



การศึกษาความเร็วและทิศทางลมในประเทศกัมพูชาโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง

โดย

นายวรภาส พรหมเสน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาความเร็วและทิศทางการไหลในประตูกั้นพายุโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศสองมิติ

โดย

นายวรภาส พรหมเสน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**AN INVESTIGATION OF WIND SPEED AND DIRECTION IN CAMBODIA BY USING AN
ATMOSPHERIC MESOSCALE MODEL**

**By
Worrapass Promsen**

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Physics

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2008

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การศึกษาความเร็วและทิศทางการไหลในประตูกั้นพายุโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลาง” เสนอโดย นายวรภาส พรหมเสน เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทรฉาย

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ จำนง ชำรงมาศ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทรฉาย)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย นามประกาย)

...../...../.....

50306206 : สาขาวิชาฟิสิกส์

คำสำคัญ : ความเร็วลม/ทิศทางลม/แบบจำลองบรรยากาศ/สเกลปานกลาง

วราส พรหมเสน : การศึกษาความเร็วและทิศทางลมในประเทศกัมพูชาโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: รองศาสตราจารย์ ดร. เสริมจันทร์ฉาย. 118 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณหาความเร็วและทิศทางลมทั่วประเทศกัมพูชาโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลาง (atmospheric mesoscale model) โดยใช้ข้อมูลสถานะของบรรยากาศระดับสเกลใหญ่ (large scale atmospheric data) ในช่วงเดือน กันยายน 2550 ถึง สิงหาคม 2551 รวมเป็นเวลา 1 ปี พร้อมทั้งข้อมูลลักษณะความสูงต่ำของพื้นที่และข้อมูลความหยาบของพื้นผิว (roughness) เป็นอินพุต (input) ของแบบจำลอง ผู้วิจัยได้แสดงผลการคำนวณจากแบบจำลองบรรยากาศดังกล่าวในรูปแบบแผนที่ลม แสดงการแปรค่าตามพื้นที่ของความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ยรายเดือน และเฉลี่ยรายปีทั่วประเทศกัมพูชาที่ระดับความสูง 50 เมตร และ 100 เมตรจากพื้นดิน จากแผนที่ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าโดยส่วนใหญ่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศกัมพูชา ความเร็วลมมีค่าค่อนข้างต่ำ (2 – 3 เมตร/วินาที) แต่ก็พบในบางบริเวณที่มีลมที่ค่อนข้างแรงกว่าบริเวณอื่นๆ (4 - 5 เมตร/วินาที) คือบริเวณทางตะวันออกเฉียงเหนือและตามแนวเขาทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณกับข้อมูลความเร็วลมจากสถานีวัดลมที่เมืองเสียมเรียบ กัมปงธม สีหนุวิลล์ พนมเปญ และกัมปอต ในประเทศกัมพูชาที่วัดในช่วงเวลาเดียวกัน ผลการเปรียบเทียบพบว่าความเร็วลมที่ได้จากการคำนวณมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับความเร็วลมที่ได้จากการวัดโดยมีค่าความแตกต่างในรูปของ root mean square difference (RMSD) เท่ากับ 23.1% ในด้านของทิศทางลม ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบการแจกแจงของทิศทางลมในรูปของ wind rose ระหว่างค่าจากการคำนวณและจากการวัดพบว่าการแจกแจงส่วนใหญ่สอดคล้องกัน และสอดคล้องเป็นอย่างดีกับอิทธิพลของลมมรสุม

ภาควิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

50306206 : MAJOR : PHYSICS

KEY WORD : WIND SPEED/WIND DIRECTION/ATMOSPHERIC MESOSCALE MODEL

WORRAPASS PROMSEN : AN INVESTIGATION OF WIND SPEED AND
DIRECTION IN CAMBODIA BY USING AN ATMOSPHERIC MESOSCALE MODEL. THESIS
ADVISOR : ASSOC. PROF. SERM JANJAI, Ph.D.. 118 pp.

An Atmospheric Mesoscale Model was used to calculate wind speed and wind direction in Cambodia by using large scale atmospheric data during September 2007 – August 2008, orography and roughness data as the inputs. The monthly average and an annual average wind maps at 50m and 100m above ground level were produced from simulated data. It found that mostly in Cambodia the wind speed is low (2 – 3 m/s), however, there are some parts of the country have higher wind speed (4 – 5 m/s), the northeastern part and along the mountainous area in the southwest. The results were compared with the measurement data from 5 stations in Siemreap, Kompong Thom, Phnompenh, Sihanouke Ville and Kampot. The root mean square difference (RMSD) between simulated wind speed and the measurement is 23.1%. Monthly wind roses for both data from measurement and simulation were also generated and compared. The comparison showed that most of wind roses are acceptably agree to each other. Moreover, they are definitely fit well with an effect of the monsoon, especially the southwest monsoon.

Department of Physics Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2008

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการวิจัยในหัวข้อเรื่อง การศึกษาความเร็วและทิศทางลมในประเทศ
กัมพูชาโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง ผู้วิจัยขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เสริม
จันทร์ฉาย ที่ให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำ ตลอดจนสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย นามประกาย และ รองศาสตราจารย์ จำนงค์
ธำรงมาศ ที่เสียสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณนักวิจัยทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ให้ความช่วยเหลือ
โดยเฉพาะคุณอิสระ มะศิริ ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือเรื่องโปรแกรมอย่างดี และคุณตรีณัฐ
จันทร์ราชที่ช่วยเหลือในการพิสูจน์อักษร

ท้ายสุดนี้ คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเพื่อตอบแทน
พระคุณบุพการีและคณาจารย์ทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญภาพ	ณ
สัญลักษณ์	๗
 บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
2 หลักทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ประเทศกัมพูชา	5
2.2 การหมุนเวียนทั่วไปของบรรยากาศ	5
2.2.1 แบบจำลองวงจรเดี่ยว.....	5
2.2.2 แบบจำลอง 3 วงจร	6
2.3 ลมและประเภทของลม	9
2.3.1 ลมชั้นบน	9
2.3.2 ลมผิวพื้น.....	12
2.4 ลมมรสุม	13
2.5 การวัดลม	15
2.5.1 เครื่องวัดความเร็วลม.....	16
2.5.2 การวัดทิศทางลม	21
2.6 การตรวจลมชั้นบน	22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
3 วิธีการวิจัยและผล	30
3.1 แบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลาง	30

บทที่	หน้า
3.2 การเตรียมข้อมูลลักษณะพื้นผิว	35
3.2.1 ข้อมูลดิจิทัลระดับความสูงของพื้นผิว	35
3.2.2 ข้อมูลแผนที่ความหยาบของพื้นผิว	36
3.3 การเตรียมข้อมูลบรรยากาศ	38
3.4 การคำนวณความเร็วและทิศทางลม	41
3.4.1 ข้อมูลจีโอสโทรฟิก	41
3.4.2 ประมวลผลข้อมูลและการแสดงผลพิกซ์จากแบบจำลอง	44
3.5 ผลการคำนวณ	47
3.6 การเปรียบเทียบผลการคำนวณ	74
3.6.1 สถานีวัดลม	74
3.6.2 การเปรียบเทียบความเร็วลมจากการวัดและจากแบบจำลอง	77
3.6.3 การเปรียบเทียบทิศทางลมเฉลี่ยรายเดือนจากการวัดและ จากแบบจำลอง	84
3.6.4 การเปรียบเทียบแผนที่ลมจากงานวิจัยนี้กับแผนที่ลมที่ดำเนิน การ โดย World bank	102
4 สรุป	105
บรรณานุกรม	107
ภาคผนวก	109
ประวัติผู้วิจัย	118

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แผนที่ประเทศกัมพูชาแสดงอาณาเขตติดต่อและจังหวัดต่างๆ	4
2.2 แสดงการหมุนเวียนทั่วไปของอากาศแบบจำลองวงจรเดี่ยว	6
2.3 แสดงการหมุนเวียนทั่วไปของอากาศแบบจำลอง 3 วงจร	7
2.4 แสดงลมผิวพื้นและระบบความกดอากาศ	8
2.5 แสดงลมจีโอสโทรฟิกซึ่งพัฒนานับกับไอโซบาร์ในซีกโลกเหนือ	10
2.6 แสดงทิศทางของลมจีโอสโทรฟิก ในซีกโลกเหนือที่ไม่มีแรงฝัดในระดับความสูง จากพื้นดิน 3 กิโลเมตร	10
2.7 แสดงความสมดุลของแรง 3 แรง รอบๆความกดอากาศ	11
2.8 แสดงลักษณะของลมผิวพื้น โดยในระดับความสูง 1 กิโลเมตรแรกจากผิวพื้นที่มี แรงฝัด ลมผิวพื้นจะพัดข้ามไอโซบาร์ และทำมุมกับไอโซบาร์	13
2.9 แสดงลมมรสุมฤดูหนาว และ ลมมรสุมฤดูร้อน	14
2.10 แสดงสภาพธรรมชาติที่บ่งชี้ถึงสภาวะของลมในบริเวณนั้น	15
2.11 แสดงแอนนิโมมิเตอร์แบบถ้วยแบบ 3 และ 4 ลูกถ้วย	17
2.12 แสดงแอนนิโมมิเตอร์แบบก้านลมทั้งสองแบบ	17
2.13 แสดงแอนนิโมมิเตอร์แบบแผ่นความดันแบบต่างๆ	18
2.14 แสดงแอนนิโมมิเตอร์แบบท่อความดัน	19
2.15 แสดงแอนนิโมมิเตอร์แบบโซนิก	20
2.16 แสดงแอนนิโมมิเตอร์แบบลวดร้อน	20
2.17 แสดงตัวอย่างศรลมในอดีตและปัจจุบัน	21
2.18 แสดงทิศลมเรียกเป็นองศาจากทิศจริง แบบ 16 ทิศ	22
2.19 แสดงบอลูนตรวจอากาศที่มีเรดิโอซอนด์	23
2.20 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของ Ireland	26
2.21 แสดงแผนที่ลมที่ระดับ 50 เมตรของรัฐ Newfoundland ประเทศแคนาดา	27
2.22 แสดงแผนที่ลมที่ระดับ 30 เมตรของประเทศบังกลาเทศ	28
2.23 แสดงแผนที่ลมของประเทศอียิปต์	29
3.1 แสดงการแบ่งบรรยากาศออกเป็นกริด (grid) ใน 3 มิติ	34
3.2 แสดงลักษณะของข้อมูลความสูงพื้นผิวครอบคลุมประเทศกัมพูชา	36

รูปที่	หน้า
3.3 แสดงแผนที่ความหยาบของพื้นผิวครอบคลุมประเทศกัมพูชา.....	37
3.4 แสดงทิศทางของการพัดของลมผ่านภูเขา ก) กรณีที่อากาศมีสถานะเสถียร ข) กรณีที่อากาศมีสถานะไม่เสถียร.....	40
3.5 แสดงโพรไฟล์รายวัน ที่สร้างจากข้อมูล NCEP/NCAR reanalysis	43
3.6 ตัวอย่างไฟล์อินพุตที่ใช้สำหรับแบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลาง.....	43
3.7 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนมกราคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศ สเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน.....	48
3.8 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนมกราคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศ สเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน.....	49
3.9 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนกุมภาพันธ์ จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศ สเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน.....	50
3.10 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนกุมภาพันธ์ จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศ สเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน.....	51
3.11 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนมีนาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศ สเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน.....	52
3.12 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนมีนาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศ สเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน.....	53
3.13 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนเมษายน จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศ สเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน.....	54
3.14 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนเมษายน จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศ สเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน.....	55
3.15 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนพฤษภาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศ สเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน.....	56
3.16 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนพฤษภาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศ สเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน.....	57
3.17 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนมิถุนายน จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศ สเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน.....	58

รูปที่	หน้า
3.31 แผนที่ลมเฉลี่ยในช่วง 1 ปี (กันยายน 2550 – สิงหาคม 2551) จากการคำนวณ โดยแบบจำลองบรรยากาศเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร.....	72
3.32 แผนที่ลมเฉลี่ยในช่วง 1 ปี (กันยายน 2550 – สิงหาคม 2551) จากการคำนวณ โดยแบบจำลองบรรยากาศเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร.....	73
3.33 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากโครงการ The World Bank Asia Alternative Energy Program	74
3.34 แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดลมใหม่ที่จัดตั้งขึ้นตามโครงการความร่วมมือด้าน พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระหว่างไทยกับประเทศกัมพูชา.....	75
3.35 เสาวัดลมที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดลมบนเสาที่ระดับความสูง 20 เมตร 40 เมตร.....	76
3.36 ตู้เก็บเครื่องบันทึกข้อมูลและอุปกรณ์อื่นๆภายในอาคารสำนักงานของเจ้าหน้าที่ผู้ดูแล.	77
3.37 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือนจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง บรรยากาศเกลปานกลาง กับการวัด ณ เมืองเสียมเรียบ ที่ระดับความสูง 50 เมตร	78
3.38 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือนจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง บรรยากาศเกลปานกลาง กับการวัด ณ เมืองกัมปงชม ที่ระดับความสูง 50 เมตร.....	79
3.39 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือนจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง บรรยากาศเกลปานกลาง กับการวัด ณ เมืองพนมเปญ ที่ระดับความสูง 30 เมตร	80
3.40 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือนจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง บรรยากาศเกลปานกลาง กับการวัด ณ เมืองสีหนุวิลล์ ที่ระดับความสูง 50 เมตร.....	81
3.41 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือนจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง บรรยากาศเกลปานกลาง กับการวัด ณ เมืองกัมปอต ที่ระดับความสูง 50 เมตร.....	82
3.42 แสดงการเปรียบเทียบค่า MBD และ RMSD ของอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือน จากการคำนวณด้วยแบบจำลองบรรยากาศ กับการวัดอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือน จากทุกสถานีวัด ที่ระดับความสูง 50 เมตร	83
3.43 เปรียบเทียบ wind rose รายเดือนของข้อมูลที่ได้จาก แบบจำลองบรรยากาศ และจากการวัด ณ เมืองเสียมเรียบ.....	87
3.44 เปรียบเทียบ wind rose รายเดือนของข้อมูลที่ได้จาก แบบจำลองบรรยากาศ และจากการวัด ณ เมืองกัมปงชม.....	90

รูปที่	หน้า
3.45 เปรียบเทียบ wind rose รายเดือนของข้อมูลที่ได้จาก แบบจำลองบรรยากาศ และจากการวัด ณ เมืองพนมเปญ.....	93
3.46 เปรียบเทียบ wind rose รายเดือนของข้อมูลที่ได้จาก แบบจำลองบรรยากาศ และจากการวัด ณ เมืองสีหนุวิลล์.....	96
3.47 เปรียบเทียบ wind rose รายเดือนของข้อมูลที่ได้จาก แบบจำลองบรรยากาศ และจากการวัด ณ เมืองกัมปอต	99
3.48 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากโครงการ The World Bank Asia Alternative Energy Program (ัดมาเฉพาะประเทศกัมพูชา) ..	103
3.49 แผนที่ลมเฉลี่ยในช่วง 1 ปี (กันยายน 2550 – สิงหาคม 2551) จากการศึกษาครั้งนี้.....	103
A1 แสดงชิ้นส่วนของเสาวัดลม ซึ่งจะนำไปติดตั้งในกัมพูชา.....	109
A2 แสดงแนวคิดตั้งอุปกรณ์วัดลม	110
A3 แสดงแผนพร้อมแผ่นรองโซลาร์เซลล์ ซึ่งจะนำไปติดบนเสาวัดลม	111
A4 แสดงตู้ใส่เครื่องบันทึกข้อมูล	112
A5 แสดงเสาวัดลมที่สถานีเสียมเรียบ.....	113
A6 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลที่สถานีเสียมเรียบ	113
A7 แสดงเสาวัดลมที่สถานีกัมปงชม	114
A8 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลที่สถานีกัมปงชม	114
A9 แสดงการติดตั้งเสาวัดลมที่สถานีพนมเปญ	115
A10 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลของสถานีพนมเปญ.....	115
A11 แสดงเสาวัดลมที่สถานีสีหนุวิลล์.....	116
A12 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลที่สถานีสีหนุวิลล์	116
A13 แสดงเสาวัดลมที่สถานีกัมปอต	117
A14 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลที่สถานีกัมปอต	117

สัญลักษณ์

f	=	แรงคอริโอลิส
g	=	ความเร่งอันเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
h	=	ความสูงของสิ่งกีดขวาง, m
u	=	ความเร็วลม, m/s
u_G	=	เป็นองค์ประกอบของความเร็วลมจีโอสโทรฟิกในแนวแกน x
u_m	=	ความเร็วลมสเกลปานกลาง (mesoscale wind) ในแนวแกน x
u'	=	turbulent deviation ของความเร็วลมในแนวแกน x
$\bar{u}$	=	ความเร็วลมเฉลี่ยในแนวแกน x
v	=	ความเร็วลม
v_G	=	เป็นองค์ประกอบของความเร็วลมจีโอสโทรฟิกในแนวแกน y
v_m	=	ความเร็วลมสเกลปานกลาง (mesoscale wind) ในแนวแกน y
v'	=	turbulent deviation ของความเร็วลมในแนวแกน y
$\bar{v}$	=	ความเร็วลมเฉลี่ยในแนวแกน y
w_m	=	ความเร็วลมสเกลปานกลาง (mesoscale wind) ในแนวแกน z
w'	=	turbulent deviation ของความเร็วลมในแนวแกน z
$\bar{w}$	=	ความเร็วลมเฉลี่ยในแนวแกน z
A_c	=	พื้นที่ของถ้วยที่ลมปะทะ
C	=	สัมประสิทธิ์ของแรง (drag coefficient)
C_p	=	ความร้อนจำเพาะของอากาศ
F	=	แรงที่กระทำต่อลูกถ้วย (drag force)
Fr	=	Froude number
N	=	Brunt-Väisälä frequency
P	=	ความดันบรรยากาศที่ความสูงใดๆ
P_0	=	ความดันบรรยากาศที่พื้นผิวโลก 1013 mbar/atm
R	=	gas constant
T	=	อุณหภูมิของอากาศจาก NCEP/NCAR
T_G	=	อุณหภูมิของอากาศ

π	=	Exner function
π_m	=	Exner function ในสเกลปานกลาง
π_d^*	=	dynamic part ของ mesoscale pressure
π_G	=	Exner function ในสเกลใหญ่
π_h^*	=	thermal part ของ mesoscale pressure
θ_0	=	potential temperature ที่พื้นผิว
θ_G	=	large-scale field of the potential temperature
θ_m	=	potential temperature ในสเกลปานกลาง
θ'	=	turbulent deviation ของ potential temperature
$\overline{\theta}$	=	ค่าเฉลี่ยของ potential temperature
$\frac{d\theta}{dz}$	=	potential temperature gradient
ρ_a	=	ความหนาแน่นของอากาศ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันทุกภาคส่วนทั้งในและต่างประเทศต่างให้ความสนใจเกี่ยวกับพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนเป็นอย่างมาก สืบเนื่องจากพลังงานที่ได้จากซากดึกดำบรรพ์ (fossil fuel) นับวันยิ่งลดน้อยลง พลังงานลม เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญ เพราะสามารถแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้สะดวก โดยปัจจุบันทั่วโลกมีการติดตั้งกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าคิดเป็นกำลังการผลิตประมาณ 74,000 เมกะวัตต์ ส่วนใหญ่อยู่ในยุโรปและอเมริกาเหนือ ตัวอย่างเช่น ในประเทศเยอรมันมีการติดตั้งกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้า 14,600 เมกะวัตต์ และในประเทศเดนมาร์กประมาณ 3,100 เมกะวัตต์ (Mathew, 2006) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มการขยายตัวการติดตั้งกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าในเอเชียและส่วนอื่นๆของโลกด้วย ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาเทคโนโลยีกังหันลมเพื่อการผลิตไฟฟ้าได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยมีการผลิตกังหันลมในเชิงอุตสาหกรรมในหลายประเทศ เช่น เดนมาร์ก เยอรมัน อินเดีย และจีน โดยทั่วไปพลังงานที่ได้จากกังหันลมขึ้นอยู่กับความเร็วลมซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามภูมิประเทศและสถานะทางอุณหภูมิตามฤดูกาล โดยปริมาณของไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นกับสถานะของลมในบริเวณนั้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นก่อนที่จะทำการเลือกพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเพื่อจะทำการติดตั้งกังหันลมจำเป็นต้องทราบสถานะของลม ณ พื้นที่นั้นๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ความเร็วลม ทิศทางลม และลักษณะการเปลี่ยนแปลงของลมในพื้นที่นั้นๆ ก่อน จากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวมาประกอบการพิจารณาพร้อมกับองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ระยะห่างจากเครือข่ายสายส่งไฟฟ้า การคมนาคมขนส่ง และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น โดยทั่วไปข้อมูลความเร็วลมที่ต้องการจะได้อาจมาจากการติดตั้งเครื่องวัดลมในบริเวณที่สนใจ หรือใช้ข้อมูลจากสถานีวัดลมที่เชื่อถือได้ซึ่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียง สำหรับการดูภาพรวมของศักยภาพพลังงานลมในระดับภูมิภาคหรือระดับประเทศจะต้องดำเนินการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลม ซึ่งแสดงการแปรค่าของพลังงานตามพื้นที่ หรือความเร็วลมในบริเวณนั้นๆ เนื่องจากแผนที่ศักยภาพพลังงานลมเป็นเครื่องมือสำคัญในการบ่งชี้ศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่ต่างๆ ดังนั้นในช่วงเวลา 20 ปีที่ผ่านมา นักวิจัยในประเทศต่างๆ จึงได้ทำการพัฒนาเทคนิคการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมเพื่อใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการเลือกพื้นที่สำหรับติดตั้งกังหันลม ก่อนที่จะทำการสำรวจและเก็บข้อมูลที่แท้จริงของบริเวณนั้นๆอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้มั่นใจว่าเมื่อติดตั้งกังหันลมไปแล้วจะได้ผลลัพธ์ออกมาคุ้มค่าต่อการลงทุน

เป็นที่ทราบกันดีว่าความเร็วลมที่กระจายตามพื้นที่ต่างๆ จะมีความสำคัญต่องานทางด้านพลังงานลม โดยความเร็วลมถือเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับคำนวณพลังงานที่จะได้จากกังหันลม กล่าวคือพลังงานจลน์ของกระแสลมจะแปรตามกำลังสามของความเร็วลมนั้นเอง ยิ่งไปกว่านั้นความเร็วลมที่กระจายตามพื้นที่ยังสำคัญสำหรับงานทางอุตุนิยมวิทยาด้วยเช่นเดียวกัน เพราะความเร็วลมมีผลต่อการเคลื่อนที่ของเมฆและสภาวะทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ต่างๆ อันเป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการพยากรณ์อากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นที่สถานีตรวจอากาศในปัจจุบันจึงมีการเก็บข้อมูลลมด้วยเช่นเดียวกัน

ถึงแม้ว่าปริมาณการใช้พลังงานลมในที่ต่างๆ ทั่วโลกจะเพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน แต่ในหลายๆ พื้นที่ยังคงประสบปัญหาอันเนื่องจากการขาดแคลนข้อมูลลมที่น่าเชื่อถือเพื่อใช้ในการตัดสินใจในการลงทุนและสนับสนุนโครงการทางด้านพลังงานลมของรัฐบาลและนักลงทุน รวมถึงผู้มีส่วนเกี่ยวข้องอื่นๆ ในการให้ความสำคัญกับโครงการพัฒนาทางด้านพลังงานลม และการบ่งชี้บริเวณที่มีศักยภาพทางด้านพลังงานลมสูงเหมาะแก่การลงทุน ซึ่งการขาดข้อมูลดังกล่าวนี้ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การพัฒนาทางด้านพลังงานลมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไม่รุดหน้าเท่าที่ควร

การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลมที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งคือการใช้แบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลาง (atmospheric mesoscale model) ทำการหาการแปรค่าตามพื้นที่ของความเร็วลมและทิศทางลมในเดือนต่างๆ ในรอบปี โดยทั่วไปแบบจำลองดังกล่าวใช้ได้ดีกับพื้นที่ (domain) ซึ่งไม่กว้างเกินไปและต้องมีข้อมูลลมจากสถานีวัดลมในพื้นที่นั้นหลายจุด เงื่อนไขดังกล่าวสอดคล้องกับสถานีของประเทศกัมพูชา ทั้งนี้เพราะประเทศกัมพูชามีขนาดความกว้างประมาณ 500 กิโลเมตรและยาวประมาณ 450 กิโลเมตร ซึ่งเหมาะสมกับการคำนวณ 1 domain ของแบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลาง นอกจากนั้นในประเทศกัมพูชามีสถานีวัดลมซึ่งจัดตั้งขึ้นใหม่ในโครงการความร่วมมือด้านพลังงานทดแทนระหว่างประเทศไทยและประเทศกัมพูชา 5 แห่งซึ่งมีข้อมูลลมคุณภาพดีที่ความสูง 20 – 50 เมตรซึ่งเหมาะสมต่อการนำมาใช้ประกอบการคำนวณ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงเสนอที่จะทำการศึกษาความเร็วและทิศทางลมในประเทศกัมพูชา ทั้งนี้เพื่อเรียนรู้การใช้แบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลางและนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในด้านพลังงานลมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

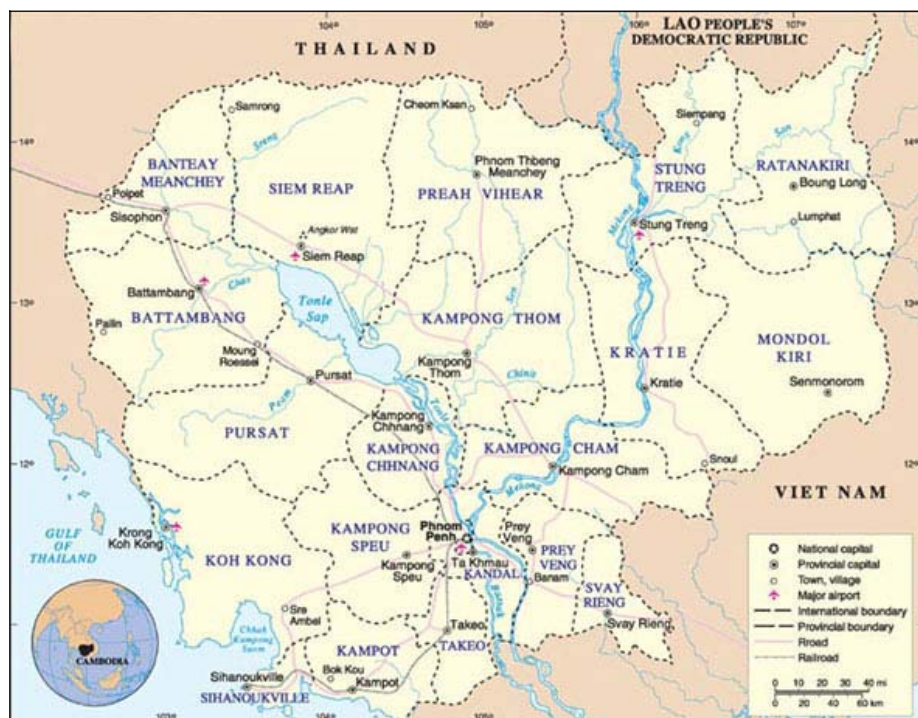
- 1) เพื่อหาความเร็วลมทั่วประเทศกัมพูชาโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศระดับ
สเกลปานกลาง (Atmospheric mesoscale model)
- 2) เพื่อทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลวัด

บทที่ 2

หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประเทศกัมพูชา

ประเทศกัมพูชาตั้งอยู่ในเขตร้อนของทวีปเอเชีย ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของคาบสมุทรอินโดจีน ระหว่างเส้นละติจูดที่ 10 องศา 30 ลิปดาเหนือ ถึงเส้นละติจูดที่ 14 องศา 30 ลิปดาเหนือ และระหว่างเส้นลองจิจูดที่ 102 องศา 30 ลิปดาตะวันออก ถึงเส้นลองจิจูดที่ 107 องศา 30 ลิปดาตะวันออก มีพื้นที่ประมาณ 181,035 ตารางกิโลเมตร กว้างประมาณ 500 กิโลเมตร ยาวประมาณ 450 กิโลเมตร หรือมีพื้นที่ประมาณ 1 ใน 3 ของประเทศไทย ภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบลุ่มและราบสูง เต็มไปด้วยลำธาร ห้วย หนอง คลอง บึง ตอนกลางของประเทศมีทะเลสาบใหญ่ที่สุดในเอเชียอาคเนย์ นอกนั้นเป็นป่าโปร่ง ป่าดิบ และภูเขา โดยเฉลี่ยแล้วมีพื้นที่เป็นป่าทั้งป่าสมบูรณ์ ป่าโปร่ง ที่ราบสูง และภูเขา ประมาณร้อยละ 50 พื้นที่ราบลุ่มประมาณร้อยละ 40 และ พื้นที่น้ำประมาณร้อยละ 10 มีฝั่งทะเลยาวประมาณ 450 กิโลเมตร หรือประมาณ 1 ใน 6 ของเส้นพรมแดนประเทศ



รูปที่ 2.1 แผนที่ประเทศกัมพูชาแสดงอาณาเขตติดต่อและจังหวัดต่างๆ

(www.incambodia.biz)

ลักษณะภูมิอากาศโดยทั่วไปอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดจากทะเลจีนใต้ผ่านประเทศเวียดนาม และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งพัดผ่านอ่าวไทย ผ่านเข้าสู่ประเทศ นำเอาฝนและความชุ่มชื้นมาสู่ประเทศ ฤดูกาลมี 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน เริ่มในเดือนกุมภาพันธ์ สิ้นสุดเดือนเมษายน อากาศร้อนและแห้งแล้ง ฤดูฝน เริ่มประมาณเดือนพฤษภาคม สิ้นสุดในเดือนกันยายน มีฝนตกชุกและลมพัดแรง และ ฤดูหนาว เริ่มประมาณกลางเดือนตุลาคม สิ้นสุดในเดือนมกราคม อากาศเย็นสบาย ไม่หนาวมาก

2.2 การหมุนเวียนทั่วไปของบรรยากาศ

ในการศึกษาการหมุนเวียนทั่วไปของบรรยากาศ จำเป็นต้องมีการศึกษาการเคลื่อนที่เฉลี่ยของอากาศรอบโลก รวมถึงการศึกษาสภาพของลมที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละบริเวณ ซึ่งการเคลื่อนที่ของอากาศจะทำให้ทราบว่าทำไมถึงมีลมพัดรอบโลก และ พัดในทิศทางใดบ้าง โดยลมที่พัดอยู่ในระบบการหมุนเวียนโดยทั่วไปจะเป็นลมประจำ ตัวอย่าง เช่น ลมที่พัดประจำในเกาะฮอนโนลูลู (Honolulu) เป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนลมที่พัดประจำในเมืองนิวยอร์กเป็นลมตะวันตก ดังได้กล่าวไว้แล้วว่าการเคลื่อนที่เฉลี่ยของอากาศเป็นกลไกทำให้เกิดลม ดังนั้นแบบจำลองที่ความร้อนถูกถ่ายเทจากบริเวณศูนย์สูตรไปยังขั้วโลกย่อมแสดงให้เห็นถึงกลไกของการเกิดลมได้เช่นเดียวกัน

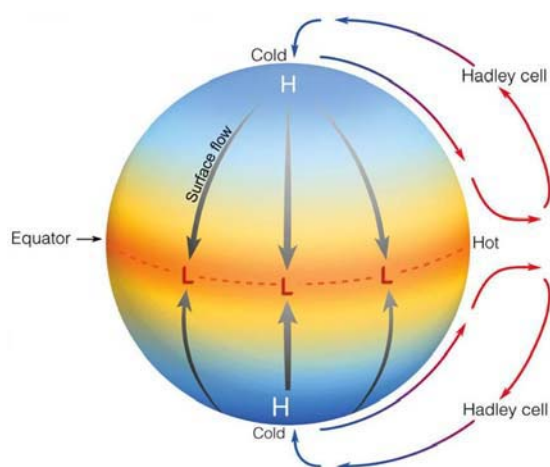
สาเหตุที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนทั่วไปนั้น เกิดจากการที่พื้นผิวโลกได้รับความร้อนไม่เท่ากัน เมื่อโลกได้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ จะต้องส่งพลังงานกลับเข้าสู่อวกาศในปริมาณเท่ากับที่โลกได้รับ อย่างไรก็ตามพลังงานความร้อนที่โลกได้รับในแต่ละละติจูดมีปริมาณไม่เท่ากัน เขตร้อนได้รับความร้อนเกินดุล ส่วนเขตขั้วโลกได้รับความร้อนขาดดุล ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสมดุลจึงต้องมีการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณศูนย์สูตรไปยังขั้วโลก และถ่ายเทความเย็นจากขั้วโลกมายังศูนย์สูตร

2.2.1 แบบจำลองวงจรเดี่ยว (Single Cell Model)

แบบจำลองแบบแรกเป็นแบบจำลอง วงจรเดี่ยว การที่โลกมีลักษณะเป็นทรงกลม หากโลกไม่หมุนรอบตัวเอง บริเวณเส้นศูนย์สูตรของโลกจะเป็นแถบความกดอากาศต่ำ (อุณหภูมิสูง) เนื่องจากแสงอาทิตย์ตกกระทบเป็นมุมชัน ส่วนบริเวณขั้วโลกทั้งสองจะเป็นแถบความกดอากาศสูง (อุณหภูมิต่ำ) เนื่องจากแสงอาทิตย์ตกกระทบเป็นมุมลาด อากาศร้อนบริเวณศูนย์สูตรลอยตัวขึ้น ทำให้อากาศเย็นบริเวณขั้วโลกเคลื่อนตัวเข้าแทนที่ โดยมีแรงที่เกี่ยวข้องเพียงแรงเดียวคือ แรงความชันความกดอากาศ (pressure gradient force) โดยการหมุนเวียนจะมีลักษณะเป็นวงขนาดใหญ่ที่ขับเคลื่อนความร้อนออกจากบริเวณศูนย์สูตร (รูปที่ 2.2) โดยตั้งชื่อวงนี้ว่า เซลล์เฮลล์ ตามชื่อของนัก

อุตุนิยมวิทยาชาวอังกฤษคือ จอร์จ แฮดเลย์ (George Hadley) ซึ่งเป็นผู้เสนอแบบจำลองการหมุนเวียนที่ช่วยหมุนเวียนความร้อนในแถบศูนย์สูตรซึ่งได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์อย่างเต็มที่ ทำให้อากาศเหนือแถบศูนย์สูตรลอยตัวสูงขึ้นเกิดร่องความกดอากาศต่ำ ขณะที่บริเวณขั้วโลกอากาศเย็นกว่ามาก และจมตัวต่ำลงเกิดร่องความกดอากาศสูง ทำให้อากาศเย็นจากขั้วโลกไหลลงมายังศูนย์สูตร และอากาศร้อนจากศูนย์สูตรไหลไปยังขั้วโลก

การหมุนเวียนในลักษณะวงจรเดียวนี้อาจจะไม่เกิดขึ้นจริงบนพื้นผิวโลก เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง ซึ่งส่งผลให้มีแรงคอริโอลิส ทำให้อากาศที่เคลื่อนที่อยู่ เเฉไปทางขวา ในซีกโลกเหนือ ส่งผลให้ลมผิวพื้นเป็นลมตะวันตก ลมเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุนรอบตัวเองของโลก ส่วนบริเวณละติจูดกลาง (mid-latitude) การหมุนเวียนแบบนี้ไม่เกิดขึ้น เพราะมีลมประจำพัดมาจากทิศตะวันตก ดังนั้นการหมุนเวียนทั่วไปของอากาศระหว่างศูนย์สูตรกับขั้วโลกไม่เป็นตามแบบจำลองวงจรเดียวอย่างแท้จริง เพราะโลกหมุนรอบตัวเอง แบบจำลองวงจรเดียวจะเป็นจริงได้ขึ้นกับการสมมติ 2 ประการ คือ พื้นผิวโลกต้องถูกปกคลุมไปด้วยพื้นผิวชนิดเดียวกันทั้งหมด และดวงอาทิตย์จะส่องตรงเหนือศูนย์สูตรตลอดเวลา

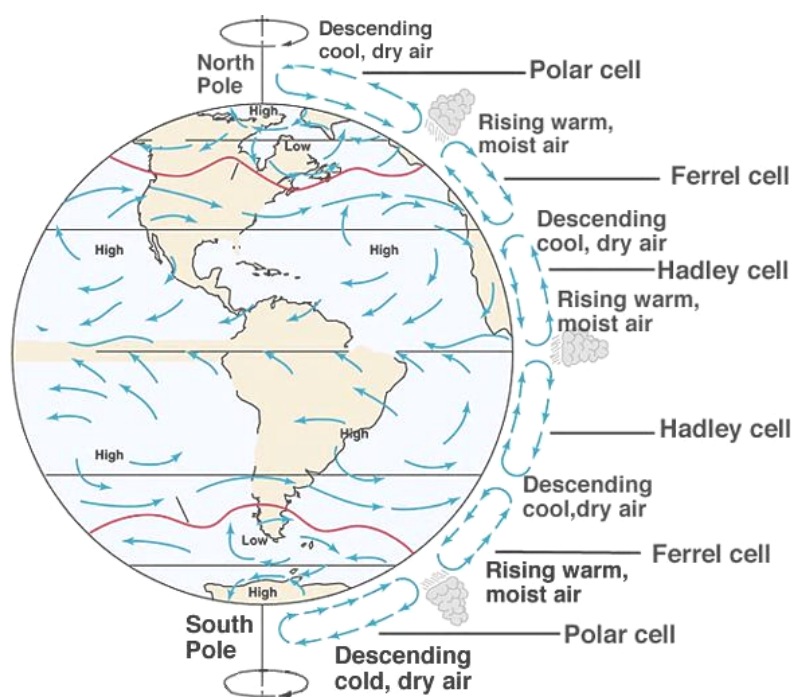


รูปที่ 2.2 แสดงการหมุนเวียนทั่วไปของอากาศแบบจำลองวงจรเดียว
(จาก Thomson higher education)

2.2.2 แบบจำลอง 3 วงจร (Three Cell Model)

