



การพัฒนาเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้นเพื่อขยายการทำนาย  
มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

สุนิสา สายอุปราช  
ชวณี สุภีรัตน์  
ปิยธิดา รุจะศิริ

งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



Improvement of Boundary Condition for a Shallow Water Model  
to Extent Predictability of the Northeast Monsoon

Sunisa Saiuparad  
Chawanee Suphirat  
Piyatida Rujasiri

This Research in Funded by Faculty of Science and Technology  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon  
Year 2015

ชื่อเรื่อง การพัฒนาเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้นเพื่อขยายการทำนาย  
มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ผู้วิจัย นางสาวสุนิสา สายอุปราช, นางสาวชวณี สุภีรัตน์  
และนางสาวปิยธิดา รุจะศิริ

ปีที่ทำวิจัย พ.ศ. 2558

#### บทคัดย่อ

แบบจำลองน้ำตื้น (Shallow Water Model) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนามาจากสมการน้ำตื้น (Shallow Water Equation) ประกอบด้วยสมการไหลต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัมในรูปแบบไม่เชิงเส้น (non linear) ในแนวแกน  $x$  และแกน  $y$  โดยเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้นกำหนดโดย cyclic continuity ในแนวตะวันออกถึงตะวันตก และ open boundary conditions ในแนวเหนือใต้ ซึ่งจากการพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือโดยใช้แบบจำลองน้ำตื้นพบว่ายังไม่สามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องในระยะเวลาที่ยาวนานพอ เนื่องจากเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้นยังต้องมีการปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์มากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้น เพื่อให้แบบจำลองน้ำตื้นสามารถทำนายมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือสภาพอากาศอื่น ๆ ได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้วิธี wall boundary condition ในการแก้ไขปัญหาเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้น และจากการปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตด้วยวิธีดังกล่าวพบว่า แบบจำลองน้ำตื้นสามารถพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือได้ถูกต้องในระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้น

คำสำคัญ : การทำนาย/ เงื่อนไขขอบเขต/ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ / แบบจำลองน้ำตื้น

Title Improvement of Boundary Condition for a Shallow Water Model to Extent Predictability of the Northeast Monsoon

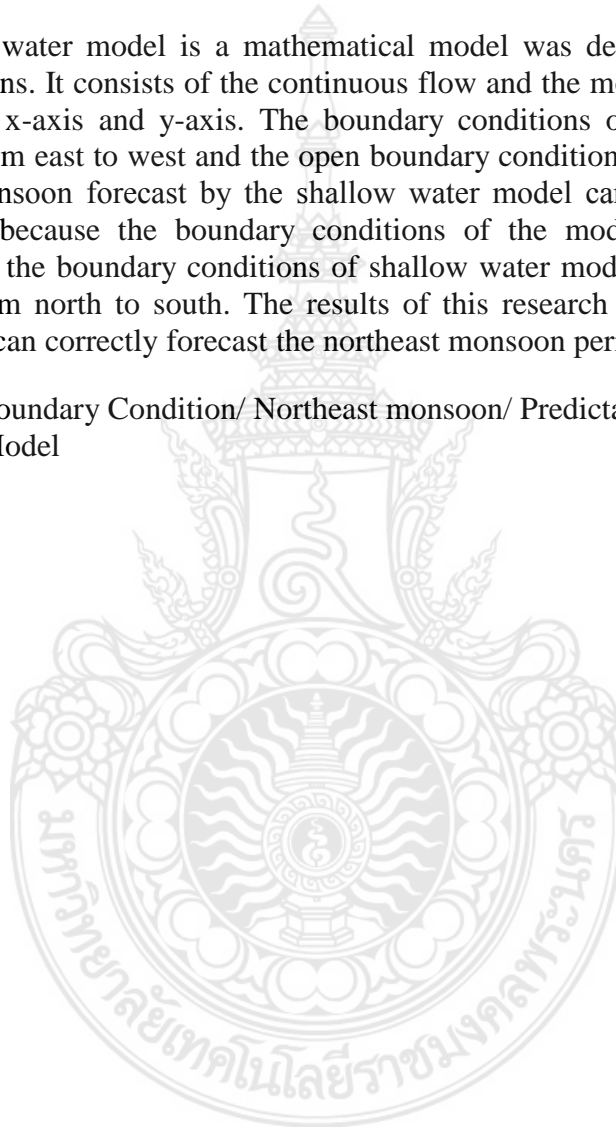
Researcher Miss Sunisa Saiuparad  
Miss Chawanee Suphirat  
Miss Piyatida Rujasiri

Year 2015

#### Abstract

The shallow water model is a mathematical model was developed from the shallow water equations. It consists of the continuous flow and the momentum equation of non-linear in the x-axis and y-axis. The boundary conditions of the model is the cyclic continuity from east to west and the open boundary conditions from north to south. The northeast monsoon forecast by the shallow water model can't be predicted in a long time period because the boundary conditions of the model has a problem. Thus, improvement the boundary conditions of shallow water model by using wall boundary condition from north to south. The results of this research to found that the shallow water model can correctly forecast the northeast monsoon period in the long term.

Keywords: Boundary Condition/ Northeast monsoon/ Predictability/ Shallow Water Model



## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยจากงานวิจัย เรื่องการพัฒนาเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้นเพื่อขยายการทำนาย  
มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ขอขอบพระคุณอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และ  
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและอำนวยความสะดวกในการ  
ดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณ ดร.ศุภฤกษ์ สุขวัฒน์ คณะ  
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้คำแนะนำและเป็นທີ່ปรึกษาของ  
งานวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณหัวหน้างานวิจัยและพัฒนาและผู้ปฏิบัติงาน ผู้ประสานงาน  
วิจัย และหัวหน้างานการเงิน ที่ให้คำแนะนำในขั้นตอนการดำเนินการรายงานความก้าวหน้าในการทำ  
วิจัยและการเบิกจ่ายงบประมาณของการทำวิจัย

ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครูอาจารย์ ของคณะผู้วิจัยทุกท่าน  
ที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(ก)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ฉ)
สารบัญรูปภาพ	(ช)
รายการสัญลักษณ์	(ซ)
คำศัพท์เฉพาะทางและตัวย่อ	(ณ)
<b>1. บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>3</b>
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1.1 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (Finite Time Lyapunov Exponent: FTLE)	3
2.1.2 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟขนาดจำกัด (Finite Size Lyapunov Exponent: FSLE)	3
2.1.3 เงื่อนไขขอบเขต Wall Boundary Condition	4
2.2 การทดสอบความแม่นยำในการพยากรณ์	6
2.2.1 ค่าผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE)	6
2.2.2 รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (Root Mean Square Error: RMSE)	6
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>3. ระเบียบวิธีการวิจัย</b>	<b>8</b>
3.1 แบบจำลองน้ำตื้น (Shallow Water Model)	8
3.2 ข้อมูล	9
3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองน้ำตื้น	9
3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองน้ำตื้น	10
3.3 ขอบเขตของบริเวณในการพยากรณ์	10
3.3.1 บริเวณที่ใช้ในการทดลอง	10
3.4 การออกแบบการทดลอง	11
3.4.1 การประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น	11
3.4.2 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของเงื่อนไขเริ่มต้นที่จะใช้ในการประมวลผล การพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น	12
<b>4. ผลของการทดลอง</b>	<b>14</b>
4.1 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของเงื่อนไขเริ่มต้นในการประมวลผล ของแบบจำลองน้ำตื้น	14
4.2 ผลการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองน้ำตื้น	15
4.2.1 การประมวลผลการพยากรณ์ครั้งที่ 1 (Run 1)	15
4.2.2 การประมวลผลการพยากรณ์ครั้งที่ 2 (Run 2)	17
4.3 ผลของการวัดประสิทธิภาพและความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ	20
<b>5. สรุปผล และข้อเสนอแนะของการทดลอง</b>	<b>23</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	23
5.2 ข้อเสนอแนะ	23
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>24</b>
<b>ประวัติคณะผู้วิจัย</b>	<b>28</b>

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง	9
3.2	การตั้งค่าสำหรับการประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น	12
3.3	การตั้งค่าสำหรับการทดสอบแบบจำลองน้ำตื้นในการประมวลผลการพยากรณ์	12
4.1	ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (RMSE: เมตร) ของแบบจำลองภูมิอากาศโลก EdGCM	14
4.2	ค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ	21
5.1	ผลการพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือโดยแบบจำลองน้ำตื้น	23





## สารบัญรูปร่างภาพ

รูปที่		หน้า
3.1	ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับประมวลผลของแบบจำลองน้ำขึ้น	10
3.2	บริเวณในการศึกษาและพยากรณ์	11
4.1	ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 02 ธ.ค. 2056 0000UT และเงื่อนไขเริ่มต้นในการประมวลผลการพยากรณ์คือ CTRL1, PER1 และ PER2	15
4.2	ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 04 ธ.ค. 2056 0000UT และผลการพยากรณ์ใน 48 ชั่วโมง จาก CTRL1, PER1 และ PER2	16
4.3	ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 06 ธ.ค. 2056 0000UT และผลการพยากรณ์ใน 96 ชั่วโมง จาก CTRL1, PER1 และ PER2	16
4.4	ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 08 ธ.ค. 2056 0000UT และผลการพยากรณ์ใน 144 ชั่วโมง จาก CTRL1, PER1 และ PER2	17
4.5	ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 02 ธ.ค. 2056 0000UT และเงื่อนไขเริ่มต้นในการประมวลผลการพยากรณ์คือ CTRL2, PER3 และ PER4	18
4.6	ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 04 ธ.ค. 2056 0000UT และผลการพยากรณ์ใน 48 ชั่วโมง จาก CTRL2, PER3 และ PER4.	18
4.7	ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 06 ธ.ค. 2056 0000UT และผลการพยากรณ์ใน 96 ชั่วโมง จาก CTRL2, PER3 และ PER4	19
4.8	ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 08 ธ.ค. 2056 0000UT และผลการพยากรณ์ใน 144 ชั่วโมง จาก CTRL2, PER3 และ PER4	19

