



การพยากรณ์ความกดอากาศและทิศทางลมด้วยแบบจำลองภูมิอากาศโลก

สุนิสา สายอุปราช

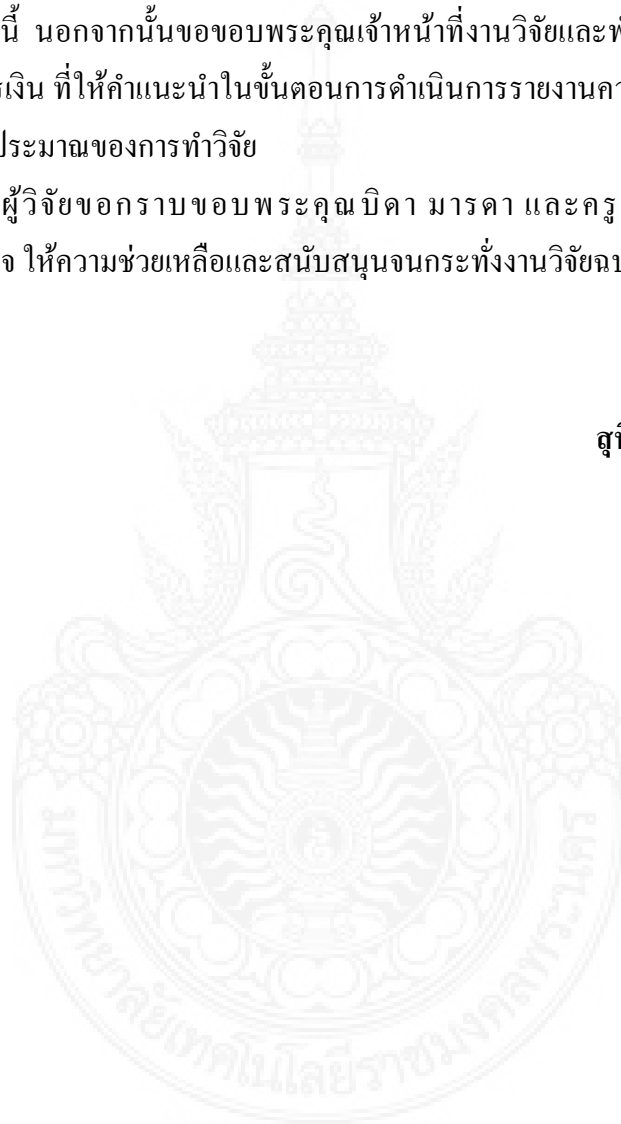
งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยจากงานวิจัย เรื่อง การพยากรณ์ความกดอากาศและทิศทางลมด้วยแบบจำลองภูมิอากาศโลก ขอขอบพระคุณอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และคณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณ ดร.ศุภฤกษ์ สุขวัฒน์ ที่ให้คำแนะนำและเป็นพี่ปรึกษาของงานวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่งานวิจัยและพัฒนา ผู้ประสานงานวิจัย และหัวหน้างานการเงิน ที่ให้คำแนะนำในขั้นตอนการดำเนินการรายงานความก้าวหน้าในการทำวิจัยและการเบิกจ่ายงบประมาณของการทำวิจัย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูอาจารย์ ของผู้วิจัยทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุนิสา สายอุปราช



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	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 ความกดอากาศและการเกิดลม	4
2.1.2 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov Exponent: LE)	6
2.1.3 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (Finite Time Lyapunov Exponent: FTLE)	7
2.2 การทดสอบความแม่นยำในการพยากรณ์	8
2.2.1 ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE)	8
2.2.2 รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (Root Mean Square Error: RMSE)	8
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. ระเบียบวิธีการวิจัย	10
3.1 แบบจำลองภูมิอากาศโลก (Global Climate Model)	10
3.2 ข้อมูล	10
3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล	10
3.2.2 บริเวณที่ใช้ในการทดลอง (The domain)	11
3.3 การประมวลผลการพยากรณ์	12
4. ผลของการทดลอง	13
4.1 ผลการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก	13
4.2 ผลของการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ความกดอากาศและลม	16
5. สรุปผล และข้อเสนอแนะของการทดลอง	17
5.1 สรุปผลการทดลอง	17
5.2 ข้อเสนอแนะ	17
บรรณานุกรม	18
ประวัติคณะผู้วิจัย	19

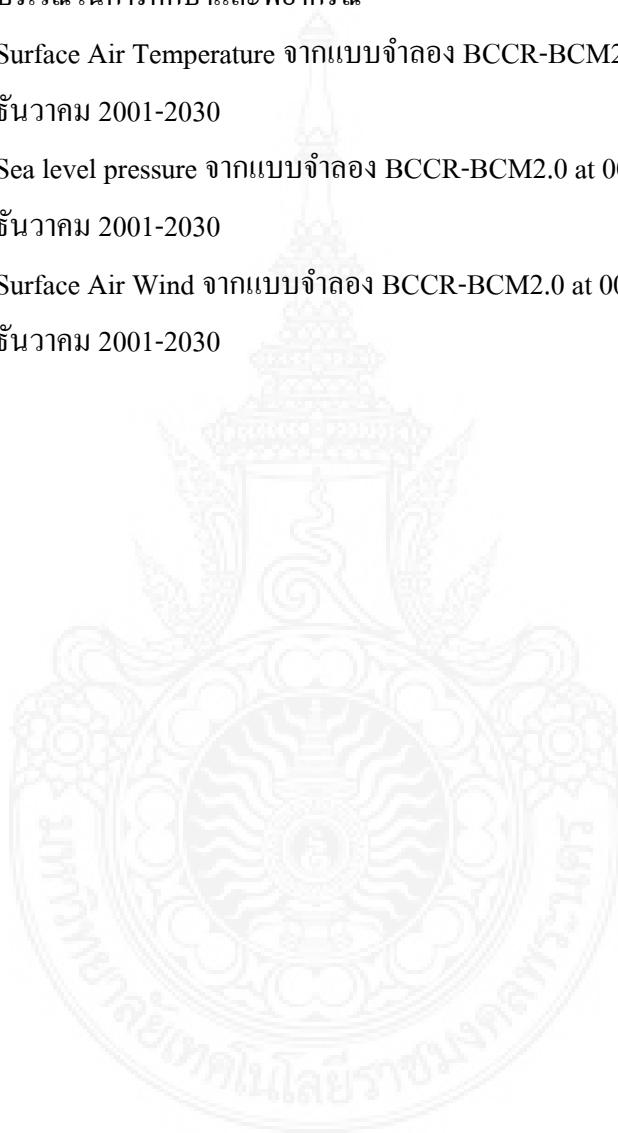
สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แหล่งของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย	11
4.1	ค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ความกดอากาศ	16
4.2	ค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ลม	16



สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	บารอมิเตอร์ชนิดปรอท	8
3.1	บริเวณในการศึกษาและพยากรณ์	11
4.1	Surface Air Temperature จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 at 0000UT ชั้นวาคม 2001-2030	13
4.2	Sea level pressure จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 at 0000UT ชั้นวาคม 2001-2030	14
4.3	Surface Air Wind จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 at 0000UT ชั้นวาคม 2001-2030	15



รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

T	อุณหภูมิ
n	จำนวนตัวแปร
P	ความดัน
ρ	ความหนาแน่น
q	ความชื้นที่เฉพาะเจาะจง
g	แรงโน้มถ่วง
Ω	การหมุนของโลก
F_d	แรงต้านของโลก
F	แรงกดอากาศ
A	พื้นที่รองรับแรงดัน
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
$\delta x(0)$	คือ ระยะทางระหว่างค่าจริงในการพยากรณ์ เมื่อ เวลา t ,
$\delta x(\Delta t)$	คือ ระยะทางระหว่างค่าจริงในการพยากรณ์ เมื่อ $t + \Delta t$,

คำศัพท์เฉพาะทางและตัวย่อ

H	High Pressure
L	Low Pressure
LE	Lyapunov Exponent
FTLE	Finite Time 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

ในปัจจุบันถือได้ว่าสภาพภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมากเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม มลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม ฝุ่นควันจากการจราจรของรถยนต์บนท้องถนน ฝุ่นละอองจากการเผาทำลายป่า เป็นต้น จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ทำให้สภาพภูมิอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลกระทบให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จนเกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming) นอกจากนั้นแล้วอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงยังส่งผลกระทบต่อความกดอากาศ (Air Pressure) มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยถ้าอุณหภูมิสูง อากาศจะขยายตัวทำให้ความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศโดยรอบจึงลอยตัวสูงขึ้นทำให้ความดันอากาศบริเวณนั้นต่ำกว่าบริเวณใกล้เคียง และเกิดเป็นบริเวณความกดอากาศต่ำ ซึ่งจะเป็นบริเวณที่อากาศไม่ดี มีเมฆและฝนมาก ส่วนบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ความหนาแน่นจะสูงกว่าอากาศโดยรอบจึงจมตัวลง ทำให้ความดันบริเวณนั้นสูงกว่าบริเวณใกล้เคียง จึงเป็นบริเวณความกดอากาศสูง ซึ่งจะมีเมฆน้อย และสภาพอากาศดี และเมื่อมีการเคลื่อนไหวของอากาศที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงและแตกต่างกันของความกดอากาศ อากาศบริเวณที่มีความกดอากาศสูงจะเคลื่อนที่เข้ามายังบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ มวลอากาศที่เคลื่อนที่ เราเรียกว่า "ลม" จึงกล่าวได้ว่า ลม เกิดจากการเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความกดอากาศสูงไปยังบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำนั่นเอง โดยการเคลื่อนที่ของลมจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความกดอากาศสูง และความกดอากาศต่ำ ถ้ามีความแตกต่างกันน้อยลมที่เกิดขึ้นจะเป็นลมเอื่อย และถ้ามีความแตกต่างกันมากจะกลายเป็นพายุได้ ดังนั้นการเกิดลม เป็นปรากฏการณ์ที่อากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้นและอากาศเย็นเคลื่อนที่เข้ามาแทน

จากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความกดอากาศและทิศทางลมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่างๆ เป็นอย่างมาก เช่น การเกิดลมพายุ การเกิดฝน และการเปลี่ยนแปลงของทิศทางลม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญเป็นอย่างมากกับการทำเกษตรกรรม เนื่องจากจะได้เตรียมพร้อมรับมือกับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างทันถ่วงที โดยการเตรียมความพร้อมในการบริหารจัดการทรัพยากรที่จะใช้เป็นตัวทุนในการผลิตทางด้านเกษตรกรรมและอื่นๆ เช่น ฝน น้ำ ลม ดังนั้นวิธีการเริ่มต้นที่จะทำให้ทราบได้ว่าทรัพยากรที่จะใช้เป็นตัวทุนในการเกษตรกรรมจะมีปริมาณมากน้อยเพียงพอทั้งในปัจจุบันและอนาคต ก็คือการพยากรณ์ตัวแปรที่จะทำให้เกิดผลกับต้นทุนในการทำเกษตรกรรม โดยตัวแปรที่สามารถพยากรณ์ได้ง่ายและทำให้ได้ผลการพยากรณ์ที่สามารถนำไปวิเคราะห์การเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตได้ ก็คือ ความกดอากาศ และลม