ถ้าโลกหมุนรอบตัวเองระบบการถ่ายเทพลังงาน จะแตกแยกออกเป็นวงจรที่มีการหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง 3 วงจร (รูปที่ 2.3) แม้แบบจำลอง 3 วงจร จะมีความสลับซับซ้อนมากกว่าแบบจำลองวงจรเดียว แต่มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันอยู่บ้าง กล่าวคือ บริเวณเขตร้อนยังคงได้รับความร้อนเกินดุล และบริเวณขั้วโลกก็ได้รับความร้อนขาดดุล ในแต่ละซีกโลกทั้ง 3 วงจรมีการกระจาย

พลังงานกันใหม่ ที่ขั้วโลกยังคงเป็นเขตความกดอากาศสูงและที่ศูนย์สูตรยังคงเป็นเขตความกดอากาศต่ำ จากศูนย์สูตรไปถึงละติจูดที่ 30 องศาเหนือและใต้ การหมุนเวียนของอากาศที่มีลักษณะคล้ายกับวงจรแสดเลย์ คือ อากาศเย็นบริเวณละติจูดที่ 30 องศาไหลเข้ามาแทนที่อากาศร้อนตรงบริเวณศูนย์สูตร (รูปที่ 2.3 และ 2.4)

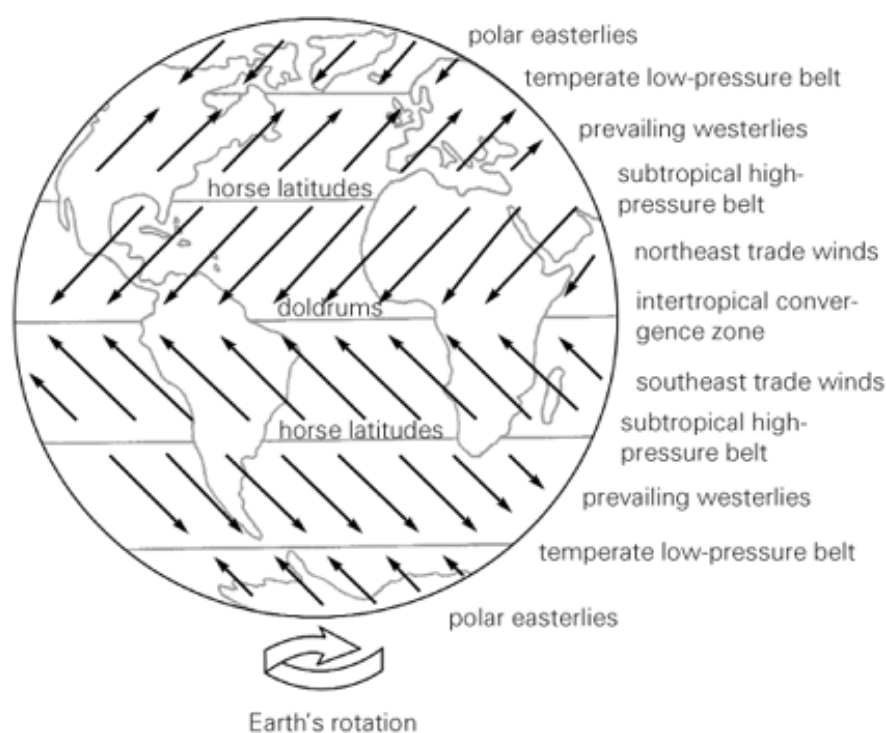


รูปที่ 2.3 แสดงการหมุนเวียนทั่วไปของอากาศแบบจำลอง 3 วงจร ([//ess.geology.ufl.edu](http://ess.geology.ufl.edu))

เหนือพื้นน้ำบริเวณศูนย์สูตรอากาศจะร้อน ความชื้นความกดอากาศในแนวนอนอ่อนกำลังลง เป็นเขตสงบหรือลมอ่อน เรียกว่า เขตคอลดรัมส์ (Doldrums zone) อากาศร้อนไหลขึ้นและกลั่นตัวเป็นเมฆก้อนคิวมูลัส (cumulus) ขนาดใหญ่ และคายความร้อนแฝงให้กับบรรยากาศ รวมทั้งมีพายุฟ้าคะนอง ความร้อนนี้ทำให้อากาศร้อนจัดมาก แล้วพลังงานถูกขับออกมาในวงจรแสดเลย์ อากาศที่ลอยขึ้นไปข้างบนเมื่อลอยขึ้นไปถึงโทรโปพอส (tropopause) ซึ่งทำหน้าที่กีดขวางอากาศที่จะเคลื่อนที่ไปขั้วโลก แรงคอริโอลิสทำให้อากาศที่กำลังเคลื่อนที่ไปขั้วโลกเลี้ยวไปทางขวาในซีกโลกเหนือและเลี้ยวไปทางซ้ายในซีกโลกใต้ ลมชั้นบนเป็นลมตะวันตกทั้ง 2 ซีกโลก ลมตะวันตกนี้ เมื่อมีความเร็วสูงสุดจะมีชื่อเรียกว่าลมกรด (jet stream) โดยทั่วไปเกิดใกล้ละติจูด 30 และ 60 องศาเหนือและใต้

โดยทั่วไปเมื่ออากาศร้อนเย็นตัวลงความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น ทำนองเดียวกันอากาศบริเวณศูนย์สูตรเมื่อได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์จะลอยตัวสูงขึ้นและเคลื่อนตัวไปยังเขตละติจูดที่

30 องศาเหนือและใต้ ซึ่งเป็นบริเวณที่อุณหภูมิต่ำกว่า อากาศจะจมตัวลง ทำให้บริเวณละติจูดที่ 30 องศาเหนือและใต้ เป็นเขตความกดอากาศสูง เรียกว่า ความกดอากาศสูงกึ่งโซนร้อน (semi-tropical) อากาศที่ลอยอยู่เหนือความกดอากาศสูง จะเคลื่อนตัวลงมาอย่างช้าๆ การที่อากาศเคลื่อนตัวลงมาทำให้ท้องฟ้าแจ่มใสและอุณหภูมิที่ผิวพื้นจะอุ่นขึ้น บริเวณนี้ถือเป็นแหล่งกำเนิดทะเลทรายที่สำคัญของโลก สำหรับบริเวณความกดอากาศสูงประมาณละติจูดที่ 30 ถึง 35 องศาเหนือและใต้นั้น ความชันความกดอากาศจะอ่อนกำลังลง ทำให้เป็นเขตลมสงบหรือลมอ่อน และเนื่องจากเป็นบริเวณที่อากาศจมตัวลง จึงทำให้มีอากาศร้อนและแห้ง เรียกว่า เขตฮอร์สละติจูด (horse latitude)



รูปที่ 2.4 แสดงลมผิวพื้นและระบบความกดอากาศ (//content.answers.com)

บริเวณฮอร์สละติจูด จะมีอากาศเคลื่อนที่ย้อนกลับลงเข้าสู่ศูนย์สูตร เนื่องจากแรงคอริอลิส ทำให้เคลื่อนที่เฉไปจากแนวเดิม ในซีกโลกเหนือเป็นลมที่พัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และในซีกโลกใต้เป็นลมที่พัดจากทิศตะวันออกเฉียงใต้เรียกว่า ลมสินค้า (Trade Winds) ซึ่งพัดอยู่ประมาณละติจูดที่ 5 ถึง 30 ทั้งในซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ เป็นลมที่พัดจากเขตความกดอากาศต่ำ ดังนั้นในซีกโลกเหนือเป็นลมสินค้าตะวันออกเฉียงเหนือ และในซีกโลกใต้ เป็นลมสินค้าตะวันออกเฉียงใต้ เขตลมนี้อากาศไม่ค่อยมีพายุเกิดขึ้น ลมนี้พัดสม่ำเสมอจึงเป็นประโยชน์ต่อการเดินเรือเป็นอย่างมาก ไกล์ศูนย์สูตรเป็นลมสินค้าเบียดตัวเข้าหากัน (Intertropical Convergence Zone) เป็นแนวแบ่งระหว่างลมสินค้าตะวันออกเฉียงเหนือกับลมสินค้าตะวันออกเฉียงใต้

เฉียงใต้ แนวนอนเลื่อนขึ้นเหนือ หรือลงใต้ได้ตามฤดูกาล ขึ้นอยู่กับการเลื่อนขึ้นลงของตำแหน่งดวงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก และอาจจะมีพายุโซนร้อนเกิดขึ้นได้

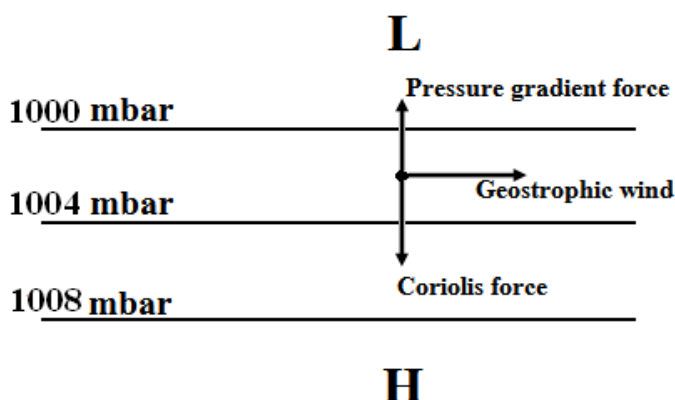
ขณะเดียวกันที่ละติจูด 30 องศาเหนือหรือใต้ หรือบริเวณซอร์สละติจูดอากาศที่ผิวพื้นไม่ได้เคลื่อนตัวไปยังศูนย์สูตรทั้งหมด ยังมีอากาศบางส่วนเคลื่อนตัวเข้าสู่ขั้วโลกทำให้เกิดลมฝ่ายตะวันตก ซึ่งพัดอยู่ประมาณละติจูด 35-60 องศาเหนือและใต้ อยู่ในเขตความกดอากาศต่ำ มีทิศทางไม่แน่นอน ลมแปรปรวนและมีพายุ เป็นบริเวณที่ได้รับลมประจำตะวันตก ในซีกโลกเหนือเป็นลมที่พัดมาจาก ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนในซีกโลกใต้เป็นลมที่พัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และเป็นลมที่มีกำลังลมแรงมาก เพราะในซีกโลกใต้เป็นพื้นน้ำติดต่อกันไม่มีทวีปคั่นอยู่เป็นตอนๆ เช่นเดียวกับซีกโลกเหนือประมาณละติจูดที่ 40-60 องศาใต้ เป็นลมที่ชาวเรือใช้เดินเรือจาก มหาสมุทรแอตแลนติกไปยังทวีปออสเตรเลีย เกาะแทสมาเนีย และประเทศนิวซีแลนด์

ส่วนวงจรที่ 2 เป็นวงจรที่เกิดขึ้นในแถบละติจูดกลาง เรียกว่าวงจรเฟอร์เรล (Ferrel cell) ภายในวงจรลมฝ่ายตะวันตกไหลขึ้นตรงแนวความกดอากาศต่ำถึงขั้วโลก และอากาศที่ไหลขึ้นบางส่วนจะไหลย้อนกลับเป็นลมชั้นบน ไหลลงไปที่ซอร์สละติจูด อยู่ในเขตความกดอากาศสูงถึงโซนร้อน และวงจรที่สามคือ วงจรขั้วโลก (polar cell) เป็นวงจรที่เกิดจากแนวความกดอากาศต่ำถึงขั้วโลก ไปถึงขั้วโลก ที่ผิวพื้นมีลมฝ่ายตะวันออกแถบขั้วโลกพัดจากความกดอากาศสูงแถบขั้วโลกมายังแถบความกดอากาศต่ำถึงขั้วโลก (ประมาณ 60-90 องศาเหนือและใต้) เป็นลมอ่อน ท้องฟ้าแจ่มใส ซีกโลกเหนือพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในซีกโลกใต้พัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ ระหว่างวงจรเฟอร์เรล และวงจรขั้วโลกจะเกิดแนวปะทะอากาศขั้วโลก เป็นแนวที่แบ่งแยกอากาศร้อนที่ไหลขึ้นไปจากวงจรเฟอร์เรลพบกับอากาศเย็นที่ไหลลงมาจากวงจรขั้วโลก

2.3 ลมและประเภทของลม

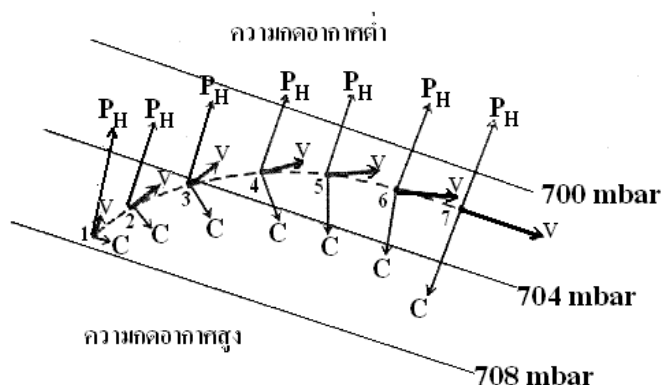
2.3.1 ลมชั้นบน แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. ลมจีโอสโทรฟิก (Geostrophic Wind) เป็นลมในทางทฤษฎีที่เกิดจากการสมดุลกันของแรง 2 แรง ที่มากระทำต่อกัน คือ แรงความชันความกดอากาศ (pressure gradient force) ซึ่งชี้จากความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ และแรงคอริโอลิส (Coriolis force) เนื่องจากการหมุนของโลก แรงทั้ง 2 ถ่วงดุลซึ่งกันและกัน โดยมีทิศทางตรงข้ามกันและมีความสมดุลกัน ลมจีโอสโทรฟิกจะมีทิศทางขนานกับเส้นไอโซบาร์ (รูปที่ 2.5)



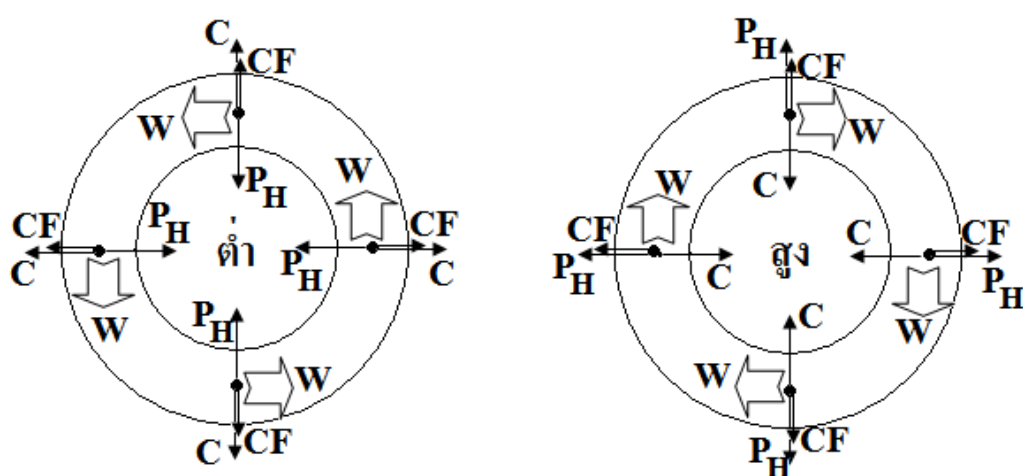
รูปที่ 2.5 แสดงลมจีโอสโทรฟิกซึ่งพัดขนานกับไอโซบาร์ในซีกโลกเหนือ

ในซีกโลกเหนือความกดอากาศต่ำจะอยู่ทางซ้ายของลม ส่วนในซีกโลกใต้ความกดอากาศต่ำจะอยู่ทางขวาของลมจีโอสโทรฟิก ลมจีโอสโทรฟิกนี้เป็นลมชั้นบนในระดับที่สูงจากพื้นดินตั้งแต่ 1 กิโลเมตร ขึ้นไปเป็นระยะที่ไม่มีแรงฝืด พ้นจากอิทธิพลของสิ่งกีดขวางทางธรรมชาติบนพื้นผิวโลก และจะเกิดที่ละติจูดประมาณ 10 หรือ 15 องศาเหนือศูนย์สูตร เพราะที่ละติจูดต่ำแรงคอริโอลิส จะมีค่าน้อย ยิ่งบริเวณศูนย์สูตรแรงนี้จะมีค่าเป็นศูนย์ รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางของลมจีโอสโทรฟิกในซีกโลกเหนือที่ไม่มีแรงฝืด ในระดับความสูงจากพื้นดิน 3 กิโลเมตร โดยปกติอากาศจะเคลื่อนที่จากความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ ก่อนที่ลมจะเคลื่อนที่ แรงคอริโอลิสจะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อมีความแตกต่างของความกดอากาศเกิดขึ้น อากาศจะเริ่มเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 1 ไปด้วยความเร็วข้ามไอโซบาร์ ซึ่งในขณะที่อากาศเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ 7 จะค่อยๆเบนเฉไปทางขวาและเข้าสู่สมดุลในที่สุด ณ ตำแหน่งที่ 7



รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางของลมจีโอสโทรฟิก ในซีกโลกเหนือที่ไม่มีแรงฝืดในระดับความสูงจากพื้นดิน 3 กิโลเมตร (P_H = แรงความชันความกดอากาศในแนวนอน, C = แรงคอริโอลิส, V = ลมจีโอสโทรฟิก)

2. ลมเกรเดียนท์ (Gradient Wind) เป็นลมที่เกิดจากแรง 3 แรง กระทำต่อกัน และมีความสมดุลกันคือ แรงความชันความกดอากาศ (pressure gradient force) แรงคอริโอลิส (Coriolis force) (ทั้ง 2 แรงนี้ทำให้เกิดลม จีโอสโทรฟิก) และอีกหนึ่งแรง คือ แรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) ซึ่งเป็นแรงที่ออกจากศูนย์กลางลม ตั้งฉากกับไอโซบาร์ซึ่งในกรณีนี้มีลักษณะเป็นแนวโค้ง ลมชนิดนี้จะพัดขนานกับแนวโค้งของไอโซบาร์ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงให้เห็นความสมดุลของแรง 3 แรง รอบๆบริเวณความกดอากาศต่ำ และความกดอากาศสูงในซีกโลกเหนือ



(ก) บริเวณความกดอากาศต่ำ

(ข) บริเวณความกดอากาศสูง

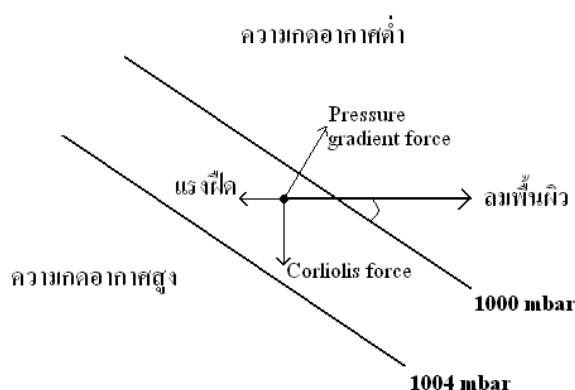
รูปที่ 2.7 แสดงความสมดุลของแรง 3 แรง รอบๆความกดอากาศ (P_H = แรงความชันความกดอากาศในแนวนอน, C = แรงคอริโอลิส, CF = แรงหนีศูนย์กลาง, W = ทิศทางลม)

สำหรับระบบความกดอากาศต่ำตามรูปที่ 2.7 (ก) แรงความชันความกดอากาศในแนวนอนจะเป็นแรงที่มีทิศเข้าหาศูนย์กลางความกดอากาศต่ำเสมอ ในทำนองเดียวกันแรงคอริโอลิสจะเป็นแรงที่มีทิศตรงข้ามกับแรงความชันความกดอากาศในแนวนอน ส่วนแรงหนีศูนย์กลางจะเป็นแรงที่มีทิศออกจากศูนย์กลางลมเสมอ ในกรณีนี้จึงอยู่ในทิศเดียวกับแรงคอริโอลิส เพื่อให้เกิดความสมดุลกับแรงความชันความกดอากาศในแนวนอน กล่าวคือ $P_H = C + CF$ เพื่อความสมดุลของแรงเหล่านี้บนแผนภาพจะพบว่า แรงคอริโอลิส จะอยู่ทางขวาของทิศทางลมเกรเดียนท์เสมอ และลมเกรเดียนท์จะพัดขนานกับไอโซบาร์รอบศูนย์กลางความกดอากาศต่ำ ในลักษณะทวนเข็มนาฬิกาสำหรับซีกโลกเหนือ

รูปที่ 2.7 (ข) แสดงแผนภาพของระบบความกดอากาศสูง แรงความชันความกดอากาศในแนวนอนและแรงหนีศูนย์กลางจะมีทิศออกจากศูนย์กลางความกดอากาศสูง ส่วนแรงคอริโอลิสจะมีทิศเข้าหาศูนย์กลางความกดอากาศสูง ทำให้เกิดความสมดุล ดังนี้ $Ph + CF = C$ จะเห็นว่าแรงคอริโอลิสยังคงอยู่ทางขวาของทิศทางลม โดยลมเกรเดียนท์จะพัดขนานกับไอโซบาร์รอบศูนย์กลางความกดอากาศสูงในลักษณะตามเข็มนาฬิกาสำหรับกรณีที่เกิดขึ้นในซีกโลกเหนือ ในทำนองกลับกัน สำหรับกรณีการเกิดลมประเภทนี้ในซีกโลกใต้ จะพบลักษณะการพัดของลมเกรเดียนท์ในลักษณะที่ตรงกันข้ามกับลักษณะที่เกิดในซีกโลกเหนือ กล่าวคือ ลมเกรเดียนท์จะพัดในทิศทางตามเข็มนาฬิกาการอบบริเวณความกดอากาศต่ำ และพัดวนเข็มนาฬิกาการอบบริเวณความกดอากาศสูง

2.3.2 ลมผิวพื้น

ลมผิวพื้น (Surface Winds) คือ ลมที่พัดจากบริเวณผิวพื้นไปยังความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการคลุกเคล้าของอากาศ และมีแรงฝัดอันเกิดจากการปะทะกับสิ่งกีดขวางบนผิวโลก จะพบว่าในระดับดังกล่าวนี้แรงความชันความกดอากาศในแนวนอนจะไม่สมดุลกับแรงคอริโอลิสเพียงอย่างเดียว เมื่อมีแรงฝัดยอมทำให้ความเร็วลมลดลง ส่งผลให้แรงคอริโอลิสลดลงด้วย ดังนั้นลมผิวพื้นจะไม่พัดขนานกับไอโซบาร์ แต่จะพัดข้ามไอโซบาร์จากความกดอากาศสูงไปยังความกดอากาศต่ำ และทำมุมกับไอโซบาร์ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยมุมที่กระทำจะขึ้นอยู่กับความหยาบ (roughness) ของผิวพื้นที่พัดผ่าน ถ้าเป็นการพัดผ่านเหนือพื้นผิวทะเลที่ราบเรียบ มุมที่ทำกับไอโซบาร์จะมีค่าประมาณ 10 ถึง 20 องศา แต่ถ้าเป็นการพัดผ่านเหนือพื้นดินมุมที่กระทำกับ ไอโซบาร์จะประมาณ 20 ถึง 40 องศา ส่วนบริเวณที่เป็นป่าไม้หนาทึบ อาจทำมุมถึง 90 องศา นอกจากนั้นพบว่าที่ระดับความสูงตั้งแต่ 10 เมตร ขึ้นไป แรงฝัดมีค่าลดลง ทำให้ความเร็วลมมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มุมที่ทำกับไอโซบาร์เล็กลง ยิ่งเข้าไปใกล้ระดับความสูง 1 กิโลเมตรแรงฝัดมีค่าน้อยลงเข้าไปใกล้ศูนย์ มุมจะลดน้อยลงตามด้วย จนกระทั่งลมพัดขนานกับไอโซบาร์ในที่สุด



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของลมผิวพื้น โดยในระดับความสูง 1 กิโลเมตรแรกจากผิวพื้นที่มีแรงไล่ ลมผิวพื้นจะพัดข้ามไอโซบาร์ และทำมุมกับไอโซบาร์

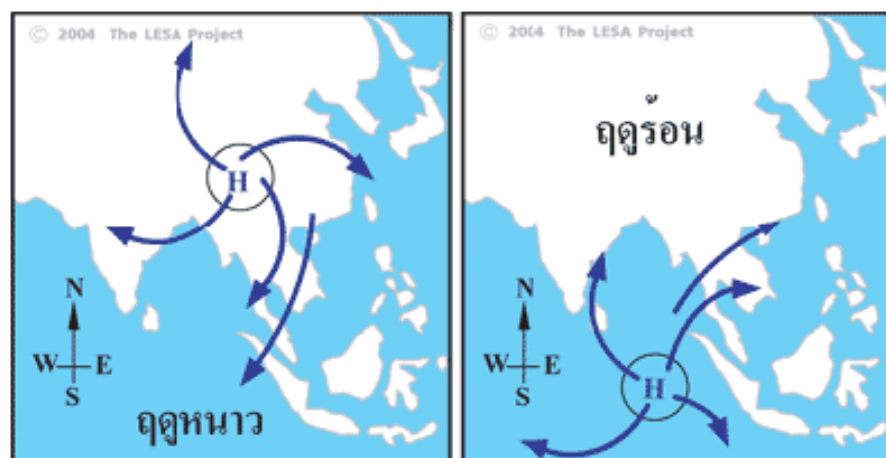
2.4 ลมมรสุม

ลมมรสุม (Monsoon) มาจากคำในภาษาอาหรับว่า Mausim แปลว่า ฤดู ดังนั้นลมมรสุมจึงหมายถึง ลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางเมื่อเปลี่ยนฤดูคือ ฤดูร้อนจะพัดในทิศทางหนึ่ง และจะพัดเปลี่ยนทิศทางในทางตรงกันข้ามในฤดูหนาว ครั้งแรกใช้เรียกลมนี้ในบริเวณทะเลอาหรับซึ่งพัดอยู่ในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือเป็นระยะเวลา 6 เดือน และพัดอยู่ในทิศทางตะวันตกเฉียงใต้เป็นระยะเวลา 6 เดือน สำหรับส่วนอื่นๆ ของโลก ลมมรสุมที่เห็นชัดเจนที่สุดคือ ลมมรสุมที่เกิดขึ้นในเอเชียตะวันออก และเอเชียใต้

ลักษณะการเกิดลมมรสุม เป็นทำนองเดียวกับการเกิดลมบกลมทะเล ในฤดูหนาวอากาศภายในภาคพื้นทวีปเย็นกว่าอากาศในมหาสมุทรที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้ภาคพื้นทวีปบริเวณไซบีเรียเป็นเขตความกดอากาศสูง ส่วนบริเวณมหาสมุทรอินเดียเป็นเขตความกดอากาศต่ำ อากาศเหนือมหาสมุทรอินเดียซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณไซบีเรียจะลอยตัวสูงขึ้น และอากาศบริเวณไซบีเรียจะไหลเข้าไปแทนที่ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (รูปที่ 2.9) อากาศที่ไหลออกจากบริเวณความกดอากาศสูงไซบีเรียเป็นอากาศที่ไหลจมลง และทิศทางลมจะเบนไปทางขวา กลายเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือผ่านเข้าไปยังเอเชียตะวันออกและเอเชียใต้ โดยทั่วไปมีลักษณะอากาศดี และเป็นฤดูที่มีอากาศแห้ง ดังนั้นลมมรสุมฤดูหนาวลักษณะท้องฟ้าแจ่มใส เป็นลมที่พัดจากฝั่งออกสู่ทะเล

ในฤดูร้อนลมจะพัดเปลี่ยนในทิศทางตรงกันข้าม อากาศภาคพื้นทวีปอุ่นกว่าพื้นน้ำ ซึ่งทำให้ภาคพื้นทวีปเป็นเขตความกดอากาศต่ำ พื้นน้ำเป็นเขตความกดอากาศสูง เกิดลมพัดจากพื้นน้ำที่เป็นเขตความกดอากาศสูงเข้าสู่พื้นดินที่เป็นเขตความกดอากาศต่ำ ในทิศทวนเข็มนาฬิกากลายเป็น

มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมที่พัดจากพื้นน้ำเข้ามา นำเอาความชื้นมาด้วยเป็นลมที่พัดจากทะเลเข้าหาฝั่ง (รูปที่ 2.9)



รูปที่ 2.9 แสดงลมมรสุมฤดูหนาว และ ลมมรสุมฤดูร้อน

มรสุมที่มีกำลังแรงที่สุด เกิดขึ้นในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้แก่ ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ไต้หวัน ญี่ปุ่น และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนเกาหลี ลมมรสุมที่เกิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คือ ในเอเชียตะวันออกเฉียง ลมมรสุมฤดูหนาวมีกำลังแรงกว่าและมีทิศทางที่คงที่กว่ามรสุมฤดูร้อน ความเร็วลมตามชายฝั่งในเดือนมกราคม จะมีมากกว่าเดือนกรกฎาคมหลายเท่า ส่วนลมมรสุมในเอเชียใต้ รวมทั้งประเทศอินเดีย ปากีสถาน และประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลมมรสุมฤดูหนาวไม่สามารถแผ่เข้าไปถึงดินแดนเหล่านี้ได้ เพราะมีเทือกเขาหิมาลัยขวางกั้นอยู่ ดังนั้นเอเชียใต้จึงได้รับมรสุมโดยตรงเฉพาะในช่วงฤดูร้อนเท่านั้น และลมจะมีกำลังแรงในฤดูร้อน แม้แต่ในมหาสมุทร คือฤดูร้อนลมมีความเร็วเฉลี่ย 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนฤดูหนาวลมมีกำลังอ่อน มีความเร็วน้อยกว่า 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บริเวณที่มีฝนตกหนักเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมฤดูร้อนคือ เมืองเซอร่าบันจิ ทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศอินเดีย มีปริมาณฝนตกในแต่ละปีประมาณ 10,800 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่จะมีฝนตกในช่วงเดือนเมษายนถึงตุลาคม ฝนที่ตกมีประโยชน์ทางการเกษตร ทำให้พืชผลเจริญเติบโต เนื่องจากบริเวณที่มีฝนอากาศแห้ง แต่ฝนที่ตกลงมามีข้อเสีย เนื่องจากช่วงเวลาที่ฝนตกจะมีความไม่แน่นอนรวมทั้งความแรงของฝน สำหรับประเทศกัมพูชาได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทั้งสองฤดู คือ ในช่วงฤดูฝนประมาณต้นเดือนพฤษภาคมจนถึงต้นเดือนตุลาคม ได้รับลมมรสุม

ตะวันตกเฉียงใต้ และต่อมาในช่วงฤดูหนาว ประมาณปลายเดือนตุลาคมจนถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ ลมจะเปลี่ยนทิศเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

นอกจากลมมรสุมที่เกิดขึ้นทวีปเอเชียแล้ว ยังมีลมมรสุมที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนอื่นของโลก เช่น ทางภาคเหนือของประเทศออสเตรเลีย เมื่อลมมรสุมพัดข้ามศูนย์สูตรจะเปลี่ยนทิศทางเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือพัดเข้าสู่ทางภาคเหนือของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีแนวเขตลมสินค้าเบียดตัวเข้าหากันพาดผ่านอยู่ เป็นแนวแบ่งเขตระหว่างลมสินค้าตะวันตกเฉียงเหนือของซีกโลกเหนือกับลมสินค้าตะวันออกเฉียงใต้ของซีกโลกใต้ รวมทั้งมีลมมรสุมเกิดขึ้นในอ่าวกีนีของแอฟริกาตะวันตก บางส่วนของทวีปอเมริกาเหนือ และบางส่วนของทวีปอเมริกาใต้

2.5 การวัดลม

โดยทั่วไปสภาวะของลมสามารถสังเกตได้จากสภาพทางธรรมชาติในบริเวณนั้นๆ ได้ว่ามีความแรงมากน้อยเพียงใด โดยการดูจากลักษณะการก่อตัวของพื้นผิวตามธรรมชาติ เช่นเนินทราย ปกติเมื่อทรายจะถูกพัดพาโดยลมที่พัดผ่านและไปกองรวมในบริเวณที่ลมเคลื่อนที่ช้าลง ทั้งนี้ขนาดของเม็ดทรายและระยะทางที่ถูกพัดพาสามารถบอกแนวโน้มความแรงของลมเฉลี่ยในบริเวณนั้นว่าเป็นอย่างไรมาก่อน นอกจากนี้เรายังสามารถสังเกตความแรงของลมจากสภาพของต้นไม้โดยในบริเวณที่มีกระแสลมแรงพัดผ่านอย่างต่อเนื่อง กิ่งไม้จะมีลักษณะงอตามลม ซึ่งแตกต่างจากต้นไม้ทั่วไป ดังนั้นหากเราสังเกตสภาพทางธรรมชาติในบริเวณนั้น จะพอทราบได้คร่าวๆว่าในบริเวณดังกล่าวน่าจะมีลมพัดผ่านอย่างไร



รูปที่ 2.10 แสดงสภาพธรรมชาติที่บ่งชี้ถึงสภาวะของลมในบริเวณนั้น

2.5.1 เครื่องวัดความเร็วลม

ตัวบ่งชี้ทางธรรมชาติที่กล่าวมาแล้วข้างต้นรวมไปถึงข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของแต่ละบริเวณจะพอบอกได้คร่าวๆว่าบริเวณดังกล่าวมีสภาพลมเป็นอย่างไร แต่อย่างไรก็ตามสำหรับการศึกษาวิจัยจำเป็นต้องอาศัยการวัดที่ชัดเจน โดยเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลมจะเรียกว่า แอนนิโมมิเตอร์ (anemometer) ซึ่งมีด้วยกันหลายแบบ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

2.5.1.1 แอนนิโมมิเตอร์แบบถ้วย

เครื่องวัดลมแบบถ้วย (cup anemometer) เป็นแบบที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยมีลักษณะเป็นกรวยหรือครึ่งทรงกลมเชื่อมต่อกับแขนที่ยึดติดกับแกนหมุน โดยที่แกนหมุนจะตั้งฉากกับระนาบของลูกถ้วยหรือตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของลม แอนนิโมมิเตอร์แบบนี้อาจประกอบด้วยลูกถ้วย 3 หรือ 4 อัน ที่วางห่างกันด้วยมุมที่เท่ากันในแนวระนาบ และลูกถ้วยต้องทำจากวัสดุเบาเพื่อให้ง่ายแก่การหมุน เมื่อมีลมมาปะทะกับลูกถ้วยก็จะทำให้เกิดการหมุน โดยแรงจะมีค่าเป็นไปตามสมการ

$$F = C \frac{1}{2} A \rho_a v^3 \quad (2.1)$$

โดยที่ F = แรงที่กระทำต่อลูกถ้วย (drag force)
 C = สัมประสิทธิ์ของแรง (drag coefficient)
 A_c = พื้นที่ของถ้วยที่ลมปะทะ
 ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ
 v = ความเร็วลม

จะเห็นว่าความถี่ในการหมุนแปรผันตรงกับความเร็วของลม โดยทั่วไปแกนหมุนจะต่อเชื่อมกับไดนาโมไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นหากวัดค่ากระแสไฟฟ้าอันเกิดจากการหมุนเมื่อมีลมมาปะทะลูกถ้วย และหากมีการสอบเทียบอย่างแม่นยำ ย่อมหาค่าความเร็วลมที่แม่นยำจากค่ากระแสไฟฟ้าง่ายๆได้ นั่นก็คือเทคนิคพื้นฐานของแอนนิโมมิเตอร์แบบนี้ นั่นเอง



รูปที่ 2.11 แสดงแอนนิโมมิเตอร์แบบถ้วยแบบ 3 และ 4 ลูกถ้วย

2.5.1.2 แอนนิโมมิเตอร์แบบกังหันลม

เครื่องวัดลมแบบกังหันลม (propeller anemometer) จะมีหลักการทำงานคล้ายๆกับ แบบลูกถ้วย แต่จะต่างตรงที่ตัวปะทะลมจะเป็นใบพัดแทน บางครั้งอาจมีการออกแบบให้แกนหมุนของใบพัดจะอยู่ในแนวเดียวกันแนวการพัดของลม และเนื่องจากทิศทางของลมสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้น จึงมีการติดตั้งหางเสือลมเพื่อให้แอนนิโมมิเตอร์แบบนี้หมุนไปในแนวของลมได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.12



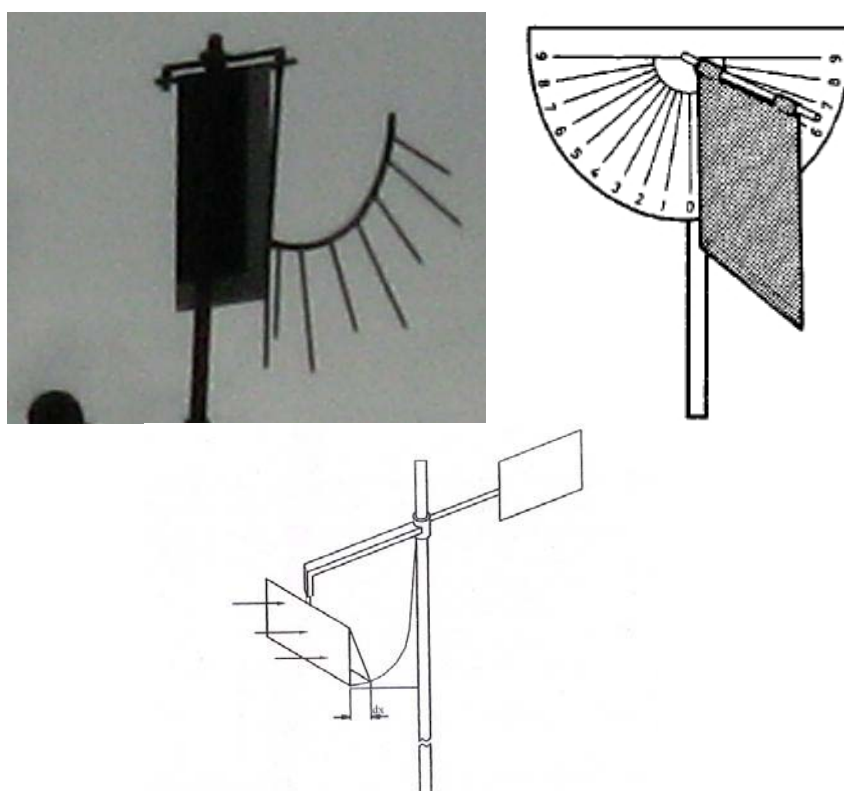
รูปที่ 2.12 แสดงแอนนิโมมิเตอร์แบบกังหันลมทั้งสองแบบ