## รายการสัญลักษณ์

### สัญลักษณ์

$T$	อุณหภูมิ
$n$	จำนวนตัวแปร
$p$	ความดัน
$\rho$	ความหนาแน่น
$q$	ความชื้นที่เฉพาะเจาะจง
$g$	แรงโน้มถ่วง
$\Omega$	การหมุนของโลก
$F_d$	แรงต้านของโลก
$R$	เวกเตอร์รังสี
$C$	การนำความร้อน
$c_p$	ความจุความร้อนที่ความดันคงที่
$E$	การระเหย
$S$	ความร้อนแฝง
$S_q$	การเปลี่ยนเฟส
$k$	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่
$R_d$	แก๊สคงที่อากาศแห้ง
$\delta$	ระยะระหว่างเส้น โจร
$\hat{x}_i$	ค่าพยากรณ์
$x_i$	ค่าจริง
$\Delta y_p$	ระยะทางที่เข้าใกล้ผนังจากพื้นผิวของแข็ง
$v$	ความเร็ว
$\tau_w$	wall shear stress

## คำศัพท์เฉพาะทางและตัวย่อ

CTRL	Control Run
FSLE	Finite Size Lyapunov Exponent
FTLE	Finite Time Lyapunov Exponent
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MAE	Mean Absolute Error
MSE	Mean Square Error
PER	Perturbed Run
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

ปัญหาในการคำนวณทางกลศาสตร์ของไหลส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้น (initial condition) และค่าเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) และสิ่งสำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือต้องมีความเข้าใจในกระบวนการเชิงตัวเลข (Versteeg, 2007) มีแบบจำลองเชิงตัวเลขมากมายที่พัฒนาขึ้นสำหรับแก้ปัญหาเชิงตัวเลขด้วยวิธีต่าง ๆ ซึ่งแบบจำลองน้ำตื้น (Shallow Water Model) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีปัญหาเกี่ยวกับเงื่อนไขค่าขอบเขตด้วยเหมือนกัน โดยเงื่อนไขขอบเขตกำหนดโดย cyclic continuity ในแนวตะวันออกถึงตะวันตก และ open boundary conditions ในแนวเหนือใต้ (Krishnamurti, 1986) ดังนั้น จึงทำให้การทำนายสภาพอากาศของแบบจำลองน้ำตื้นไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร มีวิธีการต่างๆ มากมายที่ช่วยในการแก้ไขปัญหาค่าขอบเขต เช่น outflow boundary condition, I.E. Vignon-Clementel et al. พัฒนาระบบการแก้ปัญหาค่าขอบเขตนี้ขึ้นสำหรับปริภูมิสามมิติ ในการสร้างแบบจำลองการไหลเวียนของเลือด (Vignon-Clementel, 2006) ซึ่งผลของการทดลองพบว่า วิธี outflow boundary condition สามารถแก้ปัญหาค่าขอบเขตของแบบจำลองการไหลเวียนของเลือดได้ดี นอกจากนั้นยังมีวิธีแก้ปัญหาค่าขอบเขตที่พัฒนามาจากวิธี outflow boundary condition นั่นก็คือวิธี outlet boundary conditions และวิธี inlet boundary conditions และยังมีวิธีแก้ปัญหาค่าขอบเขตอีกคือ วิธี open boundary conditions (OBCs) (Marchesiello, 2001) ซึ่งใช้ในแบบจำลองพื้นที่ทางทะเลเพื่อให้สามารถคาดคะเนพื้นที่ชายฝั่งที่ต้องการใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนั้น T. Li et al. ได้เสนอรายละเอียดของรูปแบบการแก้ปัญหาค่าขอบเขตที่สำคัญคือ wall boundary condition ของแก๊ส และของแข็งสำหรับการทำนายความถูกต้องในการไหล (Li, 2010) และ Iztok Tiselj et al. สร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของความเร็วลมและอุณหภูมิ และใช้ wall boundary condition ในการแก้ปัญหาค่าขอบเขตเช่นกัน (Iztok Tiselj, 2001)

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการแก้ปัญหาค่าขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้น เพื่อให้แบบจำลองน้ำตื้นสามารถทำนายสภาพอากาศได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้วิธี wall boundary condition ในการแก้ปัญหาค่าขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อแก้ปัญหาค่าขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้นในการทำนายมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือให้มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้แบบจำลองน้ำตื้นในการทำนายมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
2. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยคือ ความเร็วลมในแนวแกน x ( $u$ ), ความเร็วลมในแนวแกน y ( $v$ ) และ Geopotential height ( $z$ )

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถแก้ไขปัญหาเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้น (Shallow Water Model) ได้
2. ได้แบบจำลองน้ำตื้น (Shallow Water Model) ที่มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการทำนายมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และสภาพอากาศแบบอื่น ๆ



## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้นเพื่อขยายการทำนายมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือให้สามารถทำนายได้อย่างถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น ในการพัฒนาเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้นนั้น ได้ใช้วิธี Wall boundary condition เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนและเหมาะสมกับลักษณะของแบบจำลองน้ำตื้น นอกจากนี้ได้ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองน้ำตื้นในการพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ตัวแบบวัดการพยากรณ์ในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

#### 2.1.1 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (Finite Time Lyapunov Exponent: FTLE)

เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด คือ ตัวเลขทางคณิตศาสตร์ที่ใช้วัดความอ่อนไหวระหว่างเส้นโคจรในแต่ละช่วงเวลา  $t$  ที่ได้จากการก่อกวนเงื่อนไขเริ่มต้น (perturbations of the initial conditions) กับเงื่อนไขเริ่มต้นซึ่งกำหนดให้  $\delta \mathbf{x}_i(t)$  คือส่วนเบี่ยงเบนของค่าการก่อกวนเริ่มต้นจากค่าเริ่มต้นโดยเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (FTLE),  $\lambda$ , กำหนดเป็น

$$\lambda(\mathbf{x}(t), \delta \mathbf{x}(t), \Delta t) = \frac{1}{\Delta t} \log \frac{\|\delta \mathbf{x}_i(t + \Delta t)\|}{\|\delta \mathbf{x}_i(t)\|}, i=1,2,\dots,N \quad (2.1)$$

เมื่อ  $\lambda(\mathbf{x}(t), \delta \mathbf{x}(t), \Delta t)$  ขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้นในสถานะ  $\mathbf{x}(t)$ , ค่าเริ่มต้นคาดเคลื่อน  $\delta \mathbf{x}(t)$  และช่วงเวลา  $\Delta t$  ดังนั้นเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัดใช้เป็นตัววัดการถ่วงและถ่วงออกกระหว่างสองเส้นโคจรในสนาม สามารถใช้ตรวจสอบระบบที่อ่อนไหวต่อเงื่อนไขเริ่มต้น ซึ่งถ้าเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (FTLE) เป็นค่าบวกแสดงว่าเส้นโคจรถ่วงออกจากกันและถ้าเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (FTLE) เป็นค่าลบแสดงว่าเส้นโคจรถ่วงเข้าหากัน

#### 2.1.2 เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟขนาดจำกัด (Finite Size Lyapunov Exponent: FSLE)

เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟขนาดจำกัด คือ ตัววัดการพยากรณ์ทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาเพิ่มเติมมาจากเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ เป็นการวัดค่าเฉลี่ยการถ่วงและถ่วงออกกระหว่างเส้นโคจรบริเวณพื้นที่ที่กำหนดได้ดังนี้ (Ovidio, 2008)

$$\lambda(\delta) = \left\langle \frac{1}{t} \ln \left( \frac{\|\delta \mathbf{x}(t)\|}{\|\delta \mathbf{x}(0)\|} \right) \right\rangle \quad (2.2)$$

เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟขนาดจำกัด (FSLE) สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของอัตราการลู่ออก ตามช่วงเวลาต่าง ๆ  $\Delta t$  ที่เพิ่มขึ้นได้ดังสมการ

$$\lambda(\delta) = \frac{1}{\Delta t} \left\langle \ln \left( \frac{\|\delta \mathbf{x}(t + \Delta t)\|}{\|\delta \mathbf{x}(t)\|} \right) \right\rangle \quad (2.3)$$

เมื่อ  $\delta \mathbf{x}(t)$  คือระยะระหว่างสองเส้นโคจรที่เวลา  $t$   
 $\delta \mathbf{x}(t + \Delta t)$  คือระยะระหว่างสองเส้นโคจรที่เวลา  $t + \Delta t$ ,  
 $\Delta t$  คือช่วงเวลาของการพยากรณ์  
 และ  $\langle \dots \rangle$  คือค่าเฉลี่ยของทุกจุดในเส้นโคจร

เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟขนาดจำกัด (FSLE) มีค่าใกล้เคียงกับค่าเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด (Maximum Lyapunov exponent : MLE) (Aurell, 1997),

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \lambda(\delta) = \lambda_{\max} \quad (2.4)$$

คุณสมบัติของเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟขนาดจำกัด (Lacorata, 2001).

- 1) เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟขนาดจำกัดระหว่างเส้นโคจรที่  $\delta \rightarrow 0$  จะมีค่าเข้าใกล้เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมากที่สุด
- 2) ในการแพร่กระจาย,  $\langle \delta(t)^2 \rangle \approx t$ ,  $\lambda(\delta) \approx \delta^{-2}$  สัดส่วนของค่าคงที่คือลำดับสัมประสิทธิ์ของการกระจาย
- 3) ทุกๆ ความชัน  $> -2$  สำหรับ  $\lambda(\delta)$ ,  $\delta$  บ่งชี้ลักษณะของการกระจายของเส้นโคจร
- 4) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง, เมื่อ  $\lambda(\delta) =$  ค่าคงที่ที่มากที่สุดบนช่วงที่แยกกันระหว่างเส้นโคจรจะเกิดสภาวะความวุ่นวาย (chaotic advection).

