า MPE ที่ต่ำที่สุด (MPE = 28%) คือ simple exponential smoothing และวิธีที่เหมาะสมรองลงมาคือ double exponential smoothing ซึ่งสอดคล้องกับค่า MPE ที่ 31% นอกจากนี้ Wichitarapongsakun et al. (2016) ยังศึกษาและวิเคราะห์เหตุการณ์ภัยแล้งในลุ่มน้ำสะแกกรังด้วยดัชนีฝนมาตรฐานหรือ standardized precipitation index (SPI) (McKee et al., 1993; WMO, 2012) และพบว่า ตั้งแต่ ค.ศ. 1970-2015 ลุ่มน้ำดังกล่าวไม่ปรากฏแนวโน้มการเกิดภัยแล้งที่ชัดเจน โดยใน ค.ศ. 2015 ลุ่มน้ำสาขาสะแกกรังตอนล่าง 1 เกิดเหตุภัยแล้งในระดับรุนแรงปานกลาง (SPI = -1.01) และเหตุภัยแล้งในระดับรุนแรงน้อยสามารถพบได้ในลุ่มน้ำ

สาขา ได้แก่ กลุ่มน้ำสาขาน้ำแมวก (SPI = -0.97) กลุ่มน้ำสาขาสะแกกรังตอนล่าง 2 (SPI = -0.91) กลุ่มน้ำสาขาคลองโพธิ์ (SPI = -0.57) และกลุ่มน้ำสาขาห้วยทับเสลา (SPI = -0.32)

สำหรับกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน Weesakul et al. (2021) ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ปริมาณฝนรายเดือนแบบล่วงหน้า 1 ปี ในลุ่มน้ำปิง ด้วยเทคนิค deep neural network (DNN) และประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย stochastic efficiency (SE) และ correlation coefficient (r) โดยใช้ข้อมูลใน ค.ศ. 2009-2018 ในการประเมินประสิทธิภาพ และพบว่า เมื่อพยากรณ์ปริมาณฝนล่วงหน้า 1 ปี ประสิทธิภาพของแบบจำลองคือ SE = 58.3-71.7 และ r = 0.59-0.82 ทั้งนี้แบบจำลองมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เมื่อพยากรณ์ล่วงหน้า 1 เดือน โดย SE = 68.3-79.2 และ r = 0.68-0.80 และเมื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยการเลือกชุดข้อมูลนำเข้าด้วยวิธีการกรอง (filter approach) วิธีดังกล่าวสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลอง ที่อาศัยเทคนิค DNN ในการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 ปี คือมีค่า SE = 69.2-77.5 และ r = 0.75-0.82

การพยากรณ์แบบรายฤดูกาล

การศึกษาและพยากรณ์แบบรายฤดูกาล ได้แก่ ราย 3-6 เดือน สามารถสะท้อนให้เห็นถึงภาพรวมในอนาคตของสภาพอุตุ-อุทกวิทยาของกลุ่มน้ำศึกษาในช่วงฤดูที่สนใจ ผลการคาดการณ์สามารถแสดงแนวโน้มของความแปรปรวนของสภาพอุตุ-อุทกวิทยาในช่วงฤดูนั้น ๆ อันเป็นสัญญาณเตือนล่วงหน้าของการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ ทำให้การบริหารจัดการ การวางแผน และการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการพัฒนาและการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศ สำหรับประเทศไทย ความแปรปรวนของปริมาณฝนในฤดูแล้งส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจในหลายภูมิภาคของประเทศ เมื่อพิจารณาจากผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (gross provincial product) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดในภาคใต้และภาคกลาง รวมถึงกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ได้รับผลกระทบจากปริมาณฝนในฤดูแล้งมากที่สุด นอกจากนี้ความแปรปรวนของปริมาณฝนในช่วงฤดูฝนส่งผลกระทบต่อพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้เท่านั้น (Sangkhaphan and Shu, 2020) ดังนั้นการพัฒนาระบบการพยากรณ์แบบรายฤดูกาลที่มีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือ รวมถึงการศึกษาผลกระทบระยะยาวของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อสภาพอุตุ-อุทกในประเทศไทย ย่อมช่วยเพิ่มศักยภาพในการพัฒนาและการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจของประเทศ รวมทั้งสามารถสร้างความมั่นใจในเสถียรภาพทางการรับมือกับภัยพิบัติทางธรรมชาติ หรือการลดผลกระทบและลดความเสียหายอันอาจเกิดขึ้นจากภัยพิบัติต่าง ๆ

เนื่องจากสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาแสดงความสัมพันธ์เชิงสถิติแบบมีนัยสำคัญกับตัวแปรภูมิอากาศโลกในบริเวณพื้นที่ต่อเนื่องหรือพื้นที่ใกล้เคียง รวมทั้งบริเวณพื้นที่ที่ห่างไกลกัน ซึ่งแสดง

ถึงอิทธิพลของการเชื่อมต่อแบบระยะไกล (teleconnection) ของระบบอากาศ (Babel et al., 2017; Gerlitz et al., 2016; Hui et al., 2007; Korecha and Sorteberg, 2013; Singhrattna et al., 2012; Ye et al., 2015) การพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์จึงอาศัยผลจากการระบุตัวแปรภูมิอากาศโลกที่มีอิทธิพลและสอดคล้องกับความสัมพันธ์แบบเลื่อนเวลา สำหรับการพยากรณ์สภาพอุตุ-อุทกวิทยาในภูมิภาคหรือในพื้นที่ศึกษา โดยพัฒนาทั้งแบบจำลองเชิงสถิติ (statistical model) (Chen and Georgakakos, 2015; Diro et al., 2011; Funk et al., 2014; González and Cariaga, 2009) และแบบจำลองเชิงพลวัต (dynamical model) (Bahaga et al., 2016; MacLeod, 2018; Walker et al., 2019) ซึ่งรวมถึงการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ปริมาณฝนรายฤดูกาลในกลุ่มน้ำศึกษาต่าง ๆ ในประเทศไทย (เปรม รังสิวณิชพงศ์ และคณะ, 2558; Chaowiwat and Koontanakulvong, 2016; Weesakul et al., 2016)

สำหรับลุ่มน้ำปิง ตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ถูกระบุว่าเป็นตัวแปรในการพยากรณ์ (predictor) ที่เหมาะสมที่สุดจากตัวแปรทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบจำนวน 8 ตัว เมื่อวิเคราะห์ด้วย variable ranking method คือ อุณหภูมิ ความกดอากาศ และความเร็วลม ซึ่งครอบคลุมบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก มหาสมุทรอินเดีย และทะเลจีนใต้ (Babel et al., 2017)

สำหรับลุ่มน้ำเจ้าพระยา ภัยทางธรรมชาติทั้งภัยแล้งและอุทกภัยที่เกิดขึ้นทุกปีตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อพื้นที่เกษตรกรรมในลุ่มน้ำ และก่อให้เกิดความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจของประเทศ จึงทำให้เกิดความจำเป็นอย่างเร่งด่วนที่ต้องกำหนดนโยบายหรือมาตรการที่จะสามารถบรรเทาความเดือดร้อนหรือลดผลกระทบจากภัยพิบัติต่าง ๆ รวมทั้งการเร่งพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบการพยากรณ์ด้านอุตุนิมวิทยาเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด Chaowiwat and Koontanakulvong (2016) ศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเลื่อนเวลาระหว่างปริมาณฝนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาและอุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเล (sea surface temperature: SST) ด้วยวิธี spectral analysis โดยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ปริมาณฝนรายฤดูกาลที่ใช้ดัชนีชี้วัดความผิดปกติของ SST เป็นตัวแปรในการพยากรณ์ จากผลการศึกษาดังกล่าวพบว่า ดัชนีที่แสดงความผิดปกติของ SST ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดปรากฏการณ์ ENSO หรือ NINO3.4 แสดงความสัมพันธ์แบบเลื่อนเวลากับปริมาณฝนรายเดือนในลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ระยะเวลา 2-3 เดือน ในขณะที่ดัชนีที่แสดงความแปรปรวนของ SST ในมหาสมุทรอินเดียแถบเส้นศูนย์สูตร (IOD) ที่มีอิทธิพลต่อสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยหรือ Dipole Mode Index (DMI) แสดงความสัมพันธ์แบบเลื่อนเวลาที่ระยะเวลา 1-2 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Puttrawutichai et al. (2017) ที่ศึกษาความสัมพันธ์แบบเลื่อนเวลาระหว่างปริมาณฝนในช่วงฤดูฝนหรือช่วงเดือน ส.ค.-ต.ค. ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ซึ่งเป็นปริมาณฝนเฉลี่ยในภาคเหนือและภาคกลางของประเทศไทย และดัชนีแสดงความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศโลกจำนวน 2 ตัว ได้แก่ DMI และ Southern Oscillation Index

(SOI) ซึ่งเป็นดัชนีที่แสดงความแปรปรวนของระบบอากาศในซีกโลกใต้ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ El Niño/La Niña ในมหาสมุทรแปซิฟิก การศึกษาดังกล่าวอาศัยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติ และทดสอบค่า r ด้วย t -distribution ที่ระดับความน่าเชื่อถือไม่น้อยกว่า 95% ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณฝนในช่วงฤดูฝนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีความสัมพันธ์เชิงสถิติในระดับปานกลางกับ SOI ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบทิศทางเดียวกัน โดย $r = 0.21$ สำหรับภาคเหนือ และ $r = 0.33$ สำหรับภาคกลาง แต่ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับ DMI ยังไม่สามารถสรุปหรือพิสูจน์ให้เห็นได้อย่างชัดเจน ดังนั้นการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ปริมาณฝนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ในช่วงเดือน ส.ค.-ต.ค. สามารถใช้ SOI เป็นตัวแปรในการพยากรณ์ได้ แต่แบบจำลองพยากรณ์อาจมีประสิทธิภาพลดลงในการคาดการณ์สภาพอากาศแบบสุดโต่ง (extreme event)

การพัฒนาเครื่องมือทางคณิตศาสตร์หรือแบบจำลองพยากรณ์แบบรายฤดูกาลในประเทศไทย ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต่อเนื่องจากการระบุตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ใช้ในแบบจำลองการพยากรณ์ อาทิ เทคนิคหรือวิธีการหลายรูปแบบ เช่น การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมหรือ artificial neural networks (ANN) ในการพยากรณ์ปริมาณฝนราย 3 เดือน หรือรายฤดูกาลในลุ่มน้ำปิง โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศและความเร็วลม ซึ่งครอบคลุมบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก มหาสมุทรอินเดีย และทะเลจีนใต้ เป็นตัวแปรในการพยากรณ์ (Babel et al., 2017) จากการประเมินประสิทธิภาพของ ANN ด้วย RMSE และ correlation coefficient (r) พบว่า สำหรับการพยากรณ์ปริมาณฝนราย 3 เดือนในลุ่มน้ำปิง ANN ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 เดือน เมื่อพยากรณ์ปริมาณฝนในช่วงฤดูแล้ง (เดือน ก.พ.-เม.ย.) และในช่วงก่อนฤดูมรสุม (เดือน พ.ค.-มิ.ย.) และมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 เดือน เมื่อพยากรณ์ปริมาณฝนในช่วงฤดูมรสุม (เดือน ส.ค.-ต.ค.) และในช่วงฤดูแล้ง (เดือน พ.ย.-ม.ค.) นอกจากนี้โครงข่ายประสาทเทียมยังสามารถประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ปริมาณฝนรายฤดูกาลสำหรับลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยอาศัยดัชนีทางสมุทรศาสตร์จำนวน 6 ตัว เป็นตัวแปรในการพยากรณ์ ได้แก่ SOI, DMI, NINO1+2, NINO3, NINO4 และ NINO3.4 (เปรม รังสิวณิชพงศ์ และคณะ, 2558) การประเมินประสิทธิภาพของ ANN พบว่า ANN สามารถคาดการณ์ปริมาณฝนรายฤดูกาลในลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้ล่วงหน้าสูงสุด 12 เดือน โดยมีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อพยากรณ์ปริมาณฝนในช่วงฤดูแล้ง (เดือน ก.พ.-เม.ย.)

สำหรับการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์ปริมาณฝนรายฤดูกาลในลุ่มน้ำเจ้าพระยา Chaowiwat and Koontanakulvong (2016) ใช้ NINO3.4 และ IOD เป็นตัวแปรในการพยากรณ์ และพัฒนาแบบจำลอง vector auto regression moving average (VARMA) เพื่อพยากรณ์ปริมาณฝนรายฤดูกาล (Box et al., 1994; Hamilton, 1994; Wei, 1990) และประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย R^2 , RMSE และ mean absolute error (MAE) โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในอดีต 3 รูปแบบ ได้แก่ เหตุการณ์ฝนมากกว่าปกติใน ค.ศ. 1995 เหตุการณ์ฝนปกติใน

ค.ศ. 2007 และเหตุการณ์ฝนน้อยกว่าปกติใน ค.ศ. 2014 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง VARMA พบว่า แบบจำลองมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เมื่อพยากรณ์ปริมาณฝนในช่วงฤดูมรสุม (เดือน พ.ค.-ก.ค. และเดือน ส.ค.-ต.ค.) ณ ปีที่เกิดเหตุการณ์ฝนมากกว่าปกติ (ค.ศ. 1995) โดยปริมาณฝนที่ได้จากการพยากรณ์น้อยกว่าปริมาณฝนตรวจวัด มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็น -14.79% และ -17.07% ตามลำดับ นอกจากนี้แบบจำลอง VARMA มีประสิทธิภาพที่ดี เมื่อพยากรณ์ฝนช่วงเดือน พ.ค.-ก.ค. และเดือน ก.พ.-เม.ย. หรือช่วงฤดูแล้ง ณ ปีที่เกิดเหตุการณ์ฝนน้อยกว่าปกติ (ค.ศ. 2014) หรือเมื่อเกิดภัยแล้ง โดยความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์คิดเป็น 7.43% และ -6.34% ตามลำดับ

การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (climate change) ต่อปริมาณฝนและทรัพยากรน้ำเป็นงานศึกษาที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากผลจากการศึกษาเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวางแผนรับมือกับความแปรปรวนของสภาพอากาศในอนาคต และช่วยสนับสนุนการกำหนดนโยบายในการปรับตัวแบบระยะยาวให้เหมาะสมสอดคล้องกับสถานการณ์โลกที่อาจเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่เศรษฐกิจต้องพึ่งพากิจกรรมทางด้านการเกษตร และจำเป็นต้องอาศัยทรัพยากรน้ำในการดำเนินกิจกรรมดังกล่าว ซึ่งรวมทั้งประเทศไทย การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกพบว่า ปริมาณฝนในช่วงฤดูแล้ง (เดือน ธ.ค.-ก.พ.) ในอนาคตตั้งแต่ ค.ศ. 2020-2029 มีแนวโน้มที่จะแปรปรวนมากภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกแบบ RCP8.5 (IPCC, 2014) เมื่อเปรียบเทียบกับความแปรปรวนของปริมาณฝนในช่วงฤดูมรสุม (เดือน มิ.ย.-ส.ค.) และปริมาณฝนสะสมรายปี (Amnuaylojaroen, 2021) ทั้งนี้ปริมาณฝนสะสมรายปีในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1,819 มม.ต่อปี เป็น 2,046 มม.ต่อปี ในช่วง ค.ศ. 2080-2099 หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 13% (Kiguchi et al., 2021) แต่สำหรับลุ่มน้ำเจ้าพระยาในช่วง ค.ศ. 2015-2044 ปริมาณฝนสะสมรายปีมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ช่วง ค.ศ. 2075-2104 ปริมาณฝนสะสมรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คิดเป็นประมาณ 5% ของปริมาณฝนสะสมรายปีในช่วง ค.ศ. 1979-2008 (Wichakul et al., 2014)

เมื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาพบว่า ปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 21 ในช่วงฤดูน้ำหลาก แต่ในช่วงฤดูแล้ง ปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีแนวโน้มลดลง เนื่องจากได้รับผลกระทบจากสภาวะโลกร้อน ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกันแม้ว่าจะประยุกต์ใช้ผลจากการคาดการณ์ของ GCM ที่แตกต่างกัน ได้แก่ แบบจำลอง CMIP5 (Kotsuki et al., 2014; Watanabe et al., 2014) แบบจำลอง MRI AGCM3.2S ภายใต้ RCP8.5 (Champhong et al., 2013; Hunukumbura and Tachikawa, 2012; Kure and Tebakari, 2012) และแบบจำลอง ECHAM4 (Ponpang-Nga and Techamahasaranont, 2016; Sharma and Babel, 2013)

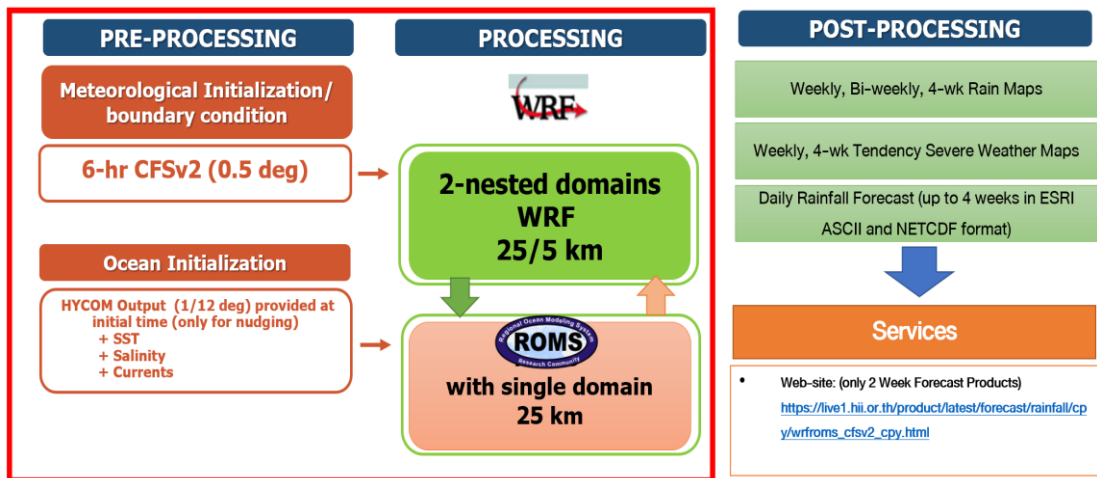
บทที่ 3

ระบบคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์

3.1 การพัฒนาระบบคาดการณ์สภาพอากาศรายสองสัปดาห์ล่วงหน้าโดยใช้แบบจำลองคู่ควบ WRF-ROMS จากข้อมูล CFSv2

ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 โครงการนี้ได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบคาดการณ์สภาพอากาศรายสองสัปดาห์ล่วงหน้า ที่ใช้แบบจำลองคู่ควบ WRF-ROMS และพบว่าการใช้แบบจำลองดังกล่าว ทำการ downscaling โดยใช้ข้อมูลคาดการณ์รายฤดูกาลของ NCEP coupled forecast system model version 2 (CFSv2) สำหรับพื้นที่ ลุ่มเจ้าพระยามีผลความแม่นยำเป็นที่น่าพอใจ เช่น กรณีของฝนตกหนักในช่วงพายุเชินกาและนกเต็นใน ปี พ.ศ. 2554 ให้ผลพยากรณ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จริงและค่าพยากรณ์อยู่ที่ระดับ 0.60-0.70

ปัจจุบัน ระบบคาดการณ์ฝนล่วงหน้าราย 2 สัปดาห์ ที่ใช้ WRF-ROMS ได้ทำการติดตั้งแล้วเสร็จ และเป็นระบบปฏิบัติการอัตโนมัติ (operation system) บนเครื่องคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง (high performance computing: HPC) ของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน) ระบบคาดการณ์ดังกล่าว จะรันทุกวันอาทิตย์ของสัปดาห์ และมีการปรับปรุงผลคาดการณ์ทุกวันจันทร์ โดยใช้ข้อมูลนำเข้าจาก Climate Forecast System version 2 เป็นค่าเริ่มต้นและค่าขอบ (initial and boundary conditions: IC/BC) เพื่อเป็นข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาสำหรับ WRF โดยนำเข้าทุก ๆ 6 ชั่วโมง และใช้เทคนิคการย่อส่วนแบบพลวัต (dynamical downscaling) จากขนาดกริดประมาณ 56 ตร. กม. ให้เหลือ 25 ตร. กม. และ 5 ตร. กม. ตามลำดับ สำหรับแบบจำลอง ROMS ซึ่งเป็นแบบจำลองด้านมหาสมุทรระดับภูมิภาค ต้องการเพียงค่าเริ่มต้นจากแบบจำลองมหาสมุทรที่เรียกว่า HYbrid Coordinate Ocean Model หรือ HYCOM เท่านั้น โดยตัวแปรที่ต้องการ ได้แก่ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล ความเค็ม และกระแสน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ผลคาดการณ์จะมีการปรับปรุงทุกวันจันทร์ และแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ ผู้สนใจสามารถเข้าใช้งานและดาวน์โหลดผลคาดการณ์ฝนสะสมรายสองสัปดาห์ได้ ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.2 นอกจากนี้ยังสามารถดาวน์โหลดข้อมูลฝนคาดการณ์รายวันที่อยู่ในรูปแบบ ESRI ASCII ผ่านทางเว็บไซต์ โดยมีคำอธิบายดังแสดงในรูปที่ 3.3 อนึ่ง ผู้ที่สนใจข้อมูลตัวแปรอื่น (อาทิ อุณหภูมิ ลม) หรือ ข้อมูลในรูปแบบอื่น (เช่น NetCDF) ก็สามารถติดต่อขอความอนุเคราะห์ข้อมูลจากสถาบันฯ ได้โดยตรง



รูปที่ 3.1 ระบบคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์ WRF-ROMS-CFSv2



รูปที่ 3.2 เว็บไซต์แสดงผลคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์ WRF-ROMS-CFSv2 (https://live1.hii.or.th/product/latest/forecast/rainfall/cpy/wrfroms_cfsv2_cpy.html)

Index of /forecast/bi-weekly/wrfroms_cfsv2/daily

[ICO]	Name	Last modified	Size	Description
	[PARENTDIR] Parent Directory	-		
[]	daily_cfsv2_20210605..>	2021-08		รูปแบบข้อมูล : ESRI ASCII ความละเอียดเชิงพื้นที่: 1 km ² ความละเอียดเชิงเวลา : รายวัน (14 วัน) ครอบคลุม: ประเทศไทย อัปเดตข้อมูล: ทุกวันจันทร์ ชื่อไฟล์ : daily_cfsv2_YYYYMMDD (YYYYMMDD คือ initial time สำหรับการคาดการณ์)
[]	daily_cfsv2_20210612..>	2021-08		
[]	daily_cfsv2_20210619..>	2021-08		
[]	daily_cfsv2_20210626..>	2021-08		
[]	daily_cfsv2_20210703..>	2021-08		
[]	daily_cfsv2_20210710..>	2021-08		
[]	daily_cfsv2_20210717..>	2021-08		
[]	daily_cfsv2_20210724..>	2021-08		
[]	daily_cfsv2_20210731..>	2021-08		
[]	daily_cfsv2_20210807..>	2021-08		
[]	daily_cfsv2_20210814..>	2021-08		
[]	daily_cfsv2_20210820..>	2021-08		
[]	daily_cfsv2_20210827..>	2021-08		
[]	daily_cfsv2_20210903..>	2021-10		
[]	daily_cfsv2_20210910..>	2021-10		
[]	daily_cfsv2_20210917..>	2021-10-10 22:47	11M	
[]	daily_cfsv2_20210924..>	2021-09-27 06:44	9.0M	
[]	daily_cfsv2_20211001..>	2021-10-04 18:17	7.1M	
[]	daily_cfsv2_20211008..>	2021-10-11 18:23	10M	
[]	daily_cfsv2_20211015..>	2021-10-17 22:21	6.1M	
[]	daily_cfsv2_20211022..>	2021-10-24 22:23	6.6M	
[]	daily_cfsv2_20211029..>	2021-11-01 08:37	6.3M	
[]	daily_cfsv2_20211030..>	2021-11-01 00:19	200	
[]	daily_cfsv2_20211106..>	2021-11-08 22:16	200	
[]	daily_cfsv2_20211112..>	2021-11-14 22:17	6.6M	
[]	daily_cfsv2_20211119..>	2021-11-21 22:15	3.0M	
[]	daily_cfsv2_20211126..>	2021-11-28 22:58	5.5M	

รูปที่ 3.3 ผลคาดการณ์ฝนรายวันช่วงสองสัปดาห์จากระบบ WRF-ROMS-CFSv2 ที่สามารถดาวน์โหลดผ่านทางเว็บไซต์ได้

ระบบคาดการณ์ฝนที่พัฒนาขึ้นมีการทดสอบก่อนการใช้งานจริง การศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบใช้การทดลองคาดการณ์ฝนและประเมินผลด้วยการเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณฝนจากการตรวจวัด ทำการคำนวณตัวชี้วัดทางสถิติ 3 ตัว ได้แก่ correlation coefficient, root mean square error และ percent bias รายละเอียดมีดังนี้

1) Correlation coefficient (r) เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลตรวจวัด (O_i) และข้อมูลคาดการณ์ (F_i)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (F_i - \bar{F})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (F_i - \bar{F})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}$$

เมื่อ \bar{O} และ \bar{F} คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัดและข้อมูลคาดการณ์ ตามลำดับ

$N =$ จำนวนข้อมูล

r วัดค่าระดับความสัมพันธ์อย่างง่ายทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาระหว่างข้อมูลตรวจวัดและข้อมูลคาดการณ์ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง 1.0 ซึ่งเป็นกรณีที่ผลคาดการณ์มีความถูกต้องสมบูรณ์ที่สุด

2) Root mean square error (RMSE) เป็นค่าวัดความคลาดเคลื่อนของผลการคาดการณ์ (F_i) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด (O_i)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}$$

เมื่อ $N =$ จำนวนข้อมูล

RMSE แสดงผลรวมความแตกต่างระหว่างผลการคาดการณ์และข้อมูลตรวจวัดทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ผลคาดการณ์มีความถูกต้องสมบูรณ์ที่สุดเมื่อค่า RMSE เท่ากับ 0

3) Percent bias (PBIAS) เป็นค่าวัดแนวโน้มเฉลี่ยของผลการคาดการณ์ (F_i) ว่ามีค่าสูงหรือต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด (O_i)

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \times 100}{\sum_{i=1}^N O_i}$$

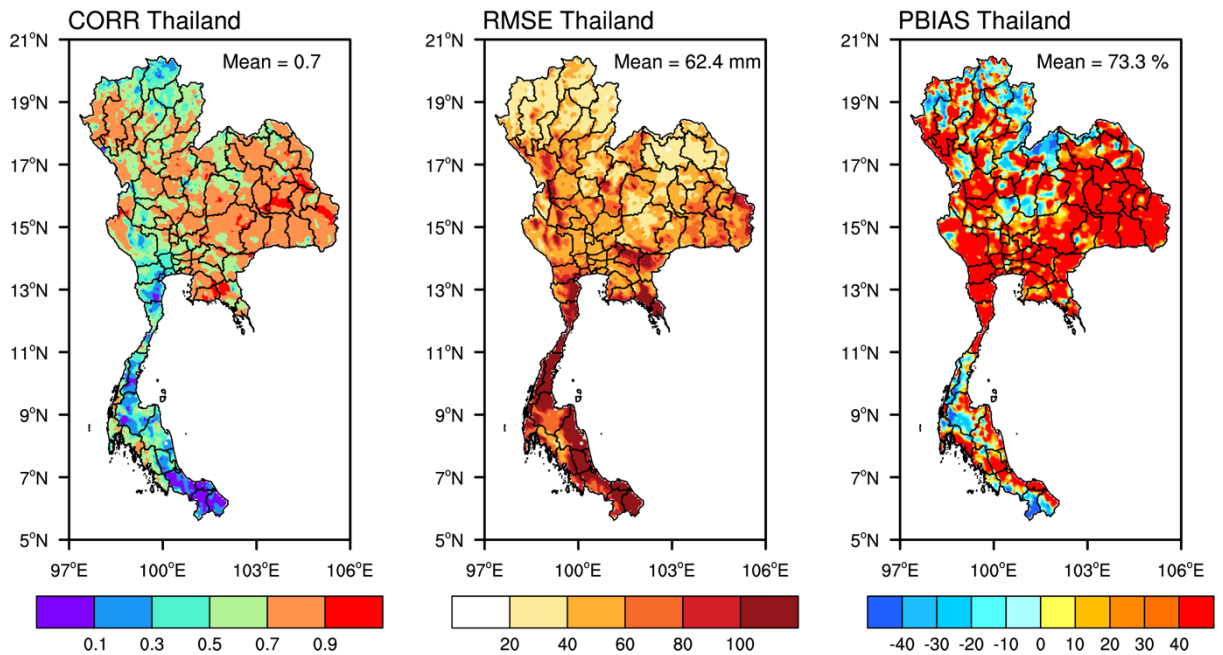
เมื่อ $N =$ จำนวนข้อมูล

PBIAS แสดงสัดส่วนความแตกต่างระหว่างผลการคาดการณ์และข้อมูลตรวจวัด ทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ผลคาดการณ์มีความถูกต้องสมบูรณ์ที่สุดเมื่อค่า PBIAS เท่ากับ 0 ค่าที่ใกล้ 0 บ่งชี้ว่าการคาดการณ์มีความแม่นยำ หากค่า PBIAS เป็นบวก หมายถึงการคาดการณ์ให้ผลสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดและในทางตรงข้าม หากค่าเป็นลบ ก็บ่งบอกถึงการคาดการณ์ที่ให้ค่าต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด

3.2 การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์บริเวณประเทศไทย

การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์บริเวณประเทศไทยใช้ข้อมูลตรวจวัดปริมาณฝนของระบบคลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ (NHC) ที่ผ่านการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (interpolation) กับข้อมูลคาดการณ์จากแบบจำลอง WRF-CFSv2 รายสองสัปดาห์ ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝน ถึงปลายฤดูหนาว ลักษณะของข้อมูลปริมาณฝนในช่วงดังกล่าวจะเห็นความแตกต่างตามฤดูกาล ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ของระบบคาดการณ์ แสดงด้วยผลการคาดการณ์ที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลตรวจวัดค่อนข้างมาก คือมีค่า r โดยเฉลี่ยประมาณ 0.7 เมื่อแยกตามภาค บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าสูงอยู่ในช่วง 0.7-0.9 บริเวณภาคเหนือ และภาคกลาง มีค่าอยู่ในช่วง 0.5-0.7 สำหรับภาคใต้ส่วนใหญ่จะมีระดับความสัมพันธ์ที่ต่ำกว่า 0.5 ซึ่งก็สอดคล้องกับค่า RMSE ที่พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงมากกว่า 100 มม. บริเวณภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนภาคเหนือตอนบนมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 40 มม. และเมื่อพิจารณาค่า PBIAS ในภาพรวม ค่าคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์สูงกว่าข้อมูลตรวจวัด ทั้งนี้ค่า PBIAS สูงมาก บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือมากกว่า +40% ในขณะที่ภาคเหนือตอนบน ผลการคาดการณ์ต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด โดยมีค่า PBIAS ประมาณ -20% ส่วนภาคใต้ บางบริเวณมีค่า PBIAS สูงมากและบางบริเวณค่า PBIAS ก็ต่ำมาก ซึ่งจากค่า r ที่ต่ำ แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าคาดการณ์และค่าปริมาณฝนจริงที่ไม่ไปในทิศทางเดียวกันนัก ตรงกันข้ามกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่การคาดการณ์เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าปริมาณฝนจริง (มีค่า r สูง) แต่ก็เป็นการคาดการณ์ที่ให้ค่าสูงกว่าค่าจริงเป็นส่วนใหญ่ รายละเอียดผลการประเมินการคาดการณ์ของแต่ละพื้นที่ในประเทศไทยแสดงในรูปที่ 3.4 และการวิเคราะห์สำหรับแต่ละลุ่มน้ำอยู่ในส่วนถัดไป

WRF-CFSv2 Evaluation

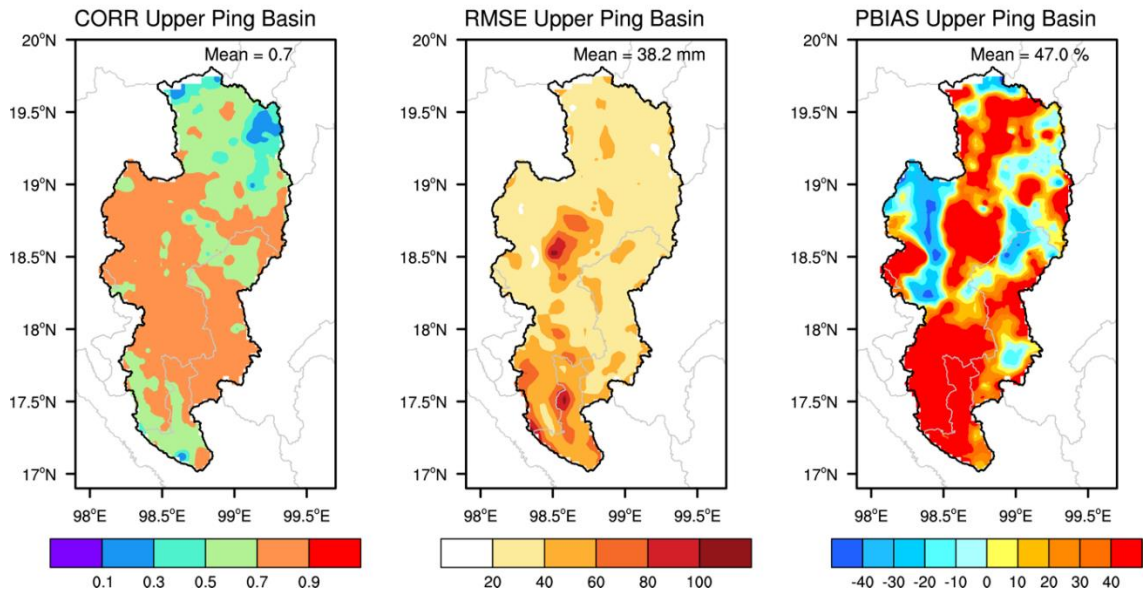


รูปที่ 3.4 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์บริเวณประเทศไทย

ลุ่มน้ำปิงตอนบน

ความสามารถในการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์บริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน เห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาดการณ์กับข้อมูลตรวจวัด คือมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์โดยเฉลี่ย ประมาณ 0.7 ค่า r สูงอยู่ในช่วง 0.7-0.9 บริเวณพื้นที่ตอนกลางจนถึงตอนล่างของลุ่มน้ำ ส่วนบริเวณพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำ มีค่า r อยู่ในช่วง 0.5-0.7 เมื่อพิจารณาค่า RMSE พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงในช่วง 40-80 มม. บริเวณตอนล่างและตอนกลางของลุ่มน้ำ ส่วนตอนบนมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 40 มม. สำหรับค่า PBIAS ในภาพรวมแสดงให้เห็นว่าระบบคาดการณ์ให้ค่าคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์สูงกว่าค่าข้อมูลตรวจวัด โดย PBIAS มีค่าประมาณ +47% ซึ่งค่า PBIAS จะสูงมากบริเวณตอนล่างของลุ่มน้ำ แต่ด้านตะวันตกของลุ่มน้ำปิงตอนบน การคาดการณ์ให้ค่าต่ำกว่าค่าข้อมูลตรวจวัด โดยมีค่า PBIAS ประมาณ -20% รายละเอียดดังรูปที่ 3.5

WRF-CFSv2 Evaluation

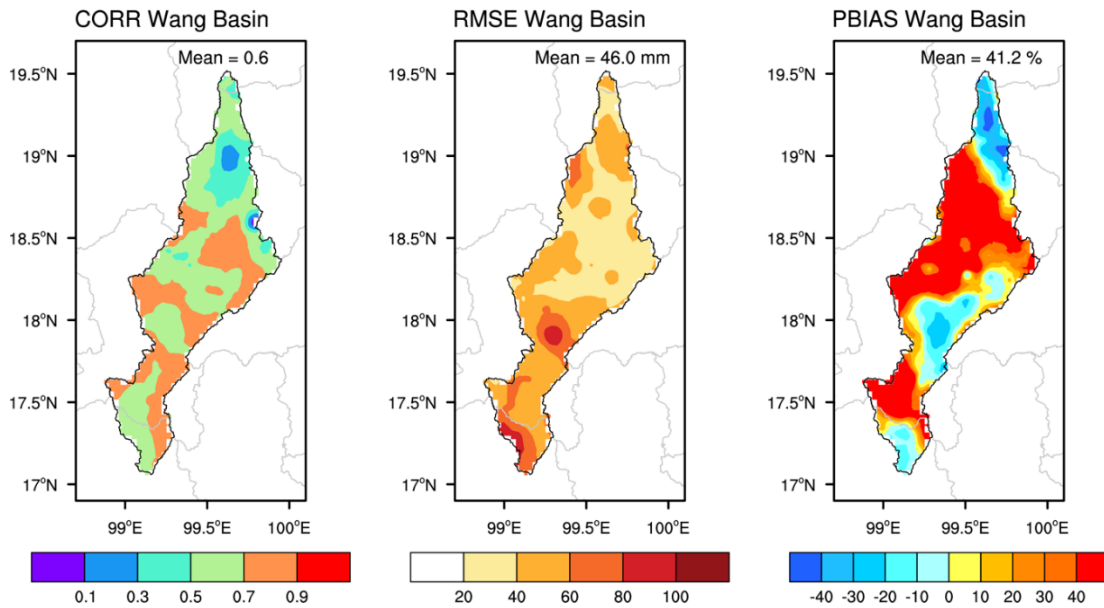


รูปที่ 3.5 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ บริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน

ลุ่มน้ำวัง

ความสามารถในการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์บริเวณลุ่มน้ำวัง แสดงให้เห็นจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาดการณ์กับข้อมูลตรวจวัดที่มีค่า r โดยเฉลี่ยประมาณ 0.6 ค่า r มีค่าสูงอยู่ในช่วง 0.7-0.9 บริเวณพื้นที่ตอนกลางจนถึงตอนล่างของลุ่มน้ำ และมีระดับความสัมพันธ์ต่ำลงบริเวณพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำ คือมีค่าอยู่ในช่วง 0.3-0.7 เมื่อพิจารณาค่า RMSE พบว่าการคาดการณ์มีความคลาดเคลื่อนสูงบริเวณตอนล่างโดยค่า RMSE อยู่ในช่วง 40-80 มม. สำหรับด้านตะวันออกของลุ่มน้ำวังมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า ค่า RMSE ต่ำกว่า 40 มม. เมื่อพิจารณาจากค่า PBIAS การคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์จะสูงกว่าค่าข้อมูลตรวจวัดในภาพรวม โดยมีค่า PBIAS ประมาณ +41.2% ค่า PBIAS จะสูงมากบริเวณพื้นที่ตอนกลางส่วนใหญ่และตอนล่างของลุ่มน้ำบางพื้นที่ แต่ในส่วนตอนล่างสุดของลุ่มน้ำ ค่าคาดการณ์ต่ำกว่าค่าข้อมูลตรวจวัดบ้าง เช่นเดียวกับตอนบนของลุ่มน้ำ ปรากฏว่าผลการคาดการณ์ต่ำกว่าค่าข้อมูลตรวจวัดพอสมควร โดยมีค่า PBIAS ประมาณ -20% หรือต่ำกว่า รายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.6

WRF-CFSv2 Evaluation

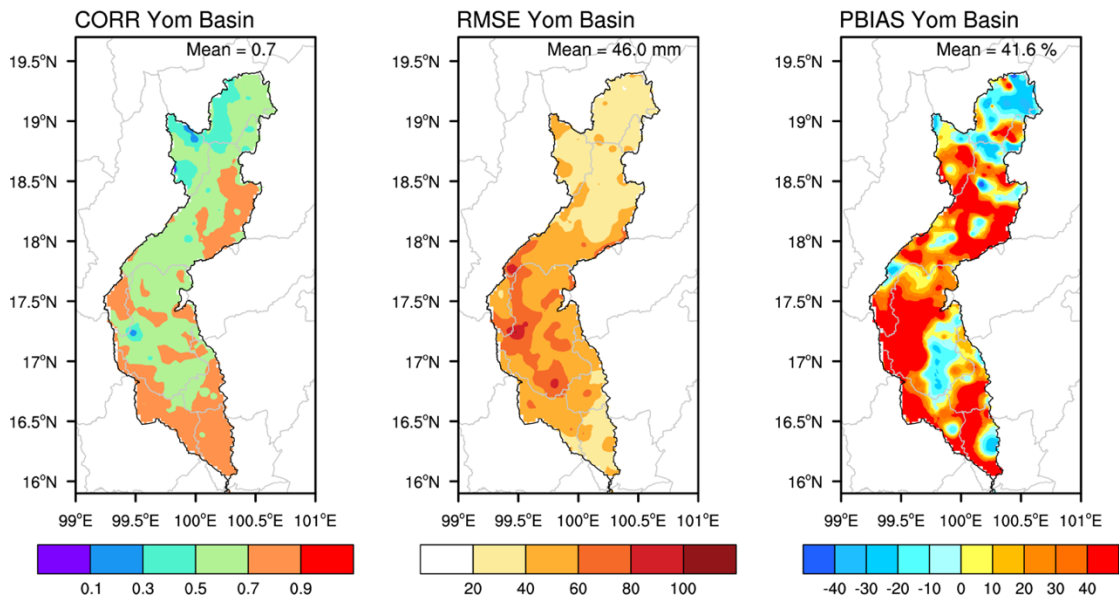


รูปที่ 3.6 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ บริเวณลุ่มน้ำวัง

ลุ่มน้ำยม

ความสามารถในการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์บริเวณลุ่มน้ำยม แสดงให้เห็นจากระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาดการณ์กับค่าข้อมูลตรวจวัด มีค่า r โดยเฉลี่ยประมาณ 0.7 บริเวณพื้นที่ตอนล่างของลุ่มน้ำ มีค่า r สูงอยู่ในช่วง 0.7-0.9 ส่วนบริเวณพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 0.5-0.7 เมื่อพิจารณาค่า RMSE พบว่าการคาดการณ์บริเวณด้านตะวันตกของลุ่มน้ำยม มีความคลาดเคลื่อนสูง โดยที่ค่า RMSE อยู่ในช่วง 40-80 มม. ส่วนตอนบนของลุ่มน้ำยมมีความคลาดเคลื่อนต่ำ ค่า RMSE ต่ำกว่า 40 มม. ในภาพรวมส่วนใหญ่ของลุ่มน้ำ ระบบคาดการณ์จะคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์สูงกว่าข้อมูลตรวจวัด ซึ่งเห็นได้จาก PBIAS ที่มีค่าประมาณ +41.6% ค่า PBIAS สูงมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณตอนกลางไปจนถึงตอนล่างของลุ่มน้ำ สำหรับตอนบนของลุ่มน้ำ ค่าคาดการณ์จะต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด โดยมีค่า PBIAS ประมาณ -10% รายละเอียดดังรูปที่ 3.7

WRF-CFSv2 Evaluation



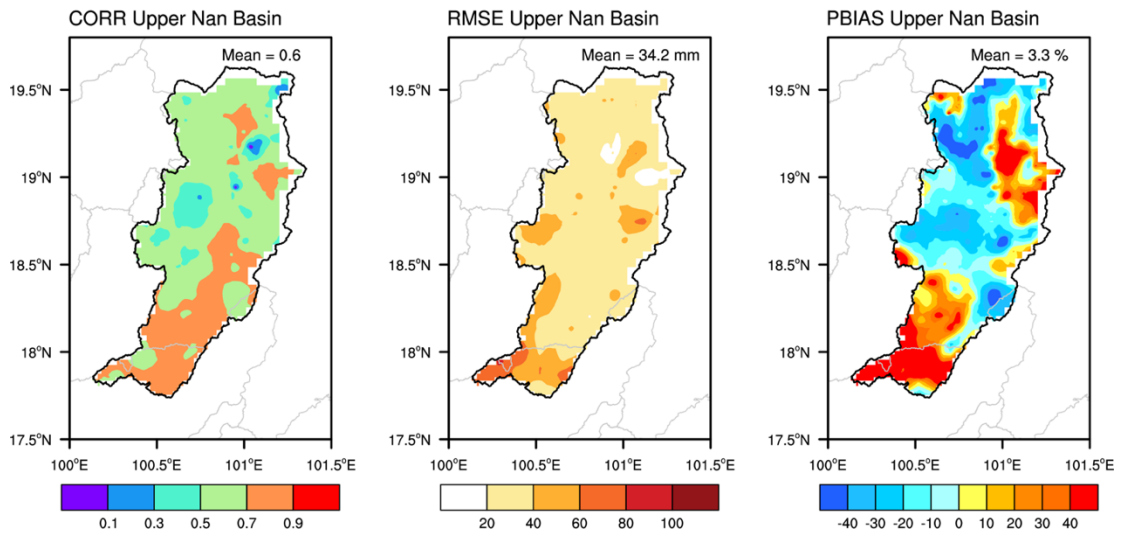
รูปที่ 3.7 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ บริเวณลุ่มน้ำยม

ลุ่มน้ำน่าน

ความสามารถในการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์บริเวณลุ่มน้ำน่าน แสดงให้เห็นจากค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าคาดการณ์กับข้อมูลตรวจวัดที่มีระดับปานกลาง ค่า r โดยเฉลี่ยประมาณ 0.6 ทั้งนี้พื้นที่ส่วนใหญ่ โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำ มีค่า r อยู่ในช่วง 0.5-0.7 แต่บริเวณพื้นที่ตอนล่างของลุ่มน้ำ มีค่า r สูงกว่า คืออยู่ในช่วง 0.7-0.9 เมื่อพิจารณาค่า RMSE พบว่า ในพื้นที่ส่วนใหญ่ การคาดการณ์มีความคลาดเคลื่อนพอประมาณ RMSE มีค่าต่ำกว่า 40 มม. มีบางพื้นที่ไม่ใหญ่นักบริเวณตอนล่างของลุ่มน้ำที่มีความคลาดเคลื่อนมาก โดยมีค่า RMSE สูงกว่า 60 มม. ในภาพรวม ความคลาดเคลื่อนของการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์มาจากการคาดการณ์ที่ต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด ซึ่งเห็นได้จาก PBIAS บริเวณตอนกลางของลุ่มน้ำ และส่วนใหญ่ของตอนบน มีค่าอยู่ในช่วง -10 ถึง -40% และบางบริเวณก็มีค่าต่ำกว่า -40% สำหรับบริเวณที่ค่าคาดการณ์สูงกว่าข้อมูลตรวจวัดก็มี เช่น บริเวณตอนล่างของลุ่มน้ำ มีค่า PBIAS สูงมากกว่า 40% รายละเอียดดังรูปที่ 3.8