2.5.1.3 แอนนิโมมิเตอร์แบบแผ่นความดัน

เครื่องวัดลมแบบแผ่นความดัน (pressure plate anemometer) จัดเป็นเครื่องวัดลมรุ่นแรกๆ โดยจะมีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมหรือแผ่นสี่เหลี่ยมวางขวางแนวการพัดของลม เมื่อมีลมมาปะทะก็จะสามารถบอกความแรงของลมจากมุมของแผ่นที่เบนเทียบกับแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ในยุคต่อมาได้มีการดัดแปลงแอนนิโมมิเตอร์แบบนี้มากมาย เช่นการใช้สปริงเข้ามาช่วยให้แผ่นดังกล่าวพยายามกลับมาอยู่ในตำแหน่งเดิม ความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างความดันจากลมที่กระทำกับแผ่นรับลมเป็นตามสมการ

$$P = \frac{1}{2} \rho_a v^3 \quad (2.2)$$

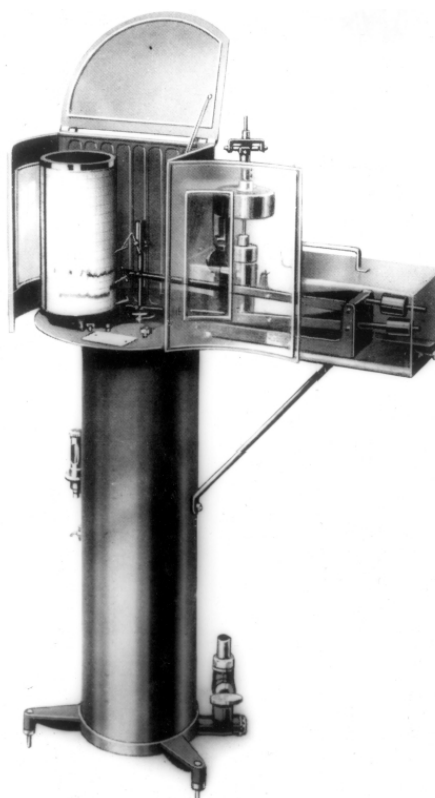
เมื่อ P = ความดัน
 ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศ
 v = ความเร็วลม



รูปที่ 2.13 แสดงแอนนิโมมิเตอร์แบบแผ่นความดันแบบต่างๆ

2.5.1.4 แอนนิโมมิเตอร์แบบท่อความดัน

เครื่องวัดแบบท่อความดัน (pressure tube anemometer) ใช้หลักของความแตกต่างของความดันอากาศที่ไหลผ่านท่อ และอากาศที่ไหลตั้งฉากกับท่อ โดยอาศัยเครื่องวัดความดัน (manometer) ข้อดีของแอนนิโมมิเตอร์แบบนี้ คือ ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ (moving part) ทำให้ไม่มีปัญหาของกลไกการหมุน แต่อาจมีปัญหาของการใช้เก็บข้อมูลระยะยาว อันเกิดจากความชื้น ฝุ่น ไขแมงมุม และแมลงต่างๆ



รูปที่ 2.14 แสดงแอนนิโมมิเตอร์แบบท่อความดัน

2.5.1.5 แอนนิโมมิเตอร์แบบโซนิค

เครื่องวัดความเร็วลมแบบโซนิค (sonic anemometer) จะวัดความเร็วลม โดยการตรวจวัดความเร็วคลื่นเสียงในอากาศ เครื่องวัดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ปล่อยและรับคลื่นเสียง ดังรูปที่ 2.15 เครื่องวัดความเร็วลมแบบโซนิค มีข้อดี คือ ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ ซึ่งลดปัญหาด้านเครื่องกล และมีความละเอียดในการวัดสูง แต่ราคาค่อนข้างแพง



รูปที่ 2.15 แสดงแอนนิโมมิเตอร์แบบโซนิค

2.5.1.6 แอนนิโมมิเตอร์แบบลวดร้อน

เครื่องวัดแบบลวดร้อน (hot wire anemometer) จะใช้เส้นลวดเส้นเล็กๆ ในระดับไมครอน และทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าสภาพแวดล้อม เมื่อมีลมพัดผ่าน จะทำให้เกิด Cooling effect บนเส้นลวดนั้น กล่าวคือทำให้อุณหภูมิของเส้นลวดจะเปลี่ยนไป ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปนั่นเอง ซึ่งจากค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลสืบเนื่องจากลมที่พัดผ่าน โดยทั่วไปแอนนิโมมิเตอร์ประเภทนี้แบ่งได้เป็นสามแบบคือ แบบที่ควบคุมให้กระแสไฟฟ้าคงที่ (constant current anemometer; CCA) แบบที่ควบคุมให้ความต่างศักย์คงที่ (constant voltage anemometer; CVA) และ แบบที่ควบคุมให้อุณหภูมิคงที่ (constant temperature anemometer; CTA) ซึ่งตัวแปรต่างๆ เหล่านี้หากได้รับการสอบเทียบที่ดีจะนำมาหาค่าความเร็วลมได้



รูปที่ 2.16 แสดงแอนนิโมมิเตอร์แบบลวดร้อน

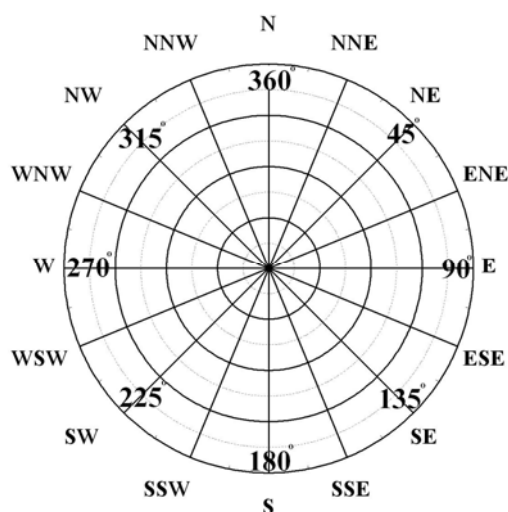
2.5.2 การวัดทิศทางลม

ทิศทางลม (wind direction) เป็นอีกพารามิเตอร์หนึ่งที่จะต้องทราบในการจะศึกษา ศักยภาพพลังงานลม เช่นเดียวกับข้อมูลลมของทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งโดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ใช้ คือ ปรลม (wind vane) ซึ่งปกติแล้วจะมีลักษณะคล้ายๆกันนั้นคือจะต้องชี้ไปในแนวของทิศทางลม ส่วนใหญ่แล้วการวัดความเร็วลมจะควบคู่ไปกับการวัดทิศทางลมเสมอ ในบางรุ่นจึงมีอุปกรณ์วัดความเร็วและทิศทางลมยัดติดกัน ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นลูกศรยาว ซึ่งมีแผ่นทางตั้งเป็นตัวบังคับให้ปลายปรลมชี้ในทิศทางที่ลมพัดเข้ามา บางครั้งอาจเห็นเป็นรูปสัตว์หรืออื่นๆเพื่อความสวยงาม โดยปรลมจะสามารถหมุนได้รอบแกนที่จับออกทิศแน่นอน แต่ในปัจจุบันมีการต่อเข้ากับวงจรไฟฟ้า และอุปกรณ์ที่ช่วยอ่านทิศทางลมตามที่ปลายปรลมชี้ได้ (รูปที่ 2.17)



รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างปรลมในอดีตและปัจจุบัน

การวัดทิศลมอาจเรียกชื่อตามทิศต่างๆ ของเข็มทิศ หรือเรียกเป็นองศาจากทิศจริง ปัจจุบัน การวัดทิศลมนิยมวัดทิศลมตามเข็มทิศ และวัดเป็นองศา ถ้าวัดทิศลมด้วยเข็มทิศ เข็มทิศจะถูกแบ่งออกเป็น ทิศใหญ่ๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และตะวันตก ซึ่งทิศทั้ง 4 ทิศ เมื่อแบ่งย่อยอีกจะเป็น 8 ทิศ โดยจะเพิ่มทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งจาก 8 ทิศ ให้ย่อยเป็น 16 ทิศ หรือ 32 ทิศ ได้อีก แต่การรายงานทิศนั้น มักนิยมรายงานจำนวนทิศเพียง 8 หรือ 16 ทิศ เท่านั้น ส่วนการวัดทิศลมที่เป็นองศาบอกมุมของลมจากทิศจริง ในลักษณะที่เวียนไปตามเข็มนาฬิกา ใช้สเกลจาก 0 องศา ไปจนถึง 360 องศา เช่น ลมทิศ 0 องศา หรือ 360 องศา เป็นทิศเหนือ , ลมทิศ 45 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ, ลมทิศ 90 องศา เป็นทิศตะวันออก, ลมทิศ 135 องศา เป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้, ลมทิศ 180 องศา เป็นทิศใต้, ลมทิศ 225 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้, ลมทิศ 270 องศา เป็นทิศตะวันตก และลมทิศ 315 องศา เป็นทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (รูปที่ 2.18)



รูปที่ 2.18 แสดงทิศลมเรียกเป็นองศาจากทิศจริง แบบ 16 ทิศ

เครื่องวัดลมที่กล่าวมานี้เป็นการวัดลมบนภาคพื้นดิน เพื่อบอกทิศทางและความเร็วลม ณ ตำแหน่งคงที่ ทั้งนี้สิ่งกีดขวางต่างๆ ย่อมมีอิทธิพลต่อลม เช่น อาคาร ต้นไม้ และอื่นๆ ความเร็วลมจะเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้วัดลมควรตั้งอยู่ในที่โล่งที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก และควรอยู่สูงกว่าหลังคาอาคาร แต่ในทางปฏิบัติแอนิโมมิเตอร์จะถูกวางไว้ในระดับความสูงต่างๆ ที่ไม่แน่นอน ทำให้การวัดลมมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

2.6 การตรวจลมชั้นบน

วิธีที่ง่ายที่สุดในการตรวจลมชั้นบน คือการใช้ ไซลอบอลูน (Pilot Balloon) หรือ บอลลูนตรวจอากาศ เป็นบอลลูนขนาดเล็ก ยัดด้วยก๊าซไฮโดรเจนหรือก๊าซฮีเลียม แล้วปล่อยบอลลูนให้ลอยขึ้นจากพื้นดินด้วยอัตราความเร็วที่กำหนดไว้ หลังจากปล่อยบอลลูนไปแล้ว จะสังเกตการณ์เคลื่อนที่ของบอลลูนโดยใช้กล้องส่องทางไกลขนาดเล็ก เรียกว่ากล้องทีโอโดไลต์ (Theodolite) โดยหันกล้องตามบอลลูนตลอดเวลา เพื่อวัดการเคลื่อนที่ของลมผ่านการเคลื่อนที่ของบอลลูน โดยวัดมุมในแนวตั้ง (ความสูง) และวัดมุมในแนวนอน (ทิศทาง) การวัดมุมนั้นปกติวัดมุมกันทุกๆ 1 นาที (หรือครึ่งนาที) ดังนั้นหากทราบอัตราเร็วในการลอยขึ้นของบอลลูนและรู้ตำแหน่งความสูงของบอลลูนจะสามารถคำนวณหาอัตราเร็วของลมได้ โดยทั่วไป การคำนวณหาความเร็วลมและทิศทางลม จะทำกันในระดับความสูงทุกๆ 300 เมตร แต่ทว่า การตรวจวัดลมวิธีนี้ มีข้อเสีย คือ หากบอลลูนถูกบดบังด้วยเมฆจนไม่สามารถมองเห็นบอลลูน ทำให้ไม่ทราบตำแหน่งของบอลลูน จึงส่งผลให้การตรวจดำเนินต่อไปไม่ได้

ไพลอตบอลลูน สามารถใช้ตรวจวัดลมพร้อมกับเครื่องมือที่เรียกว่า เรดิโอซอนด์ (Radiosonde) เป็นการตรวจลมตั้งแต่ระดับความสูงจากพื้นดินไปจนถึงระดับ 30 กิโลเมตร เครื่องเรดิโอซอนด์ประกอบด้วย เครื่องตรวจความกดอากาศ ความชื้น อุณหภูมิ และ เครื่องส่งวิทยุ บรรจุอยู่ในกล่องขนาดเล็กติดไปกับบอลลูน โดยมีสถานีรับคลื่นวิทยุขนาดย่อมบนพื้นดิน โดยกล่องนี้จะถูกผูกติดกับบอลลูนซึ่งมีร่มชูชีพผูกติดไว้ด้วย (รูปที่ 2.19) โดยเมื่อลูกโป่งแตก เรดิโอซอนด์จะตกถึงพื้นได้โดยไม่เสียหาย



รูปที่ 2.19 แสดงบอลลูนตรวจอากาศที่มีเรดิโอซอนด์ (Radiosonde)

บอลลูนที่มีคุณภาพดีจะต้องสามารถลอยขึ้นไปในอากาศได้ในระดับความสูง 24 ถึง 32 กิโลเมตร ก่อนที่บอลลูนจะแตก ภายในเครื่องส่งจะมีวงจรของเครื่องวัดที่ใช้ตรวจสอบสภาพอากาศดังกล่าวแล้วข้างต้น จากนั้นจะส่งข้อมูลเป็นคลื่นวิทยุกลับมายังสถานีรับบนพื้นดิน เพื่อทำการคำนวณค่าความถี่ของคลื่นวิทยุกลับไปเป็นค่าอุณหภูมิ ความชื้นและความกดอากาศต่อไป

สำหรับที่ระดับความสูงเหนือพื้นดิน 30 กิโลเมตรขึ้นไป จะอาศัยเครื่องตรวจวัดลมชั้นบนเรียกว่า เรวินซอนด์ (Rawinsonde) เป็นเครื่องมือที่ใช้หาค่าความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ และความกดอากาศ โดยการใช้คลื่นวิทยุ หรือเรดาร์ติดตามทิศทาง สถานีรับบนผิวโลกจะตรวจรับสัญญาณจากคลื่นวิทยุจากเครื่องส่งซึ่งติดอยู่กับบอลลูน หากใช้เรดาร์แทนคลื่นวิทยุ จำเป็นต้องมีเป้าสะท้อนคลื่นเรดาร์ผูกติดกับลูกบอลลูนด้วย

สำหรับในบางบริเวณที่ห่างไกลความเจริญ การตรวจวัดลมด้วยวิธีการต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นไม่สะดวกมากนัก ดังนั้น ข้อมูลเกี่ยวกับลมที่เชื่อถือได้มากที่สุดน่าจะมาจากดาวเทียมซึ่งโคจรอยู่เหนือบริเวณนั้นโดยเฉพาะ จากข้อมูลดาวเทียมจะทราบลักษณะการเคลื่อนที่ของเมฆ ซึ่ง

จากทิศทางการเคลื่อนที่ของเมฆจะสามารถบอกทิศทางลม และระยะทางที่เมฆเคลื่อนที่ไปในแนวนอนในช่วงเวลาที่กำหนดให้จะสามารถบอกความเร็วลมในบริเวณนั้นๆได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หากต้องการบอกว่าบริเวณหนึ่งบริเวณใดมีศักยภาพทางด้านพลังงานลมมากน้อยแค่ไหน นั้น วิธีที่จะได้คำตอบที่ถูกต้องแม่นยำที่สุดคือการตั้งเสาวัดลมที่ได้มาตรฐาน ณ บริเวณนั้นและทำการเก็บข้อมูลติดต่อกันนานๆ นั้นหมายถึงการใช้เวลาและการลงทุนอย่างมหาศาล ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการศึกษาโดยใช้แบบจำลองขึ้นมาช่วย โดยในช่วงที่ผ่านมามีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแบบจำลองทางตัวเลขของบรรยากาศ โดยส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากความเจริญของเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ที่ส่งผลให้สามารถทำการจำลองการเปลี่ยนแปลงในสามมิติได้

ที่ผ่านมา Physick (1988) และ Pielke (1984) ได้นำเสนอลักษณะต่างๆไปของแบบจำลองในสเกลปานกลาง โดยมุ่งเน้นในการพัฒนาและการใช้แบบจำลองแบบ hydrostatic mesoscale โดยแบบจำลองดังกล่าวนี้สามารถศึกษาได้ละเอียดถึงระยะ 15 กิโลเมตรตามแนวราบ ซึ่ง Nickerson และคณะ (1986) ก็เคยทำการศึกษาปรากฏการณ์ในบริเวณเดียวกับงานวิจัยชิ้นนี้มาแล้ว

แต่ทว่ายังคงมีหลายเหตุการณ์ที่ได้จากการประมาณโดยวิธี hydrostatic นั้นไม่น่าเชื่อถือ โดย Song และคณะ (1985) ได้ชี้ให้เห็นว่าการประมาณแบบ hydrostatic นี้จะผิดพลาดมากยิ่งขึ้นเมื่อระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น หรือแม้แต่ว่าระบบที่มีการแพร่มากก็เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่สร้างแบบจำลอง hydrostatic สำหรับกริดขนาดเล็กด้วยเช่นเดียวกัน สำหรับในบริเวณที่มีประชาชนอาศัยอยู่หนาแน่นหรือบริเวณที่มีลักษณะภูมิประเทศที่ซับซ้อนจำเป็นต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับสถานะบรรยากาศที่ค่อนข้างละเอียด ตัวอย่างเช่น ในการจะศึกษาการแลกเปลี่ยนพลังงานในบริเวณพื้นผิวโลกที่มีพืชพรรณหลากหลายปกคลุมอยู่ การศึกษาการระเหยของน้ำหรือแม้แต่ว่าการศึกษามลพิษในระดับท้องถิ่นจำเป็นต้องมีความละเอียดในแนวราบถึงระดับกิโลเมตรเลยทีเดียว

งานวิจัยต่างๆที่กล่าวมานั้นล้วนแล้วแต่มุ่งเน้นที่จะศึกษากระบวนการต่างๆในสถานการณ์อุดมคติโดยจะนำไปสู่ความเข้าใจหลักการพื้นฐานของแต่ละปรากฏการณ์ได้ดีขึ้น ในทางกลับกันเป็นการยากมากที่จะจำลองสถานการณ์ที่สังเกตเห็น ทั้งนี้เพราะมีกระบวนการจำนวนมากในระดับสเกลที่แตกต่างกันแต่เกิดในเวลาเดียวกัน ตัวอย่างเช่นในงานวิจัยของ Seaman และคณะ(1989) หรืองานวิจัยของ Yamada และ Bunker (1988)

หลังจากที่มีการพัฒนา Karlsruhe Atmospheric Mesoscale Model (KAMM) Adrian และ Fiedler (1991) ได้นำเสนอรายละเอียดของแบบจำลองนี้รวมถึงการประยุกต์ใช้กับบริเวณที่มีข้อมูลอุตุนิยมวิทยาสำหรับใช้เป็นเงื่อนไขตั้งต้นและขอบเขตเงื่อนไขได้ และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ

ข้อมูลจากการตรวจวัดจริง โดยทั้งนี้จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ภายนอกที่จะส่งผลต่อแบบจำลองเพื่อมุ่งหมายที่จะเปรียบเทียบผลของแบบจำลองกับค่าที่วัดได้ จากผลที่ได้จากแบบจำลองยังแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองในสเกลปานกลางสามารถใช้ในการจัดหาข้อมูลเพิ่มเติมในความละเอียดที่สูงขึ้น หรือแม้แต่ช่วยวิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจวัดที่มีความละเอียดค่อนข้างน้อยได้อีกด้วย

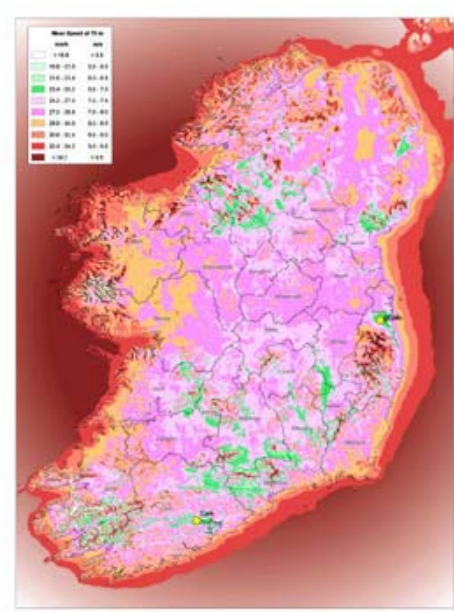
แบบจำลองในสเกลปานกลางนี้โดยทั่วไปจะอยู่ในระดับ 100 กิโลเมตร ซึ่งสามารถอธิบายเพียงเศษเสี้ยวของบรรยากาศทั้งหมด เพื่อให้สามารถที่จะเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับค่าจากการตรวจวัดจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ผลจากข้อมูลที่ทำนายโดยแบบจำลองในสเกลขนาดใหญ่มาช่วยด้วย โดยวิธีที่พอเป็นไปได้นั่นอาจกำหนดขอบเขตเงื่อนไขของสเกลขนาดเล็กโดยใช้สเกลขนาดใหญ่ช่วย ซึ่งตามงานวิจัยของ Clark และ Farley (1984) ได้แสดงให้เห็นว่าจากวิธีดังกล่าวสามารถสร้างแบบจำลองที่มีความละเอียดเพิ่มเป็นสองเท่าได้ ทั้งนี้ทั้งนั้นพบว่าวิธีนี้จะไม่เหมาะสมเมื่อขนาดของกริดที่เล็กที่สุดของสเกลขนาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของสเกลขนาดเล็ก ซึ่งสำหรับกริดดังกล่าวนี้สามารถแก้ไขได้ตามที่ Adrian ได้เสนอไว้ในปี 1987 โดยต้องมีการกำหนดสถานะพื้นฐานจากแบบจำลองในสเกลขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วยเช่นกัน ยิ่งไปกว่านั้นสามารถที่จะใช้ร่วมกับข้อมูลจากการวัดที่มีความละเอียดไม่มากได้ กระบวนการนี้จะอยู่บนพื้นฐานที่เรียกว่า multivariate optimum interpolation scheme ในปี 1989 Seaman และคณะ ได้ใช้ค่าขอบเขตเงื่อนไขของแบบจำลอง hydrostatic ที่ได้จากสถานะของลมที่ได้มาจากการตรวจวัดเท่านั้น

ด้วยเหตุที่พลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีความเป็นไปได้สูงในการนำไปใช้งานจริง แต่การประยุกต์ใช้พลังงานลมขึ้นกับศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่นั้นๆ โดยการหาศักยภาพพลังงานลมอาจทำเฉพาะพื้นที่เล็กๆ หรือจัดทำในรูปของพื้นที่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาความเร็วและทิศทางลมโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการศึกษาศักยภาพพลังงานลมนั่นเอง โดยในอดีตที่ผ่านมา มีนักวิจัยในหลายประเทศได้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานลมในประเทศต่างๆ ซึ่งงานที่สำคัญมีดังนี้

Troen และ Petersen (1989) ได้จัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของยุโรป โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลความเร็วและทิศทางลมที่วัดตามสถานีอุตุนิยมวิทยาของประเทศต่างๆ ในยุโรป จากนั้นได้ใช้แบบจำลองทางฟิสิกส์คำนวณแก็งผลจากสิ่งกีดขวางทางลม และความสูงต่ำของสภาพพื้นผิว เพื่อทำการหาความเร็วลมมาตรฐาน (standardized wind speed) ที่ระดับความสูงและความหยาบ (roughness) ของพื้นผิวระดับต่างๆ ของบริเวณสถานีวัดลม หลังจากนั้นได้ทำการ

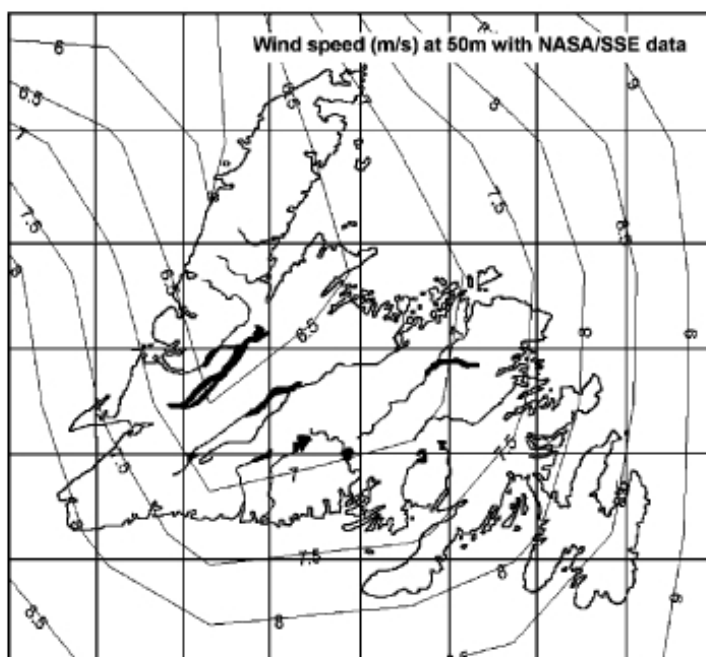
interpolation ค่าความเร็วลมระหว่างสถานีวัด เพื่อจัดทำเป็นแผนที่ลมของยุโรป (European wind atlas)

Frank และ Landberg (1997) ได้ใช้แบบจำลองบรรยากาศในการคำนวณลมในประเทศไอร์แลนด์ โดยใช้วิธีแบ่ง class ของลมออกเป็น 65 class ซึ่งสามารถแสดงแผนที่ศักยภาพมาดังรูปที่ 2.20 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ European Wind Atlas แล้วพบว่าสำหรับบริเวณที่ลมแรงค่อนข้างสอดคล้อง ส่วนบริเวณที่ลมไม่แรงพบว่าได้ค่าสูงมากกว่าค่าของ European Wind Atlas



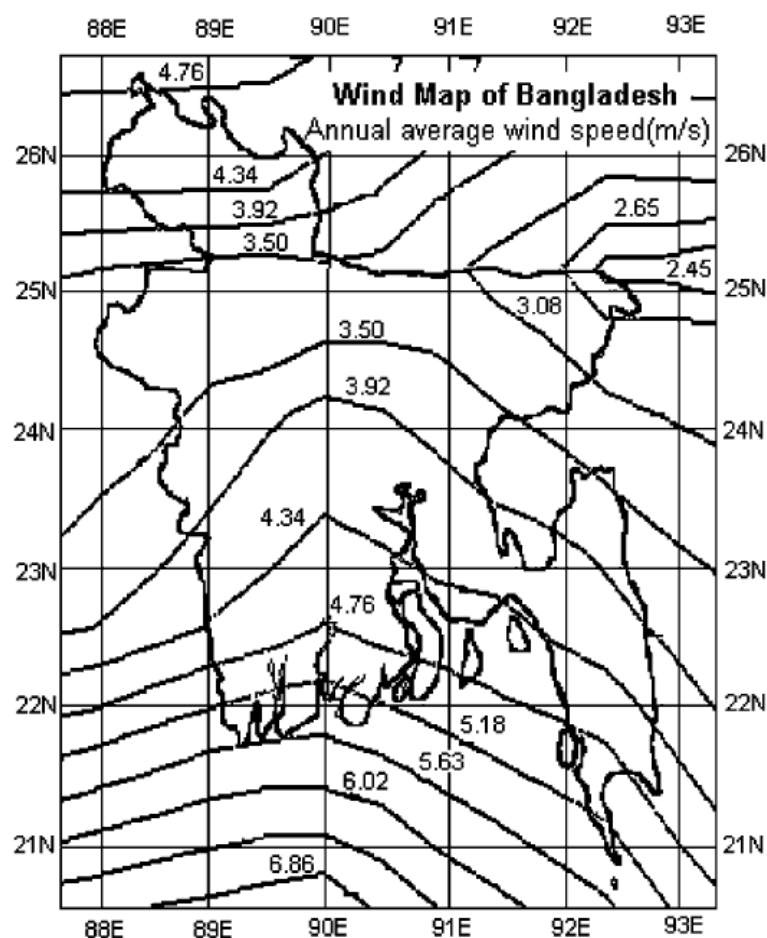
รูปที่ 2.20 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของ Ireland

Khan และ Iqbal (2004) ทำการสร้างแผนที่ลมของรัฐ Newfoundland ประเทศแคนาดา โดยการนำข้อมูลลมระดับสเกลใหญ่ มาทำการคำนวณความเร็วและทิศทางลมที่ความสูงจากพื้นในระดับต่างๆ จากนั้นได้จัดแสดงแผนที่ในลักษณะของ contour ของความเร็วลมครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการศึกษา



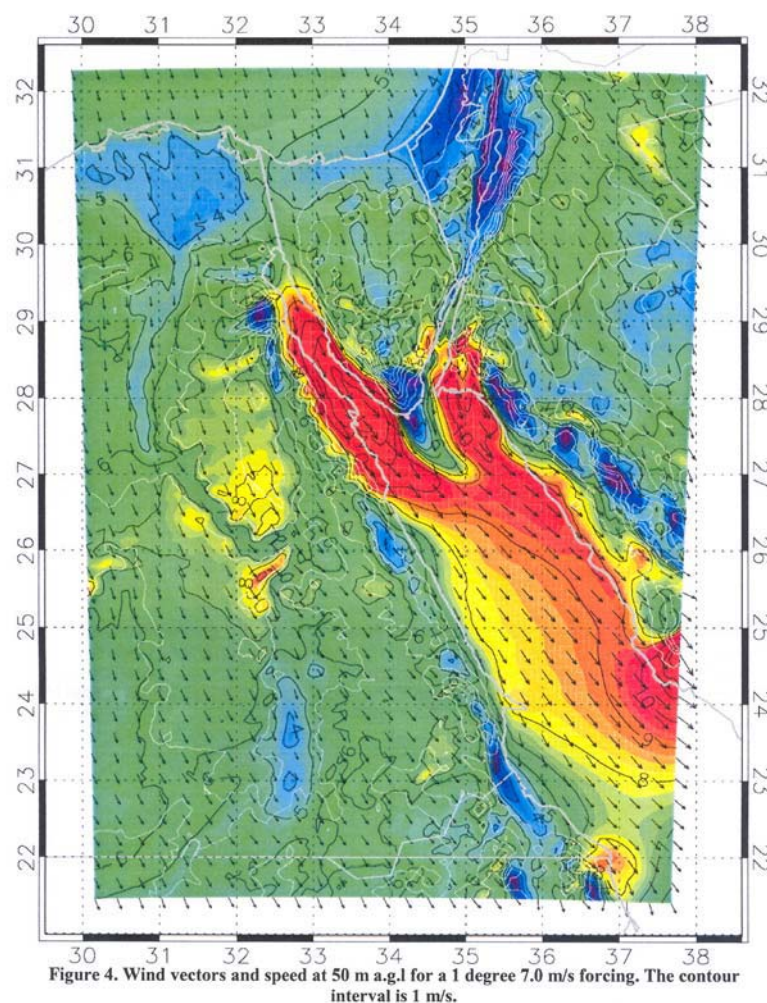
รูปที่ 2.21 แสดงแผนที่ลมที่ระดับ 50 เมตรของรัฐ Newfoundland ประเทศแคนาดา

Khan และคณะ (2004) ได้ทำการจัดทำแผนที่ลมของประเทศบังคลาเทศ โดยใช้แบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลาง (mesoscale model) เพื่อทำการคำนวณความเร็วลมที่ระดับความสูง 30 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศบังคลาเทศ และนำมาจัดแสดงในรูปของแผนที่ ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงแผนที่ลมที่ระดับ 30 เมตรของประเทศบังคลาเทศ

เนื่องจากวิธีการจัดทำแผนที่ลมของ Troen และ Petersen (1989) จำเป็นต้องใช้ข้อมูลคุณภาพดีจากเครือข่ายสถานีวัดลม ซึ่งบางประเทศไม่สามารถจัดหาข้อมูลดังกล่าวได้ ดังนั้น Mortensen และคณะ (2005) จึงได้พัฒนาวิธีการจัดทำแผนที่ลมโดยใช้วิธีคำนวณจากแบบจำลองบรรยากาศ (meso-scale atmospheric model) จากนั้นได้นำวิธีดังกล่าวไปจัดทำแผนที่ลมของประเทศอียิปต์



รูปที่ 2.23 แสดงแผนที่ลมของประเทศไทย (Mortensen et al., 2005)

สำหรับกรณีของประเทศไทย สถานีวัดลมที่มีอยู่ในปัจจุบันยังมีจำนวนน้อย และข้อมูลมีจำนวนจำกัด การศึกษาศักยภาพพลังงานลมจากข้อมูลเหล่านี้ไม่สามารถทำได้ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการคำนวณเป็นหลัก ดังนั้นในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงใช้แบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลางในการศึกษาความเร็วลมและทิศทางลมในประเทศไทยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาศักยภาพพลังงานลมต่อไป

บทที่ 3

วิธีการวิจัยและผล

ในการศึกษาภาวะของลมในประเทศไทย ผู้วิจัยจะใช้วิธีคำนวณ ความเร็วและทิศทางลม โดยอาศัยแบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลาง และทำการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องโดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดลม ตามรายละเอียดดังนี้

3.1 แบบจำลองบรรยากาศในระดับสเกลปานกลาง

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะใช้แบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลาง ซึ่งนำเสนอโดย Adrian และ Fiedler (1990) โดยแบบจำลองของบรรยากาศดังกล่าวจะเขียนความสัมพันธ์ของลมจีโอสโทรฟิก (geostrophic wind) กับความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ และแรงคอริโอลิส (Coriolis force) ตามสมการ

$$\frac{\partial \pi_G}{\partial x} = \frac{f v_G}{c_p \theta_G} \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial \pi_G}{\partial y} = \frac{f u_G}{c_p \theta_G} \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial \pi_G}{\partial z} = -\frac{g}{c_p \theta_G} \quad (3.3)$$

- เมื่อ
- u_G = เป็นองค์ประกอบของความเร็วลมจีโอสโทรฟิกในแนวแกน x
 - v_G = เป็นองค์ประกอบของความเร็วลมจีโอสโทรฟิกในแนวแกน y
 - θ_G = large-scale field of the potential temperature
 - π_G = Exner function
 - g = ความเร่งโน้มถ่วง
 - f = แรงคอริโอลิส

โดยที่

$$\theta_G = \frac{T_G}{\pi_G} \quad (3.4)$$

เมื่อ T_G = อุณหภูมิของอากาศ

Exner function กำหนดขึ้นตามสมการ

$$\pi_G = \left(\frac{P}{P_0} \right)^{R/c_p} \quad (3.5)$$

เมื่อ P = ความดันบรรยากาศที่ความสูงใดๆ

P_0 = ความดันบรรยากาศที่พื้นผิวโลก

R = gas constant

c_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศ

จากการแก้สมการ (3.1)-(3.3) จะทำให้ทราบค่าความเร็วลม ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิในระดับสเกลใหญ่ ซึ่งจะนำมาใช้ในการหาความเร็วลม ความดัน และอุณหภูมิในระดับสเกลปานกลาง (mesoscale) โดยความเร็วลมในสเกลปานกลางจะเป็นไปตามสมการของ Reynolds ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{du_m}{dt} = & -c_p \theta_m \frac{\partial}{\partial x} (\pi_d^* + \pi_h^*) + f(v_m - v_G \frac{\theta_m}{\theta_G}) - \\ & - \frac{\partial}{\partial x} (\overline{u'u'}) - \frac{\partial}{\partial y} (\overline{u'v'}) - \frac{\partial}{\partial z} (\overline{u'w'}) \end{aligned} \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} \frac{dv_m}{dt} = & -c_p \theta_m \frac{\partial}{\partial y} (\pi_d^* + \pi_h^*) - f(u_m - u_G \frac{\theta_m}{\theta_G}) - \\ & - \frac{\partial}{\partial x} (\overline{v'u'}) - \frac{\partial}{\partial y} (\overline{v'v'}) - \frac{\partial}{\partial z} (\overline{v'w'}) \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$\frac{dw_m}{dt} = -c_p \theta_m \frac{\partial}{\partial z} \pi_d^* - \frac{\partial}{\partial x} (\overline{w'u'}) - \frac{\partial}{\partial y} (\overline{w'v'}) - \frac{\partial}{\partial z} (\overline{w'w'}) \quad (3.8)$$

เมื่อ u_m = ความเร็วลมสเกลปานกลาง (mesoscale wind) ในแนวแกน x
 v_m = ความเร็วลมสเกลปานกลาง (mesoscale wind) ในแนวแกน y
 w = ความเร็วลมสเกลปานกลาง (mesoscale wind) ในแนวแกน z
 θ_m = potential temperature ในสเกลปานกลาง

โดยที่

$$u_m = \bar{u} + u' \quad (3.9)$$

$$v_m = \bar{v} + v' \quad (3.10)$$

$$w_m = \bar{w} + w' \quad (3.11)$$

$$\theta_m = \bar{\theta} + \theta' \quad (3.12)$$

$$\pi = \pi_G + \pi^* \quad (3.13)$$

และ $\pi^* = \pi_d^* + \pi_h^* \quad (3.14)$

เมื่อ $\bar{u}$ = ความเร็วลมเฉลี่ยในแนวแกน x
 $\bar{v}$ = ความเร็วลมเฉลี่ยในแนวแกน y
 $\bar{w}$ = ความเร็วลมเฉลี่ยในแนวแกน z
 $\bar{\theta}$ = ค่าเฉลี่ยของ potential temperature
 π = Exner function ในสเกลปานกลาง
 u' = turbulent deviation ของความเร็วลมในแนวแกน x
 v' = turbulent deviation ของความเร็วลมในแนวแกน y
 w' = turbulent deviation ของความเร็วลมในแนวแกน z
 θ' = turbulent deviation ของ potential temperature
 π_G = Exner function ในสเกลใหญ่
 π_d^* = dynamic part ของ mesoscale pressure
 π_h^* = thermal part ของ mesoscale pressure