### 2.1.3 เงื่อนไขขอบเขต Wall Boundary Condition

ผนังเป็นเงื่อนไขขอบเขตที่พบบ่อยที่สุดในปัญหาการไหลของของไหล โดยสถานการณ์ของการไหลที่ใกล้ผนังการแลกเปลี่ยนมวล โมเมนตัมและปริมาณสเกลาร์จะมีมาก (Georgia Tech, 2007) ในสนามความเร็ว ส่วนประกอบความเร็วของของไหลเท่ากับความเร็วของผนัง ดังสมการที่ 2.5

$$\bar{v}_t = v_{wall} = 0 \quad ; \quad \bar{v}_n = 0 \quad (2.5)$$

สนามมวล (Mass fluxes) มีค่าเป็นศูนย์

$$C_{wall} = \dot{m}\phi = 0 \quad (2.6)$$

แต่สนามการแพร่ไม่เท่ากับ ศูนย์ (Diffusive fluxes) ส่งผลให้ ผนังเกิดความตึง (wall-shear stresses)

$$D_{wall} = \int \tau_{ij} \vec{n} dS \quad (2.7)$$

จะจงให้เงื่อนไขแบบผนัง (wall boundary conditions) มีความดันขึ้นอยู่กับสถานการณ์การไหล ในการไหลที่มีเงื่อนไขแบบ von Neumann boundary condition สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial p}{\partial n} \Big|_{wall} = 0 \quad (2.8)$$

เงื่อนไขแบบผนัง (wall boundary condition) ขึ้นอยู่กับ Reynolds number  $Re_y = Uy/\nu$  (Versteeg, 2007) ถ้า  $y$  เพิ่มขึ้น ถึง 0, โดย Reynolds number เป็นพื้นฐานของ  $y$  และเพิ่มขึ้นจนถึง 0

นอกจากนั้นแล้ว ด้านข้างของผนังขอบเขตขึ้นอยู่กับความหนืด แต่ไม่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ (free stream parameters) นั่นคือ ความเร็วขึ้นอยู่กับระยะทางจากผนังขอบเขต ความหนาแน่น (fluid density  $\rho$ ) และความหนืด (viscosity  $\mu$ ) และ the wall shear stress  $\tau_w$ . ดังนั้น

$$U = f(y, \rho, \mu, \tau_w) \quad (2.9)$$

สามารถทำการวิเคราะห์โดย

$$u^+ = \frac{U}{u_\tau} = f\left(\frac{\rho u_\tau y}{\mu}\right) = f(y^+) \quad (2.10)$$

สมการที่ 2.10 คือกฎของ wall และประกอบไปด้วยนิยามที่สำคัญ ได้แก่ dimensionless groups,  $u^+$  และ  $y^+$  โดยสอดคล้องกับความเร็ว คือ  $u_\tau = \sqrt{\tau_w/\rho}$ , การปรับปรุงผนังค่าขอบเขตสามารถใช้สมการที่ 2.11 อ้างอิงได้

$$y^+ = \frac{\Delta y_p}{\nu} \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (2.11)$$

เมื่อ  $\Delta y_p$  คือ ระยะทางที่เข้าใกล้ผนังจากพื้นผิวของแข็ง  
 $\nu$  คือ ความเร็ว  
 $\tau_w$  คือ wall shear stress  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่น



## 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),

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{x}_i - x_i| \quad (2.12)$$

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 หมายความว่าไม่เกิดความคาดเคลื่อนในแบบจำลองนี้ RMSE คำนวณได้ดังนี้ (Ian, 2003)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_i)^2} \quad (2.13)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนตัวแปร  
 $\hat{x}_i$  คือ ค่าพยากรณ์  
 $x_i$  คือ ค่าจริง

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Liu et al. (2004) ศึกษาลำดับเวลาของ an urban hourly water consumption และหาความยุ่งเหยิง (the chaotic system) ของระบบ โดยระบบยุ่งเหยิงนั้นสามารถทดสอบโดยใช้เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟ (Lyapunov exponents) นอกจากนี้ยังใช้เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟในการประเมิน fractal dimensions และวิเคราะห์ Kolmogorov power spectra อีกด้วย ผลสรุปทำให้ทราบได้ว่าเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟมีนัยสำคัญ นอกจากนี้แล้วยังใช้เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟใหญ่สุดอีกด้วย (largest Lyapunov exponent).

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 นอกจากนี้เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัดอาจจะใช้วัดช่วงเวลาในการพยากรณ์ของการดำเนินการในการพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลข (Numerical Weather Prediction; NWP)

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

Joao H Bettencourt et al. (2013) ศึกษาแนวการเคลื่อนที่ของลมในปริภูมิสามมิติ โดยใช้ FSLE เป็นตัววัดเพื่อบอกลักษณะแนวการเคลื่อนที่ของลม ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน และพบว่า FSLE สามารถบอกลักษณะแนวการเคลื่อนที่ของลมได้

### บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้นให้สามารถพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือให้มีความถูกต้องในระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้น ซึ่งวิธีที่ใช้ในการปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตคือวิธี wall boundary condition ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ เลขชี้กำลังไลยาปูนอฟเวลาจำกัด (The finite time Lyapunov exponent: FTLE) และเลขชี้กำลังไลยาปูนอฟขนาดจำกัด (The Finite Size Lyapunov exponent: FSLE) ซึ่งตัวแบบวัดความถูกต้องในการพยากรณ์สามารถบ่งบอกลักษณะของอัตราการเคลื่อนที่ของเส้นโคจรในระบบกลศาสตร์ได้ นั่นคือลักษณะอัตราการเคลื่อนที่ของเส้นโคจรที่ลู่ออกหรือลู่เข้าหากันหรือลู่ออกจากกันสามารถตรวจสอบได้โดยตัวแบบวัดการพยากรณ์ดังกล่าว และใช้ Root Mean Square Error (RMSE) เป็นสถิติในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของเงื่อนไขเริ่มต้นที่จะใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองน้ำตื้น

#### 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

$f = 2\Omega \sin \theta$ , ( $\Omega$  คือความเร็วเชิงมุมของโลก  $\theta$  คือ แลตจิจูด)

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของเหลว

$p$  คือ ความดัน

$g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

## 3.2 ข้อมูล

### 3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองน้ำตื้น

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย คือข้อมูลในช่วงที่เกิดมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี ค.ศ. 2015-2056 จาก 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) from 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)

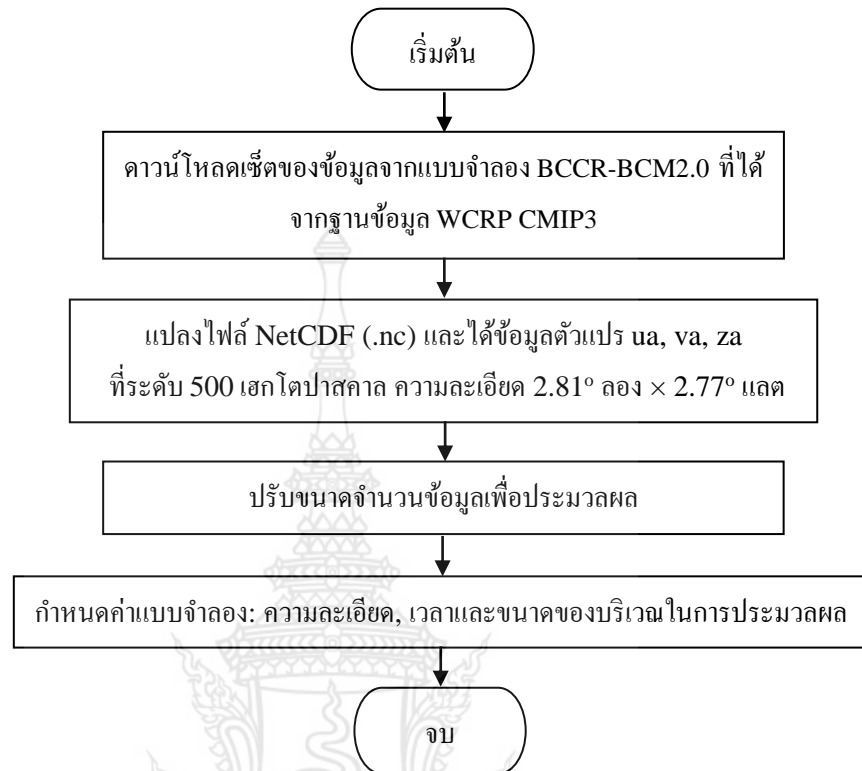
โดยแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 มีความละเอียด  $2.81^\circ$  ลองจิจูด  $\times$   $2.77^\circ$  แลตจิจูด, ใช้วิธีเชิงตัวเลขแบบ semi-lagrangian และ semi-implicit time integration โดยลักษณะสภาพอากาศในการทำนายเป็นแบบ A2 scenario ซึ่งได้จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 ใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าสำหรับแบบจำลองน้ำตื้น โดยข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

เงื่อนไขเริ่มต้น	ตัวแปร
02 ธันวาคม 2056 0000 UTC	(u), pcmdi.ipcc4.bccr_bcm2_0.sresa2.run1.daily.ua_A2_2056.nc
	(v), pcmdi.ipcc4.bccr_bcm2_0.sresa2.run1.daily.va_A2_2056.nc
	(z), pcmdi.ipcc4.bccr_bcm2_0.sresa2.run1.daily.zg_A2_2056.nc

