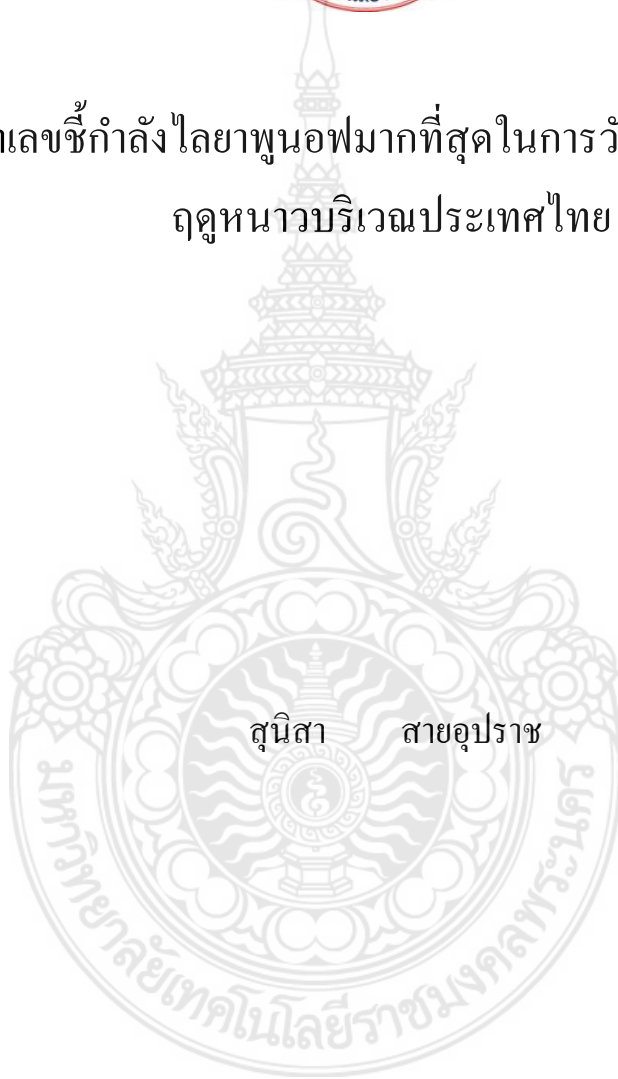




การพัฒนาเลขชี้กำลังโลยาพูนอฟมากที่สุดในการวัดการพยากรณ์มรสุม
ฤดูหนาวบริเวณประเทศไทย

สุนิสา สายอุปราช



งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



Improvement the Largest Lyapunov Exponent for Measurement
of the Winter Monsoon Prediction in Thailand

Sunisa Saiuparad

This Research in Funded by Faculty of Science and Technology
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Year 2017

ชื่อเรื่อง การพัฒนาเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุดในการวัดการพยากรณ์มรสุม
ฤดูหนาวบริเวณประเทศไทย
ผู้วิจัย นางสาวสุนิสา สายอุปราษ
ปีที่ทำวิจัย พ.ศ. 2560

บทคัดย่อ

ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้นทรัพยากรน้ำถือได้ว่าเป็นสิ่งที่มีสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งการบริหารจัดการน้ำที่ดีสามารถที่จะเก็บกักน้ำไว้ใช้ในยามจำเป็นได้ โดยมรสุมถือเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ปริมาณน้ำฝนเกิดขึ้นได้มาก ดังนั้นการพยากรณ์มรสุมโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงมีความสำคัญ นอกจากนั้นแล้วการตรวจสอบความถูกต้องในการพยากรณ์ก็ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของการพยากรณ์เพื่อเป็นการยืนยันผลของการพยากรณ์ว่ามีความถูกต้องแม่นยำมากเพียงใด งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เหมาะสมต่อการตรวจสอบความถูกต้องในการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น (The Shallow Water Model) เพื่อพยากรณ์การเกิดมรสุมฤดูหนาว (Winter Monsoon) บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมีประเทศไทยรวมอยู่ด้วย ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์นำมาจาก The Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR), University of Bergen, ประเทศนอร์เวย์ โดยแบบจำลองภูมิอากาศโลก คือ Bergen Climate Model (BCM) Version 2.0 (BCCR-BCM2.0) จาก หน่วยงานคณะกรรมการระหว่างรัฐบาล ว่าด้วยเรื่อง การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)) โดยใช้ข้อมูลของวันที่ 19 ธันวาคม 2059 จากฐานข้อมูล WCRP CMIP3 เป็นค่าเงื่อนไขเริ่มต้นในการประมวลผลของการพยากรณ์ โดยทำการประมวลผลการพยากรณ์จำนวน 7 วัน และวิธีวัดความถูกต้องในการพยากรณ์เบื้องต้นคือตัวแบบเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov Exponent) และทำการพัฒนาตัวแบบเพื่อวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ขึ้นมาใหม่ จากตัวแบบวัดการพยากรณ์ไลยาปูนอฟมากที่สุด (Largest Lyapunov Exponent) โดยใช้ทฤษฎีลิมิต (Limit Theorem) มาช่วยสร้างตัวแบบเพื่อวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ ผลการวิจัยพบว่าจากการประมวลผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองน้ำตื้น และทำการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์โดยใช้เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟพบว่าแบบจำลองน้ำตื้นสามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องจำนวน 4 วัน เมื่อเทียบกับแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 และใช้เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุดที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ทำการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์พบว่าแบบจำลองน้ำตื้นสามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องจำนวน 4 วัน เมื่อเทียบกับแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 เช่นเดียวกับเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่พัฒนาขึ้นจากเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด โดยใช้ทฤษฎีของลิมิต สามารถทำการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองน้ำตื้น (The Shallow Water Model) ได้เหมาะสม

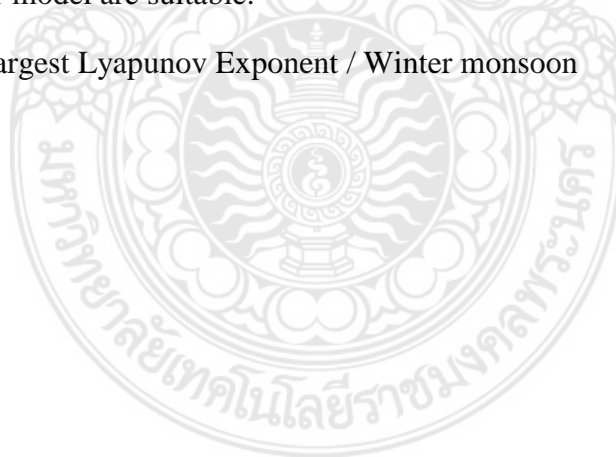
คำสำคัญ : เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด/ มรสุมฤดูหนาว

Title Improvement the Largest Lyapunov Exponent for measurement of the Winter Monsoon Prediction in Thailand
Researcher Miss Sunisa Saiuparad
Year 2017

Abstract

Thailand is an agricultural country. So that, the water resources are important. The water management is very important for keep the water used in necessary time. The monsoon is causes a heavy rain. The monsoon prediction by the mathematical model is important. The accuracy of the forecasts by the predictability measurement method is very important. In this research, improvement the predictability measurement for the winter monsoon prediction in the Southeast Asia by the shallow water model. The data from The Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR), University of Bergen, Norway. The global climate model is Bergen Climate Model (BCM) Version 2.0 (BCCR-BCM2.0) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) are used. The data for run the model on 19 December 2059 from the WCRP CMIP3 is the initial condition. The model is run for 7 days forecast. The Lyapunov exponent (LE) is the predictability measurement method for verify the efficiency of the model and improvement the largest Lyapunov exponent (LLE) by limit theorems for verify the efficiency of the model too. The results to show that the shallow water model can be prediction the winter monsoon for 4 days forecast is accuracy when compare with the BCCR-BCM2.0 model and measure the accuracy by LE. In addition, the improvement the LLE by limit theorems can be measure the accuracy of the winter monsoon for 4 days forecast to same as the LE. Therefore, the improvement the LLE by limit theorems can be measure the accuracy of the winter monsoon prediction in Thailand by the shallow water model are suitable.