เมื่อเปรียบเทียบผลการคาดการณ์บริเวณลุ่มน้ำน่านกับลุ่มน้ำอื่นทั้งหมดที่ประเมินในที่นี้ การคาดการณ์ของลุ่มน้ำน่านมีความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด

WRF-CFSv2 Evaluation



รูปที่ 3.8 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ บริเวณลุ่มน้ำน่าน

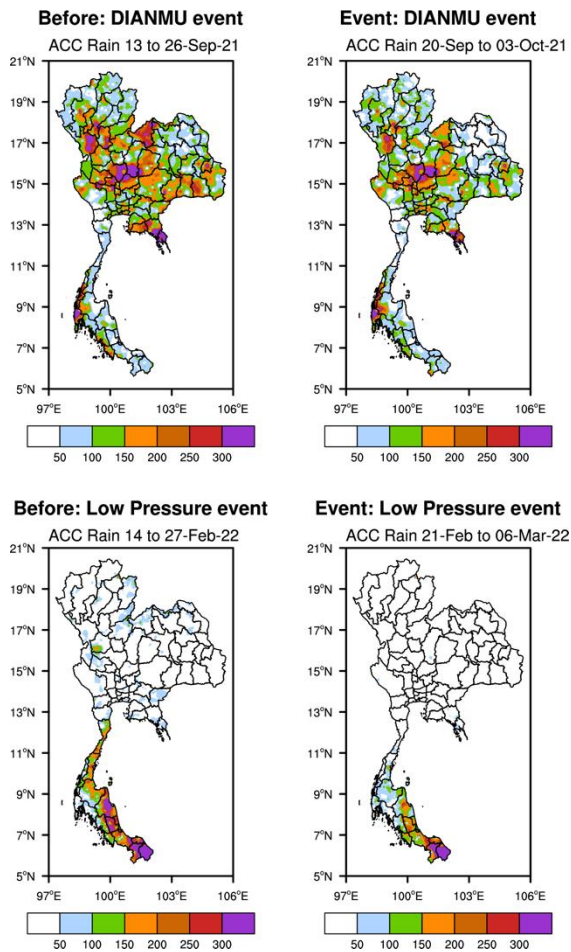
3.3 การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ สำหรับเหตุการณ์ฝนตกหนัก

สำหรับการประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ในช่วงการเกิดเหตุการณ์ฝนตกหนัก จะพิจารณาเป็นสองช่วง คือการคาดการณ์ในช่วงสองสัปดาห์นับจากก่อนเกิดเหตุการณ์ ไปจนถึงสิ้นสุดเหตุการณ์ (Before event) และ การคาดการณ์ช่วงสองสัปดาห์นับจากสัปดาห์ที่เกิดเหตุการณ์เป็นต้นไป (Event) กรณีศึกษาที่จะใช้ดูความสามารถในการคาดการณ์ล่วงหน้ารายสองสัปดาห์มีสองเหตุการณ์คือ เหตุการณ์พายุโซนร้อน และเหตุการณ์หย่อมความกดอากาศต่ำ

เหตุการณ์พายุโซนร้อนเตี้ยนหมู่ (DIANMU) ที่เคลื่อนผ่านเข้ามาในประเทศไทย ได้ลดระดับความแรงลงเป็นพายุดีเปรสชันก่อนเคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยบริเวณจังหวัดมุกดาหารเมื่อวันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2564 ส่งผลทำให้เกิดฝนตกหนักในหลายพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลาง ในช่วงวันที่ 23-26 กันยายน 2564

เหตุการณ์หย่อมความกดอากาศต่ำ อิทธิพลของหย่อมความกดอากาศต่ำกำลังแรงที่ปกคลุมบริเวณภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย ส่งผลให้มีฝนตกหนักถึงหนักมากทางด้านตะวันออกของภาคใต้ในช่วงวันที่ 24-28 กุมภาพันธ์ 2565

รูปที่ 3.9 แสดงปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์บริเวณประเทศไทยของแต่ละเหตุการณ์ที่กล่าวถึงข้างต้น

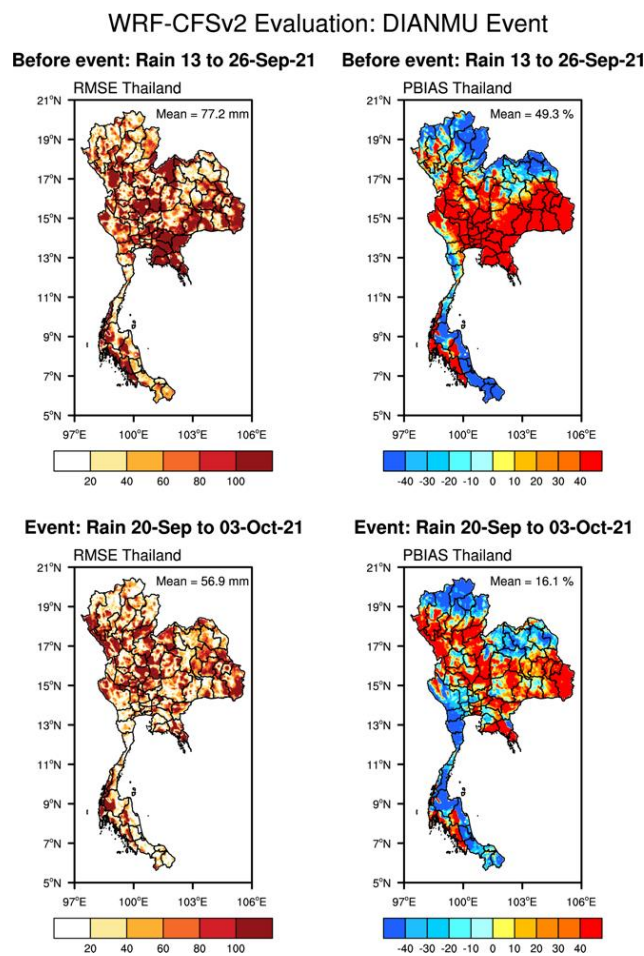


รูปที่ 3.9 ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์บริเวณประเทศไทย ช่วงก่อนเกิดเหตุการณ์ (บนซ้าย), ช่วงเกิดเหตุการณ์ (บนขวา) พายุโซนร้อนเตี้ยนหมู่ และช่วงก่อนเกิดเหตุการณ์ (ล่างซ้าย), ช่วงเกิดเหตุการณ์ (ล่างขวา) หย่อมความกดอากาศต่ำ

1) บริเวณประเทศไทย

การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ในช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อนเตี้ยนหมู่ บริเวณประเทศไทย จะใช้เฉพาะค่า RMSE และ PBIAS ช่วง Before event คือวันที่ 13 ถึง 26 กันยายน พ.ศ. 2564 ปริมาณฝนสะสมในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงกว่า 150 มม. บริเวณภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือบางส่วน รายละเอียดดังรูปที่ 3.9 เมื่อพิจารณาค่า RMSE พบว่า ในบริเวณเหล่านั้นการคาดการณ์มีความคลาดเคลื่อนสูง โดยเฉพาะภาคตะวันออกที่มีค่า RMSE สูงมากกว่า 100 มม. ซึ่งก็สอดคล้องกับค่า PBIAS ในภาพรวมระบบคาดการณ์จะคาดการณ์ปริมาณฝนสูงกว่าข้อมูลตรวจวัด ค่า PBIAS เฉลี่ย +49.3% ค่า PBIAS สูงมากบริเวณภาคตะวันออก ภาคกลาง และส่วนใหญ่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับช่วง Event ระหว่างวันที่ 20 กันยายน ถึง 3

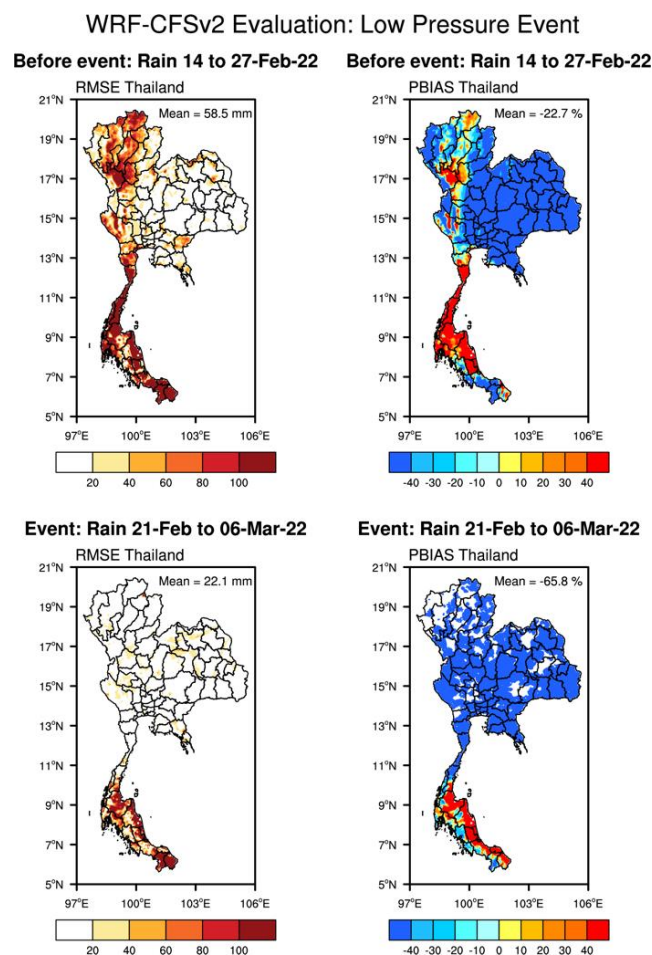
ตุลาคม พ.ศ. 2564 ปริมาณฝนสะสมบริเวณภาคกลางมีค่าสูงกว่า 150 มม. อย่างไรก็ตาม ปริมาณฝนช่วงก่อนเกิดเหตุการณ์พายุโซนร้อนสูงกว่าช่วงหลังเหตุการณ์สิ้นสุด ทำให้ปริมาณฝนสะสมช่วง Event ลดลงจากช่วง Before event ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ในส่วนของการคาดการณ์ ความคลาดเคลื่อนไม่มากเท่าช่วง Before event แต่ก็มีค่า RMSE สูงกว่า 100 มม. กระจายในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะตามพื้นที่ที่มีค่าปริมาณฝนสะสมสูง ค่า PBIAS ซึ่งว่าการคาดการณ์ปริมาณฝนมีความใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากขึ้นเช่นกันในภาพรวม โดย PBIAS มีค่าไม่สูงนักที่ประมาณ +16.1% ในบริเวณที่ฝนตกหนัก ค่าคาดการณ์จะสูงกว่าข้อมูลตรวจวัด ค่า PBIAS อยู่ในช่วง +20 ถึง +40% ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อน เตียนหมู่ บริเวณประเทศไทย ช่วง Before event (รูปบน) และ Event (รูปล่าง) ค่า root mean square error แสดงในรูปด้านซ้าย และ ค่า percent bias แสดงในรูปด้านขวา

การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์สำหรับเหตุการณ์หย่อมความกดอากาศต่ำ จะพิจารณาเฉพาะพื้นที่ภาคใต้ อันเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ โดยช่วง

Before event คือวันที่ 14 ถึง 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 พื้นที่ภาคใต้เกือบทั้งหมดมีปริมาณฝนสะสมสูงกว่า 100 มม. ดังรูปที่ 3.9 เมื่อพิจารณาค่า RMSE พบว่าการคาดการณ์มีความคลาดเคลื่อนสูง ค่า RMSE มากกว่า 100 มม. เป็นส่วนใหญ่ ตอนบนของภาคใต้มีค่า PBIAS สูงมากกว่า +40% ซึ่งหมายถึงค่าคาดการณ์สูงกว่าข้อมูลตรวจวัด ตรงข้ามกับตอนล่างของภาคใต้ที่ค่าคาดการณ์ต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด ส่วนช่วง Event ระหว่างวันที่ 21 กุมภาพันธ์ ถึง 6 มีนาคม พ.ศ. 2565 ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์น้อยกว่าช่วง Before event ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนรายสองสัปดาห์สำหรับภาคใต้ จากค่า RMSE และ PBIAS พบว่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าช่วง Before event เช่นกัน เมื่อวิเคราะห์ทั้งในภาพรวม และเหตุการณ์ฝนตกหนัก ดังรูปที่ 3.11

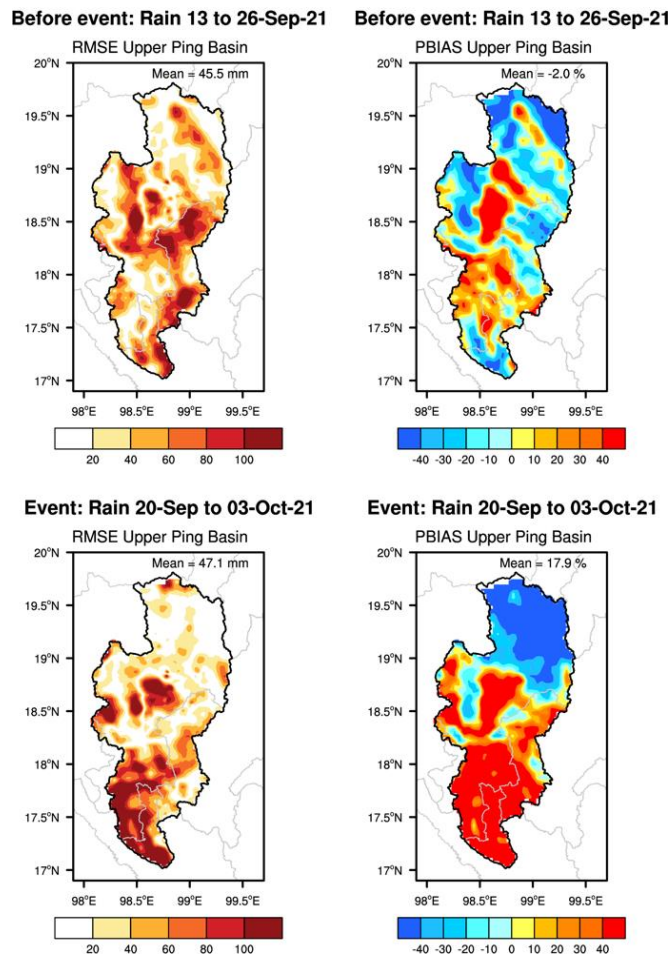


รูปที่ 3.11 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ช่วงเหตุการณ์หย่อมความกดอากาศต่ำ บริเวณประเทศไทย ช่วง Before event (รูปบน) และ Event (รูปล่าง) ค่า root mean square error แสดงในรูปด้านซ้าย และ ค่า percent bias แสดงในรูปด้านขวา

2) กลุ่มน้ำปีงตอนบน

การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ของกลุ่มน้ำปิงตอนบน จะใช้ค่า RMSE และ PBIAS และพิจารณาเฉพาะช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อนเตี้ยนหมู่ ในช่วง Before event ปริมาณฝนสะสมบริเวณตอนล่างของกลุ่มน้ำอยู่ในช่วง 50-150 มม. ดังรูปที่ 3.9 เมื่อพิจารณาค่า RMSE พบว่าการคาดการณ์มีความคลาดเคลื่อนสูงบริเวณตอนกลางของกลุ่มน้ำ RMSE มีค่ามากกว่า 100 มม. และจากค่า PBIAS ในภาพรวมการคาดการณ์ปริมาณฝนจะต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด โดย PBIAS มีค่าประมาณ -2% แต่บริเวณตอนกลางของกลุ่มน้ำบางจุด ปริมาณฝนที่คาดการณ์สูงกว่าข้อมูลตรวจวัดมาก ค่า PBIAS สูงมากกว่า +40% สำหรับช่วง Event รูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นปริมาณฝนสะสมมีค่าในช่วง 50-150 มม. บริเวณตอนล่างของกลุ่มน้ำ ปริมาณฝนสะสมลดลงเนื่องจากเป็นช่วงที่ครอบคลุมการสิ้นสุดของเหตุการณ์พายุ การคาดการณ์มีความคลาดเคลื่อนสูงบริเวณส่วนล่างของกลุ่มน้ำ ค่า RMSE สูงกว่า 100 มม. สอดคล้องกับค่า PBIAS ที่สูงมากกว่า +40% ความคลาดเคลื่อนเกิดจากการคาดการณ์ปริมาณฝนสูงกว่าข้อมูลตรวจวัด อย่างไรก็ตาม ส่วนบนของกลุ่มน้ำซึ่งเป็นบริเวณที่มีปริมาณฝนสะสมน้อย เห็นได้ว่า RMSE มีค่าต่ำ การคาดการณ์ให้ค่าต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัดมาก พอสมควรจากค่า PBIAS ที่เป็นลบ รายละเอียดดังรูปที่ 3.12

WRF-CFSv2 Evaluation: DIANMU Event

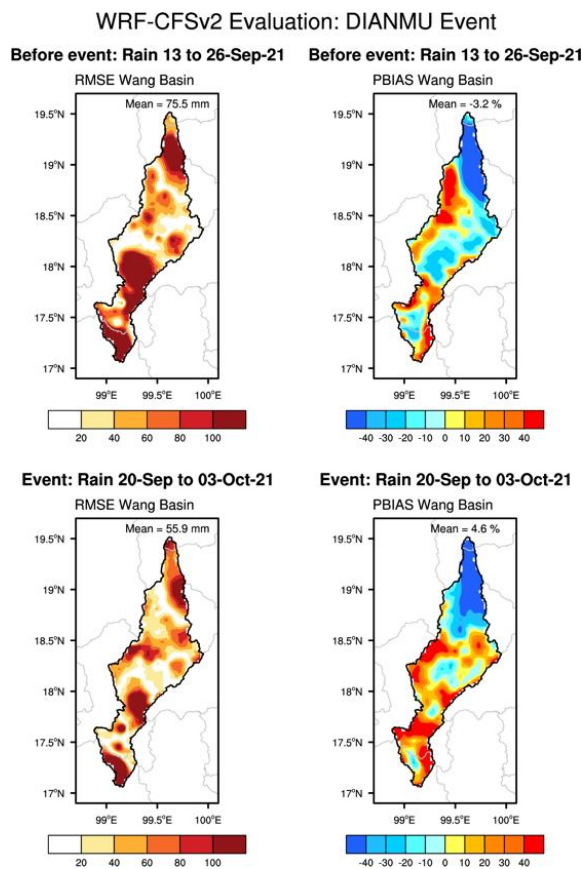


รูปที่ 3.12 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อน เตี้ยนหมู่ บริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน ช่วง Before event (รูปบน) และ Event (รูปล่าง) ค่า root mean square error แสดงในรูปด้านซ้าย และ ค่า percent bias แสดงในรูปด้านขวา

3) ลุ่มน้ำวัง

การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ของกลุ่มน้ำวัง จะใช้ค่า RMSE และ PBIAS และพิจารณาเฉพาะช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อนเตี้ยนหมู่ ช่วง Before event ปริมาณฝนสะสมมีค่ามากในช่วง 200-300 มม. ทางตอนล่างของกลุ่มน้ำ ดังรูปที่ 3.9 พิจารณาจากค่า RMSE พบว่าการคาดการณ์มีความคลาดเคลื่อนสูงในบริเวณตอนบนและตอนล่างของกลุ่มน้ำ RMSE มีค่ามากกว่า 100 มม. ส่วนค่า PBIAS ชี้ว่า ในภาพรวมปริมาณฝนที่คาดการณ์ต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด PBIAS มีค่าประมาณ -3.2% ซึ่งทางตอนบนของกลุ่มน้ำ จะคาดการณ์ต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัดพอสมควร แต่ก็มีบางพื้นที่ที่ค่าคาดการณ์สูงกว่าข้อมูลตรวจวัด เช่น บริเวณด้านตะวันตกของกลุ่มน้ำ ค่า PBIAS อยู่ในช่วง +20 ถึง +40% สำหรับช่วง Event ปริมาณฝนสะสมอยู่ในช่วง 100-150 มม. บริเวณ

ตอนล่างของกลุ่มน้ำ ปริมาณฝนสะสมลดลงเนื่องจากเป็นช่วงที่ครอบคลุมการสิ้นสุดของเหตุการณ์พายุ ดังรูปที่ 3.9 การคาดการณ์มีความคลาดเคลื่อนบ้าง พื้นที่ส่วนใหญ่มีค่า RMSE ไม่เกิน 40 มม. เมื่อพิจารณาค่า PBIAS ค่าคาดการณ์ต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางตอนบนของกลุ่มน้ำซึ่งมีปริมาณฝนสะสมต่ำ ส่วนบริเวณตอนล่างของกลุ่มน้ำ พื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าคาดการณ์สูงกว่าข้อมูลตรวจวัด รายละเอียดดังรูปที่ 3.13

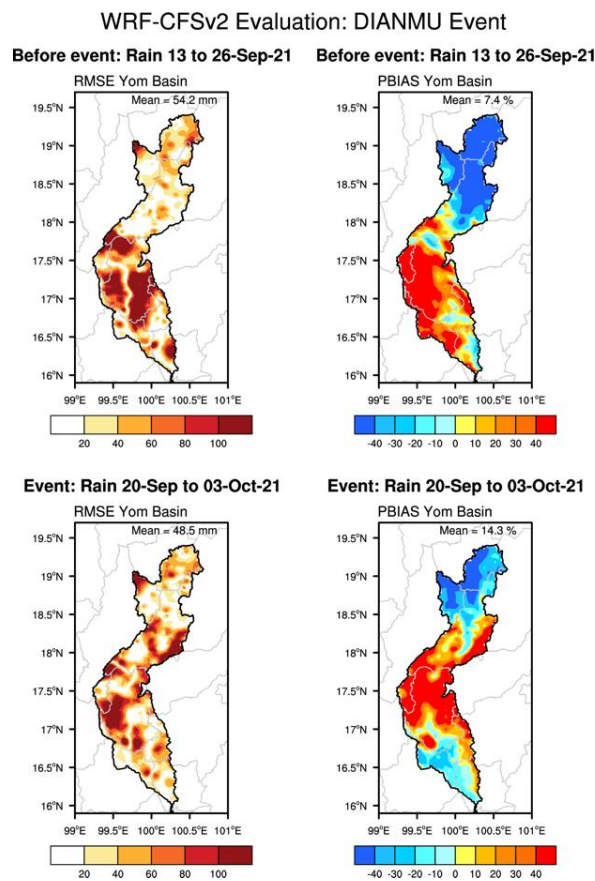


รูปที่ 3.13 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อน เตียนหมู่ บริเวณลุ่มน้ำวัง ช่วง Before event (รูปบน) และ Event (รูปล่าง) ค่า root mean square error แสดงในรูปด้านซ้าย และ ค่า percent bias แสดงในรูปด้านขวา

4) ลุ่มน้ำยม

การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ของกลุ่มน้ำยม จะใช้ค่า RMSE และ PBIAS และพิจารณาเฉพาะช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อนเตียนหมู่ ช่วง Before event ปริมาณฝนสะสมมีค่าอยู่ในช่วง 200-300 มม. บริเวณตอนล่างของกลุ่มน้ำ ดังรูปที่ 3.9 เมื่อพิจารณาค่า RMSE พบว่าบริเวณตอนบนของกลุ่มน้ำคาดการณ์ได้ดี แต่บริเวณตอนล่างของกลุ่มน้ำบางพื้นที่มีความ

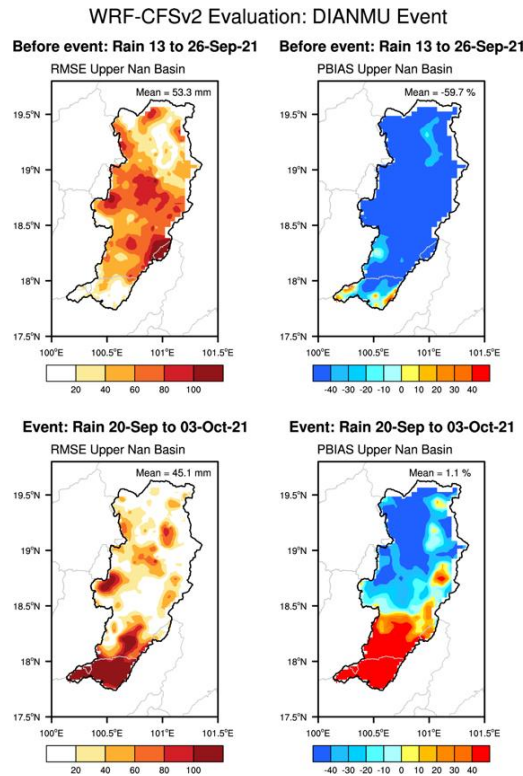
คลาดเคลื่อนของการคาดการณ์สูง RMSE มีค่ามากกว่า 100 มม. ที่พื้นที่เหล่านั้น จากค่า PBIAS ทางตอนบนของกลุ่มน้ำ การคาดการณ์ให้ค่าต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด ในขณะที่บริเวณตอนล่างของกลุ่มน้ำ ค่าคาดการณ์ของปริมาณฝนสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดเป็นส่วนใหญ่ สำหรับช่วง Event ปริมาณฝนสะสมมีค่าอยู่ในช่วง 50-150 มม. บริเวณตอนล่างของกลุ่มน้ำ ดังรูปที่ 3.9 ทั้งนี้ปริมาณฝนสะสมลดลงเนื่องจากเป็นช่วงที่ครอบคลุมหลังเหตุการณ์พายุ การคาดการณ์ปริมาณฝนในพื้นที่ส่วนใหญ่มีความคลาดเคลื่อนไม่มากนัก คือมีค่า RMSE ต่ำกว่า 60 มม. จากค่า PBIAS บริเวณตอนกลางของกลุ่มน้ำ ปริมาณฝนที่คาดการณ์มีค่าสูงกว่าข้อมูลตรวจวัด แต่บริเวณตอนบนและตอนล่างของกลุ่มน้ำ ปริมาณฝนที่คาดการณ์ต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อนเตี้ยนหมู่ บริเวณลุ่มน้ำยม ช่วง Before event (รูปบน) และ Event (รูปล่าง) ค่า root mean square error แสดงในรูปด้านซ้าย และ ค่า percent bias แสดงในรูปด้านขวา

5) ลุ่มน้ำน่าน

การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ของกลุ่มน้ำน่าน จะใช้ค่า RMSE และ PBIAS และพิจารณาเฉพาะช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อนเตี้ยนหมู่ ช่วง Before event ปริมาณฝนสะสมมีค่าอยู่ในช่วง 50-100 มม. บริเวณตอนล่างของกลุ่มน้ำ ดังรูปที่ 3.9 จากค่า RMSE พบว่าการคาดการณ์มีความคลาดเคลื่อนพอสมควรในบริเวณตอนกลางถึงตอนล่างของกลุ่มน้ำ โดย RMSE มีค่าประมาณ 60-100 มม. ส่วนค่า PBIAS ชี้ให้เห็นว่าปริมาณฝนที่คาดการณ์ต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัดมาก PBIAS มีค่าต่ำกว่า -40% เกือบทั้งพื้นที่เนื่องจากบริเวณนั้นมีปริมาณฝนสะสมต่ำ สำหรับช่วง Event ปริมาณฝนสะสมลดลงเนื่องจากเป็นช่วงที่ครอบคลุมหลังเหตุการณ์พายุสิ้นสุด โดยปริมาณฝนสะสมบริเวณตอนล่างของกลุ่มน้ำมีค่าในช่วง 100-200 มม. ดังรูปที่ 3.9 การคาดการณ์ค่อนข้างใกล้เคียงปริมาณฝนจริงเมื่อพิจารณาค่า RMSE ยกเว้นทางตอนล่างสุดของกลุ่มน้ำที่ความคลาดเคลื่อนสูง คือ RMSE มีค่าสูงกว่า 100 มม. จากค่า PBIAS บริเวณตอนล่างของกลุ่มน้ำ การคาดการณ์ปริมาณฝนให้ค่าที่สูงกว่าข้อมูลตรวจวัด PBIAS มีค่ามากกว่า +40% แต่บริเวณตอนบนของกลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณฝนสะสมต่ำ ปริมาณฝนคาดการณ์มีค่าต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด รายละเอียดดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ผลการประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ช่วงเหตุการณ์พายุโซนร้อน เตียนหมู่ บริเวณลุ่มน้ำน่าน ช่วง Before event (รูปบน) และ Event (รูปล่าง) ค่า root mean square error แสดงในรูปด้านซ้าย และ ค่า percent bias แสดงในรูปด้านขวา

สรุปการประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์จาก WRF-CFsv2

การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ บริเวณประเทศไทย ในภาพรวม ค่าคาดการณ์มีความสัมพันธ์กับข้อมูลตรวจวัดระดับปานกลางถึงสูง โดยค่า r มากกว่า 0.5 บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคเหนือ คาดการณ์ได้ดี ความคลาดเคลื่อนในการคาดการณ์ต่ำ ค่า RMSE อยู่ในช่วง 20-80 มม. อย่างไรก็ตาม PBIAS มีค่าสูง บางบริเวณค่าคาดการณ์ปริมาณฝนสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดมาก เช่น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่บางบริเวณก็คาดการณ์ต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด เช่น ภาคเหนือตอนบน สำหรับภาคใต้ การคาดการณ์ยังมีความคลาดเคลื่อนสูงในทุกพื้นที่ ค่าคาดการณ์และปริมาณฝนจากการตรวจวัดไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ค่าสหสัมพันธ์ r ค่อนข้างต่ำ

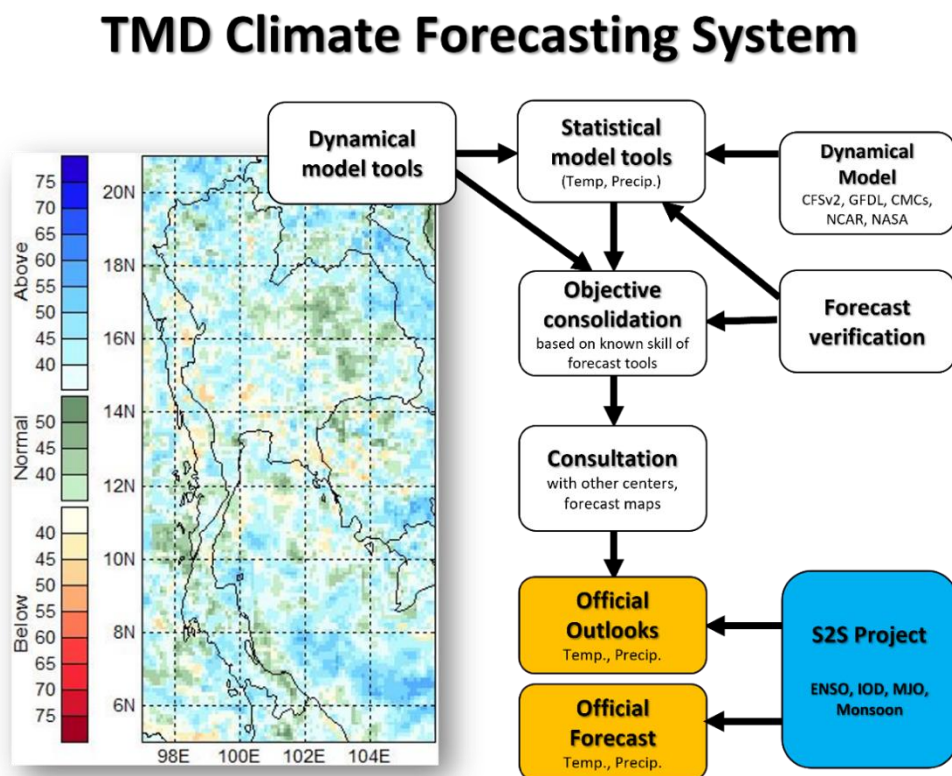
การประเมินผลรายลุ่มน้ำ พบว่าลุ่มน้ำน่านสามารถคาดการณ์ได้ดี มีความคลาดเคลื่อนต่ำ ค่า RMSE 34.2 มม. และค่าคาดการณ์มีความใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากเมื่อดูจากค่า PBIAS +3.3% ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุดในบรรดา 4 ลุ่มน้ำ ส่วนลุ่มน้ำปิงตอนบนมีค่าอันดับถัดไป สำหรับการคาดการณ์ในช่วงเหตุการณ์ที่มีฝนตกหนัก สามารถคาดการณ์ปริมาณฝนสะสมรายสองสัปดาห์ได้ดีในเวลาที่

ปริมาณฝนมาก แต่มักจะคาดการณ์สูงกว่าข้อมูลตรวจวัด ส่วนบริเวณที่มีปริมาณฝนต่ำ การคาดการณ์ก็ให้ค่าที่ต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด ซึ่งเป็นลักษณะที่พบทั้งบริเวณประเทศไทย และลุ่มน้ำ 4 ลุ่มน้ำ ส่วนใหญ่ พื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำค่าคาดการณ์จะต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด สำหรับบริเวณภาคใต้ช่วงเหตุการณ์หย่อมความกดอากาศต่ำ ความคลาดเคลื่อนของการคาดการณ์สูง ค่า RMSE มากกว่า 100 มม. และส่วนใหญ่จะคาดการณ์ปริมาณฝนสูงกว่าข้อมูลตรวจวัด

บทที่ 4

การศึกษาการคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน

4.1 การคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าของกรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 4.1 โครงสร้างระบบการพยากรณ์ระยะนานที่ศูนย์ภูมิอากาศใช้ในปัจจุบันและส่วนที่กำลังวิจัย (กรอบสีฟ้า S2S project และ Climate drivers: ENSO, MJO, IOD และ Monsoon system)

รูปที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของส่วนการทำงานในระบบการพยากรณ์ระยะนาน โดยใช้ข้อมูลนำเข้าคือ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล SST จากแบบจำลอง NMME 8 แบบจำลอง ได้แก่ NCEP-CFSv2 GFDL-FLOR GFDL CMC1 CMC2 NASA NCAR-CCSM และ ENSEMBLE และข้อมูลเชิงสังเกตการณ์จากกรมอุตุนิยมวิทยา เป็นค่าเริ่มต้นสำหรับการพยากรณ์ฝนออกไปล่วงหน้า 6 เดือน งานวิจัยนี้เป็นส่วนของการพัฒนาขีดความสามารถในการพยากรณ์ระยะนานและการปรับปรุงเทคนิคสถิติที่ใช้ในการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิกัล (canonical correlation analysis: CCA) โครงสร้างการทำงานของระบบการพยากรณ์ระยะนานที่ศูนย์ภูมิอากาศใช้ในปัจจุบัน ด้วยวิธีการ CCA จะถูกนำเข้ามาปรับปรุงในส่วนของแบบจำลองเชิงสถิติ (statistical model) โดยใช้ชุดข้อมูลการ

พยากรณ์ล่วงหน้าจากแบบจำลองเชิงพลวัต (dynamical model data sets) หลายแบบจำลองในโครงการ National Multi-Model Ensemble (NMME) ดังตารางที่ 4.1 อันได้แก่ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล อุณหภูมิผิวพื้นและปริมาณฝน บริเวณอินโดแปซิฟิกและบริเวณเขตร้อน ซึ่งจะเป็นข้อมูลเริ่มต้นในการคำนวณของแบบจำลองเชิงสถิติด้วยวิธีการ CCA

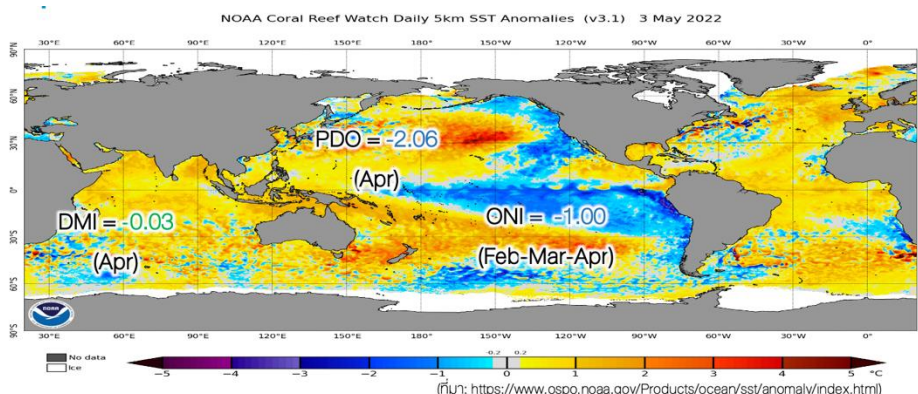
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของแบบจำลองต่าง ๆ ภายใต้โครงการ National Multi-model Ensemble (NMME)

Model name	Period	Members	Lead (months)	Model Resolution Atmosphere	Model Resolution Ocean
NCEP-CFSv2	1982-2010	24(28)	0-9	T126L64	MOM4 L40 0.25 deg Eq
GFDL-CM2.1	1982-2010	10	0-11	2x2.5deg L24	MOM4 L50 0.30 deg Eq
GFDL-FLOR	1982-2010	24	0-11	50km cubed sphere	1° ocean/sea ice
CMC1-CanCM3	1981-2010	10	0-11	CanAM3 T63L31	CanOM4 L40 0.94 deg Eq
CMC2-CanCM4	1981-2010	10	0-11	CanAM4 T63L35	CanOM4 L40 0.94 deg Eq
NCAR-CCSM3.0	1982-2010	6	0-11	T85L26	POP L40 0.3 deg Eq
NCAR_CCSM4	1982-2010	10	0-11	0.9x1.25deg L26	MOM4 L60 1x0.3 Eq
NASA	1981-2010	11	0-8	1x1.25deg L72	MOM4 L40 1/4 deg Eq
MM ENSEMBLE	1981-2010	8	0-6	1x1 deg L24	-

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลรายละเอียดของแบบจำลองที่ใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้น ชื่อแบบจำลองในคอลัมน์ที่ 1 สามารถอ้างอิงถึงหน่วยงานที่พัฒนาและรุ่นที่ได้รับการปรับปรุง คอลัมน์ที่ 2 คือช่วงเวลาในการทดสอบแบบจำลองด้วยการพยากรณ์ในอดีตเพื่อคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนและค่าวัดความสามารถในการพยากรณ์ คอลัมน์ที่ 3 คือจำนวนกลุ่มสมาชิกของค่าเริ่มต้นและผลของการพยากรณ์ที่เกิดขึ้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ คอลัมน์ที่ 4 คือช่วงเวลาที่มีการพยากรณ์ล่วงหน้าเป็นรายเดือน ส่วนคอลัมน์ที่ 5 และ 6 สามารถอ้างอิงถึงความละเอียดของแบบจำลองแต่ละแบบทั้งในส่วนของชั้นบรรยากาศและในมหาสมุทร ทั้งนี้ข้อมูลการพยากรณ์ระยะนานจากแบบจำลอง NMME สามารถเข้าถึงได้จากเว็บไซต์

4.2 การคาดการณ์ฝนของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน., HII)

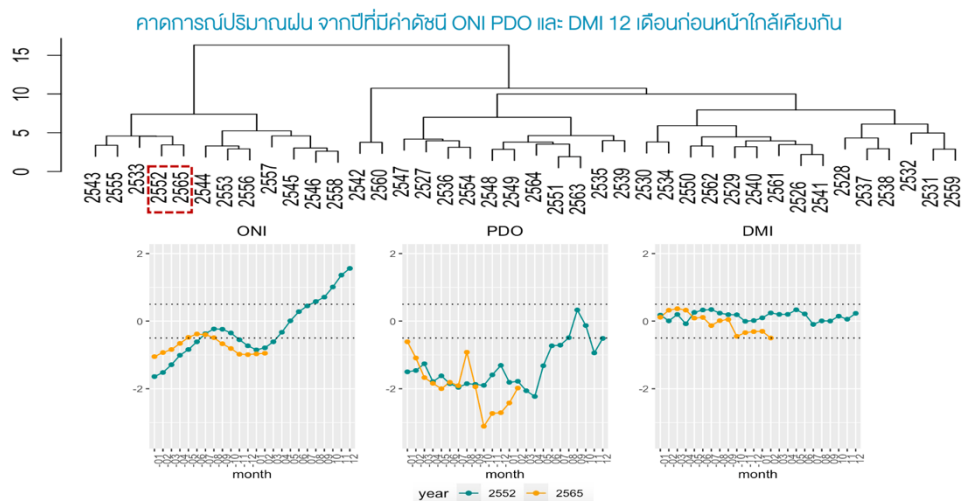
การคาดการณ์ฝนของ สสน. คำนึงถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณฝนโดยแยกเป็น 2 ระดับคือ ปัจจัยระดับภูมิภาค และปัจจัยระดับท้องถิ่น ปัจจัยระดับภูมิภาคจะมีผลต่อปริมาณฝนของพื้นที่เป็นบริเวณกว้างและส่งผลต่อปริมาณฝนรายเดือน รายฤดูกาล หรือหลายเดือนติดต่อกัน ส่วนปัจจัยระดับท้องถิ่นจะมีผลต่อปริมาณฝนเฉพาะบางพื้นที่ของประเทศไทยตามปัจจัยที่เกี่ยวข้องในช่วงเวลาเป็นวัน หรือสัปดาห์ถึงสองเดือน การคาดการณ์ฝนที่มีการพิจารณาปัจจัยระดับภูมิภาค จะใช้เทคนิค machine learning วิเคราะห์ความรุนแรงและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของดัชนีอุณหภูมิของมหาสมุทร 3 พื้นที่ คือ บริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกด้านตะวันตก (Oceanic Nino Index: ONI ซึ่งเป็นตัวชี้วัดปรากฏการณ์ ENSO) มหาสมุทรแปซิฟิกตอนเหนือ (Pacific Decadal Oscillation: PDO) และ มหาสมุทรอินเดีย (DMI ซึ่งเป็นตัวชี้วัดปรากฏการณ์ IOD) ดังรูปที่ 4.2 ทั้งสามดัชนีนี้เป็นดัชนีความเชื่อมโยงระยะไกล (teleconnection) ที่มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสภาพอากาศและฝนในประเทศไทย สำหรับการคาดการณ์ฝนที่มีการพิจารณาปัจจัยระดับท้องถิ่น จะใช้การวิเคราะห์การนำพาความชื้นของกระแสลม ซึ่งองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญคือ ดัชนีมรสุมบริเวณใกล้กับประเทศไทย ทั้งนี้การเกิดฝนบริเวณประเทศไทยเป็นผลมาจากวงจรการเคลื่อนตัวของอากาศบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกกับทะเลจีนใต้ (Ocean Monsoon Trough: OMT) และ มหาสมุทรอินเดียและ อ่าวเบงกอล (Continental Monsoon Trough: CMT) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยระดับท้องถิ่นอีกปัจจัยคือสถานะของปรากฏการณ์ Madden-Julian Oscillation (MJO)



รูปที่ 4.2 แผนภาพดัชนีความเชื่อมโยงระยะไกล (Teleconnection) ที่ใช้ในแบบจำลองคาดการณ์ฝนของ สสน.