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

### 3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองน้ำตื้น

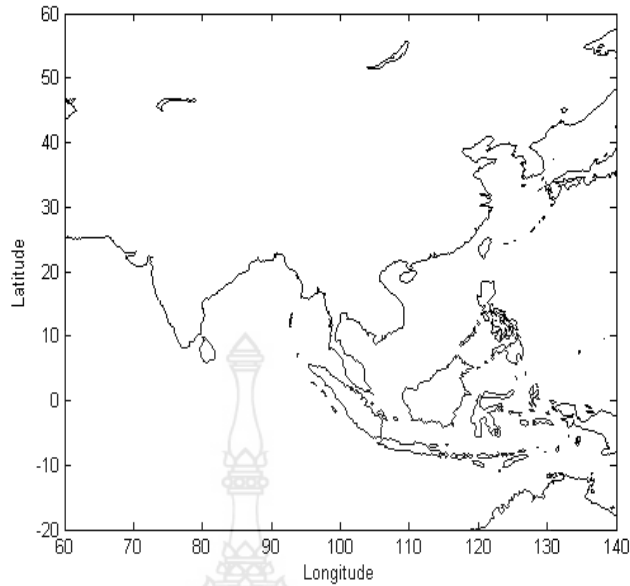


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลสำหรับประมวลผลของแบบจำลองน้ำตื้น

## 3.3 ขอบเขตของบริเวณในการพยากรณ์

### 3.3.1 บริเวณที่ใช้ในการทดลอง (The domain)

บริเวณที่ใช้ในการทดลองประมวลผลด้วยแบบจำลองน้ำตื้น คือ 180° ตะวันตก ถึง 180° ตะวันออก และ 40° ใต้ ถึง 80° เหนือ และบริเวณที่ศึกษา คือ ลองจิจูด 60° ตะวันออก ถึง 140° ตะวันออก และ แลตติจูด 20° ใต้ ถึง 60° เหนือ โดยพื้นที่ในการศึกษาและพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ระหว่างบริเวณ ลองจิจูดที่ 60° ตะวันออก ถึง 140° ตะวันออก และแลตติจูดที่ 20° ใต้ ถึง 60° เหนือ แสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 บริเวณในการศึกษาและพยากรณ์

### 3.4 การออกแบบการทดลอง

#### 3.4.1 การประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น

แบบจำลองน้ำตื้นประมวลผลด้วยขนาดกริด  $1 \times 1$  แลตจูด-ลองจูด โดยเงื่อนไขขอบเขตทางด้านตะวันออกจนถึงตะวันตกเป็นแบบ cyclic และเงื่อนไขขอบเขตทางด้านใต้ถึงด้านเหนือเป็นแบบ open โดยกำหนดให้เป็นการประมวลผลครั้งที่ 1 (RUNs 1) และทำการปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองทางด้านเหนือถึงด้านใต้โดยใช้ wall boundary condition และทำการประมวลผลครั้งที่ 2 (RUNs 2) ซึ่งการประมวลผลที่เป็นแบบควบคุม (CTRLs) จะใช้ข้อมูลจากตารางที่ 3.1 เป็นข้อมูลเริ่มต้นในการประมวลผลด้วยแบบจำลองน้ำตื้น และทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเริ่มต้น โดยการเพิ่มค่าของตัวแปร  $z$  (geopotential height) ในบริเวณที่มีความดันบรรยากาศที่จะก่อให้เกิดมรสุม เรียกว่า การประมวลผลแบบเปลี่ยนแปลงค่าความดันบรรยากาศ (PERs) โดยรายละเอียดของข้อมูลในการพยากรณ์สรุปในตารางที่ 3.2 และ ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 การตั้งค่าสำหรับการประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น

รายละเอียด	RUN1	RUN2
บริเวณ (Domain)	long: 180°W to 180°E, lat: 40°S to 80°N.	long: 180°W to 180°E, lat: 40°S to 80°N.
ความละเอียด	$\Delta x = \Delta y = 1^\circ$ , $\Delta t = 60 (s)$	$\Delta x = \Delta y = 1^\circ$ , $\Delta t = 60 (s)$
ข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้น	BCCR-BCM2.0 (A2 scenario), 02 Dec 2056, 500 hecto Pascal (hPa)	BCCR-BCM2.0 (A2 scenario), 02 Dec 2056, 500 hecto Pascal (hPa)
เงื่อนไขขอบเขต	Cyclic in the west-east boundary Open in the north-south boundary	Cyclic in the west-east boundary Wall in the north-south boundary
ระยะเวลาในการพยากรณ์	7 วัน	7 วัน

ตารางที่ 3.3 การตั้งค่าสำหรับการทดสอบแบบจำลองน้ำตื้นในการประมวลผลการพยากรณ์

เงื่อนไขเริ่มต้น	การทดลอง		Case Description
	RUN1	RUN2	
02 ธันวาคม 2056	CTRL1	CTRL2	การพยากรณ์แบบควบคุมใช้ข้อมูลเริ่มต้นในการพยากรณ์จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 (A2 scenario)
	PER1	PER3	ข้อมูลเริ่มต้นได้มาจากการเพิ่มค่าของตัวแปร z (geopotential height) ในบริเวณที่มีความดันบรรยากาศที่จะก่อให้เกิดมรสุม 5%
	PER2	PER4	ข้อมูลเริ่มต้นได้มาจากการลดค่าของตัวแปร z (geopotential height) ในบริเวณที่มีความดันบรรยากาศที่จะก่อให้เกิดมรสุม 5%

### 3.4.2 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของเงื่อนไขเริ่มต้นที่จะใช้ในการประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้น

การวิเคราะห์เงื่อนไขข้อมูลเริ่มต้นเพื่อใช้ในการประมวลผลการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองน้ำตื้น ใช้วิธีการกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด Root Mean Square Error (RMSE) วัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณจากแบบจำลองยกกำลังสอง ถ้าค่ารากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด มีค่าน้อย แสดงว่าค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่ทำการเปลี่ยนแปลงสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง และสามารถนำมาเป็นเงื่อนไขข้อมูลเริ่มต้นในการประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองน้ำตื้นได้ ดังสมการที่ 3.5

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_i)^2} \quad (3.5)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนตัวแปร  
 $\hat{x}_i$  คือ ค่าพยากรณ์  
 $x_i$  คือ ค่าจริง





## บทที่ 4 ผลของการทดลอง

### 4.1 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของเงื่อนไขเริ่มต้นในการประมวลผลของแบบจำลองน้ำตื้น

ค่าของข้อมูลที่ใช้เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นในการประมวลผลการพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือด้วยแบบจำลองน้ำตื้นนั้นต้องเป็นค่าที่เหมาะสมและมีค่าที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่แตกต่างกันนั้นมาจากค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกัน ถ้าการพยากรณ์ที่มีค่าเงื่อนไขเริ่มต้นแตกต่างออกไปมากก็จะทำให้การวิเคราะห์การพยากรณ์ทำได้ยากและไม่สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ถูกต้อง ดังนั้นค่าเงื่อนไขเริ่มต้นต้องมีค่าไม่เกิน 5% ของค่าข้อมูล geopotential height ของความสูงที่ 5,500 เมตร ที่มาจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก และสามารถใช้อำนาจกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาดในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของเงื่อนไขเริ่มต้นเพื่อใช้ในการพยากรณ์ ดังนั้นค่าอำนาจกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาดในการวิเคราะห์ค่าที่ได้จากการประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองที่ก่อกวน (PER1, PER2, PER3 และ PER4) แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าอำนาจกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (RMSE: เมตร) ของแบบจำลองภูมิอากาศโลก EdGCM.

จำนวนชั่วโมงที่ พยากรณ์ (ชม.)	รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (RMSE)			
	PER1 ( $\pm$ เพิ่มขึ้น 5%)	PER2 ( $\pm$ ลดลง 5%)	PER3 ( $\pm$ เพิ่มขึ้น 5%)	PER4 ( $\pm$ ลดลง 5%)
24	138.43	134.57	127.34	126.56
48	156.59	148.90	127.90	132.12
72	146.04	157.25	146.68	147.56
96	177.04	169.49	158.09	156.90
120	188.73	177.91	167.01	166.96
148	187.23	199.56	189.57	178.43
172	194.57	207.12	197.89	186.22

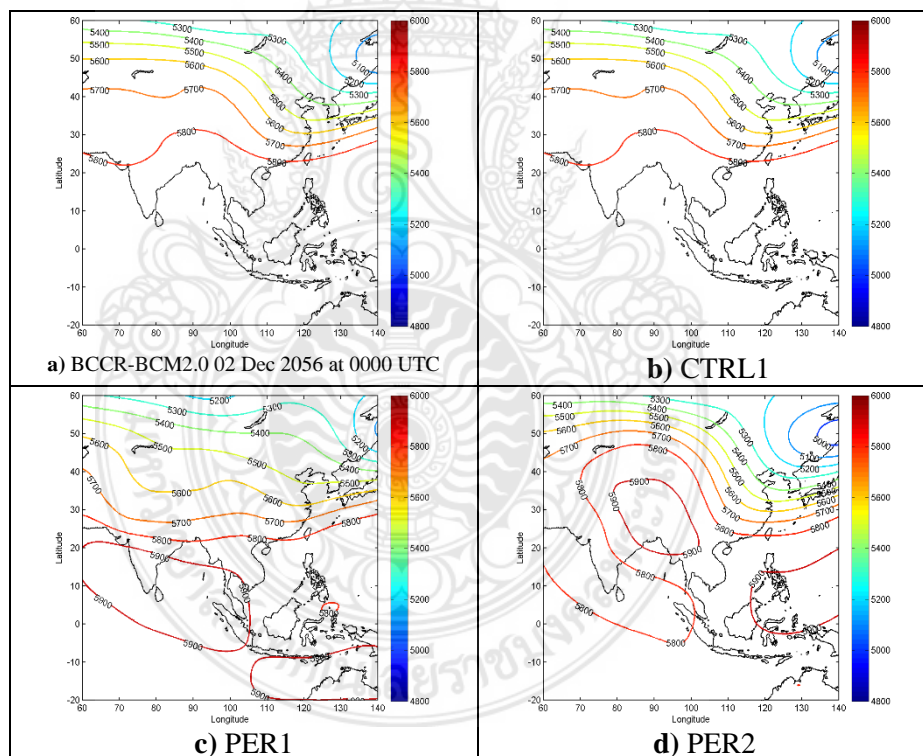
จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าอำนาจกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาดของค่าที่ได้จากการประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองที่ก่อกวน (PER1, PER2, PER3 และ PER4) มีค่าไม่เกิน 5% ของความสูงที่ 5,500 เมตร (น้อยกว่า 275 เมตร) ดังนั้นค่าที่ได้จากการประมวลผลการพยากรณ์ของแบบจำลองที่ก่อกวน (PER1, PER2, PER3 และ PER4) สามารถนำไปใช้ในการทดสอบการพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือของแบบจำลองน้ำตื้นได้