Keywords: Largest Lyapunov Exponent / Winter monsoon



กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยจากงานวิจัย เรื่อง การพัฒนาเลขชี้กำลังไลยาพูนอฟมากที่สุดในการวัดการพยากรณ์มรสุม
ฤดูหนาวบริเวณประเทศไทย ขอขอบพระคุณอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
และคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและอำนวยความสะดวกใน
การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณ ดร.ศุภฤกษ์ ศุขวัฒน์ คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้คำแนะนำและเป็นທີ່ปรึกษาของ
งานวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณหัวหน้างานวิจัยและพัฒนาและผู้ปฏิบัติงาน ผู้ประสานงาน
วิจัย และหัวหน้างานการเงิน ที่ให้คำแนะนำในขั้นตอนการดำเนินการรายงานความก้าวหน้าในการทำ
วิจัยและการเบิกจ่ายงบประมาณของการทำวิจัย

ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครูอาจารย์ ของคณะผู้วิจัยทุกท่าน
ที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(ก)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ฉ)
สารบัญรูปภาพ	(ช)
รายการสัญลักษณ์	(ซ)
คำศัพท์เฉพาะทางและตัวย่อ	(ณ)
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1.1 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov Exponent: LE)	3
2.1.2 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด (Largest Lyapunov Exponent: LLE)	4
2.2 การทดสอบความแม่นยำในการพยากรณ์	4
2.2.1 ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE)	4
2.2.2 รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (Root Mean Square Error: RMSE)	4
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. ระเบียบวิธีการวิจัย	6
3.1 แบบจำลองน้ำตื้น (Shallow Water Model)	6
3.2 ลิมิตของฟังก์ชันค่าจริง	7
3.3 ข้อมูล	7
3.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองน้ำตื้น	7
3.3.2 บริเวณที่ใช้ในการทดลอง (The domain)	8
3.4 การออกแบบการทดลอง	9
3.4.1 การประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น	9
3.4.2 การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์	9
4. ผลของการทดลอง	11
4.1 การพัฒนาตัวแบบวัดการพยากรณ์ด้วยทฤษฎีลิมิต (Limit Theorem)	11
4.2 ผลการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองน้ำตื้น	11
4.3 ผลของการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว	14
5. สรุปผล และข้อเสนอแนะของการทดลอง	16
5.1 สรุปผลการทดลอง	16
5.2 ข้อเสนอแนะ	16
บรรณานุกรม	17
ประวัติคณะผู้วิจัย	19

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แหล่งของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย	8
3.2	การตั้งค่าสำหรับการประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น	9
4.1	ค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว	15



สารบัญรูปร่างภาพ

รูปที่		หน้า
3.1	บริเวณในการศึกษาและพยากรณ์	8
4.1	a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 19 ธ.ค. 2059 0000UT b) เงื่อนไขเริ่มต้นในการประมวลผลการพยากรณ์แบบควบคุม (CTRL)	12
4.2	a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 20 ธ.ค. 2059 0000UT b) ผลการพยากรณ์ใน 24 ชั่วโมง จาก CTRL	12
4.3	a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 21 ธ.ค. 2059 0000UT b) ผลการพยากรณ์ใน 48 ชั่วโมง จาก CTRL	13
4.4	a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 22 ธ.ค. 2059 0000UT b) ผลการพยากรณ์ใน 72 ชั่วโมง จาก CTRL	13
4.5	a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 23 ธ.ค. 2059 0000UT b) ผลการพยากรณ์ใน 96 ชั่วโมง จาก CTRL	13
4.6	a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 24 ธ.ค. 2059 0000UT b) ผลการพยากรณ์ใน 110 ชั่วโมง จาก CTRL	14
4.7	a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 25 ธ.ค. 2059 0000UT b) ผลการพยากรณ์ใน 144 ชั่วโมง จาก CTRL	14

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

T	อุณหภูมิ
n	จำนวนตัวแปร
p	ความดัน
ρ	ความหนาแน่น
q	ความชื้นที่เฉพาะเจาะจง
g	แรงโน้มถ่วง
Ω	การหมุนของโลก
F_d	แรงต้านของโลก
R	เวกเตอร์รังสี
C	การนำความร้อน
c_p	ความจุความร้อนที่ความดันคงที่
E	การระเหย
S	ความร้อนแฝง
S_q	การเปลี่ยนเฟส
k	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่
R_d	แก๊สคงที่อากาศแห้ง
δ	ระยะระหว่างเส้นโคจร
\hat{x}_i	ค่าพยากรณ์
x_i	ค่าจริง
Δy_p	ระยะทางที่เข้าใกล้ผนังจากพื้นผิวของแข็ง
v	ความเร็ว
$\delta(x_i(t))$	คือระยะระหว่างสองเส้นโคจรที่เวลา t
$\delta(x_i(t + \Delta t))$	คือระยะระหว่างสองเส้นโคจรที่เวลา $t + \Delta t$,
Δt	คือช่วงเวลาของการพยากรณ์
$\ \dots\ $	คือระยะระหว่างสองเส้นโคจร
U_i	คือ neighborhood ของ x_i
$dist(x_i, x_j, t)$	คือ ระยะทางระหว่าง x_i และ x_j
$\delta x(0)$	คือ ระยะทางระหว่างค่าจริงในการพยากรณ์ เมื่อ เวลา t ,
$\delta x(\Delta t)$	คือ ระยะทางระหว่างค่าจริงในการพยากรณ์ เมื่อ $t + \Delta t$,

คำศัพท์เฉพาะทางและตัวย่อ

CTRL	Control Run
LE	Lyapunov Exponent
LLE	Largest Lyapunov Exponent
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MAE	Mean Absolute Error
MSE	Mean Square Error
RMSE	Root Mean Square Error
BCCR-BCM2.0	Bjerknes Centre for Climate Research Bergen Climate Model Version 2.0