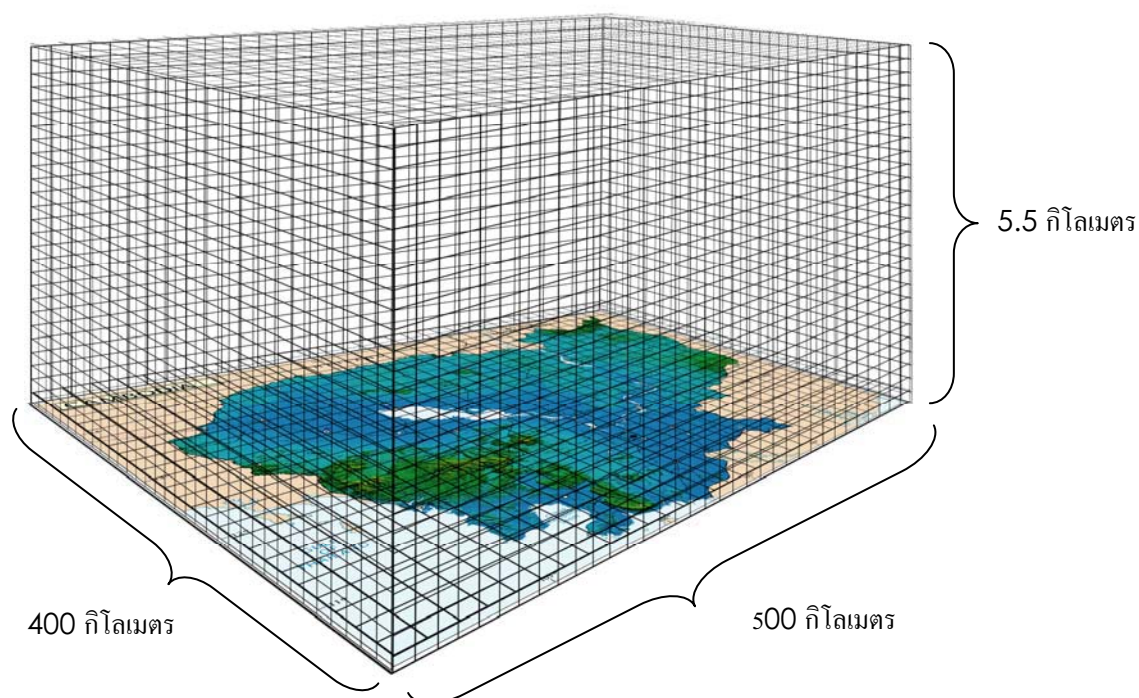
สำหรับสมการของ potential temperature ในสเกลปานกลาง เขียนได้ดังนี้

$$\frac{d\theta_m}{dt} = -\frac{\partial}{\partial z}(\overline{\theta'u'}) - \frac{\partial}{\partial y}(\overline{\theta'v'}) - \frac{\partial}{\partial z}(\overline{\theta'w'}) + \frac{Q}{c_p \pi_m} \quad (3.15)$$

เมื่อ Q = heat source

ถ้าเราทำการแก้สมการ (3.4) - (3.15) ก็จะได้ความเร็วลมในสเกลปานกลาง (mesoscale wind) ซึ่งจะนำมาใช้ในการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานลม

เนื่องจากสมการ (3.6) - (3.14) เป็นระบบสมการเชิงอนุพันธ์ (partial differential equation) ไม่สามารถแก้สมการโดยวิธีวิเคราะห์ได้ (analytical method) ดังนั้นจำเป็นต้องแก้สมการโดยวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งในที่นี้จะใช้วิธี centered finite difference โดยจะทำการแบ่งบรรยากาศของประเทศกัมพูชาออกเป็น กริด (grid) ใน 3 มิติ แต่ละกริดจะมีขนาดประมาณ $5 \times 5 \times 1 \text{ km}^3$ (รูปที่ 3.1) จากนั้นจะเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในภาษาฟอร์แทรนทำการคำนวณความเร็วที่ทุกโหนด (node) ของกริดที่แบ่งไว้ก็จะได้ค่าความเร็วและทิศทางของลมทั่วประเทศที่ระดับความสูงต่างๆ



รูปที่ 3.1 แสดงการแบ่งบรรยากาศออกเป็นกริด (grid) ใน 3 มิติ

โดยสรุปแล้วการหาความเร็วและทิศทางลมในระดับสเกลปานกลาง (mesoscale wind) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 5×5 ตารางกิโลเมตร จะใช้ประโยชน์จากข้อมูลลมจีโอสโทรฟิก (geostrophic wind) ซึ่งเป็นลมระดับสเกลใหญ่ ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$) ซึ่งโดยทั่วไปได้จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ย้อนหลังหลายปี โดยแบบจำลองบรรยากาศจะทำการคำนวณลดสเกลข้อมูลลมระดับสเกลใหญ่ให้เป็นลมระดับสเกลปานกลาง (down-scaling approach) และใช้ข้อมูลลักษณะพื้นผิวเป็นเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) สำหรับการแก้สมการของแบบจำลองบรรยากาศ

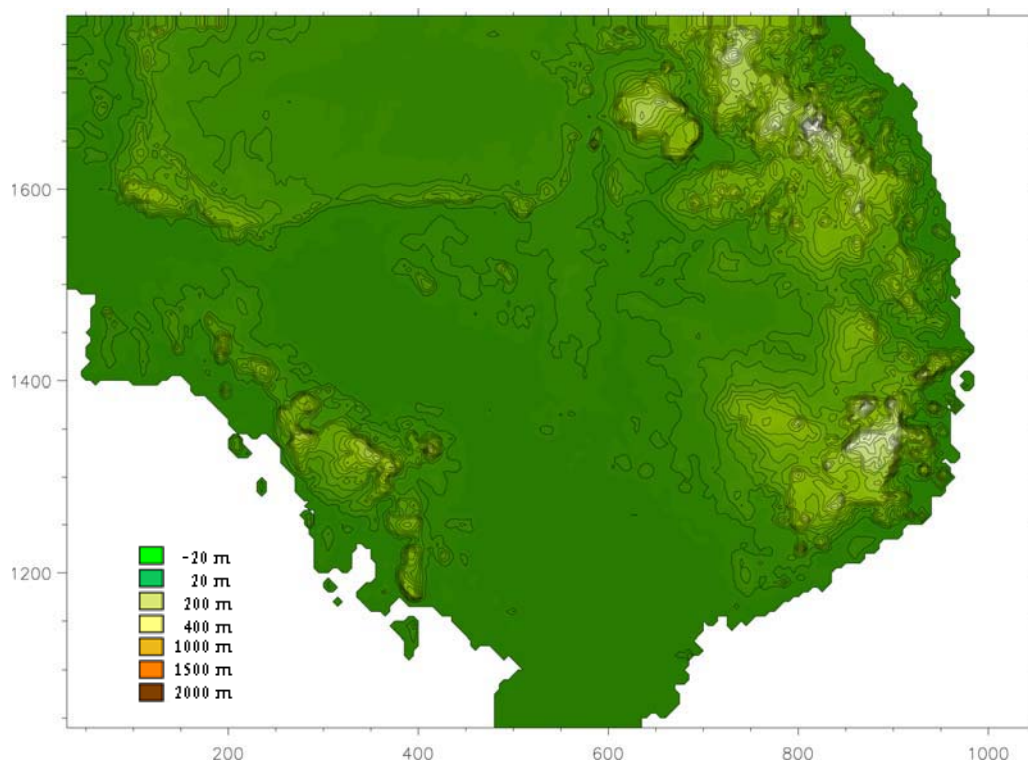
3.2 การเตรียมข้อมูลลักษณะพื้นผิว

แบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลางที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบ non-hydrostatic 3 มิติ (3D) ในการคำนวณความเร็วและทิศทางลมด้วยแบบจำลองนี้ต้องใช้ข้อมูลลักษณะพื้นผิว 2 อย่าง ได้แก่ ข้อมูลระดับความสูงของพื้นผิว (orography data) และข้อมูลความหยาบของพื้นผิว (roughness)

3.2.1 ข้อมูลดิจิทัลระดับความสูงของพื้นผิว

เนื่องจากระดับความสูงของภูมิประเทศมีผลต่อการแปรค่าของทิศทางและความเร็วลม ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลดิจิทัลระดับความสูงของพื้นผิวที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1×1 ตารางกิโลเมตร ซึ่งได้จากภาพถ่ายดาวเทียม แล้วนำมาเฉลี่ยให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 5×5 ตารางกิโลเมตร เพื่อให้สอดคล้องกับความละเอียดเชิงพื้นที่ของความเร็วลมและตัวแปรอื่นๆ ในแบบจำลอง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลจาก NASA's Shuttle Radar Topography Mission (STRM30) dataset version 2 (รูปที่ 3.2) โดยข้อมูลดังกล่าวมีค่าความแตกต่างระหว่างคอนทัวร์ (contour interval) เป็น 100 เมตร และใช้ coordinate แบบ UTM (zone 48, datum WGS84) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

การเลือกใช้โดเมน(domain)สำหรับแบบจำลองบรรยากาศค่อนข้างสำคัญ เนื่องจากการเลือกโดเมนที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดผลต่อความละเอียดถูกต้องของการคำนวณ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกโดเมนที่ครอบคลุมเข้าไปถึงพื้นที่บางส่วนของประเทศไทยรวมทั้งลาว ไทย และบางส่วนของประเทศเวียดนามด้วย เนื่องจากว่าลมที่พัดผ่านในประเทศไทยก็ได้รับอิทธิพลของลมจากบริเวณใกล้เคียงด้วยเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นน้ำคือบริเวณอ่าวไทย รวมถึงบางส่วนของทะเลจีนใต้ และแนวเขาทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยรวมถึงในประเทศเวียดนาม หากเลือกโดเมนที่เล็กติดขอบชายแดนของประเทศไทยเท่านั้นจะทำให้การคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศขาดอิทธิพลของสภาพแวดล้อมของประเทศข้างเคียงด้วย อย่างไรก็ตาม หากเลือกโดเมนที่กว้างเกินไปก็จะทำให้ใช้เวลาในการคำนวณและประมวลผลมากเกินไป ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกโดเมนที่ขนาดของกริด (grid point) เป็น 205×149 ด้วยความละเอียด 5 กิโลเมตร ซึ่งเป็นโดเมนที่น่าจะเหมาะสมเพราะครอบคลุมบริเวณของอ่าวไทย บางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย บางส่วนของลาวและเวียดนาม รวมถึงบางส่วนของทะเลจีนใต้

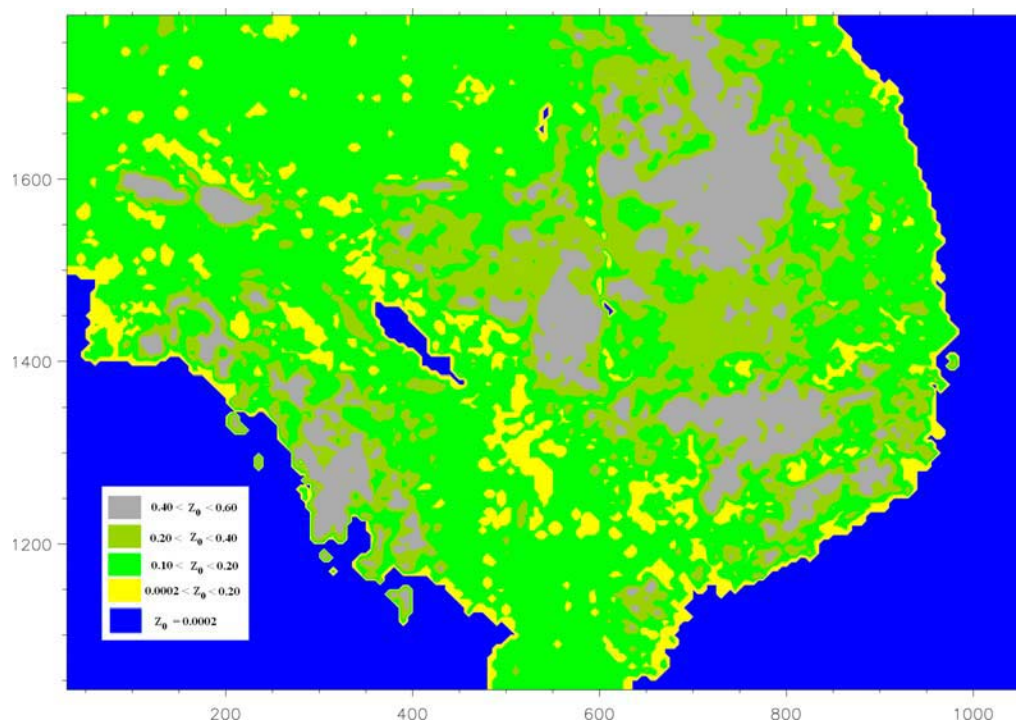


รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของข้อมูลความสูงพื้นผิวครอบคลุมประเทศกัมพูชา

3.2.2 ข้อมูลแผนที่ความหยาบของพื้นผิว (surface roughness map)

ความหยาบของพื้นผิวโลก (roughness) มีผลต่อทิศทางและความเร็วลม และจำเป็นต้องใช้ในแบบจำลองบรรยากาศเกลปานกลางที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ด้วย ข้อมูลความหยาบของพื้นผิวสำหรับการศึกษานี้ต้องมีความละเอียดเท่ากับความละเอียดเชิงพื้นที่ของกริดของแบบจำลอง ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้ความละเอียดขนาด 5 x 5 ตารางกิโลเมตร รูปที่ 3.3 เป็นแผนที่ความหยาบของพื้นผิวซึ่งได้จาก United States Geological Survey (USGS) Global Land Cover Classification (GLCC)

การเลือกโดเมนของพื้นที่ต้องคำนึงถึงเหตุผลเกี่ยวกับกรณีของข้อมูลความสูงของพื้นผิว ที่สำคัญต้องเป็นโดเมนเดียวกันทั้งในสองส่วนนี้รวมถึงในส่วนของแบบจำลองบรรยากาศด้วยที่ต้องกำหนดให้ตรงกัน ซึ่งในการศึกษานี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ขนาดของโดเมนเป็น 205 x 149 grid points เพื่อให้ครอบคลุมถึงอิทธิพลของพื้นผิวของบริเวณรอบๆประเทศกัมพูชาด้วย



รูปที่ 3.3 แสดงแผนที่ความหยาบของพื้นผิวนครอบคลุมประเทศกัมพูชา

เนื่องจากว่าข้อมูลความหยาบของพื้นผิวที่ได้จาก USGS/GLCC ใช้ดัชนีชี้ค่าที่แตกต่างจากในแบบจำลองบรรยากาศที่เลือกใช้ ดังนั้นเมื่อได้ข้อมูลความหยาบของพื้นผิวมาแล้วผู้วิจัยต้องทำการแปลงข้อมูลโดยใช้ look-up table เพื่อให้สอดคล้องกับแบบจำลองด้วย โดย look-up table สำหรับแบบจำลองบรรยากาศที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นไปตาม Global Land Cover Characterization Database (GLCC) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ที่สำคัญต้องระมัดระวังในเรื่องของโดเมนของข้อมูลให้สอดคล้องกับแบบจำลองและข้อมูลสภาพความสูงด้วย

ตารางที่ 3.1 แสดงดัชนีชี้ค่าสำหรับลักษณะความหยาบของพื้นผิวแต่ละชนิดสำหรับแบบจำลอง
บรรยากาศสเกลปานกลาง (Global Land Cover Characterization Database; GLCC)

Index	Description
0	Water
1	Grass
2	Agricultural used
3	Forest
4	Beets
5	Mixed woodland
6	Urban areas
7	Vineyards
8	Bare soil
9	Wheat
10	Shrubs

3.3 การเตรียมข้อมูลบรรยากาศ

ในการคำนวณความเร็วและทิศทางลม โดยใช้แบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง จำเป็นต้องใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระดับสเกลใหญ่ สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะใช้ข้อมูล NCEP/NCAR reanalysis ซึ่งเป็นข้อมูลแสดงสภาพโดยรวมของบรรยากาศของโลก ซึ่งรวบรวมและวิเคราะห์โดย The National Center for Environmental prediction และ The National Center for Atmospheric Research โดยมีความละเอียดของกริด (grid) ข้อมูลทุกๆ $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ โดยในการศึกษาครั้งนี้ ข้อมูลบรรยากาศที่ต้องการได้แก่ geopotential height อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศที่ระดับความดันบรรยากาศต่างๆ (300 – 1000 มิลลิบาร์) วันละ 4 เวลา คือ 0:00 GMT 6:00 GMT 12:00 GMT และ 18:00 GMT รวมถึงความเร็วลมในระดับสเกลใหญ่ ทั้งลมในแนวตะวันออก-ตะวันตก (u-wind) และ ลมในแนวเหนือ-ใต้ (v-wind)

ข้อมูลความเร็วลมเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญ ทั้งนี้เพราะพลังงานของกระแสลมขึ้นกับกำลังสามของความเร็วลม สำหรับทิศทางลมก็มีความสำคัญ เนื่องจากลมที่พัดมาในแต่ละทิศ จะมีผลกับลักษณะพื้นผิวโลกที่แตกต่างกันตามทิศทาง กรณีของอุณหภูมิจะมีผลต่อเสถียรภาพของบรรยากาศ

โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีของลมที่พัดผ่านภูเขา ถ้าอากาศอยู่ในสภาวะเสถียร (stable) อุณหภูมิของอากาศจะเพิ่มตามความสูง โดยอากาศเย็นจะอยู่ด้านล่างใกล้พื้นผิวโลก ส่วนอากาศร้อนจะอยู่ด้านบน ในสภาวะดังกล่าวลมจะพัดอ้อมสิ่งกีดขวาง (รูปที่ 3.4) ในทางตรงกันข้าม ถ้าอากาศไม่เสถียร (unstable) ลมจะพัดข้ามสิ่งกีดขวาง

ในการบอกผลของสิ่งกีดขวาง เช่น ภูเขาที่มีต่อลม จะบอกด้วย Froude number ซึ่งกำหนดดังสมการ

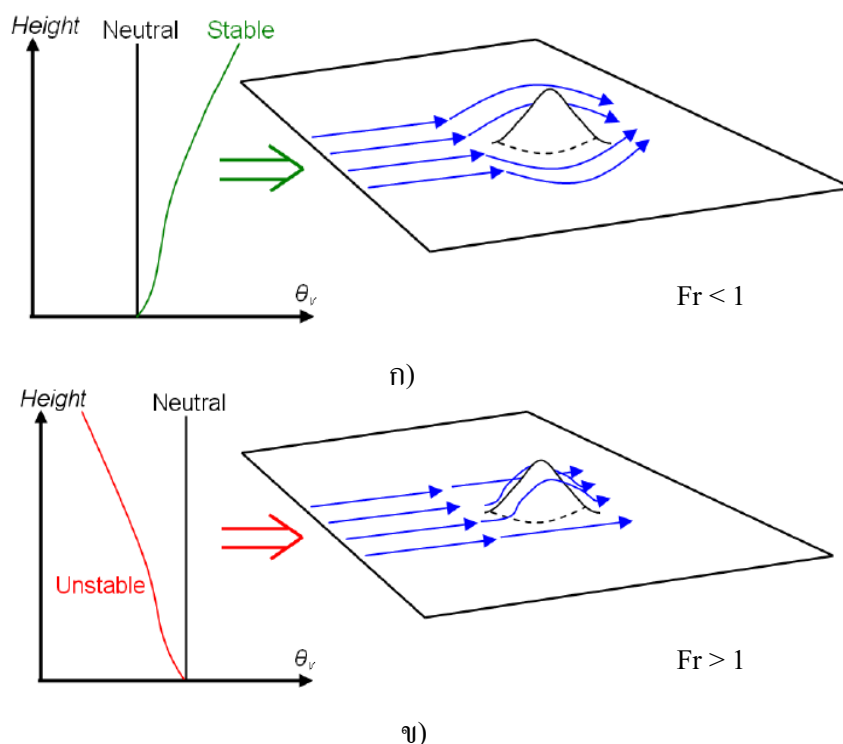
$$Fr = \frac{u}{hN} \quad (3.16)$$

เมื่อ Fr = Froude number
 u = ความเร็วลม
 h = ความสูงของสิ่งกีดขวาง
 N = Brunt-Väisälä frequency

โดยที่ N สามารถคำนวณได้จาก

$$N = \sqrt{\frac{g}{\theta_0} \frac{d\theta}{dz}} \quad (3.17)$$

เมื่อ g = ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก
 θ_0 = potential temperature ที่พื้นผิว
 $\frac{d\theta}{dz}$ = potential temperature gradient



รูปที่ 3.4 แสดงทิศทางของการพัดของลมผ่านภูเขา ก) กรณีที่อากาศมีสถานะเสถียร ข) กรณีที่อากาศมีสถานะไม่เสถียร

อากาศที่มีค่า Froude number ต่ำกว่าหนึ่งจะมีเสถียรภาพดีและจะไหลอ้อมสิ่งกีดขวาง ในการคำนวณ Froude number ในสมการ (3.16) และ (3.17) จะเห็นว่าเราต้องรู้ค่า potential temperature (θ) ที่ระดับความสูงต่างๆ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่คำนวณได้จากความชื้นและการถ่ายเทพลังงานแล้ว โดย potential temperature (θ) จะคำนวณจาก air temperature (T) โดยอาศัยสมการที่ (3.18)

$$\theta = \frac{T}{\left(\frac{P}{P_0}\right)^{R/C_p}} \quad (3.18)$$

- เมื่อ
- p = ความดันบรรยากาศ (mbar)
 - P_0 = 1013 mbar/atm
 - T = อุณหภูมิของอากาศจาก NCEP/NCAR
 - R = gas constant
 - C_p = ความร้อนจำเพาะของอากาศ

ดังนั้นจากข้อมูลบรรยากาศ เราจะได้โพรไฟล์ (profile) ของความเร็วทั้งสองแนว (u-wind, v-wind) โพรไฟล์ของ potential temperature และโพรไฟล์ของ relative humidity ในระดับจีโอสโทรฟิก โดยข้อมูลเหล่านี้จะใช้เป็นสร้างไฟล์อินพุต (input file) สำหรับแบบจำลองบรรยากาศสเกลใหญ่ เพื่อคำนวณความเร็วและทิศทางลมในระดับสเกลปานกลางต่อไป

3.4 การคำนวณความเร็วและทิศทางลม

ในการคำนวณความเร็วและทิศทางลมในส่วนแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลางต้องทำการคำนวณบนคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ แต่ในส่วนของข้อมูลอินพุตและการวิเคราะห์นั้นสามารถกระทำการบนคอมพิวเตอร์ธรรมดาได้ โดยขั้นตอนของการคำนวณจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.4.1 ข้อมูลจีโอสโทรฟิก

ในการคำนวณความเร็วและทิศทางลมของทั้งประเทศกัมพูชาโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศนั้นจำเป็นต้องใช้อินพุต (input) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยข้อมูลจีโอสโทรฟิกเป็นข้อมูลแบบ gridded climate ที่ได้จาก NCEP/NCAR reanalysis ก่อนนำมาใช้เป็นอินพุตสำหรับแบบจำลองบรรยากาศจำเป็นต้องมีการจัดรูปแบบให้เหมาะสมกับแบบจำลอง โดยข้อมูลที่ได้จาก NCEP/NCAR reanalysis ที่จำเป็นต้องใช้ในแบบจำลองนี้จะประกอบด้วย geopotential height, air temperature, relative humidity, u-wind และ v-wind ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ ระดับความดัน 8 ระดับด้วยกัน คือ 300 มิลลิบาร์ 400 มิลลิบาร์ 500 มิลลิบาร์ 600 มิลลิบาร์ 700 มิลลิบาร์ 850 มิลลิบาร์ 925 มิลลิบาร์ และ 1000 มิลลิบาร์ หรือที่ระดับความสูงจากระดับพื้นดินไม่เกิน 10 กิโลเมตร ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2550 จนถึง วันที่ 31 สิงหาคม 2551 เพื่อความละเอียดของข้อมูล ผู้วิจัยเลือกใช้ข้อมูลราย 6 ชั่วโมง (0:00 GMT, 6:00 GMT, 12:00 GMT และ 18:00 GMT) ข้อมูล NCEP/NCAR reanalysis ที่ได้มาจะอยู่ในรูปของ netCDF file จึงต้องอาศัย ncdump เพื่อแปลงเป็น text file จึงจะนำมาใช้งานได้

ด้วยเหตุที่ NCEP/NCAR reanalysis ให้ข้อมูลสำหรับตำแหน่งของโลกที่มีความละเอียดของกริดเป็น $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ซึ่งถือเป็นข้อมูลในระดับสเกลใหญ่ สำหรับประเทศกัมพูชาพบว่ามีข้อมูลเพียงกริดเดียวเท่านั้น นั่นคือที่พิกัด 12.5 องศาเหนือ และ 105.0 องศาตะวันออก นอกเหนือจากนั้นจะเป็นพิกัดที่อยู่ติดชายแดนของประเทศหรืออยู่นอกอาณาเขตของประเทศกัมพูชาไปเลย ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ข้อมูล NCEP/NCAR reanalysis ณ ลองจิจูดที่ 105.0 องศาตะวันออก และละติจูดที่ 12.5 องศาเหนือ โดยในการโหลดข้อมูลแต่ละชุดนั้นสามารถเลือกโหลดข้อมูลในช่วงที่สนใจ ผู้วิจัยจึงเลือกข้อมูลจีโอสโทรฟิกรายเดือนเพื่อความรวดเร็วและสะดวกในการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามหากใส่พิกัดอื่นๆที่ไม่ตรงกับพิกัดความละเอียดของข้อมูล NCEP/NCAR คอมพิวเตอร์

จะเลือกแสดงผลของพิกัดในพิสัย $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ที่ใกล้ที่สุดของพิกัดที่เลือก ดังนั้นหากเลือกพิกัดเองล่วงหน้าจะสะดวกยิ่งขึ้น ไม่เช่นนั้นข้อมูลที่แสดงออกมาอาจจะเป็นของจุดที่อยู่นอกบริเวณที่สนใจได้ หลังจากนั้นต้องเลือกระดับความดันที่ต้องการให้แสดงผลข้อมูล โดยมีทั้งหมด 17 ระดับ ซึ่งสามารถเลือกทั้งหมด 17 ระดับเลยก็ได้ แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกเพียง 8 ระดับตามที่กล่าวไว้แล้วข้างต้นเพื่อไม่ให้เป็นการเสียเวลาในการโหลดข้อมูล หลังจากนั้นสามารถเลือกลักษณะการแสดงผลได้ว่า ต้องการแสดงผลในรูปแบบการ plot ให้เห็นทางหน้าจอเลยหรือจะแสดงผลในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลก็ได้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ต่อได้ผู้วิจัยจึงต้องเลือก create a subset without making a plot เพื่อเก็บข้อมูลในรูปแบบของ netCDF file

เนื่องจากการดาวน์โหลดข้อมูล NCEP/NCAR ทั้งปีในคราวเดียวนั้นต้องอาศัยเวลา และขีดความสามารถของอินเทอร์เน็ตจะต้องดีในระดับหนึ่ง ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะดาวน์โหลดข้อมูลทีละ 1 เดือนแทน ดังนั้นจำเป็นอย่างย่งที่ ต้องมีการออกแบบการดาวน์โหลดให้ดีขึ้นเนื่องจากว่าในการศึกษาครั้งนี้ต้องการใช้ข้อมูลตลอดทั้งปี หรือ 12 เดือนนั่นเอง นั้นหมายถึงสำหรับพารามิเตอร์แต่ละตัว จะต้องทำการดาวน์โหลดทั้งหมด 12 ครั้ง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ต้องใช้ทั้งหมด 5 พารามิเตอร์ นับว่าต้องใช้เวลามากพอสมควรในการเตรียมข้อมูลบรรยากาศทั้งหมด

หลังจากได้ข้อมูลรายเดือนจาก NCEP/NCAR ในรูปของ text file เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจะต้องใช้ excel ในการจัดข้อมูลรายเดือนเป็นรายวันก่อน เนื่องจากว่าในการคำนวณโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศนั้นต้องการโปรไฟล์อินพุตเป็นแบบรายวัน (ตามหลักแล้วสามารถเลือกดาวน์โหลดข้อมูล NCEP/NCAR แบบรายวันได้ แต่ค่อนข้างยุ่งยากกว่า) ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าต้องมีการออกแบบระบบการจัดการข้อมูลให้ดีขึ้นเพื่อป้องกันการปะปนกันของข้อมูลก่อนนำไปสร้างเป็นอินพุต

หลังจากสร้างข้อมูลรายวันจากข้อมูลรายเดือนที่ได้จาก NCEP/NCAR เรียบร้อยแล้ว ต้องสร้างโปรไฟล์ (profile) รายวัน (รูปที่ 3.5) ตามระดับความสูงจากพื้นผิวโลกของพารามิเตอร์ 5 ตัว เพื่อใช้เป็นอินพุตโปรไฟล์สำหรับแบบจำลอง คือ u-profile, v-profile, potential temperature profile, delta potential temperature และ relative humidity profile โดย potential temperature profile หาได้จากสมการที่ 3.18 หลังจากได้โปรไฟล์ของทั้งหมดแล้ว จะสามารถสร้างไฟล์อินพุต (input file) ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองบรรยากาศ โดยตัวอย่างรูปแบบของไฟล์อินพุตที่ใช้สำหรับแบบจำลองนี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 รูปแบบของไฟล์อินพุตแต่ละวันจะแตกต่างกันใน 2 ส่วน คือ ค่า TGA หรือลำดับวันในรอบปี และ ค่าของโปรไฟล์อินพุตทั้ง 5 พารามิเตอร์ ในรูปที่ 3.6 ซึ่งเป็นตัวอย่างของวันที่ 1 มกราคม ดังนั้น $TGA = 1$ ส่วนตัวเลข 5 แถว ด้านล่าง จะเป็น โปรไฟล์ของ u-wind, v-wind, potential temperature (หน่วย K), delta potential temperature (โดยทั่วไปจะมี

3.4.2 ประมวลผลข้อมูล และการแสดงผลลัพธ์จากแบบจำลอง

เมื่อได้ข้อมูลอินพุตของแต่ละวันแล้วจะทำการประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ ในการนี้จำเป็นต้องอัปโหลด ข้อมูลดิจิทัลระดับความสูงของพื้นผิว ความหนาของพื้นผิว และ ไฟล์อินพุต ไปยังคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ก่อนจึงจะสามารถทำการ run โปรแกรมได้ โดยข้อมูลสอง อย่างแรกนั้นเป็นข้อมูลดิจิทัลตลอดทั้งโดเมน ซึ่งใช้เหมือนกันตลอดการคำนวณด้วยแบบจำลอง บรรยากาศสำหรับข้อมูล 1 ปี แต่สำหรับไฟล์อินพุตข้อมูลที่ได้จาก NCEP/NCAR จะเป็นไฟล์ของ แต่ละวันในรอบปีดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น หลังจากทำการประมวลผลด้วยแบบจำลองบรรยากาศ ด้วยคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่เรียบร้อยแล้วผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบที่ไม่สามารถเรียกดูได้ โดยตรง ดังนั้นผู้วิจัยต้องสร้างโปรแกรมย่อยเพื่อแสดงผลลัพธ์ความเร็วลมทั้งสองทิศทาง คือ ความเร็วลมในแนวตะวันออกตะวันตก (u) และความเร็วลมในแนวเหนือใต้ (v) โปรแกรมดังกล่าวคือ “readu” จะช่วยแสดงค่าความเร็วทั้งสองทิศทางและค่าระดับความสูงออกมาเป็น text file โดยโปรแกรม “readu” ดังกล่าวนี้เขียนด้วยภาษาฟอร์แทรน ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าการ run แบบจำลองบรรยากาศจำเป็นต้องใช้อินพุตเป็นรายวัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นแบบรายวันด้วย ดังนั้น เพื่อเป็นประโยชน์ในการจัดการ เนื่องจากการ run โปรแกรมอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นผู้วิจัยได้ ออกแบบให้ชื่อไฟล์เปลี่ยนแปลงไปตามลำดับที่ของการ run ซึ่งจะสอดคล้องกับหมายเลขของไฟล์ อินพุตนั่นเอง

อย่างไรก็ตามข้อมูลความเร็ว u และ v ที่ได้จาก “readu” นั้นยังเป็นไฟล์ขนาดใหญ่มาก เพราะเป็นข้อมูลรวมสำหรับระดับความสูงทั้งหมด 50 ระดับเหนือพื้นดิน เพื่อให้การถ่ายโอนข้อมูล กลับสะดวกและรวดเร็วขึ้นจำเป็นต้องลดปริมาณข้อมูลลงให้เหลือเฉพาะความเร็วในระดับชั้นที่ เราสนใจเท่านั้น โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการตัดข้อมูลมาเพียง 9 ระดับเหนือพื้นดินขึ้นไปเท่านั้น ซึ่ง จะครอบคลุมถึงระดับความสูงเหนือพื้นดินขึ้นไปประมาณ 1 กิโลเมตร ซึ่งถือว่าเพียงพอแล้ว สำหรับงานทางด้านพลังงานลม ทั้งนี้เพราะในการประยุกต์ใช้งานจริงกับงานทางด้านพลังงานลม นั้นเพียง 2 – 3 ระดับล่างก็ถือว่าเพียงพอเพราะสามารถครอบคลุมถึงระดับ 200 เมตรเหนือพื้นดิน เลยทีเดียว

ในการประมวลผลแต่ละครั้ง หรือแต่ละไฟล์อินพุตนั้น จะได้ข้อมูลความเร็ว u และ v ราย ชั่วโมง นั้นหมายถึงจากการประมวลผล 1 ครั้ง (1 ไฟล์อินพุต) เราจะได้ไฟล์ความเร็ว u 24 ไฟล์ ความเร็ว v 24 ไฟล์ และ ไฟล์ความสูง z อีกหนึ่งไฟล์ รวมเป็น 49 ไฟล์ ต่อข้อมูลอินพุต 1 ไฟล์ หรือ ข้อมูลจีโอสโทรฟิกของ 1 วันเท่านั้น ซึ่งในช่วงที่ทำการศึกษาคือช่วงระหว่างวันที่ 1 กันยายน 2550 จนถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2551 มีจำนวนวันทั้งหมดทั้งหมด 366 วัน จึงต้องสร้างไฟล์อินพุตทั้งหมด 366 ไฟล์ ทำการ run แบบจำลองผ่านคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ทั้งหมด 366 ครั้งและจะต้องทำการ

ถ่ายโอนข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่มาประมวลผลทั้งหมด 17,934 ไฟล์ (366 x 49) ดังนั้นการตั้งชื่อไฟล์ให้เป็นหมายเลขลำดับก่อนข้างที่จะสะดวก เพราะไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงตัวโปรแกรมทุกครั้งที่เรา run เสร็จ และที่สำคัญจะเห็นว่าการเลือกตัดข้อมูลมาเพียงบางส่วนจะช่วยประหยัดเวลาในการถ่ายโอนข้อมูลเป็นอย่างมาก โดยการตัดข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมด้วยภาษาฟอร์แทรนโดยใช้ชื่อว่า “slice” ขึ้นมาเป็นตั้งกรองเอาเฉพาะข้อมูลส่วนที่สูงกว่าระดับพื้นดินประมาณ 1 กิโลเมตรเท่านั้น ซึ่งถือได้ว่ามากเกินพอ เพราะในการเปรียบเทียบกับข้อมูลวัดนั้นเรามีข้อมูลวัดสูงสุดแค่ 50 เมตรเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้จะถ่ายโอนข้อมูลถึงระดับ 1000 เมตรโดยประมาณ

เมื่อได้ข้อมูลความเร็ว u และ v เรียบร้อยแล้ว จะถึงขั้นตอนการแสดงผลข้อมูลเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลวัดจริงของแต่ละวันจากสถานีวัด 5 แห่ง รวมถึงการแสดงผลออกมาในรูปของแผนที่แสดงการกระจายตัวตามพื้นที่ทั่วประเทศกับพิกัดแบบฉายแผนที่ และฉายรายปี สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์และประมวลผลนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ธรรมดาและใช้ภาษา IDL เป็นหลัก ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าค่า u และ v ที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลางนั้นจะเป็นรายชั่วโมง ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องทำการเฉลี่ยข้อมูลเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนเพื่อใช้สร้างแผนที่แสดงการกระจายตัวตามพื้นที่ของความเร็วเฉลี่ยในแต่ละเดือน และเฉลี่ยตลอดทั้งปี ซึ่งโปรแกรมในการเฉลี่ยข้อมูลที่เขียนขึ้น คือ “cal_monthly_wind_ave” และโปรแกรมในการแสดงผลลัพธ์ในรูปแผนที่คือ “plot_wind_Kamm_average_L10_pro” นอกจากนั้นข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีที่ได้จากแบบจำลองจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเร็วเฉลี่ยรายเดือนของข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงจากสถานีวัดทั้ง 5 แห่ง โดยข้อมูลวัดที่ได้จากโครงการความร่วมมือทางด้านพลังงานทดแทนระหว่างประเทศไทยและกัมพูชานั้นจะเป็นข้อมูลเฉลี่ยราย 10 นาที ซึ่งอยู่ในรูปของ spread sheet ซึ่งง่ายต่อการทำให้อยู่ในรูปของ text file และใช้โปรแกรมเดียวกันกับที่ใช้เฉลี่ยข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ จากนั้นก็สามารถนำสร้างกราฟเปรียบเทียบกันได้

นอกจากนั้นในการศึกษาครั้งนี้ได้เปรียบเทียบทิศทางของลมของทั้ง 5 สถานี ออกมาในรูปของ wind rose โดยในการสร้าง wind rose ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม origin เนื่องจากสามารถสร้าง wind rose ที่แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของลมในแต่ละทิศทางรวมถึงรายละเอียดความเร็วในแต่ละทิศทางว่ามีมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้ก่อนการสร้าง wind rose จำเป็นต้องมีการแจกแจงความเร็ว u , v ที่ได้ สำหรับแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลางที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดทิศทางของลมดังนี้ u เป็นบวกคือลมที่พัดมาจากทิศตะวันตก u เป็นลบคือลมที่พัดมาจากทิศตะวันออก v เป็นบวกคือลมที่พัดมาจากทิศใต้ v เป็นลบคือลมที่พัดมาจากทิศเหนือ ดังนั้นถ้าค่า u และ v เป็นบวกทั้งคู่แสดงว่าทิศของลมจะพัดอยู่ระหว่างทิศตะวันตกและทิศใต้ ส่วน u และ v เป็นลบทั้งคู่จะหมายถึงลม

ที่พัดอยู่ระหว่างทิศเหนือและทิศตะวันออกนั่นเอง ส่วนการเรียกชื่อทิศนั้นจะกำหนดให้ลมที่พัดด้วยค่ามุมเป็น 0 หรือ 360 องศา คือ ลมเหนือ (พัฒมาจากทิศเหนือ) ค่ามุมเป็น 90 องศา คือลมตะวันออกเฉียง (พัฒมาจากทิศตะวันออก) ค่ามุมเป็น 180 องศา คือลมใต้ (พัฒมาจากทิศใต้) และสำหรับลมที่มีค่ามุมเป็น 270 องศา คือลมตะวันตก (พัฒมาจากทิศตะวันตก) โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การแบ่งทิศออกเป็น 16 ทิศ คือ North, North-Northeast, Northeast, East-Northeast, East, East-Southeast, Southeast, South-Southeast, South, South-Southwest, Southwest, West-Southwest, West, West-Northwest, Northwest, North-Northwest ดังรายละเอียดที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