การพยากรณ์ความกดอากาศและลมถือเป็นการพยากรณ์คุณลักษณะของอากาศในอนาคตเกี่ยวกับการเกิดฝน การเกิดพายุ และสามารถอธิบายถึงทิศทางเคลื่อนที่ของลมได้ ซึ่งการพยากรณ์จะต้องมีข้อมูลเบื้องต้นที่เป็นตัวแปรหรือเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) เพื่อการพยากรณ์ที่ดีและมีประสิทธิภาพจึงจะทำให้การพยากรณ์นั้นเกิดผลที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น และหลังจากการพยากรณ์แล้วต้องทำการตรวจสอบหรือวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งในกระบวนการของการพยากรณ์ เนื่องจากการตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์ว่ามีความแม่นยำมากเพียงใดก่อนที่จะนำเสนอข้อมูลในการพยากรณ์นั้น

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการพยากรณ์ความกดอากาศและลมเพื่อวิเคราะห์การเกิดฝน ลมและพายุ ในอนาคตและนำมาวิเคราะห์เขียนเป็นแผนภาพสรุปการเกิดฝน ลมและพายุ ในพื้นที่บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมีประเทศไทยรวมอยู่ด้วย โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการพยากรณ์คือ แบบจำลองภูมิอากาศโลก (The Global Climate Model) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพ และทำการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ความกดอากาศและลมโดยใช้วิธีการวัดการพยากรณ์ที่ได้มาตรฐาน คือ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov exponent: LE) ซึ่งถือเป็นวิธีวัดการพยากรณ์ที่นิยมใช้มากและเป็นพื้นฐานของวิธีการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์วิธีอื่น ๆ นอกจากนั้นแล้วยังใช้วิธีการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์อีกวิธีหนึ่งก็คือ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (Finite Time Lyapunov exponent: FTLE) เพื่อให้การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพยากรณ์ความกดอากาศและลมบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก (BCCR-BCM2.0 Model)
2. เพื่อวิเคราะห์การเกิดฝน และทิศทางเคลื่อนที่ของลม
3. เพื่อตรวจสอบช่วงเวลาที่ฝนหนักและฝนแล้งในอนาคตสำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างเพียงพอ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก (Global Climate Model) คือ (BCCR-BCM2.0 Model) ในการพยากรณ์ความกดอากาศและลม
2. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยคือ ความเร็วลมในแนวแกน x (u), ความเร็วลมในแนวแกน y (v), Geopotential height (z), อุณหภูมิ (T)
3. บริเวณที่ทำการพยากรณ์ คือ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถพยากรณ์การเกิด ฝน และลม ในอนาคต โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพได้ และสามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และบริหารจัดการทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. สามารถนำไปเผยแพร่ตามหน่วยงานที่ดำเนินงานด้านการพยากรณ์ได้



บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการพยากรณ์ความกดอากาศและลม โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก คูแนวโน้ม การเกิดฝนและพายุและวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ด้วยตัวแบบเลขชี้กำลังไลยาพูนอฟ และเลขชี้กำลังไลยาพูนอฟเวลาจำกัด

2.1.1 ความกดอากาศและการเกิดลม

อากาศถือว่าเป็นก๊าซ แต่อากาศก็มีน้ำหนักเช่นเดียวกับของแข็งและของเหลว สามารถเรียกน้ำหนักซึ่งกดทับกันลงมานี้ว่า “ความกดอากาศ” (Air pressure) [1] ความกดอากาศจะมีความแตกต่างกับแรงที่เกิดจากน้ำหนักกดทับตรงที่ ความกดอากาศมีแรงดันออกทุกทิศทุกทาง เช่นเดียวกับแรงดันของอากาศในลูกโป่ง ความกดอากาศ [2] คือ ค่าของแรงดันอากาศต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่รองรับแรงดันนั้น

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

โดยที่ P คือ ความดัน ($N/m^2, Pascal$)

F คือ แรงกดอากาศ ($Newton, N$)

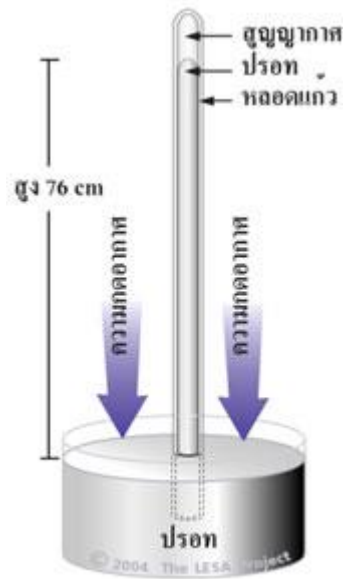
A คือ พื้นที่รองรับแรงดัน (m^2)

แรงดันอากาศมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่ ถ้าพื้นที่ (A) มากอากาศจะมีแรงดัน (F) มากกว่าพื้นที่น้อย แต่ความดัน (P) จะมีค่าน้อย เมื่อพื้นที่มาก ทั้งนี้เป็นไปตามสมการ $P = F/A$