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยทำการเกษตรแบบพึ่งพาปริมาณน้ำฝนที่ตกตามฤดูกาลในปริมาณที่เหมาะสม ปัจจุบันสิ่งแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงจึงทำให้ฝนไม่ตกตามฤดูกาลจนประสบกับปัญหาภัยแล้งหรือบางครั้งเกิดมรสุม ฝนฟ้าคะนองส่งผลให้ปริมาณน้ำมีมากเกินไปจนประสบปัญหาน้ำท่วมไม่สามารถทำการเกษตรได้ จากปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นจึงต้องมีการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่ดีและเหมาะสม นอกจากนั้นการพยากรณ์การเกิดมรสุมก็เป็นสิ่งสำคัญในการเตรียมความพร้อมต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำด้วยอีกทางหนึ่ง

การพยากรณ์การเกิดมรสุมด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถทำการพยากรณ์มรสุมในอนาคตที่ถูกต้องได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งการพยากรณ์จะต้องมีข้อมูลเบื้องต้นที่เป็นตัวแปรของการเกิดมรสุมหรือเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) เพื่อการพยากรณ์ที่ดีและมีประสิทธิภาพจึงจะทำให้การพยากรณ์นั้นเกิดผลที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น นอกจากนั้นการตรวจสอบหรือวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ถือเป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งในกระบวนการของการพยากรณ์ เนื่องจากเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์ว่ามีความแม่นยำมากเพียงใดก่อนที่จะนำเสนอข้อมูลในการพยากรณ์นั้น

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการพยากรณ์การเกิดมรสุมฤดูหนาว (Winter Monsoon) บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมีประเทศไทยรวมอยู่ด้วย โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการพยากรณ์คือ แบบจำลองน้ำตื้น (The Shallow Water model) และทำการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวโดยใช้วิธีการวัดการพยากรณ์ที่ได้มาตรฐาน คือ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov exponent) ซึ่งถือเป็นวิธีวัดการพยากรณ์ที่นิยมใช้มาก และทำการปรับวิธีการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์โดยการพัฒนาเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด (Largest Lyapunov exponent) ด้วยวิธีการของลิมิตและความต่อเนื่องเพื่อให้เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุดสามารถใช้ในการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวได้ถูกต้องมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด ในการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์การเกิดมรสุมฤดูหนาวในประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้แบบจำลองน้ำตื้นในการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว (Winter monsoon)
2. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยคือ ความเร็วลมในแนวแกน x (u), ความเร็วลมในแนวแกน y (v) และ Geopotential height (z)
3. บริเวณที่ทำการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว คือ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถพัฒนาสมการเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุดในการตรวจวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวในประเทศไทย ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. สามารถนำไปเผยแพร่ตามหน่วยงานที่ดำเนินงานด้านการพยากรณ์ได้เป็นอย่างดี



บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการพัฒนาตัวแบบที่ใช้ในการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยพัฒนาตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ต่อยอดจากตัวแบบเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด เพื่อให้ตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มีความแม่นยำ และถูกต้องมากยิ่งขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงสุด

2.1.1 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov Exponent: LE)

เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (LE) คือปริมาณทางคณิตศาสตร์ที่ใช้วัดความแตกต่างของเส้นโคจร เริ่มต้นกับเส้นโคจรที่อ่อนไหวต่อค่าเริ่มต้นและใช้กำหนดความเสถียรในแต่ละลักษณะของสถานะ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟในระบบพลวัต $f: R^n \rightarrow R^n$ ภายใต้อัตลักษณ์โคจร $\mathbf{x}(t) = f(\mathbf{x}_0, t)$ และเงื่อนไข เริ่มต้น $\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0$ ใช้วัดการถ่วงเข้าหรือถ่วงออกของสองเส้นโคจรในพื้นที่ ถ้าค่าของเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเป็นบวกแสดงว่าค่าเฉลี่ยเลขชี้กำลังถ่วงออกหรือระบบเกิดความยุ่งเหยิง (chaos) แต่ถ้าเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเป็นลบแสดงว่าค่าเฉลี่ยเลขชี้กำลังถ่วงเข้า ให้ $\delta \mathbf{x}_i(t)$ คือส่วนเบี่ยงเบนของค่าการ ก่อทวนเริ่มต้น (perturbed run) ที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเริ่มต้น (control run) พิจารณาสองเส้น โคจร ระหว่างค่าเริ่มต้น (control run) และค่าที่ได้จากการก่อกวน (perturbed run) ในสนามที่เวลา t และ เวลา $t + \Delta t$, $x_i, i=1,2,3,\dots,N$, จะได้ $\|\delta(x_i(t))\|$ และ $\|\delta(x_i(t + \Delta t))\|$, ตามลำดับ ดังนั้นเลขชี้ กำลังไลยาปูนอฟกำหนดคืออัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของระยะเริ่มต้น (the initial distance)

$$\lambda = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\|\delta(x_i(t + \Delta t))\|}{\|\delta(x_i(t))\|}, i=1,2,\dots,N \quad (2.1)$$

- เมื่อ $\|\dots\|$ คือระยะระหว่างสองเส้นโคจร
 $\delta(x_i(t))$ คือระยะระหว่างสองเส้นโคจรที่เวลา t
 $\delta(x_i(t + \Delta t))$ คือระยะระหว่างสองเส้นโคจรที่เวลา $t + \Delta t$,
และ Δt คือช่วงเวลาของการพยากรณ์

2.1.2 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด (Largest Lyapunov Exponent: LLE)

เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด (LLE) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความอ่อนไหวของระบบกลศาสตร์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าของเงื่อนไขเริ่มต้น (Initials Condition) เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด เป็นสมการในรูปแบบของอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณในปริภูมิเวกเตอร์ สามารถช่วยในการตรวจสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในระยะเวลานานได้ ดังนั้นเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุดสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\lambda = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \ln \left(\frac{|x(t) - x_\varepsilon(t)|}{\varepsilon} \right), |x(0) - x_\varepsilon(0)| = \varepsilon \quad (2.2)$$

และ

$$S(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln \left(\frac{1}{|U_i|} \sum_{x_j \in U_i} \text{dist}(x_i, x_j, t) \right) \quad (2.3)$$

เมื่อ U_i คือ neighborhood ของ x_i และ $\text{dist}(x_i, x_j, t)$ คือ ระยะทางระหว่าง x_i และ x_j

2.2 การทดสอบความแม่นยำในการพยากรณ์

การประเมินประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของแบบจำลองและความถูกต้องของการพยากรณ์สามารถใช้ตัวแบบทางสถิติ เช่น mean absolute error (MAE) และ root mean square error (RMSE)

2.2.1 ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE)

ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ คือ ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างสมบูรณ์ระหว่างค่าพยากรณ์และค่าจริง หากมีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าประมาณได้ใกล้เคียงกับค่าจริง โดย MAE มีสูตรในการคำนวณดังนี้ (Ian, 2003),

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{x}_i - x_i| \quad (2.4)$$

เมื่อ n คือ จำนวนตัวแปร

\hat{x}_i คือ ค่าพยากรณ์

x_i คือ ค่าจริง

2.2.2 รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (Root Mean Square Error: RMSE)

รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด คือ การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณจากแบบจำลองยกกำลังสอง ถ้า RMSE มีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าประมาณได้