## 4.2 ผลการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองน้ำตื้น

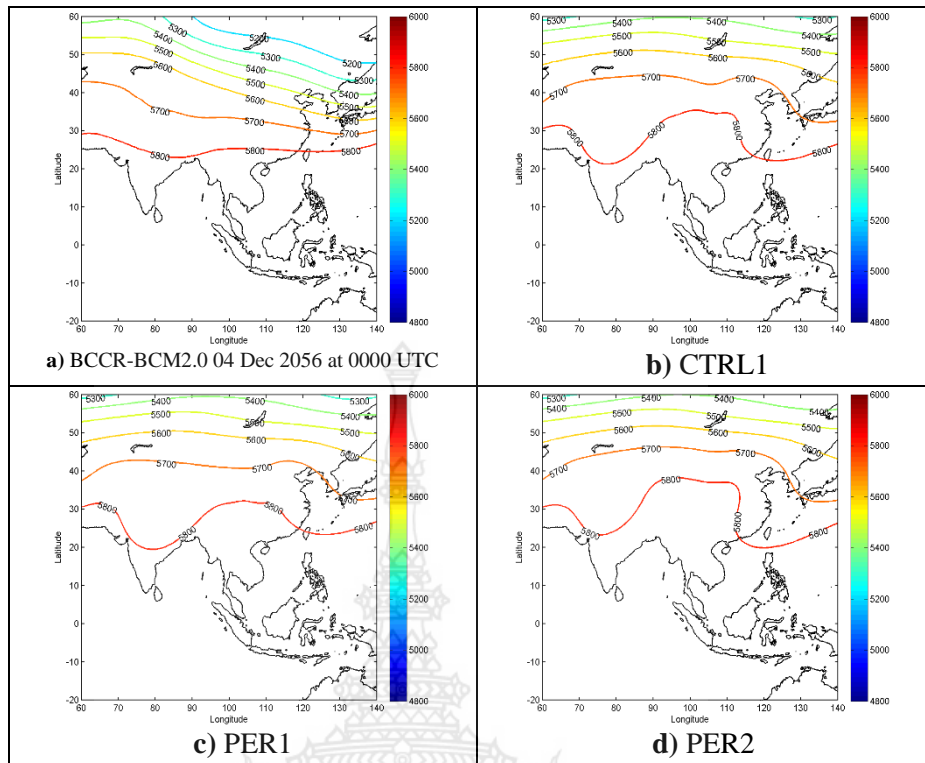
งานวิจัยนี้ทำการประมวลผลการพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือโดยใช้แบบจำลองน้ำตื้นที่ทำการพัฒนาเงื่อนไขขอบเขตด้วยวิธี wall boundary condition ซึ่งได้เลือกช่วงเวลาของเดือนธันวาคม 2056 มาเป็นข้อมูลค่าเงื่อนไขเริ่มต้นในการพยากรณ์

### 4.2.1 การประมวลผลการพยากรณ์ครั้งที่ 1 (Run 1)

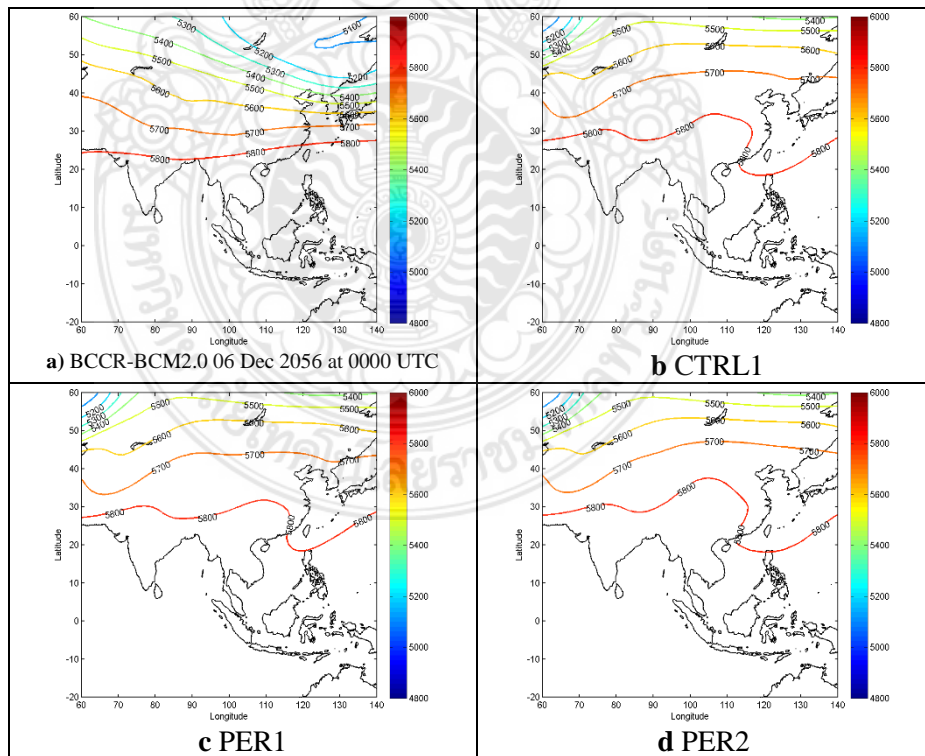
แบบจำลองประมวลผลการพยากรณ์ด้วยขนาดกริด  $1 \times 1$  องศา แลต-ลอง โดยเงื่อนไขขอบเขตด้านทิศตะวันออกถึงทิศตะวันตกใช้วิธี cyclic และเงื่อนไขขอบเขตทางด้านทิศเหนือถึงด้านทิศใต้ใช้วิธี open ซึ่งเวลาในการประมวลผลข้อมูลของการพยากรณ์จะแสดงผลทุก ๆ 60 วินาที ขนาดบริเวณที่ใช้ในการทดสอบคือ ลองจิจูด  $180^{\circ}\text{W}$  ถึง  $180^{\circ}\text{E}$  และ แลตติจูด  $40^{\circ}\text{S}$  to  $80^{\circ}\text{N}$  และกำหนดให้แบบจำลองประมวลผลการพยากรณ์ 7 วัน ซึ่งผลของการพยากรณ์ แสดงในรูปที่ 4.1-4.4.



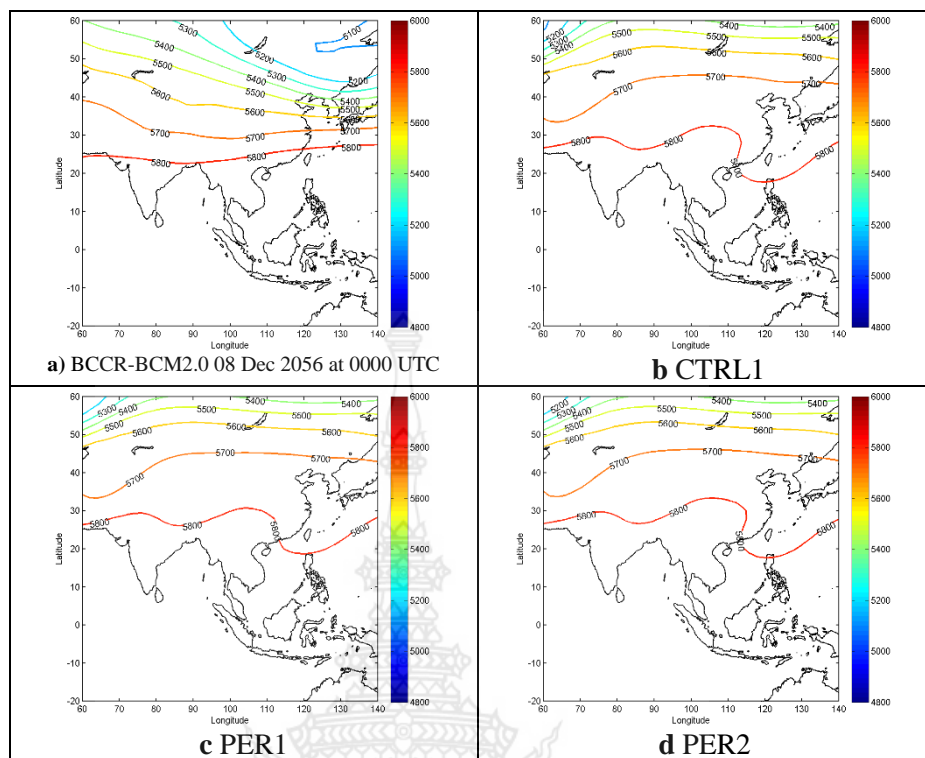
รูปที่ 4.1 ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 02 ธ.ค. 2056 0000UT และเงื่อนไขเริ่มต้นในการประมวลผลการพยากรณ์คือ CTRL1, PER1 และ PER2



รูปที่ 4.2 ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 04 ธ.ค. 2056 0000UT และผลการพยากรณ์ใน 48 ชั่วโมง จาก CTRL1, PER1 และ PER2