อุปกรณ์วัดความกดอากาศ เรียกว่า “บารอมิเตอร์” (Barometer) หากทำการบรรจุปรอทใส่หลอดแก้วปลายเปิด แล้วคว่ำลงตามรูปที่ 2.1 ปรอทจะไม่ไหลออกจากหลอดจนหมด แต่จะหยุดอยู่ที่ระดับสูงประมาณ 760 มิลลิเมตร เนื่องจากอากาศภายนอกกดดันพื้นที่หน้าตัดของอ่างปรอทไว้ ความกดอากาศมีหน่วยวัดเป็น “มิลลิเมตรปรอท” “นิ้วปรอท” และ “มิลลิบาร์” โดยความกดอากาศที่พื้นผิวโลกที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง มีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท (29.92 นิ้วปรอท) หรือ 1013.25 มิลลิบาร์ ในปัจจุบันนักอุตุนิยมวิทยานิยมใช้ “มิลลิบาร์” เป็นหน่วยมาตรฐานในการวัดความกดอากาศ

1 มิลลิบาร์ = แรงกด 100 นิวตัน/พื้นที่ 1 ตารางเมตร

โดยที่แรง 1 นิวตัน คือ แรงที่ใช้ในการเคลื่อนมวล 1 กิโลกรัม ให้เกิดความเร่ง 1 (เมตร/วินาที)/วินาที



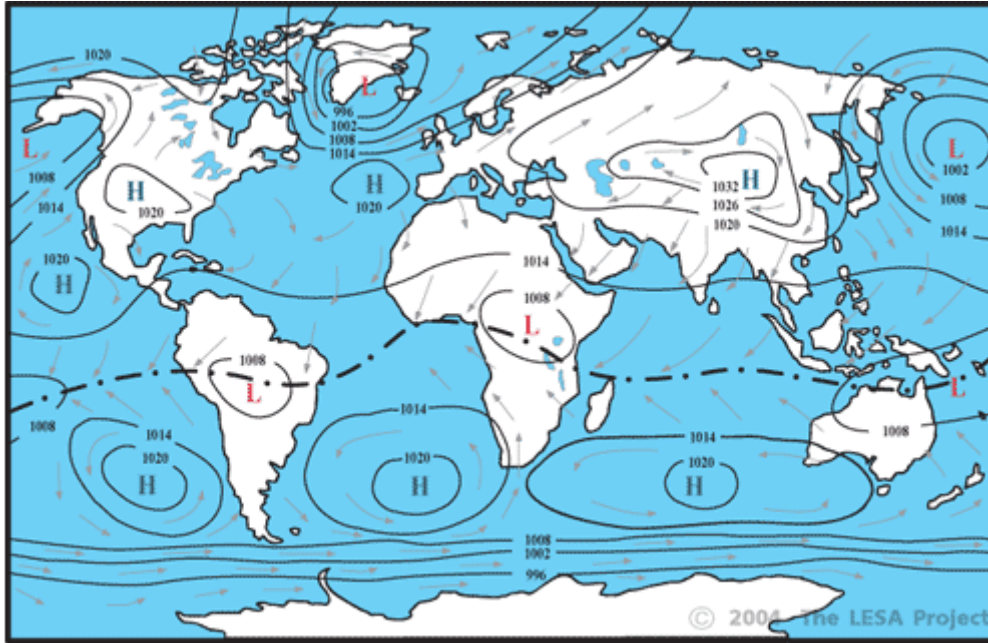
รูปที่ 2.1 บารอมิเตอร์ชนิดปรอท [1]

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความกดอากาศ

ยิ่งสูงขึ้นไป อากาศยิ่งบาง อุณหภูมิยิ่งต่ำ ความกดอากาศยิ่งลดน้อยตามไปด้วย เพราะฉะนั้น ความกดอากาศบนยอดเขา จึงมักจะน้อยกว่าความกดอากาศที่เชิงเขา

อากาศเย็นมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศร้อน จึงมีความกดอากาศมากกว่า เรียกว่า “ความกดอากาศสูง” (High pressure) ในแผนที่อุตุนิยมจะใช้อักษร “H” สีน้ำเงิน เป็นสัญลักษณ์ (รูปที่ 2.2)

อากาศร้อนมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศเย็น จึงมีความกดอากาศน้อยกว่า เรียกว่า “ความกดอากาศต่ำ” (Low pressure) ในแผนที่อุตุนิยมจะใช้อักษร “L” สีแดง เป็นสัญลักษณ์



รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงเกรเดียนของความกดอากาศ และทิศทางลม [1]

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลม

แรงเกรเดียนของความกดอากาศ (Pressure-gradient force) พื้นผิวโลกแต่ละบริเวณได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน พื้นที่ดังกล่าวจึงมีอุณหภูมิและความดันอากาศแตกต่างกันไป บนแผนที่ที่ดูคุณจะมีเส้นแสดงความกดอากาศเท่ากัน เรียกว่า “ไอโซบาร์” (Isobars) เส้นไอโซบาร์แต่ละเส้นจะมีค่าความกดอากาศแตกต่างกันเท่าๆ กัน เช่น แตกต่างกันทุกๆ 6 มิลลิบาร์เป็นต้น (รูปที่ 2.2) ถ้าหากเส้นไอโซบาร์อยู่ใกล้ชิดกันแสดงว่า ความกดอากาศเหนือบริเวณนั้นมีความแตกต่างกันมาก หรือมีแรง เกรเดียนมาก แสดงว่ามีลมพัดแรง แต่ถ้าเส้นไอโซบาร์อยู่ห่างกันแสดงว่า ความกดอากาศเหนือบริเวณนั้นมีความแตกต่างกันไม่มาก หรือมีแรงเกรเดียนน้อย แสดงว่ามีลมพัดอ่อน

2.1.2 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov Exponent: LE)

เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (LE) คือปริมาณทางคณิตศาสตร์ที่ใช้วัดความแตกต่างของเส้นโคจร เริ่มต้นกับเส้น โคจรที่อ่อนไหวต่อค่าเริ่มต้นและใช้กำหนดความเสถียรในแต่ละลักษณะของสถานะ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟในระบบพลวัต $f: R^n \rightarrow R^n$ ภายใต้อันโคจร $\mathbf{x}(t) = f(\mathbf{x}_0, t)$ และเงื่อนไขเริ่มต้น $\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0$ ใช้วัดการลู่เข้าหรือลู่ออกของสองเส้น โคจรในพื้นที่ ถ้าค่าของเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเป็นบวกแสดงว่าค่าเฉลี่ยเลขชี้กำลังลู่ออกหรือระบบเกิดความยุ่งเหยิง (chaos) แต่ถ้าเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเป็นลบแสดงว่าค่าเฉลี่ยเลขชี้กำลังลู่เข้า. 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 ดังนั้นเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟกำหนดคืออัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของระยะเริ่มต้น (the initial distance)

$$\lambda = \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{\|\delta(x_i(t + \Delta t))\|}{\|\delta(x_i(t))\|}, i=1,2,\dots,N \quad (2.2)$$

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

2.1.3 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (Finite Time Lyapunov Exponent: FTLE)

คือตัวเลขทางคณิตศาสตร์ที่ใช้วัดความอ่อนไหวระหว่างเส้นโคจรในแต่ละช่วงเวลา t ที่ได้จากการก่อกวนเงื่อนไขเริ่มต้น (perturbations of the initial conditions) กับเงื่อนไขเริ่มต้นซึ่งกำหนดให้ $\delta \mathbf{x}_i(t)$ คือส่วนเบี่ยงเบนของค่าการก่อกวนเริ่มต้นจากค่าเริ่มต้นโดยเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด λ กำหนดเป็น

$$\lambda(\mathbf{x}(t), \delta \mathbf{x}(t), \Delta t) = \frac{1}{\Delta t} \log \frac{\|\delta(x_i(t + \Delta t))\|}{\|\delta(x_i(t))\|}, i=1,2,\dots,N \quad (2.3)$$

เมื่อ $\lambda(\mathbf{x}(t), \delta \mathbf{x}(t), \Delta t)$ ขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นในสถานะ $\mathbf{x}(t)$, ค่าเริ่มต้นคาดเคลื่อน $\delta \mathbf{x}(t)$ และช่วงเวลา Δt . ดังนั้นเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัดใช้เป็นตัววัดการลู่เข้าและลู่ออกระหว่างสองเส้นโคจรในสนาม สามารถใช้ตรวจสอบระบบที่อ่อนไหวต่อเงื่อนไขเริ่มต้น ซึ่งถ้าเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด เป็นค่าบวกแสดงว่าเส้นโคจรลู่ออกจากกันและถ้าเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด เป็นค่าลบแสดงว่าเส้นโคจรลู่เข้าหากัน

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 แสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าประมาณได้ใกล้เคียงกับค่าจริง แต่ถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลองนี้ RMSE คำนวณได้ดังนี้ (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

Chisholm et al. (1969-70) [3] นำเสนอวิธีการที่เรียบง่ายขึ้นอยู่กับแผนภูมิการทำนายการเปลี่ยนแปลงความดันในระหว่างการไหลของสารผสมสองเฟสผ่านท่อ ในกรณีที่ไม่มีการระเหยและการอัด ผลกระทบเกิดจากการพยากรณ์ของการเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศ ซึ่งถือได้ว่าการพยากรณ์ความกดอากาศมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งสามารถทำนายความเสียหายที่จะเกิดจากแรงเสียดทานได้

Yoden et al. (2006) [4] 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) [5] แนะนำนิยามของความไม่เป็นเชิงเส้นของเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (nonlinear FTLE) สำหรับระบบยุ่งเหยิง ซึ่งความไม่เป็นเชิงเส้นของเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัดสามารถใช้หาประสิทธิภาพและปริมาณของการกำหนดช่วงการทำนายในระบบยุ่งเหยิงได้

L. R. Watson and W. H. Bauman (1980) [6] ได้นำเสนอเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือการประเมินความแตกต่างของแบบจำลอง WRF และแบบจำลองในรูปแบบอื่นที่สามารถทำนายความเร็วลมพื้นผิวและทิศทางได้ และถ้าการตั้งค่าของแบบจำลองสามารถพยากรณ์ได้ดี แสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์ที่น่าสนใจมากในเรื่องของความเร็วลมและทิศทางของลม โดยการพยากรณ์ของแบบจำลอง WRF จะเน้นเรื่องความเร็วลม เป็นสำคัญ

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการพยากรณ์ความกดอากาศและลมบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งมีประเทศไทยรวมอยู่ด้วย โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก (BCCR-BCM2.0 Model) และทำการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์โดยใช้วิธีการวัดการพยากรณ์ที่ได้มาตรฐาน คือ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov exponent) ซึ่งถือเป็นวิธีวัดการพยากรณ์ที่นิยมใช้มาก และเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (Finite Time Lyapunov exponent: FTLE) และวิเคราะห์การเกิดฝน และทิศทางการเคลื่อนที่ของลม นอกจากนี้ยังทำการตรวจสอบช่วงเวลาที่ฝนหนักและฝนแล้งในอนาคตสำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างเพียงพอในอนาคตต่อไป

3.1 แบบจำลองภูมิอากาศโลก (Global Climate Model)