ในปัจจุบัน การคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าของ สสน. (Sarinnapakorn et al., 2015,2016) ได้ประยุกต์ใช้วิธี hierarchical clustering ซึ่งเป็นวิธีการทาง machine learning หลักการคือการหาปีในอดีตที่มีความคล้ายคลึงกับปีที่ต้องการพยากรณ์ ในแง่ที่ค่าดัชนีทั้งสามของสอง

ปีนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ข้อมูลจากปีในอดีตดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ช่วยในการพยากรณ์ปริมาณฝนในปีที่สนใจ ตัวอย่างผลของ hierarchical clustering และวิธีการคาดการณ์ฝนสำหรับปี พ.ศ. 2564 แสดงดังรูปที่ 4.3



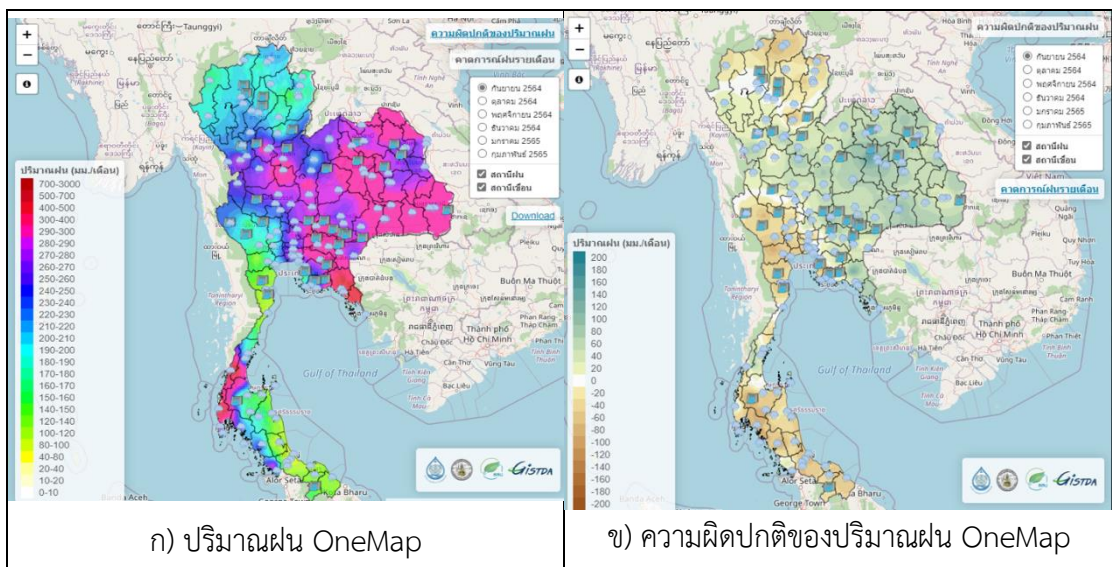
รูปที่ 4.3 การจัดกลุ่มด้วยวิธี Hierarchical clustering ของปีที่ดัชนี ONI, PDO, DMI 12 เดือนก่อนหน้ามีค่าใกล้เคียงกัน (รูปบน) และกราฟแสดงรูปแบบดัชนีทั้งสามของปี พ.ศ. 2551 เทียบเคียงกับปี พ.ศ. 2564 ที่มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด (รูปล่าง)

4.3 การบูรณาการการคาดการณ์ฝนของ TMD และ HII เป็น OneMap

แผนที่ฝน OneMap เป็นแผนที่ฝนคาดการณ์รายเดือนล่วงหน้า 6 เดือน ที่ได้จากการบูรณาการข้อมูลฝนคาดการณ์จาก 2 หน่วยงาน คือ กรมอุตุนิยมวิทยาและสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) ทำให้แทนที่จะได้ค่าคาดการณ์เพียงค่าเดียว ก็จะได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณฝนคาดการณ์ต่ำสุด และสูงสุด ซึ่งช่วยสร้างความมั่นใจในการคาดการณ์ แผนที่ฝน OneMap จะนำเสนอเป็น 2 รูปแบบ คือ แผนที่ปริมาณฝน และแผนที่ความผิดปกติของปริมาณฝน ดังแสดงในรูปที่ 4.4

แผนที่ปริมาณฝน เป็นแผนที่แสดงปริมาณฝนคาดการณ์รายเดือนแบบกริดที่ความละเอียด 1x1 กิโลเมตร ข้อมูลบนแผนที่ประกอบด้วย 1) ปริมาณฝนคาดการณ์เฉลี่ย 2) ปริมาณฝนคาดการณ์ต่ำสุด และ 3) ปริมาณฝนคาดการณ์สูงสุด ณ จุดแสดงตำแหน่งสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา รวมทั้งแสดงตำแหน่งที่ตั้งของเขื่อนขนาดใหญ่

แผนที่ความผิดปกติของปริมาณฝน เป็นแผนที่ฝนที่แสดงค่าผลต่างระหว่างปริมาณฝน คาดการณ์รายเดือนกับค่าฝนตรวจวัดรายเดือนเฉลี่ย 30 ปี (พ.ศ. 2524 - 2553) ซึ่งจะให้เห็นได้ ง่ายว่าบริเวณใดมีปริมาณฝนสูงหรือต่ำกว่าปกติ



รูปที่ 4.4 แผนที่ฝน OneMap แสดงปริมาณฝนคาดการณ์รายเดือนหกเดือนล่วงหน้า

แผนที่ฝน OneMap และ ข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างแผนที่ มีการเผยแพร่บนเว็บไซต์ http://live1.hii.or.th/product/latest/rain/one_map/one_map_rain_forecast.html และ สามารถดาวน์โหลดได้ ข้อมูลที่เผยแพร่ประกอบไปด้วยไฟล์ทั้งหมด 18 ไฟล์ ได้แก่

- ∴ OM_LFCST_YYYYMM.asc จำนวน 6 ไฟล์
- ∴ OM_MFCST_YYYYMM.asc จำนวน 6 ไฟล์
- ∴ OM_UFCST_YYYYMM.asc จำนวน 6 ไฟล์

โครงสร้างของชื่อไฟล์มีความหมาย ดังต่อไปนี้

- ∴ OM_LFCST : ค่าคาดการณ์ฝนรายเดือนต่ำสุดระหว่างของกรมอุตฯ กับ สสน.
- ∴ OM_MFCST : ค่าคาดการณ์ฝนรายเดือนเฉลี่ยระหว่างของกรมอุตฯ กับ สสน.
- ∴ OM_UFCST : ค่าคาดการณ์ฝนรายเดือนสูงสุดระหว่างของกรมอุตฯ กับ สสน.
- ∴ YYYY : ปี และ MM : เดือน

4.4 การประเมินผลการคาดการณ์ฝนหกเดือนล่วงหน้า สำหรับรายเดือนและรายสามเดือน

การประเมินผลการคาดการณ์ฝนใช้ข้อมูลฝนตรวจวัดจากกรมอุตุนิยมวิทยาในการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลฝนคาดการณ์ ข้อมูลฝนตรวจวัดนี้ผ่านการกระจายตัวเชิงพื้นที่เป็นรายกริด โดยเป็นข้อมูลรายเดือนระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2561 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 รวม 36 เดือน และข้อมูลฝนรายเดือนเฉลี่ย 30 ปีของกรมอุตุนิยมวิทยา ด้วยเหตุที่การคาดการณ์ฝนหกเดือนล่วงหน้าได้เริ่มดำเนินการตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 เป็นต้นมา (ก่อนหน้าเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 การคาดการณ์ยังเป็นแบบสามเดือนล่วงหน้า) ดังนั้น จึงมีข้อมูลฝนคาดการณ์ที่สามารถนำมาประเมินผลเพียง 19 เดือน

สำหรับข้อมูลฝนคาดการณ์ ประกอบด้วยข้อมูล 5 ชุด จากการคาดการณ์ 5 แบบ คือ

1. ค่าคาดการณ์ฝนรายเดือนโดยกรมอุตุนิยมวิทยา (TMD)
2. ค่าคาดการณ์ฝนรายเดือนโดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (HII)
3. ค่าคาดการณ์ฝนรายเดือนต่ำสุดระหว่าง TMD และ HII (OM LFCST)
4. ค่าคาดการณ์ฝนรายเดือนเฉลี่ยระหว่าง TMD และ HII (OM MFCST)
5. ค่าคาดการณ์ฝนรายเดือนสูงสุดระหว่าง TMD และ HII (OM UFCST)

1) การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณฝนคาดการณ์รายเดือน

ค่าสถิติที่จะใช้เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของระบบการคาดการณ์ปริมาณฝนในที่นี้ประกอบไปด้วยค่า 3 ค่า ได้แก่ PBIAS, RMSE และ CORR ทำการคำนวณค่าต่าง ๆ ดังกล่าวจากข้อมูลที่มี ได้ผลดังตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นตารางสรุปค่าตัววัดทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบค่าคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนล่วงหน้า 1 ถึง 6 เดือน จากแบบจำลองของ HII และ TMD โดยใช้ข้อมูลฝนตรวจวัดรายสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา รวมทั้งค่าคาดการณ์จากการบูรณาการผลการคาดการณ์ของ HII และ TMD คือ OneMap LFCST, OneMap MFCST และ OneMap UFCST

จากตาราง จะเห็นได้ว่าการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนล่วงหน้า 1 เดือนของทั้งห้าแบบมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างผลคาดการณ์และข้อมูลตรวจวัดสูงอยู่ในช่วง 0.70 – 0.78 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการคาดการณ์ล่วงหน้า 2 ถึง 6 เดือนก็มีค่าค่อนข้างสูง คือตั้งแต่ 0.63 ขึ้นไป ซึ่งแสดงว่าค่าคาดการณ์และข้อมูลตรวจวัดมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาเรื่องความคลาดเคลื่อนของการคาดการณ์ การบูรณาการแบบ OneMap LFCST ให้ผลการคาดการณ์ที่ดีกว่าการคาดการณ์แบบอื่นสำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 4 เดือนเพราะมีค่า RMSE และ PBIAS ต่ำสุด แต่กรณีคาดการณ์ล่วงหน้า 5 หรือ 6 เดือน การคาดการณ์แบบ OneMap MFCST จะ

เหมาะสมกว่า ส่วนการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง TMD ให้ค่า RMSE และ PBIAS ที่สูงกว่าการคาดการณ์แบบบูรณาการเล็กน้อย

ตารางที่ 4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (CORR) ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (PBIAS) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของปริมาณฝนคาดการณ์ล่วงหน้า 1 เดือน (t1) 2 เดือน (t2) 3 เดือน (t3) 4 เดือน (t4) 5 เดือน (t5) และ 6 เดือน (t6) จากการคาดการณ์ 5 แบบ เทียบกับข้อมูลฝนตรวจวัดรายสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา

		t1	t2	t3	t4	t5	t6
CORR	HII	0.70	0.68	0.69	0.63	0.66	0.69
	TMD	0.78	0.79	0.79	0.65	0.71	0.72
	OM LFCST	0.77	0.78	0.79	0.67	0.7	0.74
	OM MFCST	0.77	0.77	0.77	0.64	0.78	0.71
	OM UFCST	0.74	0.74	0.75	0.66	0.67	0.73
PBIAS (%)	HII	23.6	20.1	21.4	23.4	29.2	33.7
	TMD	12.8	14.8	11.4	6.6	7.3	13.6
	OM LFCST	-3.6	-4.7	-4.6	2.4	9.3	17.7
	OM MFCST	15.9	13.6	12.5	5.6	-4.7	7.4
	OM UFCST	41.5	37.9	37.9	34.7	5.3	45.1
RMSE (mm)	HII	108.0	108.8	110.4	138.1	141.9	143.9
	TMD	82.7	83.0	84.0	112.1	108.8	115.6
	OM LFCST	81.0	81.4	80.9	108.7	112.5	115
	OM MFCST	86.4	86.2	87.5	117.9	81.4	116.3
	OM UFCST	108.8	106.3	108.6	136.8	114.6	144.5

หมายเหตุ : แถบสีเหลือง แสดงผลที่ดีที่สุดและ แถบสีฟ้าเป็นผลที่ด้อยอันดับรองลงมา

TMD : การคาดการณ์ฝนรายเดือนโดยกรมอุตุนิยมวิทยา

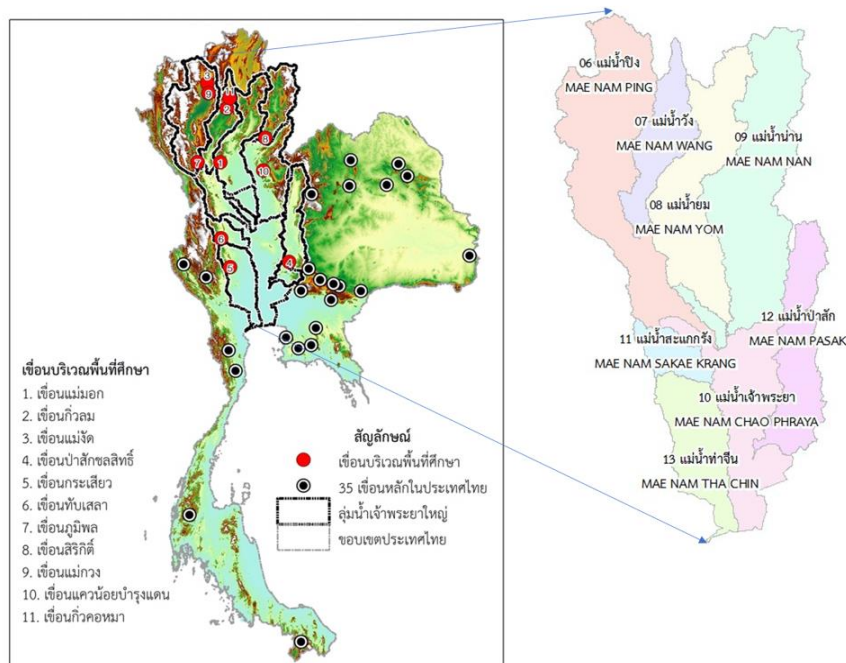
HII : การคาดการณ์ฝนรายเดือนโดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ

OM_LFCST : การคาดการณ์ฝนรายเดือนต่ำสุดระหว่าง TMD และ HII

OM MFCST : การคาดการณ์ฝนรายเดือนค่าเฉลี่ยระหว่าง TMD และ HII

OM UFCST : การคาดการณ์ฝนรายเดือนสูงสุดระหว่าง TMD และ HII

ข้างต้นเป็นการศึกษาความสามารถของการคาดการณ์ปริมาณฝนทั้งประเทศ ส่วนต่อไปจะเป็นการศึกษาในรายละเอียดเพิ่มเติม โดยจะเปรียบเทียบปริมาณฝนคาดการณ์กับปริมาณฝนเฉลี่ย 30 ปีรายลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่ ซึ่งแบ่งเป็นเจ้าพระยาตอนบน 4 ลุ่มน้ำคือ ปิง วัง ยม และน่าน และ ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง 4 ลุ่มน้ำ คือ เจ้าพระยา สะแกกรัง ป่าสัก และท่าจีน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.3 ข้อมูลที่วิเคราะห์ประกอบด้วยปริมาณฝนคาดการณ์เฉลี่ยสามเดือนแรกและสามเดือนหลังในลักษณะของ moving window เพื่อให้เห็นผลลัพธ์ของบริเวณลุ่มน้ำที่สนใจชัดเจนขึ้น



รูปที่ 4.5 แผนที่ขอบเขตลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่

ตารางที่ 4.3 รายชื่อลุ่มน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่

พื้นที่	รหัสลุ่มน้ำ	ลุ่มน้ำ
ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ตอนบน	6	ลุ่มน้ำปิง
	7	ลุ่มน้ำวัง
	8	ลุ่มน้ำยม
	9	ลุ่มน้ำน่าน
ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ตอนล่าง	10	ลุ่มน้ำเจ้าพระยา
	11	ลุ่มน้ำสะแกกรัง
	12	ลุ่มน้ำป่าสัก
	13	ลุ่มน้ำท่าจีน

2) การเปรียบเทียบปริมาณฝนคาดการณ์เฉลี่ยรายลุ่มน้ำรายสามเดือนแรก

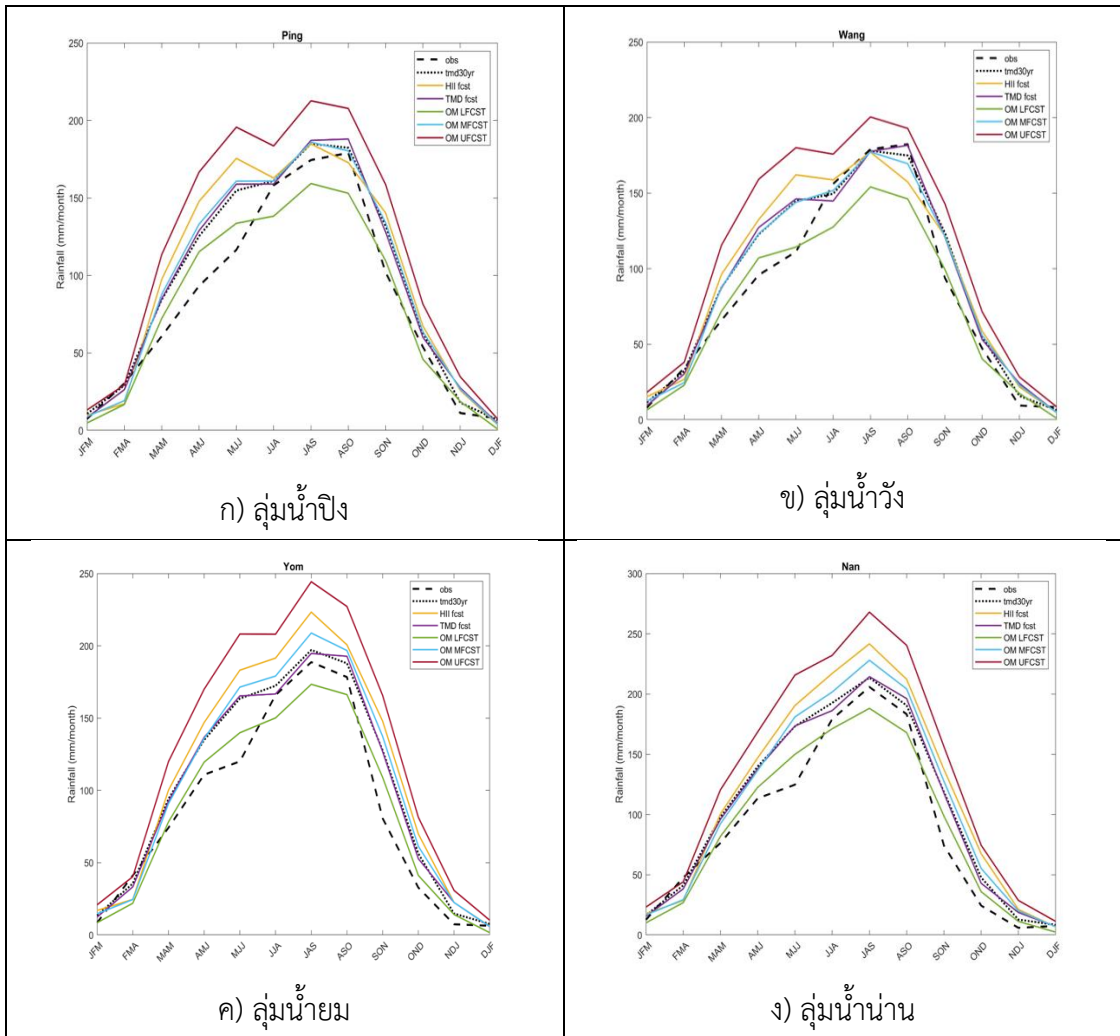
ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินเป็นปริมาณฝนคาดการณ์ล่วงหน้า 6 เดือน โดยใช้ข้อมูลในช่วง 3 เดือนแรกของการคาดการณ์ ตัวอย่างเช่น การคาดการณ์ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน ใช้ข้อมูลเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และมีนาคม ในการประเมิน

ในช่วงปีพ.ศ. 2562-2563 ฝนที่ตกในพื้นที่ประเทศไทยมีปริมาณน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนในรอบ 30 ปี ผลการประเมินโดยภาพรวมพบว่า ปริมาณฝนคาดการณ์จากแบบจำลอง TMD มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฝนเฉลี่ย 30 ปีของกรมอุตุนิยมวิทยาในทุกลุ่มน้ำและทุกช่วงเวลา

ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน

จากรูปที่ 4.6 บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ในช่วงเปลี่ยนฤดูกาลรายสามเดือน MAM และ AMJ ปริมาณฝนคาดการณ์สูงกว่าปริมาณฝนตรวจวัดค่อนข้างมากในลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน แต่ในช่วงสามเดือน SON จนถึง JFM ปริมาณฝนคาดการณ์มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับปริมาณฝนตรวจวัด

สำหรับลุ่มน้ำปิงและลุ่มน้ำวัง การคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง TMD และ HII รวมถึงค่าคาดการณ์ OneMap MFCST ให้ผลที่ดีไม่แตกต่างกันนัก ส่วนลุ่มน้ำยมและลุ่มน้ำน่าน การคาดการณ์ของแบบจำลอง TMD ให้ผลที่ดีที่สุด



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยสามเดือนแรกรายลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน

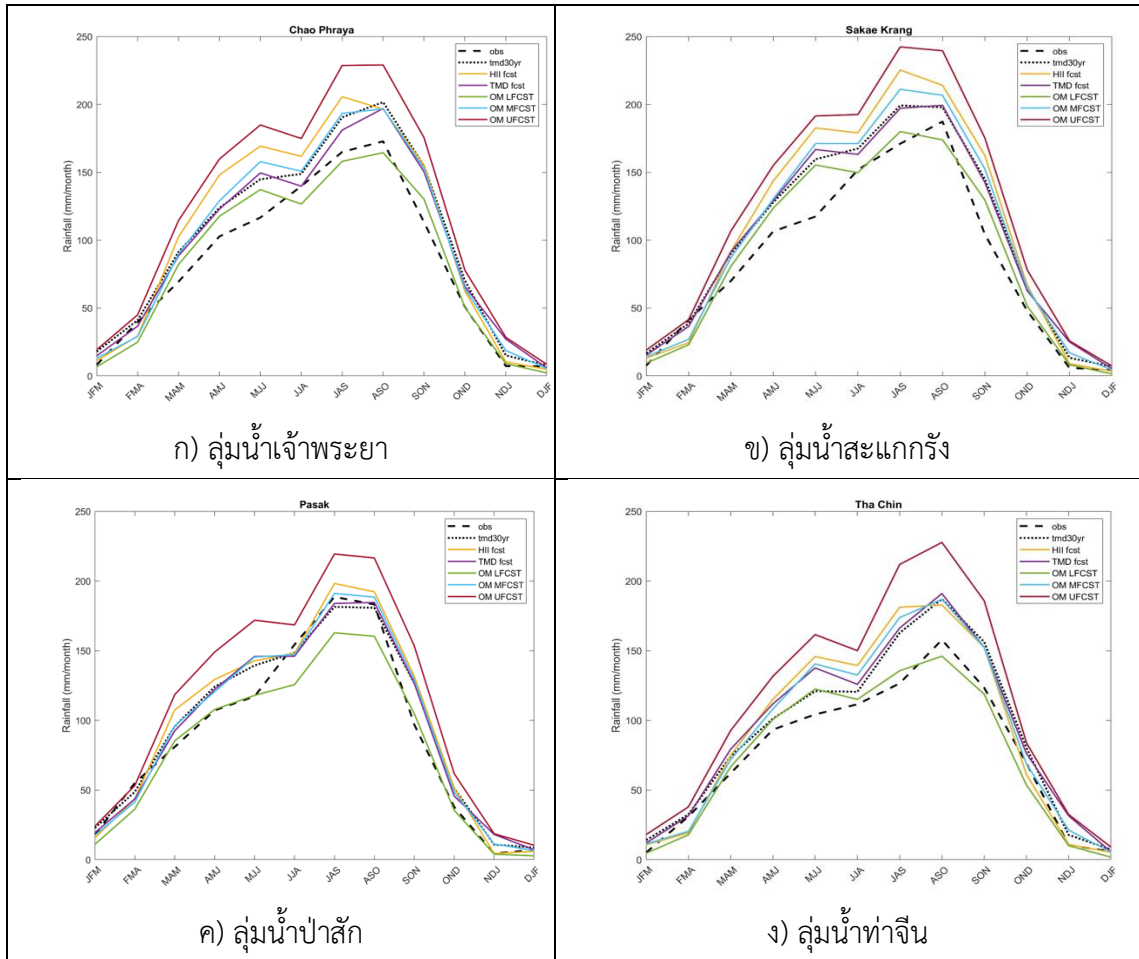
ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

จากรูป 4.7 บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ในช่วงเปลี่ยนฤดูกาลรายสามเดือน MAM และ AMJ ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ลุ่มน้ำสะแกกรัง และลุ่มน้ำท่าจีน ปริมาณฝนคาดการณ์สูงกว่าปริมาณฝนตรวจวัดค่อนข้างมาก สำหรับลุ่มน้ำป่าสัก ปริมาณฝนจากการคาดการณ์แบบ OneMap LFCST มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฝนตรวจวัด

ในฤดูแล้งช่วงเดือน SON จนถึง JFM ทั้งสี่ลุ่มน้ำ การคาดการณ์ทุกแบบให้ปริมาณฝนคาดการณ์ค่อนข้างใกล้เคียงกับปริมาณฝนตรวจวัด

ในฤดูฝนช่วงเดือน MJJ ถึง ASO ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ลุ่มน้ำสะแกกรัง และลุ่มน้ำท่าจีน การคาดการณ์แบบ OneMap LFCST ให้ผลที่ดีที่สุด คือค่าคาดการณ์ใกล้เคียงกับปริมาณฝนตรวจวัดมาก

ที่สุด ส่วนลุ่มน้ำป่าสัก ผลการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง TMD และ HII และค่าคาดการณ์แบบ OneMap MFCST ตีใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยสามเดือนแรกรายลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

3) การเปรียบเทียบปริมาณฝนคาดการณ์เฉลี่ยรายลุ่มน้ำรายสามเดือนหลัง

ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินเป็นปริมาณฝนคาดการณ์ล่วงหน้า 6 เดือน โดยใช้ข้อมูลในช่วง 3 เดือนหลังของการคาดการณ์ อาทิ การคาดการณ์ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน ใช้ข้อมูลเดือน เมษายน พฤษภาคม และมิถุนายน ในการประเมิน การคาดการณ์รายสามเดือนหลังนี้มีข้อมูลตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 จำนวนรวม 19 เดือน

ปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่ทั้ง 8 ลุ่มน้ำมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ย 30 ปี พอสมควร โดยเห็นได้ชัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเดือน FMA และ MJJ ที่เป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำฝนในเดือนเมษายนและกรกฎาคม ส่วนตั้งแต่เดือนกันยายนถึงต้นปี

ปริมาณฝนใกล้เคียงมากขึ้นกับค่าเฉลี่ย 30 ปี อย่างไรก็ตาม ในภาพรวม ไม่มีการคาดการณ์วิธีใดวิธีหนึ่งที่สามารถคาดการณ์ปริมาณฝนได้ดีในทุกกลุ่มน้ำและทุกช่วงเวลา ทั้งนี้ในช่วงฤดูฝนเดือน MJJ ถึง ASO การคาดการณ์ปริมาณฝนมักจะสูงเกินจริง

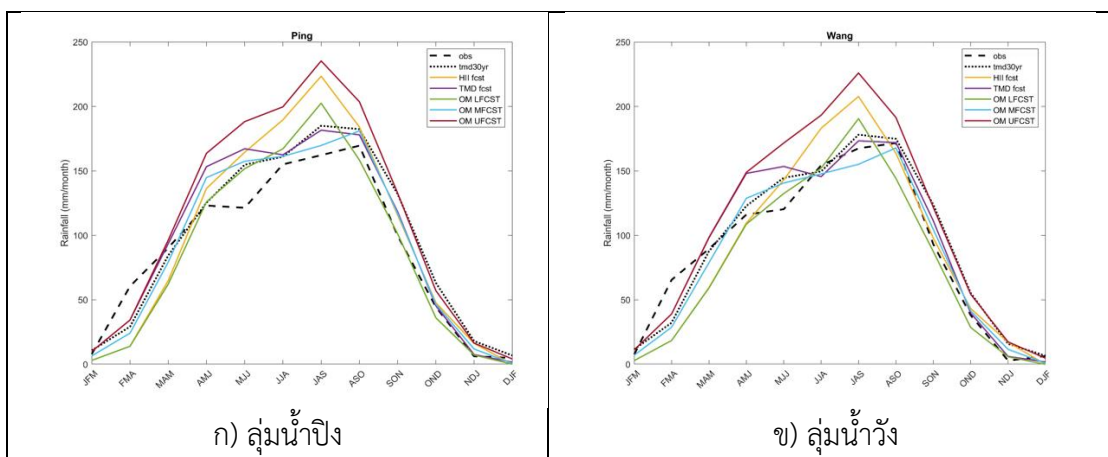
ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน

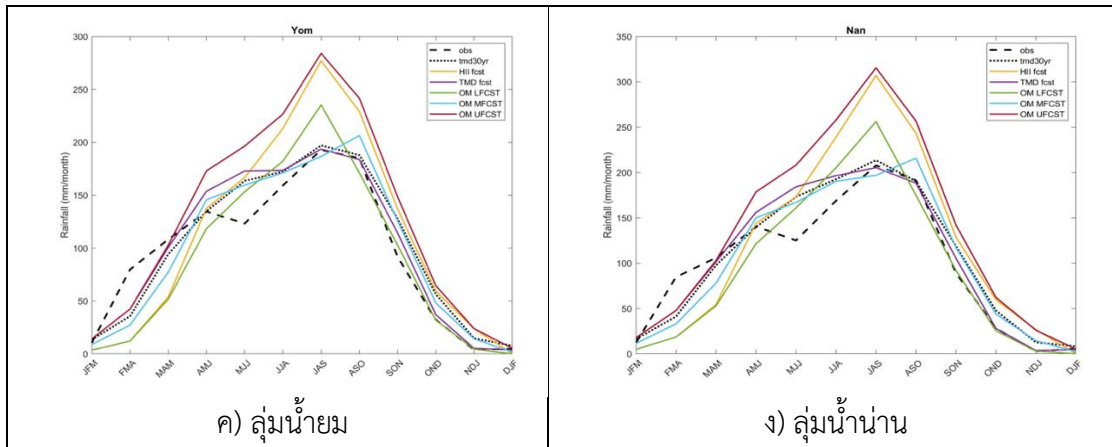
รูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นผลการคาดการณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือนหลัง บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนจากวิธีการคาดการณ์แบบต่าง ๆ เปรียบเทียบกับปริมาณฝนจริงจากการตรวจวัด

สำหรับลุ่มน้ำปิง การคาดการณ์ในช่วงเดือน AMJ ถึง JAS ทุกแบบให้ค่าปริมาณฝนคาดการณ์ที่สูงกว่าปริมาณฝนตรวจวัด แต่ตั้งแต่เดือน ASO ส่วนใหญ่จะคาดการณ์ได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การคาดการณ์ปริมาณฝนช่วงเดือน DJF และ JFM ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ในส่วนลุ่มน้ำวัง การคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง TMD ให้ผลที่ดีเป็นบางช่วงเวลา และในบางช่วงเวลา แบบจำลอง HII ก็ให้ผลการคาดการณ์ที่ดีกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในภาพรวมของทุกช่วงเวลา OneMap MFCST จัดว่าเป็นวิธีที่คาดการณ์ได้ในระดับที่น่าพอใจอย่างสม่ำเสมอ

การคาดการณ์ปริมาณฝนในลุ่มน้ำยมและลุ่มน้ำน่าน แบบจำลอง TMD ทำได้ดี ให้ผลคาดการณ์ที่ใกล้เคียงปริมาณฝนตรวจวัดในช่วงเดือน JAS ถึง JFM แบบจำลอง OneMap LFCST คาดการณ์ได้ดีมากเช่นกันในฤดูแล้งช่วงเดือน SON จนถึง DJF นอกเหนือช่วงเวลาที่กล่าวถึง โดยทั่วไปการคาดการณ์ยังไม่ดีนัก





รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือนหลังรายลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน

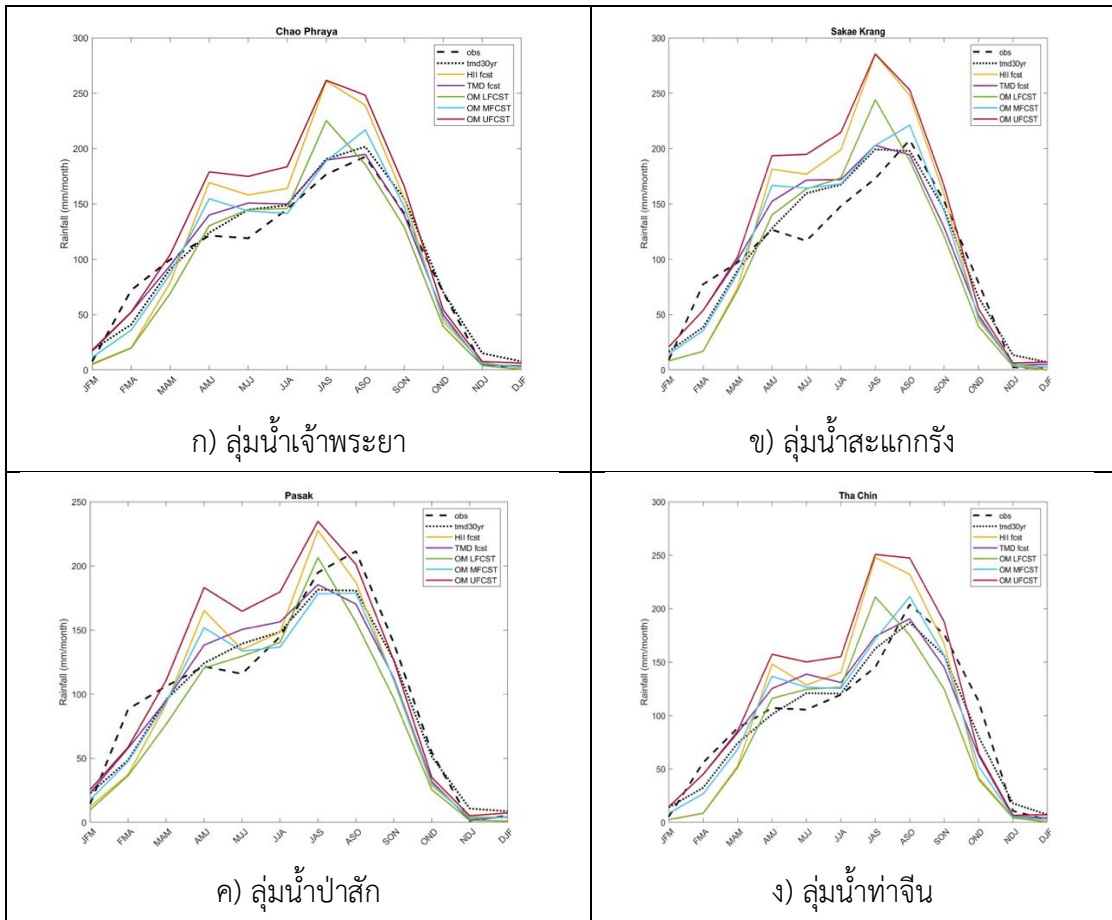
ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

รูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นผลการคาดการณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือนหลัง บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างจากวิธีการคาดการณ์แบบต่าง ๆ เปรียบเทียบกับปริมาณฝนจริงจากการตรวจวัด สำหรับลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างโดยทั่วไป แบบจำลอง TMD คาดการณ์ได้ดีกว่าวิธีอื่น แม้ว่าจะบางช่วงเวลาอาจมีวิธีอื่นที่คาดการณ์ได้ดีกว่าบ้าง การคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง TMD จะแม่นยำที่สุดในช่วงเดือน ASO ถึง DJF

ลุ่มน้ำสะแกกรัง ผลการคาดการณ์ไม่ดีขึ้นในช่วงเดือน FMA ถึง JAS ในช่วงเดือน SON จนถึง JFM ทุกวิธีคาดการณ์ได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบบจำลอง HII และ OneMap UFCST คาดการณ์ได้ใกล้เคียงกับปริมาณฝนตรวจวัดมาก

ลุ่มน้ำป่าสัก การคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนของช่วงเดือน ASO ถึง NDJ ให้ค่าต่ำกว่าปริมาณฝนตรวจวัด โดยวิธีคาดการณ์ที่ให้ผลการคาดการณ์ได้ใกล้เคียงที่สุดคือ การบูรณาการผลการคาดการณ์แบบ OneMap UFCST สำหรับช่วงเวลาอื่น การคาดการณ์ทุกแบบยังให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร

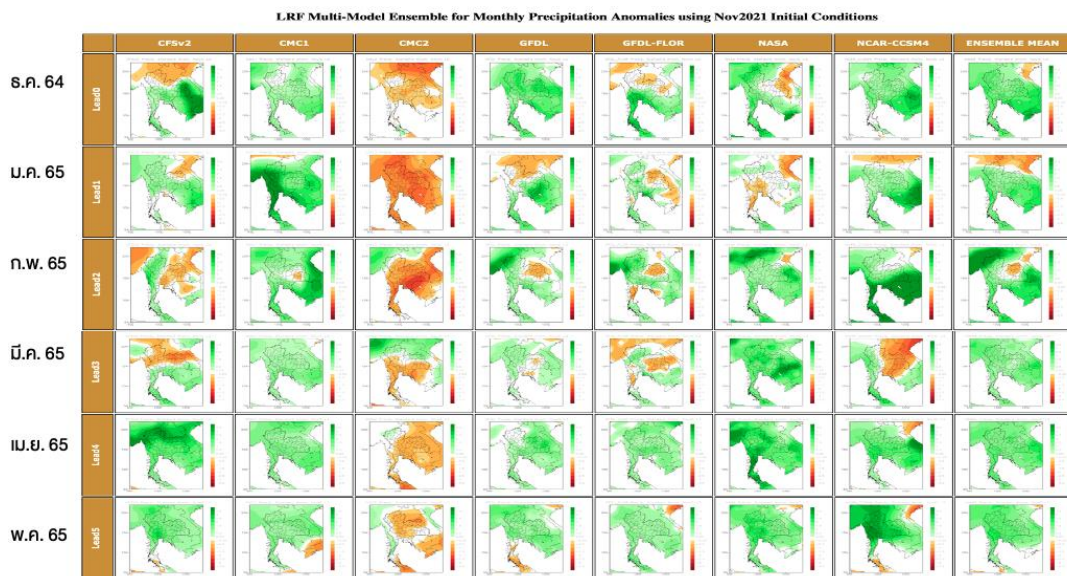
ส่วนลุ่มน้ำท่าจีน การคาดการณ์ทุกแบบให้ค่าคาดการณ์ปริมาณฝนช่วงเดือน AMJ ถึง JAS สูงกว่าปริมาณฝนตรวจวัด แต่ในช่วงเดือน OND และ NDJ ค่าคาดการณ์จะต่ำกว่าปริมาณฝนตรวจวัด อย่างไรก็ตาม การบูรณาการแบบ OneMap MFCST ให้ค่าคาดการณ์ปริมาณฝนที่ใกล้เคียงปริมาณฝนตรวจวัดดีกว่าการคาดการณ์แบบอื่น



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายสามเดือนหลังรายลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

4.5 การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าจากแบบจำลอง NMME

กรมอุตุนิยมวิทยาได้นำเสนอผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายฤดูกาลจากแบบจำลอง 8 แบบจำลองประกอบด้วย CCSM4, CFSv2, CMC1, CMC2, GFDL, GFDL_FLOR, NASA และ NMME ซึ่งปรากฏบน website ของกองภูมิอากาศ และแสดงเป็นตัวอย่างดังในรูปที่ 4.10 โดยเป็นผลคาดการณ์ปริมาณฝน 6 เดือนล่วงหน้าและมีการปรับค่าทุกต้นเดือน



รูปที่ 4.11 ผลการคาดการณ์จากแบบจำลองในกลุ่ม NMME ระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2565

ที่มา: กองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา

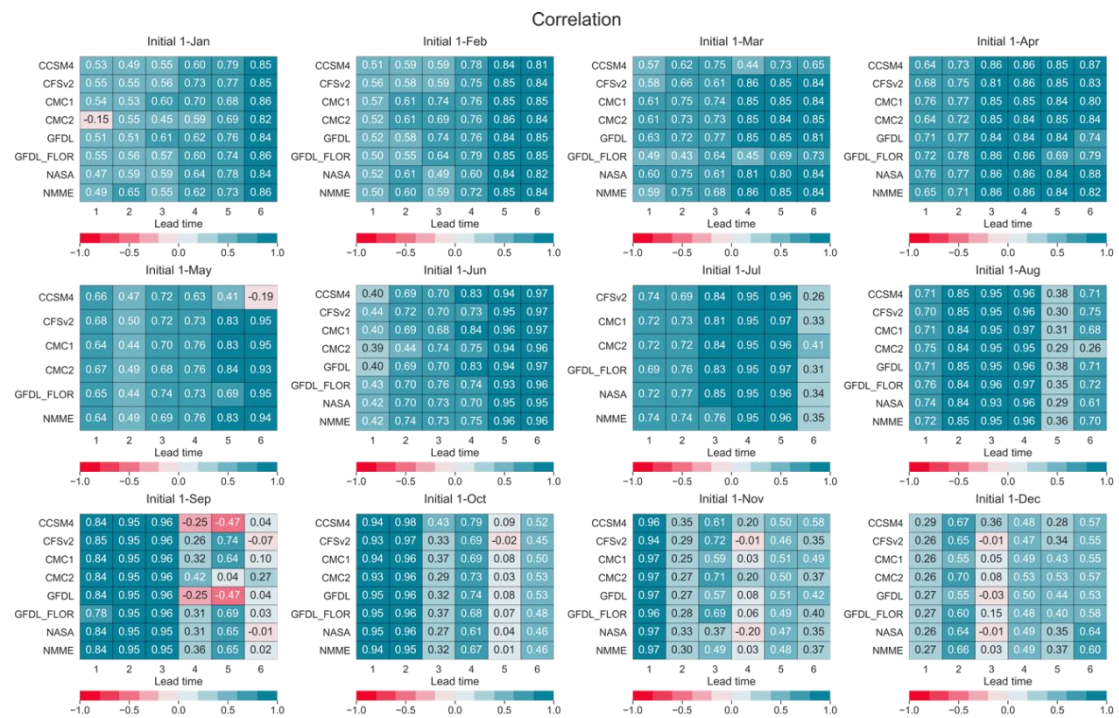
http://119.46.126.98/climate_centre/nmme_models/precip_monthly.html

ทีมวิจัยได้รับข้อมูลที่เป็น operation สำหรับคาดการณ์ปริมาณฝน 6 เดือนล่วงหน้าของแบบจำลองต่าง ๆ ของ NMME ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 - ตุลาคม พ.ศ. 2564 จึงได้ทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนและเสนอผลการดำเนินการดังนี้

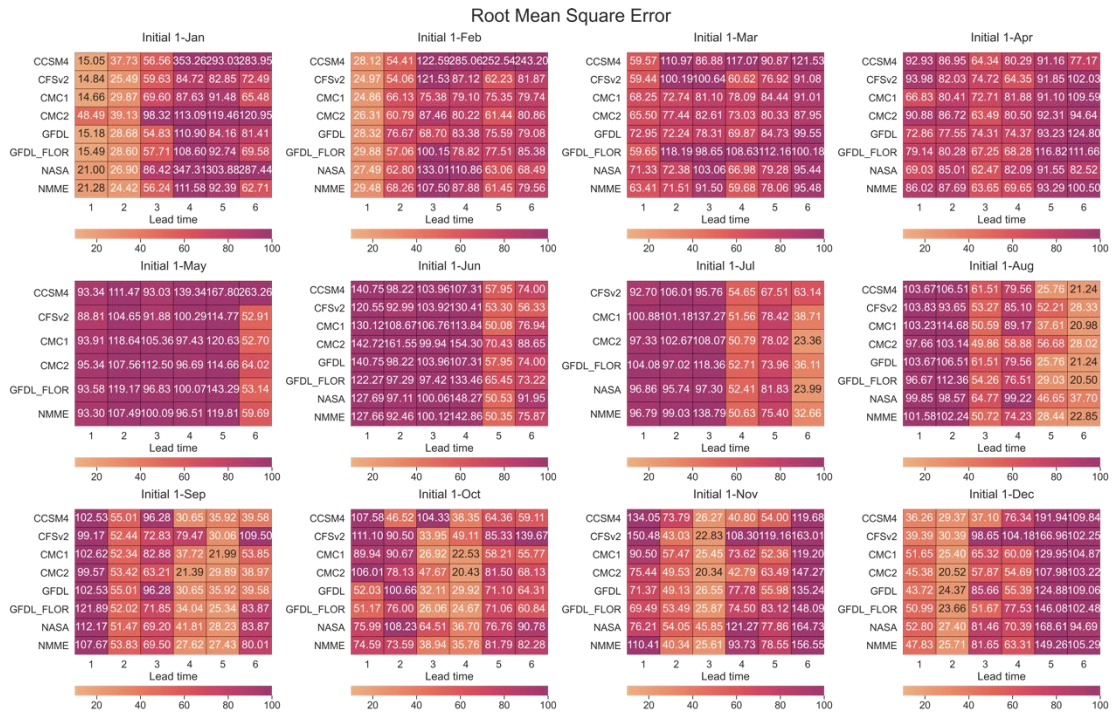
1) การประเมินผลการคาดการณ์ปริมาณฝนเชิงพื้นที่

การประเมินการคาดการณ์ปริมาณฝนเชิงพื้นที่เมื่อใช้ข้อมูลปริมาณฝนจากการตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยากับข้อมูลคาดการณ์ปริมาณฝนรายฤดูกาลจากแบบจำลอง 8 แบบอันประกอบด้วย CCSM4, CFsv2, CMC1, CMC2, GFDL, GFDL_FLOR, NASA และ NMME ในช่วงปี พ.ศ. 2563-

2564 แสดงผลให้เห็นในรูปที่ 4.11 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r และรูปที่ 4.12 เป็นค่า RMSE โดยภาพรวมของทั้ง 8 แบบจำลองสรุปได้ดังนี้ ช่วง initial time ที่ 1-Apr มีค่า r ที่สูงที่สุดคือ 0.88 สำหรับการคาดการณ์ปริมาณฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) แต่การคาดการณ์มีความคลาดเคลื่อนสูง RMSE มีค่ามากกว่า 90 มม. เมื่อใช้ initial time 1-May - 1-Aug ให้ผลการคาดการณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนสูง ถึงแม้ว่าจะมีระดับความสัมพันธ์ที่สูงใกล้เคียงกัน ในขณะที่ช่วง initial time 1-Sep มีค่า r สูงที่สุดที่ 0.85 สำหรับการคาดการณ์ปริมาณฝนในช่วงต้นฤดูหนาว คือ ช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม ค่า RMSE แสดงให้เห็นความคลาดเคลื่อนประมาณ 51-122 มม. มีความคลาดเคลื่อนต่ำและการคาดการณ์ใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากกว่าช่วงฤดูฝน สำหรับช่วง initial time 1-Oct - 1-Mar ถึงแม้ว่าความคลาดเคลื่อนจะต่ำ แต่ผลการประเมินการคาดการณ์ได้สัดส่วนที่ต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัดในช่วง lead time 1-6



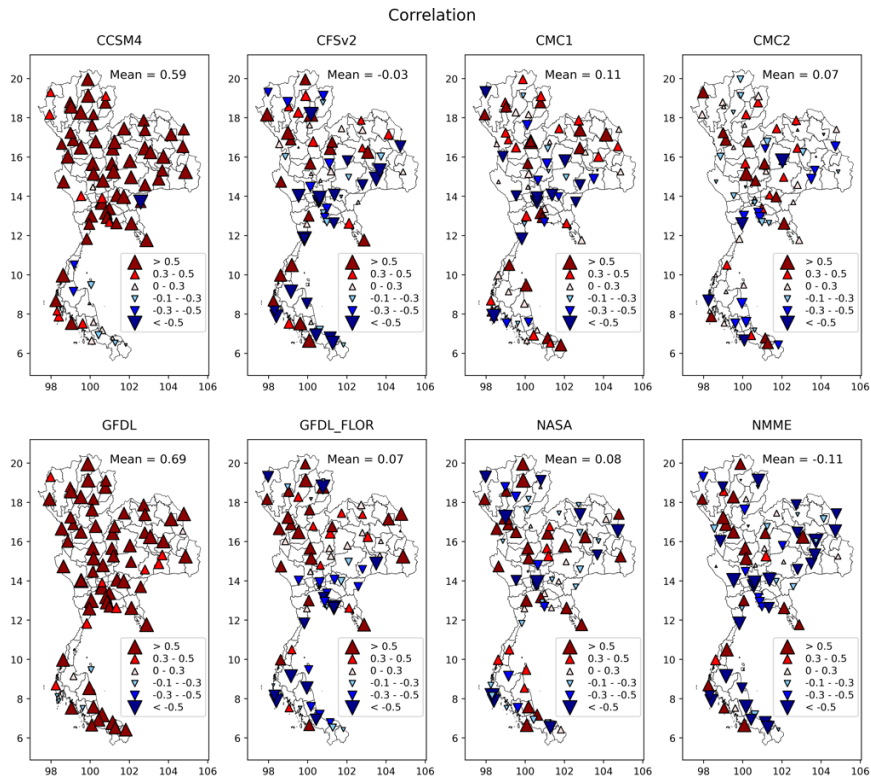
รูปที่ 4.12 ค่า correlation coefficient เชิงพื้นที่ สำหรับแต่ละ initial time



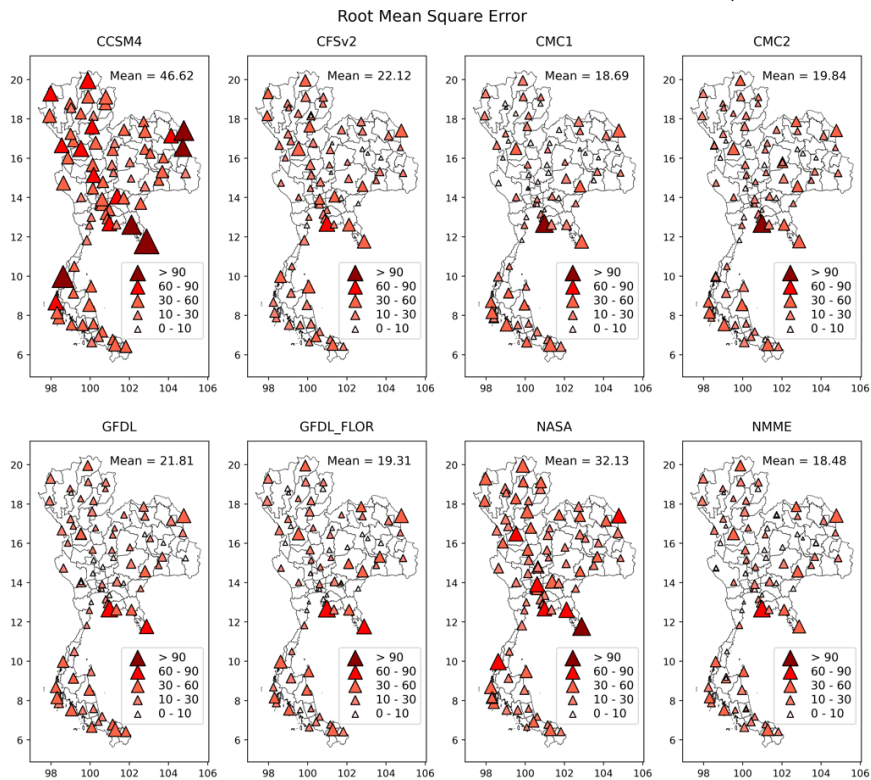
รูปที่ 4.13 ค่า root mean square error เชิงพื้นที่ สำหรับแต่ละ initial time

2) การประเมินผลการคาดการณ์เชิงเวลา

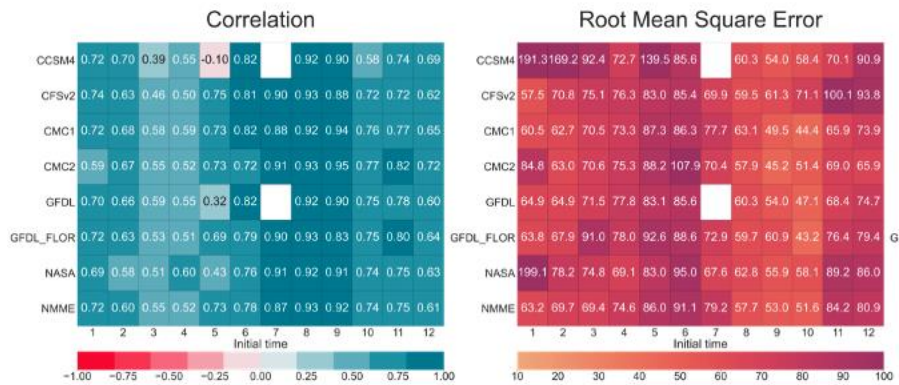
ผลการประเมินการคาดการณ์เชิงเวลาในระยะเวลา 6 เดือน ของแบบจำลอง 8 แบบจำลอง เมื่อเฉลี่ย initial times ทั้งหมด ช่วงปี พ.ศ. 2563-2564 ในรายสถานี แบบจำลอง CCSM4 และ GFDL มีค่า r เฉลี่ยเท่ากับ 0.59 และ 0.69 ตามลำดับ ในขณะที่แบบจำลองอื่น ๆ ในบริเวณภาคกลาง และภาคใต้ ส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้าม ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ในเชิงลบ สำหรับค่า RMSE แสดงถึงความคลาดเคลื่อนสูงโดยเฉพาะแบบจำลอง CCSM4 ส่วนแบบจำลอง CMC1 และ NMME มีความคลาดเคลื่อนต่ำโดยเฉลี่ยเท่ากับ 18.69 มม. และ 18.48 มม. ดังรูปที่ 4.14 สำหรับการประเมินผลเมื่อพิจารณาแต่ละ initial time โดยเฉลี่ยทุกสถานี พบว่า initial times 1-Jun – 1-Sep มีความสามารถในการคาดการณ์ปริมาณฝนในระยะ 6 เดือน ในขณะที่ initial times อื่น ๆ มีความคลาดเคลื่อนสูง สัดส่วนของการคาดการณ์ได้อยู่ในระดับต่ำ ดังรูปที่ 4.15 ทั้งนี้ แบบจำลอง CMC1 มีค่าสถิติที่ดีที่สุดโดยค่า r เท่ากับ 0.75 และ RMSE เท่ากับ 67 มม.