รูปที่ 4.3 ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 06 ธ.ค. 2056 0000UT และผลการพยากรณ์ใน 96 ชั่วโมง จาก CTRL1, PER1 และ PER2

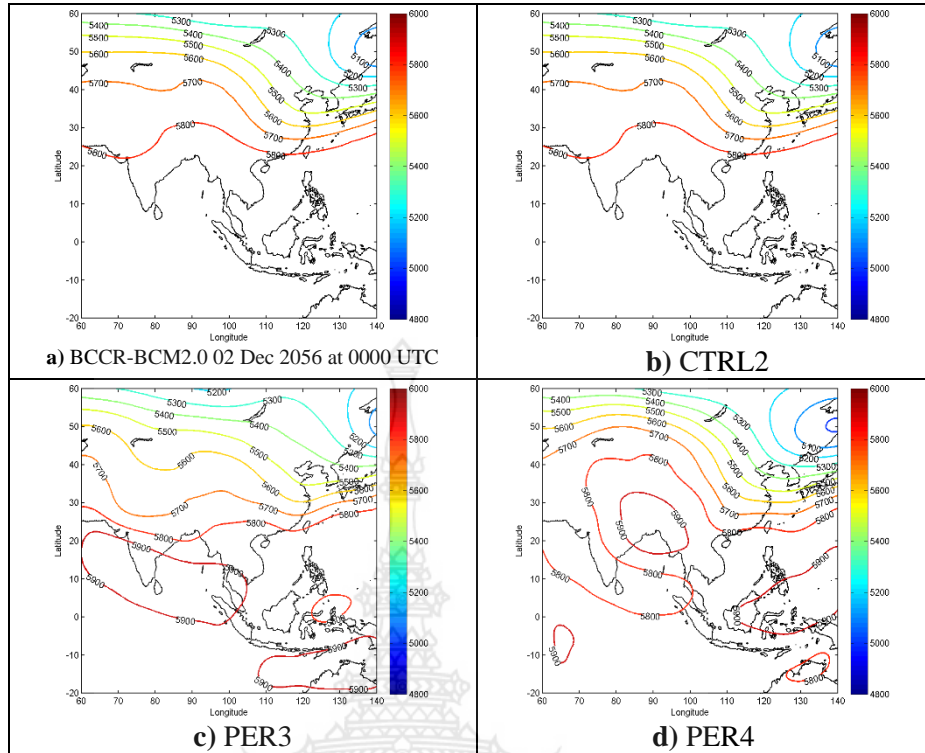


**รูปที่ 4.4** ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 08 ธ.ค. 2056 0000UT และผลการพยากรณ์ใน 144 ชั่วโมง จาก CTRL1, PER1 และ PER2

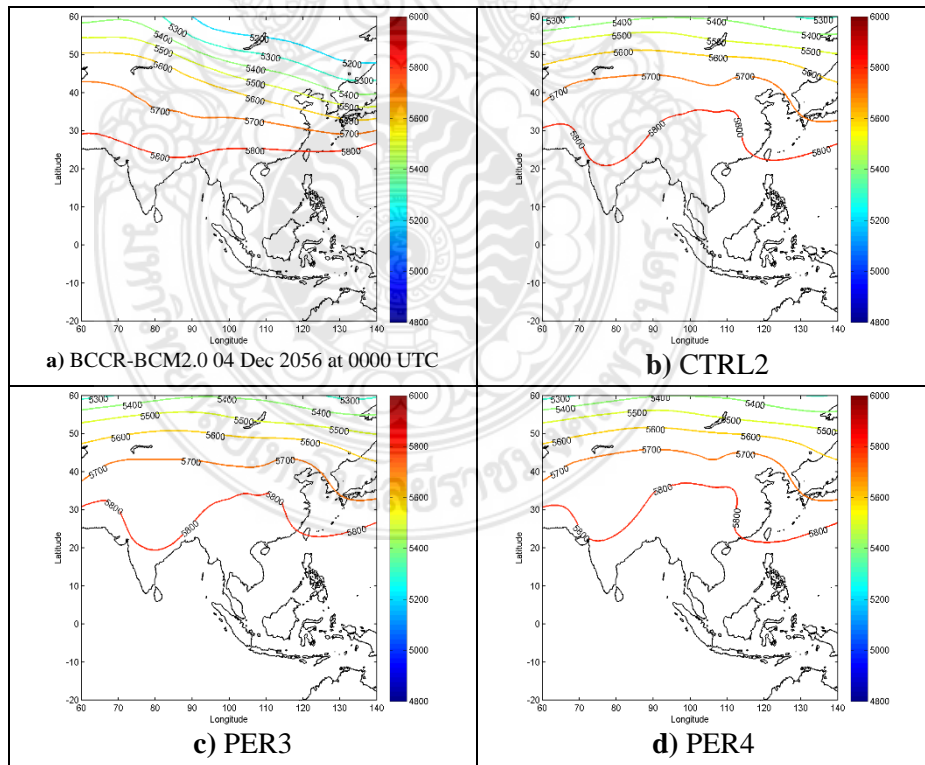
จากรูปที่ 4.1 - 4.4 พบว่า จากค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่แตกต่างกันผลของการพยากรณ์มีความแตกต่างกัน โดยถ้าเทียบผลการพยากรณ์จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 กับแบบจำลองนำต้นจะพบว่ามีค่าข้อมูลที่ ได้จากการพยากรณ์แตกต่างกันมาก และในส่วนของผลการพยากรณ์ที่ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นได้จากการ ก่อทวน (PER1, PER2) ผลของการพยากรณ์ที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับการพยากรณ์แบบควบคุม (CTRL1)

#### 4.2.2 การประมวลผลการพยากรณ์ครั้งที่ 2 (Run 2)

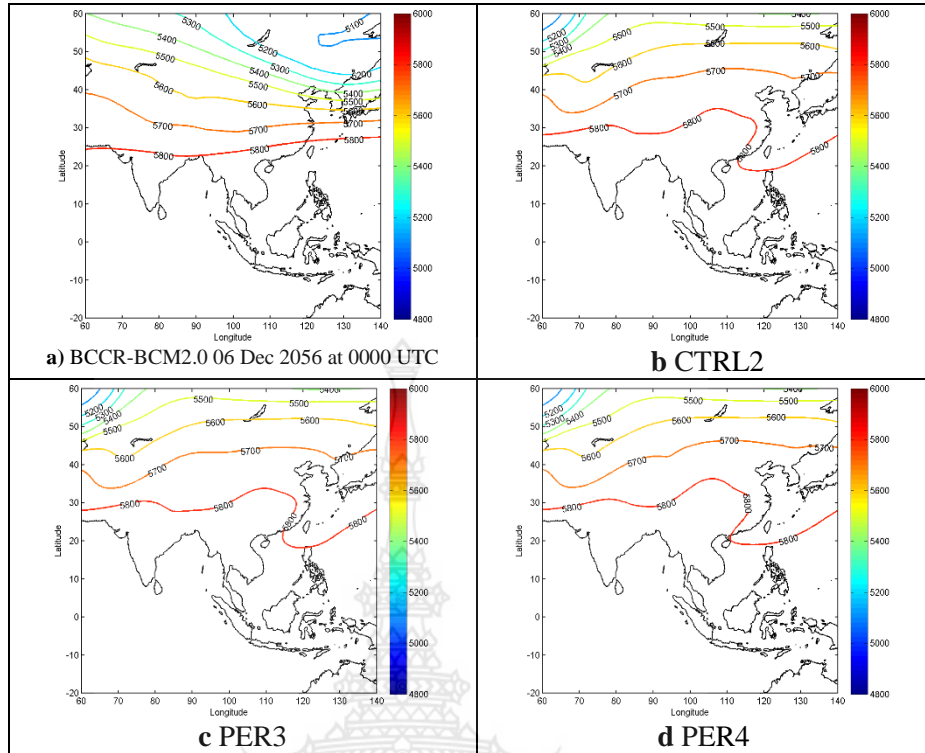
แบบจำลองประมวลผลการพยากรณ์ด้วยขนาดกริด  $1 \times 1$  องศา แลต-ลอง โดยเงื่อนไขขอบเขตด้านทิศ ตะวันออกถึงทิศตะวันตกใช้วิธี cyclic และเงื่อนไขขอบเขตทางด้านทิศเหนือถึงด้านทิศใต้ใช้วิธี wall boundary condition ซึ่งเวลาในการประมวลผลข้อมูลของการพยากรณ์จะแสดงผลทุก ๆ 60 วินาที ขนาดบริเวณที่ใช้ในการทดสอบคือ ลองจิจูด  $180^\circ\text{W}$  ถึง  $180^\circ\text{E}$  และ แลตติจูด  $40^\circ\text{S}$  to  $80^\circ\text{N}$  และ กำหนดให้แบบจำลองประมวลผลการพยากรณ์ 7 วัน ซึ่งผลของการพยากรณ์ แสดงในรูปที่ 4.5-4.8