แบบจำลองภูมิอากาศโลก (Global Climate Model) [7] ที่นำมาใช้ในการพยากรณ์ความกดอากาศและลมคือ The Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR), University of Bergen, Norway. Bergen Climate Model (BCM) Version 2.0 (BCCR-BCM2.0) นำมาจาก the World Climate Research Programme's (WCRP's) Coupled Model Intercomparison Project phase 3 (CMIP3) multi-model data set for the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2009). โดยแบบจำลองมีความละเอียด 2.8 องศา ลองจิจูด \times 2.8 องศา แลตติจูด, และใช้วิธีการประมวลผลเชิงตัวเลขด้วยวิธี semi-lagrangian semi-implicit time integration

3.2 ข้อมูล

3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล

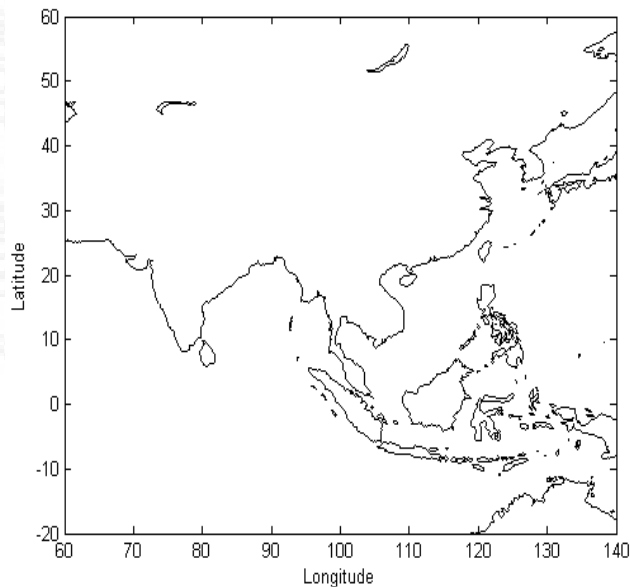
ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลครั้งนี้ประกอบไปด้วยช่วงเวลาของสภาพอากาศในอนาคต ตั้งแต่ ค.ศ. 2016-2100 ซึ่งแหล่งที่มาของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แหล่งของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

แหล่งข้อมูล	ตัวแปร	ปี ค.ศ.
1. 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).	1. ความเร็วลมในแนวแกน x (u) 2. ความเร็วลมในแนวแกน y (v) 3. ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล	ค.ศ. 2016-2100
2. European Centre for Medium Range Weather Forecast (ECMWF).	(Geopotential height (z)) 4. อุณหภูมิ (T)	

3.2.2 บริเวณที่ใช้ในการทดลอง (The domain)

บริเวณที่ใช้ในการทดลองประมวลผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองภูมิอากาศโลก แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บริเวณในการศึกษาและพยากรณ์

3.3 การประมวลผลการพยากรณ์

กระบวนการทดลองโดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก (BCCR-BCM2.0Model) ในการพยากรณ์ความกดอากาศและลม โดยตัวแปรที่ใช้ในการพยากรณ์ ได้แก่

1. ความเร็วลมในแนวแกน x (u)
2. ความเร็วลมในแนวแกน y (v)
3. ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (Geopotential height (z))
4. อุณหภูมิ (T)

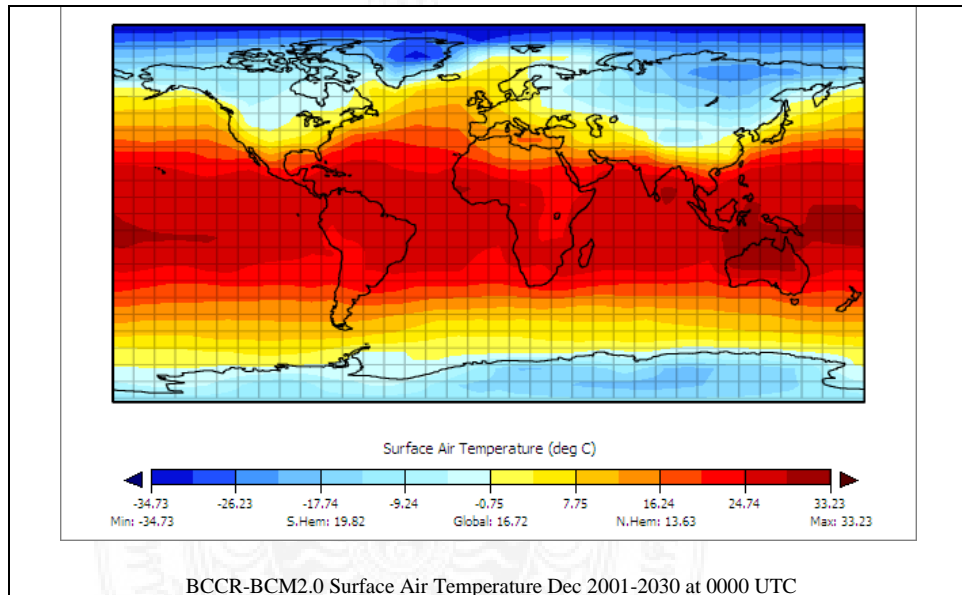
และทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยการจัดทำแผนภาพช่วงเวลาในการพยากรณ์ทุก 24 ชั่วโมง สุดท้ายทำการตรวจสอบความถูกต้องในการพยากรณ์ของแบบจำลองภูมิอากาศโลก ด้วยเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov Exponent: LE) และเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (Finite Time Lyapunov Exponent: FTLE)