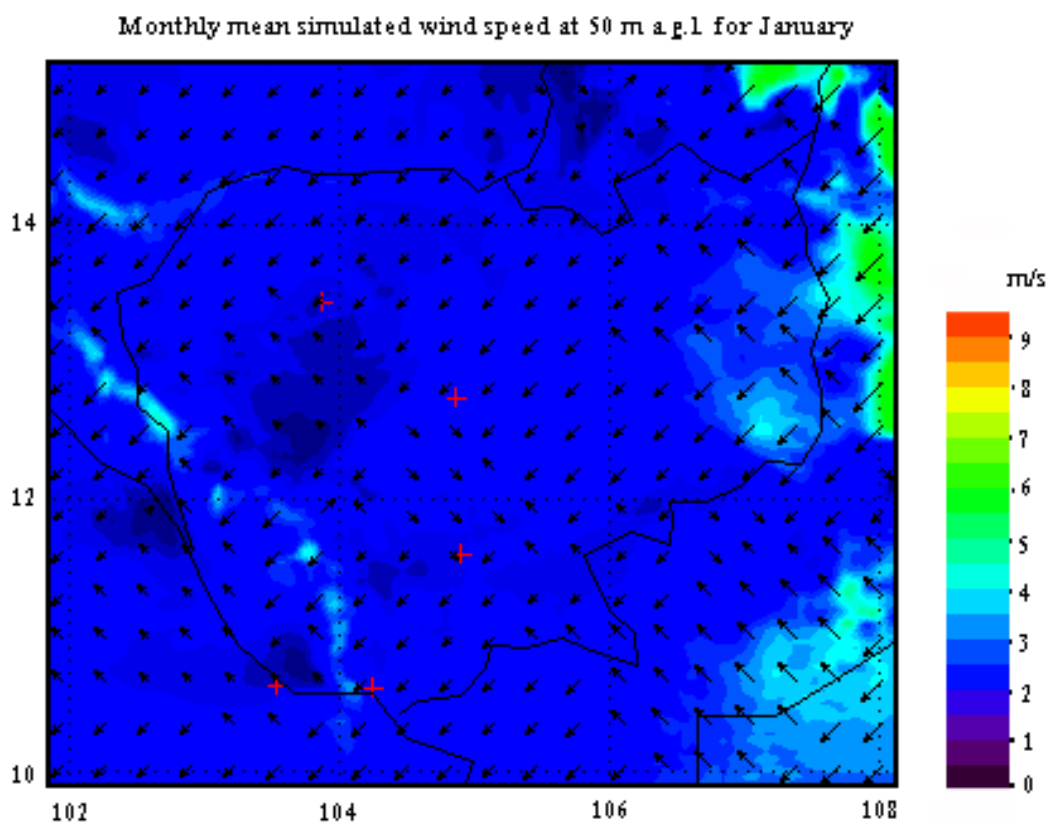
จากข้อมูล u และ v ที่ได้จากการคำนวณสามารถคำนวณหาความเร็วลมที่พัดออกมาได้ โดยใช้โปรแกรม “cal_windrose_distv3” จากนั้นทำการแจกแจงความถี่ของลมทั้งหมดใน 16 ทิศทางโดยใช้โปรแกรม “separate16sector_v3” โดยโปรแกรมทั้งคู่เขียนด้วยภาษา IDL เมื่อได้ข้อมูลการแจกแจงความถี่ของแต่ละเดือนจะสามารถนำไปสร้าง wind rose ด้วยโปรแกรม origin

ผู้วิจัยได้ทำการแจกแจงความถี่สำหรับข้อมูลที่ได้จาก 5 สถานีในประเทศกัมพูชาด้วยเช่นเดียวกัน เพื่อใช้สร้าง wind rose และเปรียบเทียบกับ wind rose จากข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลจากการวัดจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

3.5 ผลการคำนวณ

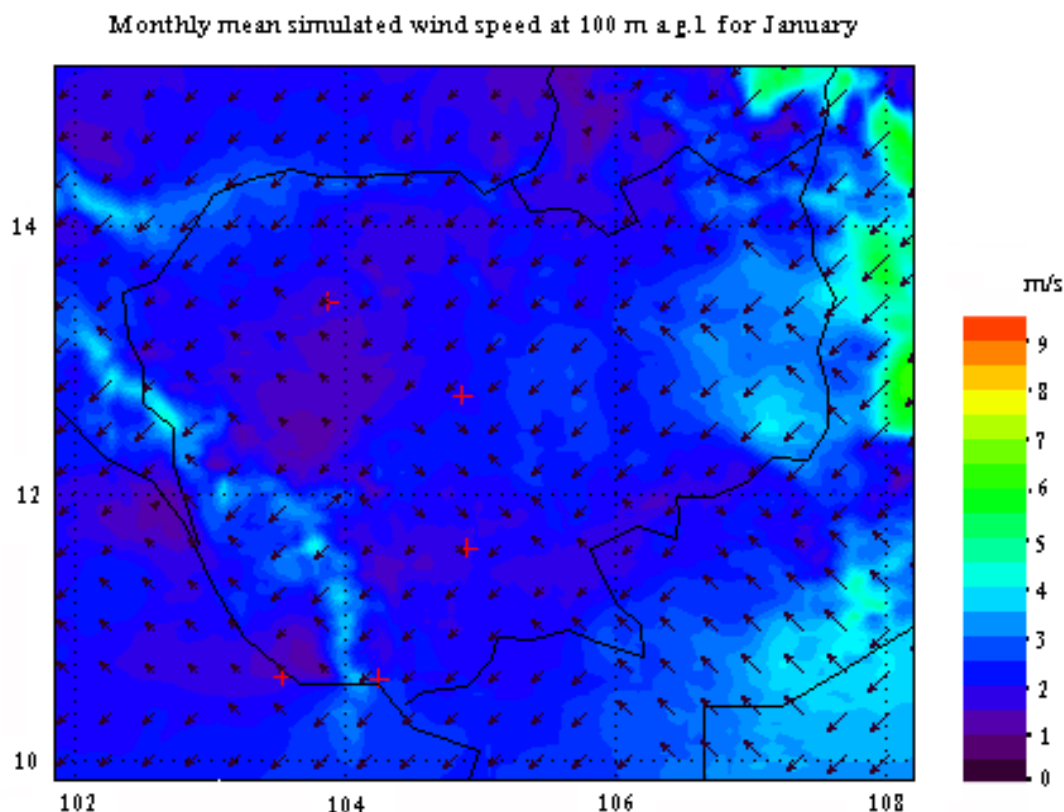
หลังจากได้ผลการคำนวณความเร็วและทิศทางลมจากการใช้แบบจำลองบรรยากาศ ผู้วิจัยจะนำผลการคำนวณดังกล่าวมาจัดแสดงในรูปของแผนที่ลมเฉลี่ยรายเดือน ณ ระดับความสูง 50 เมตร และ 100 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.7 – 3.30 ในการนี้ผู้วิจัยได้แสดงแผนที่ครอบคลุมเฉพาะบริเวณประเทศกัมพูชาเท่านั้นซึ่งเป็นบริเวณที่เล็กกว่าโดเมนของการคำนวณเล็กน้อย สาเหตุที่ไม่ให้ความสนใจกับผลการคำนวณบริเวณขอบของโดเมนเนื่องจากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศนั้น ในบริเวณที่ใกล้กับขอบของโดเมนของการคำนวณจะมีความคลาดเคลื่อนเสมอ เพราะในการคำนวณภายในโดเมนจะไม่ได้รวมผลกระทบอันเนื่องมาสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ติดกับโดเมนเข้าไปด้วย จึงทำให้บริเวณขอบโดเมนมีผลการคำนวณที่คลาดเคลื่อน นอกจากนั้นในแผนที่ยังแสดงตำแหน่งของสถานีวัดทั้ง 5 แห่งที่จะใช้ในการเปรียบเทียบผลการศึกษาคั้งนี้ (เครื่องหมายบวกสีแดงในภาพ)

รูปที่ 3.7 และ 3.8 แสดงแผนที่เฉลี่ยของเดือนมกราคม ณ ระดับความสูง 50 เมตร และ 100 เมตร ตามลำดับ จากแผนที่ทั้งสองนี้แสดงให้เห็นว่าในช่วงเดือนนี้ประเทศกัมพูชาได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ดังจะสังเกตได้จากลูกศรแสดงทิศทางลม นอกจากนั้นจะเห็นว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของแผนที่จะเป็นสีเทาน้ำเงิน (ความเร็ว 1 – 2 m/s) และสีม่วง (ความเร็ว 0 – 1 m/s) ซึ่งแสดงว่าโดยทั่วไปในช่วงเดือนนี้ลมค่อนข้างจะสงบ อย่างไรก็ตามจะพบบริเวณที่มีสีฟ้าอ่อน (ความเร็ว 4 – 5 m/s) จนถึงสีเขียวอ่อน (ความเร็ว 5 – 6 m/s) บนแผนที่ด้วย ซึ่งเป็นบริเวณที่มีลมแรงขึ้น โดยเฉพาะมุมขวาบนของแผนที่ซึ่งเป็นเขตของประเทศเวียดนามและประเทศลาว อย่างไรก็ตามในประเทศกัมพูชาเองก็พบบริเวณที่มีลมแรงกว่าส่วนอื่นๆของประเทศเช่นกัน กล่าวคือในแนวชายแดนทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศติดประเทศเวียดนาม และตามแนวเขาทางตะวันตกถึงตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศ ซึ่งในบริเวณดังกล่าวนี้ลมจะแรงกว่าบริเวณอื่นเล็กน้อย (3 – 4 m/s)



รูปที่ 3.7 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนมกราคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน

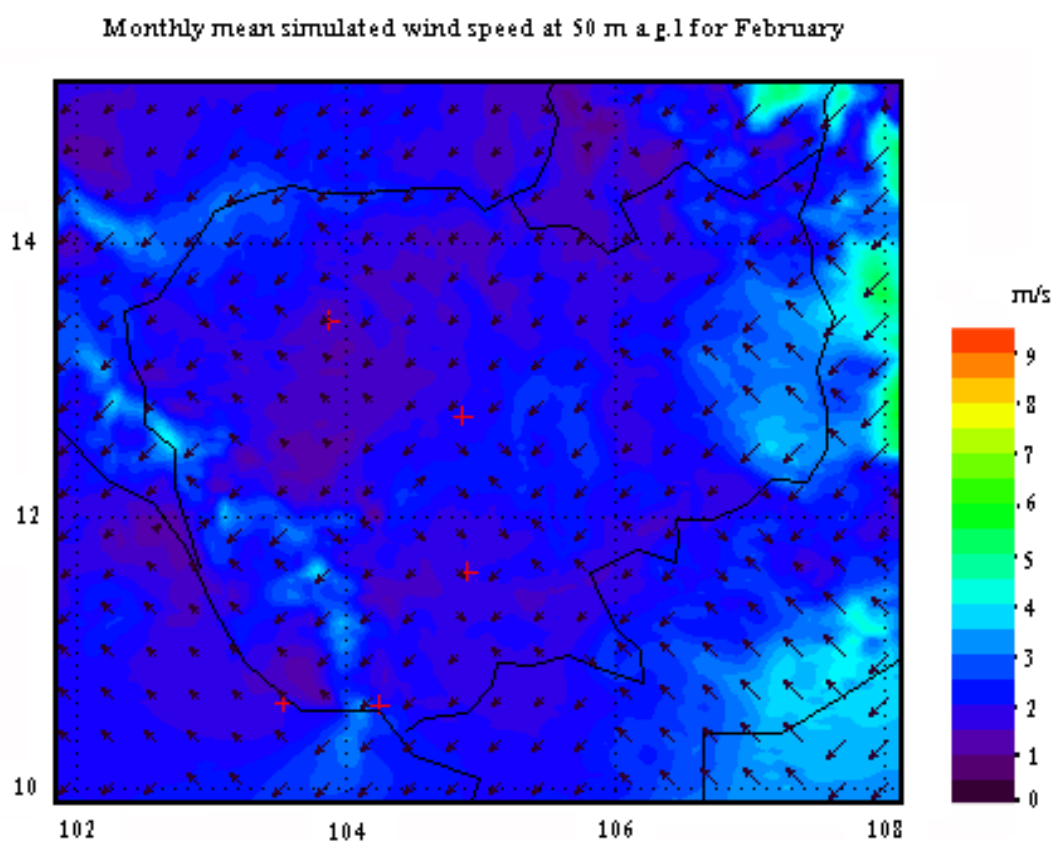
หากเปรียบเทียบแผนที่ทั้งสองระดับจะพบว่าลักษณะโดยรวมค่อนข้างเหมือนกัน แต่แตกต่างกันบ้างในเรื่องของความเร็ว โดยที่บนแผนที่ของระดับความสูง 100 เมตรจะมีบริเวณที่ลมแรงบนแผนที่มากกว่าที่ระดับ 50 เมตรเล็กน้อย โดยเฉพาะทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจะพบว่าบริเวณที่มีลมแรงขยายกว้างมากขึ้นเมื่อเทียบกับบริเวณเดียวกันในแผนที่ระดับ 50 เมตร ส่วนทิศทางของลมของทั้งสองระดับความสูงนั้นสอดคล้องกันอย่างดี โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และคงมีแนวลมตะวันออกเฉียงใต้พัดจากทะเลจีนใต้พัดผ่านชายฝั่งประเทศเวียดนามเข้าสู่ประเทศกัมพูชาบ้างเล็กน้อย



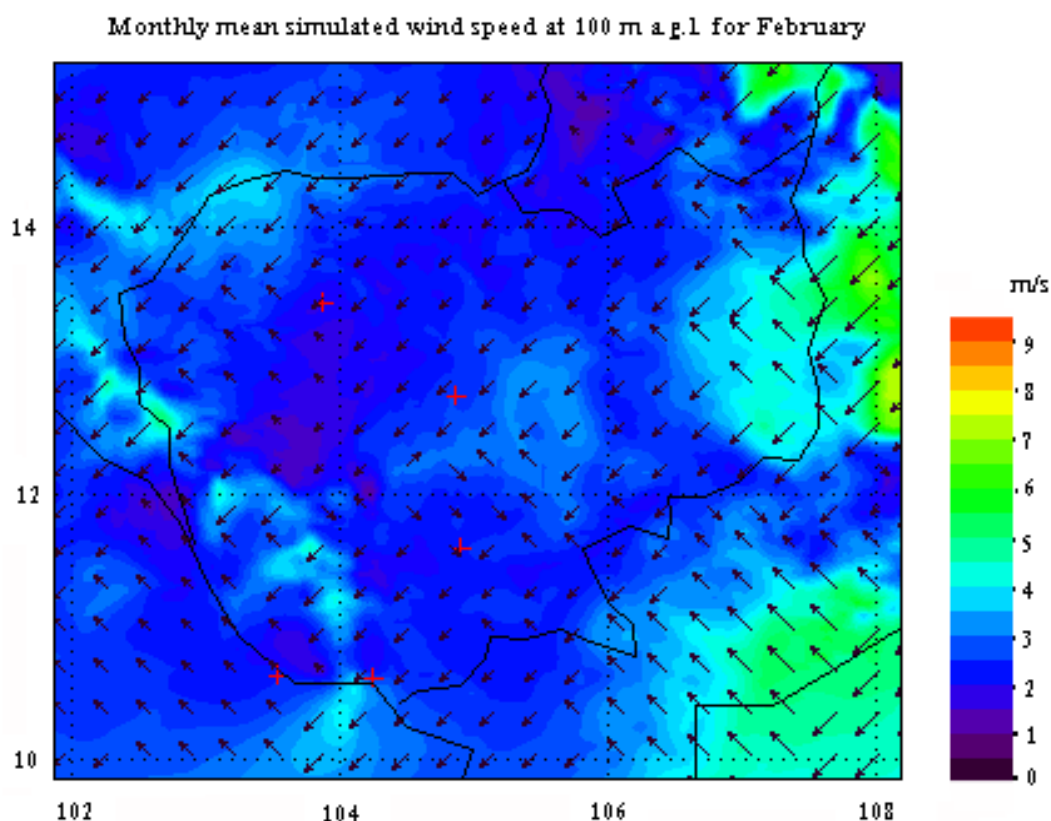
รูปที่ 3.8 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนมกราคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน

สำหรับลักษณะลมในเดือนกุมภาพันธ์สำหรับความสูงทั้งสองระดับแสดงในรูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10 จากรูปทั้งสองจะเห็นว่าในช่วงเดือนกุมภาพันธ์นี้ ประเทศกัมพูชายังได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออย่างชัดเจนดังจะเห็นได้จากทิศของลูกศรซึ่งแสดงทิศทางลมโดยส่วนใหญ่ของประเทศ แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีลมตะวันออกเฉียงใต้พัดผ่านจากทะเลจีนใต้เข้าสู่ประเทศกัมพูชาด้วยซึ่งค่อนข้างใกล้เคียงกับที่ปรากฏในแผนที่ของเดือนมกราคม แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศลมมีความเร็วลมค่อนข้างต่ำ ดังจะเห็นจากบนแผนที่ที่มีบริเวณสีน้ำเงิน (ความเร็ว 2 - 3 m/s) โดยส่วนใหญ่และมีบางส่วนที่เป็นสีเทาม่วง (ความเร็ว 1 - 2 m/s) จนถึงสีม่วง (ความเร็ว 0 - 1 m/s) อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามในบริเวณแนวเขาทางตะวันตก และบริเวณทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศมีบริเวณสีฟ้าอ่อน (ความเร็ว 4 - 5 m/s) และเขียวอ่อน (ความเร็ว 5 - 6 m/s) บ้างเล็กน้อยซึ่งแสดงให้เห็นว่าในบริเวณดังกล่าวนี้เป็นบริเวณที่มีความเร็วลมสูงกว่าบริเวณอื่นๆ โดยสำหรับความสูง 50 เมตรเหนือพื้นดินนั้นความเร็วลมมีค่าใกล้เคียง 4 m/s สำหรับที่ระดับความสูง 100 เมตร ความเร็วลมในบริเวณดังกล่าวยังปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจนว่ามีความเร็วสูง

ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือและในบริเวณแนวเขาทางตะวันตกถึงตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศกัมพูชา ซึ่งจากแผนที่ที่ระดับความสูง 100 เมตรนั้นจะเห็นว่าในบริเวณดังกล่าวมีสีเขียวอ่อนอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเร็วลมในบริเวณนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5 – 6 m/s นอกจากนี้ที่ระดับความสูง 100 เมตรทางตอนกลางของประเทศและทางด้านชายแดนตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจะปรากฏแนวสีเทาฟ้า(ความเร็ว 3 - 4 m/s) ซึ่งแสดงว่าลมมีความเร็วเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย และจะเห็นว่าบริเวณสีเทาน้ำเงิน(ความเร็ว 1 - 2 m/s) และสีม่วง(ความเร็ว 0 - 1 m/s) ที่เคยปรากฏที่ระดับความสูง 50 เมตรนั้นไม่ปรากฏให้เห็นที่ระดับความสูง 100 เมตร แสดงว่าบริเวณนั้นความเร็วลมมีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน



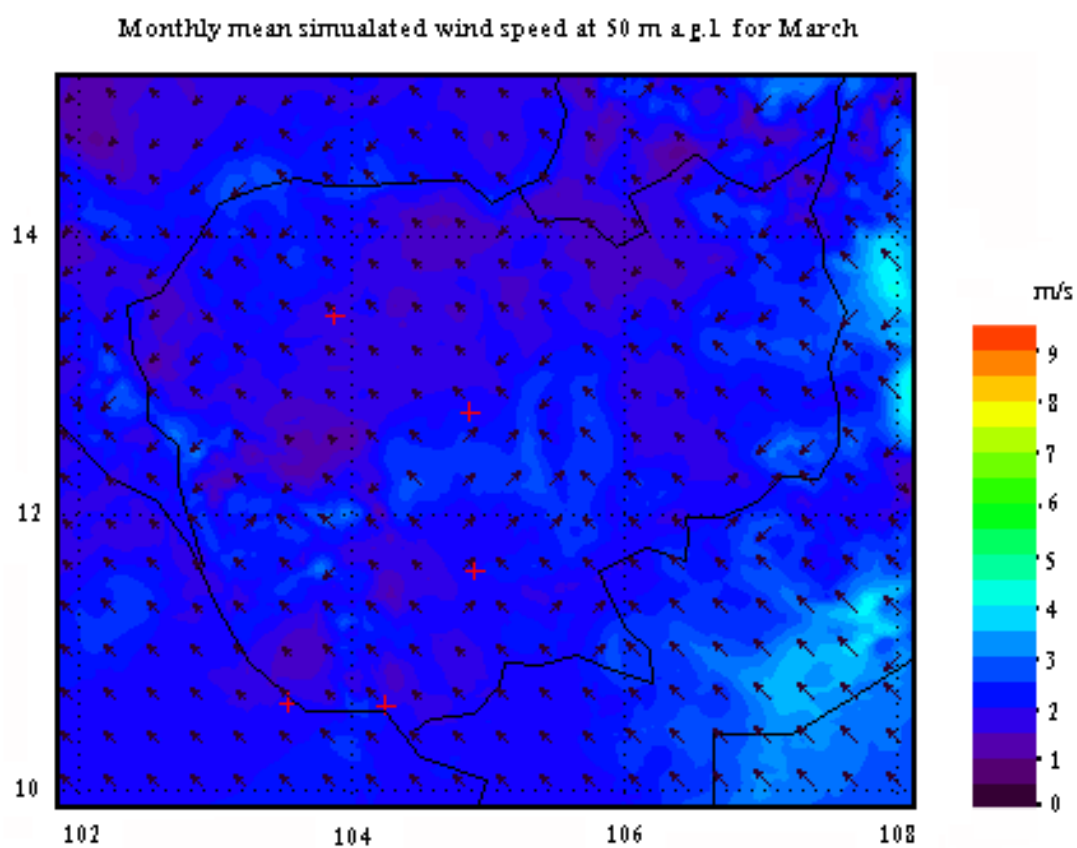
รูปที่ 3.9 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือน กุมภาพันธ์ จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน



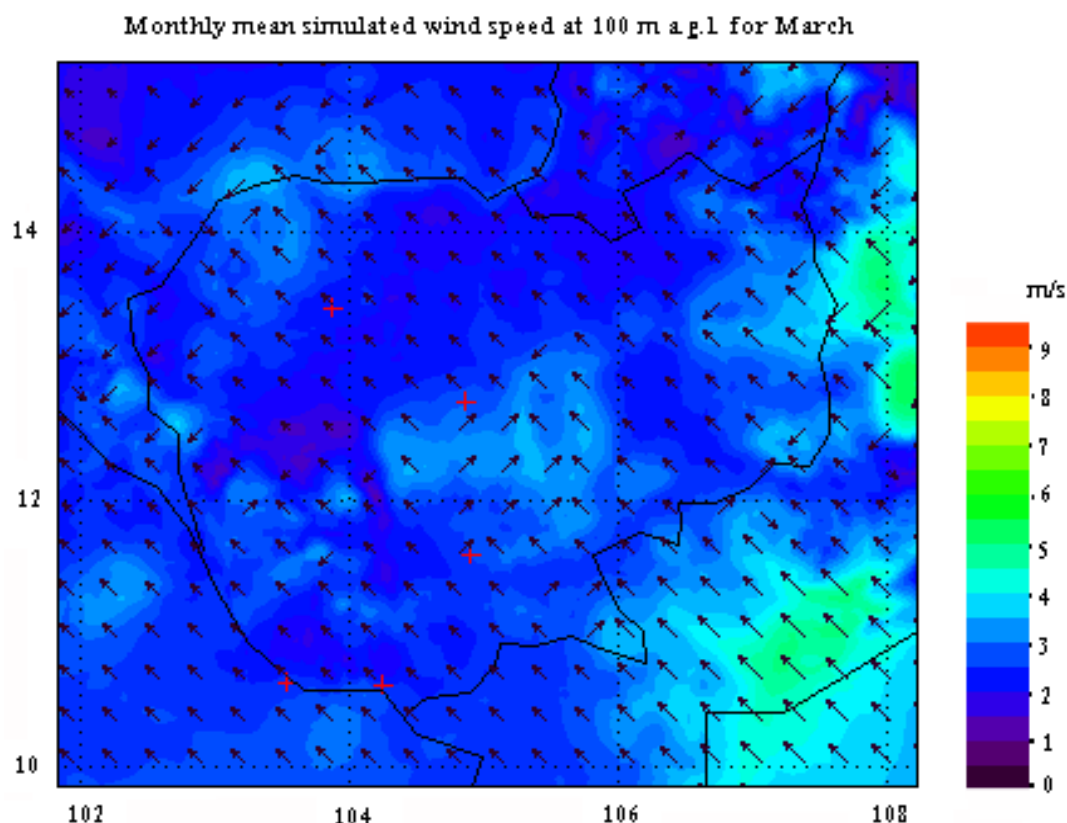
รูปที่ 3.10 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนกุมภาพันธ์ จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน

สำหรับในช่วงเดือนมีนาคมประเทศกัมพูชาค่อนข้างอยู่ในช่วงลมสงบ จากแผนที่ลมเฉลี่ย ณ ระดับความสูง 50 เมตร (รูปที่ 3.11) พื้นที่ส่วนใหญ่ของแผนที่เป็นสีน้ำเงิน(ความเร็ว 2 - 3 m/s) และมีบริเวณสีม่วง(ความเร็ว 0 - 1 m/s) ปรากฏบนแผนที่มากขึ้น โดยเฉพาะทางตอนเหนือของประเทศ ส่วนในบริเวณที่เคยเป็นบริเวณที่มีความเร็วลมมากกว่าบริเวณอื่นๆในช่วงเดือนที่ผ่านมา ยังคงแสดงให้เห็นว่ามีลมแรงกว่าบริเวณอื่นๆอยู่เล็กน้อยเช่นเดียวกันแต่ไม่ชัดเจนเหมือนกับเดือนที่ผ่านมา สำหรับที่ระดับความสูง 100 เมตร (รูปที่ 3.12) จะพบบริเวณที่มีความเร็วลม 3 - 4 m/s (ซึ่งไม่พบบนแผนที่ในระดับ 50 เมตร) กระจายตัวอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือ ทางตะวันตกเฉียงเหนือ ตลอดจนตอนกลางของประเทศ ทั้งนี้ยังถือว่าลมไม่แรงมากนักเมื่อเทียบกับในบริเวณประเทศเวียดนามซึ่งยังคงมีบริเวณสีเขียวอ่อนปรากฏให้เห็น และส่งผลให้แนวชายแดนที่ติดกับประเทศเวียดนามทางตะวันออกเฉียงเหนือความเร็วลมมีค่าสูง (4 - 5 m/s) ในช่วงเดือนมีนาคมนี้เป็นช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมจึงเห็นว่าทิศทางลมเริ่มเปลี่ยนจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นลมตะวันออก

เจียงได้มากขึ้น โดยลมจะพัดจากทะเลจีนใต้ผ่านประเทศเวียดนามเข้าสู่ประเทศกัมพูชาซึ่งเห็นภาพได้อย่างชัดเจนที่ระดับความสูง 100 เมตร



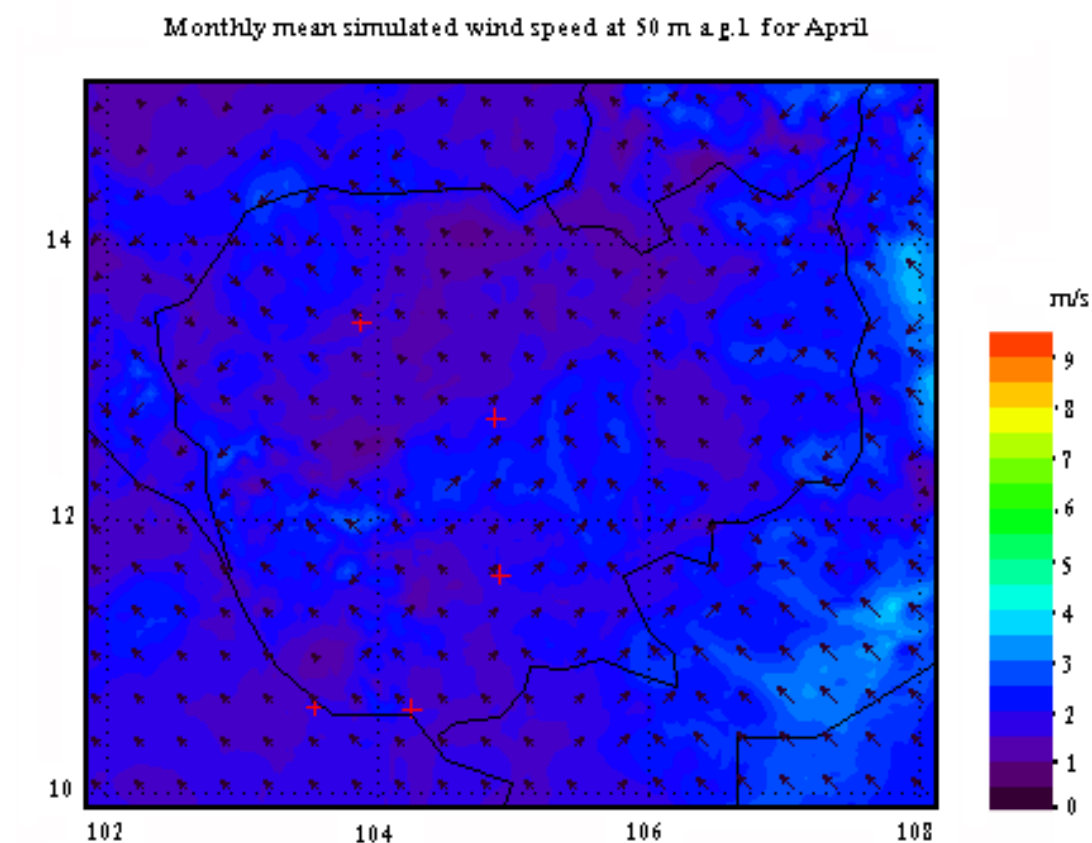
รูปที่ 3.11 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนมีนาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน



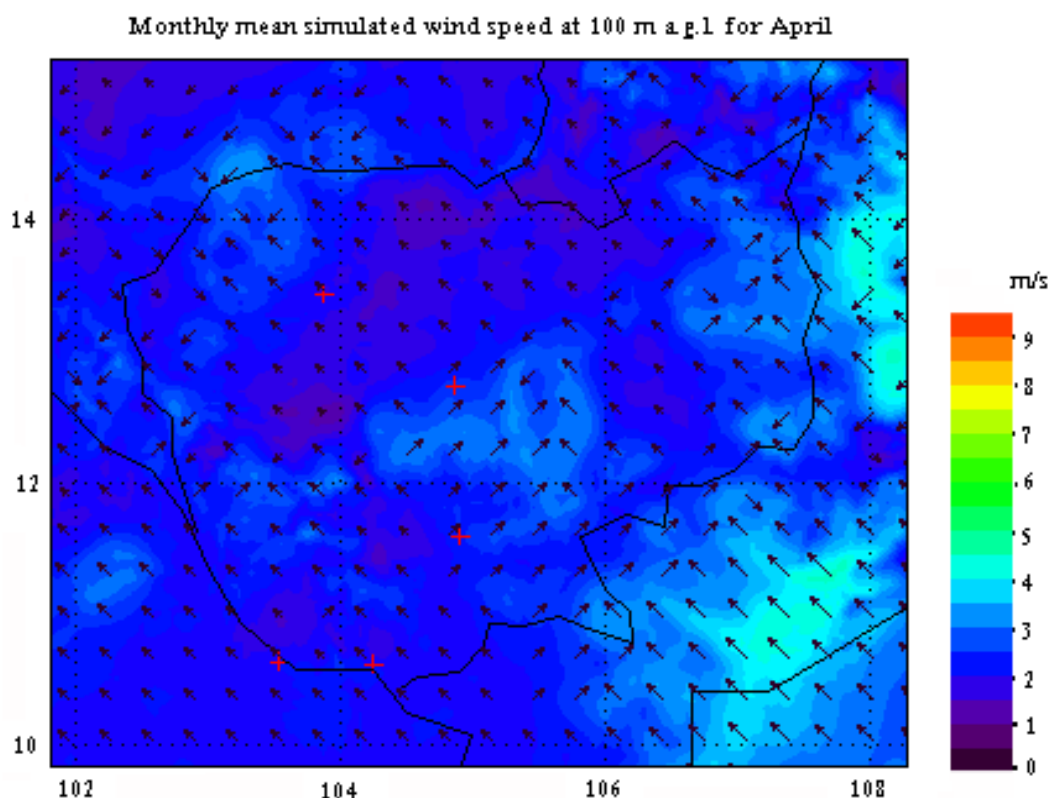
รูปที่ 3.12 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนมีนาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกล
ปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน

เดือนเมษายนประเทศกัมพูชายังคงเป็นช่วงเปลี่ยนมรสุม ลมค่อนข้างสงบทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ในรูปที่ 3.13 จะเห็นว่าบนแผนที่ ณ ระดับความสูง 50 เมตรจะปรากฏบริเวณสีม่วง (ความเร็ว 0 - 1 m/s) กระจายตัวอยู่ทั่วทั้งประเทศโดยเฉพาะทางตอนเหนือของประเทศ ส่วนพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศลมจะเป็นสีน้ำเงิน (ความเร็ว 2 - 3 m/s) โดยในรูปนี้ไม่แสดงบริเวณที่มีความเร็วสูงกว่าบริเวณอื่นๆ เช่นเดียวกับที่ปรากฏให้เห็นในเดือนที่ผ่านมา ต่างกับที่ระดับ 100 เมตร (รูปที่ 3.14) จะพบบริเวณที่มีความเร็วลมสูงกว่ากระจายตัวทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนกลาง และทางตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศ อย่างไรก็ตามยังคงมีค่าน้อยกว่าความเร็วลมในประเทศเวียดนาม ซึ่งจะเห็นว่าในประเทศเวียดนามยังแสดงบริเวณสีเขียวอ่อน (ความเร็ว 5 - 6 m/s) ให้เห็น ในรูปนี้ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศยังคงเป็นบริเวณที่มีความเร็วลมสูงกว่าบริเวณอื่นๆ ของประเทศ ส่วนแนวความเร็วสูงที่เคยปรากฏให้เห็นทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศนั้น ไม่ปรากฏให้เห็นชัดเจนนักในช่วงเดือนนี้ สำหรับทิศทางลม ยังคงเป็นลมตะวันออกเฉียงใต้พัดผ่านจากทะเลจีนใต้เข้าสู่ประเทศกัมพูชาทางประเทศเวียดนามสืบเนื่องจากช่วงเดือนนี้เป็นช่วงเปลี่ยน

มรสุม ทิศทางลมบนแผนที่ทั้งที่ระดับความสูง 50 เมตร และ 100 เมตร ค่อนข้างเหมือนกัน แต่จะเห็นว่าในบางบริเวณของพื้นที่พบลักษณะของลมแปรปรวนด้วยเช่นกัน ดังจะเห็นได้จากทิศทางของลมเปลี่ยนแปลงทั้งนี้ น่าจะสืบเนื่องจากการอยู่ในช่วงของการเปลี่ยนฤดูนั่นเอง



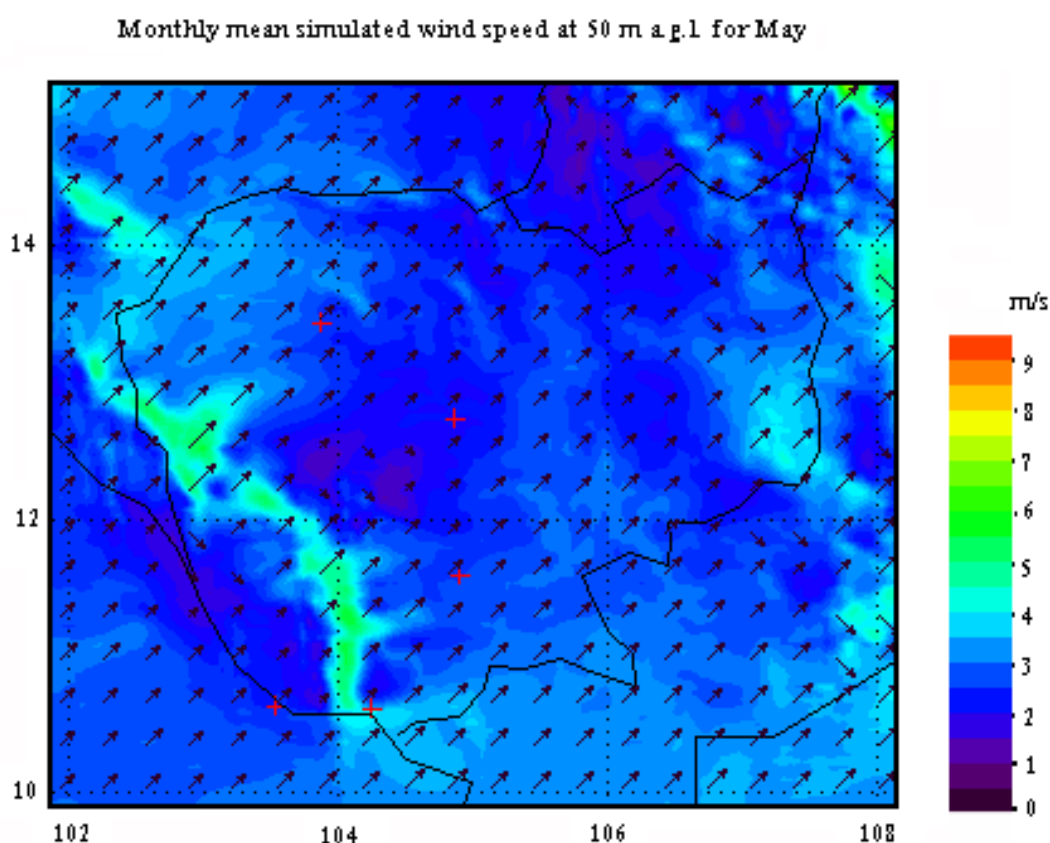
รูปที่ 3.13 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนเมษายน จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกล
ปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน



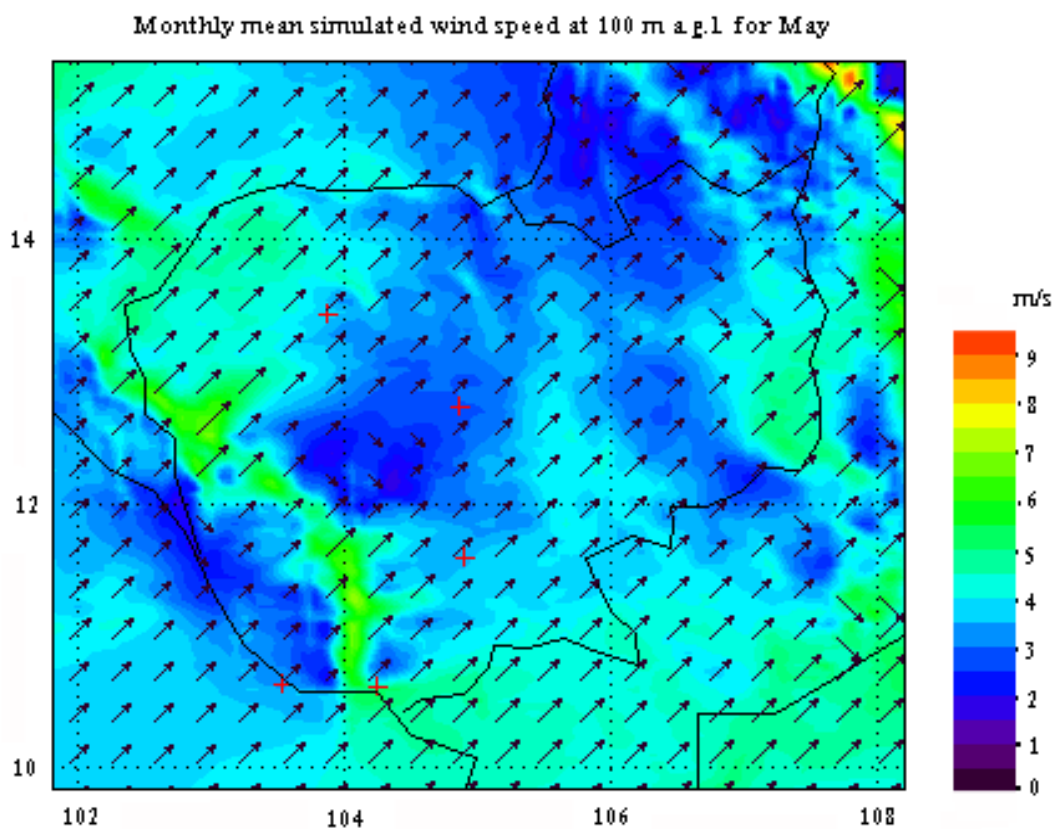
รูปที่ 3.14 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนเมษายน จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกล
ปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน

รูปที่ 3.15 และ 3.16 แสดงลักษณะของลมในช่วงเดือนพฤษภาคม ในช่วงนี้ประเทศกัมพูชา จะอยู่ในช่วงของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนจากทิศของลูกศร โดยจะเห็นว่าทุกภูมิภาคของประเทศทิศของลมจะเป็นแนวเดียวกันหมด คือเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้ จากแผนที่ ลมที่ระดับ 50 เมตร จะพบแนวที่มีความเร็วลมสูงเป็นแนวสีเขียวอ่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s)ตามแนว เขาทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศกัมพูชา ซึ่งแนวนี้น่าจะชัดเจนมากเมื่อเทียบกับเดือนที่ผ่านมา ทั้งนี้แนวสีเขียวอ่อนนี้ยังพัดผ่านเข้าไปยังประเทศไทยด้วย ส่วนในบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือ จะพบบริเวณลมแรงเช่นเดียวกันแต่ความเร็วไม่สูงเท่าทางด้านตะวันตก นอกจากนั้นทางตอนกลาง ของประเทศจะมีความเร็วลมประมาณ 3 - 4 m/s ซึ่งสูงกว่าบริเวณทั่วทั้งประเทศในช่วงเดือนที่ผ่านมา สำหรับที่ระดับความสูง 100 เมตร จะเห็นว่าอิทธิพลลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะปรากฏให้เห็น อย่างชัดเจนและจะพบว่าความเร็วลมตลอดทั้งประเทศค่อนข้างสูงขึ้น โดยเฉพาะทางตะวันตกของ ประเทศ จากรูปจะเห็นว่ามีย่านสีเขียว(ความเร็ว 6 - 7 m/s) ปรากฏให้เห็นมากขึ้นในประเทศ กัมพูชา และจะพบว่าแนวความเร็วลมสูงนี้จะพบทางชายแดนตอนใต้ของประเทศกัมพูชาด้วย สืบเนื่องจากในบริเวณประเทศเวียดนามแล้วแต่มีลมค่อนข้างแรงในช่วงเดือนนี้ ทางตอนกลาง

ของประเทศกัมพูชาลมค่อนข้างเบาเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ แต่ยังคงพบว่ามีค่าสูงกว่าเมื่อเทียบกับที่ระดับ 50 เมตร หรือเทียบกับเดือนที่ผ่านมา ในทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจะพบว่ายังคงแสดงลักษณะของบริเวณที่มีลมแรง ดังจะเห็นแนวสีเขียวอ่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s)ในบริเวณดังกล่าวเลยเข้าไปถึงประเทศเวียดนาม ซึ่งในแนวบริเวณนี้แตกต่างอย่างชัดเจนจากที่ระดับ 50 เมตร เพราะเป็นบริเวณสีเขียวอ่อนชัดเจนมาก



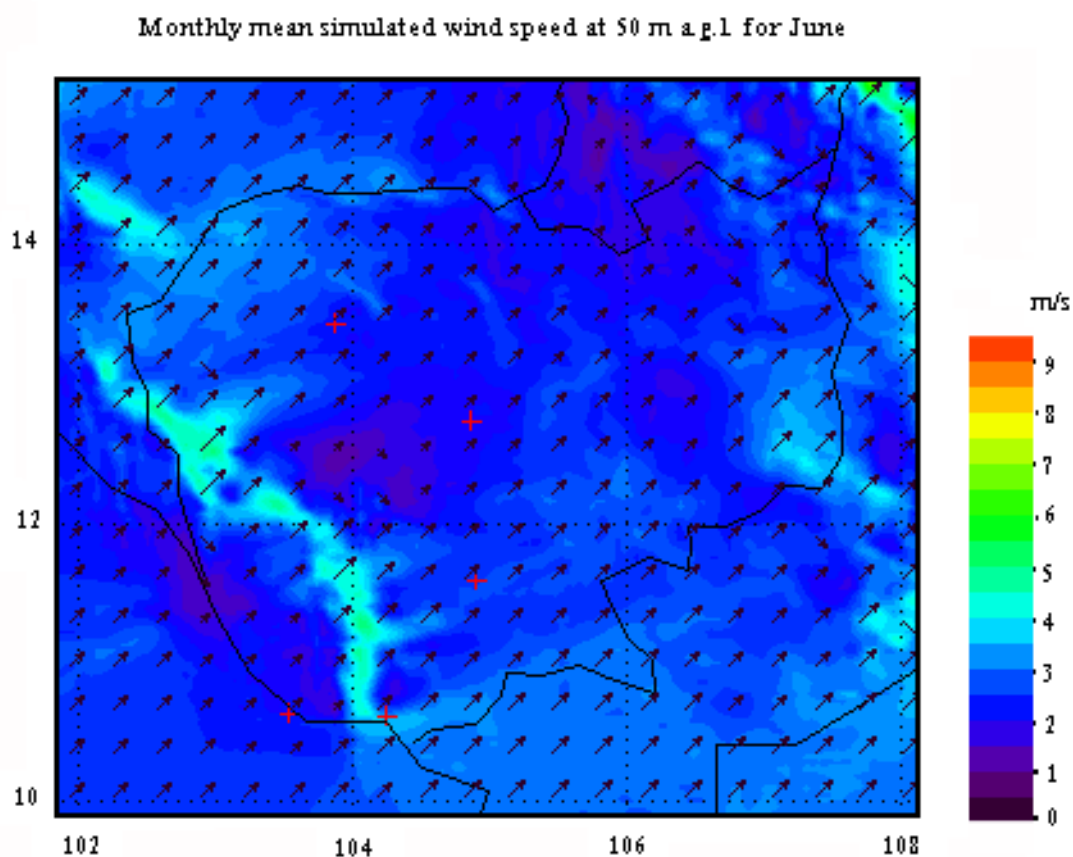
รูปที่ 3.15 แผนที่ลมเฉลี่ย เดือนพฤษภาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน



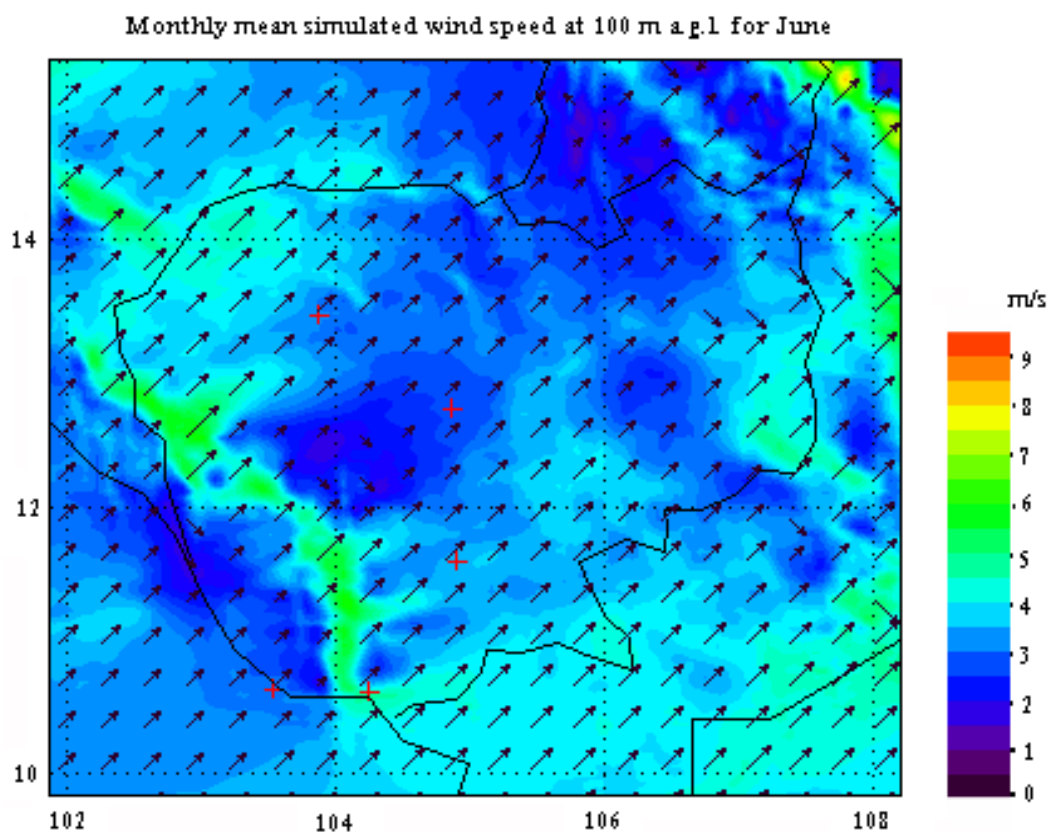
รูปที่ 3.16 แผนที่ลมเฉลี่ย เดือนพฤษภาคม จากการคำนวณ โดยแบบจำลองบรรยากาศสเกล
ปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน

ในช่วงเดือนมิถุนายน (รูปที่ 3.17 -3.18) ยังคงแสดงอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อย่างชัดเจนบนแผนที่ทั้งสองระดับความสูง ลมส่วนใหญ่จะพัดผ่านจากอ่าวไทยเข้าสู่ประเทศ กัมพูชาทำให้พบว่าแนวเขาทางภาคตะวันตกถึงตะวันตกเฉียงใต้แสดงลักษณะของลมแรง (5 – 6 m/s) ที่ระดับความสูง 50 เมตร แต่ครอบคลุมเพียงบริเวณแคบๆเมื่อเทียบกับเดือนพฤษภาคม ส่วน ในบริเวณอื่นๆของประเทศความเร็วลมไม่แตกต่างจากเดือนพฤษภาคมมากนัก ซึ่ง ณ ระดับความ สูง 50 เมตรนี้มีเพียงบริเวณแนวเขาที่ว่านนี้เท่านั้นที่มีลมแรง ในบริเวณอื่นๆลมค่อนข้างสงบถึงแม้จะ พบแนวสีเทาฟ้า(ความเร็ว 3 - 4 m/s) ปรากฏให้เห็นบ้างทางตอนกลาง ทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือ และทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศบ้าง แต่พื้นที่ส่วนใหญ่ในแผนที่ยังคงเป็นสีน้ำเงิน (ความเร็ว 2 - 3 m/s) ส่วนที่ระดับความสูง 100 เมตร แนวความเร็วลมสูง (5 – 6 m/s) ยังคงปรากฏ ให้เห็นทางด้านตะวันตกของประเทศตามแนวชายแดนไทย-กัมพูชา ส่วนแนวชายแดนทางตอนใต้ ลมยังคงแรง (4 – 5 m/s) กว่าตอนกลางของประเทศ แต่โดยรวมแล้วจะเห็นว่าความแรงลมจะลดลง

เมื่อเทียบกับที่ระดับเดียวกันนี้ของเดือนพฤษภาคม อย่างไรก็ตามในสองบริเวณที่สำคัญที่เคยมีลมแรง ยังคงเป็นสีฟ้าอ่อน(ความเร็ว 4 - 5 m/s) ถึงสีเขียวอ่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s) ซึ่งบ่งบอกถึงความแรงของลมที่มากกว่าบริเวณอื่นๆของประเทศเช่นเดิม



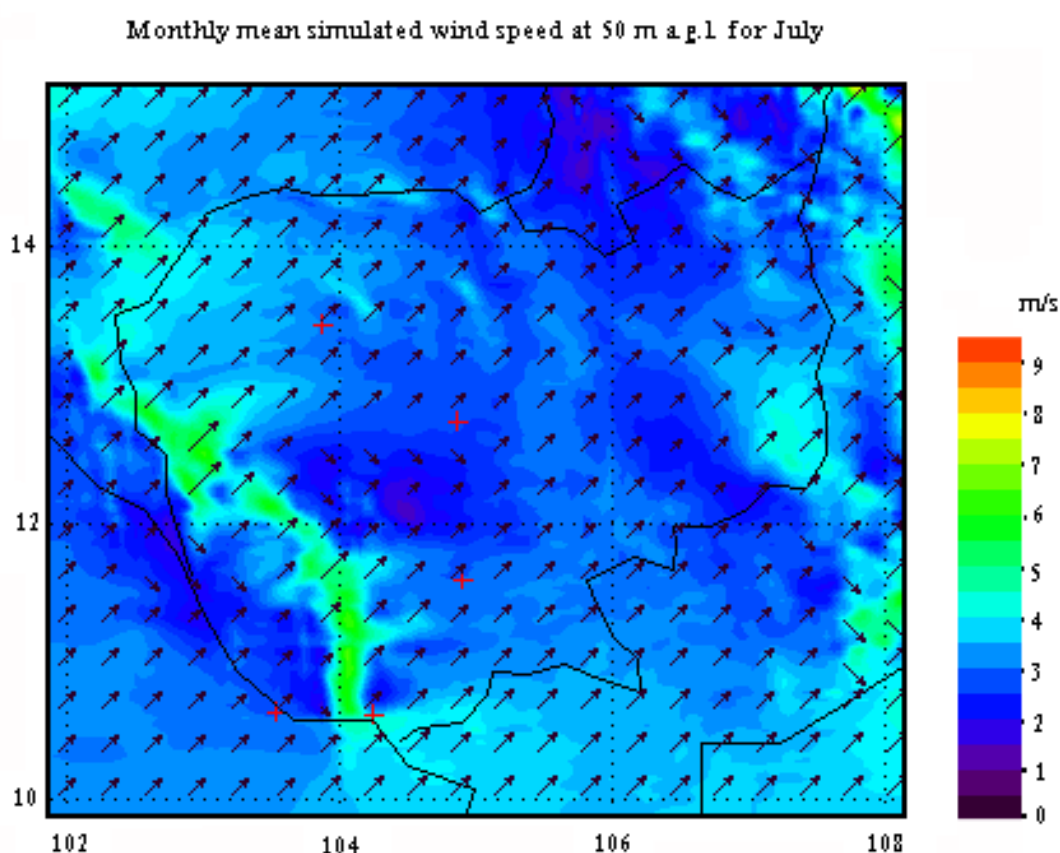
รูปที่ 3.17 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือน มิถุนายน จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน



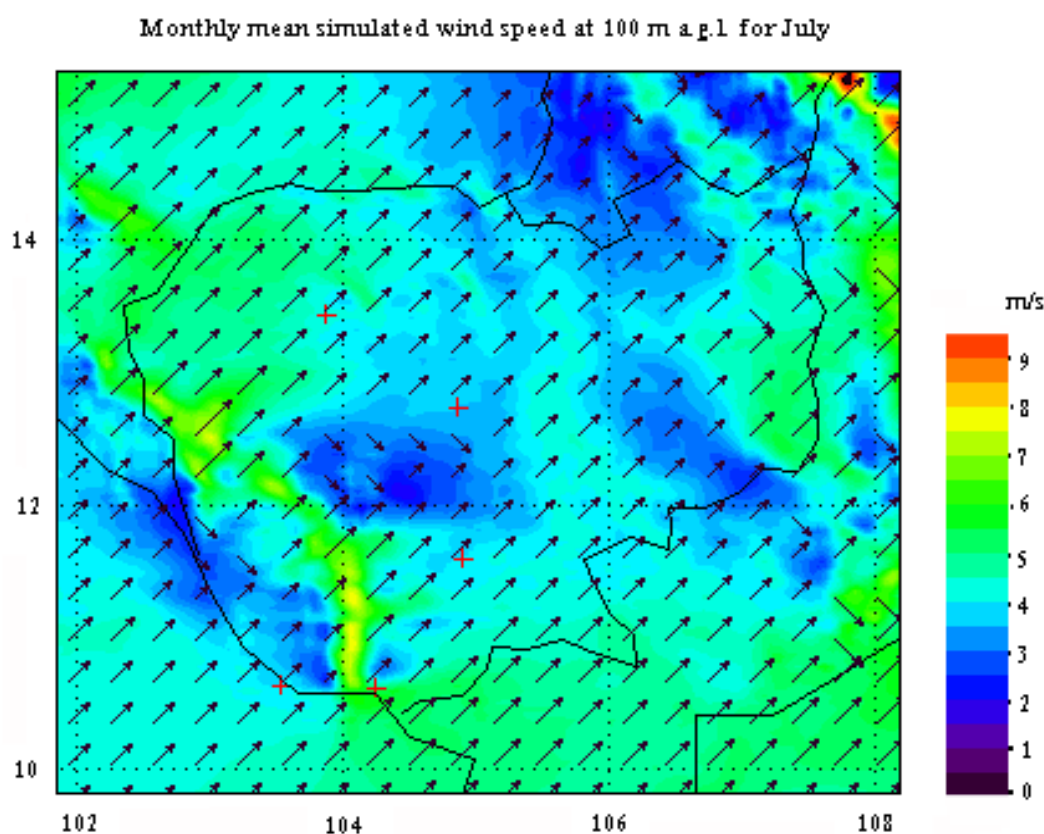
รูปที่ 3.18 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนมิถุนายน จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน

ในช่วงเดือนกรกฎาคม (รูปที่ 3.19 และ รูปที่ 3.20) อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ยังคงชัดเจนอยู่ โดยแนวลมที่พัดเข้าสู่ประเทศกัมพูชาจะพัดมาจากอ่าวไทยทำให้ช่วงนี้ประเทศกัมพูชามีฝนตกชุกทั่วทุกภูมิภาค แนวลูกศรแสดงทิศทางลมในแผนที่ทั้งสองระดับสอดคล้องกันเป็นอย่างดี ในรูปที่ 3.19 ยังคงเห็นแนวความเร็วลมแรง (6 – 7 m/s) พาดผ่านจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยไปตามแนวเขาทางตะวันตกลงไปถึงตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศกัมพูชาเช่นเดียวกับเดือนที่ผ่านมา และพบว่าในบริเวณทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศความเร็วลมจะมีค่า 4 – 5 m/s แต่เป็นบริเวณแคบๆ นอกจากนั้นเกือบทั่วทั้งประเทศจะมีแนวสีเทาฟ้านั้นหมายถึงความเร็วลมมีค่า 3 – 4 m/s ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ มีเพียงพื้นที่ส่วนน้อยเท่านั้นที่เป็นสีน้ำเงินหรือความเร็วต่ำในช่วง 2 - 3 m/s ในรูปที่ 3.20 จะเห็นว่าลมเกือบทั่วทั้งประเทศมีความเร็วมากขึ้นดังจะเห็นว่าพื้นที่สีฟ้าอ่อน(ความเร็ว 4 - 5 m/s)จนถึงสีเขียวอ่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s)แผ่ขยายเกือบทั่วทั้งประเทศ สำหรับบริเวณแนวเขาทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศแนวความเร็วลมสูงแผ่ขยายกว้างขึ้นจนครอบคลุมไปถึงพื้นที่ทางชายแดนด้าน

ตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศ ส่วนบริเวณทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศก็เช่นเดียวกันที่พบว่ามีความเร็ว 5 – 6 m/s ที่ระดับความสูง 100 เมตรนี้จะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนกับที่ระดับ 50 เมตร แต่หากพิจารณาให้ดีจะเห็นว่าในรูป 3.19 เองก็แสดงแนวความเร็วลมสูงเป็นแนวสีเทาฟ้า (ความเร็ว 3 - 4 m/s) อยู่แล้ว ซึ่งแนวดังกล่าวนี้ในรูปที่ 3.20 จะเปลี่ยนเป็นสีฟ้าอ่อน (ความเร็ว 4 - 5 m/s) ถึงสีเขียวอ่อน (ความเร็ว 5 - 6 m/s) ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นลมจะแรงขึ้น



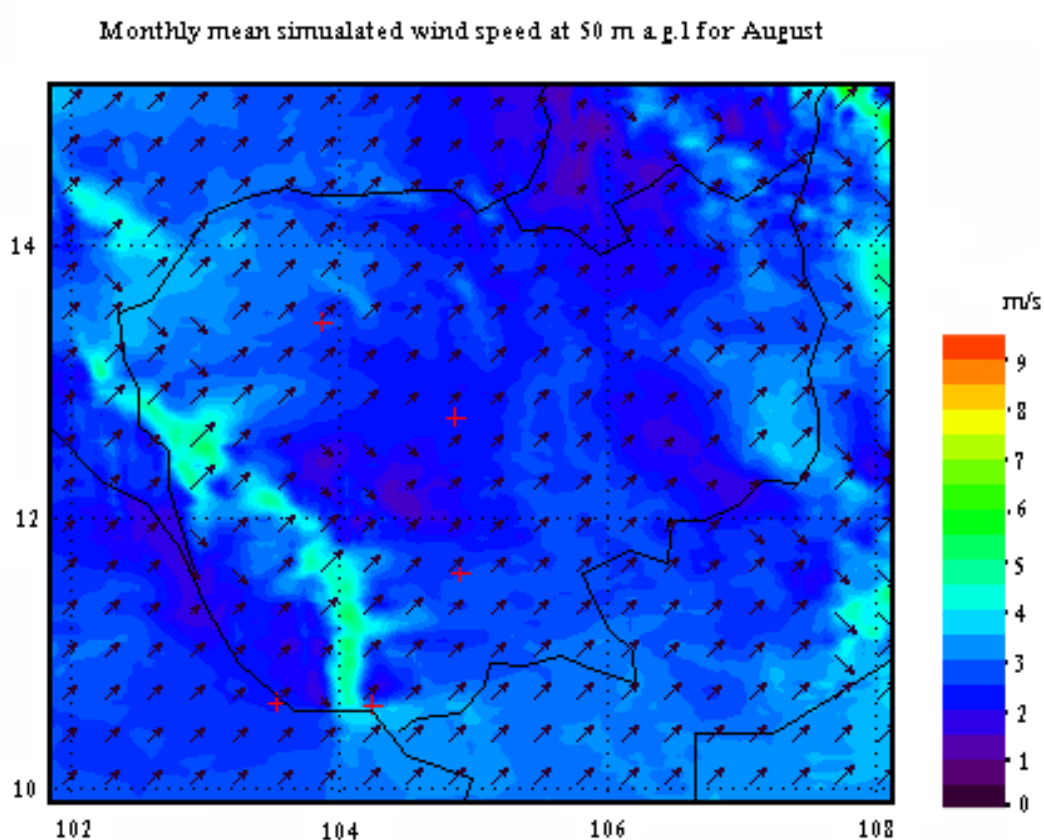
รูปที่ 3.19 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนกรกฎาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน



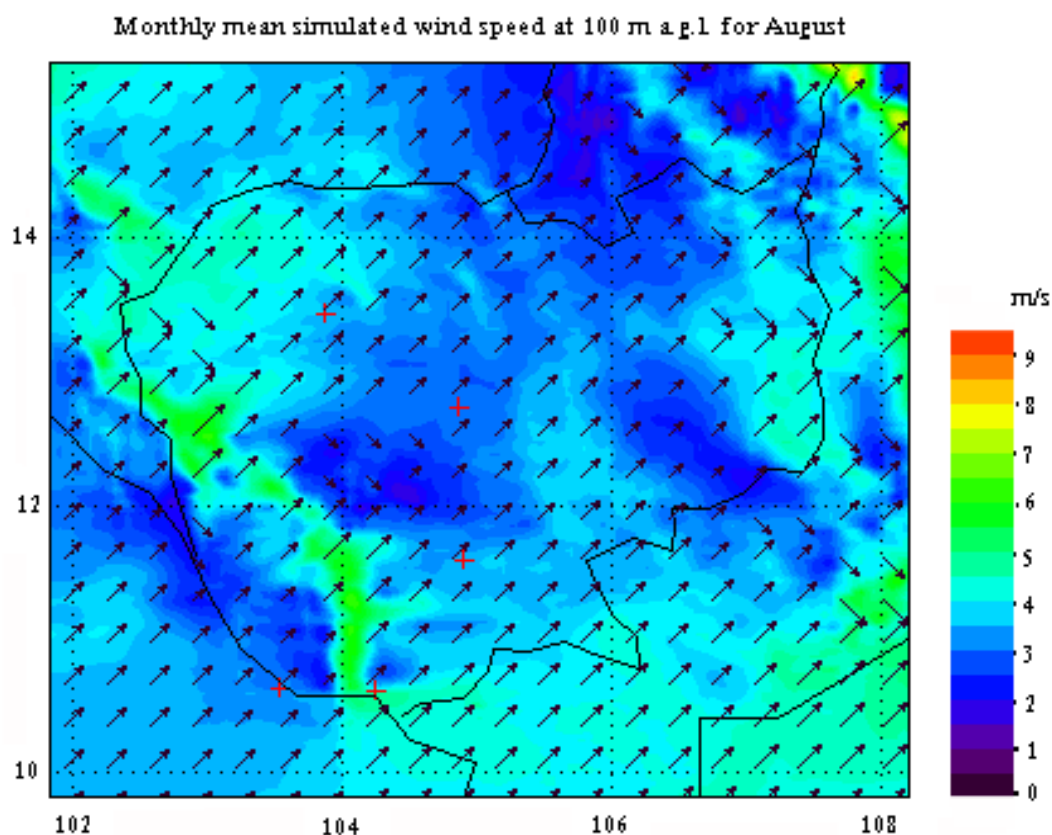
รูปที่ 3.20 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนกรกฎาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน

ในเดือนสิงหาคมอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ยังคงชัดเจน ลมส่วนใหญ่พัดผ่านจากอ่าวไทยเข้าสู่พื้นที่ของประเทศกัมพูชา ถึงแม้ว่าลมจะค่อนข้างอ่อนตัวลง ในรูปที่ 3.21 แนวความเร็วลมแรงที่สุดยังคงเป็นบริเวณแนวเขาทางภาคตะวันตกถึงตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศ ซึ่งจะพบเป็นแนวสีเขียวอ่อนบนแผนที่ โดยในบริเวณดังกล่าวนี้ความเร็วลมมีค่าประมาณ 5 – 6 m/s ส่วนในบริเวณอื่นๆของประเทศจะเห็นว่าความเร็วลมมีค่าไม่สูงมากนัก โดยยังคงมองเห็นแนวสีเทาฟ้า(ความเร็ว 3 - 4 m/s)พาดผ่านบริเวณสีน้ำเงิน(ความเร็ว 2 - 3 m/s)ทั่วทั้งประเทศ แต่เมื่อเพิ่มระดับความสูงเป็น 100 เมตร (รูปที่ 3.22) จะเห็นว่าแนวลมแรงยังคงพาดผ่านจากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยไปตามแนวชายแดนทางตะวันตกเฉียงเหนือของกัมพูชาและเลาะลงไปทางตอนใต้ตามแนวเขาซึ่งเป็นบริเวณที่เคยมีลมแรงในช่วงที่ผ่านมา นอกจากนั้นจะเห็นว่าในทางตอนใต้ของประเทศกัมพูชาและทางตอนล่างของประเทศเวียดนามความเร็วลมจะมีค่าประมาณ 4 – 5 m/s ซึ่งจัดว่าสูงกว่าตอนกลางและตอนบนของประเทศกัมพูชา สำหรับทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศยังคงเป็นบริเวณที่มีความเร็วลมสูงอยู่เช่นเดิม ถึงแม้จะไม่สูงเท่ากับทางแนวเขาทาง

ตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศก็ตาม นอกจากนั้นจากรูป 3.22 จะเห็นว่าบริเวณหนึ่งใกล้กับชายแดน กัมพูชา – ลาว – เวียดนามความเร็วลมสูงกว่าบริเวณอื่นๆ (7 – 8 m/s) ซึ่งในบริเวณใกล้เคียงกัน นั้นก็มีความเร็วลมลดหลั่นลงไป โดยรวมแล้วที่ระดับความสูงเดียวกันลมในเดือนสิงหาคมค่อนข้าง อ่อนแรงลงจากเดือนที่ผ่านมาแต่ยังแสดงลักษณะลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้อย่างชัดเจน และบริเวณ ที่มีความเร็วลมสูงกว่าบริเวณอื่นยังคงอยู่ที่แนวเขาทางตะวันตกเฉียงใต้และบริเวณทาง ตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ



รูปที่ 3.21 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือน สิงหาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกล ปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน

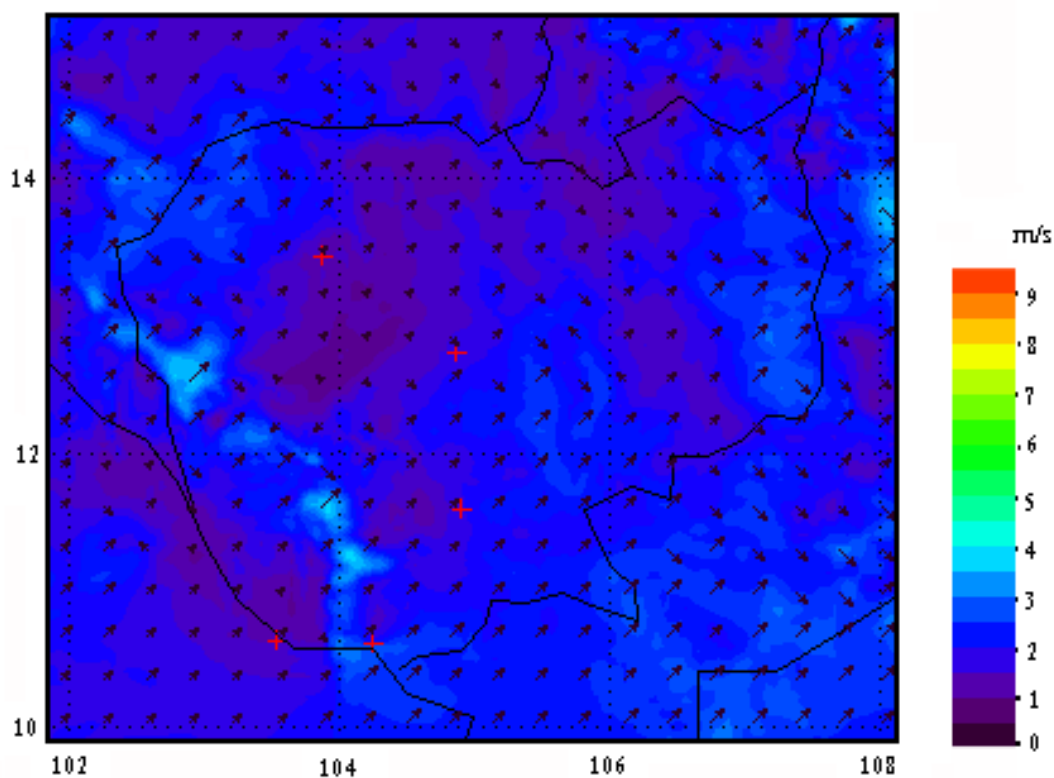


รูปที่ 3.22 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนสิงหาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกล
ปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน

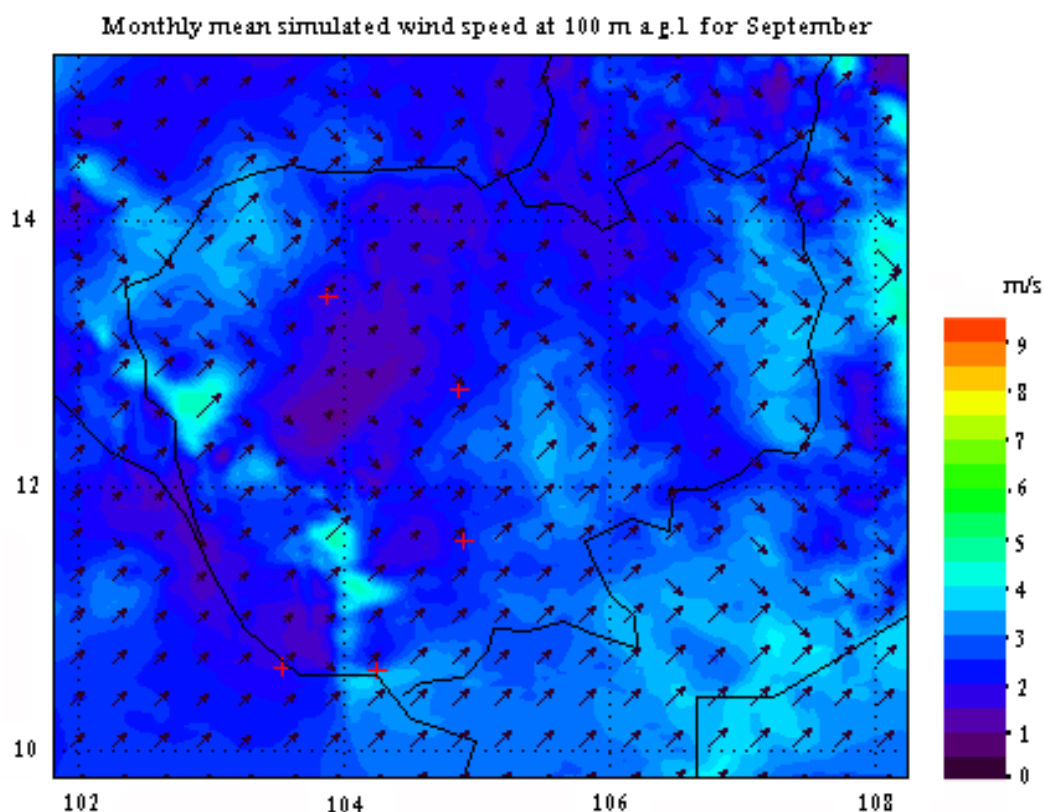
ในเดือนกันยายนนี้ลมค่อนข้างแปรปรวนดังจะเห็นได้จากทิศของลูกศรที่ค่อนข้างกระจัดกระจาย แต่ยังคงเห็นแนวลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดจากอ่าวไทยเข้าสู่ประเทศกัมพูชาอยู่บ้าง ในรูปที่ 3.23 จะพบบริเวณที่มีบริเวณลมต่ำที่เป็นสีม่วง(ความเร็ว 0 - 1 m/s)ปรากฏชัดเจนทางตอนกลางและตอนบนของประเทศ และพื้นที่โดยรวมของประเทศทั้งหมดเป็นสีน้ำเงิน(ความเร็ว 2 - 3 m/s)ซึ่งหมายถึงความเร็วลมค่อนข้างน้อย แต่อย่างไรก็ตามยังคงมีบางบริเวณที่มีความเร็วลมมากกว่าบริเวณอื่นๆปรากฏให้เห็น คือบริเวณแนวเขาทางตะวันตกของประเทศซึ่งในบริเวณดังกล่าวนี้จะมีสีฟ้าอ่อนซึ่งเป็นช่วงที่มีความเร็วลมประมาณ 4 - 5 m/s ส่วนทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศความเร็วลมไม่สูงมากนักแต่ยังคงเห็นแนวลมแรงกว่าบริเวณข้างเคียง กล่าวคือเป็นพื้นที่สีเทาฟ้า(ความเร็ว 3 - 4 m/s)โดยที่บริเวณโดยรอบเป็นสีน้ำเงิน(ความเร็ว 2 - 3 m/s) ส่วนในรูปที่ 3.24 ซึ่งแสดงความเร็วลมที่ระดับ 100 เมตร จะเห็นว่าในเดือนสิงหาคมนี้ความเร็วลมลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับเดือนที่ผ่านมา โดยจะเห็นได้จากบริเวณสีเขียวอ่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s)ไม่ปรากฏให้เห็นในแผนที่เลยเมื่อเทียบกับในเดือนที่ผ่านมา แม้แต่ในบริเวณ

ของประเทศเวียดนามที่มักจะมีความเร็วลมสูงกว่าบริเวณอื่นๆ หรือลมยังคงแรงกว่าบริเวณอื่น อย่างไรก็ตามที่ระดับความสูง 100 เมตรนี้ความเร็วลมค่อนข้างสูงกว่าที่ระดับ 50 เมตร จะเห็นว่าในรูปที่ 3.24 จะพบว่าบริเวณทางชายแดนทางตะวันตกเฉียงเหนือ ทางตอนกลางของประเทศและทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศยังคงเป็นสีเทาฟ้า (ความเร็ว 3 – 4 m/s) และในแนวเขาทางตะวันตกเฉียงใต้ยังคงมีบริเวณสีเขียวอ่อนปรากฏให้เห็นอยู่บ้าง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเร็วประมาณ 5 – 6 m/s ซึ่งสูงกว่าบริเวณอื่นอย่างชัดเจน