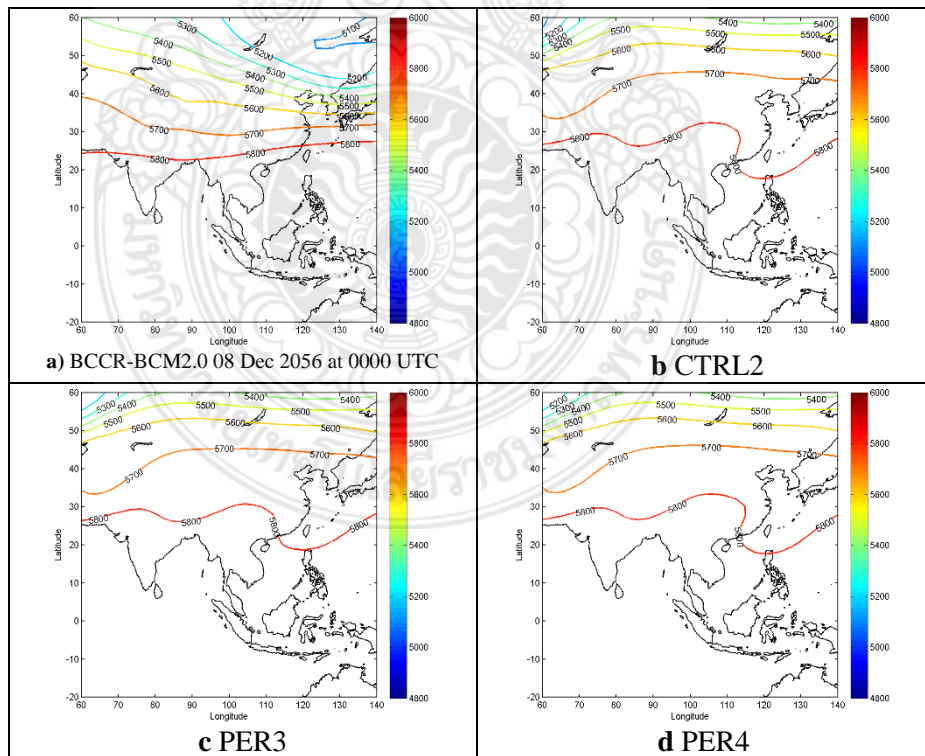
รูปที่ 4.5 ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 02 ธ.ค. 2056 0000UT และเงื่อนไขเริ่มต้นในการประมวลผลการพยากรณ์คือ CTRL2, PER3 และ PER4



รูปที่ 4.6 ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 04 ธ.ค. 2056 0000UT และผลการพยากรณ์ใน 48 ชั่วโมง จาก CTRL2, PER3 และ PER4.



รูปที่ 4.7 ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 06 ธ.ค. 2056 0000UT และผลการพยากรณ์ใน 96 ชั่วโมง จาก CTRL2, PER3 และ PER4



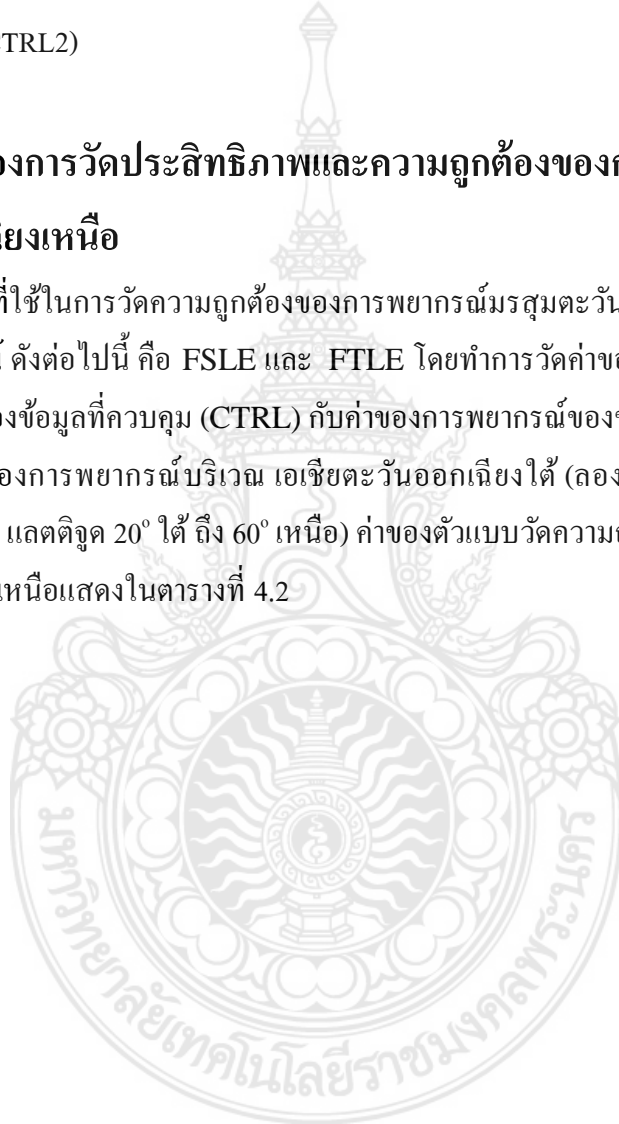
รูปที่ 4.8 ความดันบรรยากาศ (ม.) จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 วันที่ 08 ธ.ค. 2056 0000UT และผลการพยากรณ์ใน 144 ชั่วโมง จาก CTRL2, PER3 และ PER4



จากรูปที่ 4.5 - 4.8 พบว่า จากค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่แตกต่างกันผลของการพยากรณ์มีความแตกต่างกัน โดยถ้าเทียบผลการพยากรณ์จากแบบจำลอง BCCR-BCM2.0 กับแบบจำลองน้ำตื้นที่ได้ทำการปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองด้วยวิธี wall boundary condition แล้วนั้น พบว่าค่าข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์แตกต่างกัน แต่แตกต่างกันน้อยกว่าในกรณีที่แบบจำลองน้ำตื้นยังไม่ได้ทำการปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตด้วยวิธี wall boundary condition และในส่วนของผลการพยากรณ์ที่ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นได้จากการก่อกวน (PER3, PER4) ผลของการพยากรณ์ที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับการพยากรณ์แบบควบคุม (CTRL2)

### 4.3 ผลของการวัดประสิทธิภาพและความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ

ค่าของตัวแบบที่ใช้ในการวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือโดยใช้ตัวแบบวัดการพยากรณ์ ดังต่อไปนี้ คือ FSLE และ FTLE โดยทำการวัดค่าของการพยากรณ์ระหว่างค่าของการพยากรณ์ของข้อมูลที่ควบคุม (CTRL) กับค่าของการพยากรณ์ของข้อมูลที่ก่อกวน (PER) โดยวัดความถูกต้องของการพยากรณ์บริเวณ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ลองติจูด  $60^{\circ}$  ตะวันออก ถึง  $140^{\circ}$  ตะวันออก และ แลตติจูด  $20^{\circ}$  ใต้ ถึง  $60^{\circ}$  เหนือ) ค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแสดงในตารางที่ 4.2



ตารางที่ 4.2 ค่าของตัวแบบวัดความถูกต้องของการพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

เวลาพยากรณ์ (ชม.)	ตัวแบบ	Run 1		Run 2	
		PER1	PER2	PER3	PER4
24	FTLE	1.8304	0.4333	1.2004	1.1768
	FSLE	1.9462	0.4844	2.2365	1.2925
48	FTLE	0.8731	1.7484	1.2726	1.1698
	FSLE	1.9995	0.8291	1.3087	1.0570
72	FTLE	1.2196	<b>-0.9097</b>	2.0728	1.2738
	FSLE	<b>-1.3408</b>	<b>-0.9904</b>	2.5038	1.5760
96	FTLE	1.3009	<b>-1.4939</b>	2.9347	2.5394
	FSLE	<b>-0.8359</b>	<b>-0.6203</b>	3.3657	<b>-1.3409</b>
120	FTLE	<b>-0.3710</b>	<b>-1.7467</b>	1.6637	2.5755
	FSLE	<b>-0.0939</b>	<b>-0.8731</b>	<b>-1.7852</b>	<b>-1.9045</b>
144	FTLE	<b>-1.5529</b>	<b>-0.9773</b>	<b>-1.7309</b>	<b>-1.6628</b>
	FSLE	<b>-1.7678</b>	<b>-1.0984</b>	<b>-2.2614</b>	<b>-1.5295</b>
168	FTLE	<b>-1.2132</b>	<b>-1.2196</b>	<b>-3.4236</b>	<b>-1.4390</b>
	FSLE	<b>-1.7290</b>	<b>-1.3408</b>	<b>-1.8589</b>	<b>-1.5628</b>

จากตารางที่ 4.2 ทำการเปรียบเทียบการประมวลผลการพยากรณ์ระหว่าง Run 1 และ Run 2 จากแบบจำลองน้ำตื้น พบว่า ผลการพยากรณ์ครั้งที่ 1 จำนวน 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง ค่าของตัวแบบวัดการพยากรณ์เป็นบวก แสดงว่าเส้นทางโคจรระหว่างความดันบรรยากาศของ CTRL1 และ PER1, PER2 ลู่ออกจากกัน แต่การพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 120, 144 และ 168 ชั่วโมงของ PER1 และ PER2 ค่าของตัวแบบวัดการพยากรณ์เป็นลบแสดงว่าเส้นทางโคจรระหว่างความดันบรรยากาศของ CTRL1 และ PER1, PER2 ลู่เข้าหากัน ดังนั้นการพยากรณ์โดยใช้เงื่อนไขเริ่มต้นแบบก่อน PER1 และ PER2 เริ่มต้นลู่เข้าหาค่าการพยากรณ์โดยใช้เงื่อนไขควบคุม CTRL1 หลังจากการพยากรณ์เป็นเวลา 3 วัน นั่นคือแบบจำลองน้ำตื้น ไม่อ่อนไหวต่อค่าเงื่อนไขเริ่มต้นภายหลังจากการพยากรณ์ไปแล้ว 3 วัน นอกจากนี้ ผลการพยากรณ์ครั้งที่ 2 จำนวน 24 ชั่วโมง, 48 ชั่วโมง และ 72 ชั่วโมง ค่าของตัวแบบวัดการพยากรณ์เป็นบวก แสดงว่าเส้นทางโคจรระหว่างความดันบรรยากาศของ CTRL2 และ PER3, PER4 ลู่ออกจากกัน แต่การพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 144 และ 168 ชั่วโมง ของ PER3 และ PER4 ค่าของตัวแบบวัดการพยากรณ์เป็นลบแสดงว่าเส้นทางโคจรระหว่างความดันบรรยากาศของ CTRL2 และ PER3, PER4 ลู่เข้าหากัน ดังนั้นการพยากรณ์โดยใช้เงื่อนไขเริ่มต้นแบบก่อน PER3 และ PER4 เริ่มต้นลู่เข้าหาค่าการพยากรณ์โดยใช้เงื่อนไขควบคุม