บทที่ 4 ผลของการทดลอง

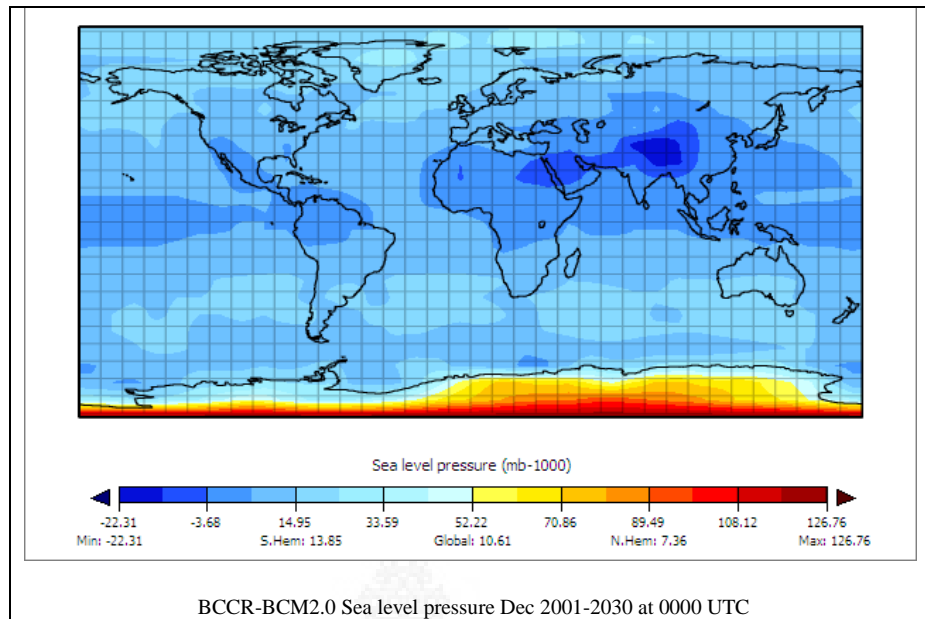
4.1 ผลการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก

งานวิจัยนี้ทำการประมวลผลการพยากรณ์ความกดอากาศและลม โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก (BCCR-BCM2.0 Model) ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการประมวลผลคือ ความเร็วลมในแนวแกน x (u), ความเร็วลมในแนวแกน y (v), ความกดอากาศเมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเล (Geopotential height (z)) และอุณหภูมิ (T) เริ่มต้นประมวลผลการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลเริ่มต้นของวันที่ 1 ธันวาคม ค.ศ. 2001 มาเป็นข้อมูลค่าเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ และทำการประมวลผลการพยากรณ์ตั้งแต่ ค.ศ. 2001-2030 เป็นระยะเวลา 30 ปี ซึ่งผลของการพยากรณ์ แสดงในรูปที่ 4.1-4.3



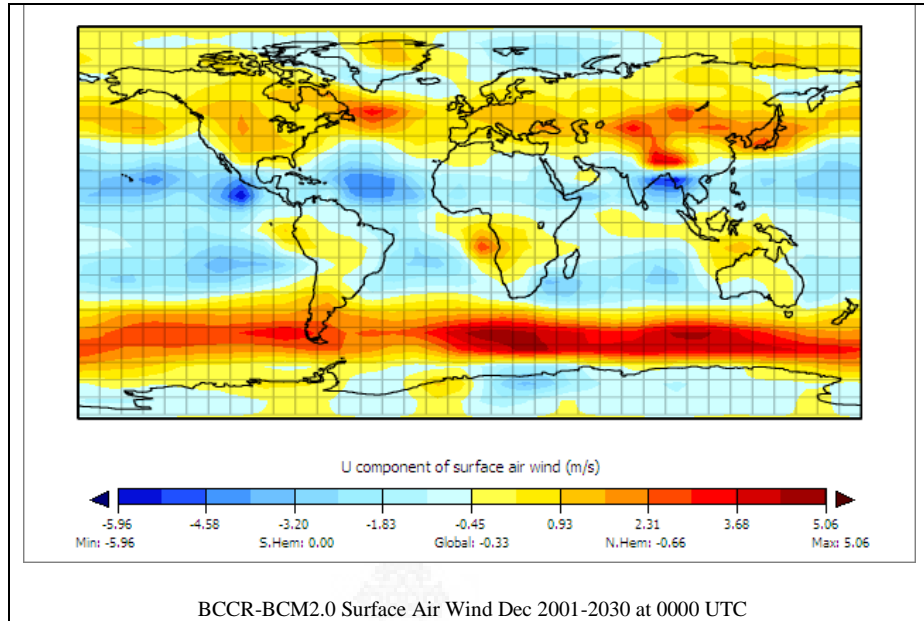
รูปที่ 4.1 Surface Air Temperature จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 at 0000UT ธันวาคม 2001-2030

จากรูปที่ 4.1 คือผลการพยากรณ์อุณหภูมิเฉลี่ย ระหว่าง ปี ค.ศ.2001-2030 จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 โดยพบว่าบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 36-37 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงส่งผลทำให้เกิดฝนแล้งเป็นบางพื้นที่



รูปที่ 4.2 Sea level pressure จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 at 0000UT
ธันวาคม 2001-2030

จากรูปที่ 4.2 คือผลการพยากรณ์ความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย ระหว่าง ปี ค.ศ.2001-2030 จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 โดยพบว่าบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีความกดอากาศต่ำถึงปานกลาง ดังนั้นจึงส่งผลทำให้เกิดฝนแล้งถึงปานกลางในบางพื้นที่



รูปที่ 4.3 Surface Air Wind จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 at 0000UT
ธันวาคม 2001-2030