รูปที่ 4.14 ค่า correlation coefficient เชิงเวลา รายสถานี เฉลี่ยทุก initial time



รูปที่ 4.15 ค่า root mean square error เชิงเวลา รายสถานี เฉลี่ยทุก initial time



รูปที่ 4.16 การประเมินผลการคาดการณ์เฉลี่ยทุกสถานี สำหรับแต่ละ initial time

3) ภาพรวมการประเมินผลการคาดการณ์รายฤดูกาล

การประเมินผลการคาดการณ์ในระยะ 6 เดือน โดยเฉลี่ยสถานีทั้งหมด พบว่า ถึงแม้ส่วนใหญ่ ผลการคาดการณ์ค่อนข้างจะมีความสัมพันธ์กับข้อมูลตรวจวัด แต่ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนสูง และความสามารถในการคาดการณ์ปริมาณฝนอยู่ระดับต่ำ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยจะเห็นว่า แบบจำลอง CMC1 และ NMME มีความสัมพันธ์สูงกับข้อมูลตรวจวัด และคาดการณ์ได้ดีกว่าแบบจำลองอื่น ๆ สำหรับช่วงปี พ.ศ. 2563-2564 ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าสถิติของค่า correlation coefficient และ root mean square error จากการคาดการณ์รายฤดูกาล ของสถานีทั้งหมด

Model	R			RMSE		
	Min	Mean	Max	Min	Mean	Max
CCSM4	0.41	0.61	0.79	64.08	95.47	151.12
CFSv2	0.34	0.66	0.83	53.50	80.26	100.23
CMC1	0.36	0.67	0.84	57.65	75.32	107.19
CMC2	0.42	0.65	0.84	50.32	77.09	125.79
GFDL	0.35	0.62	0.80	56.16	70.06	101.64
GFDL_FLOr	0.38	0.65	0.84	49.79	77.50	110.59
NASA	0.35	0.65	0.85	60.58	86.61	157.10
NMME	0.36	0.66	0.83	57.21	76.34	103.44

หมายเหตุ : แถบสีเหลือง แสดงผลที่ดีที่สุด และแถบสีฟ้าเป็นผลที่ได้อันดับรองลงมา

ข้อเสนอแนะ: การประเมินผลการคาดการณ์ในระยะสั้น อาจจะไม่ครอบคลุมถึงความสามารถของแบบจำลองสำหรับการใช้งานในระยะยาว ทั้งนี้ การคาดการณ์รายฤดูกาลจำเป็นต้องพิจารณาการประเมินในเชิงของแนวโน้มความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ (probabilistic forecast) ประกอบด้วย โดยอ้างอิงจากค่าเฉลี่ยระยะยาวของข้อมูลตรวจวัดและแบบจำลอง ซึ่งจะสามารถประเมินความไม่แน่นอนของผลการพยากรณ์เพื่อใช้ในการตัดสินใจได้ดียิ่งขึ้น

บทที่ 5 การพัฒนาการคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้า

5.1 การพัฒนาการคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าด้วยวิธีการ bias correction กับข้อมูล CFSV2

การปรับความคลาดเคลื่อนของค่าฝนคาดการณ์จาก CFSV2 จะใช้วิธี linear scaling ตามสมการดังนี้

$$rain_bc_{i,j} = rain_cfs_{i,j} \times \frac{\mu_cfs_{m,i}}{\mu_obs_{m,i}}$$

เมื่อ j คือ วัน,

i คือ สถานี, $i = 1,2,3,\dots,n$

m คือ เดือน, $m = 1,2,3,\dots,12$

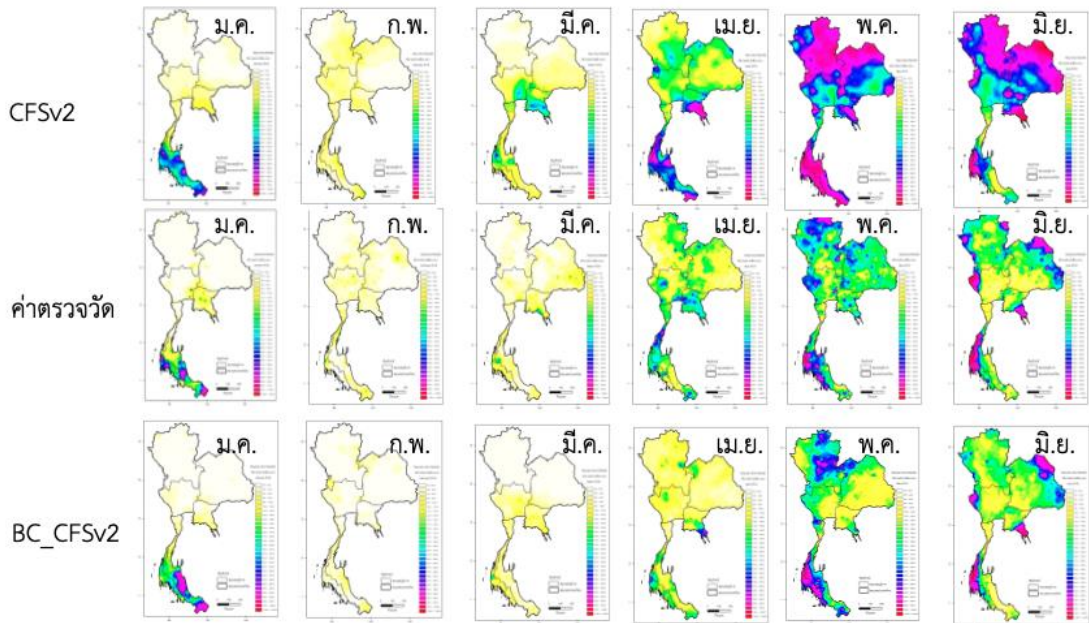
rain_bc เป็น ปริมาณฝนรายวันที่ปรับความคลาดเคลื่อนแล้ว

rain_cfs เป็น ปริมาณฝนรายวันของการคาดการณ์ CFSv2

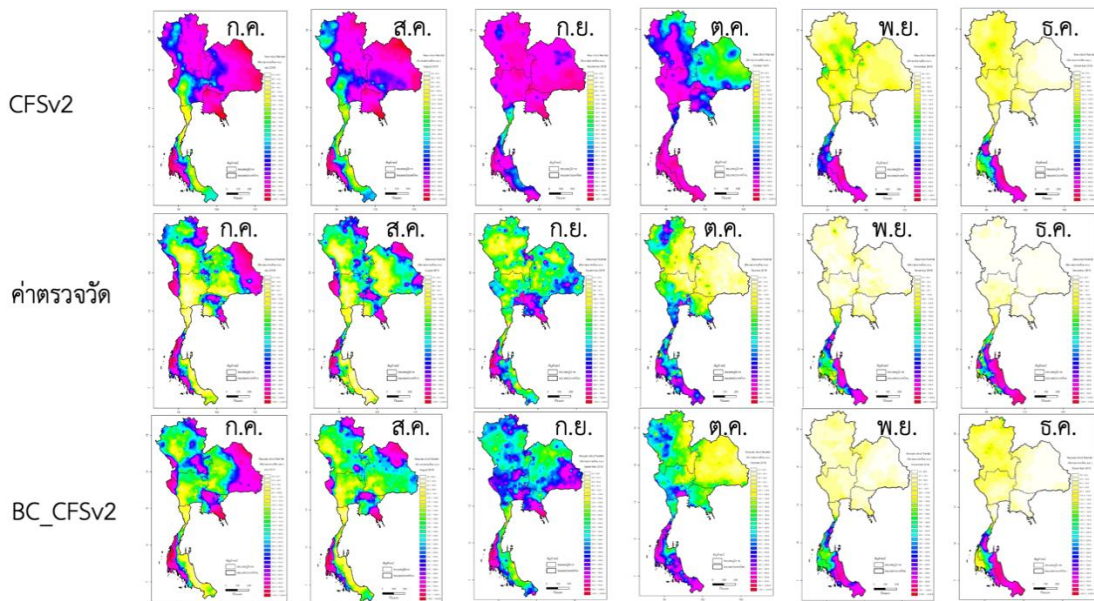
$\mu_cfs_{m,i}$ = ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนของ CFSv2 ณ ตำแหน่งสถานี (i) (2555-2560)

$\mu_obs_{m,i}$ = ปริมาณฝนตรวจวัดเฉลี่ยรายเดือน ณ ตำแหน่งสถานี (i) (2555-2560)

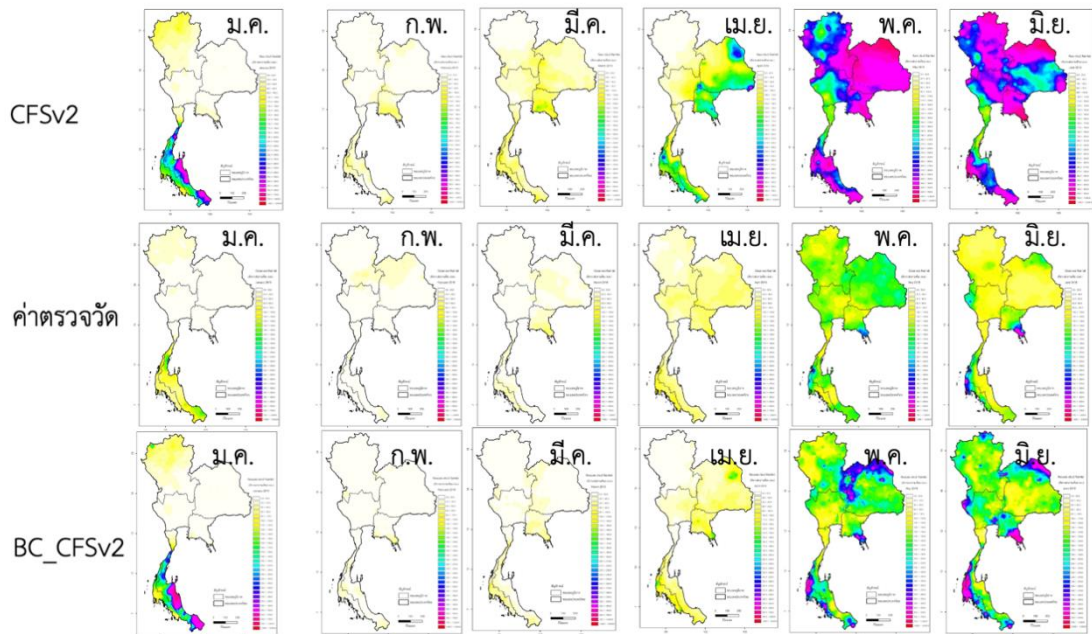
การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการปรับแก้จะใช้ข้อมูลสถานีฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555-2560 และใช้ข้อมูลฝน พ.ศ. 2561-2562 เป็นชุดตรวจสอบผลการคาดการณ์ ทำการวิเคราะห์ประเมินผลเปรียบเทียบข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและผลการคาดการณ์ปริมาณฝน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีเชิงพื้นที่ของผลการคาดการณ์ CFSV2 และ BC CFSV2 (bias corrected CFSV2) กับค่าข้อมูลตรวจวัดรายเดือน ตั้งแต่ปี 2561-2562 แสดงดังรูปที่ 5.1-5.4 พบว่าข้อมูล CFSV2 ให้ผลการคาดการณ์สูงกว่าค่าตรวจวัดค่อนข้างมาก (overestimate) แต่หลังจากปรับความคลาดเคลื่อนของค่าฝนคาดการณ์จาก CFSV2 ด้วยวิธี linear scaling แล้ว ผลของ BC CFSV2 จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือ เมื่อทำการปรับแก้ด้วยวิธีการดังกล่าว ผลการคาดการณ์ BC CFSV2 แสดงถึงปริมาณฝนและการกระจายตัวของฝนที่ดีขึ้น แม้ว่าจะยังคงมีบางพื้นที่ที่ค่าค่อนข้าง overestimate โดยเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้



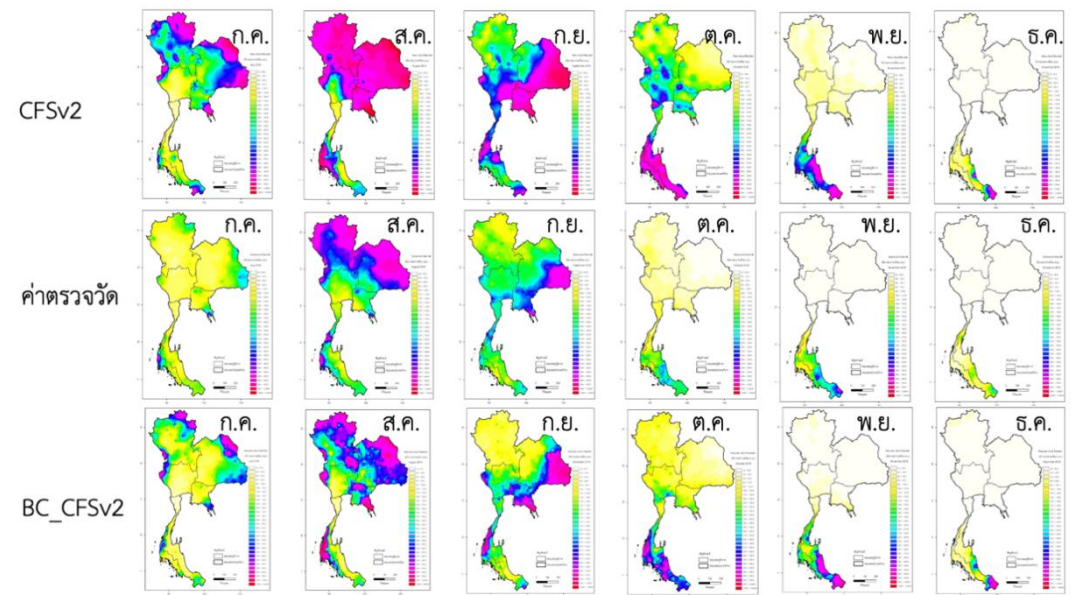
รูปที่ 5.1 การประเมินผลการคาดการณ์ CFSv2 และ BC CFSv2 กับค่าตรวจวัดรายเดือน ปี 2561 : ม.ค. ถึง มิ.ย.



รูปที่ 5.2 การประเมินผลการคาดการณ์ CFSv2 และ BC CFSv2 กับค่าตรวจวัดรายเดือน ปี 2561 : ก.ค. ถึง ธ.ค.



รูปที่ 5.3 การประเมินผลการคาดการณ์ CFSv2 และ BC CFSv2 กับค่าตรวจวัดรายเดือน ปี 2562 : ม.ค. ถึง มิ.ย.



รูปที่ 5.4 การประเมินผลการคาดการณ์ CFSv2 และ BC CFSv2 กับค่าตรวจวัดรายเดือน ปี 2562 : ก.ค. ถึง ธ.ค.

ตารางที่ 5.1 ผลการประเมินผลการคาดการณ์ CFSV2 และ BC CFSV2 รายเดือน ตั้งแต่ปี 2561-2562 ด้วยวิธีการทางสถิติ

ปีที่วิเคราะห์	ค่าสถิติ	ค่าของ CFSV2	ค่าของ BC CFSV2
ปี 2561	R	0.76	0.85
	RMSE	167	53
	PBIAS	78	-5
ปี 2562	R	0.77	0.84
	RMSE	149	56
	PBIAS	-110	-26

5.2 การพัฒนาการคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าด้วยวิธี Machine Learning

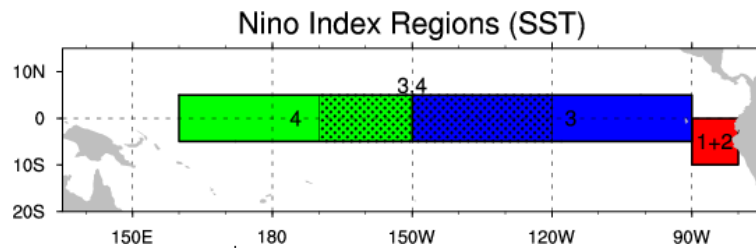
การคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าโดยวิธี machine learning ในโครงการนี้จะเป็นการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์ SimIDX ของ สสน. โดยทำการพัฒนาเพิ่มเติมในสองประเด็นคือ 1) เพิ่มปัจจัยที่ช่วยคาดการณ์ฝน และ 2) นำวิธีการ deep learning มาช่วยวิเคราะห์เพิ่มเติม โดยมีปัจจัยดัชนีสมุทรศาสตร์และสภาพอากาศที่นำมาพัฒนาแบบจำลอง ดังนี้

- 1) Oceanic Nino Index (ONI)
- 2) Indian Ocean Dipole (IOD)
- 3) Pacific Decadal Oscillation (PDO)
- 4) ENSO Modoki Index (EMI)
- 5) Madden-Julian Oscillation (MJO)
- 6) ดัชนีมรสุม (Monsoon Indices)
 - 6.1) ดัชนี Indian Summer Monsoon (ISM)
 - 6.2) ดัชนี Western North Pacific Monsoon (WNPM)

1) Oceanic Nino Index (ONI)

ดัชนี Oceanic Nino Index (ONI) เป็นค่าดัชนีชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (sea surface temperature: SST) ตอนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิก ค่าดัชนี ONI จะคำนวณจากพื้นที่บริเวณที่เรียกว่า Nino 3.4 Region ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณละติจูดที่ 5S – 5N และลองจิจูดที่ 120

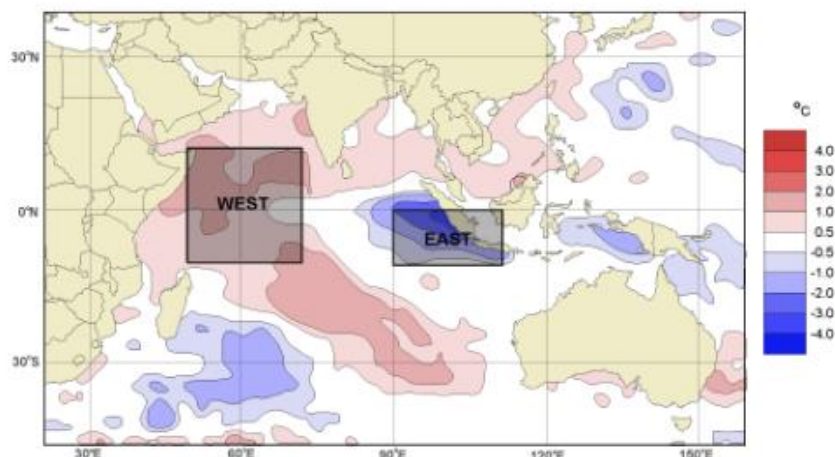
W – 170 W ตามรูปที่ 5.5 ดัชนีนี้จะคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยทุก 3 เดือน และทางหน่วยงาน National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ใช้ดัชนี ONI สำหรับทำนายปรากฏการณ์ El Niño และ La Niña ซึ่งเป็นสถานะในปรากฏการณ์ El Niño Southern Oscillation (ENSO) ที่สามารถส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศของประเทศไทย



รูปที่ 5.5 แผนภาพบริเวณ Niño 3.4

2) Indian Ocean Dipole (IOD)

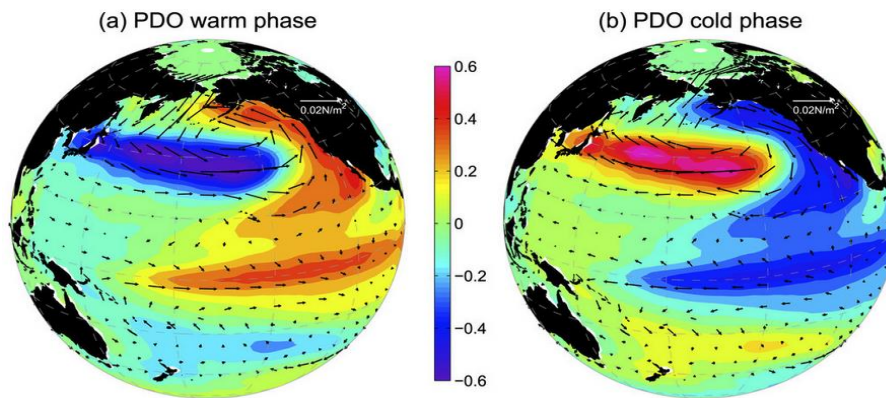
ดัชนี Indian Ocean Dipole (IOD) เป็นดัชนีวัดความแปรผันของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรอินเดีย เช่นเดียวกับปรากฏการณ์ ENSO ที่วัดได้จากมหาสมุทรแปซิฟิก โดยความแตกต่างของดัชนี IOD คือจะเป็นการวัดความแตกต่างของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรอินเดียด้านตะวันออก และมหาสมุทรอินเดียด้านตะวันตก ดังที่แสดงในรูปที่ 5.6 ดัชนีนี้อาจส่งผลกระทบต่อการเกิดฝนบริเวณประเทศไทยและพื้นที่ใกล้เคียงได้



รูปที่ 5.6 บริเวณที่ใช้คำนวณดัชนี Indian Ocean Dipole

3) Pacific Decadal Oscillation (PDO)

ดัชนี Pacific Decadal Oscillation (PDO) เป็นดัชนีที่ใช้วัดความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ โดยเป็นค่าที่สามารถบ่งบอกได้ว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและสภาพอากาศบริเวณแปซิฟิกเหนือและชายฝั่งตะวันออกของทวีปอเมริกาเหนือเป็นอย่างไร ทั้งนี้ ด้านหนึ่งจะอุ่นกว่าปกติและอีกด้านจะเย็นกว่าปกติ ซึ่งมีการสลับกันทุก ๆ 30 ปีโดยประมาณ ลักษณะเป็นดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ภาพแสดงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือที่ส่งผลต่อดัชนี PDO

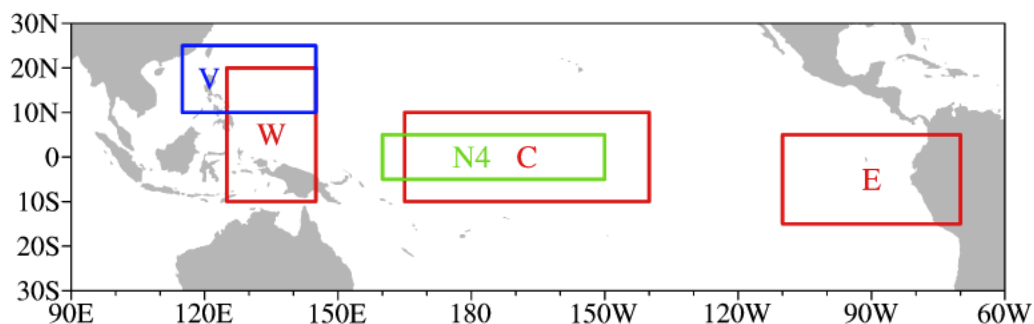
4) ENSO Modoki Index (EMI)

ดัชนี ENSO Modoki Index (EMI) เป็นดัชนีที่วัดได้จากผลต่างของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล 3 บริเวณในบริเวณตอนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิก โดยวัดความแตกต่างระหว่างบริเวณส่วนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิก และบริเวณรอบทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ที่ประกอบด้วยบริเวณส่วนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิก (C) บริเวณทางทิศตะวันออกติดกับทวีปอเมริกาใต้ (E) และบริเวณทิศตะวันตกใกล้กับประเทศฟิลิปปินส์ (W) พื้นที่บริเวณดังกล่าวแสดงในรูปที่ 5.8 และสามารถคำนวณค่าดัชนีได้ด้วยสมการที่ 5.1

จะสังเกตได้ว่า บริเวณที่ใช้คำนวณดัชนี EMI มีความใกล้ทางภูมิศาสตร์กับประเทศไทย มากกว่าพื้นที่ที่ใช้คำนวณดัชนี ONI ส่งผลให้ดัชนี EMI ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยได้มากกว่าดัชนี ONI

$$EMI = [SSTA]_C - 0.5[SSTA]_W - 0.5[SSTA]_E \quad (5.1)$$

SSTA คือ Sea Surface Temperature Anomaly



รูปที่ 5.8 แผนที่บริเวณที่ใช้คำนวณดัชนี EMI

Link สำหรับ download ข้อมูลดัชนี EMI :

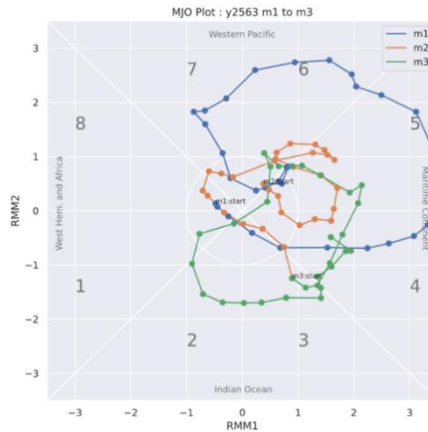
https://apcc21.org/cmm/fms/FileDown2.do;jsessionid=5FA508AC0BA3B7435DCB6BCAB7C5F527?atchFileId=EMI_2D.txt&fileSn=1

5) Madden-Julian Oscillation (MJO)

ดัชนี Madden-Julian Oscillation (MJO) เป็นดัชนีที่ใช้วัดความผันแปรต่อลักษณะอากาศ บริเวณเส้นศูนย์สูตรรอบโลก โดยมีรอบเกิดขึ้นทุก 30-60 วัน และจะเคลื่อนที่ไปยังทิศตะวันออกโดยเริ่มจากบริเวณมหาสมุทรอินเดีย ดัชนีนี้วัดได้จากปรากฏการณ์ที่เกิดควบคู่กันระหว่างการไหลเวียนของบรรยากาศและการยกตัวของอากาศในเขตร้อน

ปริมาณน้ำฝนในประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ซึ่งได้รับอิทธิพลจากระบบมรสุม โดยช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม จะได้รับผลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะได้รับผลจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ระบบมรสุมนี้จะส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนในระดับฤดูกาล แต่นอกจากนี้ยังมีความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนภายในฤดูกาล ที่มีระยะคาบสั้นกว่าฤดูกาลอีกด้วย โดยแบ่งเป็น 2 คาบเวลาหลักคือ ความแปรปรวนที่มีคาบเวลา 30-60 วัน ซึ่งตรงกับปรากฏการณ์ MJO ที่เคลื่อนที่จากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก และความแปรปรวนที่มีคาบเวลา 12-24 วัน จะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก

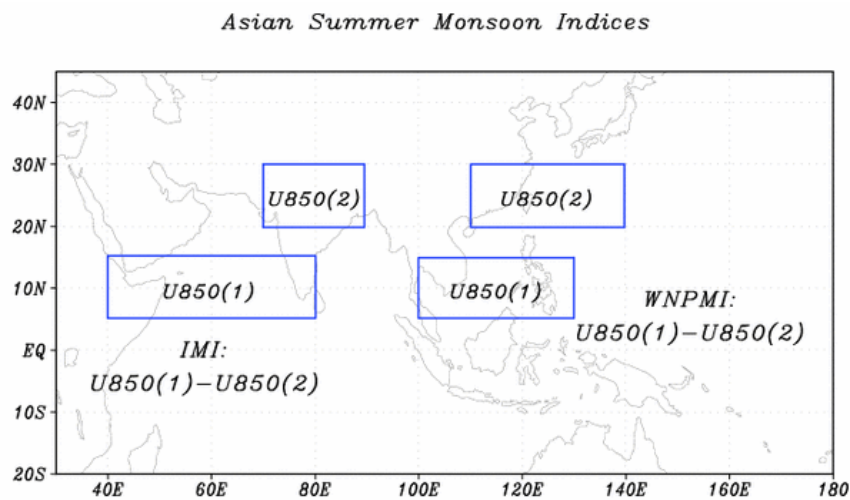
ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนภายในฤดูกาลของประเทศไทยมีความสัมพันธ์กับพัฒนาการของปรากฏการณ์ MJO โดยที่เมื่อ MJO อยู่ในระยะที่ 7, 8, 1 และ 2 จะมีปริมาณฝนที่มีค่าต่ำกว่าปกติ และเมื่อ MJO อยู่ในระยะที่ 3, 4, 5 และ 6 จะมีปริมาณฝนที่มากกว่าปกติ อีกทั้งปรากฏการณ์ MJO ยังส่งผลต่อความผันแปรของปริมาณน้ำฝนทุกภูมิภาคของประเทศไทยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ด้วย ขณะที่ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ปรากฏการณ์นี้จะส่งผลกระทบต่อภาคใต้เท่านั้น



รูปที่ 5.9 ตัวอย่างกราฟแสดงข้อมูล MJO รายวัน

6) ดัชนีมรสุม (Monsoon Indices)

ดัชนีมรสุมที่จะนำมาใช้คือ Indian summer monsoon (ISM), และ western North Pacific summer monsoon (WNPSM) โดยสามารถวัดได้จากความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ (empirical relationship) ระหว่างลม lower-tropospheric (850 hPa) และแหล่งความร้อนหมุนเวียน (convective heat source) บริเวณอ่าวเบงกอลและทะเลฟิลิปปินส์ อันส่งผลต่อ Asian monsoon ในภาพรวม ในการวัดดัชนี ISM จะใช้ผลต่างของลมบริเวณทางใต้ของประเทศอินเดียที่ 5-15 องศาเหนือ, 40-80 องศาตะวันออก และบริเวณทางเหนือของประเทศอินเดียที่ 20-30 องศาเหนือ, 70-90 องศาตะวันออก สำหรับดัชนี WNPSM จะใช้ผลต่างของลมบริเวณประเทศฟิลิปปินส์ที่ 5-15 องศาเหนือ, 100-130 องศาตะวันออก และบริเวณใต้วันที่ 20-30 องศาเหนือ, 110-140 องศาตะวันออก ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 บริเวณที่ใช้สมในการคำนวณ Monsoon Indices

ในงานวิจัยนี้ ใช้ดัชนี ISM และพิจารณาจากผลต่างของลม U component ที่ระดับ 850 hPa สองบริเวณ ดังแสดงในรูปที่ 5.10 ข้อมูล U component ที่ใช้คือ ข้อมูลที่ได้จาก ERA Reanalysis version 5 (ERA-5) โดยสามารถดาวน์โหลดได้จาก <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5> ซึ่งเป็นข้อมูลราย 6 ชั่วโมง จาก ECMWF ที่มีการ update เป็นประจำ ทั้งนี้ ระบบจะมีความล่าช้าประมาณ 5-7 วัน สำหรับการคำนวณค่าดัชนีนั้น จะทำการคำนวณค่าเฉลี่ยรายวันของ U-component ที่ระดับ 850 hPa ก่อนคำนวณค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ (areal average) ของแต่ละพื้นที่เพื่อนำมาหาผลต่างตามนิยามของแต่ละดัชนี

การศึกษาเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการหาคู่ปี SimIDX Plus

การคาดการณ์ด้วยวิธี SimIDX ต้องมีการหาคู่ปี และนำข้อมูลของคู่ปีนั้นมาใช้ช่วยคาดการณ์ การเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคู่ปีจะทำให้การคาดการณ์ดีขึ้น การศึกษาปรับปรุงการคาดการณ์ฝนจากวิธี SimIDX เป็นวิธี SimIDX Plus และการทดลองเพื่อทดสอบเปรียบเทียบวิธีการ ตลอดจนการเลือกใช้ดัชนีต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

1) Original SimIDX เป็นการคำนวณหาคู่ปีด้วยวิธี SimIDX แบบเดิมที่สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำพัฒนาขึ้น ซึ่งเป็นการนำวิธีการ hierarchical clustering มาจับกลุ่มข้อมูล index ต่าง ๆ ที่คล้ายคลึงกันไว้ด้วยกัน โดยที่ความคล้ายคลึงคือการมีค่าใกล้เคียงกัน และการวัดระยะห่างระหว่างค่าของข้อมูลใช้ Euclidean distance

2) Dynamic Time Warping (DTW) เป็นหนึ่งในวิธีการหาระยะห่างระหว่างค่าของข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของ time series โดยจะมีการจับกลุ่มข้อมูลโดยใช้ hierarchical clustering แบบเดียวกับวิธี SimIDX แต่เปลี่ยนแปลงวิธีการหาระยะห่างระหว่างค่าของข้อมูลโดยการใช้ DTW แทนการใช้ Euclidean distance ทั้งนี้ มีการทดลองการใช้ DTW อยู่ 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) DTW_1 เป็นการนำ index ต่าง ๆ มาต่อกันโดยมองเป็นข้อมูล 1 มิติ และ 2) DTW_MD หรือ multi-dimensional DTW เป็นการมองข้อมูล index ต่าง ๆ เป็นข้อมูลที่แยกเก็บในมิติที่ต่างกัน ซึ่งเป็นลักษณะการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีหลาย feature

การทดลองให้ผลเป็นค่า RMSE เฉลี่ยจากการทดสอบ 3 ปี ระหว่างพ.ศ. 2559 ถึง 2561 ดังแสดงในตารางที่ 5.2 ซึ่งพบว่า การใช้ multi-dimensional DTW กับดัชนี ONI, PDO, IOD และ EMI ให้ค่า RMSE เฉลี่ยต่ำสุด

ตารางที่ 5.2 ผลการคำนวณค่า RMSE เฉลี่ย 3 ปี ช่วงปีพ.ศ. 2559 - 2561

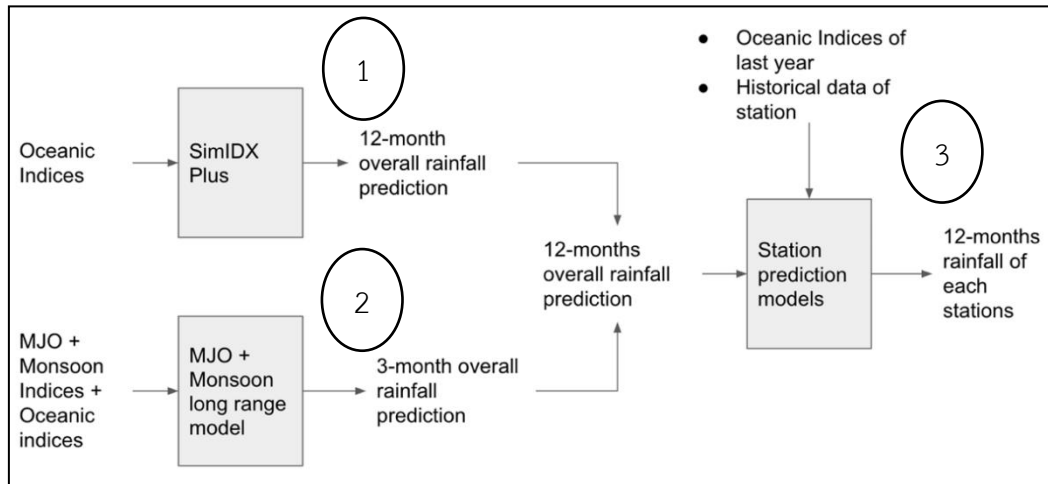
Method	Average Yearly RMSE Test Year
Original SimIDX [ONI+PDO+IOD]	54.5017
Original SimIDX [ONI+PDO+IOD+EMI]	49.1634
Original SimIDX [PDO+IOD+EMI]	49.8396
DTW_1D [ONI+PDO+IOD]	51.5678
DTW_MD [ONI+PDO+IOD]	49.1634
DTW_1D [ONI+PDO+IOD+EMI]	52.9814
DTW_MD [ONI+PDO+IOD+EMI]	48.2693
DTW_1D [PDO+IOD+EMI]	52.9453
DTW_MD [PDO+IOD+EMI]	51.1305

การใช้ข้อมูล Monsoon Index และ MJO ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือน

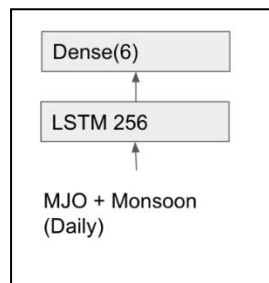
การทดลองก่อนหน้าของวิธี SimIDX Plus เป็นการทดลองทำนายปริมาณน้ำฝนรายเดือน 12 เดือนล่วงหน้าโดยการเปรียบเทียบลักษณะข้อมูลของดัชนีที่เกี่ยวข้องกับฝนต่าง ๆ กับข้อมูลในอดีตว่ามีความคล้ายคลึงกับปีใด แล้วนำปีนั้นเป็นตัวแทนของปริมาณน้ำฝนที่ต้องการทำนาย เพื่อให้สามารถทำการคาดการณ์ฝนรายเดือน หนึ่งเดือนถึงสามเดือนล่วงหน้า ให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น จึงได้พัฒนาวิธี SimIDX เป็น SimIDX version 2 โดยในการทดลองนี้ จะทำการสร้างแบบจำลองเรียนรู้ด้วยวิธี deep learning ให้ทำการเรียนรู้ข้อมูล monsoon index และ MJO รายวันย้อนหลังทั้งหมด 3 เดือน เพื่อที่จะทำนายข้อมูลปริมาณน้ำฝน 1 เดือนล่วงหน้า นั่นคือ หากจะทำนายทั้งปี ต้องทำการพยากรณ์ทั้งหมด 12 ครั้ง การเตรียมข้อมูลสำหรับฝึกสอน จะใช้ข้อมูลของ monsoon indices เป็นข้อมูลขาเข้า ได้แก่ Indian Summer Monsoon (ISM) และ West North Pacific Summer Monsoon (WNPSM) และใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนเป็นข้อมูลขาออก โดยจะใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 – 2561 มีการแบ่งข้อมูลดังนี้

- 1) ปีพ.ศ. 2524 – 2556 เป็นชุดข้อมูลฝึกสอน (training set) มีจำนวนทั้งหมด 396 ชุดข้อมูล
- 2) ปีพ.ศ. 2557 – 2558 เป็นชุดข้อมูลตรวจสอบ (validation set) มีจำนวนทั้งหมด 24 ชุดข้อมูล
- 3) ปีพ.ศ. 2559 – 2561 เป็นชุดข้อมูลทดสอบ (test set) มีจำนวนทั้งหมด 42 ชุดข้อมูล

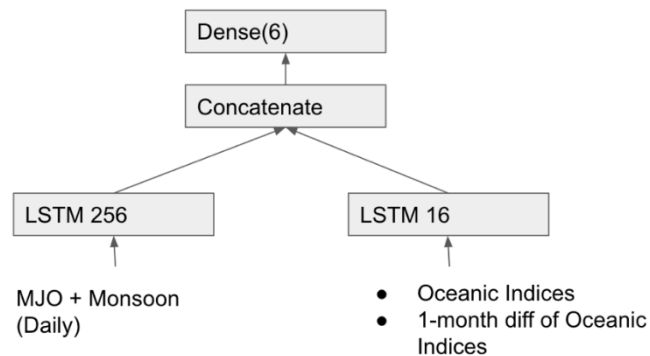
ในแบบจำลองจะมีการใช้ GRU layer ซึ่งเป็น layer ที่สามารถเรียนรู้ข้อมูลลักษณะที่เป็นลำดับ (sequence) ได้ดีเหมือนกับ LSTM layer ที่เป็น Layer ที่มีความเหมาะสมกับชุดข้อมูลนี้ และมีการใช้ dense layer สำหรับเปลี่ยนข้อมูลในแบบจำลองให้เป็นผลลัพธ์ ซึ่งก็คือปริมาณฝนรายเดือน ขั้นตอนการทำงานและโครงสร้างของแบบจำลองตามวิธี SimIDX V2 แสดงในรูปที่ 5.11-5.13



รูปที่ 5.11 ขั้นตอนการคาดการณ์ฝนด้วยวิธี SimIDX V2



รูปที่ 5.12 โครงสร้างของแบบจำลองคาดการณ์ปริมาณน้ำฝน โดยใช้ดัชนี MJO และ Monsoon Indices ในขั้นตอนที่ 2 ของวิธี SimIDX V2



รูปที่ 5.13 โครงสร้างของแบบจำลองสำหรับทำนายปริมาณน้ำฝนภาพรวมโดยใช้ดัชนี MJO Monsoon Indices และดัชนีสมุทรศาสตร์ ในขั้นตอนที่ 3 ของวิธี SimIDX V2

ในการทดลองจะมีการใช้งาน layer GRU และ dense จำนวน 1-2 layer และใช้ข้อมูลต่างๆ ตามตารางที่ 5.3 ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

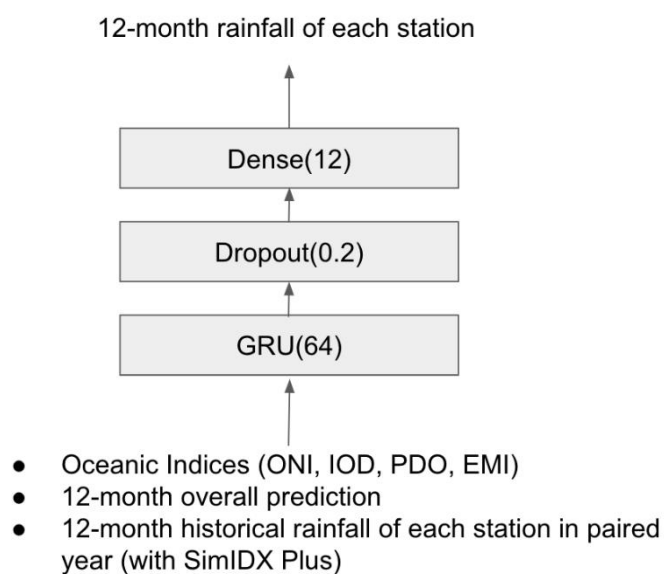
Feature name	Meaning
WP	West North Pacific Summer Monsoon
IM	Indian Summer Monsoon
RMMx	MJO
Amp	amplitude of MJO
Phase	phase of MJO
DOY	day of year
CD	Circular index of day of year
CP	Circular index of MJO phase