ใกล้เคียงกับค่าจริง แต่ถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่าไม่เกิดความคาดเคลื่อนในแบบจำลองนี้ RMSE คำนวณ ได้ดังนี้ (Ian, 2003)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_i)^2} \quad (2.5)$$

เมื่อ n คือ จำนวนตัวแปร

\hat{x}_i คือ ค่าพยากรณ์

x_i คือ ค่าจริง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Michael T et al. (1992) เสนอวิธีการในการคำนวณเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด โดยใช้ลำดับเวลาเพื่อใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบความเสถียรของข้อมูล โดยเป็นการคำนวณที่เร็วและง่ายขึ้น โดยใช้ได้กับข้อมูลที่มีหลายมิติและข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนั้นวิธีการ โดยใช้ลำดับของเวลายังช่วยให้การคำนวณความสัมพันธ์ของแบบจำลองในเชิงหลายมิติได้ และวิธีนี้ยังช่วยคาดคะเนระบบที่มีความยุ่งเหยิงและซับซ้อน ได้เป็นอย่างดี

Ould et al. (2006) ศึกษาปัญหาการพยากรณ์ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อวงจรไฟฟ้าและแก๊ส โดยจุดประสงค์คือต้องการพยากรณ์ลำดับของเวลาในแต่ละวันของวงจรไฟฟ้าที่ใช้งานของบริษัทอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยใช้เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุดในการตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์ โดยผลการศึกษาพบว่าเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุดสามารถนำมาตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์ได้ทั้งในระบบที่มีสถานะยุ่งเหยิง (chaos) และระบบที่พยากรณ์ได้ยาก

Yoden et al. (2006) นำเสนอว่าเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (the finite-time Lyapunov exponent; FTLE) คืออัตราการเพิ่มของการก่อกวน (perturbations) โดยขึ้นอยู่กับช่วงเวลาอ้างอิงและเวกเตอร์ไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (the finite-time Lyapunov vector) จะสอดคล้องกับเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด (the largest Lyapunov exponents) ซึ่งทำให้สนามของ streamfunction เพิ่มการก่อกวนขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา นอกจากนั้นเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัดอาจจะใช้วัดช่วงเวลาในการพยากรณ์ของการดำเนินการในการพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลข (Numerical Weather Prediction; NWP).

Ding and Li (2007) แนะนำนิยามของความไม่เป็นเชิงเส้นของเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (nonlinear FTLE) สำหรับระบบยุ่งเหยิง ซึ่งความไม่เป็นเชิงเส้นของเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัดสามารถใช้หาประสิทธิภาพและปริมาณของการกำหนดช่วงการทำนายในระบบยุ่งเหยิงได้

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการพยากรณ์การเกิดมรสุมฤดูหนาว (Winter Monsoon) บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมีประเทศไทยรวมอยู่ด้วย โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการพยากรณ์ คือแบบจำลองน้ำตื้น (The Shallow Water model) และทำการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวโดยใช้วิธีการวัดการพยากรณ์ที่ได้มาตรฐาน คือ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov exponent) ซึ่งถือเป็นวิธีวัดการพยากรณ์ที่นิยมใช้มาก และทำการปรับวิธีการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ โดยทำการพัฒนาเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด (Largest Lyapunov exponent) ด้วยวิธีการของลิมิตและความต่อเนื่องเพื่อให้เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุดสามารถใช้ในการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวได้ถูกต้องมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี

3.1 แบบจำลองน้ำตื้น (Shallow Water Model)

แบบจำลองน้ำตื้นเป็นแบบจำลองพื้นฐานที่สามารถใช้ในการพยากรณ์สภาพบรรยากาศขนาดใหญ่ ซึ่งสมการน้ำตื้นเป็นส่วนสำคัญในการสร้างแบบจำลองน้ำตื้น โดยปรับและสร้างมาจากสมการอนุกรมมวล และสมการอนุกรมโมเมนตัม (the Navier-Stokes equations) นอกจากนี้ยังมีสมการอุทกสถิตศาสตร์และสมการความต่อเนื่อง มาใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำตื้น (Holton, 2004).

สมการโมเมนตัม,

$$\frac{du}{dt} - fv + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (3.1)$$

$$\frac{dv}{dt} + fu + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (3.2)$$

สมการอุทกสถิตศาสตร์,

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0 \quad (3.3)$$

และสมการความต่อเนื่อง,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.4)$$

เมื่อ u , v และ w คือ ลมตามแนวแกน x , y และ z ตามลำดับ

$f = 2\Omega \sin \theta$, (Ω คือความเร็วเชิงมุมของโลก θ คือ แลตจูด)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว

p คือ ความดัน

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

3.2 ลิมิตของฟังก์ชันค่าจริง

ให้ f เป็นฟังก์ชันค่าจริง แล้วจะได้ว่า $\lim_{x \rightarrow a} f(x) = L$ ก็ต่อเมื่อ สำหรับทุกค่าของ $\varepsilon > 0$ จะต้องมี $\delta > 0$ อย่างน้อยหนึ่งค่า ที่ สำหรับทุกค่าของจำนวนจริง x ที่ $0 < |x - a| < \delta$, $|f(x) - L| < \varepsilon$ ถ้าฟังก์ชันบนปริภูมิระยะทาง ที่มี M และ N เป็นเซตของจำนวนจริง และ $d(x, y) = |x - y|$ ดังนั้น ลิมิตของฟังก์ชัน $f(x)$ เมื่อ x มีค่าเข้าใกล้ a เขียนแทนด้วย

$$\lim_{x \rightarrow a} f(x) = L \quad (3.5)$$

และถ้าให้ $f(x)$ เป็นฟังก์ชันค่าจริง สามารถพิจารณา ลิมิตของฟังก์ชันเมื่อ x เพิ่มขึ้น หรือลดลงอย่างไม่มีที่สิ้นสุด ได้โดย

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = L \quad (3.6)$$

เมื่อ $\varepsilon > 0$ ใดๆ จะมี c และ $|f(x) - L| < \varepsilon$ โดย $x > c$ นั่นคือ

$$\forall \varepsilon > 0 \exists c \forall x > c : |f(x) - L| < \varepsilon.$$

3.3 ข้อมูล

3.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองน้ำขึ้น

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ประกอบไปด้วยช่วงเวลาของสภาพอากาศในอนาคต ตั้งแต่ ค.ศ. 2016-2100 ซึ่งแหล่งที่มาของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แหล่งของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

แหล่งข้อมูล	ตัวแปร	ปี ค.ศ.
The Bjerknnes Centre for Climate Research (BCCR), University of Bergen, Norway. The global climate model is Bergen Climate Model (BCM) Version 2.0 (BCCR-BCM2.0) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).	1. ความเร็วลมในแนวแกน x (u) 2. ความเร็วลมในแนวแกน y (v) 3. ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (Geopotential height (z))	ค.ศ. 2016-2100

- เมื่อ
1. ความเร็วลมในแนวแกน x (u)
 2. ความเร็วลมในแนวแกน y (v)
 3. ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (Geopotential height (z))

3.3.2 บริเวณที่ใช้ในการทดลอง (The domain)