Monthly mean simulated wind speed at 50 m a.g.l for September



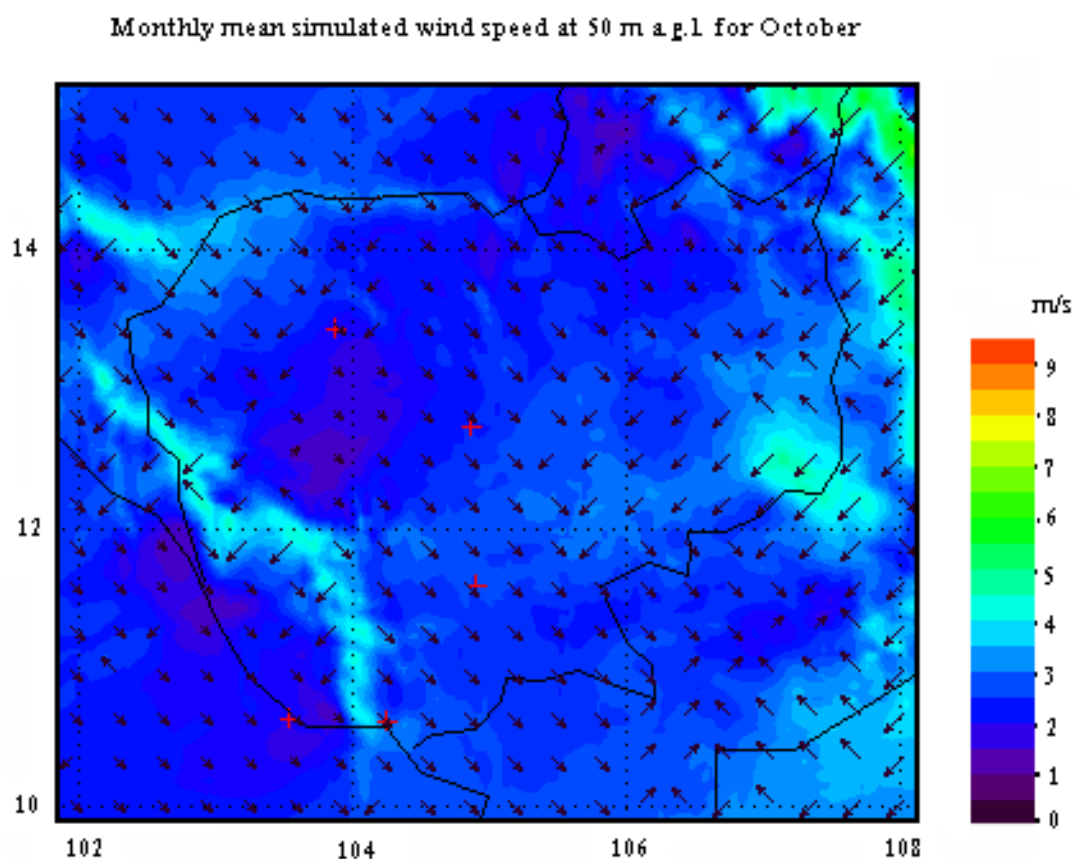
รูปที่ 3.23 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือน กันยายน จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน



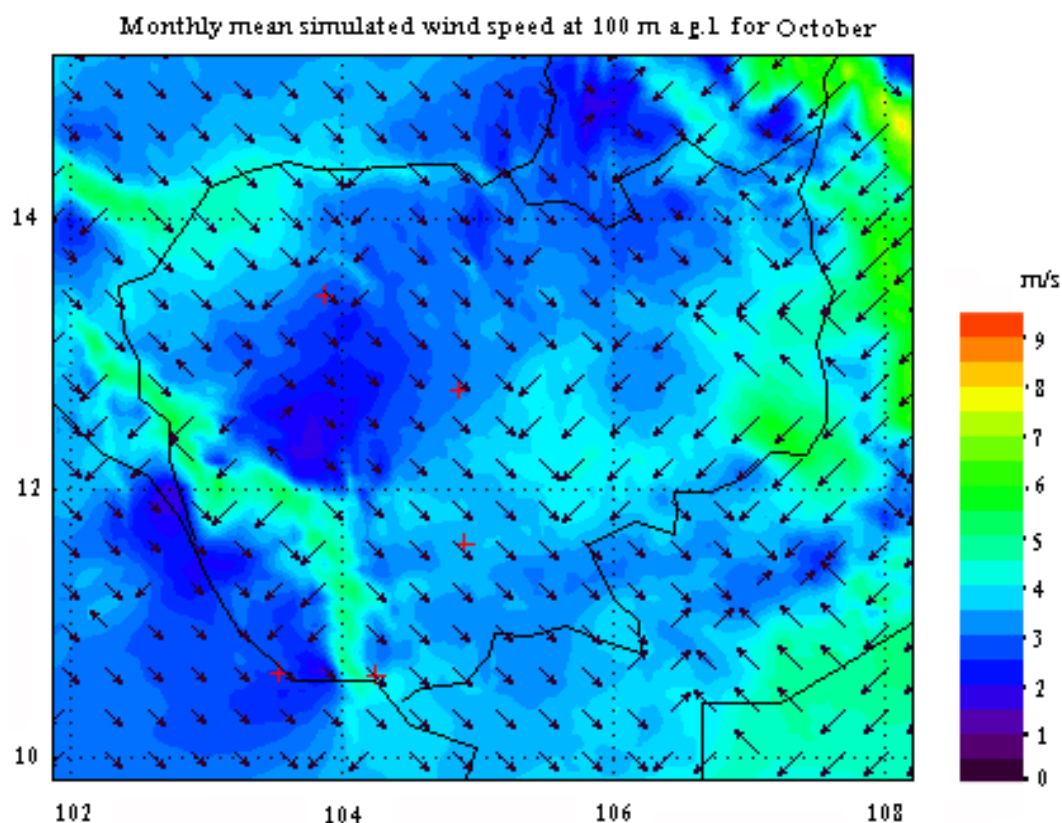
รูปที่ 3.24 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนกันยายน จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน

ในช่วงเดือนตุลาคมอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มปรากฏให้เห็น เนื่องจากเริ่มเปลี่ยนฤดูมรสุมจากตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันออกเฉียงเหนือนั่นเอง แต่ทั้งนี้จะเห็นว่าทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยและในอ่าวไทยจะเป็นลมตะวันตกเฉียงเหนือซึ่งเป็นลักษณะปกติของช่วงฤดูเปลี่ยนมรสุม ในรูปที่ 3.25 แนวลมแรงทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศยังคงปรากฏให้เห็นชัดเจนเดิม ถึงแม้จะไม่แรงมากนัก (4 – 5 m/s) แต่ยังคงมีค่าสูงกว่าบริเวณส่วนใหญ่ของประเทศซึ่งเป็นสีน้ำเงิน(ความเร็ว 2 - 3 m/s) อย่างไรก็ตามยังพอมองเห็นแนวความแตกต่างของความเร็วทั่วทั้งประเทศอยู่บ้าง ที่สำคัญบริเวณที่มักพบว่าลมแรงทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศยังคงมีความเร็วสูงอยู่ คืออยู่ในช่วง 5 – 6 m/s สำหรับที่ระดับความสูง 100 เมตร (รูปที่ 3.26) จะเห็นว่าอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มปรากฏให้เห็นเช่นเดียวกับที่ระดับ 50 เมตร แต่ค่อนข้างที่จะชัดเจนมากขึ้น รวมถึงความเร็วลมเองก็มีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด บนแผนที่จะปรากฏบริเวณสีเขียวอ่อนมากขึ้น(ความเร็ว 2 - 3 m/s) ไม่ว่าจะเป็นแนวทางด้านตะวันตกที่พัดผ่านมาจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยลงไปตามแนวเขาทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศ

กัมพูชา ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเร็วลมสูงกว่าบริเวณอื่นๆ ในช่วงเดือนที่ผ่านมา รวมถึงในแนวทาง ตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศเองก็มีแนวสีกีฬาว่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s)ปรากฏอย่างชัดเจน ส่วนในทางตอนกลางของประเทศความเร็วลมจะอยู่ในช่วง 3 - 4 m/s ซึ่งถือว่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับที่ ระดับ 50 เมตร หรือเทียบกับที่ระดับเดียวกันในเดือนที่ผ่านมา



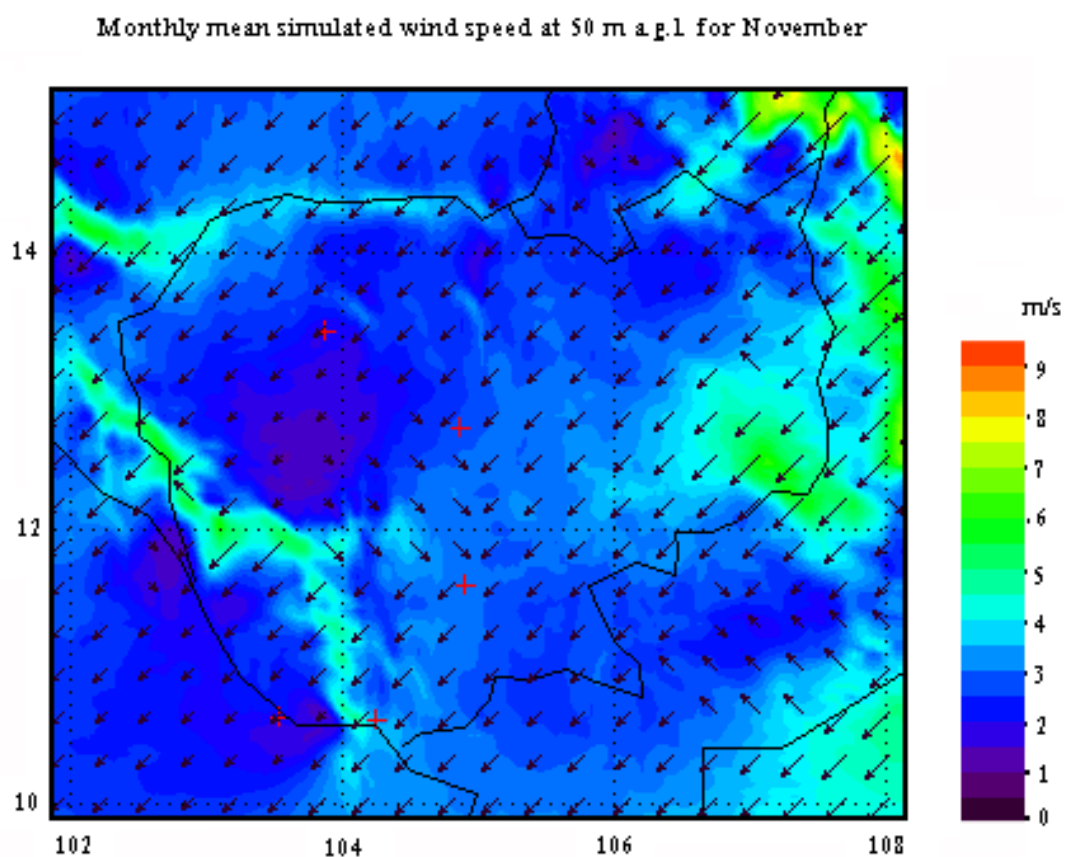
รูปที่ 3.25 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือน ตุลาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกล
ปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน



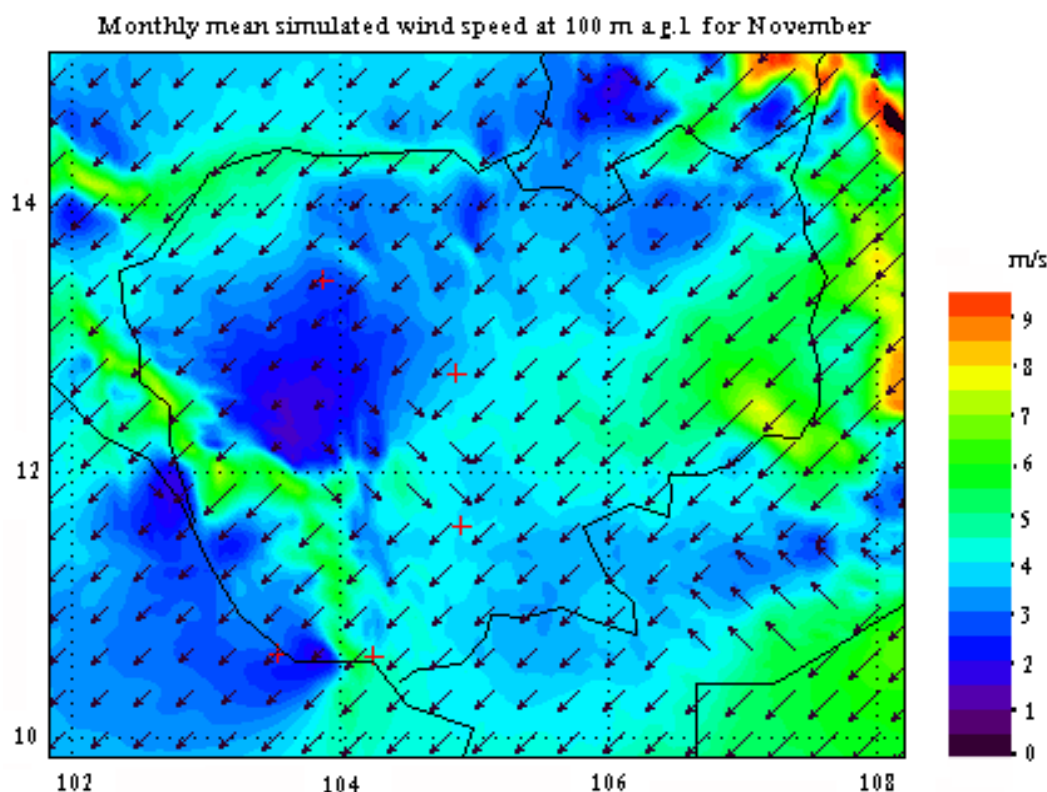
รูปที่ 3.26 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนตุลาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน

รูปที่ 3.27 และ 3.28 แสดงความเร็วลมเฉลี่ยในเดือนพฤศจิกายนที่ระดับความสูง 50 เมตร และ 100 เมตร ตามลำดับ ในช่วงเดือนพฤศจิกายนอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยจะเห็นได้จากแนวของลูกศร โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางมุมขวาบนของแผนที่จะเห็นว่าลูกศรแสดงทิศทางลมปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจน พื้นที่ส่วนใหญ่ของกัมพูชามีลมแรงขึ้น ในรูปที่ 3.27 จะเห็นแนวสีเขียวอ่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s)พัดผ่านตามแนวเขาทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศแสดงว่าบริเวณดังกล่าวนี้มีลมค่อนข้างแรง นอกจากนั้นทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจะมีบริเวณที่มีความเร็วเช่นเดียวกันนี้ โดยจะพบว่าบริเวณสีเขียวอ่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s) ในบริเวณนี้จะแผ่กว้างขึ้นมากกว่าเดือนที่ผ่านมา และในแนวที่สูงขึ้นไปในประเทศเวียดนามและลาวจะเห็นบริเวณที่มีความเร็วลม 8 - 9 m/s เริ่มปรากฏให้เห็นบ้าง ในรูปที่ 3.28 แนวความเร็วลมแรงสีเขียวอ่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s)เริ่มแผ่ขยายให้เห็นมากขึ้นทั่วทั้งประเทศ ไม่ว่าจะเป็นทางชายแดนทางเหนือ แนวเขาทางตะวันตกเฉียงใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจะเห็นว่าบริเวณที่มีความเร็วลมสูงจะแผ่คลุมมาถึงตอนกลางของประเทศด้วย นอกจากนั้น

บนแผนที่ยังพบว่าทางมุมบนขวาซึ่งอยู่ในเขตของประเทศเวียดนามและลาวมีบริเวณที่ความเร็วลมสูงมาก (> 9 m/s) ปรากฏให้เห็นในแผนที่ด้วย อย่างไรก็ตามด้วยอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดมาจากทะเลจีนใต้ผ่านประเทศเวียดนามเข้าสู่ประเทศกัมพูชาส่งผลให้ลมในประเทศกัมพูชามีความเร็วสูงขึ้น



รูปที่ 3.27 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนพฤศจิกายน จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน

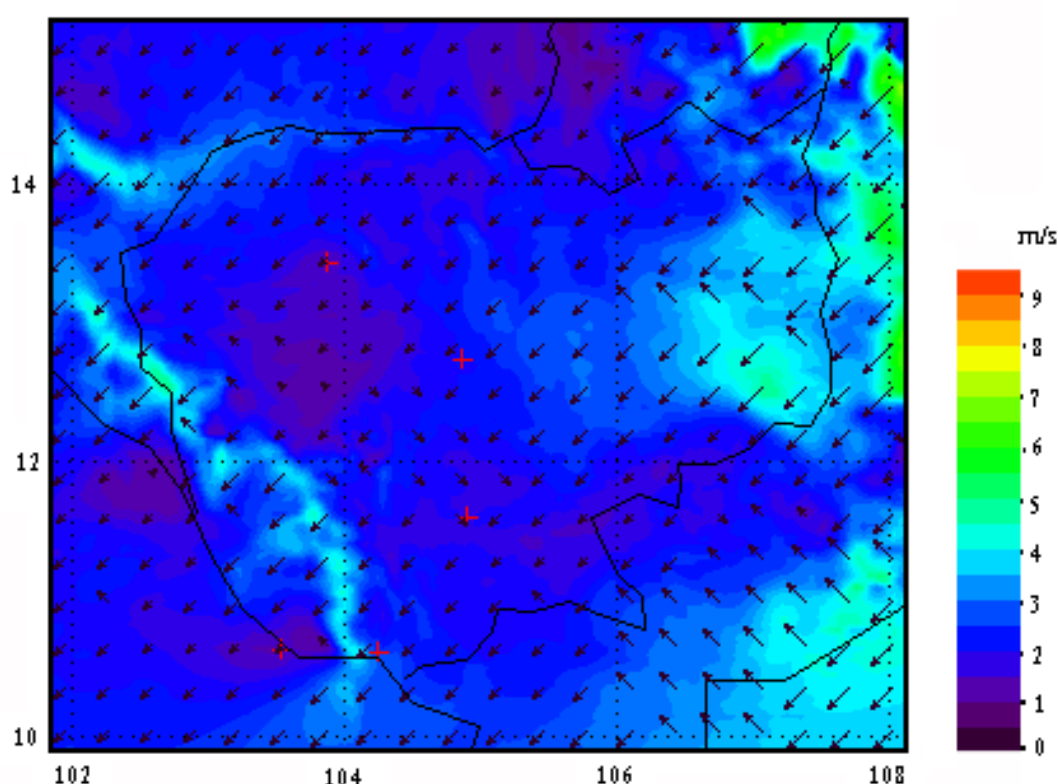


รูปที่ 3.28 แผนที่ลมเฉลี่ย เดือนพฤศจิกายน จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกล
ปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน

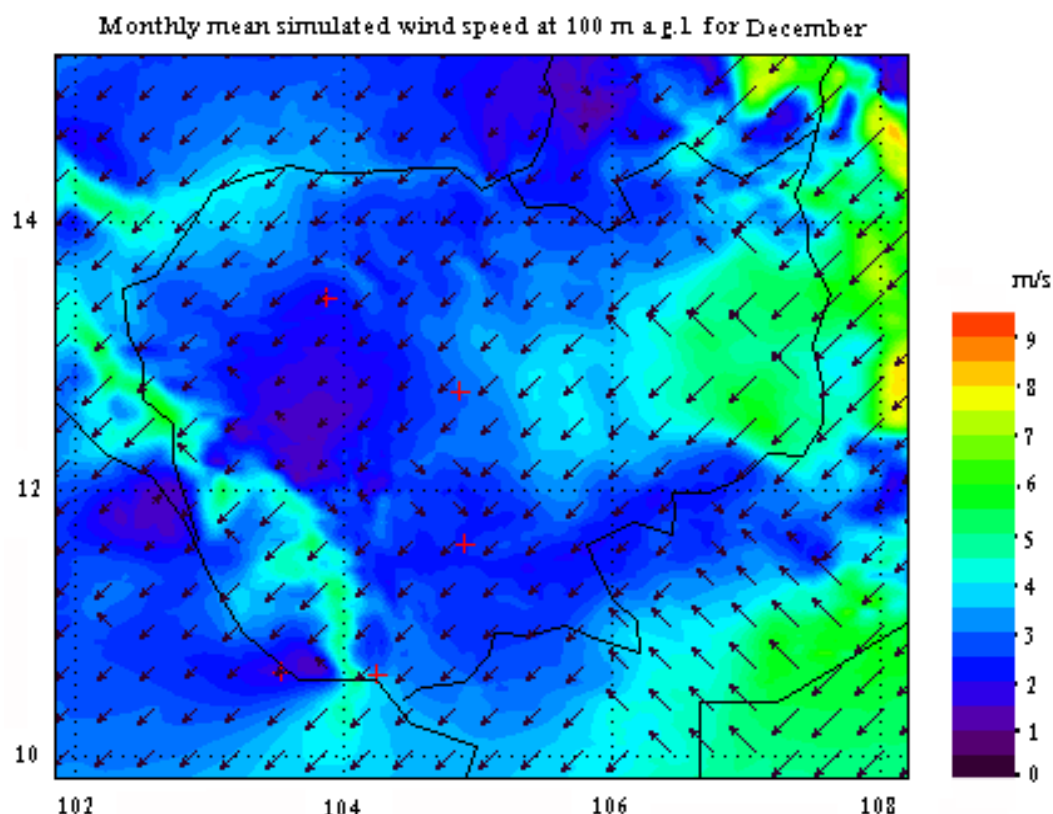
ในเดือนธันวาคมอิทธิพลมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือยังคงแผ่ปกคลุมประเทศกัมพูชา แต่ลมตะวันออกเฉียงใต้เริ่มพัดผ่านประเทศเวียดนามเข้ามาบ้าง ในรูปที่ 3.29 ซึ่งแสดงแผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนธันวาคมที่ระดับความสูง 50 เมตร จะเห็นว่าความเร็วลมทั่วทุกภูมิภาคของประเทศลดลงจากเดือนที่ผ่านมา โดยแนวความเร็วลมแรงที่เคยเป็นสีเขียวอ่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s)พัดผ่านทางบริเวณต่างๆของประเทศจะไม่ปรากฏให้เห็นในช่วงเดือนนี้ แสดงให้เห็นว่าความเร็วลมมีค่าลดลง โดยจะเห็นแนวสีเทาฟ้า(ความเร็ว 3 - 4 m/s)ขึ้นมาแทนที่ ส่วนบริเวณแนวเขาทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศยังคงเป็นสีฟ้าอ่อน(ความเร็ว 4 - 5 m/s)ถึงสีเขียวอ่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s)แต่ทั้งนี้จะครอบคลุมบริเวณที่แคบลง เช่นเดียวกับบริเวณทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ บริเวณที่มีความเร็วลมสูงจะลดน้อยลงกว่าในเดือนที่ผ่านมา พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศในช่วงเดือนนี้ลมค่อนข้างสงบ สำหรับในระดับ 100 เมตร (รูปที่ 3.30) ถึงแม้ว่าบริเวณสีเขียวอ่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s)ซึ่งมีความเร็วสูงนั้นจะลดน้อยลงจากเดือนที่ผ่านมา แต่จะเห็นว่าที่ระดับนี้ยังคงมีความเร็วสูงกว่าที่ระดับ 50 เมตร บริเวณแนวเขาทางด้านตะวันตกของประเทศยังคงมีความเร็วลมประมาณ 6 - 7 m/s ทางตะวันออกเฉียงเหนือก็เช่นเดียวกันที่ยังเป็นบริเวณที่มีความเร็วลมสูงกว่าบริเวณอื่นๆของ

ประเทศและยังพบว่าแผ่ขยายบริเวณกว้างกว่าที่ระดับ 50 เมตรด้วย นอกจากนั้นในบริเวณของประเทศไทยตอนบนมีบริเวณสีเหลือง(ความเร็ว 8 - 9 m/s)ปรากฏขึ้นด้วย โดยรวมแล้วในเดือนธันวาคมนี้ลมเริ่มเบาลงเมื่อเทียบกับเดือนที่ผ่านมา มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือยังคงแสดงอิทธิพลชัดเจนอยู่ นอกจากนั้นสองบริเวณที่มักจะพบลมแรงยังคงปรากฏให้เห็นบนแผนที่อยู่เช่นเดิม นั่นก็คือบริเวณแนวเขาทางตะวันตกถึงตะวันตกเฉียงใต้และทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ

Monthly mean simulated wind speed at 50 m a.g.l for December

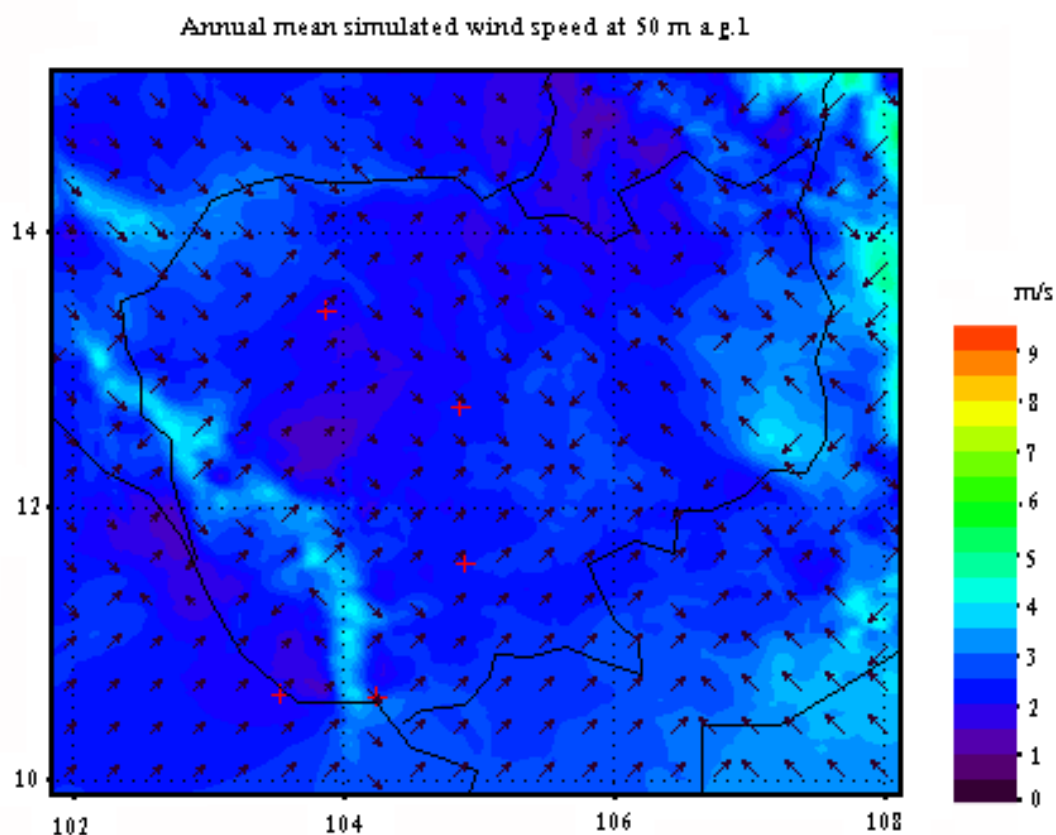


รูปที่ 3.29 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือน ธันวาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกล
ปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร จากพื้นดิน



รูปที่ 3.30 แผนที่ลมเฉลี่ยของเดือนธันวาคม จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร จากพื้นดิน

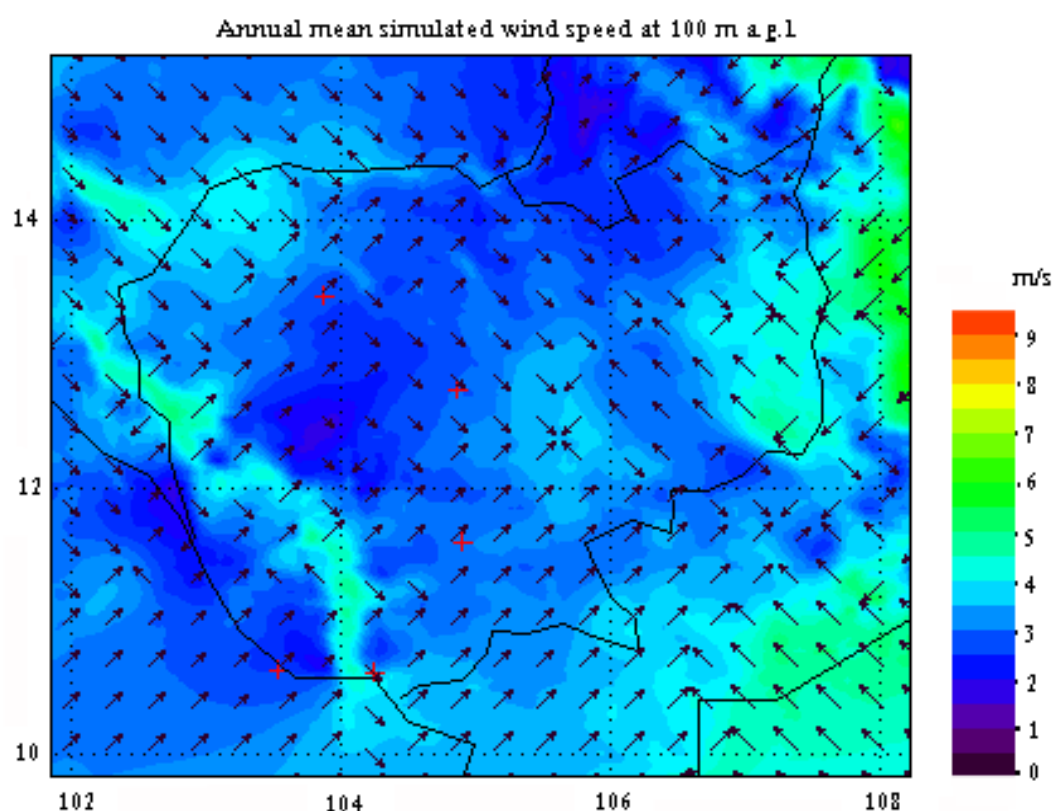
จากแผนที่ลมทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า โดยส่วนใหญ่ในประเทศกัมพูชาความเร็วลมมีค่าน้อย ดังจะเห็นว่าส่วนใหญ่ของแผนที่จะเป็นเทาสีน้ำเงิน(ความเร็ว 1 - 2 m/s)จนถึงสีม่วง(ความเร็ว 0 - 1 m/s) และจะพบว่าลมค่อนข้างสงบในช่วงต้นปีโดยเฉพาะเดือนมีนาคมถึงเมษายนความเร็วลมมีค่าต่ำทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ แต่เมื่อได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ลมจะพัดแรงขึ้น ดังจะเห็นได้จากแผนที่ของเดือน พฤษภาคมถึงสิงหาคม ซึ่งพบว่าจะมีบริเวณที่ลมมีความเร็วสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากแผนที่ในช่วงดังกล่าวจะมีบริเวณที่เป็นสีฟ้าอ่อน(ความเร็ว 4 - 5 m/s)และสีเขียวอ่อน(ความเร็ว 5 - 6 m/s)ปรากฏให้เห็นอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีอิทธิพลอย่างชัดเจน ส่วนอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะเห็นชัดเจนในช่วงพฤศจิกายนถึงธันวาคมเท่านั้น โดยเฉพาะเดือนพฤศจิกายนจะเห็นได้ชัดว่าในทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศที่ติดกับประเทศเวียดนามลมค่อนข้างแรง ส่วนเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์มีลมแรงบ้างเล็กน้อย ในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนจะแสดงช่วงลมสงบอย่างชัดเจน ดังจะเห็นได้จากมีบริเวณสีม่วงเกิดขึ้นในหลายพื้นที่



รูปที่ 3.31 แผนที่ลมเฉลี่ยในช่วง 1 ปี (กันยายน 2550 – สิงหาคม 2551) จากการคำนวณ โดย
แบบจำลองบรรยากาศเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 50 เมตร

นอกจากการแสดงผลแผนที่ลมเฉลี่ยรายเดือนทั้งสองระดับ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการคำนวณ โดยใช้แบบจำลองบรรยากาศเกลปานกลางมาแสดงในรูปแบบของแผนที่แสดงความเร็วลมเฉลี่ย ในช่วง 1 ปี (กันยายน 2550 – สิงหาคม 2551) สำหรับความสูงทั้งสองระดับ จากรูปที่ 3.31 จะพบว่า ลมส่วนใหญ่ในประเทศกัมพูชามีค่าอยู่ในช่วง 2 – 3 m/s ดังจะเห็นได้จากแผนที่ว่าส่วนใหญ่จะเป็น โทนนน้ำเงิน (ความเร็ว 2 – 3 m/s) ทั่วทั้งประเทศ อย่างไรก็ตามยังมีบางบริเวณของประเทศที่มีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ประมาณ 4 – 5 m/s คือบริเวณแนวเขาทางตะวันตกถึงตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศ และในบริเวณด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ดังจะเห็นได้จากแผนที่ ซึ่งในบริเวณดังกล่าวจะเป็นสีฟ้าอ่อน (ความเร็ว 4 – 5 m/s) ไปถึงสีเขียวอ่อน (ความเร็ว 5 – 6 m/s) สำหรับทิศทางของลมตลอดทั้งปีของประเทศกัมพูชาจะเห็นว่าทิศทางของลมจะมีแทบทุกทิศทาง แต่พบว่าทิศทางจากตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างจะมากที่สุด นั่นเป็นการแสดงให้เห็นว่าลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ค่อนข้างจะมีอิทธิพลสูงในช่วงที่ทำการศึกษานี้

หากเปรียบเทียบกับที่ระดับความสูง 100 เมตร (รูปที่ 3.32) จะเห็นว่า บริเวณที่มีลมแรงนั้นจะชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังจะเห็นได้จากมีบริเวณสีเขียวและสีฟ้าชัดเจนมากขึ้น และเห็นชัดเจนว่าในแนวด้านตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงเหนือยังคงเป็นบริเวณที่มีลมแรงกว่าบริเวณอื่นๆ ของประเทศโดยมีค่าประมาณ 4 – 5 m/s นอกจากนั้นจะพบว่าในตอนกลางและตอนบนของประเทศมีบางบริเวณที่มีความเร็วลมเฉลี่ยเกินกว่า 4 m/s เพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 3.32 แผนที่ลมเฉลี่ยในช่วง 1 ปี (กันยายน 2550 – สิงหาคม 2551) จากการคำนวณโดยแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง ณ ระดับความสูง 100 เมตร

เมื่อพิจารณาความเร็วและทิศทางลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีทั้ง 2 ระดับจะพบว่า มีพื้นที่ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปี 5-6 m/s อยู่ในพื้นที่ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ และบริเวณแนวเขาทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ ดังตัวอย่างแผนที่การกระจายของความเร็วลมที่ระดับ 50 เมตร จากผลที่ได้ดังกล่าวแสดงว่าสถานะโดยทั่วไปของลมในประเทศกัมพูชาได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมซึ่งมีการเปลี่ยนทิศทางการพัด เป็น 2 ช่วงตามลมมรสุม และนอกจากนี้ยังขึ้นกับลักษณะของพื้นผิว (topography) ของประเทศ ซึ่งช่วยเพิ่มความเร็วลมตามแนวลาดเขาทางตะวันตกเฉียงใต้ และ

ช่วยเพิ่มความเร็วลมในแนวช่องเขาทางตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้บริเวณดังกล่าวมีศักยภาพพลังงานงานค่อนข้างสูง

3.6 การเปรียบเทียบผลการคำนวณ

3.6.1 สถานีวัดลม

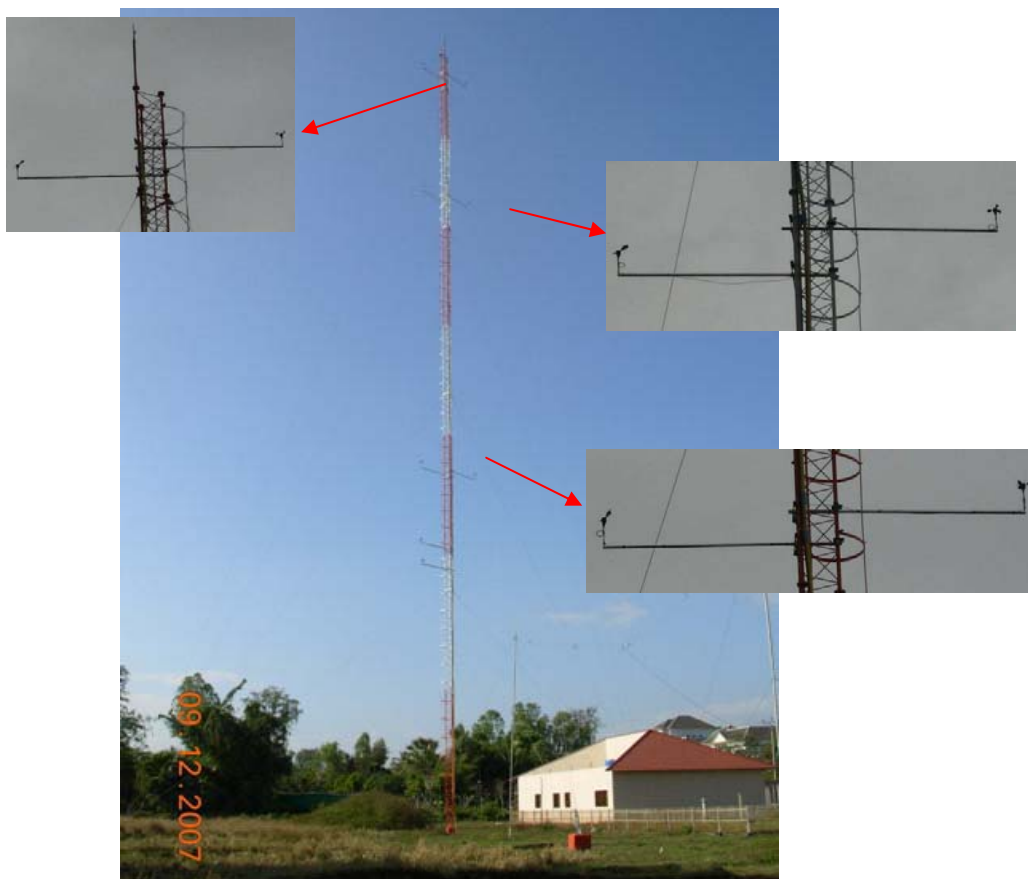
ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลวัดจากสถานีวัดทั้ง 5 แห่ง ที่ทำการติดตั้งขึ้นใหม่ตามโครงการความร่วมมือด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระหว่างไทยกับประเทศกัมพูชา ซึ่งผู้วิจัยได้ร่วมเดินทางไปติดตั้งเสาวัดลมในโครงการดังกล่าวนี้ด้วย (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก) เสาวัดลมที่ติดตั้งขึ้นใหม่นี้จะติดตั้งเครื่องวัดลมใน 3 ระดับ คือ 20 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร ใน 4 สถานี คือ ที่ สถานีเสียมเรียบ สถานีกัมปงชม สถานีสีหนุวิลล์ และสถานีกัมปอต ส่วนสถานีพนมเปญนั้นติดตั้งได้สูงสุดที่ 30 เมตรเพียงระดับเดียวเพราะมีบริเวณใกล้กับท่าอากาศยาน สถานีทั้ง 5 แห่งนี้ล้วนตั้งอยู่ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา เพื่อความสะดวกในด้านเจ้าหน้าที่ดูแลรักษาและเก็บบันทึกข้อมูล โดยสถานีทั้ง 5 แห่งนี้ติดตั้งแล้วเสร็จในช่วงเดือน สิงหาคม 2550 และเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่นั้นมาจนถึงปัจจุบัน โดยเจ้าหน้าที่ของแต่ละสถานีจะจัดส่งข้อมูลวัดให้ทางห้องปฏิบัติการพลังงานแสงอาทิตย์ทุกเดือน ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดทั้ง 5 สถานี แสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดลมใหม่ที่จัดตั้งขึ้นตามโครงการความร่วมมือด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระหว่างไทยกับประเทศกัมพูชา