จากผลการทดลองในตารางที่ 5.4 พบว่า การใช้แบบจำลอง GRU 1 layer และ dense 1 layer สามารถได้ RMSE ที่มีค่าน้อยที่สุดที่ 37.1466 และทุกการทดลองสามารถให้ผลที่ดีกว่าการใช้วิธีการเดิมที่ใช้ hierarchical clustering ทุกวิธี

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยใช้ Monsoon Index และ MJO

Method	RMSE on Test Year
GRU(256) + GRU(64) + Dense(32) + Dense(1) [WP+IM+RMM1+RMM2+Amp+Phase+DOY+CD+CP]	35.4436
GRU(256) + GRU(64) + Dense(32) + Dense(1) [WP+IM+RMM1+RMM2+Amp+Phase+DOY+CD+CP]	34.4748
GRU(256) + Dense(1) [WP+IM+RMM1+RMM2+Amp+Phase+DOY+CD+CP]	34.1466
GRU(128) + Dense(1) [WP+IM+RMM1+RMM2+Amp+Phase+DOY+CD+CP]	34.2887
GRU(256) + Dense(1) [WP+IM+RMM1+RMM2+CD+CP]	48.5044

แบบจำลองคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเชิงสถานี ได้ใช้แบบจำลองโครงสร้างเดียวกันทั้งหมดโดยมีโครงสร้างแบบจำลองดังรูปที่ 5.14 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีข้อมูลเข้า 3 อย่าง ได้แก่ ดัชนีสมุทรศาสตร์ ปริมาณน้ำฝนภาพรวม และปริมาณน้ำฝนในอดีตของสถานี ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองนี้แสดงในตารางที่ 5.5



รูปที่ 5.14 โครงสร้างของแบบจำลองทำนายปริมาณน้ำฝนเชิงสถานีของวิธีการ SimIDX V2

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนภาพรวมโดยใช้ MJO, monsoon indices และ/หรือดัชนีสมุทรศาสตร์เมื่อคาดการณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 3 เดือน

Model	T+1	T+2	T+3
LSTM(128) + Dense(6)	35.76	38.91	37.08
LSTM(256) + Dense(6)	33.10	33.42	34.01
LSTM(128) + LSTM(64) + Dense(6) (ใช้ในรูปแบบที่ 2)	32.00	39.31	36.55
LSTM(256) LSTM(16) + Concatenate + Dense(6)	33.17	37.91	35.04
LSTM(256) LSTM(24) + Concatenate + Dense(3) (ใช้ในรูปแบบที่ 3)	31.54	34.98	33.67

หมายเหตุ: ตัวเลขตัวหนา คือกรณีที่ค่า RMSE ต่ำสุดของการคาดการณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 3 เดือน

Highlight คือวิธีที่เลือก เนื่องจากให้ค่า RMSE ต่ำสุดหรือเกือบต่ำสุดสำหรับทุกการ
คาดการณ์ล่วงหน้า

5.3 การพัฒนาการคาดการณ์ฝนแบบชุด (Ensemble Forecast)

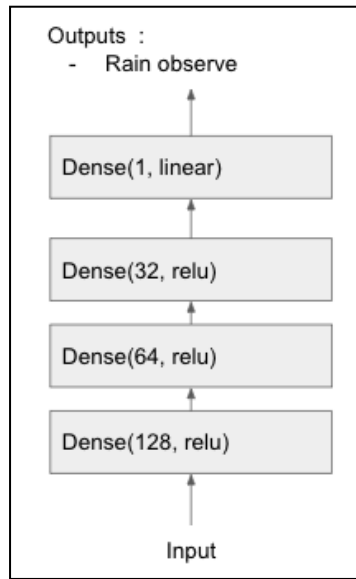
การพัฒนาวิธีการคาดการณ์ฝนแบบชุด มีเป้าหมายที่จะสร้างแบบจำลองที่สามารถรวมผล การคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองหลาย ๆ แบบ เพื่อหาผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนของ แต่ละสถานีและแต่ละช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดจากข้อมูลผลการคาดการณ์ของแบบจำลองต่าง ๆ ซึ่ง ในที่นี่มีจำนวน 10 แบบจำลองคือ TMD ของกรมอุตุนิยมวิทยา, SimIDX2 ของ สสน., และ NMME 8 แบบจำลอง ข้อมูลที่ได้รับสำหรับการทดลอง เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยผลการคาดการณ์ 1 เดือน ล่วงหน้าของ 10 แบบจำลองนั้นจากทั้งหมด 73 สถานี แต่ละสถานีมีจำนวนข้อมูลประมาณ 5-15 เดือน เนื่องจากปริมาณข้อมูลของชุดข้อมูลนี้ค่อนข้างน้อย การแบ่งชุดข้อมูลจึงใช้การสุ่มสถานีในการ แบ่งข้อมูลสำหรับการฝึกสอน และสำหรับชุดข้อมูลทดสอบจะใช้การสุ่มสถานีให้กระจายอยู่ทั่ว ประเทศ เพื่อให้สามารถวัดประสิทธิภาพได้อย่างถูกต้องในภาพรวม ดังนั้น การแบ่งข้อมูลเป็นดังนี้

- 1) ชุดข้อมูลฝึก (training set) ทั้งหมด 59 สถานี
- 2) ชุดข้อมูลตรวจสอบ (validation set) ทั้งหมด 5 สถานี
- 3) ชุดข้อมูลทดสอบ (test set) ทั้งหมด 9 สถานี โดยมีสถานีในจังหวัดร้อยเอ็ด สงขลา ปราชินบุรี ลพบุรี ชลบุรี ภูเก็ต ลำพูน น่าน และ เพชรบูรณ์

การฝึกสอนแบบจำลองสำหรับการศึกษานี้ได้ทดลอง 2 วิธี แต่ละวิธีมีการเตรียมข้อมูลที่ ต่างกัน โดยมีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

- 1) ใช้ข้อมูลผลการคาดการณ์ของแบบจำลอง 10 หรือ 2 แบบจำลองเป็นข้อมูลเข้า (input)
- 2) ใช้ข้อมูลผลการคาดการณ์ของแบบจำลอง 10 หรือ 2 แบบจำลอง พร้อมกับข้อมูล เดือน (month of year) ละติจูดและลองจิจูดเป็นข้อมูลเข้า เนื่องจากสันนิษฐานว่าฤดูกาลและ ตำแหน่งของสถานีมีผลต่อปริมาณน้ำฝน โดยจะทำการปรับค่าปกติ (normalization) ของละติจูดและ ลองจิจูด ด้วย StandardScaler

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา คือ แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก (deep learning) ที่ ประกอบด้วย dense layer ทั้งหมด 4 ชั้น ดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 โครงสร้างของแบบจำลอง ensemble ที่รวมผลการคาดการณ์จากแบบจำลองต่าง ๆ

การหาค่าสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละเดือน จะใช้วิธีการทางสถิติในการหาร่วมกับแบบจำลอง deep learning ดังรูปที่ 5.16 ซึ่งเรียกว่าการทำ prediction interval การทดลองนี้ใช้วิธีการสร้างแบบจำลองทั้งหมด 30 แบบจำลอง และใช้ข้อมูลชุดเดียวกันในการฝึกสอน เพื่อหาความไม่แน่นอนของแบบจำลองและชุดข้อมูลฝึก จากนั้นในการคาดการณ์ค่ากลาง จะทำการคาดการณ์พร้อมกันทั้ง 30 แบบจำลองและนำผลลัพธ์มาเฉลี่ย ส่วนการหาค่าสูงสุดและต่ำสุดมีวิธีการดังนี้

- 1) หา interval จากสมการ

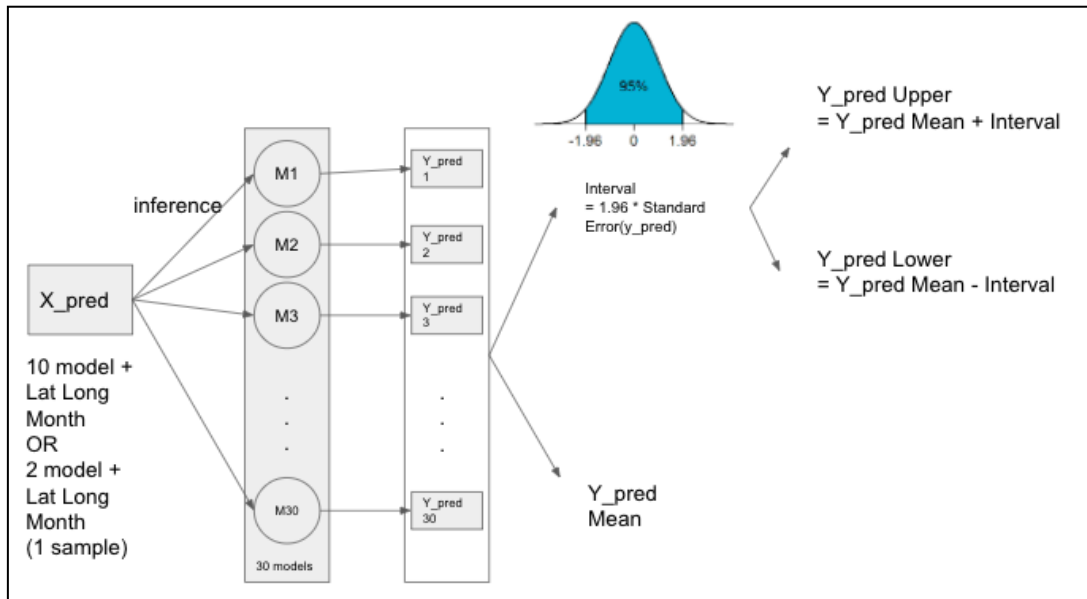
$$Interval = 1.96 \times Standard\ Error(predictions)$$

- 2) ค่าสูงสุดหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Y_max = Mean(predictions) + Interval$$

- 3) ค่าต่ำสุดหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Y_min = Mean(predictions) - Interval$$



รูปที่ 5.16 ขั้นตอนการหาค่าสูงสุด-ต่ำสุดโดยใช้แบบจำลอง deep learning

การวัดผลการทดลองจะใช้การหาค่าเฉลี่ยของรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) โดยเฉลี่ยกันทั้ง 9 สถานีของชุดข้อมูลทดสอบ และทำการเปรียบเทียบผลกับ baseline ที่ประกอบด้วย

- 1) ผลการคาดการณ์จากแบบจำลองของ สสน.
- 2) ผลการคาดการณ์ของแบบจำลองจากกรมอุตุนิยมวิทยา
- 3) ผลเฉลี่ยระหว่างผลการคาดการณ์จากแบบจำลองของ สสน. และกรมอุตุนิยมวิทยา (OneMap)
- 4) ผลเฉลี่ยระหว่างผลการคาดการณ์จากแบบจำลองทั้งหมด 10 แบบจำลอง

ผลการทดลองจะประกอบไปด้วย ผลจากการใช้แบบจำลอง deep learning ในการรวมผลการคาดการณ์ระหว่างผลการคาดการณ์ของ 2 หน่วยงาน (สสน. และ กรมอุตุนิยมวิทยา) และผลการคาดการณ์จาก 10 แบบจำลอง ตารางที่ 5.6 แสดงผลการหาค่ากลางจากผลการคาดการณ์ทั้งหมด 30 แบบจำลอง ส่วนผลการทดลองในการหาค่าสูงสุด-ต่ำสุดแสดงอยู่ในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองของการสร้างแบบจำลอง ensemble ในการหาค่ากลาง

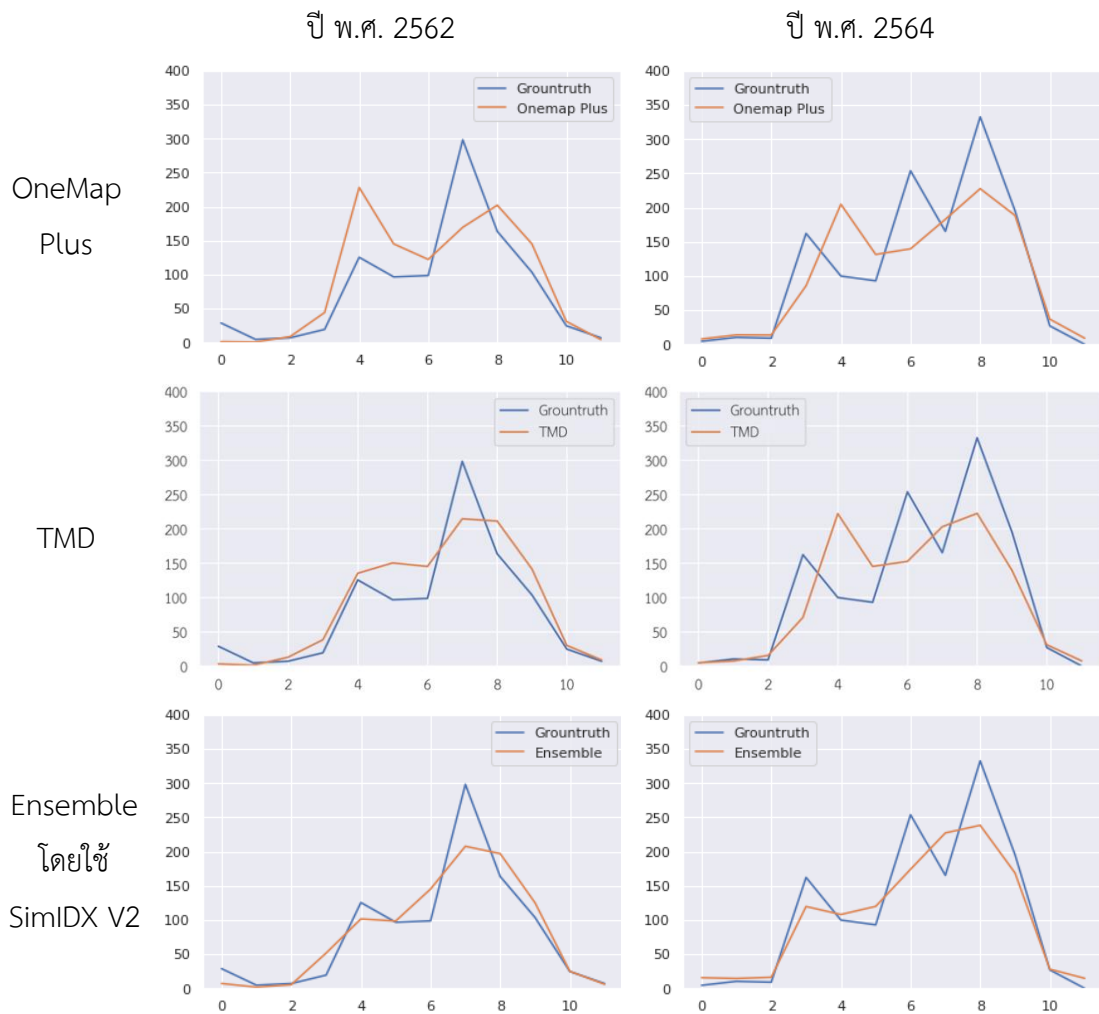
Experiment	Avg. RMSE
Baseline: แบบจำลองของ สสน.	89.12
Baseline: แบบจำลองของกรมอุตุนิยมวิทยา	58.93
Baseline: ผลเฉลี่ยของแบบจำลอง สสน. และกรมอุตุนิยมวิทยา (OneMap)	67.87
Baseline: ผลเฉลี่ยของแบบจำลองทั้งหมด 10 แบบจำลอง	61.02
แบบจำลอง สสน. ใหม่ (SimIDX V2)	66.97
ผลเฉลี่ยของแบบจำลอง สสน. ใหม่ (SimIDX V2) และกรมอุตุนิยมวิทยา	59.57
ผลเฉลี่ยของแบบจำลองทั้งหมด 10 แบบจำลองเมื่อใช้ สสน. ใหม่ (SimIDX V2)	59.96
Ensemble model: 10 models	54.12
Ensemble model: 10 models + Latitude, Longitude, Months	48.80
Ensemble model: 2 models (สสน. และกรมอุตุนิยมวิทยา)	56.84
Ensemble model: 2 models + Latitude, Longitude, Months	46.69
Ensemble model: 10 models (ใช้ SimIDX V2)	50.50
Ensemble model: 10 models (ใช้ SimIDX V2) + Latitude, Longitude, Months	46.96
Ensemble model: 2 models (ใช้ SimIDX V2)	56.43
Ensemble model: 2 models (ใช้ SimIDX V2) + Latitude, Longitude, Months	45.63
Ensemble model (x30 predictions): 10 models + Latitude, Longitude, Months	47.76
Ensemble model (x30 predictions): 2 models + Latitude, Longitude, Months	45.28
Ensemble model (x30 predictions): 10 models (ใช้ SimIDX V2) + Latitude, Longitude, Months	46.52
Ensemble model (x30 predictions): 2 models (ใช้ SimIDX V2) + Latitude, Longitude, Months	45.36

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองของการสร้างแบบจำลอง ensemble ในการหาค่าสูงสุด-ต่ำสุด

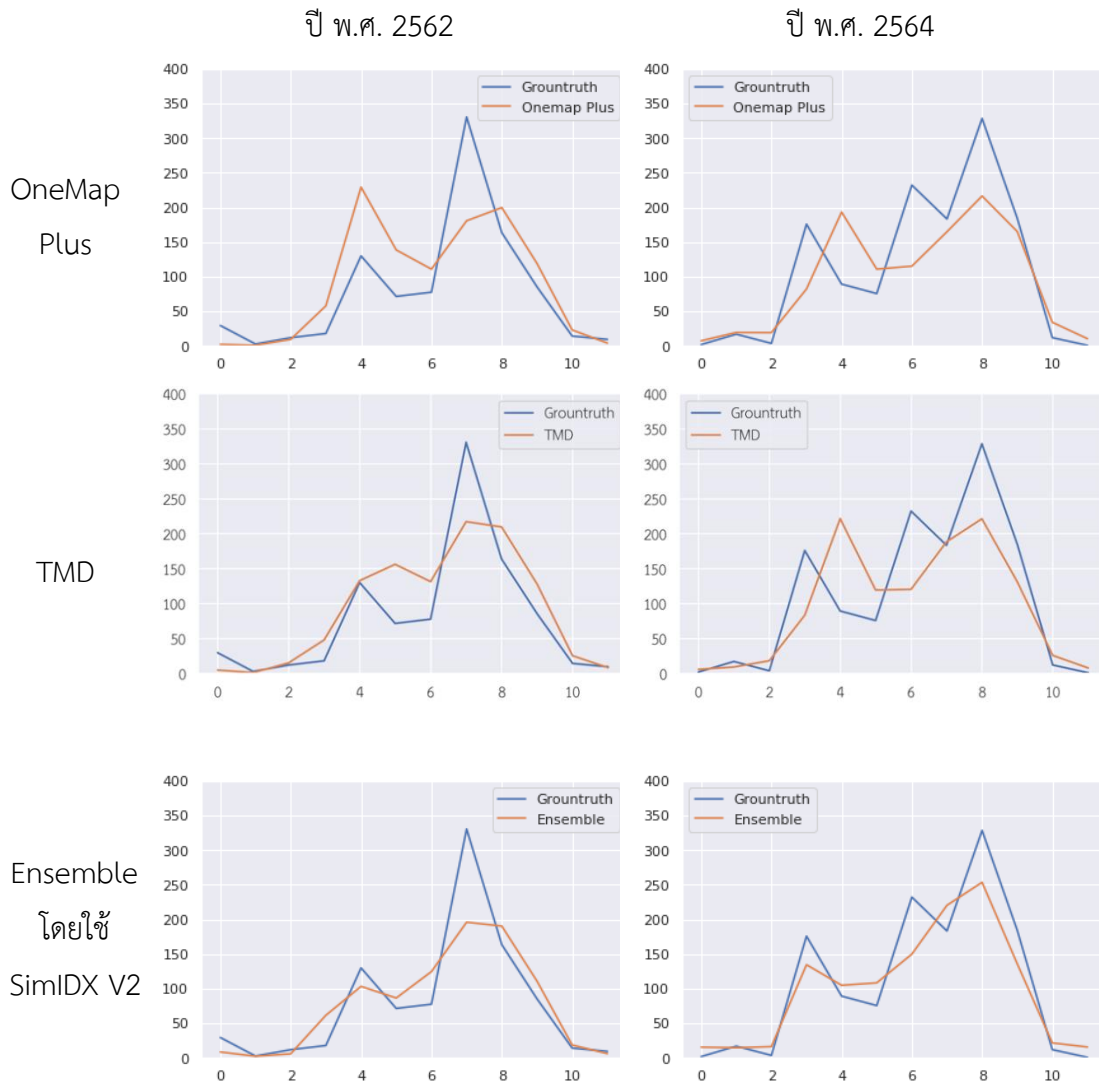
Experiment	RMSE Lower	RMSE Upper
Baseline: วิธีเดิมของ สสน. เปรียบเทียบระหว่างผลการคาดการณ์ของ สสน. และกรมอุตุนิยมวิทยา ค่าที่น้อยกว่าจะคาดการณ์เป็นค่าต่ำสุด และค่าที่มากกว่าจะคาดการณ์เป็นค่าสูงสุด	65.29	83.09
Ensemble model (x30 predictions): 10 models + Latitude, Longitude, Months	49.75	51.79
Ensemble model (x30 predictions): 2 models + Latitude, Longitude, Months	46.07	49.68
Ensemble model (x30 predictions): 10 models (SimIDX V2) + Latitude, Longitude, Months	49.17	49.13
Ensemble model (x30 predictions): 2 models (SimIDX V2) + Latitude, Longitude, Months	45.78	49.83

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าการใช้แบบจำลอง ensemble ร่วมกับการใช้ prediction interval จากแบบจำลองทั้งหมด 30 แบบจำลอง ในการหาค่ากลาง ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด เมื่อใช้ข้อมูลผลการคาดการณ์ของ 2 model คือ ผลการคาดการณ์จาก SimIDX V2 และผลการคาดการณ์ของกรมอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลอื่น ๆ ได้แก่ ละติจูด ลองจิจูด และข้อมูลเดือน สามารถให้ผลการทดลองที่ดีในการคาดการณ์ค่ากลาง ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองอื่น ๆ

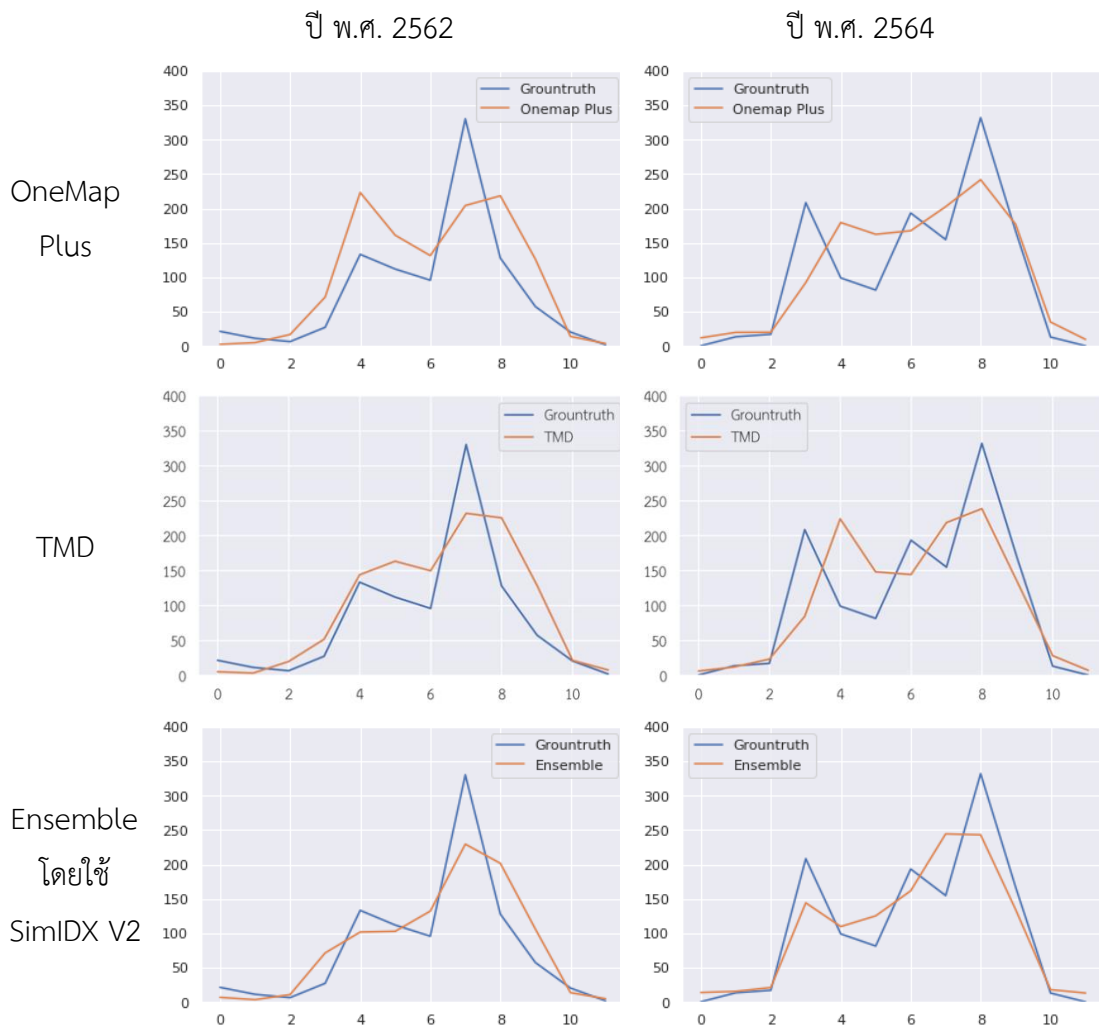
นอกจากการทดลองข้างต้น ยังมีการวัดผลการสร้างแผนที่ฝนจากแบบจำลอง ensemble เชนกลุ่มน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบแบบการสร้างแผนที่ฝนด้วย OneMap และ TMD และหาค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนบริเวณกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ได้แก่ กลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน ของปีพ.ศ. 2562 และ ปีพ.ศ. 2564 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.17 ถึงรูปที่ 5.20 ตามลำดับ ส่วนค่า RMSE แสดงดังตารางที่ 5.8



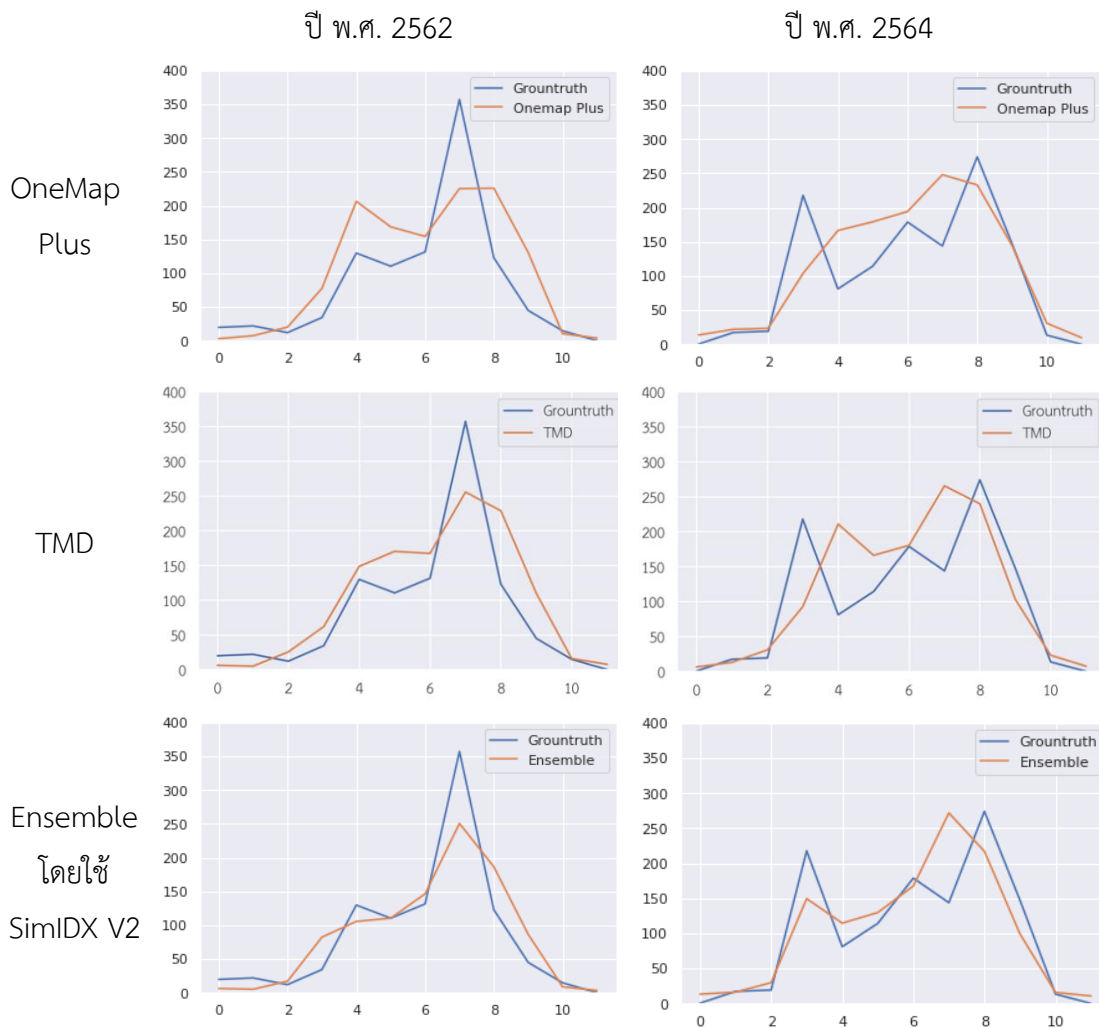
รูปที่ 5.17 การวัดผลการสร้างแผนที่ฝนจากแบบจำลอง ensemble เเขิงลุ่มน้ำของกลุ่มลุ่มน้ำปิง



รูปที่ 5.18 การวัดผลการสร้างแผนที่ฝนจากแบบจำลอง ensemble เซึ่งลุ่มน้ำของกลุ่มน้ำวัง



รูปที่ 5.19 การวัดผลการสร้างแผนที่ฝนจากแบบจำลอง ensemble เขิงลุ่มน้ำของกลุ่มน้ำยม



รูปที่ 5.20 การวัดผลการสร้างแผนที่ฝนจากแบบจำลอง ensemble เขิงลุ่มน้ำของกลุ่มลุ่มน้ำน่าน

ตารางที่ 5.8 การวัดผลการสร้างแผนที่ฝนของปี พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2564 ด้วยตัวชี้วัด RMSE

ลุ่มน้ำ	พ.ศ. 2562			พ.ศ. 2564		
	OneMap Plus	TMD	Ensemble	OneMap Plus	TMD	Ensemble
ปึง	53.75	37.54	34.18	59.84	66.46	43.56
วัง	59.73	48.68	45.67	63.64	67.93	40.60
ยม	59.88	50.80	43.42	56.53	65.82	45.18
น่าน	62.95	51.94	41.59	56.17	66.71	48.69

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบคาดการณ์ฝนสำหรับการบริหารจัดการน้ำรายสองสัปดาห์และหกเดือนล่วงหน้า โดยจะสรุปผลการวิจัยตามกิจกรรมหลักดังนี้

1) ทีมวิจัยได้พัฒนาระบบคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์ที่ใช้แบบจำลองคู่ควบ WRF-ROMS ซึ่งเป็นการทำ dynamical downscaling กับข้อมูลคาดการณ์ฝนของ CFSv2 (Climate Forecast System) จาก National Centers for Environmental Prediction (NCEP) นอกจากนี้ ทีมวิจัยได้ติดตั้งระบบคาดการณ์ดังกล่าวเป็น operation เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำ

2) การศึกษาและประเมินผลแบบจำลองคาดการณ์ฝนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

2.1) การประเมินผลการคาดการณ์ฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ และ OneMap ที่มีให้บริการ ณ ปัจจุบัน จากข้อมูลคาดการณ์เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำจริงตั้งแต่เดือน กันยายน 2561 ถึงเดือนสิงหาคม 2564 สรุปผลการประเมินและข้อสังเกต ดังนี้

- ภาพรวมการคาดการณ์ฝนทั้งประเทศรายเดือนตั้งแต่ 1 ถึง 6 เดือนล่วงหน้าจากทั้งกรมอุตุนิยมวิทยา สสน. และ OneMap มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลคาดการณ์กับข้อมูลตรวจวัดค่อนข้างดี คือประมาณ 0.6-0.8 โดยการคาดการณ์ของกรมอุตุนิยมวิทยามีความคลาดเคลื่อน (PBIAS = 7 ถึง 15%) ต่ำกว่าของ สสน. (PBIAS = 20 ถึง 34%) แต่การบูรณาการผลคาดการณ์ฝนระหว่างกรมอุตุนิยมวิทยา และ สสน. เป็นฝน OneMap ทำให้การคาดการณ์ดีขึ้นอีก คือมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง เช่นการคาดการณ์ล่วงหน้า 1 ถึง 4 เดือนด้วย OneMap LFCST มีค่า PBIAS ประมาณ -5 ถึง 2% และการคาดการณ์ล่วงหน้า 5 ถึง 6 เดือนด้วย OneMap MFCST มีค่า PBIAS ประมาณ -5 ถึง 7%

- การคาดการณ์ฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาใช้ Software Climate Predictability Tool (CPT) ของ International Research Institute for Climate and Society (IRI), Columbia University, ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติ และมีการประชุมหารือระหว่างนักอุตุนิยมวิทยาของศูนย์ภูมิภาค กรมอุตุนิยมวิทยา ก่อนที่จะประกาศผลการคาดการณ์อย่างเป็นทางการ โดยปกติผลคาดการณ์จะมีรูปแบบการกระจายของฝนและปริมาณฝนใกล้เคียงกับค่าปกติ 30 ปี บวกลบความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10 ส่วนการคาดการณ์ฝนของ สสน. เป็นการคาดการณ์จากปริมาณฝนจริงของปีที่มีสภาพดัชนีความเชื่อมโยงระยะไกล (Teleconnection: ONI, IOD, PDO) ใกล้เคียงกันมากที่สุดของ 12 เดือนก่อนหน้า หากปริมาณฝนปีนั้นมีความผันแปรสูง เช่น

บางเดือนอาจมีค่าปริมาณฝนต่างจากค่าฝนปกติ 30 ปี มากกว่าร้อยละ 10 ถึง 20 ก็มีความเป็นไปได้ที่ฝนคาดการณ์จะมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าการคาดการณ์ของกรมอุตุนิยมวิทยาในภาพรวมทั้งประเทศ อย่างไรก็ตาม การคาดการณ์ฝนของ สสน. สามารถแสดงรูปแบบการกระจายตัวของฝนแตกต่างออกไปจากรูปแบบปกติ 30 ปี จึงสามารถแสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดสภาวะสภาพอากาศรุนแรงหรือผิดปกติได้ดี

- เนื่องจากจำนวนข้อมูลคาดการณ์ฝนที่ใช้ในการประเมินมีน้อย (ข้อมูล 36 เดือน สำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้า 3 เดือน และ 19 เดือนสำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้าหกเดือน) และข้อมูลก็เป็นของปีที่มีปริมาณฝนน้อยกว่าค่าปกติ (พ.ศ. 2562-2564) จึงยังไม่อาจสรุปผลการประเมินประสิทธิภาพการคาดการณ์ฝนในกรณีทั่วไปได้อย่างมั่นใจมากนัก

2.2) ในการประเมินผลการคาดการณ์ฝนหกเดือนล่วงหน้าของ 8 แบบจำลองคือ CCSM4, CFsv2, CMC1, CMC2, GFDL, GFDL_FLOR, NASA และ NMME ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ทางกรมอุตุนิยมวิทยาใช้เป็นองค์ประกอบในการผลิตผลการคาดการณ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา ได้เริ่มคาดการณ์ตั้งแต่เดือน ม.ค. 2563 - พ.ย. 2564 พบว่า ผลการคาดการณ์ฝนหกเดือนล่วงหน้าในช่วงหน้าฝน เดือน พ.ค. - ต.ค. ที่ใช้ initial time เดือน เม.ย. มีค่าใกล้เคียงและมีความสัมพันธ์กับค่าตรวจวัดสูงสุด ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ส่วน initial times เดือนมิ.ย. ถึง ก.ย. ก็มีความสามารถในการคาดการณ์ปริมาณฝนในระยะ 6 เดือนได้ดี ในขณะที่ initial times อื่น ๆ มีความคลาดเคลื่อนสูง และสัดส่วนของการคาดการณ์ได้อยู่ในระดับต่ำ การประเมินผลการคาดการณ์ในระยะ 6 เดือนโดยเฉลี่ยสถานีทั้งหมด พบว่าส่วนใหญ่ผลการคาดการณ์ค่อนข้างจะมีความสัมพันธ์กับข้อมูลตรวจวัดโดยมีค่าไปในทิศทางเดียวกัน แต่ความคลาดเคลื่อนยังสูง ความสามารถในการคาดการณ์ปริมาณฝนอยู่ระดับต่ำ นอกจากนี้ พบว่า โดยทั่วไปแบบจำลอง CMC1 และ NMME ให้ผลคาดการณ์ที่มีความสัมพันธ์สูงกับข้อมูลตรวจวัด ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าแบบจำลองอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม การประเมินผลการคาดการณ์ในระยะสั้น (2 ปี) อาจจะไม่ครอบคลุมถึงความสามารถของแบบจำลองสำหรับการใช้งานในระยะยาว

3) การพัฒนาการคาดการณ์ฝนล่วงหน้าหกเดือน

3.1) การคาดการณ์ฝนโดยใช้ bias corrected CFSv2 (BC_CFSv2) จากการประเมินผล พบว่า การคาดการณ์ฝนแบบนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าการคาดการณ์ฝนจาก CFSv2 โดยตรง ข้อมูล CFSv2 ของปี 2561 และ 2562 ให้ผลการคาดการณ์สูงจากค่าตรวจวัดค่อนข้างมาก (overestimate) หลังทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของค่าฝนคาดการณ์จาก CFSv2 ด้วยวิธี linear scaling แล้ว ผลของ BC_CFSv2 จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดเพิ่มมากขึ้น ผลการประเมินชี้ว่า การคาดการณ์เมื่อปรับแก้ความคลาดเคลื่อนแล้ว (BC_CFSv2) จะเห็นปริมาณฝนและการกระจาย

ตัวฝนที่ดีขึ้น แต่ก็ยังคงมีบางพื้นที่ ที่ค่าค่อนข้าง overestimate โดยเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้

3.2) การคาดการณ์ฝนหกเดือนล่วงหน้าด้วยวิธีการ machine learning ได้มีการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพวิธีการ SimIDX ของ สสน. โดยเพิ่มการใช้ประโยชน์จากดัชนี ENSO Modoki Index (EMI) ในการคาดการณ์ และปรับเทคนิคการหาปีคู่เหมือนโดยใช้วิธี Dynamic Time Warping (DTW) นอกจากนี้ยังเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์ฝนล่วงหน้า 3 เดือน โดยประยุกต์ใช้เทคนิค deep learning รวมกับการเพิ่มปัจจัยในการคาดการณ์ คือ ดัชนี Madden-Julian Oscillation (MJO), ดัชนีมรสุม Indian summer monsoon (ISM), และ western North Pacific summer monsoon (WNPSM) ซึ่งทำให้การคาดการณ์มีความถูกต้องมากขึ้น

3.3) การพัฒนาวิธีการคาดการณ์แบบชุด (ensemble forecast) ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการคาดการณ์แบบชุดจากแบบจำลอง NMME จำนวน 8 แบบ รวมกับการคาดการณ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา และ สสน. รวมทั้งหมด 10 แบบจำลอง เพื่อให้สามารถได้ข้อมูลเกี่ยวกับฝนคาดการณ์เพิ่มเติมในลักษณะค่าต่ำและค่าสูง อันเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการน้ำแบบทางเลือก ผลการศึกษาสรุปได้ว่าการใช้ผลคาดการณ์ทั้ง 10 แบบจำลองนั้นให้ค่าคาดการณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าการคาดการณ์แบบชุดเมื่อใช้ผลคาดการณ์จากกรมอุตุนิยมวิทยา และ สสน. เพียงสองแหล่ง ทั้งนี้คาดว่าอาจเนื่องจากแบบจำลอง NMME ให้ค่าคาดการณ์ที่แตกต่างกันมากพอสมควร และยังไม่มีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนให้เหมาะสมกับการคาดการณ์ฝนของประเทศไทย ดังนั้นการคาดการณ์แบบชุดที่เลือกใช้ จะใช้ผลคาดการณ์เฉพาะของกรมอุตุนิยมวิทยา และ สสน. ซึ่งโดยภาพรวมแล้วจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์ เช่น กรณีการคาดการณ์ฝนบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ปีพ.ศ. 2564 ค่า RMSE ลดลงจากประมาณ 60 มม. เป็น 40 มม.