จากรูปที่ 4.3 คือผลการพยากรณ์ลมเฉลี่ย ระหว่าง ปี ค.ศ.2001-2030 จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 โดยพบว่าบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีลมพัดระดับต่ำถึงปานกลาง ดังนั้นจึงส่งผลทำให้เกิดฝนแล้งเป็นบางพื้นที่

4.2 ผลของการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ความกดอากาศและลม

ตัวแบบวัดการพยากรณ์ที่ใช้เพื่อวัดความถูกต้องในการพยากรณ์ของแบบจำลองภูมิอากาศโลกคือ เลขชี้กำลังไลยาพูนอฟ (LE) และเลขชี้กำลังไลยาพูนอฟเวลาจำกัด (FTLE) โดยคำนวณจากค่าระหว่างแบบจำลองที่ควบคุมโดยไม่เปลี่ยนค่าเงื่อนไขเริ่มต้นกับแบบจำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ โดยค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ลมและความกดอากาศแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ความกดอากาศ

เวลาพยากรณ์ (ปี)	ตัวแบบวัดการพยากรณ์	
	LE	FTLE
5	-1.3465	-2.3390
10	-1.7854	-1.1212
15	-2.4400	-2.7781
20	2.4656	-3.1890
25	2.4198	3.4590
30	3.7610	4.4459

จากตารางที่ 4.1 พบว่าตัวแบบวัดความถูกต้องในการพยากรณ์เลขชี้กำลังไลยาพูนอฟและเลขชี้กำลังไลยาพูนอฟเวลาจำกัด มีค่าเป็นบวกสำหรับเวลาในการพยากรณ์ที่ 20 ปี แสดงว่าเกิดการลู่ออกของเส้นทางการเคลื่อนที่ของความกดอากาศ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองภูมิอากาศโลกสามารถพยากรณ์ความกดอากาศได้ถูกต้องเป็นเวลาเฉลี่ย 20 ปี

ตารางที่ 4.2 ค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ลม

เวลาพยากรณ์ (ปี)	ตัวแบบวัดการพยากรณ์	
	LE	FTLE
5	-0.5479	-0.5645
10	-0.6548	-0.6571
15	-0.5641	-0.5650
20	0.2349	0.4340
25	0.2311	0.5400
30	0.3401	0.5604

จากตารางที่ 4.2 พบว่าตัวแบบวัดความถูกต้องในการพยากรณ์เลขชี้กำลังไลยาพูนอฟและเลขชี้กำลังไลยาพูนอฟเวลาจำกัด มีค่าเป็นบวกสำหรับเวลาในการพยากรณ์ที่ 20 ปี แสดงว่าเกิดการลู่ออกของเส้นทางการเคลื่อนที่ของลม ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองภูมิอากาศโลกสามารถพยากรณ์ลมได้ถูกต้องเป็นเวลาเฉลี่ย 20 ปี

บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะของการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การพยากรณ์ความกดอากาศและลมถือได้ว่ามีความสำคัญในการคาดคะเนการเกิดฝนหนักหรือฝนแล้งในอนาคต ซึ่งการพยากรณ์ที่มีประสิทธิภาพต้องประกอบไปด้วยปัจจัยที่สำคัญ เช่น แบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ต้องมีประสิทธิภาพ และเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ต้องถูกต้อง โดยงานวิจัยนี้เป็นการพยากรณ์ความกดอากาศและลมโดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก BCCR-BCM2.0 model บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์คือ เลขชี้กำลังไลยาพูนอฟ (LE) และเลขชี้กำลังไลยาพูนอฟเวลาจำกัด (FTLE) โดยคำนวณจากค่าระหว่างแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ควบคุมโดยไม่เปลี่ยนค่าเงื่อนไขเริ่มต้นกับแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์ จากผลการพยากรณ์พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างปี ค.ศ. 2001-2030 เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ความกดอากาศต่ำถึงปานกลางและลมพัดระดับต่ำถึงปานกลาง ดังนั้นจึงทำให้เกิดฝนแล้งเป็นบางพื้นที่ บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองอื่นๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของการพยากรณ์ที่เกิดขึ้น
2. ควรใช้ตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ในลักษณะอื่นๆ ด้วย

บรรณานุกรม

[1] ชุดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์

http://portal.edu.chula.ac.th/lesa_cd/assets/document/lesa212/6/atm_pressure/atm_pressure/atm_pressure.html

[2] Information from Physics World

<http://physicsworld.nanacity.com/physicsworld/lesson/world13.htm?i=1>

[3] J.B.Elsner, R.E.Hodges, J.C.Malmstadt, K.N.Scheitlin: Hurricanes and Climate Change, Vol 2, Springer Science, New York, 2010, 5-6.

[4] D. Chisholm and L. A. Sutherland, Prediction of Pressure Gradients In Pipeline Systems During Two-Phase Flow, 184 (1970), 24-32.

[5] 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.

[6] R. Ding and J. Li, Nonlinear finite-time Lyapunov exponent and predictability, Physics Letters A 364 (2007), 396-400.

[7] L. R. Watson and W.H. Bauman, Weather Research and Forecasting Model Wind Sensitivity Study at Edwards Air Force Base, CA, ENSCO, Inc.

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 4159
โทรสาร: 02-8363000 ต่อ 4159
E-mail: sunisa.sa@rmutp.ac.th
5. ประวัติการศึกษา
2554 ปริญญาคุชฎบัณฑิต (ปร.ค.) สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2550 ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต (คอ.ม.) สาขาวิชาเทคโนโลยีและ
สื่อสารการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2548 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (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
- การพยากรณ์ความกดอากาศและทิศทางลมด้วยแบบจำลองภูมิอากาศโลก

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ: -