บริเวณที่ใช้ในการทดลองประมวลผลด้วยแบบจำลองน้ำตื้น คือ 180° ตะวันตก ถึง 180° ตะวันออก และ 40° ใต้ ถึง 80° เหนือ และบริเวณที่ศึกษา คือ ลองจิจูด 97° ตะวันออก ถึง 105° ตะวันออก และ แลตติจูด 5° ใต้ ถึง 99° เหนือ แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บริเวณในการศึกษาและพยากรณ์

3.4 การออกแบบการทดลอง

3.4.1 การประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น

แบบจำลองน้ำตื้นประมวลผลด้วยขนาดกริด 1×1 แลตจิจูด-ลองจิจูด การประมวลผลการพยากรณ์จะใช้ข้อมูลจากตารางที่ 3.2 เป็นข้อมูลเริ่มต้น โดยเรียกว่าการประมวลผลแบบควบคุม (CTRL) และการประมวลผลแบบควบคุมใช้ข้อมูลเริ่มต้นในการพยากรณ์จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 (A2 scenario) โดยตัวแปรที่ใช้ในการประมวลผลคือ ความเร็วลมในแนวแกน x (u), ความเร็วลมในแนวแกน y (v) และความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (Geopotential height (z)) โดยรายละเอียดของข้อมูลในการพยากรณ์โดยแบบจำลองน้ำตื้นสรุปในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การตั้งค่าสำหรับการประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น

รายละเอียด	การประมวลผล
บริเวณ (Domain)	long: 180°W to 180°E, lat: 40°S to 80°N.
ความละเอียด	$\Delta x = \Delta y = 1^\circ$, $\Delta t = 60$ (s)
ข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้น	BCCR-BCM2.0 (A2 scenario), 19 Dec 2059, 500 hecto Pascal (hPa)
เงื่อนไขขอบเขต	Cyclic in the west-east boundary Open in the north-south boundary
ระยะเวลาในการพยากรณ์	7 วัน

3.4.2 การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์

1. เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ

เมื่อกำหนดให้ d_t คือ ระยะระหว่างการพยากรณ์ค่าจริง ที่เวลา $\Delta t = t_t - t_0$ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$d_t = d_0 \exp(\lambda \Delta t) \quad (3.7)$$

โดยเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ คืออัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของระยะเริ่มต้น (the initial distance) นั่นคือ

$$\lambda = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\|\delta(x_i(t + \Delta t))\|}{\|\delta(x_i(t))\|}, i=1,2,\dots,N \quad (3.8)$$

เมื่อ $\|\dots\|$ คือระยะระหว่างสองเส้นโคจร
 $\delta(x_i(t))$ คือระยะระหว่างสองเส้นโคจรที่เวลา t
 $\delta(x_i(t + \Delta t))$ คือระยะระหว่างสองเส้นโคจรที่เวลา $t + \Delta t$,
 และ Δt คือช่วงเวลาของการพยากรณ์

2. เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด

เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด เป็นสมการในรูปแบบของอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณในปริภูมิเวกเตอร์ สามารถช่วยในการตรวจสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในระยะเวลานานได้ ดังนั้นเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุดสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\lambda = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \ln \left(\frac{|x(t) - x_\varepsilon(t)|}{\varepsilon} \right), |x(0) - x_\varepsilon(0)| = \varepsilon \quad (3.9)$$

และ

$$S(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln \left(\frac{1}{|U_i|} \sum_{x_j \in U_i} \text{dist}(x_i, x_j, t) \right) \quad (3.10)$$

เมื่อ U_i คือ neighborhood ของ x_i และ $\text{dist}(x_i, x_j, t)$ คือ ระยะทางระหว่าง x_i และ x_j

บทที่ 4 ผลของการทดลอง

4.1 การพัฒนาตัวแบบวัดการพยากรณ์ด้วยทฤษฎีลิมิต (Limit Theorem)

จากเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (The Lyapunov exponent: λ) ดังสมการที่ (4.1)

$$\lambda(t) = \frac{1}{\Delta t} \ln \left(\frac{d_t}{d_0} \right) \quad (4.1)$$

จากสมการที่ (3.7) หากค่าลิมิต ของฟังก์ชัน f เมื่อ Δt เข้าใกล้อนันต์ ดังนั้น จะได้

$$\lambda = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \ln \left(\frac{d_t}{d_0} \right) \quad (4.2)$$

กำหนดให้ $x(t)$ คือ ระยะทางระหว่างค่าจริงในการพยากรณ์ ที่เวลา t

$\delta x(0) = x(t_i) - x(t_j)$ คือ การเปลี่ยนแปลงของระยะทางระหว่างค่าจริงในการพยากรณ์ของระบบเมื่อ เวลา t ,

$\delta x(\Delta t) = x(t_i + \Delta t) - x(t_j + \Delta t)$ คือ การเปลี่ยนแปลงของ $\delta x(0)$ เมื่อเวลา Δt

และ $\|\cdot\|$ คือ Euclidean norm.

ดังนั้น เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด (LLE) กำหนดโดย

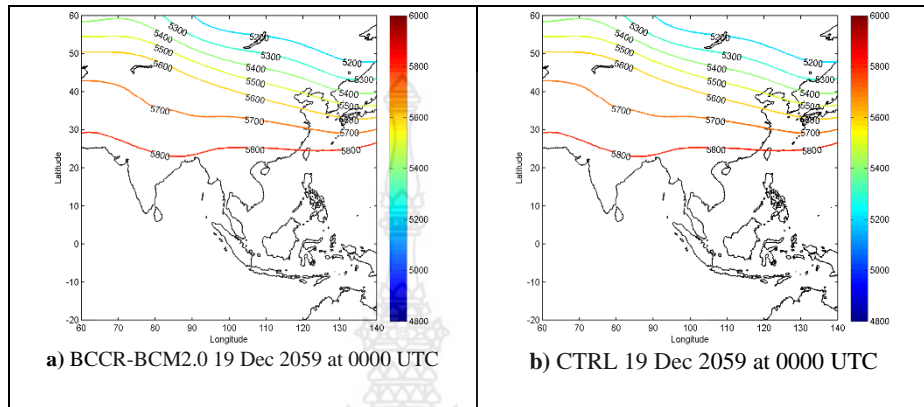
$$\lambda_\infty(x(t)) = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\|\delta x(\Delta t)\|}{\|\delta x(0)\|} \quad (4.3)$$

เมื่อ $\delta x(0)$ คือ ระยะทางระหว่างค่าจริงในการพยากรณ์ เมื่อ เวลา t ,
 $\delta x(\Delta t)$ คือ ระยะทางระหว่างค่าจริงในการพยากรณ์ เมื่อ $t + \Delta t$,
 Δt คือ ช่วงเวลาในการพยากรณ์