4) ทีมวิจัยนำเสนอผลการคาดการณ์จากระบบคาดการณ์ฝนในรูปแบบเว็บไซต์ และได้สนับสนุนข้อมูลฝนคาดการณ์ให้กับทีมวิจัยอื่นตลอดจนหน่วยงานต่าง ๆ เป็นประจำทุกสัปดาห์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ข้อมูลอยู่ในทั้งรูปแบบ ESRI ascii และ ไฟล์ที่เป็น text ซึ่งผู้ใช้ข้อมูลสามารถเข้าถึงข้อมูลผ่านทาง FTP

6.2 ข้อเสนอแนะ

ผลลัพธ์จากการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้ชี้ว่า ระบบคาดการณ์ฝนรายสองสัปดาห์และคาดการณ์ฝนรายเดือนหกเดือนล่วงหน้าที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าระบบปัจจุบันที่ใช้งานอยู่ อย่างไรก็ตาม การคาดการณ์ฝนให้มีความถูกต้องทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลา รวมถึงให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ยังเป็นสิ่งที่ต้องศึกษาอยู่ตลอด เพราะสภาพภูมิอากาศไม่มีการหยุดเปลี่ยนแปลง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศและสถานการณ์น้ำมีมากมาย

ดังนั้นจึงควรได้รับการสนับสนุนให้มีการวิจัยและพัฒนาต่อไปอย่างต่อเนื่องในอนาคต สำหรับแนวทางในการปรับปรุงระบบคาดการณ์ฝนเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำในระยะต่อไป ส่วนของแบบจำลองแบบพลวัตจะเน้นการทำ data assimilation และ post processing ในส่วนแบบจำลองที่ใช้เทคนิค machine learning จะเน้นการนำความรู้ความเข้าใจเชิงฟิสิกส์มาประกอบเพื่อให้เกิดความเข้าใจในผลการคาดการณ์มากขึ้น นอกจากนี้ จะศึกษาเกี่ยวกับการคาดการณ์พายุ และสภาพอากาศรุนแรงต่าง ๆ เช่น ร่องมรสุมและการเกิดหย่อมความกดอากาศต่ำ ซึ่งจะทำให้การบริหารจัดการน้ำมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- เจียมใจ เครือสุวรรณ. (2553). *การจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับประเทศไทยด้วยแบบจำลองภูมิอากาศ MM5*. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ธชณัฐ ภัทรสถาพรกุล (2553). ความแปรปรวนของสภาพอากาศของประเทศไทยอันเนื่องมาจากความผิดปกติทางสมุทรศาสตร์. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- นงศ์นาถ อุ่ประสิทธิ์วงศ์. (2544). *การผันแปรของปริมาณฝนและอุณหภูมิในประเทศไทย*. กรุงเทพมหานคร: กองอุณหภูมิกอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา.
- นิภาดา พากักดี, นันทชพร เสนาวงศ์, และปิยภัทร บุชบาบดินทร์. (2562). การเปรียบเทียบรูปแบบการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 29(2), 302-313.
- ปัทมา สิงห์รักษ์ (2556). ความแปรปรวนของปริมาณฝนภายในฤดูกาลของประเทศไทยที่เกิดเนื่องจากปรากฏการณ์ Madden-Julian Oscillation (MJO) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ปัทมา สิงห์รักษ์ (2558). โครงการผลกระทบและกลไกของปรากฏการณ์ Madden-Julian Oscillation (MJO) และ ปรากฏการณ์ที่แปรผันภายในฤดูกาลต่อปริมาณฝนในคาบสมุทรอินโดจีน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- เปรม รังสิวณิชพงษ์, ชัยวัฒน์ เอกวิวัฒน์พานิชย์, และดวงฤดี โฆษิตกิตติวงศ์ (2558). การพยากรณ์ฝนรายฤดูกาลในลุ่มน้ำเจ้าพระยาโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, ชลบุรี, ประเทศไทย*.
- วนิดา สุขสุวรรณ. (2550). *สภาวะโลกร้อนกับการผันแปรภูมิอากาศในประเทศไทย*. กรุงเทพมหานคร: กรมอุตุนิยมวิทยา.
- สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. (ม.ป.ป.) *22 ลุ่มน้ำในประเทศไทย และพระราชกฤษฎีกากำหนดลุ่มน้ำ พ.ศ. 2564*. กรุงเทพมหานคร.
- Amnuaylojaroen, T. (2021). Projection of the precipitation extremes in Thailand under climate change scenario RCP8.5. *Front. Environ. Sci.*, 9, 1-7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.657810>

- Babel, M. S., Sirisena, T. A. J. G., and Singhrattna, N. (2017). Incorporating large-scale atmospheric variables in long-term seasonal rainfall forecasting using artificial neural networks: an application to the Ping River Basin in Thailand. *Hydrol. Res.*, 48(3), 867-882. <https://doi.org/10.2166/nh.2016.212>
- Baghanam, A. H., Eslahi, M., Sheikhabaei, A., and Seifi, A. J. (2020). Assessing the impact of climate change over the northwest of Iran: an overview of statistical downscaling methods. *Theor. Appl. Climatol.*, 141, 1135-1150. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03271-8>
- Bahaga, T. K., Kucharski, F., Tsidu, G. M., and Yang, H. (2016). Assessment of prediction and predictability of short rains over equatorial East Africa using a multi-model ensemble. *Theor. Appl. Climatol.*, 123(3-4), 637-649. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1370-1>
- Benestad, R. E. (2009). Downscaling precipitation extremes. *Theor. Appl. Climatol.*, 100, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0158-1>
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., and Reinsel, G. C. (1994). *Time series analysis, forecasting and control*. 3rd edition. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Cannon, A. J. (2018). Multivariate quantile mapping bias correction: an n-dimensional probability density function transform for climate model simulations of multiple variables. *Clim. Dyn.*, 50, 31-49. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3580-6>
- Cannon, A. J., Sobie, S. R., and Murdock, T. Q. (2015). Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: how well do methods preserve changes in quantiles and extremes? *J. of Clim.*, 28(17), 6938-6959. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00754.1>
- Castro, C. L., Chang, H.-I., Dominguez, F., Carrilo, C., Schemm, J.-K., and Juang, H.-M. H. (2012). Can a regional climate model improve the ability to forecast the North American monsoon? *J. of Clim.*, 25(23), 8212-8237. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00441.1>

- Champanyong, A., Komori, D., Kiguchi, M., Sukhapanaphan, T., Oki, T., and Nakaegawa, T. (2013). Future projection of mean river discharge climatology for the Chao Phraya River Basin. *Hydrolo. Res. Lett.*, 7(2), 36-41. <https://doi.org/10.3178/hrl.7.36>
- Chaowiwat, W. and Koontanakulvong, S. (2016). Statistical forecasting of rainfall by ENSO/IOD index in the Chao Phraya River Basin. *The 2nd World Irrigation Forum, Chiang Mai, Thailand*.
- Cheevaprasert, S., Mehrotra, R., Thianpopirug, S., and Sriwongsitanon, N. (2020). An evaluation of statistical downscaling techniques for simulating daily rainfall occurrences in the upper Ping River Basin. *Hydrology*, 7(3), 1-26. <https://doi.org/10.3390/hydrology7030063>
- Chen, F. and Dudhia, J. (2001). Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn state-NCAR MM5 modeling system. Part I: model implementation and sensitivity. *Mon. Weather Rev.*, 129(4), 569-585. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2001\)129%3C0569:CAALSH%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2001)129%3C0569:CAALSH%3E2.0.CO;2)
- Chen, C.-J. and Georgakakos, A. P. (2015). Seasonal prediction of East African rainfall, *Int. J. Climatol.*, 35(10), 2698–2723.
- Cui, B., Toth, Z., Zhu, Y., and Hou, D. (2012). Bias correction for global ensemble forecast. *Weather and Forecasting*, 27(2). American Meteorological Society: 396–410.
- De Sales, F. and Xue, Y. (2013). Dynamic downscaling of 22-year CFS winter seasonal hindcasts with the UCLA-ETA regional climate model over the United States. *Clim. Dyn.*, 41, 255-275.
- Diro, G. T., Grimes, D. I. F., and Black, E. (2011). Teleconnections between Ethiopian summer rainfall and sea surface temperature: Part II. Seasonal forecasting. *Clim. Dyn.*, 37(1), 121-131. <https://doi.org/10.1007/s00382-010-0896-x>

- Diro, G. T., Tompkins, A. M., and Bi, X. (2012). Dynamical downscaling of ECMWF ensemble seasonal forecasts over East Africa with RegCM. *J. of Geophys. Res. Atmos.*, 117(D16), 1-20. <https://doi.org/10.1029/2011JD016997>
- Dixon, K. W., Lanzante, J. R., Nath, M. J., Hayhoe, K., Stoner, A., Radhakrishnan, A., Balaji, V., and Gaitán, C. F. (2016). Evaluating the stationarity assumption in statistically downscaled climate projections: is past performance an indicator of future results? *Climate Change*, 135, 395-408.
- ECMWF. (2021a). *2 The ECMWF integrated forecasting system – IFS*. Retrieved from <https://confluence.ecmwf.int/display/FUG/2+The+ECMWF+Integrated+Forecasting+System+-+IFS>
- ECMWF. (2021b). *Known IFS forecasting issues*. Retrieved from <https://confluence.ecmwf.int/display/FCST/Known+IFS+forecasting+issues>
- ECMWF. (2021c). *About our forecasts*. Retrieved from <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support>
- EMC. (2021, March). *The global forecast system (GFS) – global spectral model (GSM)*. Retrieved from https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/numerical_forecast_systems/gfs/documentation_spectralgfs.php
- Fennessy, M. J. and Shukla, J. (2000). Seasonal prediction over North America with a regional model nested in a global model. *J. of Clim.*, 13(14), 2605-2627. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013%3C2605:SPONAW%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013%3C2605:SPONAW%3E2.0.CO;2)
- Funk, C., Hoell, A., Shukla, S., Blade, I., Liebmann, B., Roberts, J. B., Robertson, F. R., and Husak, G. (2014). Predicting East African spring droughts using Pacific and Indian Ocean sea surface temperature indices. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18(12), 4965-4978. <https://doi.org/10.5194/hess-18-4965-2014>
- Gerlitz, L., Vorogushyn, S., Apel, H., Gafurov, A., Unger-Shayesteh, K., and Merz, B. (2016). A statistically based seasonal prediction forecast model with automatic

- predictor selection and its application to central and south Asia. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 4605-4623. <https://doi.org/10.5194/hess-20-4605-2016>
- Gershunov, A. (1998). ENSO influence on intraseasonal extreme rainfall and temperature frequency in the contiguous United States: implication for long-range predictability. *J. of Clim.*, 11(12), 3192-3203. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011%3C3192:EIOIER%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011%3C3192:EIOIER%3E2.0.CO;2)
- Glahn, H. R. (1982). Probability, statistics and decision making in the atmospheric sciences. Colorado: Westview Press.
- Glahn, H. R. and Lowry, D. A. (1972). The use of model output statistics (MOS) in objective weather forecasting. *J. of Appl. Meteorol.*, 11(8), 1203-1211. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1972\)011%3C1203:TUOMOS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1972)011%3C1203:TUOMOS%3E2.0.CO;2)
- Gneiting, T., Raftery, A., Westveld, A., and Goldman, T. (2005). Calibrated probabilistic forecasting using ensemble model output statistics and minimum CRPS estimation. *Monthly Weather Review*, 133 (5): 1098.
- González, M. H. and Cariaga, M. L. (2009). An approach to seasonal forecasting of summer rainfall in Buenos Aires, Argentina. *Atmósfera*, 22(3), 265-279.
- Government of Canada. (2021a, May 26). Modelling. Retrieved from https://weather.gc.ca/model_forecast/model_e.html
- Government of Canada. (2021b, September 7). *Verification – a note regarding the growth of errors in NWP models*. Retrieved from https://weather.gc.ca/grib/grib2_glb_66km_e.html#variables
- Gudmundsson, L., Bremnes, J. B., Haugen, J. E., and Engen-Skaugen, T. (2012). Technical note: downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16(9), 3383-3390. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3383-2012>
- Gutiérrez, J. M., San-Martín, D., Brands, S., Manzanaras, R., and Herrera, S. (2013). Reassessing statistical downscaling techniques for their robust application

- under climate change conditions. *J. of Clim.*, 26(1), 171-188.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00687.1>
- Haiden, T., Janousek, M., Vitart, F., Ben Bouallegue, Z., Ferranti, L., Prates F., and Richardson, D. (2021). *Evaluation of ECMWF forecasts, including the 2020 upgrade*. UK: Shinfield Park, Reading.
- Hamill, T.M. and Scheuerer, M. (2018). Probabilistic precipitation forecast postprocessing using quantile mapping and rank-weighted best-member dressing. *Monthly Weather Review*, 146(12). American Meteorological Society: 4079–4098.
- Hamilton, J. D. (1994). *Time series analysis*. Princeton: Princeton University Press.
- Hanssen-Bauer, I., Achberger, C., Benestad, R. E., Chen, D., and Førlund, E. J. (2005). Statistical downscaling of climate scenarios over Scandinavia. *Clim. Res.*, 29(3), 225-268. doi:10.3354/cr029255
- Harshburger, B., Ye, H., and Dzialoski, J. (2002). Observation evidence of the influence of Pacific SSTs on winter precipitation and spring discharge in Idaho. *J. of Hydrol.*, 246(1), 157-169. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00072-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00072-0)
- Hui, D. T.-W., Shum, K. K.-Y., Chen, J., Chen, S.-C., Ritchie, J., and Roads, J. O. (2007). Case studies of seasonal rainfall forecasts for Hong Kong and its vicinity using a regional climate model. *Nat. Hazards*, 42(1), 193-207.
<https://doi.org/10.1007/s11069-006-9068-z>
- Hunukumbura, P. B. and Tachikawa, Y. (2012). River discharge projection under climate change in the Chao Phraya River Basin, Thailand, using the MRI-GCM3.1S dataset. *J. Meteorol. Soc. Japan Ser. II*, 90A, 137-150.
<https://doi.org/10.2151/jmsj.2012-A07>
- Imada, Y., Kanae, S., Kimoto, M., Watanabe, M., and Ishii, M. (2015). Predictability of persistent Thailand rainfall during the mature monsoon season in 2011 using statistical downscaling of CGCM seasonal prediction. *Mon. Weather Rev.*, 143(4), 1166-1178. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-14-00228.1>

- IPCC. (2014). *Climate change 2014: synthesis report*. Contribution of working group I, II, and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Switzerland: Geneva.
- Jewson, S., Brix, A., and Ziehm, C. (2004). A new parametric model for the assessment and calibration of medium-range ensemble temperature forecasts. *Atmospheric Science Letters*, 5 (5): 96–102.
- Kalman, R. E. (1960). A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. *Journal of Basic Engineering*, 82(1): 35–45.
- Kiguchi, M., Takata, K., Hanasaki, N., Archevarahuprok, B., Champathong, A., Ikoma, E., . . . Oki, T. (2021). A review of climate-change impact and adaptation studies for the water sector in Thailand. *Environ. Res. Lett.*, 16(2), 1-35. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abce80>
- Kim, T. W., Valdés, J. B., Nijssen, B., and Ronkayolo, D. (2006). Quantification of linkages between large-scale climatic patterns and precipitation in the Colorado River Basin. *J. of Hydrol.*, 321(1), 173-186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.043>
- Klein, W. H., Lewis, B. M., and Enger, I. (1959). Objective prediction of five-day mean temperature during winter. *J. of Meteorol.*, 16(6), 672-682. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1959\)016<0672:OPOFDM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1959)016<0672:OPOFDM>2.0.CO;2)
- Knutson, T. R., Sirutis, J. J., Vecchi, G. A., Garner, S., Zhao, M., Kim, H.-S., . . . Villarini, G. (2013). Dynamical downscaling projections of twenty-first-century Atlantic hurricane activity: CMIP3 and CMIP5 model-based scenarios. *J. of Clim.*, 26(17), 6591-6617. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00539.1>
- Korecha, D. and Sorteberg, A. (2013). Validation of operational seasonal rainfall forecast in Ethiopia. *Water Resour. Res.*, 49, 1-17. <http://dx.doi.org/10.1002/2013WR013760>
- Kotsuki, S., Tanaka, K., and Watanabe, S. (2014). Projected hydrological changes and their consistency under future climate in the Chao Phraya River Basin using

- multi-model and multi-scenario of CMIP5 dataset. *Hydrol. Res. Lett.*, 8(1), 27-32. <https://doi.org/10.3178/hrl.8.27>
- Kure, S. and Tebakari, T. (2012). Hydrological impact of regional climate change in the Chao Phraya River Basin, Thailand. *Hydrol. Res. Lett.*, 6, 53-58. <https://doi.org/10.3178/hrl.6.53>
- Laflamme, E. M., Linder, E., and Pan, Y. (2016). Statistical downscaling of regional climate model output to achieve projections of precipitation extremes. *Weather and Clim. Extremes*, 12, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.12.001>
- Lanzante, J. R., Dixon, K. W., Nath, M. J., Whitlock, C. E., and Adams-Smith D. (2018). Some pitfalls in statistical downscaling of future climate. *Bull. of American Meteorol. Soc.*, 99(4), 791-803. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0046.1>
- Ligaray, M., Kim, H., Sthiannopkao, S., and Lee, S. (2015). Assessment on hydrological response by climate change in the Chao Phraya River Basin, Thailand. *Water*, 7, 6892-6909. <https://doi.org/10.3390/w7126665>
- Linstedt, D., Lind, P., Kjellström E., and Jones, C. (2015). A new regional climate model operating at the meso-gamma scale: performance over Europe. *Tellus Ser. A Dyn. Meteorol. Oceanogr.*, 67(1), 1-23. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v67.24138>
- Liu, J., Yuan, D., Zhang, L., Zou, X., and Song, X. (2016). Comparison of three statistical downscaling methods and ensemble downscaling method based on Bayesian model averaging in the upper Hanjiang River Basin, China. *Adv. in Meteorol.* <https://doi.org/10.1155/2016/7463963>
- Loken, E. D., Clark, A. J., McGovern, A., Flora, M., and Knopfmeier, K. (2019). Postprocessing next-day ensemble probabilistic precipitation forecasts using random forests. *Weather and Forecasting*, 34 (6): 2017–2044.

- MacLachlan, C., Arribas, A., Peterson, K. A., Maidens, A., Fereday, D., Scaife, A. A., . . . Xavier, P. (2015). Description of GloSea5: the Met Office high resolution seasonal forecast system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 141, 1072-1084. doi:10.1002/qj.2396
- MacLeod, D. (2018). Seasonal predictability of onset and cessation of the East African rains. *Weather and Clim. Extremes*, 21, 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.05.003>
- Manzanas, R., Gutiérrez, J. M., Fernández J., Meijgaard, E. V., Calmanti, S., Magariño, M. E., . . . Herrera, S. (2018). Dynamical and statistical downscaling of seasonal temperature forecasts in Europe: added value for user applications. *Clim. Ser.*, 9, 44-56. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2017.06.004>
- Marathe, S., and Karumuri, A., (2021). The El Niño Modoki. in tropical and extratropical air-sea interactions. Elsevier, pp. 93-114.
- Maraun, D., Wetterhall, F., Ireson, A. M., Chandler, R. E., Kendon, E. J., Widmann, M., . . . Thiele-Eich, I. (2010). Precipitation downscaling under climate change: recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Rev. Geophys.*, 48(3), 1-34. <https://doi.org/10.1029/2009RG000314>
- Mason, S. J. and Goddard, L. (2001). Probabilistic precipitation anomalies associated with ENSO. *Bull. of American Meteorolo. Soc.*, 82(4), 619-638. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(2001\)082%3C0619:PPAAWE%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(2001)082%3C0619:PPAAWE%3E2.3.CO;2)
- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale. *The eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California.*
- Mehrotra, R. and Sharma, A. (2010). Development and application of a multisite rainfall stochastic downscaling framework for climate change impact assessment. *Water Resour. Res.*, 46(7), W07526. <http://dx.doi.org/10.1029/2009WR008423>
- Mehrotra, R. and Sharma, A. (2016). A multivariate quantile-matching bias correction approach with auto- and cross-dependence across multiple time scales: implications for downscaling. *J. of Clim.*, 29(10), 3519-3539. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0356.1>

- Mehrotra, R., Sharma, A., Kumar, D. N., and Reshmidevi, T. (2013). Assessing future rainfall projections using multiple GCMs and a multi-site stochastic downscaling model. *J. of Hydrol.*, 488, 84-100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.046>
- Met Office. (2021a). *Unified model*. Retrieved from <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/unified-model/index>
- Met Office. (2021b). *Numerical weather prediction model*. Retrieved from <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/unified-model/weather-forecasting>
- Met Office. (2021c). *Seasonal and climate models*. Retrieved from <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/unified-model/climate-models>
- Meteologix. (2021). *UKMO model charts*. Retrieved from <https://meteologix.com/th/model-charts/gbr>
- Michelangeli, P.-A., Vrac, M., and Loukos, H. (2009). Probabilistic downscaling approaches: application to wind cumulative distribution functions. *Geophys. Res. Lett.*, 36(11), 1-6. <https://doi.org/10.1029/2009GL038401>
- Nansaior, R. (1999). Forecasting of rainfall for crop modelling plan in northeast Thailand. Bangkok: Chulalongkorn University.
- NCAR. (2021). *Weather research and forecasting model*. Retrieved from <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>
- NCEI. (2021a). *The global forecast system (GFS)*. Retrieved from <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>
- NCEI. (2021b). *Climate forecast system*. Retrieved from <https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-climate-models/climate-forecast-system>

- Patarčić, M. and Brankvić, Č. (2011). Skill of 2-m temperature seasonal forecasts over Europe in ECMWF and RegCM models. *Mon. Weather Rev.*, 140(4), 1326-1346. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-11-00104.1>
- Pavia, E. G., Graef, F., and Reyes, J. (2006). PDO-ENSO effects in the climate of Mexico. *J. of Clim.*, 19(24), 6433-6438.
- Ponpang-Nga, P. and Techamahasaranont, J. (2016). Effects of climate and land use changes on water balance in upstream in the Chao Phraya River Basin, Thailand. *Agric. Nat. Resour.*, 50(4), 310-320. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anres.2016.10.005>
- Powers, J. G., Klemp, J. B., Skamarock, W. C., Davis, C. A., Dubhia, J., Gill, D. O., . . . Duba, M. G. (2017). The weather research and forecasting model; overview, system efforts and future directions. *Bull. of American Meteorolo. Soc.*, 98(8), 1717-1737. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00308.1>
- Puttrawutichai, S., Kwanyuen, B., Kongjun, T., Ishii, A., and Satoh, M. (2017). Relationship between El Niño-Southern Oscillation and seasonal rainfall in Thailand's northern and central regions. *J. Sci. and Tech. Kasetsart University*, 6(1), 48-61.
- Rui, H. and Wang, B. (1990). Development characteristics and dynamic structure of tropical intraseasonal convection anomalies. *Journal of Atmospheric Science*, 47, 357-379.
- Saengsawang, S., Pankhoa, P., Kaprom, C., and Sriwongsitanon, N. (2017). Projections of future rainfall for the upper Ping River Basin using regression-based downscaling. *Adv. in Clim. Change Res.*, 8(4), 256-267. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2017.11.001>
- Salvi, K., Kannan, S., and Ghosh, S. (2013). High-resolution multisite daily rainfall projections in India with statistical downscaling for climate change impacts assessment. *J. of Geophys. Res. Atmos.*, 118(9), 3557-3578. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50280>

- Sangelantoni, L., Ferretti, R., and Redaelli G. (2019). Toward a regional-scale seasonal climate prediction system over central Italy based on dynamical downscaling. *Climate*, 7(10), 1-22. <https://doi.org/10.3390/cli7100120>
- Sangelantoni, L., Mazzarella, V., Ricchi, A., Ferretti, R., and Redaelli, G. (2020). Toward a regional-scale seasonal climate prediction system over the Mediterranean Basin: evaluation and comparison of RegCM- and WRF-Based dynamical downscaling approaches. *The EGU General Assembly 2020* (EGU2020-10557). <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-10557>
- Sangelantoni, L., Ricchi, A., Ferretti, R., and Redaelli, G. (2021). Dynamical downscaling in seasonal climate forecasts: Comparison between RegCM- and WRF-based approaches. *Atmosphere*, 12(6), 1-23. <https://doi.org/10.3390/atmos12060757>
- Sangkhaphan, S. and Shu, Y. (2020). Impact of seasonal rainfall on economic growth in Thailand. *Adv. Mang. & Appl. Econ.*, 10(2), 23-32.
- Sarinnapakorn, K., Chankarn, A., Saengprapai, K., Thodsan, T., Boonya-Aroonnet, S., and Chitradon, R. (2015). Tele-connectivity and Predictability of Thailand Annual Rainfall. The 12th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), Singapore.
- Sarinnapakorn, K., Chaowiwat, W., Thodsan, T., Saengprapai, K., and Boonya-Aroonnet, S. (2016). ENSO and Extreme Weather in Thailand. The 13th Annual Meeting Asia Oceania Geosciences Society (AOGS), Jul 31 - Aug 5, 2016, Beijing, China.
- Scaife, A. A., Arribas, A., Blockley, E., Brookshaw, A., Clark, R. T., Dunstone, N., . . . Williams, A. (2014). Skillful long range prediction of European and north American winters. *Geophys. Res. Lett.*, 2514-2519. doi:10.1002/2014GL059637
- Scheuerer, M. (2013). Probabilistic quantitative precipitation forecasting using Ensemble Model Output Statistics. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140 (680): 1086–1096.

- Sharma, D. and Babel, M. S. (2013). Application of downscaled precipitation for hydrological climate-change impact assessment in the upper Ping River Basin, Thailand. *Clim. Dyn.*, 41, 2589-2602. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1788-7>
- Shrestha, A. and Kostaschuk, R. (2005). El Niño/Southern Oscillation (ENSO)-related variability in mean-monthly streamflow in Nepal. *J. of Hydrol.*, 308(1), 33-49. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.020>
- Siegmund, J., Bliefernicht, J., Laux, P., and Kunstmann, H. (2015). Toward a seasonal precipitation prediction system for West Africa: performance of CFSv2 and high-resolution dynamical downscaling. *J. of Geophys. Res. Atmos.*, 120, 1-24. <http://dx.doi.org/10.1002/2014JD022692>
- Singhrattna, N. and Babel, M. S. (2011). Changes in summer monsoon rainfall in the upper Chao Phraya River Basin, Thailand. *Clim. Res.*, 49(2), 155-168. <http://dx.doi.org/10.3354/cr01015>
- Singhrattna, N., Babel, M. S., and Perret, S. R. (2012). Hydroclimate variability and long-lead forecasting of rainfall over Thailand by large-scale atmospheric variables. *Hydrol. Sci. J.*, 57(1), 26-41. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2011.633916>
- Singhrattna, N., Rajagopalan, B., Clark, M., and Kumar, K. K. (2005a), Seasonal forecasting of Thailand summer monsoon rainfall. *J.Clim.*, 25(5): 649-664.
- Singhrattna, N., Rajagopalan, B., Kumar, K. K., and Clark, M. (2005b). Interannual and interdecadal variability of Thailand summer monsoon rainfall. *J. of Clim.*, 18(11), 1697-1708. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI3364.1>
- Smid, M. and Costa, A. C. (2018). Climate projections and downscaling techniques: a discussion for impact studies in urban systems. *Inter. J. of Urb. Sci.*, 22(3), 277-307. <https://doi.org/10.1080/12265934.2017.1409132>
- Supharatid, S. (2016). Skill of precipitation projection in the Chao Phraya River Basin by multi-model ensemble CMIP3-CMIP5. *Weather and Clim. Extremes*, 12, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2016.03.001>

- Tavakolifar, H., Shahghasemi, E., and Nazif, S. (2017). Evaluation of climate change impacts on extreme rainfall events characteristics using a synoptic weather typing-based daily precipitation downscaling model. *J. of Water & Clim. Change*, 8(3), 388-411. <https://doi.org/10.2166/wcc.2017.107>
- Torsri, K., Wannawong, W., Sarinnapakorn, K., Boonya-Aroonnet, S., and Chitradon, R. (2014). An application of air-sea model components in the Coupled Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport (COAWST) modeling system over an Indochina Peninsular Sub-region: Impact of high spatiotemporal SST on WRF model in precipitation prediction (poster). 2014 Asia Oceania Geosciences Society (AOGS). Sapporo, Japan.
- Trzaska, S. and Schnarr, E. (2014). *A review of downscaling methods for climate change projections*. DC: Washington.
- Van Schaeybroeck, B. and S. Vannitsem. (2015). Ensemble post-processing using member-by-member approaches: Theoretical aspects. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(688): 807–818.
- Vannitsem, S. (2009). A unified linear model output statistics scheme for both deterministic and ensemble forecasts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 135(644): 1801–1815.
- Volosciuk, C., Maraun, D., Vrac, M., and Widmann, M. (2017). A combined statistical bias correction and stochastic downscaling method for precipitation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 1693-1719. <https://doi.org/10.5194/hess-21-1693-2017>
- Vrac, M., Drobinski, P., Merlo, A., Herrmann, M., Lavaysse, C., Li, L., and Somot, S. (2012). Dynamical and statistical downscaling of the French Mediterranean climate: uncertainty assessment. *Nat. Hazard Earth Syst. Sci.*, 12(9), 2769-2784. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-2769-2012>
- Walker, D. P., Birch, C. E., Marsham, J. H., Scaife, A. A., Graham, R. J., and Segele, Z. T. (2019). Skill of dynamical and GHACOF consensus seasonal forecast of East African rainfall. *Clim. Dyn.*, 53(7-8), 4911-4935. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04835-9>

- Warner, J. C., Armstrong, B., He, R., and Zambon, J. B. (2010). Development of a coupled ocean-atmosphere-wave-sediment transport (COAWST) modeling system. *Ocean Modelling*, 35(3), 230-244. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2010.07.010>
- Watanabe, S., Hirabayashi, Y., Kotsuki, S., Hanasaki, N., Tanaka, K., Mateo, C. M. R., . . . Oki, T. (2014). Application of performance metrics to climate models for projecting future river discharge in the Chao Phraya River Basin. *Hydrol. Res. Lett.*, 8(1), 33-38. <https://doi.org/10.3178/hrl.8.33>
- Weesakul, U., Chaiyasarn, K., and Mahat, S. (2021). Long-term rainfall forecasting using deep neural network coupling with input variables selection technique: a case study of Ping River Basin, Thailand. *Eng. and Appl. Sci. Res.*, 48(2), 209-220.
- Weesakul, U., Singhrattna, N., and Luangdilok, N. (2013). Identification of large-scale atmospheric predictors for rainfall forecasting of Chi River Basin (Thailand). *The 5th National Water Resources Engineering Symposium, Chiang Rai, Thailand*.
- Weesakul, U., Singhrattna, N., and Yodpongpiput, P. (2016). Seasonal rainfall forecast for cropping pattern planning using a modified k-nearest neighbor model. *KKU Eng. J.*, 43(3), 156-161.
- Wei, W. W. S. (1990). *Time series analysis: univariate and multivariate methods*. USA: Addison-Wesley Publishing Co.
- White, C. J., Carlsen, H., Robertson, A. W., Klein, R. J. T., Lazo, J. K., Kumar, A., Vitart, F., Coughlan de Perez, E., Ray, A. J., Murray, V., Bharwani, S., MacLeod, D., James, R., Fleming, L., Morse, A. P., Eggen, B., Graham, R., Kjellström, E., Becker, E., Pegion, K. V., Holbrook, N. J., McEvoy, D., Depledge, M., Perkins-Kirkpatrick, S., Brown, T. J., Street, R., Jones, L., Remenyi, T. A., Hodgson-Johnston, I., Buontempo, C., Lamb, R., Meinke, H., Arheimer, B. and Zebiak, S. E. (2017). Potential applications of subseasonal-to-seasonal (S2S) predictions. *Meteorological Applications*. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com). DOI: 10.1002/met.1654

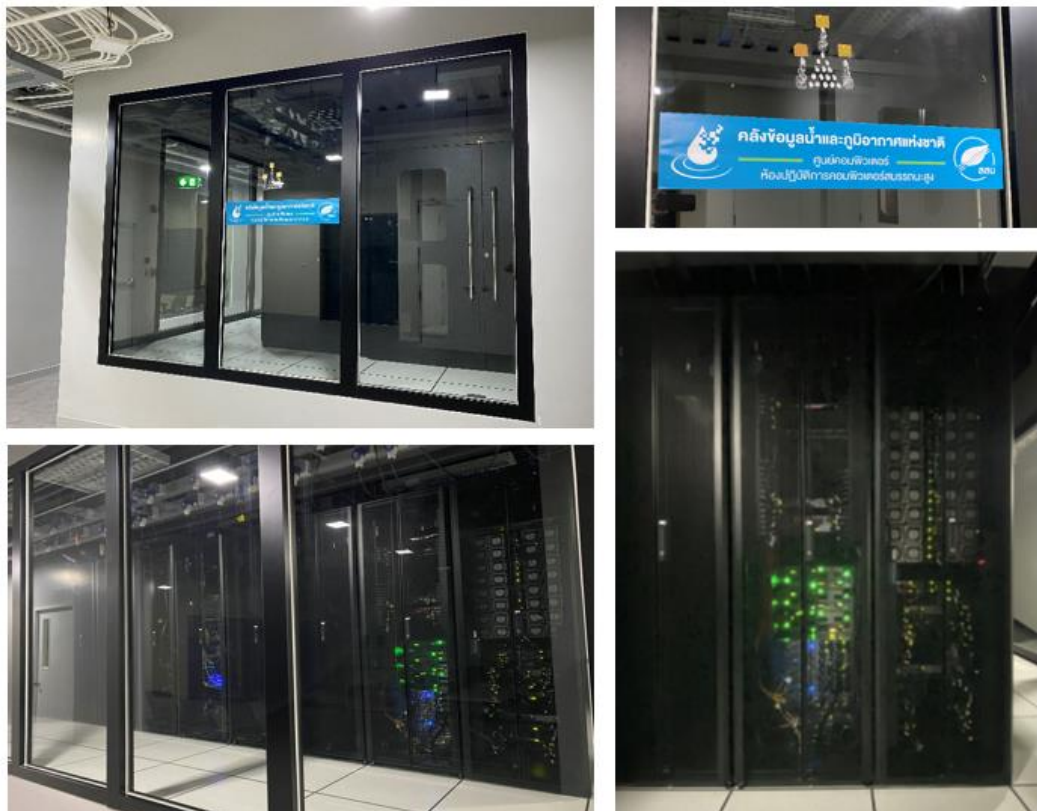
- Wichakul, S., Tachikawa, Y., Shiba, M., and Yorozu, K. (2014). Prediction of water resources in the Chao Phraya River Basin, Thailand. *Hydrology in a changing world: environmental and human dimensions, Montpellier, France.*
- Wichitarapongsakun, P., Sarin, C., Klomjek, P., & Chuenchooklin, S. (2016). Rainfall prediction and meteorological drought analysis in the Sakae Krang River basin of Thailand. *Agric. Nat. Resour.*, 50, 490-498. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anres.2016.05.003>
- Wilks, D. S. (1999). Multisite downscaling of daily precipitation with a stochastic weather generator. *Clim. Res.*, 11(2), 125-136.
- Wilks, D. S. (2012). Stochastic weather generators for climate-change downscaling, part II: multivariable and spatially coherent multisite downscaling. *Wiley Interdiscip. Rev.: Climate Change*, 3(3), 267-278. <https://doi.org/10.1002/wcc.167>
- Wilks, D. S. (2018). Univariate ensemble, in *Statistical Postprocessing of Ensemble Forecasts*, eds. Vannitsem, S., D. S. Wilks, and Messner, J. Elsevier, 49-89.
- WMO. (2012). *Standardized precipitation index: user guide*. Switzerland: World Meteorological Organization.
- WMO. (2021). *Guidelines for Ensemble Prediction System Postprocessing*, WMO-No 1254, 46pp.
- Wong, G., Maraun, D., Vrac, M., Widmann, M., Eden, J. M., and Kent, T. (2014). Stochastic model output statistics for bias correcting and downscaling precipitation including extremes. *J. of Clim.*, 27(18), 6940-6959. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00604.1>
- Wuthiwongyothin, S., Mili, S., and Phadungkarnlert, N. (2019). A study of correcting climate model daily rainfall product using quantile mapping in upper Ping River Basin, Thailand. *The 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2019), Hanoi, Vietnam* (pp. 25-28). doi:10.1007/978-981-15-0291-0_166

- Ye, K.-H., Tam, C.-Y., Zhou, W., and Sohn, S.-J. (2015). Seasonal prediction of June rainfall over South China: model assessment and statistical downscaling. *Adv. Atmos. Sci.*, 32(5), 680-689. <http://dx.doi.org/10.1007/s00376-014-4047-x>
- Yhang, Y.-B., Sohn, S.-J., and Jung, I.-W. (2017). Application of dynamical and statistical downscaling to East Asian summer precipitation for finely resolved datasets. *Adv. in Meteorol.* <https://doi.org/10.1155/2017/2956373>
- Yuan, Q., Thorarinsdottir, T. L., Beldring, S., Wong, W. K., Huang, S., and Xu, C.-Y. (2019). New approach for bias correction and stochastic downscaling of future projections for daily mean temperatures to a high-resolution grid. *J. of Appl. Meteorol. and Climatol.*, 58(12), 2617-2632. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-19-0086.1>
- Zorita, E. and Storch, H. V. (1999). The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. *J. of Clim.*, 12(8), 2474-2489.

ภาคผนวก ก. สถานที่ทำการศึกษาวิจัย



รูปที่ ก.1 สถานที่ปฏิบัติงาน สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)



รูปที่ ก.2 ระบบ HPC ของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)
ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ National e-Science Infrastructure Consortium

ภาคผนวก ข รายงานการสัมมนา “ระบบการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศรายฤดูกาล
SINTEX-F”

แผนงานยุทธศาสตร์เป้าหมาย(Spearhead) ด้านสังคม แผนงานการบริหารจัดการน้ำ ปีที่ 2
วันศุกร์ที่ 6 สิงหาคม พ.ศ.2564 เวลา 13.30 – 15.00 น.
แบบออนไลน์ ผ่านระบบ WebEx : 170 539 7540

ผู้เข้าร่วมประชุม

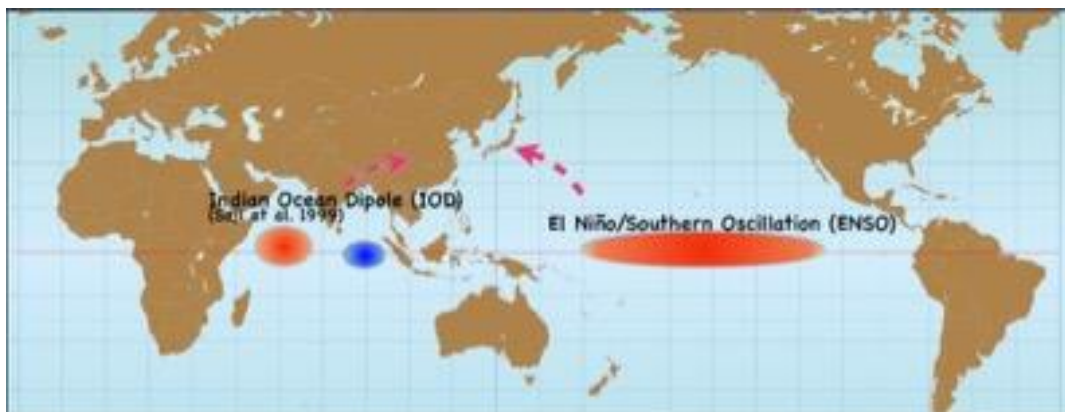
- | | |
|--|--|
| 1. รศ.ดร.สุจิริต คุณธนกุลวงศ์ | ประธานกรรมการแผนงานยุทธศาสตร์เป้าหมาย |
| 2. ผศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ สุทธิรินทร์ | ผู้อำนวยการหน่วยบริหารจัดการและส่งเสริมผลลัพธ์ |
| 3. Dr. Takeshi Doi | ผู้บรรยายจาก Japan Agency for Marine-Earth
Science Technology (JAMSTEC) / Application
Laboratory |
| 4. ดร.กนกศรี ศรีนินภากร | นักวิจัย |
| 5. คุณจรรยา เลหาเลิศชัย | นักวิจัย |
| 6. ดร.ชลัมภ์ อุ่นอารีย์ | นักวิจัย |
| 7. ผศ.ดร.ปิยธิดา เรืองรัมย์ | นักวิจัย |
| 8. ดร.นครินทร์รา สิงห์รัตน์ | นักวิจัย |
| 9. ดร.โชคชัย สุทธิธรรมจิต | นักวิจัย |
| 10. คุณพลเพชร สมานมิตร | นักวิจัย |
| 11. ดร.दनย์ปภพ มะณี | นักวิจัย |
| 12. คุณบุญโฮม กิมมณี | ผู้ช่วยวิจัย |
| 13. นิสิตระดับบัณฑิตศึกษา | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 14. ดร.ภวิสร ชื่นชุ่ม | ผู้จัดการหน่วยบริหารจัดการและส่งเสริมผลลัพธ์ ODU |
| 15. คุณเดือนเพ็ญ ปุณยงกูร | ผู้ประสานงาน PC |
| 16. คุณสาวิตรี หล้าเรือง | ผู้ประสานงาน ODU |
| 17. นักอุตุนิยมวิทยาที่ภูมิอากาศ และผู้แทนจากกรมอุตุนิยมวิทยา | |
| 18. นักวิจัยจากหน่วยงานต่างๆ ภายใต้กลุ่มภาควิชาบรรยากาศแห่งประเทศไทย | |
| 19. ทีมวิจัยจากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) | |

หมายเหตุ: จำนวนผู้เข้าร่วมสัมมนา “ระบบการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศรายฤดูกาล SINTEX-F” มีทั้งหมด 42 คน

เริ่มประชุม 13.30 น.

ระบบการคาดการณ์สภาพอากาศรายฤดูกาล SINTEX-F

การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศรายฤดูกาล อาศัยองค์ความรู้ด้านความเชื่อมโยงระหว่างบรรยากาศและมหาสมุทร (Air-sea interaction) ซึ่งพลังงานความร้อน (heat content) จากมหาสมุทรบริเวณเขตร้อน (tropical ocean) ส่งผลต่อการขับเคลื่อนของบรรยากาศ (remote forcing) ในสเกลใหญ่ (large-scale) โดยส่งผลกับระบบการไหลเวียนอากาศในเขตร้อน (tropical atmospheric circulation) และความเชื่อมโยงระยะไกล (teleconnection) ของระบบการไหลเวียนอากาศในบริเวณละติจูดกลาง (mid latitude) โดยเฉพาะปรากฏการณ์ ENSO (El Niño-Southern Oscillation) ในมหาสมุทรแปซิฟิก และปรากฏการณ์อินเดียเนียนโอเชียนไดโพล (IOD; Indian Ocean Dipole) ในมหาสมุทรอินเดีย โดยลักษณะเด่นของปรากฏการณ์ทั้งสอง คือความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ดังแสดงในรูปที่ ข.1 ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ขับเคลื่อนความแปรปรวนในระบบบรรยากาศ และมักมีพัฒนาการที่ใช้ระยะเวลานาน (3–6 เดือน) จึงเป็นที่มาของการนำมาใช้ในการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศรายฤดูกาล



รูปที่ ข.1 ปรากฏการณ์ ENSO และปรากฏการณ์ IOD

ระบบการคาดการณ์รายฤดูกาล SINTEX-F เป็นระบบที่พัฒนาโดย Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) ภายใต้ความร่วมมือระหว่างสหภาพยุโรปและประเทศญี่ปุ่น (EU-Japan collaboration) ระบบการจำลอง SINTEX-F1 เป็นระบบแรกที่ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ (numerical models) ที่ประกอบไปด้วย 1) ชุดข้อมูลตรวจวัดภูมิอากาศและสมุทรศาสตร์ 2) ระบบวิเคราะห์ปรับแก้ข้อมูลเพื่อประมาณค่าเริ่มต้นของมหาสมุทร (SST-nudging scheme initialization) สำหรับสร้างชุดข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองคู่ควบ 3) แบบจำลองคู่

ควบระหว่างบรรยากาศและมหาสมุทรในระดับโลก (global coupled ocean-atmosphere general circulation model) และ 4) แบบจำลองคู่ควบนี้ไม่ได้รวมระบบการจำลองอิทธิพลจากปริมาณน้ำแข็งปกคลุม (sea-ice cover) ซึ่งใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของปริมาณน้ำแข็งปกคลุม (restoring observation climatology sea-ice cover) ที่ได้จากการตรวจวัด โดยมีทั้งหมด 9 ensemble member models ประกอบด้วย 3 nudging strengths × 3 physical schemes (wind-ocean current) และมีการปรับแก้ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการจำลอง อันเนื่องมาจากอิทธิพลระหว่างลมและมหาสมุทรในปัจจุบัน สำหรับการสร้างค่าประมาณที่ดีที่สุดสำหรับข้อมูลเริ่มต้น (initial condition) ในปัจจุบันมีการพัฒนา SINTEX-F ทั้งหมด 5 เวอร์ชัน โดยมีการเพิ่ม ensemble และการทดสอบปรับแก้ค่าของข้อมูลสมุทรศาสตร์ด้วย ระบบ 3DVAR ocean assimilation และเพิ่มการจำลองคู่ควบกับปัจจัยจากปริมาณน้ำแข็งปกคลุม มาใช้ในการคาดการณ์ รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ ข.2

	AGCM	OGCM	Sea Ice model	Ensemble size	Initialization	Reforecast every month, 1983-present
F1 (Luo et al. 2005)	ECHAM4 T106L19	OPA8 2°×(0.5°-2°) L31	No	9	SST-nudging	24-mo lead
F2 (Doi et al. 2016)	ECHAM5 T106L31	OPA9 0.5°×0.5° L31	LIM2	12	Same as F1	12-mo lead
F2-3DVAR (Doi et al. 2017)	ECHAM5 T106L31	OPA9 0.5°×0.5° L31	LIM2	12	SST-nudging with 3DVAR ocean assimilation	24-mo lead
108-ensemble with F2-3DVAR (Doi et al. 2019)	ECHAM5 T106L31	OPA9 0.5°×0.5° L31	LIM2	108 (12×LAF, 9days)	SST-nudging with 3DVAR ocean assimilation	4-mo lead
F2si (Morioka et al. 2019)	ECHAM5 T106L31	OPA9 0.5°×0.5° L31	LIM2	12	SST and SIC-nudging	12-mo lead

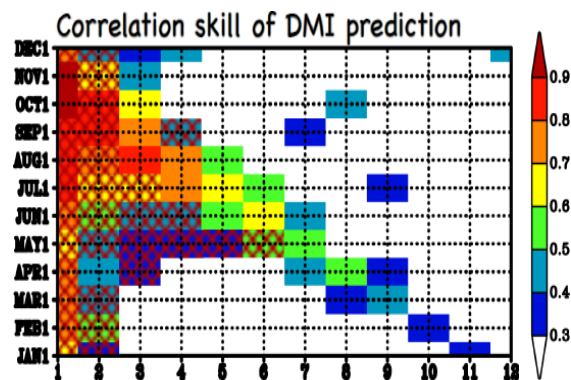
รูปที่ ข.2 ระบบการคาดการณ์ SINTEX-F

ประสิทธิภาพการคาดการณ์รายฤดูกาลของระบบ SINTEX-F สำหรับปรากฏการณ์ทางสมุทรศาสตร์

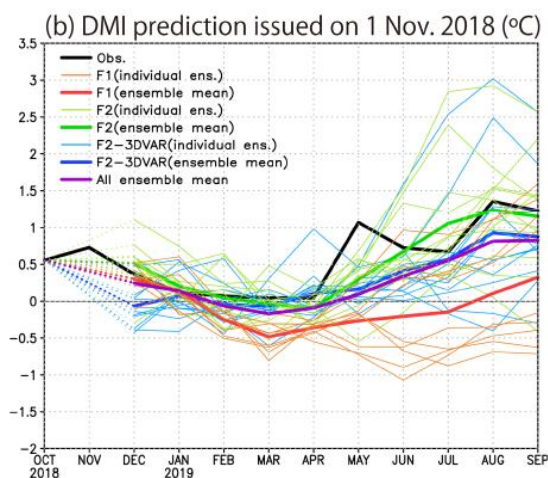
1.1 ปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole (IOD)

ปรากฏการณ์ IOD เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรอินเดีย ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศของประเทศออสเตรเลีย อินโดนีเซีย รวมถึงประเทศอื่น ๆ ที่อยู่รอบ ๆ มหาสมุทรอินเดีย สำหรับการคาดการณ์ปรากฏการณ์

IOD ล่วงหน้า 12 เดือน โดยใช้ข้อมูลเริ่มต้นเดือนกรกฎาคม สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้แม่นยำในช่วงเดือนที่ 2-4 และความแม่นยำลดลงเมื่อคาดการณ์ตั้งแต่เดือนที่ 5 ขึ้นไป เมื่อเทียบกับข้อมูลตรวจวัด ซึ่งในช่วงฤดูหนาว การคาดการณ์โดยใช้ข้อมูลเริ่มต้นเดือนพฤศจิกายน ทำให้ความสามารถในการคาดการณ์ล่วงหน้ายังมีความคลาดเคลื่อนดังแสดงในรูปที่ ข.3 ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ปรากฏการณ์ IOD มีกำลังแรง (super IOD) ส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศในประเทศแอฟริกาตะวันออก ออสเตรเลีย และญี่ปุ่น ซึ่งผลการทดสอบระบบ SINTEX-F ในการคาดการณ์ปรากฏการณ์ IOD ในปีนี้ โดยใช้ข้อมูลเริ่มต้นเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 สามารถคาดการณ์ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดในช่วงของเดือนพฤศจิกายน ถึงเมษายน พ.ศ. 2562 โดยในแต่ละระบบมีความคลาดเคลื่อนสูงตั้งแต่เดือนพฤษภาคมเป็นต้นไป อย่างไรก็ตาม แนวโน้มของค่าเฉลี่ยทุกแบบจำลอง (all ensemble mean) ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2562 มีแนวโน้มเป็น positive IOD สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัด ดังแสดงในรูปที่ ข.4 เนื่องจากเมื่อใช้ค่าเริ่มต้นในช่วงฤดูหนาว จะมีความคลาดเคลื่อนในการคาดการณ์สูงเนื่องจาก winter predictability barrier ที่เกิดจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณมหาสมุทรอินเดียมีความแปรปรวนสูงในช่วงฤดูหนาว



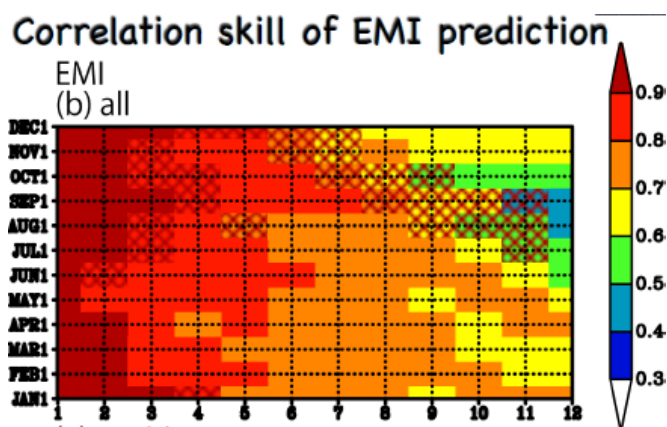
รูปที่ ข.3 การคาดการณ์ปรากฏการณ์ IOD ล่วงหน้า 12 เดือน ระบบ SINTEX-F