CTRL2 หลังจากการพยากรณ์เป็นเวลา 4 วัน นั่นคือแบบจำลองน้ำตื้น ไม่อ่อนไหวต่อค่าเงื่อนไข  
เริ่มต้นหลังจากการพยากรณ์ไปแล้ว 4 วัน



## บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะของการทดลอง

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้นเพื่อสามารถพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือได้ในระยะเวลาที่ยาวนานและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการประมวลผลการพยากรณ์ครั้งที่ 1 ได้กำหนดให้แบบจำลองมีเงื่อนไขขอบเขตด้านตะวันตกถึงด้านตะวันออกเป็น cyclic และเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือถึงด้านใต้เป็น open จากการประมวลผลการพยากรณ์พบว่าแบบจำลองน้ำตื้นสามารถพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือได้ถูกต้องเป็นระยะเวลา 3 วัน ดังนั้นจึงได้ปรับเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้น โดยใช้เงื่อนไขขอบเขต wall boundary condition ทางด้านเหนือถึงด้านใต้ และเงื่อนไขขอบเขตด้านตะวันตกถึงด้านตะวันออกเป็น cyclic แบบเดิม และทำการประมวลผลการพยากรณ์ครั้งที่ 2 พบว่าแบบจำลองน้ำตื้นสามารถพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือได้ถูกต้องเป็นระยะเวลา 4 วันดังนั้นเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองน้ำตื้นด้านเหนือถึงด้านใต้ ที่ปรับปรุงโดยใช้ wall boundary condition มีความเหมาะสม โดยสามารถสรุปผลของการพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการพยากรณ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือโดยแบบจำลองน้ำตื้น

การทดลอง	ความละเอียดของแบบจำลอง ( $1.0^\circ \times 1.0^\circ$ )
Run 1	3 วัน
Run 2	4 วัน

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. แบบจำลองน้ำตื้นต้องทำการปรับปรุงเงื่อนไขขอบเขตให้ละเอียดมากขึ้นกว่าเดิม โดยใช้วิธีอื่น ๆ เพื่อสามารถทำการพยากรณ์ได้ถูกต้องมากขึ้น
2. ควรเลือกช่วงเวลาอื่น ๆ ในการทดสอบแบบจำลองน้ำตื้น เพื่อความถูกต้องมากขึ้น

## บรรณานุกรม

Anderson, J.D. JR., 1995, **Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications**, Mc Graw-Hill, Inc, pp. 27-32.

Aurell, E., Boffetta, G., Crisanti, A., Paladin, G. and Vulpiani, A., 1997, “Predictability in the Large: An Extension of the Concept of Lyapunov Exponent”, **Journal of Physics A**, Vol. 30, No. 1, pp. 1-26.

Awadhesh, P. and Ramakrishna, R., 1999, “Characteristic Distributions of Finite Time Lyapunov Exponents”, **Physical Review E**, Vol. 60, No. 3, pp. 2761-2766.

Basu, S., Foufoula-Georgiou, E. and Porté-Agel, F., 2002, “Predictability of Atmospheric Boundary Layer Flows as a Function of Scale”, **Geophysical Research Letters**, Vol. 29, No. 21, pp. 1-14.

Boffetta, G., Giuliani, P., Paladin, G. and Vulpiani, A., 1998, “An Extension of the Lyapunov Analysis for the Predictability Problem”, **Journal of the Atmospheric Sciences**, Vol. 55, No. 23, pp. 3409-3416.

Chen, H. and Lin, Z., 2009, “The Potential Predictability of the South China Sea Summer Monsoon in a Dynamical Seasonal Prediction System”, **Atmospheric and Oceanic Science Letters**, Vol. 2, No. 5, pp.1-6.

Ding, R. and Li, J., 2007, “Nonlinear Finite-time Lyapunov Exponent and Predictability”, **Physics Letters A**, Vol. 364, pp. 396-400.

Diebold, F.X. and Kilian, L., 2001, “Measuring Predictability: Theory and Macroeconomic Applications” **Journal of Applied Econometrics**, Vol. 16, pp. 657-669.

Donald, C. A., 2000, **Essential of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere**, 3<sup>rd</sup> ed., Brooks Cole, Pacific Grove, CA, pp.171-173.

Eric, W., 1998, **Meteorology**, Mc Graw-Hill, Inc, USA, pp. 316.

Eckmann, J.-P., and Ruelle, D., 1985, "Ergodic Theory of Chaos and Strange Attractors", **Reviews of Modern Physics**, No. 3, Vol. 51, pp. 617.

Francesco, O., Vicente, F., Emilio, H.G. and Cristóbal, L., 2004, "Mixing Structures in the Mediterranean Sea from Finite-Size Lyapunov Exponents", **Geophysical Research Letters**, Vol. 31, pp. 1-4.

Guillaume, L., 2002, "Characterization of Finite-Time Lyapunov Exponents and Vectors in Two-dimensional Turbulence", **Chaos**, Vol. 12, No. 3, pp. 688-698.

Holton, J. R., 2004, **Introduction to Dynamic Meteorology**, 4<sup>th</sup> ed., Elsevier Inc., UK., pp. 188-219.

Ismael, H.C., Cristóbal, L., Emilio, H.G. and Antonio, T., 2010, "How Reliable are Finite-Size Lyapunov Exponents for the Assessment of Ocean Dynamics?", **Atmospheric and Oceanic Physics**, Vol. 1, pp.1-30.

Ian, T.J. and David, B.S., 2003, **Forecast Verification**, John Wiley & Sons Ltd, England, pp. 101-115.

Krishnamurti T. N., 1986, "Tropical Meteorology Programme", **World Meteorological Organization**, Report no. 26, pp 44-46.

Krishnamurthy, V., 2010, "Predictability of South Asian Monsoon Circulation in the NCEP Climate Forecast System", **COLA Technical Report 301 August**, pp.1-19.

Li T., Grace J., and Bi X., 2010, "Study of wall boundary condition in numerical simulations of bubbling fluidized beds", **Powder Technology**, Vol. 203, Issue 3, pp. 447-457.

Marchesiello P., McWilliams J.C. and Shchepetkin A., 2001, "Open boundary conditions for long-term integration of regional oceanic models", **Ocean Modelling**, Vol. 3, No. 1, pp. 1-20.

McCue, L. and Troesch, A., 2004, "Use of Lyapunov Exponents to Predict Chaotic Vessel Motions", **book google.com**, pp. 156-171.

McCue, L., 2005, "Applications of Finite-Time Lyapunov Exponents to the Study of Capsize in Beam Seas", In: 8<sup>th</sup> **International Ship Stability Workshop**, pp. 1-9.

Ovidio, F., Jordi, I.F., Cristóbal, L., Emilio, H.G. and Emilio, G.L., 2008, "Comparison between Eulerian Diagnostics and Finite-Size Lyapunov Exponents Computed from Altimetry in the Algerian Basin", **Elsevier**, pp. 1-29.

Palmer, T.N., 1999, "Predicting Uncertainty in Forecasts of Weather and Climate", **ECMWF Technical Memorandum**, No. 294, pp. 1.

Palmer, T. and Hagedorn, R., 2006, **Predictability of Weather and Climate**, Cambridge University Press, UK, pp. 1-30.

Tiselj I., Pogrebnyak E., Li C., Mosyak A., and Hetsroni G., 2001, "Effect of wall boundary condition on scalar transfer in a fully developed turbulent flume", **Physics of Fluids**, Vol. 13, No. 4, pp. 1028-1039.

Versteeg H. K. and Malalasekera W., 2007, "An Introduction to Computational Fluid Dynamics", **Pearson Education Limited**, Second edition publisher, pp. 57-58, pp. 267-268.

Vignon-Clementel I.E., Figueroa C. A., Jansen K. E. and Taylor C. A., 2006, "Outflow boundary conditions for three-dimensional finite element modeling of blood flow and pressure in arteries", **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, Vol. 195, pp. 3776-3796.

Wolf, A., Swift, J.B., Swinney, H.L. and Vastano, J.A., 1985, “Determining Lyapunov Exponents From a Time Series”, **Physica D, Nonlinear Phenomena**, Vol. 16, pp. 285-371.

Ying, C.L., Mary Ann, F.H., Mark, G.F., and Ivan, O., 2003, “Inability of Lyapunov Exponents to Predict Epileptic Seizures”, **Physical review letters**, Vol. 91, No. 6, pp. 1-4.

Yoden, S. and Nomura, M., 1993, “Finite Time Lyapunov Stability Analysis and Its Application to Atmospheric Predictability”, **American Meteorological Society**, pp. 1531-1543.



## 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 ปริญญาคุชฎิบัณฑิต (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

#### 7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ:

- การพัฒนาวิธีการวัดการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวในประเทศไทย

#### ประวัติผู้วิจัยคนที่ 2

- ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวชวณี สุภิรัตน์  
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss. Chawanee Suphirat
  - เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 7097 00014 54 0
  - ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
  - หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)  
สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
เลขที่ 1381 ถ.ประชาราษฎร์สาย 1 แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800  
โทรศัพท์: 02-8363000 ต่อ 4197  
โทรสาร: -  
E-mail: chawanee.s@rmutp.ac.th
  - ประวัติการศึกษา
    - 2552 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาวิชาสถิติ  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
    - 2549 ป.บัณฑิต สาขาการสอนวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยมหิดล
    - 2548 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาคณิตศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
  - สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
    1. การใช้โปรแกรมทางสถิติ เช่น SPSS , SAS
    2. Experimental Design
  - ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัยหัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย
- 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -





7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย :-

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :-

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ: - การพัฒนาวิธีการวัดการพยากรณ์มรสุมฤดูหนาวในประเทศไทย