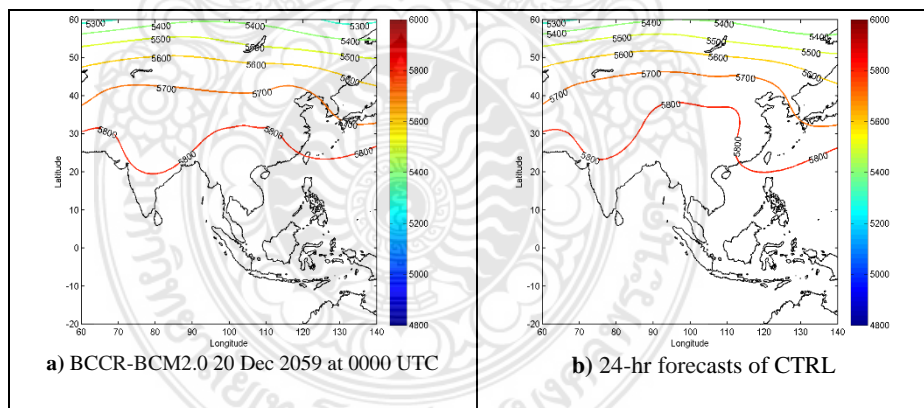
4.2 ผลการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองน้ำตื้น

งานวิจัยนี้ทำการประมวลผลการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวโดยใช้แบบจำลองน้ำตื้น ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นในการประมวลผลการพยากรณ์ได้จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 (A2 scenario) ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการประมวลผลคือ ความเร็วลมในแนวแกน x (u), ความเร็วลมในแนวแกน y (v) และความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (Geopotential height (z)) และเริ่มต้นประมวลผลการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลเริ่มต้นของวันที่ 19 ธันวาคม 2059 มาเป็นข้อมูลค่าเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์

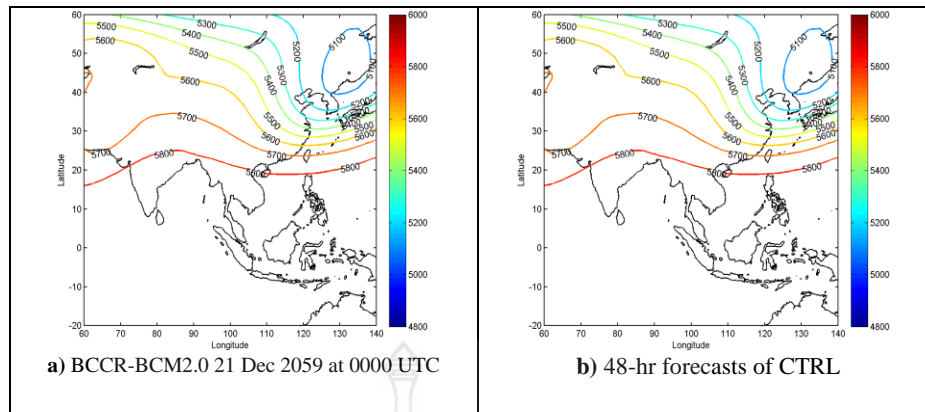
แบบจำลองประมวลผลการพยากรณ์ด้วยขนาดกริด 1×1 องศา แลตติจูด-ลองจิจูด ซึ่งเวลาในการประมวลผลข้อมูลของการพยากรณ์จะแสดงผลทุก ๆ 60 วินาที ขนาดบริเวณที่ใช้ในการทดสอบคือ ลองจิจูด 180°W ถึง 180°E และ แลตติจูด 40°S to 80°N และกำหนดให้แบบจำลองประมวลผลการพยากรณ์ 7 วัน ซึ่งผลของการพยากรณ์ แสดงในรูปที่ 4.1-4.7



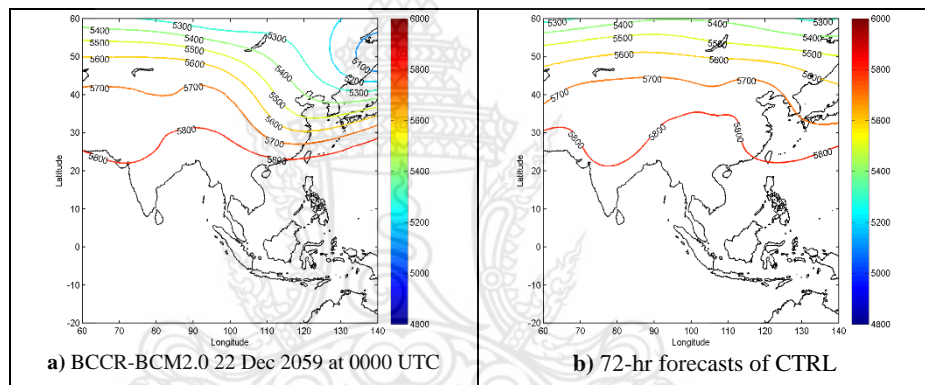
รูปที่ 4.1 a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 19 ธ.ค. 2059 0000UT b) เงื่อนไขเริ่มต้นในการประมวลผลการพยากรณ์แบบควบคุม (CTRL)



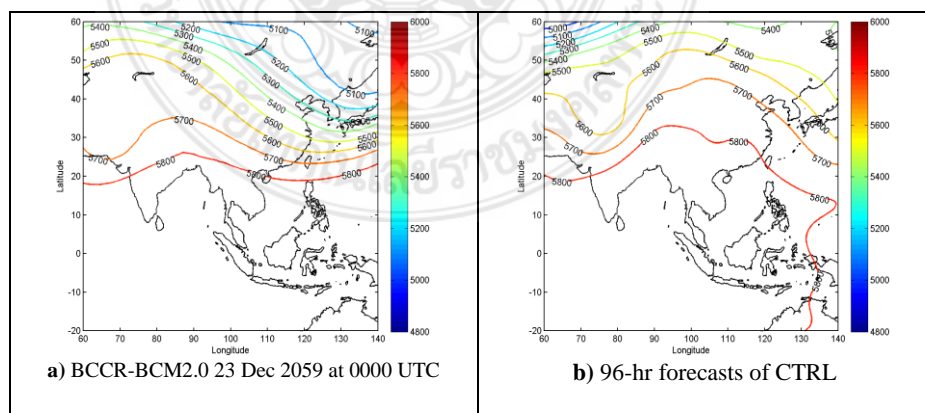
รูปที่ 4.2 a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 20 ธ.ค. 2059 0000UT b) ผลการพยากรณ์ใน 24 ชั่วโมง จาก CTRL



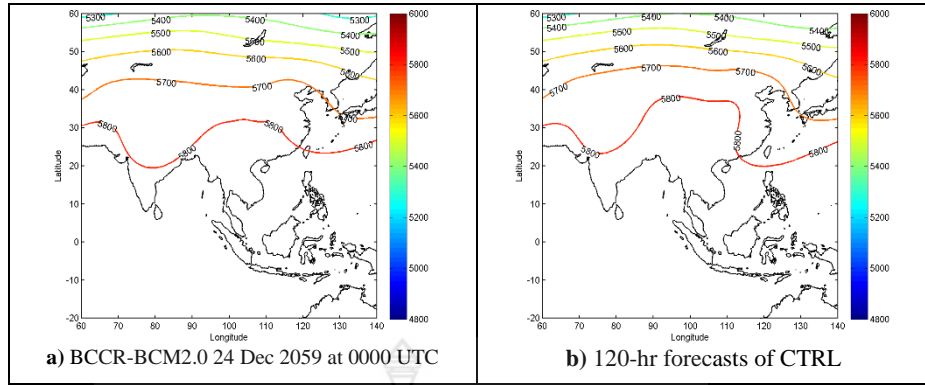
รูปที่ 4.3 a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 21 ธ.ค. 2059 0000UT b) ผลการพยากรณ์ใน 48 ชั่วโมง จาก CTRL