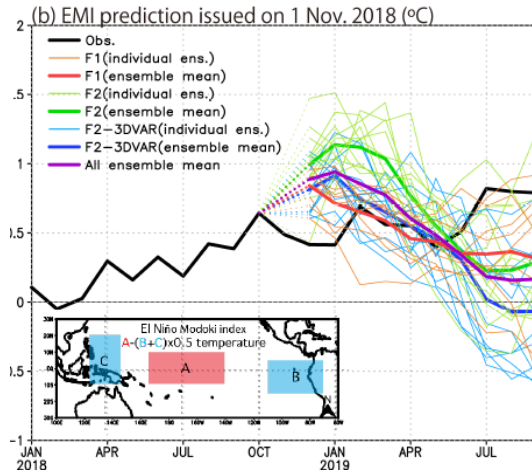
รูปที่ ข.4 การคาดการณ์ปรากฏการณ์ IOD พ.ศ. 2562 ระบบ SINTEX-F

1.2 ปรากฏการณ์ El Nino Modoki

ปรากฏการณ์ El Nino Modoki เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิกที่มีการพัฒนามาจากปรากฏการณ์ ENSO โดยผลจากการคาดการณ์ปรากฏการณ์ El Nino Modoki พบว่าในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ปรากฏการณ์ El Nino Modoki มีอิทธิพลต่อการพัฒนาของปรากฏการณ์ positive IOD ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งส่งผลต่อการก่อตัวของความกดอากาศสูง และลมตะวันออกเฉียงใต้บริเวณ Maritime Continent ส่งผลให้อุณหภูมิผิวน้ำทะเลลดลงกว่าปกติ อันเป็นลักษณะของปรากฏการณ์ positive IOD สำหรับการคาดการณ์ล่วงหน้าของปรากฏการณ์ El Nino Modoki สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้แม่นยำกว่า มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าการคาดการณ์ปรากฏการณ์ IOD ในช่วงเดือนที่ 2-6 เมื่อใช้ข้อมูลเริ่มต้นในช่วงฤดูหนาว ดังแสดงในรูปที่ ข.5 สำหรับการคาดการณ์ปรากฏการณ์ El Nino Modoki ในปี พ.ศ. 2562 โดยใช้ข้อมูลเริ่มต้นเดือนตุลาคม พ.ศ. 2561 สามารถคาดการณ์ได้ดี ใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2562 ดังแสดงในรูปที่ ข.6 ซึ่งสามารถเป็นตัวแทนในการคาดการณ์ปรากฏการณ์ IOD ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2562 ได้



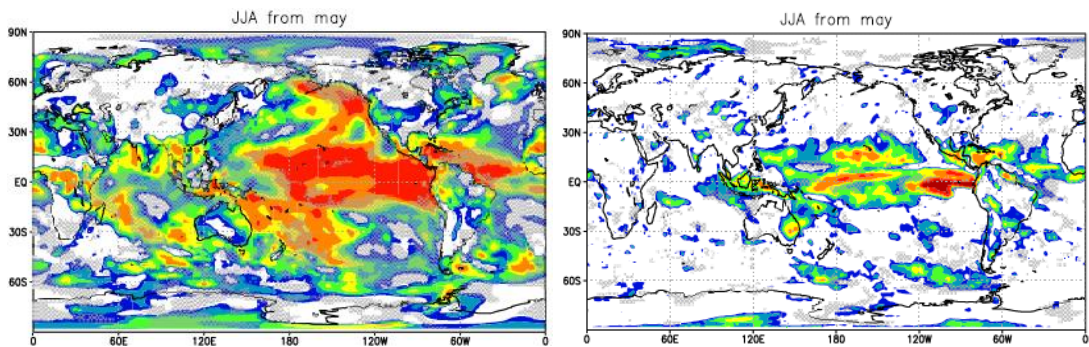
รูปที่ ข.5 การคาดการณ์ปรากฏการณ์ El Nino Modoki ล่วงหน้า 12 เดือน ระบบ SINTEX-F



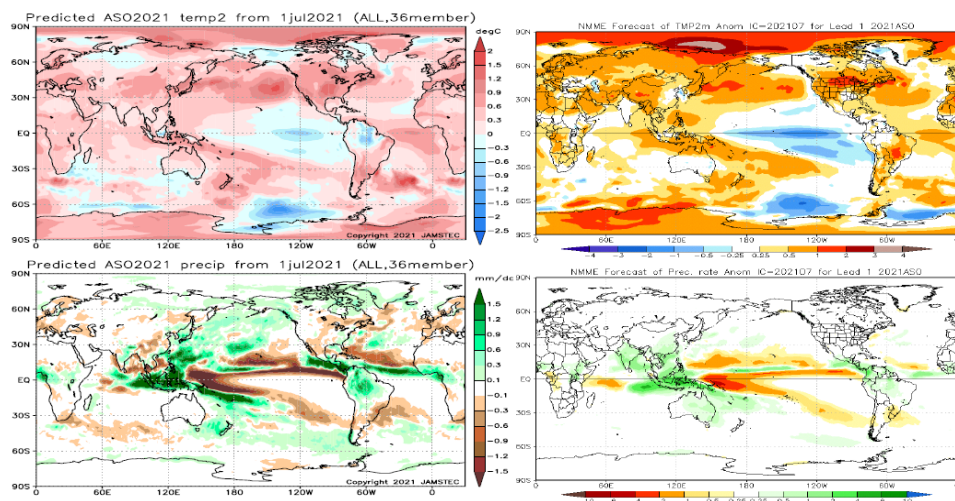
รูปที่ ข.6 การคาดการณ์ปรากฏการณ์ El Niño Modoki พ.ศ. 2562 ระบบ SINTEX-F

ประสิทธิภาพการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศรายฤดูกาลของระบบ SINTEX-F

การคาดการณ์อุณหภูมิของระบบ SINTEX-F ในช่วงปี พ.ศ. 2526-2563 สามารถคาดการณ์อุณหภูมิได้แม่นยำ ในช่วงเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ ที่บริเวณมหาสมุทรอินเดียตะวันตก และมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก ส่วนบริเวณพื้นดินมีความคลาดเคลื่อน สำหรับประเทศไทย มีความแม่นยำในบางบริเวณของประเทศไทยช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม ดังแสดงในรูปที่ข.7 ในเรื่องปริมาณฝน สามารถคาดการณ์ได้แม่นยำน้อยกว่าอุณหภูมิ ส่วนใหญ่จะแม่นยำสูงที่บริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก ส่วนประเทศไทยมีความคลาดเคลื่อนในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม ดังแสดงในรูปที่ข.8. สำหรับการคาดการณ์ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2564 ผลการคาดการณ์แสดงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นบริเวณแปซิฟิกตะวันตก และปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นบริเวณ Maritime Continent ซึ่งสอดคล้องกับการพัฒนาของปรากฏการณ์ลานีญา (La Nina) ดังแสดงในรูปที่ข.8 ภาพรวมระบบ SINTEX-F สามารถคาดการณ์อุณหภูมิ และปริมาณฝนได้ใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดบริเวณมหาสมุทร และครอบคลุมปรากฏการณ์ด้านสมุทรศาสตร์ สำหรับบริเวณพื้นดิน ค่าคาดการณ์จะต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด



รูปที่ ข.7 การคาดการณ์รายฤดูกาล 1.อุณหภูมิ และ 2.ปริมาณฝน เดือนมิถุนายน-สิงหาคม
ช่วงปี พ.ศ. 2526-2563 โดยใช้ข้อมูลเริ่มต้นเดือนพฤษภาคม



รูปที่ ข.8 การคาดการณ์อุณหภูมิและปริมาณฝน พ.ศ. 2564 ระบบ SINTEX-F

ปิดประชุม เวลา 15.00 น.

**Spearhead Research Program
Water Resources Management**

**August 6, 2021
13:30 – 15:00
Bangkok time**

Dr. Takeshi Doi
Japan Agency for Marine–Earth Science Technology
(JAMSTEC) / Application Laboratory (APL)

Seminar:

- Introduction to SINTEX-F-Family system
- Seasonal forecast procedure and technique
 - Predictability of the Super IOD and ENSO modoki
 - Seasonal prediction for Southeast Asia Area (especially Thailand this year)

Please scan QR code for online seminar



**SINTEX-F seasonal prediction system
~ the past, present, and future ~**

Takeshi Doi
Application Laboratory (APL)/Research Institute for Value-Added-Information
Generation (VAiG)/Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
(JAMSTEC), Japan

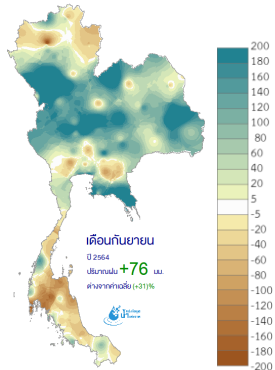
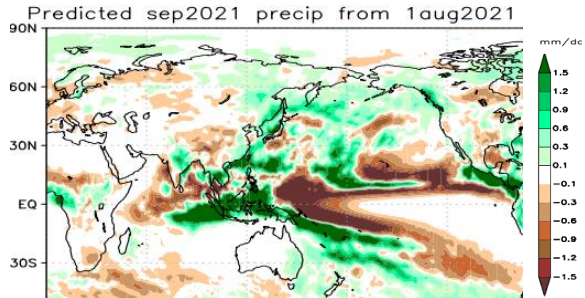
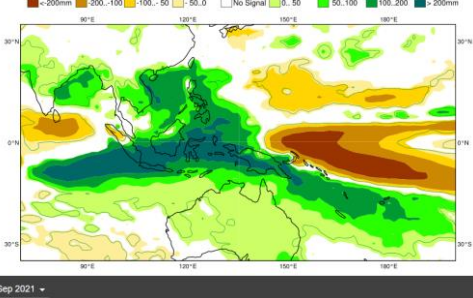
Acknowledgements:
The SINTEX-F seasonal climate prediction system was run by the Earth Simulator at JAMSTEC. We are grateful to Drs. Wataru Sasaki, Jing-Jia Luo, Sebastian Masson, Andrea Storto, Antonio Navarra, Silvio Gualdi and our European colleagues of INGV/CMCC, L'OEAN, and MPI for their contributions in developing the prototype prediction system. We also thank Drs. Masami Nonaka and Yushi Morioka for helpful comments and suggestions.

รูปที่ ข.9 การสัมมนา “ระบบการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศรายฤดูกาล SINTEX-F”

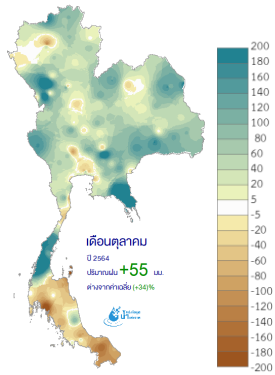
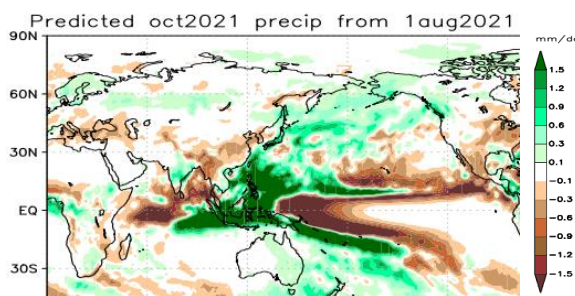
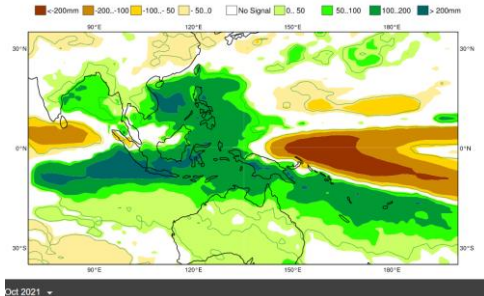
ภาคผนวก ค การคาดการณ์ฝนรายฤดูกาลของศูนย์พยากรณ์ JAMSTEC และ ECMWF ช่วงเดือนกันยายน 2564-มิถุนายน 2565

ตารางที่ ค.1 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ ECMWF และ JAMSTEC ณ เดือนสิงหาคม 2564 กับค่าตรวจวัดจริง ช่วงเดือนกันยายน 2564-พฤศจิกายน 2564

Initial Month: สิงหาคม 2564

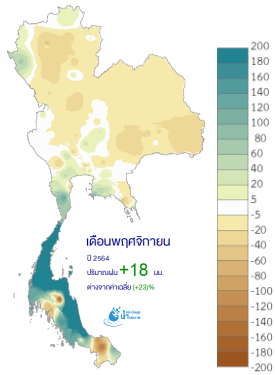
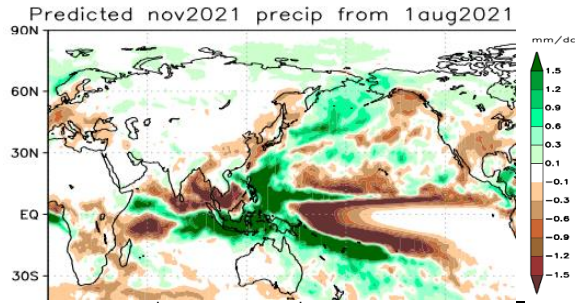
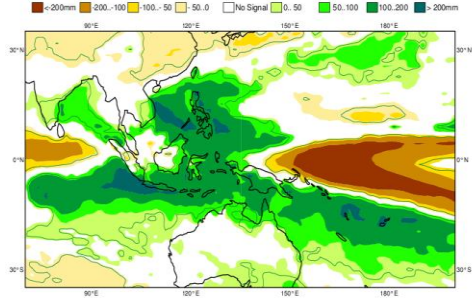
Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
กันยายน 2564	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนกันยายนจากค่าปกติ</u></p>  <p>ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 85 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 95 มม. ภาค</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนกันยายนจากค่าปกติ</u></p> <p>Predicted sep2021 precip from 1aug2021</p>  <p>ประเทศไทยตอนบน (ภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ กลาง และตะวันออก) มีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 1 mm/day แต่ในภาคใต้มีฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 1 mm/day</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนกันยายนจากค่าปกติ</u></p>  <p>ประเทศไทยตอนบน (ภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ กลาง และตะวันออก) มีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 40-60% แต่ในภาคใต้มี</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	กลางมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 90 มม. ภาคตะวันออกมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 75 มม. และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 35 มม.				ค่าเฉลี่ยของฝนเท่ากับค่าปกติ ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC ซึ่งพยากรณ์ฝนในภาคใต้ต่างกันมาก		
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 55 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออก เฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 65 มม.	ตะวันออก เฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 15 มม.
		กลาง	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 60 มม.	กลาง	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.
		ตะวันออก	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 45 มม.	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ใต้	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 35 มม.
ตุลาคม 2564	<u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนตุลาคมจากค่าปกติ</u>  <p>เดือนตุลาคม ปี 2564 ปริมาณ +55 มม. สูงกว่าปกติ +34%</p>	<u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนตุลาคมจากค่าปกติ</u>  <p>Predicted oct2021 precip from 1aug2021</p> <p>ภาคเหนือและภาคใต้มีฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติ ประมาณ 0.3-0.9 mm/day ส่วนภาคตะวันออก-</p>			<u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนตุลาคมจากค่าปกติ</u>  <p>ทั่วทุกภาคของประเทศมีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ยปกติ ประมาณ 40-60% ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC ซึ่ง พยากรณ์ฝนในทั่วทุกภาคของประเทศต่างกันมาก</p>		

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 60 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 85 มม. ภาคกลางมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 60 มม. ภาคตะวันออกมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 135 มม. และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 15 มม.	เฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีค่าฝนเฉลี่ยเท่ากับค่าปกติ					
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 80 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 35 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		Day	Forecast	Actual	Day	Forecast	Actual
		ตะวันออก เฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 85 มม.	ตะวันออก เฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 60 มม.
		กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 60 มม.	กลาง	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 35 มม.
		ตะวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 135 มม.	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 110 มม.

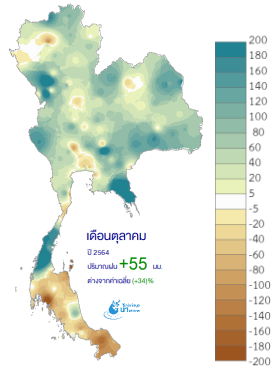
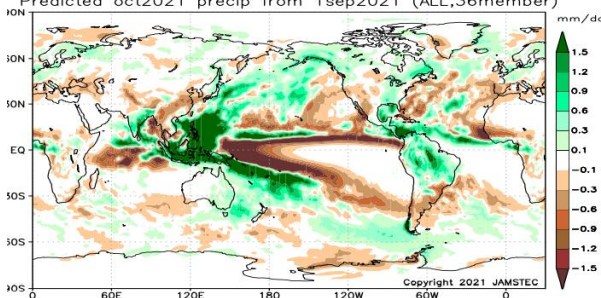
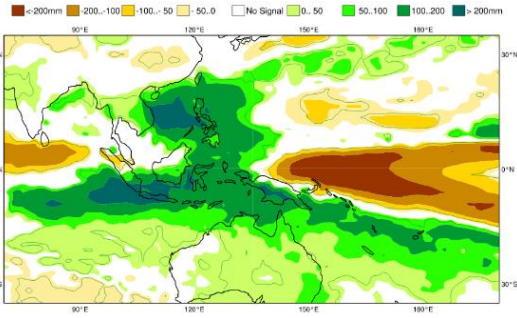
Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ใต้	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 55 มม.
พฤศจิกายน 2564	<u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนพฤศจิกายนจากค่าปกติ</u> 	<u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนพฤศจิกายนจากค่าปกติ</u>  <p>Predicted nov2021 precip from 1aug2021</p> <p>ภาคใต้มีฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 0.6-0.9 mm/day ส่วนภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ</p>			<u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนพฤศจิกายนจากค่าปกติ</u>  <p>ภาคใต้มีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ยปกติเล็กน้อย ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC ส่วนภาคเหนือ ภาค</p>		

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก มีฝนใกล้เคียงปกติ ภาคตะวันออก-เฉียงเหนือมีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 15 มม. และภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 165 มม.	ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีค่าฝนเฉลี่ยเท่ากับค่าปกติ			ตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก มีค่าฝนเฉลี่ยเท่ากับค่าปกติ		
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 15 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 15 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		กลางวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	กลางวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ได้	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 190 มม.	ได้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 130 มม.

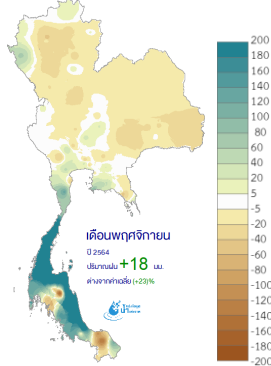
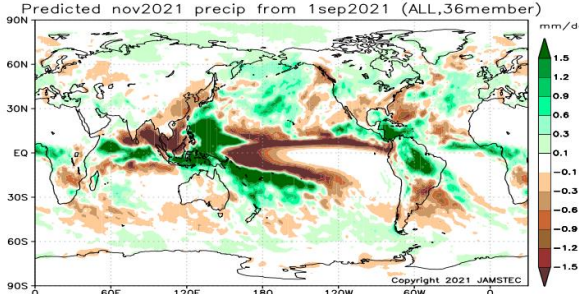
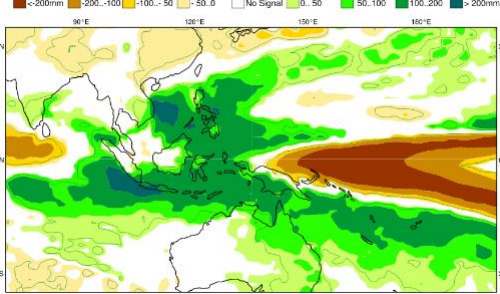
ตารางที่ ค.2 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ ECMWF และ JAMSTEC ณ เดือนกันยายน 2564 กับค่าตรวจวัดจริง ช่วงเดือนตุลาคม 2564–ธันวาคม 2564

Initial Month: กันยายน 2564

Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
ตุลาคม 2564	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนตุลาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p>ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 60 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 85 มม. ภาคกลางมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 60 มม. ภาคตะวันออกมีฝนมากกว่าปกติ</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนตุลาคมจากค่าปกติ</u></p> <p>Predicted oct2021 precip from 1sep2021 (ALL,36member)</p>  <p>ด้านตะวันตกของประเทศไทยบริเวณตะวันตกของภาคเหนือและภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ มีฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติเล็กน้อย 0.1-0.3 mm/day ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติ</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนตุลาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p>ประเทศไทยตอนบน (ภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ กลาง และตะวันออก) มีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ยปกติประมาณ 0-50 mm แต่ในภาคใต้มีค่าเฉลี่ยของฝนเท่ากับค่าปกติ ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC ซึ่งพยากรณ์ฝนในภาคใต้ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย</p>

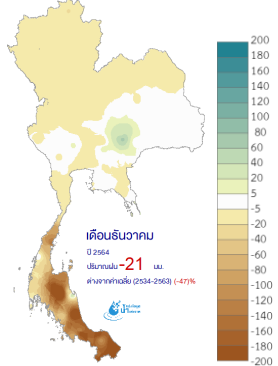
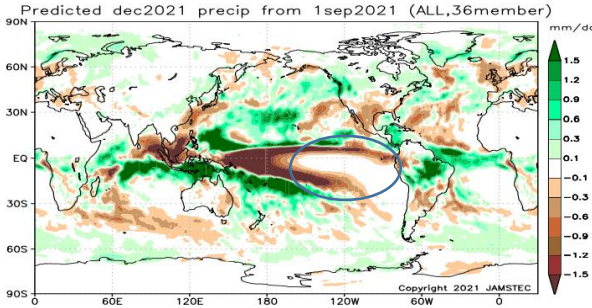
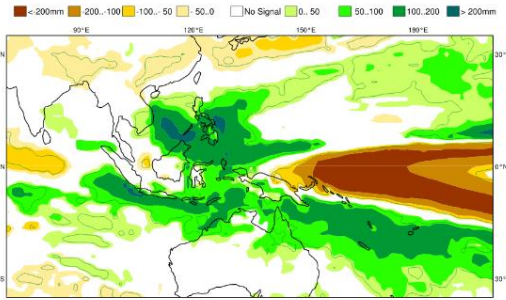
Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ประมาณ 135 มม. และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 15 มม.						
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 65 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 35 มม.
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 85 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 60 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ต่ำ กว่าปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 65 มม.	กลาง	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 35 มม.
		กลางวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ต่ำ กว่าปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 140 มม.	กลางวันออก	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 110 มม.
		ใต้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.	ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่า ปกติ)	มากกว่าประมาณ 15 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
พฤษภาคม 2564	<p data-bbox="524 432 860 520">ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด เดือนพฤษภาคมจากค่าปกติ</p>  <p data-bbox="465 922 913 1182">ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก มีฝนใกล้เคียงปกติ ภาคตะวันออก-เฉียงเหนือมีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 15 มม. และภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 165 มม.</p>	<p data-bbox="1055 432 1408 520">ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนพฤษภาคมจากค่าปกติ</p>  <p data-bbox="936 863 1525 1118">ภาคเหนือมีฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติเล็กน้อย 0.1-0.3 mm/day และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติมาก ตั้งแต่ 1.5 mm/day ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีค่าฝนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ปกติ</p>	<p data-bbox="1653 432 2007 520">ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนพฤษภาคมจากค่าปกติ</p>  <p data-bbox="1547 863 2123 1062">ทั่วทุกภาคของประเทศมีฝนเท่ากับค่าเฉลี่ยปกติ เว้นแต่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างมีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ยปกติเล็กน้อย ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC โดยเฉพาะภาคใต้ที่มีค่าพยากรณ์ของฝนต่างกันมาก</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 5 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 15 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 40 มม.
		กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ได้	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 210 มม.	ได้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 165 มม.

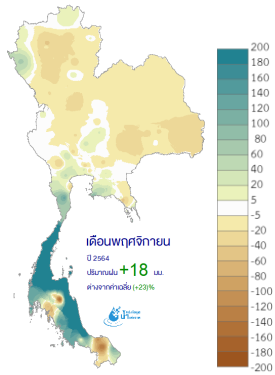
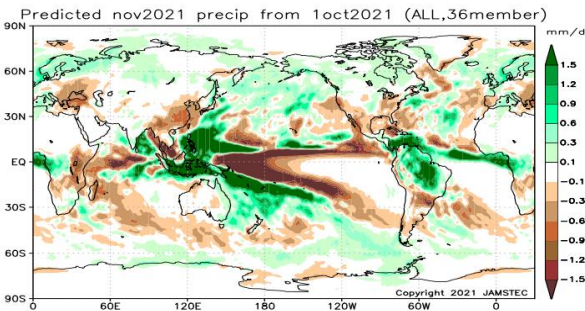
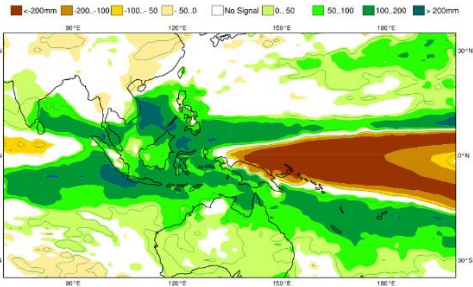
Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
<p>ธันวาคม 2564</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนธันวาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p>ภาคเหนือมีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 10 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีปริมาณฝนใกล้เคียงปกติ และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าปกติ ประมาณ 90 มม.</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนธันวาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p>ภาคใต้มีฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติมาก 0.9-1.2 mm/day ส่วนภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีค่าฝนเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ปกติ</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนธันวาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p>ทั่วทั้งประเทศมีค่าฝนเฉลี่ยเท่ากับค่าปกติ ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC ซึ่งพยากรณ์ฝนในภาคใต้ต่ำกว่าค่าปกติมาก</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 5 มม.	เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 5 มม.
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ใต้	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 60 มม.	ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ)	มากกว่าประมาณ 90 มม.

						ตรวจวัด-ต่ำกว่า ปกติ)	
--	--	--	--	--	--	--------------------------	--

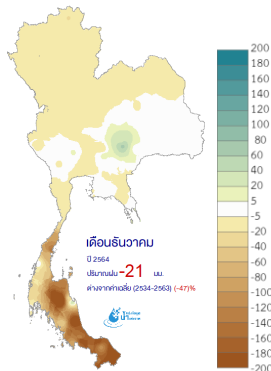
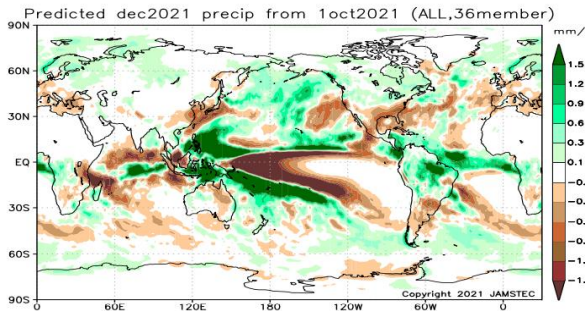
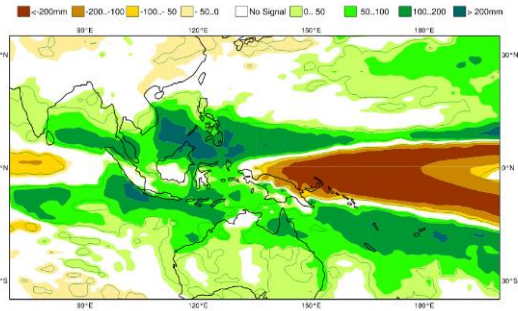
ตารางที่ ค.3 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ ECMWF และ JAMSTEC ณ เดือนตุลาคม 2564 กับค่าตรวจวัดจริง ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2564-มกราคม 2565

Initial Month: ตุลาคม 2564

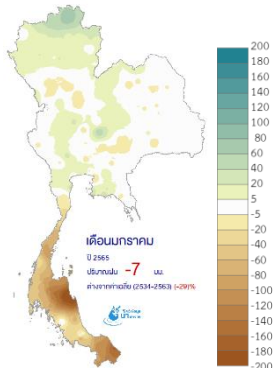
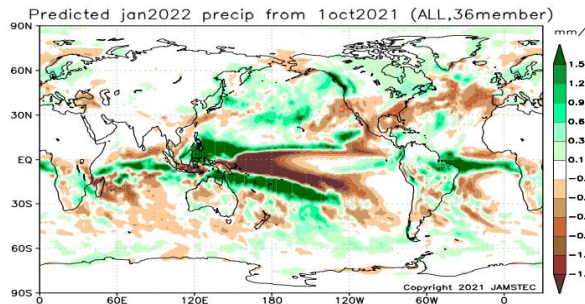
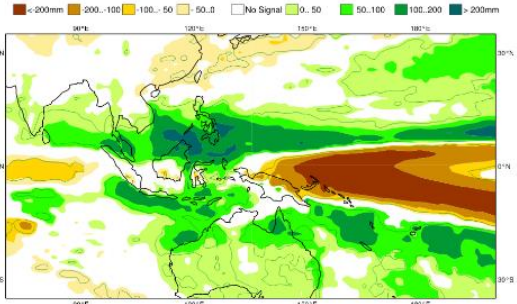
Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
พฤศจิกายน 2564	<p>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด เดือนพฤศจิกายนจากค่าปกติ</p> 	<p>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนพฤศจิกายนจากค่าปกติ</p> <p>Predicted nov2021 precip from 1oct2021 (ALL,36member)</p>  <p>ด้านตะวันตกของประเทศไทยบริเวณตะวันตกของภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้มีฝน</p>	<p>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนพฤศจิกายนจากค่าปกติ</p>  <p>ประเทศไทยตอนบน (ภาคเหนือ ตะวันออก-เฉียงเหนือ กลาง และตะวันออก) มีฝนเท่ากับค่าเฉลี่ยปกติ เว้นแต่ในภาคใต้ตอนล่างมีค่าเฉลี่ยของ</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก มีฝนใกล้เคียงปกติ ภาคตะวันออก-เฉียงเหนือมีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 15 มม. และภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 165 มม.	ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติมาก 1.2 – 1.5 mm/day) ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติ			ฝนมากกว่าค่าปกติ ประมาณ 100-200 mm ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC ซึ่งพยากรณ์ฝนในภาคใต้ต่ำกว่าค่าปกติมาก		
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ต่ำกว่าปกติ-ใกล้เคียงปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติ)	มากกว่าประมาณ 15 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ)	มากกว่าประมาณ 15 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
			ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)			ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	
		กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.	กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ต่ำกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 200 มม.	ใต้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 15 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC		ECMWF		
		ตรวจวัด-มากกว่า	ปกติ)			
ธันวาคม 2564	<p data-bbox="524 544 860 632"><u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด เดือนธันวาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p data-bbox="465 1034 913 1182">ภาคเหนือมีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 10 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีปริมาณฝนใกล้เคียง</p>	<p data-bbox="1055 544 1408 632"><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนธันวาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p data-bbox="936 970 1525 1123">เกือบทั่วทุกภาคของประเทศมีฝนอยู่ในเกณฑ์ปกติ เว้นแต่ในภาคใต้มีฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติเล็กน้อย 0.1-0.3 mm/day</p>		<p data-bbox="1653 544 2007 632"><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนธันวาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p data-bbox="1541 970 2123 1230">เกือบทั่วทุกภาคของประเทศมีฝนเท่ากับค่าเฉลี่ยปกติ เว้นแต่ในภาคใต้มีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ยปกติ 50-100 mm ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC ซึ่งพยากรณ์ฝนในภาคใต้ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย ซึ่งมีค่าของฝนต่างกันมาก</p>		

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ปกติ และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าปกติ ประมาณ 90 มม.						
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 10 มม.	เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 10 มม.
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน

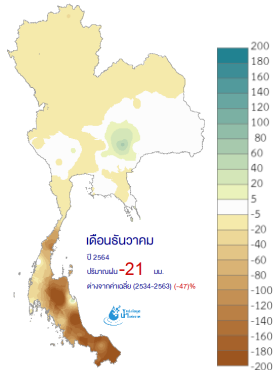
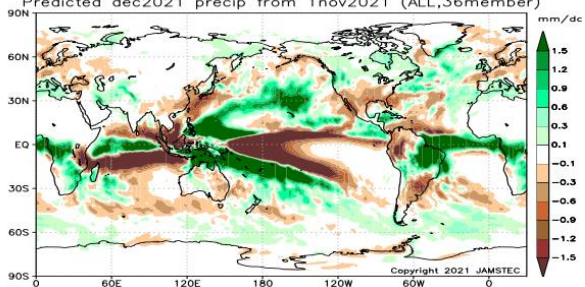
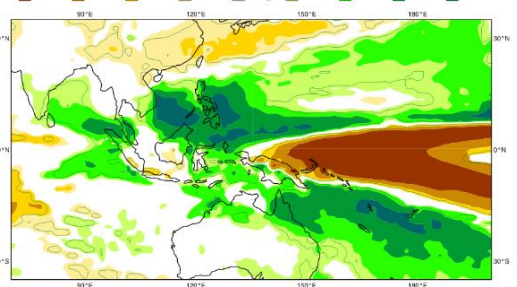
Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ใต้	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 85 มม.	ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF- มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่า ปกติ)	มากกว่าประมาณ 175 มม.
มกราคม 2565	<u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนมกราคมจากค่าปกติ</u> 	<u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนมกราคมจากค่าปกติ</u>  <p>เกือบทั่วทุกภาคของประเทศมีฝนอยู่ในเกณฑ์ปกติ เว้นแต่ในภาคใต้มีฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติเล็กน้อย 0.1-0.3 mm/day</p>			<u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนมกราคมจากค่าปกติ</u>  <p>ด้านตะวันตกของภาคเหนือและภาคกลางมีฝน มากกว่าค่าเฉลี่ยปกติ 0-50 mm และภาคใต้มีฝน มากกว่าค่าเฉลี่ยปกติ 50-100 mm ไม่สอดคล้องกับ</p>		

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 10 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีปริมาณฝนใกล้เคียงปกติ และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 65 มม.				JAMSTEC ซึ่งพยากรณ์ฝนในภาคใต้ต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย ซึ่งมีค่าของฝนต่างกันปานกลาง		
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 15 มม.
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน

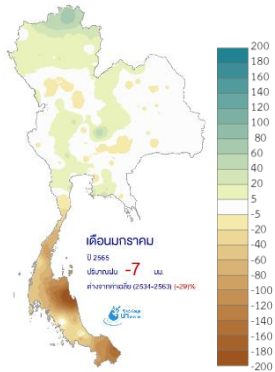
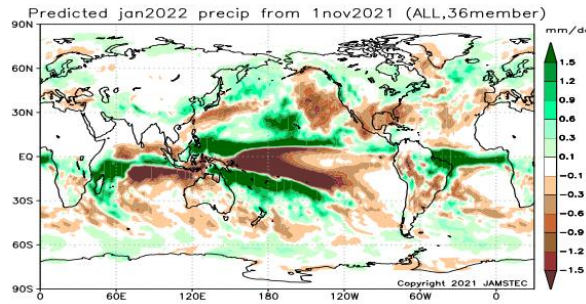
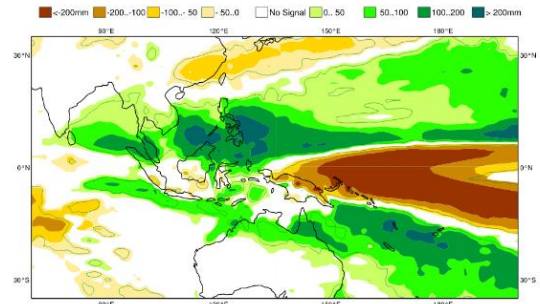
Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ใกล้เคียง ปกติ)	มากกว่าประมาณ 25 มม.
		ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ใต้	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 60 มม.	ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่า ปกติ)	มากกว่าประมาณ 140 มม.

ตารางที่ ค.4 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ ECMWF และ JAMSTEC ณ เดือนพฤศจิกายน 2564 กับค่าตรวจวัดจริง ช่วงเดือนธันวาคม 2564–กุมภาพันธ์ 2565

Initial Month: พฤศจิกายน 2564

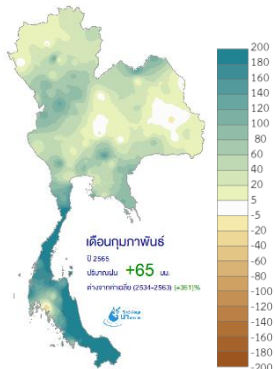
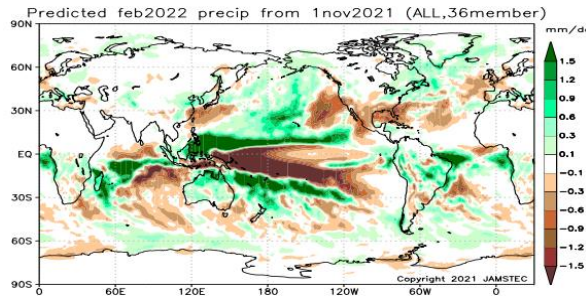
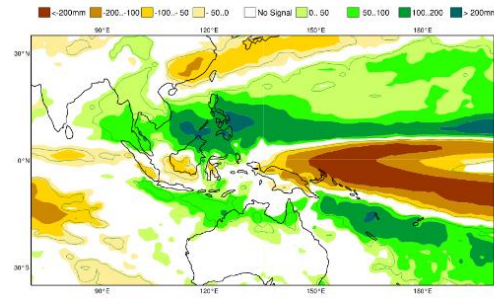
Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
ธันวาคม 2564	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนธันวาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p>ภาคเหนือมีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 10 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีปริมาณฝนใกล้เคียง</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนธันวาคมจากค่าปกติ</u></p> <p>Predicted dec2021 precip from 1nov2021 (ALL,36member)</p>  <p>ภาคใต้ของประเทศไทยมีฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติมาก 0.9 - 1.2 mm/day ส่วนภาคอื่นๆ มีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติ</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนธันวาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p>ภาคใต้ตอนล่างมีฝนสูงกว่าค่าเฉลี่ยปกติมาก 0 - 50 mm ส่วนภาคอื่นๆ มีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติ ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC ซึ่งพยากรณ์ฝนตรงกันข้ามกับ ECMWF</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ปกติ และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าปกติ ประมาณ 90 มม.						
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 10 มม.	เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 10 มม.
		ตะวันออก เฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออก เฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ใต้	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 60 มม.	ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF- มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่า ปกติ)	มากกว่าประมาณ 190 มม.
มกราคม 2565	<u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนมกราคมจากค่าปกติ</u> 	<u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนมกราคมจากค่าปกติ</u>  <p>ภาคใต้มีฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติเล็กน้อย 0.1 - 0.3 mm/day ส่วนภาคอื่นๆ มีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติ</p>			<u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนมกราคมจากค่าปกติ</u>  <p>ภาคเหนือ กลาง ตะวันออก และใต้ตอนบนของ ประเทศมีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ยปกติ 0-50 mm ส่วน ภาคใต้ตอนล่างมีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ยปกติ 50-100</p>		

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 10 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีปริมาณฝนใกล้เคียงปกติ และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 65 มม.				mm ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC ซึ่งพยากรณ์ฝนตรงกันข้ามกับ ECMWF		
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 15 มม.
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-มากกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 25 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
						ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)	
		กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)	มากกว่าประมาณ 25 มม.
		ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)	มากกว่าประมาณ 25 มม.
		ใต้	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 60 มม.	ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-มากกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 140 มม.

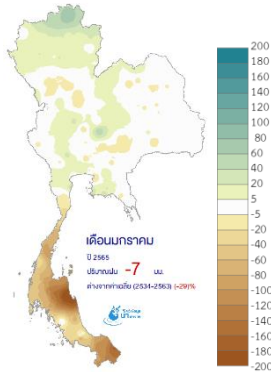
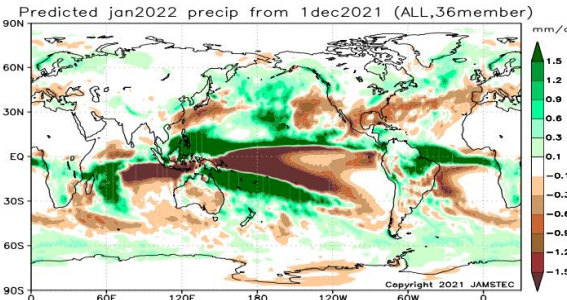
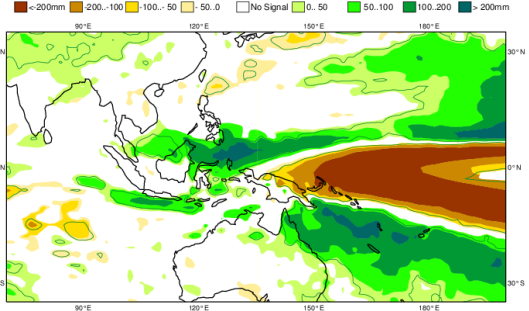
Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
			ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)
กุมภาพันธ์ 2565	<p>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด เดือนกุมภาพันธ์จากค่าปกติ</p>  <p>ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 45 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 30 มม. ภาคกลางมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 45 มม.</p>	<p>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนกุมภาพันธ์จากค่าปกติ</p> <p>Predicted feb2022 precip from 1nov2021 (ALL,36member)</p>  <p>ทั่วประเทศมีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติ</p>	<p>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนกุมภาพันธ์จากค่าปกติ</p>  <p>ภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ กลาง และ ตะวันออกของประเทศมีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ยปกติ 0-50 mm ส่วนภาคใต้มีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ยปกติ 50-100 mm ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC ซึ่งพยากรณ์ฝนตรงกันข้ามกับ ECMWF</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติ ประมาณ 70 มม. และภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 170 มม.						
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 45 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 30 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน

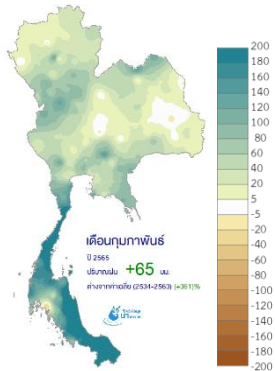
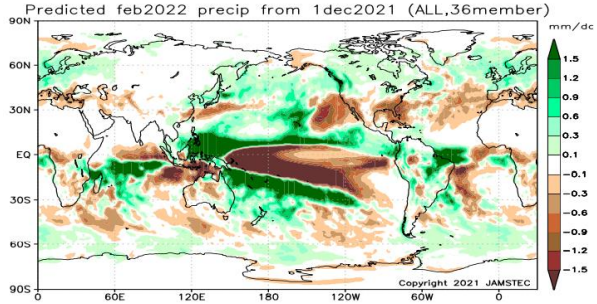
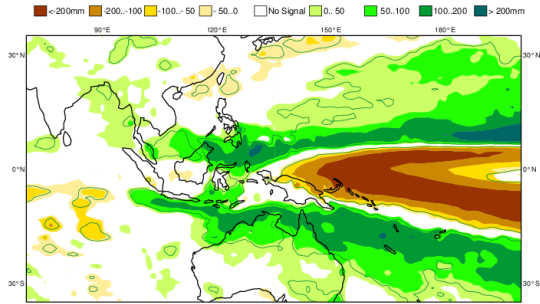
Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 45 มม.	กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 70 มม.	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 40 มม.
		ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 170 มม.	ใต้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 100 มม.

ตารางที่ ค.5 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ ECMWF และ JAMSTEC ณ เดือนธันวาคม 2564 กับค่าตรวจวัดจริง ช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม 2565

Initial Month: ธันวาคม 2564

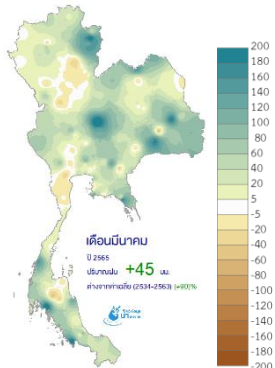
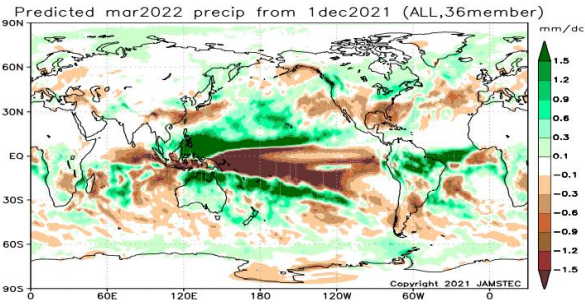
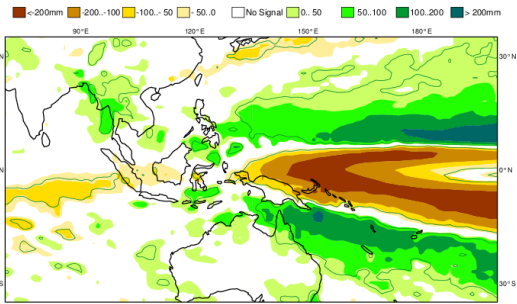
Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
มกราคม 2565	<p data-bbox="521 544 860 632"><u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนมกราคมจากค่าปกติ</u></p>  <p data-bbox="465 1034 916 1182">ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 10 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีปริมาณฝน</p>	<p data-bbox="1055 544 1393 632"><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนมกราคมจากค่าปกติ</u></p>  <p data-bbox="943 970 1435 1010">ทั่วทั้งประเทศไทยมีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติ</p>	<p data-bbox="1653 544 1991 632"><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนมกราคมจากค่าปกติ</u></p>  <p data-bbox="1547 970 2123 1177">เกือบทั่วทั้งประเทศไทยมีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติ เว้นแต่ในบางพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนต่ำกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติเล็กน้อย สอดคล้องกับ JAMSTEC</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ใกล้เคียงปกติ และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 65 มม.						
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.	เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ได้	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่า ปกติ)	มากกว่าประมาณ 65 มม.	ได้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่า ปกติ)	มากกว่าประมาณ 65 มม.
กุมภาพันธ์ 2565	ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด เดือนกุมภาพันธ์จากค่าปกติ 	ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนกุมภาพันธ์จากค่าปกติ  ทั่วทั้งประเทศไทยมีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติ			ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนกุมภาพันธ์จากค่าปกติ  เกือบทั่วทั้งประเทศไทยมีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติ เว้นแต่ในบางพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ		

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 45 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 30 มม. ภาคกลางมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 45 มม. ภาคตะวันออกมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 70 มม. และภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 170 มม.				และภาคใต้ตอนบนมีฝนมากกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติเล็กน้อย สอดคล้องกับ JAMSTEC		
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 45 มม.	เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 45 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		Days	Amount	Remarks	Days	Amount	Remarks
		ตะวันออก เฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 30 มม.	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 30 มม.
		กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 45 มม.	กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 45 มม.
		ตะวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 70 มม.	ตะวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 70 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ได้	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 170 มม.	ได้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 170 มม.
มีนาคม 2565	ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด เดือนมีนาคมจากค่าปกติ 	ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนมีนาคมจากค่าปกติ 			ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนมีนาคมจากค่าปกติ 		
		เกือบทั่วทั้งประเทศไทยมีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติ เว้นแต่ในบางพื้นที่ของภาคใต้ตอนล่างมีฝนมากกว่า เกณฑ์เฉลี่ยปกติเล็กน้อย			ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และ ตะวันออกของประเทศมีฝนมากกว่าค่าเฉลี่ย เล็กน้อย ส่วนภาคใต้มีฝนอยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ยปกติ		

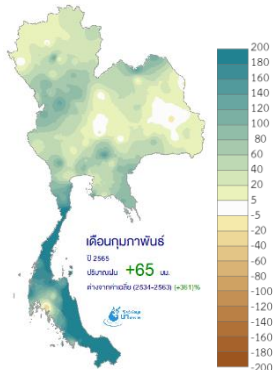
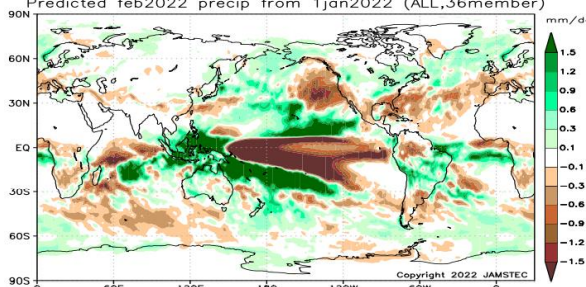
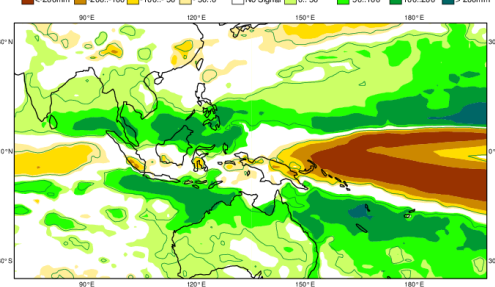
Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 35 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 60 มม. ภาคกลางมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 40 มม. ภาคตะวันออกมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 50 มม. และภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 55 มม.				ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC ซึ่งพยากรณ์ฝนตรงกันเล็กน้อย		
มีนาคม 2565		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 35 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		Days	Condition	Amount	Days	Condition	Amount
		หน้าฝน	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 60 มม.	หน้าฝน	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 40 มม.	กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		หน้าฝน	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 50 มม.	หน้าฝน	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ใต้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 25 มม.	ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 55 มม.

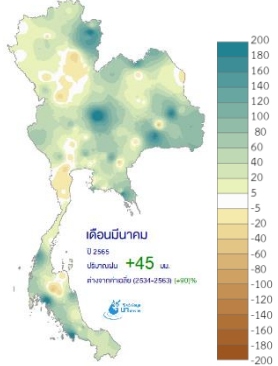
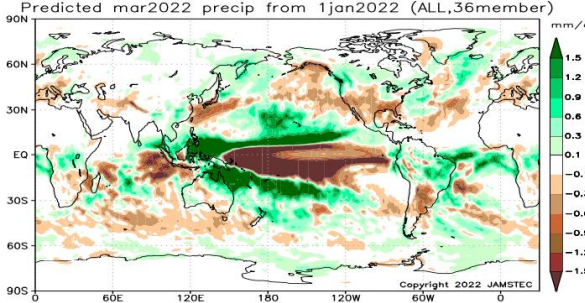
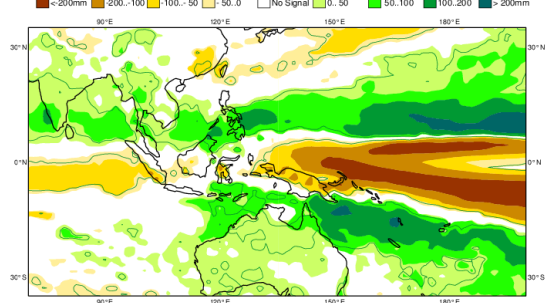
ตารางที่ ค.6 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ ECMWF และ JAMSTEC ณ เดือนมกราคม 2565 กับค่าตรวจวัดจริง ช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน 2565

Initial Month: มกราคม 2565

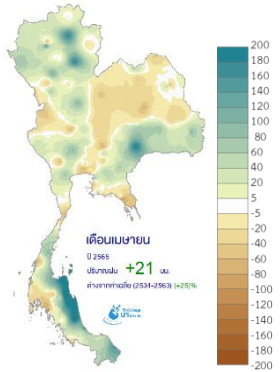
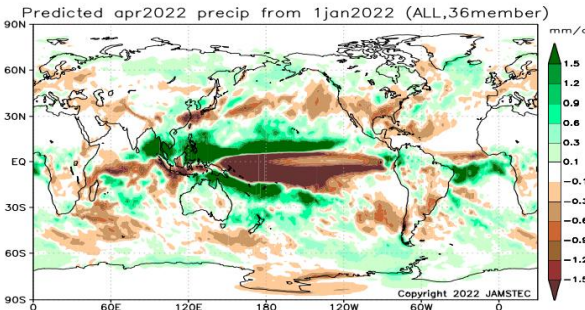
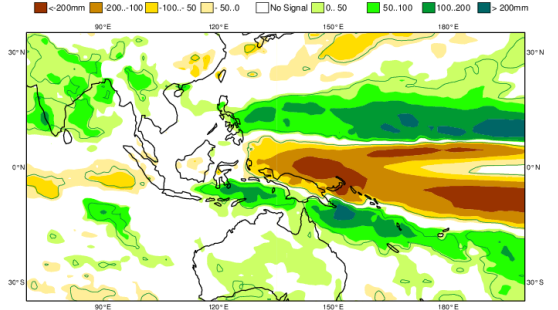
Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
กุมภาพันธ์ 2565	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนกุมภาพันธ์จากค่าปกติ</u></p>  <p>ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 45 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 30 มม. ภาคกลางมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 45 มม.</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนกุมภาพันธ์จากค่าปกติ</u></p> <p>Predicted feb2022 precip from 1jan2022 (ALL,36member)</p>  <p>เกือบทั่วทั้งประเทศไทยมีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติ เว้นแต่ภาคใต้ตอนล่างมีฝนมากกว่าปกติเล็กน้อย</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนกุมภาพันธ์จากค่าปกติ</u></p>  <p>ทั่วทั้งประเทศไทยมีฝนอยู่ในเกณฑ์มากกว่าปกติ ประเทศไทยตอนบนมีฝนมากกว่าค่าปกติเล็กน้อย ส่วนภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติปานกลางถึงมาก โดย ECMWF พยากรณ์ฝนตกมากกว่า JAMSTEC มาก</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 70 มม. และภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 170 มม.						
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 45 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 30 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 45 มม.	กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		กลางวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 70 มม.	กลางวันออก	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 40 มม.
		ใต้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 140 มม.	ใต้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 60 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
<p>มีนาคม 2565</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนมีนาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p>ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 35 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 60 มม. ภาคกลางมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 40 มม. ภาคตะวันออกมีฝนมากกว่าปกติ</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนมีนาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p>เกือบทั่วทั้งประเทศไทยมีฝนมากกว่าค่าปกติเล็กน้อยถึงปานกลางในภาคใต้ ส่วนบริเวณประเทศไทยตอนบนมีฝนมากกว่าค่าปกติเล็กน้อย</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนมีนาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p>เกือบทั่วทั้งประเทศไทยมีฝนมากกว่าค่าปกติเล็กน้อยถึงปานกลางในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออกมีฝนมากกว่าค่าปกติเล็กน้อย สอดคล้องกับ JAMSTEC</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ประมาณ 50 มม. และภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 55 มม.						
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 20 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออก เฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 45 มม.	ตะวันออก เฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 35 มม.
		กลาง	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 25 มม.	กลาง	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 15 มม.
		ตะวันออก	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 35 มม.	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 25 มม.
		ใต้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 25 มม.	ใต้	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 20 มม.

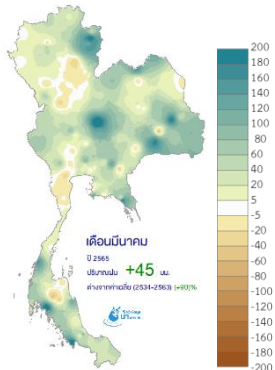
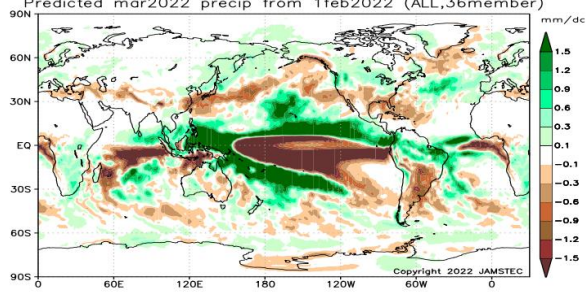
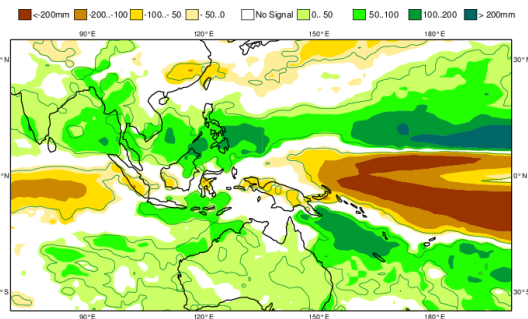
Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
<p>เมษายน 2565</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนเมษายนจากค่าปกติ</u></p>  <p>ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 25 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 10 มม. และภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 35 มม.</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนเมษายนจากค่าปกติ</u></p>  <p>ทั่วทั้งประเทศไทยมีฝนมากกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติ โดยเฉพาะในภาคใต้มีฝนมากกว่าค่าปกติมาก ส่วนภาคอื่นๆ มีฝนมากกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติเล็กน้อย</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนเมษายนจากค่าปกติ</u></p>  <p>ภาคเหนือ และภาคกลางมีฝนมากกว่าค่าปกติเล็กน้อย ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้มีฝนอยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ยปกติ ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC พยากรณ์ฝนมากกว่า ECMWF มาก</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ภาคเหนือ	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาคเหนือ	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 15 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.
		กลาง	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 15 มม.	กลาง	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 15 มม.
		ตะวันออก	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 30 มม.	ตะวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
						ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	
		ได้	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 10 มม.	ได้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 35 มม.

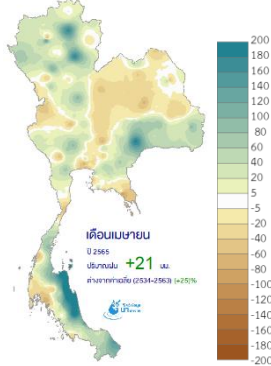
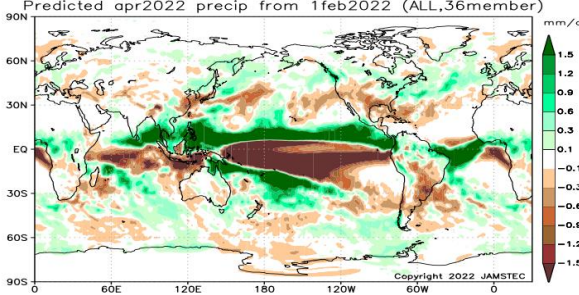
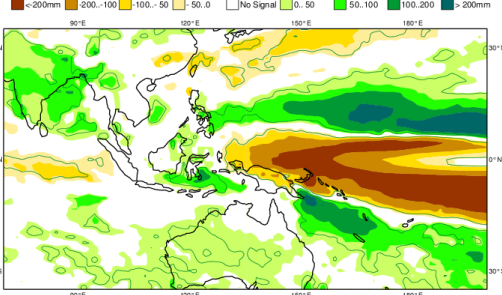
ตารางที่ ค.7 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ ECMWF และ JAMSTEC ณ เดือนกุมภาพันธ์ 2565 กับค่าตรวจวัดจริง ช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน 2565

Initial Month: กุมภาพันธ์ 2565

Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
มีนาคม 2565	<p>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด เดือนมีนาคมจากค่าปกติ</p>  <p>ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 35 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 60 มม. ภาคกลางมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 40 มม.</p>	<p>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนมีนาคมจากค่าปกติ</p> <p>Predicted mar2022 precip from 1feb2022 (ALL,36member)</p>  <p>ภาคใต้ตอนล่างมีฝนมากกว่าปกติปานกลาง ส่วนภาคอื่นๆ มีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยปกติถึงมากกว่าเกณฑ์เฉลี่ยเล็กน้อย</p>	<p>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนมีนาคมจากค่าปกติ</p>  <p>ภาคใต้และทางด้านตะวันตกของประเทศมีฝนมากกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติปานกลาง ส่วนภาคอื่นๆมีฝนอยู่ในเกณฑ์มากกว่าปกติเล็กน้อย ECMWF พยากรณ์ฝนมากกว่า JAMSTEC เล็กน้อย</p>

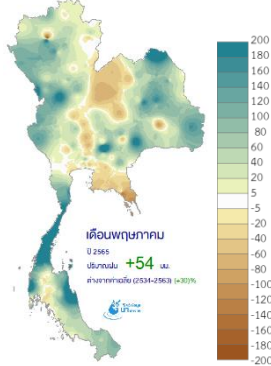
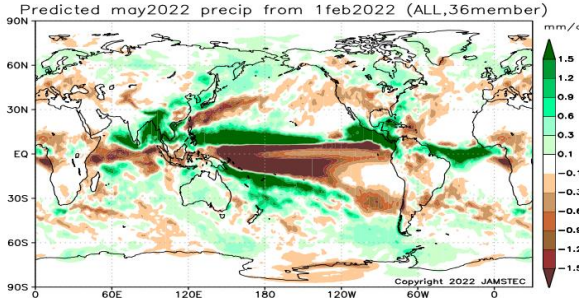
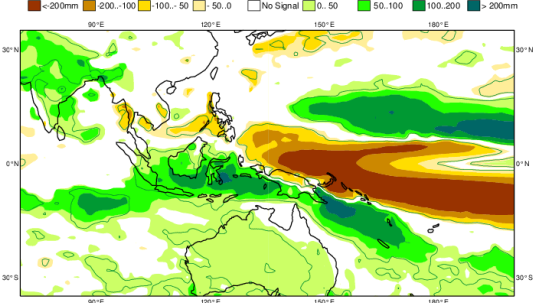
Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 50 มม. และภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 55 มม.						
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 35 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 60 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 35 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 40 มม.	กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC- ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่า ปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 50 มม.	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ใต้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 20 มม.	ใต้	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 20 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
<p>เมษายน 2565</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนเมษายนจากค่าปกติ</u></p>  <p>ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 25 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 10 มม. และภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 35 มม.</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนเมษายนจากค่าปกติ</u></p>  <p>ภาคใต้มีฝนมากกว่าค่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติมาก ส่วนบริเวณประเทศไทยตอนบนมีฝนมากกว่าค่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติปานกลาง</p>	<p><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนเมษายนจากค่าปกติ</u></p>  <p>เกือบทั่วทั้งประเทศไทยมีฝนเท่ากับค่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติ เว้นในภาคใต้และทางตะวันตกของประเทศมีฝนมากกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติเล็กน้อย ECMWF พยากรณ์ฝนน้อยกว่า JAMSTEC มาก</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 25 มม.
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 30 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.
		กลาง	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 30 มม.	กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
						ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	
		ตะวันออก	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 30 มม.	ตะวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 10 มม.
		ใต้	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 10 มม.	ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 35 มม.

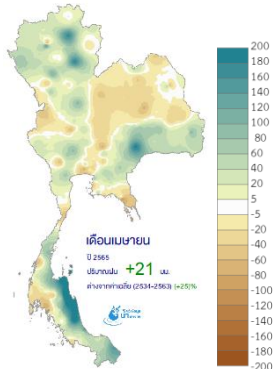
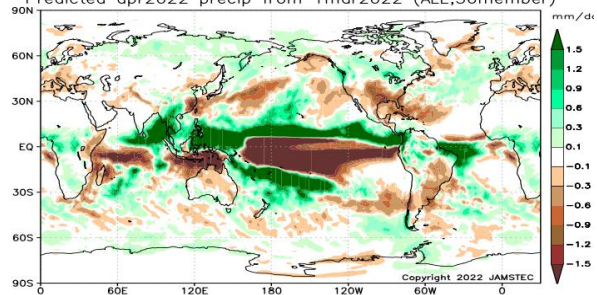
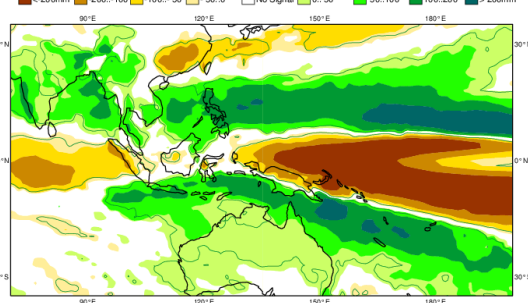
Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
พฤษภาคม 2565	<p data-bbox="524 432 860 523"><u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u> <u>เดือนพฤษภาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p data-bbox="465 922 913 1182">ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 50 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 60 มม. ภาคกลางมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 25 มม. ภาคตะวันออกมีฝนใกล้เคียงปกติ และ</p>	<p data-bbox="1055 432 1408 523"><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนพฤษภาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p data-bbox="936 858 1525 1007">ภาคใต้มีฝนมากกว่าค่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติมาก ส่วนบริเวณประเทศไทยตอนบนมีฝนมากกว่าค่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติปานกลาง</p>	<p data-bbox="1653 432 2007 523"><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u> <u>เดือนพฤษภาคมจากค่าปกติ</u></p>  <p data-bbox="1547 858 2123 1066">เกือบทั่วทั้งประเทศมีฝนในเกณฑ์ปกติ เว้นแต่ภาคใต้ตอนบนมีฝนต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC พยากรณ์ฝนมากกว่า ECMWF มาก</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 95 มม.						
พฤษภาคม 2565		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 20 มม.	เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 50 มม.
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 30 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 60 มม.

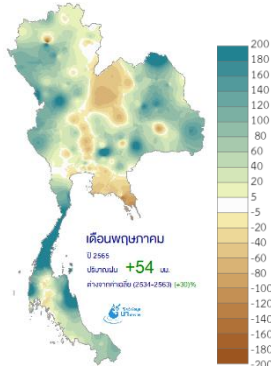
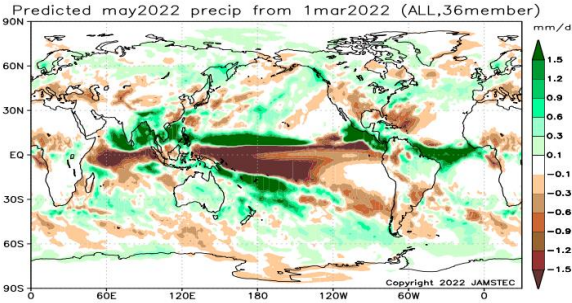
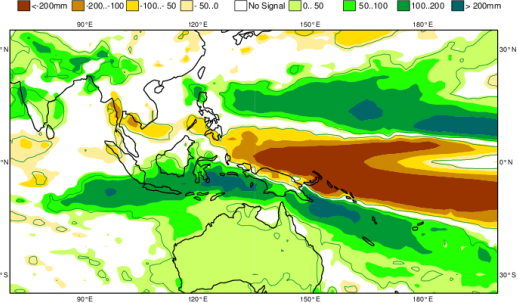
Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 25 มม.
		กลางวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)	มากกว่าประมาณ 45 มม.	กลางวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ใต้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 40 มม.	ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 140 มม.

ตารางที่ ค.8 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ ECMWF และ JAMSTEC ณ เดือนมีนาคม 2565 กับค่าตรวจวัดจริง ช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2565

Initial Month: มีนาคม 2565

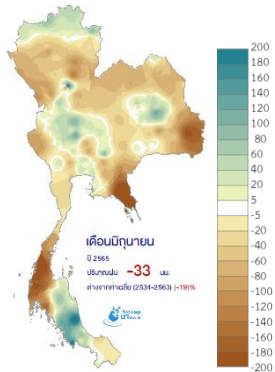
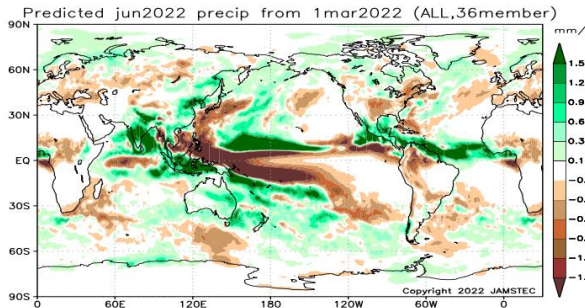
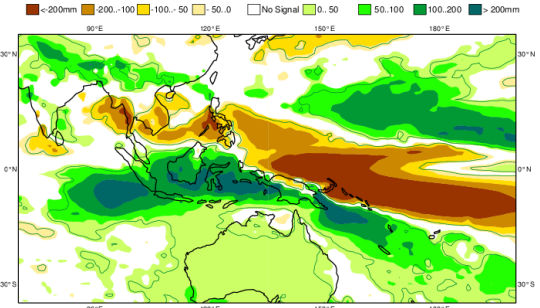
Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
เมษายน 2565	<p>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด เดือนเมษายนจากค่าปกติ</p>  <p>ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 25 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีฝนมากกว่า</p>	<p>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนเมษายนจากค่าปกติ</p> <p>Predicted apr2022 precip from 1mar2022 (ALL,36member)</p>  <p>ภาคใต้มีฝนมากกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติมาก ส่วนภาคอื่นๆ มีฝนมากกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติปานกลาง</p>	<p>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนเมษายนจากค่าปกติ</p>  <p>ภาคใต้และภาคกลางมีฝนมากกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติปานกลาง ส่วนภาคอื่นๆ มีฝนอยู่ในเกณฑ์มากกว่าปกติเล็กน้อย ECMWF พยากรณ์ฝนน้อยกว่า JAMSTEC เล็กน้อย</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ปกติประมาณ 10 มม. และภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 35 มม.						
เมษายน 2565		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 20 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		กลาง	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 20 มม.	กลาง	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 40 มม.
		ตะวันออก	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 20 มม.	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ใต้	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 10 มม.	ใต้	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 20 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
พฤษภาคม 2565	<p data-bbox="524 488 860 576">ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด เดือนพฤษภาคมจากค่าปกติ</p>  <p data-bbox="465 979 913 1235">ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 50 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 60 มม. ภาคกลางมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 25 มม. ภาคตะวันออกมีฝนใกล้เคียงปกติ และ</p>	<p data-bbox="1055 488 1391 576">ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนพฤษภาคมจากค่าปกติ</p>  <p data-bbox="943 916 1518 1059">ภาคใต้และภาคตะวันออกมีฝนมากกว่าค่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติปานกลาง ส่วนภาคอื่นๆ มีฝนมากกว่าค่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติเล็กน้อย</p>	<p data-bbox="1659 488 1995 576">ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนพฤษภาคมจากค่าปกติ</p>  <p data-bbox="1547 916 2123 1107">เกือบทั่วทั้งประเทศไทยมีฝนเท่ากับค่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติ เว้นในภาคใต้และทางตะวันตกของประเทศมีฝนน้อยกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติเล็กน้อย ECMWF พยากรณ์ฝนน้อยกว่า JAMSTEC มาก</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	ภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 95 มม.						
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 20 มม.	เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 50 มม.
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 30 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 60 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		กลาง	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 60 มม.
		กลางวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)	มากกว่าประมาณ 45 มม.	กลางวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ใต้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 40 มม.	ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 140 มม.

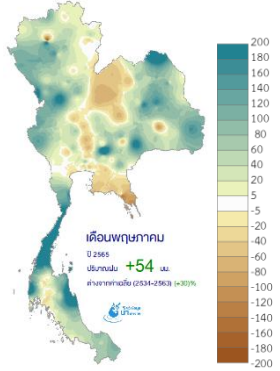
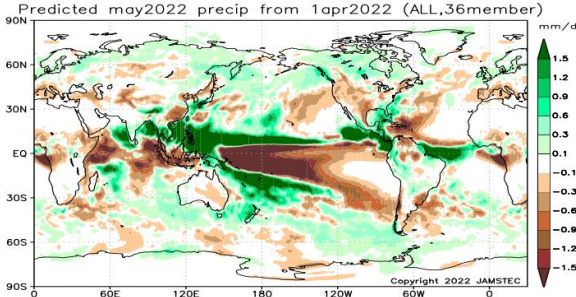
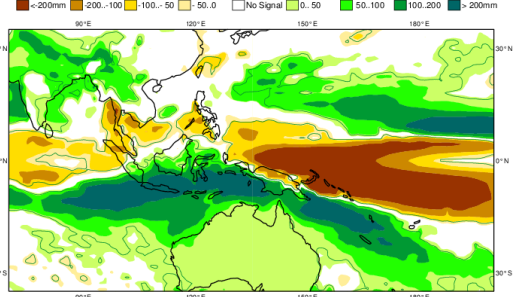
Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
มิถุนายน 2565	<p data-bbox="524 544 860 576"><u>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด</u></p> <p data-bbox="546 596 837 628"><u>เดือนมิถุนายนจากค่าปกติ</u></p>  <p data-bbox="465 1034 913 1235">ภาคเหนือมีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 25 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 45 มม. ภาคกลางมีฝนใกล้เคียงปกติ ภาคตะวันออกมีฝนต่ำ</p>	<p data-bbox="1055 544 1408 576"><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u></p> <p data-bbox="1084 596 1379 628"><u>เดือนมิถุนายนจากค่าปกติ</u></p>  <p data-bbox="943 975 1525 1176">ภาคใต้ ภาคกลาง และภาคตะวันออกมีฝนมากกว่าค่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติปานกลาง ส่วนภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าค่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติเล็กน้อย</p>	<p data-bbox="1653 544 2007 576"><u>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์</u></p> <p data-bbox="1682 596 1977 628"><u>เดือนมิถุนายนจากค่าปกติ</u></p>  <p data-bbox="1547 975 2130 1176">ภาคเหนือ ภาคใต้ตอนบน ด้านตะวันตกของภาคกลาง และภาคตะวันออกมีฝนต่ำกว่าค่าปกติปานกลางถึงมาก ไม่สอดคล้องกับ JAMSTEC พยากรณ์ฝนมากกว่า ECMWF มาก</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	กว่าปกติประมาณ 100 มม.และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 30 มม.						
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-มากกว่าปกติตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 50 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-มากกว่าปกติตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 70 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ใกล้เคียงปกติตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 45 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)	มากกว่าประมาณ 40 มม.	กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 70 มม.
		กลางวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 140 มม.	กลางวันออก	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 70 มม.
		ใต้	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 70 มม.	ใต้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 140 มม.

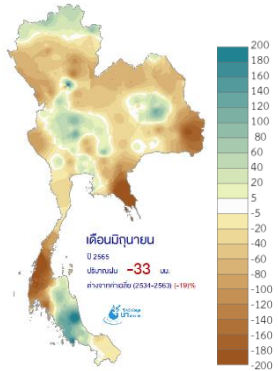
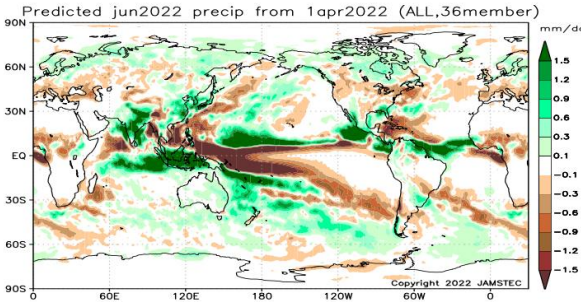
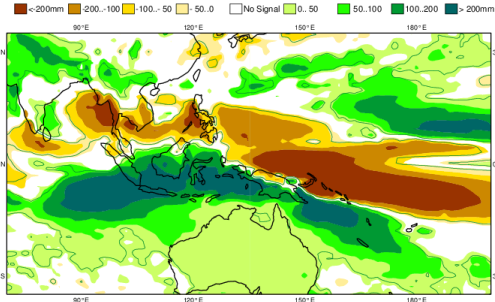
ตารางที่ ค.9 เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ ECMWF และ JAMSTEC ณ เดือนเมษายน 2565 กับค่าตรวจวัดจริง ช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน 2565

Initial Month: เมษายน 2565

Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
พฤษภาคม 2565	<p>ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด เดือนพฤษภาคมจากค่าปกติ</p>  <p>ภาคเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 50 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 60 มม. ภาค</p>	<p>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนพฤษภาคมจากค่าปกติ</p>  <p>ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ตอนบนมีฝนมากกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติปานกลาง ส่วนภาคใต้ตอนล่างมีฝนต่ำกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติปานกลาง</p>	<p>ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนพฤษภาคมจากค่าปกติ</p>  <p>ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนมากกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติปานกลาง ส่วนภาคใต้มีฝนต่ำกว่าเกณฑ์ปกติปานกลาง ECMWF และ JAMSTEC พยากรณ์แนวโน้มไปในทางเดียวกัน</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
	กลางมีฝนมากกว่าปกติประมาณ 25 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนใกล้เคียงปกติ และ ภาคใต้มีฝนมากกว่าปกติประมาณ 95 มม.						
พฤษภาคม 2565		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	เหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		กลาง	สอดคล้องกัน	มากกว่าประมาณ 20 มม.	กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 125 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ตะวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)	มากกว่าประมาณ 45 มม.	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน
		ได้	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 135 มม.	ได้	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ต่ำกว่าปกติ ตรวจวัด-มากกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 200 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC	ECMWF
มิถุนายน 2565	<p data-bbox="524 432 860 520">ผลต่างของปริมาณฝนตรวจวัด เดือนมิถุนายนจากค่าปกติ</p>  <p data-bbox="465 922 913 1238">ภาคเหนือมีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 25 มม. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 45 มม. ภาคกลางมีฝนใกล้เคียงปกติ ภาคตะวันออกมีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 100 มม. และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าปกติประมาณ 30 มม.</p>	<p data-bbox="1055 432 1408 520">ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนมิถุนายนจากค่าปกติ</p>  <p data-bbox="936 852 1525 1002">ด้านตะวันตกของภาคเหนือและภาคกลาง และภาคใต้มีฝนต่ำกว่าค่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติปานกลาง ส่วนภาคเหนือมีฝนมากกว่าค่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติเล็กน้อย</p>	<p data-bbox="1653 432 2007 520">ผลต่างของปริมาณฝนคาดการณ์ เดือนมิถุนายนจากค่าปกติ</p>  <p data-bbox="1547 852 2123 1114">ด้านตะวันตกของภาคเหนือและภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้มีฝนต่ำกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติปานกลาง ส่วนภาคเหนือมีฝนมากกว่าเกณฑ์เฉลี่ยปกติเล็กน้อย ECMWF และ JAMSTEC พยากรณ์แนวโน้มไปในทางเดียวกัน</p>

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
		ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ภาค	แนวโน้มเมื่อเทียบกับตรวจวัด	ปริมาณเมื่อเทียบกับตรวจวัด
		เหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 40 มม.	เหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 125 มม.
		ตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-มากกว่าปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 60 มม.	ตะวันออกเฉียงเหนือ	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 55 มม.
		กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-มากกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 30 มม.	กลาง	ไม่สอดคล้องกัน (ECMWF-ต่ำกว่าปกติ)	น้อยกว่าประมาณ 100 มม.

Predicted Month	Observation	JAMSTEC			ECMWF		
			ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)			ตรวจวัด-ใกล้เคียงปกติ)	
		ตะวันออก	ไม่สอดคล้องกัน (JAMSTEC-ใกล้เคียงปกติ ตรวจวัด-ต่ำกว่าปกติ)	มากกว่าประมาณ 100 มม.	ตะวันออก	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 50 มม.
		ใต้	สอดคล้องกัน	ใกล้เคียงกัน	ใต้	สอดคล้องกัน	น้อยกว่าประมาณ 170 มม.

ตารางที่ ค.10 สรุปเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ ECMWF และ JAMSTEC กับค่าตรวจวัดจริง ช่วงเดือนกันยายน 2564–มิถุนายน 2565

Initial Month	Predicted Month	ผลการเปรียบเทียบ
สิงหาคม 2564	กันยายน 2564	-JAMSTEC สามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องในทุกภาค ในขณะที่ ECMWF สามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องเกือบทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ -ECMWF ให้ปริมาณฝนคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับตรวจวัดมากกว่าในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
	ตุลาคม 2564	ECMWF สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้ JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
	พฤศจิกายน 2564	-สำหรับภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งสองแบบจำลองสามารถทำนายได้ถูกต้องทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ -ECMWF สามารถทำนายได้ดีกว่าในภาคใต้ ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
กันยายน 2564	ตุลาคม 2564	ECMWF สามารถทำนายได้ดีกว่าในทุกภาค ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ ยกเว้นภาคใต้ JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
	พฤศจิกายน 2564	-สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งสองแบบจำลองสามารถทำนายได้ถูกต้องทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ -ECMWF สามารถทำนายได้ดีกว่าในภาคเหนือ ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ -JAMSTEC ให้ปริมาณฝนคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับตรวจวัดมากกว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ -ECMWF ให้ปริมาณฝนคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับตรวจวัดมากกว่าในภาคใต้

Initial Month	Predicted Month	ผลการเปรียบเทียบ
	ธันวาคม 2564	JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าในภาคใต้ ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
ตุลาคม 2564	พฤศจิกายน 2564	ECMWF สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณในทุกภาค ยกเว้นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
	ธันวาคม 2564	-สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก ทั้งสองแบบจำลองสามารถทำนายได้ถูกต้องทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ -JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าในภาคใต้ ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
	มกราคม 2565	-สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออก ทั้งสองแบบจำลองสามารถทำนายได้ถูกต้องทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ -JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าในภาคกลางและใต้ ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
พฤศจิกายน 2564	ธันวาคม 2564	-สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก ทั้งสองแบบจำลองสามารถทำนายได้ถูกต้องทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ -JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าในภาคใต้ ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
	มกราคม 2565	JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณในทุกภาค ยกเว้นภาคเหนือ

Initial Month	Predicted Month	ผลการเปรียบเทียบ
	กุมภาพันธ์ 2565	-ECMWF สามารถทำนายได้ดีกว่าในทุกภาค ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ -ECMWF สามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องในทุกภาค ในขณะที่ JAMSTEC ไม่สามารถคาดการณ์แนวโน้มได้ถูกต้องเลย
ธันวาคม 2564	มกราคม 2565	ทั้ง JAMSTEC และ ECMWF ให้ผลการคาดการณ์ที่ตรงกันในทุกภาค โดยสามารถทำนายได้ดีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
	กุมภาพันธ์ 2565	ทั้ง JAMSTEC และ ECMWF ให้ผลการคาดการณ์ที่ตรงกันในทุกภาค โดยในเดือนนี้ทั้งสองแบบจำลองไม่สามารถคาดการณ์แนวโน้มและปริมาณได้ถูกต้องในทุกภาค
	มีนาคม 2565	ECMWF สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณในทุกภาค ยกเว้นในภาคใต้ JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
มกราคม 2565	กุมภาพันธ์ 2565	ECMWF สามารถทำนายได้ดีกว่าในทุกภาค ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
	มีนาคม 2565	ทั้งสองแบบจำลองสามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องในทุกภาค โดย ECMWF ให้ปริมาณฝนคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับตรวจวัดมากกว่า
	เมษายน 2565	JAMSTEC สามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องในทุกภาค ในขณะที่ ECMWF สามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องเพียงภาคเหนือและภาคกลางเท่านั้น สำหรับภาคใต้ JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ

Initial Month	Predicted Month	ผลการเปรียบเทียบ
กุมภาพันธ์ 2565	มีนาคม 2565	-ECMWF สามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องในทุกภาค ในขณะที่ JAMSTEC สามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องเพียงภาคใต้เท่านั้น -ECMWF สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณในทุกภาค ยกเว้นภาคใต้
	เมษายน 2565	-JAMSTEC สามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องในทุกภาค ในขณะที่ ECMWF ไม่สามารถคาดการณ์แนวโน้มได้ถูกต้องเลย -ECMWF ให้ปริมาณฝนคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับตรวจวัดมากกว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก -JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าในภาคใต้ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
	พฤษภาคม 2565	JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณในทุกภาค ยกเว้นภาคตะวันออก ECMWF สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
มีนาคม 2565	เมษายน 2565	ทั้งสองแบบจำลองสามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องในทุกภาค โดย ECMWF ให้ปริมาณฝนคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับตรวจวัดมากกว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออก ส่วน JAMSTEC ให้ปริมาณฝนคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับตรวจวัดมากกว่าในภาคกลางและภาคใต้
	พฤษภาคม 2565	JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณในทุกภาค ยกเว้นภาคตะวันออก ECMWF สามารถทำนายได้ดีกว่าทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ
	มิถุนายน 2565	-ECMWF สามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องในภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ ในขณะที่ JAMSTEC ไม่สามารถคาดการณ์แนวโน้มได้ถูกต้องเลย

Initial Month	Predicted Month	ผลการเปรียบเทียบ
		-ECMWF ให้ปริมาณฝนคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับตรวจวัดมากกว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออก -JAMSTEC ให้ปริมาณฝนคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับตรวจวัดมากกว่าในภาคกลางและภาคใต้
เมษายน 2565	พฤษภาคม 2565	-สำหรับภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งสองแบบจำลองสามารถทำนายได้ถูกต้องทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ - JAMSTEC สามารถทำนายได้ดีกว่าในภาคกลาง ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ - ECMWF สามารถทำนายได้ดีกว่าในภาคตะวันออก ทั้งในเชิงแนวโน้มและปริมาณ - JAMSTEC ให้ปริมาณฝนคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับตรวจวัดมากกว่าในภาคใต้
	มิถุนายน 2565	-ECMWF สามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องในทุกภาค ยกเว้นในภาคกลาง ในขณะที่ JAMSTEC สามารถคาดการณ์แนวโน้มถูกต้องเพียงภาคใต้เท่านั้น -JAMSTEC ให้ปริมาณฝนคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับตรวจวัดมากกว่าในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ -ECMWF ให้ปริมาณฝนคาดการณ์ที่ใกล้เคียงกับตรวจวัดมากกว่าในภาคตะวันออก

ภาคผนวก ง ผลงานวิจัยที่เผยแพร่

ทางคณะวิจัย นำเสนอผลงาน เรื่อง AN EXTENDED-RANGE WEATHER FORECAST OVER TWO WEEKS USING A COUPLED WRF-ROMS MODEL: A CASE STUDY OF CHAO PHRAYA (CPY) RIVER BASIN ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ THA 2022 International Conference on Moving Towards Sustainable Water and Climate Management After COVID-19 ที่จัดขึ้นระหว่างวันที่ 26-28 มกราคม 2565

AN EXTENDED-RANGE WEATHER FORECAST OVER TWO WEEKS USING A COUPLED WRF-ROMS MODEL: A CASE STUDY OF CHAO PHRAYA (CPY) RIVER BASIN

Kritanai Torsri*, Rati Sawangwattanaphaibun, Kanoksri Sarinnapakorn, Surajate Boonya-aroonnet

Hydro-Informatics Innovation Division, Hydro-Informatics Institute (HII),
Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation (MHESI), Bangkok, Thailand

Corresponding E-mail: kritanai@hii.or.th

Abstract- This study is focusing on validating 2-week heavy rainfall events in 2011 to see how well the model can estimate rainfall in the next two weeks over the CPY river basin.

Keywords: 2-week rainfall forecast, Coupled WRF-ROMS, Rainfall prediction, Thailand

1. Introduction

It is acknowledged that, nowadays, short-term weather forecasts (3-7 days in advance) are becoming even more accurate and showing significant skill, but not too perfect. However, looking beyond the first seven days of model prediction, speaking of 14 days or 2 weeks is far more challenging and would yield better benefits for weather forecast and water resources management in Thailand.

2. Methodology

This study is focusing on validating how well a dynamical modeling system can reproduce extreme rainfall over two weeks. In this case, a modeling system called Coupled-Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport (COAWST) that was originally developed by the U.S. Geological Survey (USGS) was used [1]. It represents a complex interaction between several components of the Earth System (e.g., atmosphere, ocean, wave, sediment transport, and sea-ice). The prediction skill of the couple modeling system was showed to be reliable over Thailand and, then has been officially operating for 3-7-days weather forecasting at the HII since 2016 [2]. Here, we focus on synoptic to meso-scale weather phenomena, specifically heavy rainfall events with extending period for a 2-week prediction. An atmospheric model (WRF) and a regional oceanic model (ROMS) embedded in the COAWST system were activated for this study by which the models were concurrently coupled for exchanging momentum and heat fluxes.

In 2011, Thailand suffered from severe flooding, mainly due to moisture surplus transported from the Indian Ocean into the region by the southwest monsoon causing above-average rainfall in March and April. Heavy rains continued throughout the summer together with overland flow crossing over the north of the Chao Phraya River basin (CPY) during the rainy season (July to September) due to several tropical storms. The study, therefore, selected two heavy rainfall events that occurred over the CPY during 20-30 June 2011 (EXP-01) and 28 July to 4 Aug 2011 (EXP-02) which were associated with the tropical storms Haima and Nockten, respectively.

For model configurations, two experiments were designed by following the selected heavy rainfall events. Each experiment was setup for a 15-day simulation (one day for model spin-up) with two different lead times (i.e., initialized at 1-week and 2-week before an event occurred) to investigate whether the model can see the upcoming heavy rainfall events in the first and second weeks. To obtain a high spatial resolution of rainfall, double-nested domains were employed for WRF with a horizontal resolution of 25 km and 5 km with 38 vertical levels. To include the impact of SST from Indian Ocean and Pacific Ocean into the model integration, a single domain of ROMS was setup with a horizontal resolution of 25 km and with 16 layers for vertical depths (Figure 1).

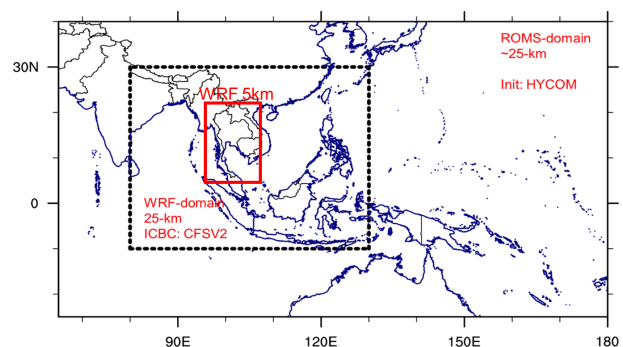


Figure 1 Modeling domains with a 2-nested WRF and a single ROMS domain

For the initial and boundary conditions of WRF, 6-hr NCEP Climate Forecast System (CFS) Reanalysis data was used to update meteorological fields. The simulated net surface heat and momentum fluxes were then transferred to the ROMS model, which in turn, feeds sea surface temperature (SST) information back to WRF model by which the exchanging interval between two models is hourly. In this case, states of the ocean (i.e., SST, salinity, and ocean currents) were initiated by using near-real-time global ocean hindcast (analysis) data provided by the Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM) and the Navy Coupled Ocean Data Assimilation (NCODA). For statistical analysis, weekly simulated rainfall over the CPY during the selected events were compared with observation considering mean bias (MB) and root mean square error (RMSE).

3. Results and discussion

As a result, the model generally shows reasonable agreement with observation for both week-1 and week-2 in both cases (Figure 2).

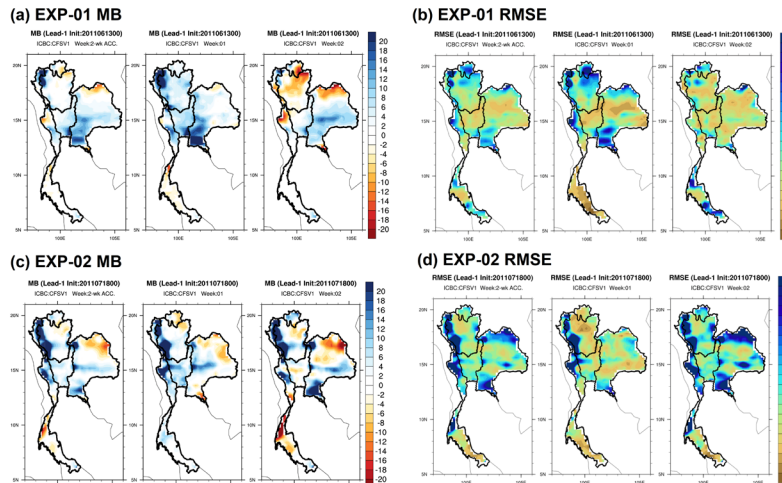


Figure 2 Statistical comparison between observation and prediction (i.e., MB and RMSE) with two different lead-times (week-1 and week-2).

Overall, the simulated rainfall is spatially and temporally varying also depending on case by case. For the EXP-01, at lead-1, two-week simulations yield better results compared to weekly predictions with absolute $MB \leq 6$ mm/day and $RMSE \leq 20$ mm/day. However, in this case, the model tends to overestimate and underestimate rainfall over the CPY region in week-1 and week-2, respectively. For the EXP-02, lead-1, the

model is generally comparable to the observation, but an overestimation of rainfall can also be seen in both weeks with MB up to 20 mm/day and RMSE up to 40 mm/day in the western part of the upper CPY.

4. Conclusions

This study shows an effort in developing a modeling system weather prediction over two weeks, still, there are gaps opened for future research and more challenge for further model development. Currently, the modeling system has also been routinely operating at the HII for 2-week weather forecasting over the CPY basin and available online at https://live1.hii.or.th/product/latest/forecast/rainfall/cpy/wrffroms_cfsv2_cpy.html.

5. Acknowledgement

This work was financially supported by the Thailand Science Research and Innovation (TSRI) (SIP6230012), the National Research Council of Thailand (NRCT), NRCT-TSRI Spearhead Research Program on Water (464042-ODU014).

6. References

- [1] Warner, J.C., Armstrong, B., He, R., and Zambon, J.B., 2010, Development of a Coupled Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport (COAWST) modeling system: Ocean Modeling, v. 35, no. 3, p. 230-244.
- [2] Torsri, K., Wannawong, W., Sarinnapakorn K., Boonya-Aroonnet, S., Chitradon, R., 2014, An Application of Air-Sea Model Components in the Coupled Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport (COAWST) Modeling System Over an Indochina Peninsular Sub-region: Impact of high spatiotemporal SST on WRF model in precipitation prediction, Poster presented at the 11th AOGS, 2014, Sapporo, Japan.