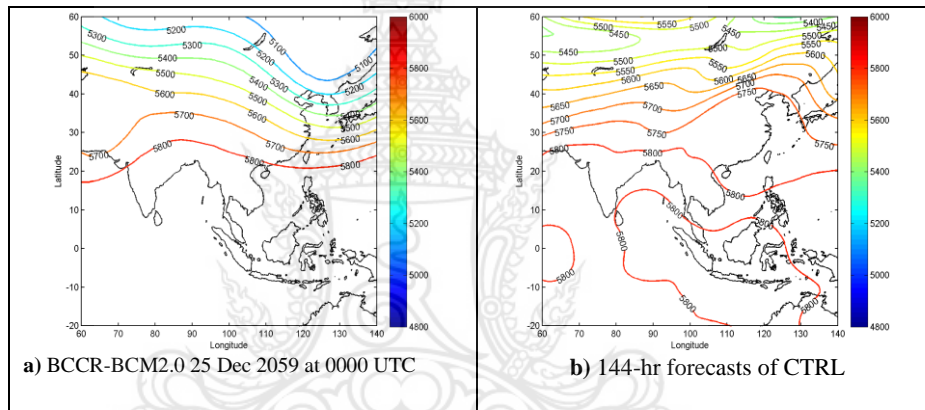
รูปที่ 4.4 a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 22 ธ.ค. 2059 0000UT b) ผลการพยากรณ์ใน 72 ชั่วโมง จาก CTRL



รูปที่ 4.5 a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 23 ธ.ค. 2059 0000UT b) ผลการพยากรณ์ใน 96 ชั่วโมง จาก CTRL



รูปที่ 4.6 a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 24 ธ.ค. 2059 0000UT b) ผลการพยากรณ์ใน 120 ชั่วโมง จาก CTRL



รูปที่ 4.7 a) ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 25 ธ.ค. 2059 0000UT b) ผลการพยากรณ์ใน 144 ชั่วโมง จาก CTRL

จากรูปที่ 4.1 - 4.7 คือผลการพยากรณ์จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 และแบบจำลองน้ำตื้นจำนวน 7 วัน โดยเมื่อนำผลการพยากรณ์จากแบบจำลองน้ำตื้นมาเทียบกับการพยากรณ์ของแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 จะพบว่าผลการพยากรณ์เริ่มมีค่าแตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 4 (22 Dec 2059) ของการพยากรณ์ ซึ่งทำให้พบว่าแบบจำลองน้ำตื้นมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์เพียง 4 วัน

4.3 ผลของการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว

ตัวแบบวัดการพยากรณ์ที่ใช้เพื่อวัดความถูกต้องในการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้นคือ เลขชี้กำลังไลยาพูนอฟ (LE) และตัวแบบวัดการพยากรณ์ที่ได้ทำการพัฒนาจากเลขชี้กำลังไลยาพูนอฟมากที่สุด (LLE) โดยใช้ทฤษฎีของลิมิตเข้ามาช่วยในการพัฒนาตัวแบบให้มีความเหมาะสมและให้สอดคล้องกับเวลาที่ทำการพยากรณ์ โดยทำการวัดค่าของการพยากรณ์ระหว่างค่าของการพยากรณ์ที่ควบคุม (CTRL) กับค่าของการพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 ซึ่งวัดความถูกต้อง

ของการพยากรณ์บริเวณประเทศไทย โดยค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาว

เวลาพยากรณ์ (ชม.)	ตัวแบบวัดการพยากรณ์	
	LE	LLE
24	-0.4534	-0.5433
48	-0.4789	-0.5566
72	-0.4990	-0.5670
96	0.1233	0.0671
120	0.3998	0.1785
144	0.6122	0.3854

จากตารางที่ 4.1 ตัวแบบวัดความถูกต้องในการพยากรณ์เลขชี้กำลังไลยาพูนอฟมีค่าเป็นบวกสำหรับเวลาในการพยากรณ์ที่ 96 ชั่วโมง แสดงว่าเกิดการลู่ออกของเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างความดันบรรยากาศของการประมวลผลแบบควบคุม (CTRL) ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองน้ำตื้นสามารถพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวได้ถูกต้องจำนวน 4 วัน เมื่อเทียบกับแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 ซึ่งเป็นแบบจำลองภูมิอากาศโลก นอกจากนั้นตัวแบบวัดความถูกต้องในการพยากรณ์เลขชี้กำลังไลยาพูนอฟมากที่สุด (LLE) ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ทฤษฎีลิมิต มีค่าเป็นบวกสำหรับเวลาในการพยากรณ์ที่ 96 ชั่วโมง เช่นกัน จึงพบว่าเกิดการลู่ออกของเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างความดันบรรยากาศของการประมวลผลแบบควบคุม (CTRL) ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองน้ำตื้นสามารถพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวได้ถูกต้องจำนวน 4 วัน เมื่อเทียบกับแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 นั่นคือทั้งตัวแบบวัดความถูกต้องในการพยากรณ์เลขชี้กำลังไลยาพูนอฟและตัวแบบวัดความถูกต้องในการพยากรณ์เลขชี้กำลังไลยาพูนอฟมากที่สุด (LLE) ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ทฤษฎีลิมิต สามารถวัดความถูกต้องในการพยากรณ์ได้ใกล้เคียงกัน

บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะของการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การพยากรณ์ถือเป็นวิธีที่สำคัญที่ช่วยให้สามารถคาดคะเนผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ การพยากรณ์ที่ดีและมีประสิทธิภาพนั้นต้องประกอบไปด้วยแบบจำลองในการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพและค่าเงื่อนไขเริ่มต้นของการพยากรณ์ที่เหมาะสม นอกจากนี้แล้วการตรวจสอบความถูกต้องในการพยากรณ์ก็ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของการพยากรณ์เพื่อเป็นการยืนยันผลของการพยากรณ์ว่ามีความถูกต้องแม่นยำมากเพียงใด โดยงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเหมาะสมต่อการตรวจสอบความถูกต้องในการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น (The Shallow Water Model) โดยปกติตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่ง่ายและนิยมใช้ก็คือ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (The Lyapunov exponent: LE) ซึ่งเป็นตัวแบบวัดความถูกต้องในการพยากรณ์ที่สามารถบ่งบอกลักษณะของอัตราการเคลื่อนที่ของเส้นโคจรในระบบกลศาสตร์ได้ แต่เพื่อให้การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มีประสิทธิภาพมากขึ้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาตัวแบบวัดการพยากรณ์จากเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด (The Largest Lyapunov exponent: LLE) โดยใช้ทฤษฎีของลิมิตเข้ามาช่วยในการปรับตัวแบบให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น และจากผลการวิจัยพบว่าจากการประมวลผลการพยากรณ์แบบควบคุมโดยใช้ข้อมูลของวันที่ 19 ธันวาคม 2059 จากฐานข้อมูล WCRP CMIP3 เป็นค่าเงื่อนไขเริ่มต้นในการประมวลผลของการพยากรณ์โดยทำการประมวลผลการพยากรณ์จำนวน 7 วัน และทำการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์โดยใช้เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟพบว่า แบบจำลองน้ำตื้นสามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องจำนวน 4 วัน เมื่อเทียบกับแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 และใช้เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุดที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ทำการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์พบว่า แบบจำลองน้ำตื้นสามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องจำนวน 4 วัน เมื่อเทียบกับแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 เช่นเดียวกับเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่พัฒนาขึ้นจากเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด โดยใช้ทฤษฎีของลิมิตสามารถทำการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น (The Shallow Water Model) ได้เมื่อเปรียบเทียบกับเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ

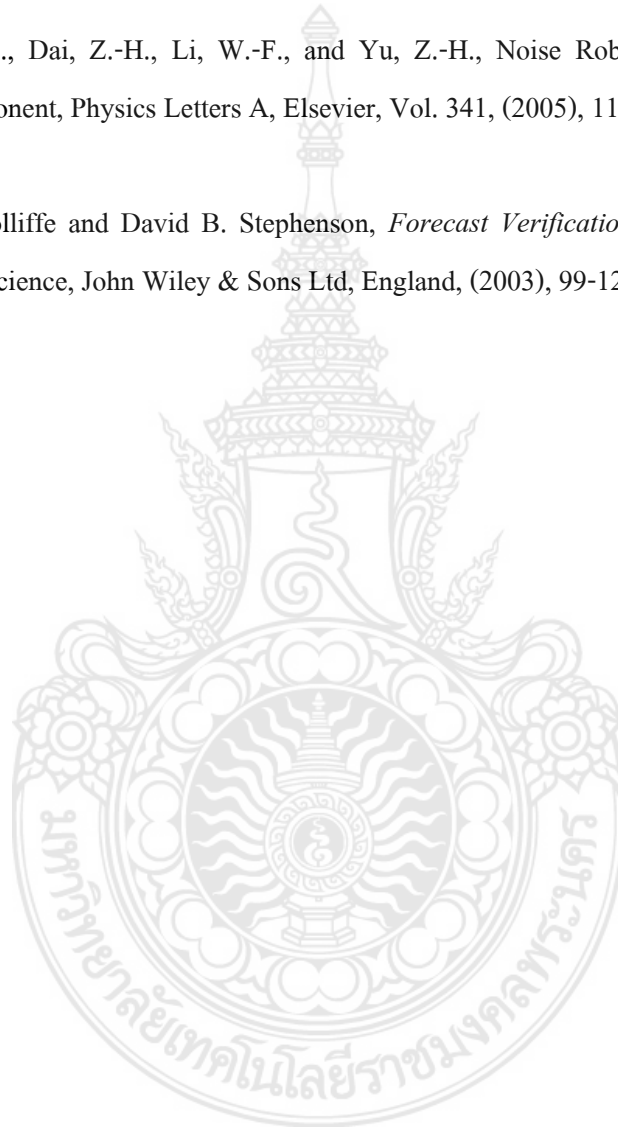
5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรนำเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุดที่พัฒนาโดยใช้ทฤษฎีของลิมิตไปใช้ในการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์สำหรับแบบจำลองอื่นๆ ด้วย
2. ควรพัฒนาตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์แบบอื่น ๆ ที่เหมาะสมกับแบบจำลองน้ำตื้นและแบบจำลองการพยากรณ์อื่นเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพยากรณ์ต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] Michael T. Rosenstein, James J. Collins, and Carlo J. De Luca, A practical method for calculating largest Lyapunov exponents from small data sets, Neuro Muscular Research Center and Department of Biomedical Engineering, Boston University, 1992.
- [2] Ould Mohamed M Mohamed, Jaidane-Saidane, M, Ezzine, J., Souissi, J., Hizaoui, N., Variability of Predictability of the Daily Peak Load Using Lyapunov Exponent Approach, Case of Tunisian Power System, Vol. 10, pp. (2007) 1078-1083.
- [3] S. Yoden and M. Nomura, Finite-Time Lyapunov Stability Analysis and Its Application to Atmospheric Predictability, Journal of the Atmospheric Sciences 50(11) (1993), 1531-1543.
- [4] R. Ding and J. Li, Nonlinear finite-time Lyapunov exponent and predictability, Physics Letters A 364 (2007), 396-400.
- [5] A. Wolf, S. B. Jack, S. L. Harry and, A.V. John, Determining Lyapunov Exponents From a Time Series, Physica 16 (1985), 285-371.
- [6] E. Aurell, G Boffetta, A. Crisanti, G. Paladin and A. Vulpiani, Predictability in the large: an extension of the concept of Lyapunov exponent J. Phys. A: Math. Gen, 30 (1997) 1-26.
- [7] J. B. Thomas and R. Sebastian, Computing Lyapunov exponents on a Stiefel manifold, Physica D 156 (2001), 219-238.
- [8] McCue, L. and Troesch, A., Use of Lyapunov Exponents to Predict Chaotic Vessel Motions, book google.com, (2004) 156-171.
- [9] T.N. Palmer, Predicting uncertainty in forecasts of weather and climate, ECMWF Technical Memorandum, No. 294, (1999), 1.

- [10] J. B. Thomas and R. Sebastian, Computing Lyapunov exponents on a Stiefel manifold, *Physica D* 156 (2001), 219-238.
- [11] A. Wolf, S. B. Jack, S. L. Harry and, A.V. John, Determining Lyapunov Exponents From a Time Series, *Physica* 16 (1985), 285-371.
- [12] Liu, H.-F., Dai, Z.-H., Li, W.-F., and Yu, Z.-H., Noise Robust Estimates of the Largest Lyapunov Exponent, *Physics Letters A*, Elsevier, Vol. 341, (2005), 119-127.
- [13] Ian T. Jolliffe and David B. Stephenson, *Forecast Verification : A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*, John Wiley & Sons Ltd, England, (2003), 99-129,211.



ประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ดร.สุนิสา สายอุปราช
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Dr.Sunisa Saiuparad
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 7202 00341 42 0
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
เลขที่ 1381 ถ.ประชาราษฎร์สาย 1 แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทรศัพท์: 02-8363000 ต่อ 4136
โทรสาร: 02-8363000 ต่อ 4136
E-mail: sunisa.sa@rmutp.ac.th
5. ประวัติการศึกษา
2554 ปริญญาคุญบัณฑิต (ปร.ค.) สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2550 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต (คอ.ม.) สาขาวิชาเทคโนโลยีและ
สื่อสารการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2548 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาคณิตศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
สาขาวิชา Mathematical Model
สาขาวิชา Meteorological
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดย
ระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัยหัวหน้า
โครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย
7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -
7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : -

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

- สภาวะฝนหนักและฝนแล้งภายใต้ภาวะโลกร้อน
- รูปแบบของฝนอันเนื่องมาจากพายุหมุนเขตร้อน
- การพัฒนาวิธีการวัดการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวในประเทศไทย

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ: -การพยากรณ์ความกดอากาศและทิศทางลมด้วยแบบจำลอง

ภูมิอากาศโลก