ตารางที่ 3.2 แสดงพิกัดของสถานีวัดลมที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

สถานี	Latitude	Longitude
พนมเปญ	11° 33.606'	104° 51.058'
สีหนุวิลล์	10° 37.976'	103° 30.264'
กัมปงชม	12° 41.123'	104° 53.834'
เสียมเรียบ	13° 22.802'	103° 49.668'
กัมปอต	10° 36.167'	104° 11.184'



รูปที่ 3.35 เสาวัดลมที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดลมบนเสาที่ระดับความสูง 20 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร

เสาวัดลมที่ติดตั้งตามโครงการดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นแบบโครงข่าย โดยแกนของสกรลม และ แอนิโมมิเตอร์ จะยื่นออกจากตัวเสา 2 เมตร และติดตั้งในระดับต่างกัน 50 เซนติเมตร วางตัวในแนวเหนือใต้เพื่อให้การรบกวนของเสามีผลต่อลมที่วัดน้อยที่สุด ทั้งนี้สืบเนื่องจากประเทศกัมพูชาอยู่ในเขตรมรสุมที่ลมส่วนใหญ่จะพัดในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และตะวันตกเฉียงใต้ เสาวัดลมมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.35

สายสัญญาณจากเครื่องวัดลมทั้งหมดจะมีการร้อยผ่านท่อพีวีซีอีกครั้งเพื่อป้องกันแสงแดด ลม และฝน โดยสายสัญญาณทั้งหมดจะเชื่อมต่อไปยังเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ที่อยู่ในตัวอาคาร ตามตัวอย่างในรูปที่ 3.36 เพื่อความสะดวกของเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลในการจัดเก็บและถ่ายโอนข้อมูลรวมถึงการตรวจเช็คสภาพการทำงานของเครื่องมือด้วยเช่นเดียวกัน ยกเว้นของสถานีพนมเปญ ที่เครื่องบันทึกข้อมูลจะอยู่ที่โคนเสาเนื่องจากเสาวัดลมอยู่ห่างจากตัวอาคารมาก นอกจากนั้นอุปกรณ์รวมถึงเครื่องบันทึกข้อมูล จะถูกเก็บในตู้เหล็กปิดกุญแจเพื่อป้องกันการสูญ

หายของเครื่องมือตลอดจนการเข้าถึงเครื่องบันทึกข้อมูลของบุคคลอื่นที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องได้อีกด้วย



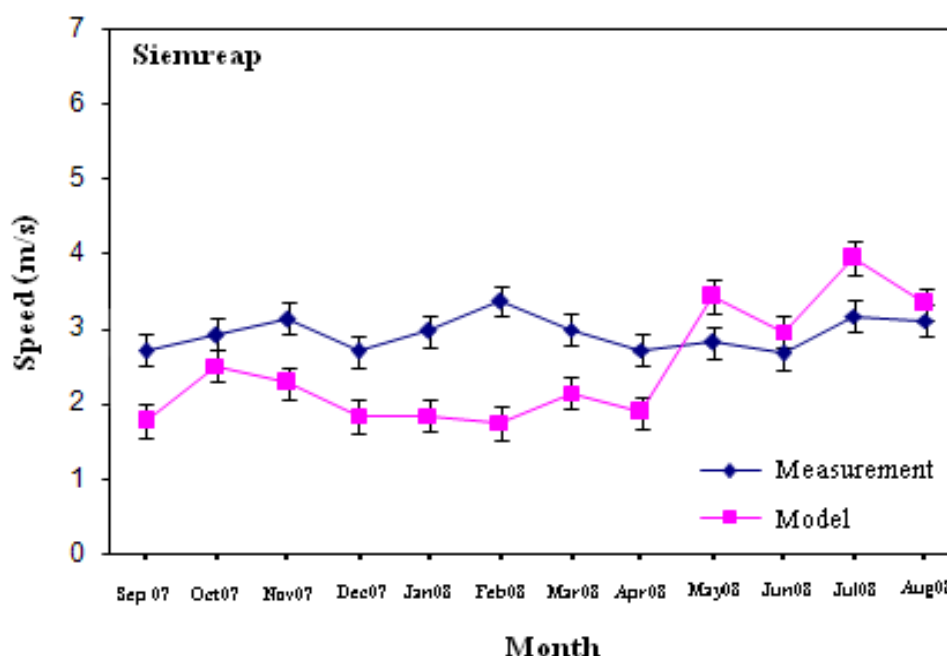
รูปที่ 3.36 ตู้เก็บเครื่องบันทึกข้อมูล และอุปกรณ์อื่นๆภายในอาคารสำนักงานของเจ้าหน้าที่ผู้ดูแล

3.6.2 การเปรียบเทียบความเร็วลมจากการวัดและจากแบบจำลอง

เพื่อทำการเปรียบเทียบความเร็วลมจากการวัดและจากแบบจำลอง ในการศึกษาครั้งนี้จะเปรียบเทียบความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนของทั้งสองกรณี ณ ระดับความสูง 50 เมตรเหนือพื้นดิน สำหรับข้อมูลจากแบบจำลองนั้นได้มาจากการใช้โปรแกรม “plot_wind_Kamm_average_L10_pro” ที่เขียนขึ้น โดยโปรแกรมนี้จะแสดงผลเป็นแผนที่แสดงความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 50 เมตรของทั้งประเทศแล้วยังจะแสดงผลของความเร็วลมเฉลี่ย ณ ตำแหน่งพิกัดของสถานีวัดทั้ง 5 แห่งออกมาเป็นตัวเลขด้วย โดยสถานีวัดทั้งแห่ง ได้แก่ เสียมเรียบ กัมปงม พนมเปญ สีหนุวิลล์ และ กัมปอต ส่วนข้อมูลการวัด จะใช้ข้อมูลราย 10 นาที ที่ได้จากสถานีวัดทั้ง 5 แห่งมาทำการหาค่าเฉลี่ยรายเดือนเพื่อเปรียบเทียบ โดยกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเร็วเฉลี่ยรายเดือนระหว่างข้อมูลที่ได้จากการวัดและจากการคำนวณของแต่ละสถานีวัดแสดงในรูปที่ 3.37 – 3.41

สำหรับสถานีเสียมเรียบ (รูปที่ 3.37) พบว่าข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากการวัดจะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี โดยมีค่าใกล้เคียงกับ 3 m/s หากเปรียบเทียบกับค่าความเร็วเฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองนั้นพบว่า ค่าความเร็วจากการคำนวณจะมีลักษณะที่ไม่คงที่ จะมีค่า

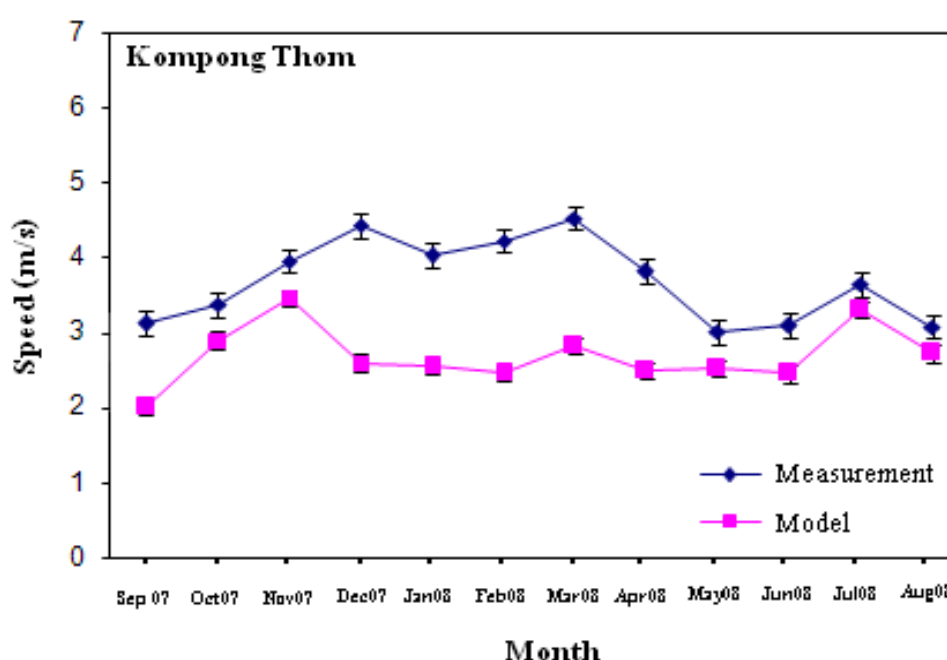
แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดจากการเปลี่ยนแปลงของลมมรสุม โดยในช่วงกลางปี (มิ.ย. – ส.ค.) ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ซึ่งในช่วงดังกล่าวนี้ค่าความเร็วที่คำนวณได้จะมีค่าสูงกว่าในช่วงอื่น และพบว่าความเร็วลมจากแบบจำลองในช่วงนี้จะมีค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนสูงกว่าค่าที่วัดได้จากสถานีวัด (overestimate) สำหรับช่วงต้นปี (ม.ค. – เม.ย.) และช่วงปลายปี (ก.ย. – ธ.ค.) ความเร็วที่ได้จากแบบจำลองของทั้งสองช่วงนี้มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่ยังคงน้อยกว่าในช่วงกลางปีมาก และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลวัดที่ได้จากสถานีวัด จะพบว่าค่าความเร็วเฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าค่าจากการวัด (underestimate) แต่อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลวัดมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3.37 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือนจากการคำนวณด้วยแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง กับการวัด ณ เมืองเสียมเรียบ ที่ระดับความสูง 50 เมตร

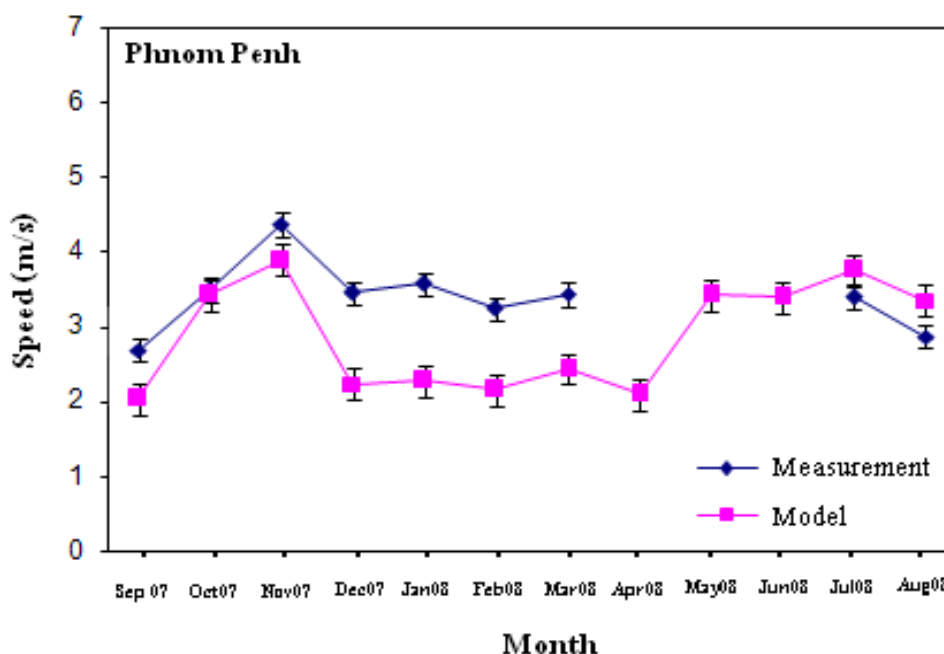
หากพิจารณาเปรียบเทียบผลของสถานีกำบังร่ม (รูปที่ 3.38) พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการวัดจริงทั้งหมด โดยค่าจากการวัดมีการแปรค่าอยู่ระหว่าง 3 – 4 m/s ส่วนค่าจากการคำนวณจะอยู่ระหว่าง 2.5 – 3.5 m/s ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งปี แต่ค่าที่ได้จากการวัดกลับพบว่ามีค่าน้อยในช่วงกลางปีและมีค่าสูงในช่วงปลายปีถึงต้นปี แต่โดยรวมแล้วจะพบว่าในช่วงกลางปีค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าจากการวัดจริงมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันมาก จากข้อมูลทั้งหมดทำให้พบว่าค่าความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีของทั้ง

จากการวัดและการคำนวณมีค่าแตกต่างกันมากกว่าสถานีอื่นๆ และค่าที่คำนวณได้ทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าค่าที่วัดได้จริง ทั้งนี้ น่าจะเป็นเหตุมาจากตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัด กล่าวคือ สถานีวัดที่กำแพงนครนี้ ค่อนข้างอยู่ในที่ราบโล่ง พื้นที่ส่วนใหญ่โดยรอบเป็นทุ่งนา จึงไม่มีอิทธิพลของสิ่งกีดขวางทางลมมาเข้ามาเกี่ยวข้อง



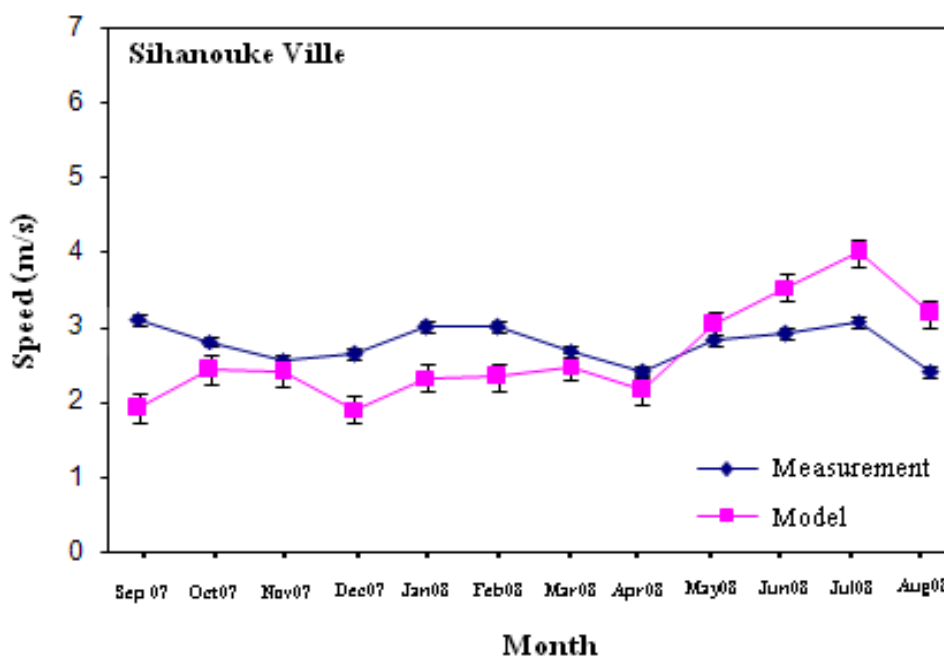
รูปที่ 3.38 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือนจากการคำนวณด้วยแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง กับการวัด ณ เมืองกำแพงนคร ที่ระดับความสูง 50 เมตร

สถานีพนมเปญ (รูปที่ 3.39) เป็นสถานีเดียวที่มีข้อมูลไม่ครบตลอดทั้งปี เนื่องจากการชำรุดของของเครื่องบันทึกข้อมูล จึงทำให้ขาดข้อมูลไปเกือบสามเดือน จึงเป็นการยืนยันให้เห็นว่าการติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลไว้ที่โคนเสาวัดลมไม่ใช่ทางเลือกที่ดีเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ ซึ่งเก็บไว้ในสำนักงานของผู้ดูแลเอง เพราะผู้ดูแลไม่ได้เห็นสภาพการทำงานของเครื่องมือทุกวัน เมื่อเกิดเหตุขัดข้องขึ้นเวลาอาจล่วงเลยไปเกือบเดือนและกว่าจะทำการซ่อมแซมหรือแก้ไขเสร็จอาจใช้เวลาไปอีกระยะหนึ่ง แต่จากข้อมูลเท่าที่มีอยู่ก็พอจะเห็นได้ว่า ความเร็วเฉลี่ยจากการวัดค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกับแบบจำลองในช่วงกลางปี ถึงแม้ว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจะสูงกว่าค่าจากการวัดเล็กน้อย ในช่วงต้นปีและปลายปีค่าที่ได้จากแบบจำลองจะน้อยกว่าค่าจากการวัดอย่างเห็นได้ชัดเจน แต่อย่างไรก็ตาม โดยภาพรวมจะพบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมเฉลี่ยมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันถึงแม้จะมีค่าแตกต่างกันบ้าง



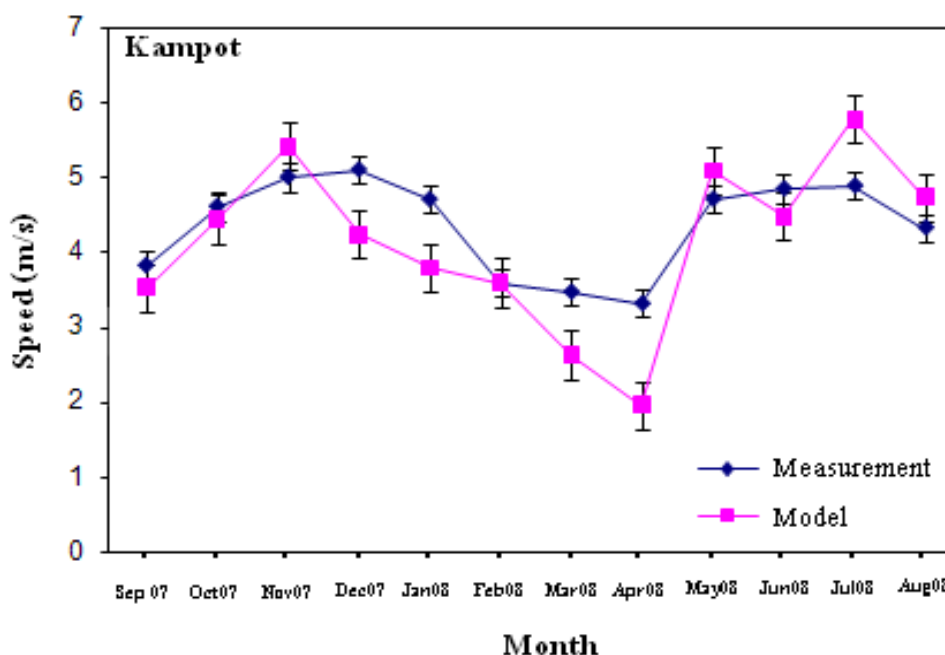
รูปที่ 3.39 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือนจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง
บรรยากาศสเกลปานกลาง กับการวัด ณ เมืองพนมเปญ ที่ระดับความสูง 30 เมตร

สถานีสีหนุวิลล์ (รูปที่ 3.40) เป็นอีกสถานีหนึ่งที่มีค่าจากการคำนวณมากกว่าค่าที่วัดจริงในช่วงกลางปี และน้อยกว่าในช่วงที่เหลือ แต่ความแตกต่างไม่มากเท่าไร ซึ่งจะใกล้เคียงกว่าเมื่อเทียบกับผลของสถานีอื่นๆ โดยจะเห็นว่าค่าจากการวัดมีการแปรค่าในช่วงที่แคบๆ กล่าวคือ แปรค่าอยู่ในช่วง 2 – 3 m/s ในขณะที่ค่าจากแบบจำลองจะอยู่ระหว่าง 2 – 4 m/s แต่ท้ายที่สุดแล้วค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีมีค่าใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 3.40 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือนจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง
บรรยากาศสเกลปานกลาง กับการวัด ณ เมืองสีหนุวิลล์ ที่ระดับความสูง 50 เมตร

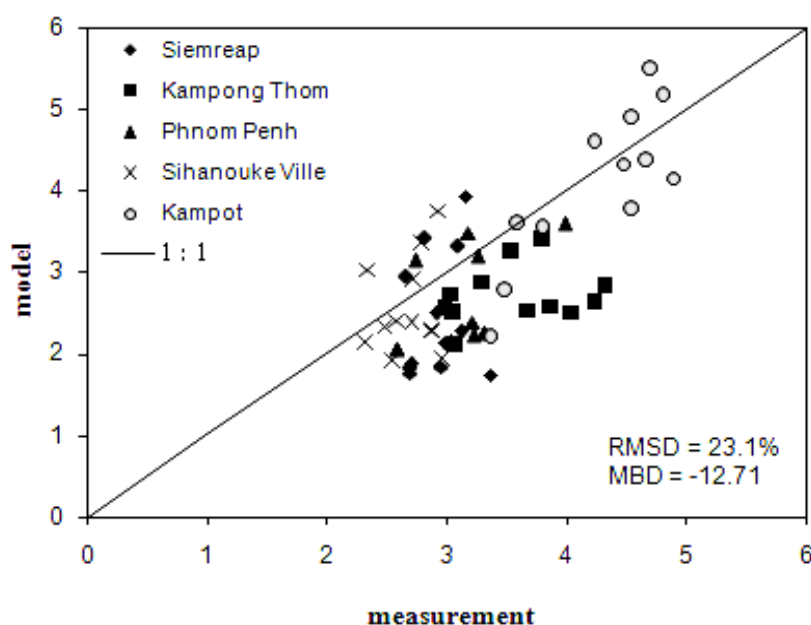
สำหรับของสถานีกัมปอต (รูปที่ 3.41) นับเป็นสถานีที่ค่าจากการวัดและค่าจากแบบจำลอง
มีค่าค่อนข้างสอดคล้องกันมากที่สุด และภาพโดยรวมยังคงเป็นเช่นเดียวกับสถานีอื่นๆ กล่าวคือ
ในช่วงกลางปีค่าที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่ามากกว่าค่าที่วัดจริงเล็กน้อย แต่เป็นที่น่าสนใจที่
ความเร็วลมเฉลี่ยของสถานีนี้มีค่าสูงกว่าของสถานีอื่นๆ ทั้งนี้เพราะสถานีกัมปอตตั้งอยู่ใกล้ทะเล
และพื้นที่โดยรอบเป็นเนินเขาที่ส่งผลให้ลมในบริเวณนี้ค่อนข้างแรงเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ



รูปที่ 3.41 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือนจากการคำนวณด้วยแบบจำลอง
บรรยากาศสเกลปานกลาง กับการวัด ณ เมืองกัมปอต ที่ระดับความสูง 50 เมตร

จากการเปรียบเทียบที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ารูปแบบความเร็วลมโดยรวมทั้งหมดของทุกๆ สถานีค่อนข้างจะสอดคล้องกัน พบว่าสถานีกัมปอตจะเป็นสถานีที่ความเร็วเฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองจะใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดมากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ ทั้งนี้หากสังเกตให้ดีแล้วจะพบว่าค่าความเร็วเฉลี่ยรายเดือนของสถานีกัมปอตนี้จะมีค่ามากกว่าสถานีอื่นๆ เล็กน้อย กล่าวคือ จะมีค่าอยู่ในช่วง 4 – 5 m/s ในขณะที่สถานีอื่นๆ ล้วนมีค่าน้อยกว่า 4 m/s ทั้งสิ้น

นอกจากนั้นจากการเปรียบเทียบทุกๆ สถานีจะพบว่า โดยส่วนใหญ่แบบจำลองจะคำนวณได้ค่าที่น้อยกว่า (underestimate) ค่าที่วัดได้จากสถานีวัดในช่วงต้นปีและปลายปี ส่วนในช่วงกลางปีกลับพบว่าค่าที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า (overestimate) ค่าที่วัดได้จริง ทั้งนี้จะสืบเนื่องมาจากอิทธิพลของมรสุม กล่าวคือ ในช่วงกลางปีนั้นเป็นช่วงของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน โดยทั่วไปในช่วงดังกล่าวจะมีลมค่อนข้างแรงเนื่องจากพายุฝน จึงเป็นการยืนยันให้เห็นแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลางที่เลือกใช้นี้จะไวต่อสภาวะลมแรงนั่นเอง



รูปที่ 3.42 แสดงการเปรียบเทียบค่า MBD และ RMSD ของอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือน จากการคำนวณด้วยแบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลาง กับอัตราเร็วเฉลี่ยรายเดือนจากทุกสถานีวัด ที่ระดับความสูง 50 เมตร

หากเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยรายเดือนที่ได้ทั้งหมดจากแบบจำลองกับจากค่าที่วัดจริงจากทั้ง 5 สถานี (รูปที่ 3.42) จะพบว่าส่วนใหญ่แล้วค่าที่ได้จากการวัดจะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง ดังจะเห็นได้จากมีจุดที่อยู่ใต้เส้น 1:1 มากกว่าปริมาณจุดที่อยู่เหนือเส้นดังกล่าว ค่า RMSD รวมทั้งหาค่าเท่ากับ 23.1% ซึ่งน่าจะอยู่ในเกณฑ์ที่พอรับได้ ในขณะที่ค่าที่น้อยที่สุดเป็นของสถานี กัมปอต ซึ่งค่า RMSD = 13.9 % หากพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 3.37 – รูปที่ 3.41 จะพบว่าความเร็วลมเฉลี่ยของสถานีกัมปอตนั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ช่วง 4 – 5 m/s ซึ่งมากกว่าสถานีอื่นๆซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5 – 4 m/s นี่อาจเป็นเหตุผลว่าทำไมสถานีกัมปอตถึงได้ผลออกมาค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน เพราะค่าความเร็วโดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าสถานีอื่นๆนั่นเอง นอกจากนั้นในการศึกษาโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลางนี้จะใช้ค่าความละเอียด (resolution) 5 กิโลเมตร นั้นหมายถึง การศึกษาครั้งนี้จะไม่คำนึงถึงสิ่งกีดขวางต่างๆที่มีขนาดเล็กกว่า 5 กิโลเมตรมากๆ ซึ่งในความเป็นจริงข้อมูลที่ได้จากสถานีวัดทุกสถานีล้วนได้รับผลกระทบจากอาคารบ้านเรือนและสิ่งกีดขวางต่างๆในละแวกนั้นๆ จึงส่งผลให้ค่าที่ได้จากแบบจำลองส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าค่าที่วัดจริง ยกเว้นในช่วงที่มีมรสุมซึ่งลมมีความแรงมากขึ้นทำให้ผลของความแตกต่างในเรื่องสเกลมีไม่มากนัก

3.6.3 การเปรียบเทียบทิศทางลมเฉลี่ยรายเดือนจากการวัดและจากแบบจำลอง

นอกจากการเปรียบเทียบขนาดความเร็วลมแล้วการเปรียบเทียบทิศทางลมของแต่ละสถานีเป็นอีกประเด็นที่ต้องให้ความสนใจ โดยการเปรียบเทียบทิศทางจะดูจาก wind rose โดยในการวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้โปรแกรม origin ในการสร้าง wind rose โดยทั่วไปอาจประกอบด้วย 8, 16 หรือ 32 ทิศในที่นี้จะใช้ 16 ทิศ กล่าวคือ N ($348.75^{\circ} - 11.25^{\circ}$), NNE ($11.25^{\circ} - 33.75^{\circ}$), NE ($33.75^{\circ} - 56.25^{\circ}$), ENE ($56.25^{\circ} - 78.75^{\circ}$), E ($78.75^{\circ} - 101.25^{\circ}$), ESE ($101.25^{\circ} - 123.75^{\circ}$), SE ($123.75^{\circ} - 146.25^{\circ}$), SSE ($146.25^{\circ} - 168.75^{\circ}$), S ($168.75^{\circ} - 191.25^{\circ}$), SSW ($191.25^{\circ} - 213.75^{\circ}$), SW ($213.75 - 236.25$), WSW ($236.25^{\circ} - 258.75^{\circ}$), W ($258.75^{\circ} - 281.25^{\circ}$), WNW ($283.75^{\circ} - 303.75^{\circ}$), NW ($303.75^{\circ} - 326.25^{\circ}$), NNW ($326.25^{\circ} - 348.75^{\circ}$) ซึ่งโปรแกรม origin นี้สามารถสร้าง wind rose ที่แสดงให้เห็นว่ามีลมในทิศนั้นๆมากน้อยแค่ไหน รวมถึงแสดงให้เห็นด้วยว่าในแต่ละทิศนั้นประกอบด้วยลมที่มีความเร็วเป็นเท่าไรบ้าง และมีในอัตราส่วนที่มากน้อยอย่างไร

จาก wind rose ของสถานีเสียมเรียบ (รูปที่ 3.43) ข้อมูลจากการวัดจะกระจายในหลายทิศทาง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการวัดข้อมูลที่ค่อนข้างละเอียดมากกว่าซึ่งเป็นข้อมูลราย 10 นาที ส่วนจากแบบจำลองจะแสดงผลเป็นรายชั่วโมง จึงทำให้ wind rose ของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองค่อนข้างแสดงทิศทางอย่างชัดเจน แต่โดยรวมแล้วยังคงพบว่า wind rose ทั้งหมดยังสอดคล้องกับทิศทางของมรสุมอยู่ กล่าวคือ ในช่วงเดือนพฤษภาคมไปถึงกลางเดือนตุลาคม ลมส่วนใหญ่จะสอดคล้องกับอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนในช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์จะเป็นอิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ที่สำคัญจะเห็นว่าในช่วงอิทธิพลมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือในช่วงกลางปี ทิศทางของ wind rose ของการวัดค่อนข้างใกล้เคียงกับแบบจำลองถึงแม้จะแตกต่างกันในเชิงปริมาณก็ตาม กล่าวคือในช่วงดังกล่าวนี้ข้อมูลวัดจะแสดงให้เห็นว่ามีบางช่วงเวลาที่ลมที่วัดได้มีความเร็วสูงมากดังจะเห็นได้จาก wind rose ของเดือนพฤษภาคม ถึง สิงหาคม จะพบว่ามี การตรวจวัดเจอความเร็วที่มีค่ามากกว่า 7 m/s อยู่ด้วย

รูปที่ 3.44 แสดงการเปรียบเทียบ wind rose ในแต่ละเดือนของสถานีกับมรสุม wind rose ของการวัดยังคงมีหลายเดือนที่ทิศทางของลมค่อนข้างจะจัดกระจาย แต่ก็ไม่ได้ขัดแย้งกับอิทธิพลของมรสุม และหากพิจารณาโดยคร่าวๆจะเห็นว่าหลายเดือนที่มีทิศทางของ wind rose ในทั้งสองกรณีค่อนข้างเหมือนกันอย่างชัดเจน เช่น ในเดือนพฤศจิกายนและธันวาคม และมีหลายเดือนที่ wind rose ของข้อมูลจากแบบจำลองมีรูปแบบตรงกับบางส่วนของ wind rose จากการวัด หากพิจารณาเรื่องความเร็ว จะพบว่าข้อมูลจากการวัดมีหลายเดือนที่ทำการวัดได้ความเร็วลมที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนเนื่องจากมีหลายเดือนที่บน

wind rose มีแถบสีแดงปรากฏขึ้นในบางทิศทาง และพบว่าความเร็วลมสูงนี้จะปรากฏให้เห็นชัดเจนในช่วงฤดูฝน แสดงว่าในช่วงนั้นค่อนข้างมีพายุฝนฟ้าคะนองเกิดขึ้นในเมืองนี้

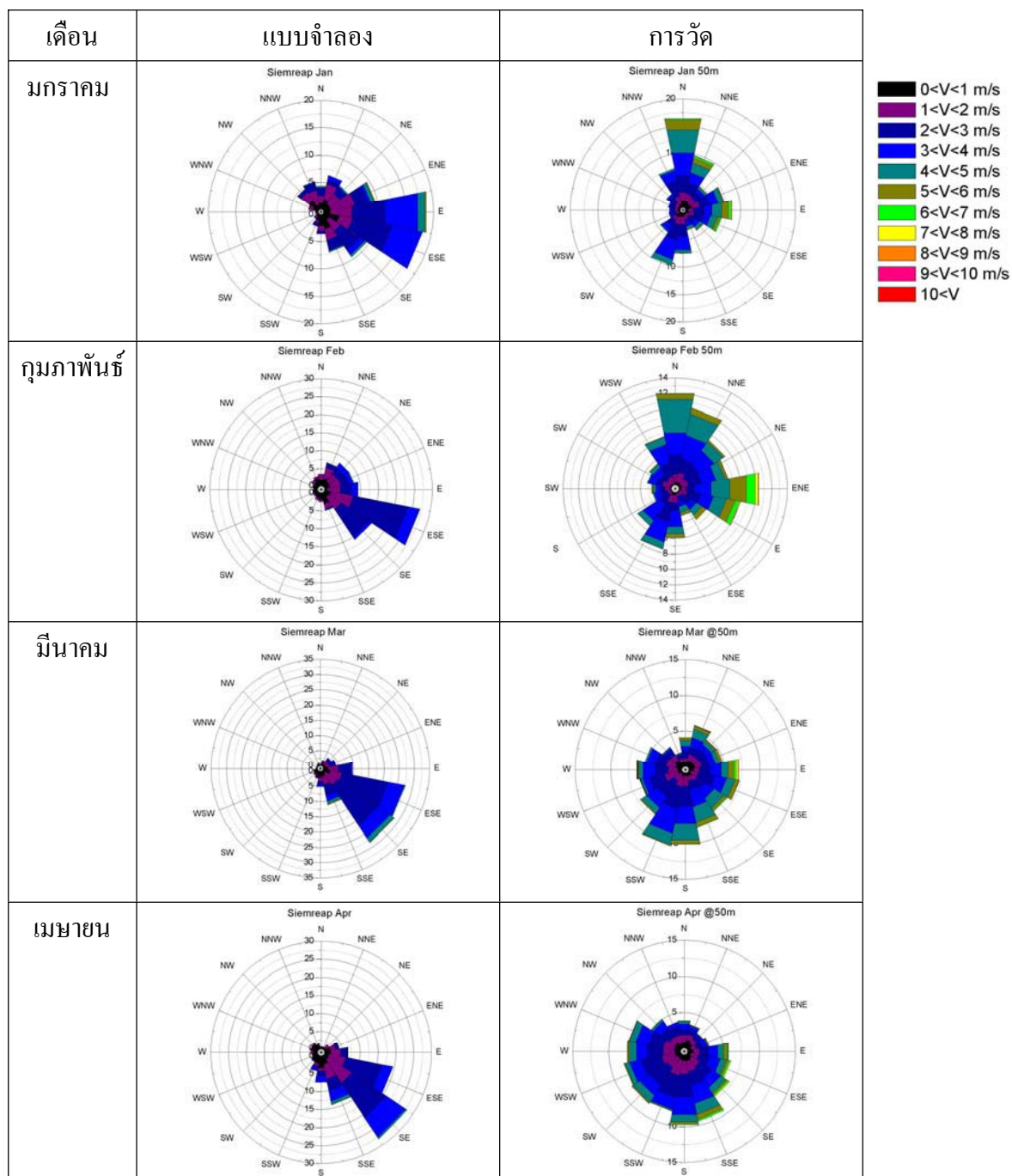
รูปที่ 3.45 เป็นการเปรียบเทียบ wind rose ของสถานีวัดพนมเปญ รูปแบบของ wind rose จากการวัดและจากแบบจำลองของสถานีนี้สอดคล้องกันมากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ ถึงแม้ว่าข้อมูลการวัดจะขาดหายไป 3 เดือนอันเนื่องจากการชำรุดของเครื่องบันทึกข้อมูล ลมในบริเวณนี้ค่อนข้างพัดในทิศทางที่ไม่กระจัดกระจายมากเช่นสถานีอื่นๆ จึงเห็นความสอดคล้องกันเป็นอย่างดีระหว่าง wind rose ของแบบจำลองและการวัด และยังคงสอดคล้องกับอิทธิพลของมรสุมด้วยเช่นเดียวกัน ทำนองเดียวกับสถานีอื่นๆ หากเปรียบเทียบถึงปริมาณความเร็วจะพบว่าโดยทั่วไปแล้วข้อมูลวัดจะพบว่ามีค่าที่สูงกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูมรสุมจะเห็นได้ชัดมากกว่าลมที่วัดได้ในบางช่วงมีความเร็วอยู่ในช่วง 8 – 9 m/s

Wind rose ของสถานีสีหนุวิลล์ (รูปที่ 3.46) ทั้งจากการวัด และจากแบบจำลองค่อนข้างกระจัดกระจายในเรื่องทิศทาง แต่ในภาพรวมยังคงเป็นไปตามอิทธิพลของมรสุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงกลางปีที่มีอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ wind rose ของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีลักษณะใกล้เคียงกับ wind rose ของข้อมูลจากการวัดเป็นอย่างมาก และในช่วงนี้ยังพบว่าลมที่ตรวจวัดได้บางส่วนมีค่าสูง ดังจะเห็นว่ามิแถบสีส้มและสีแดงปรากฏให้เห็นใน wind rose จากการวัด นั่นแสดงให้เห็นว่าในช่วงลมมรสุมนี้มีลมพัดแรงเกิดขึ้นบ้าง

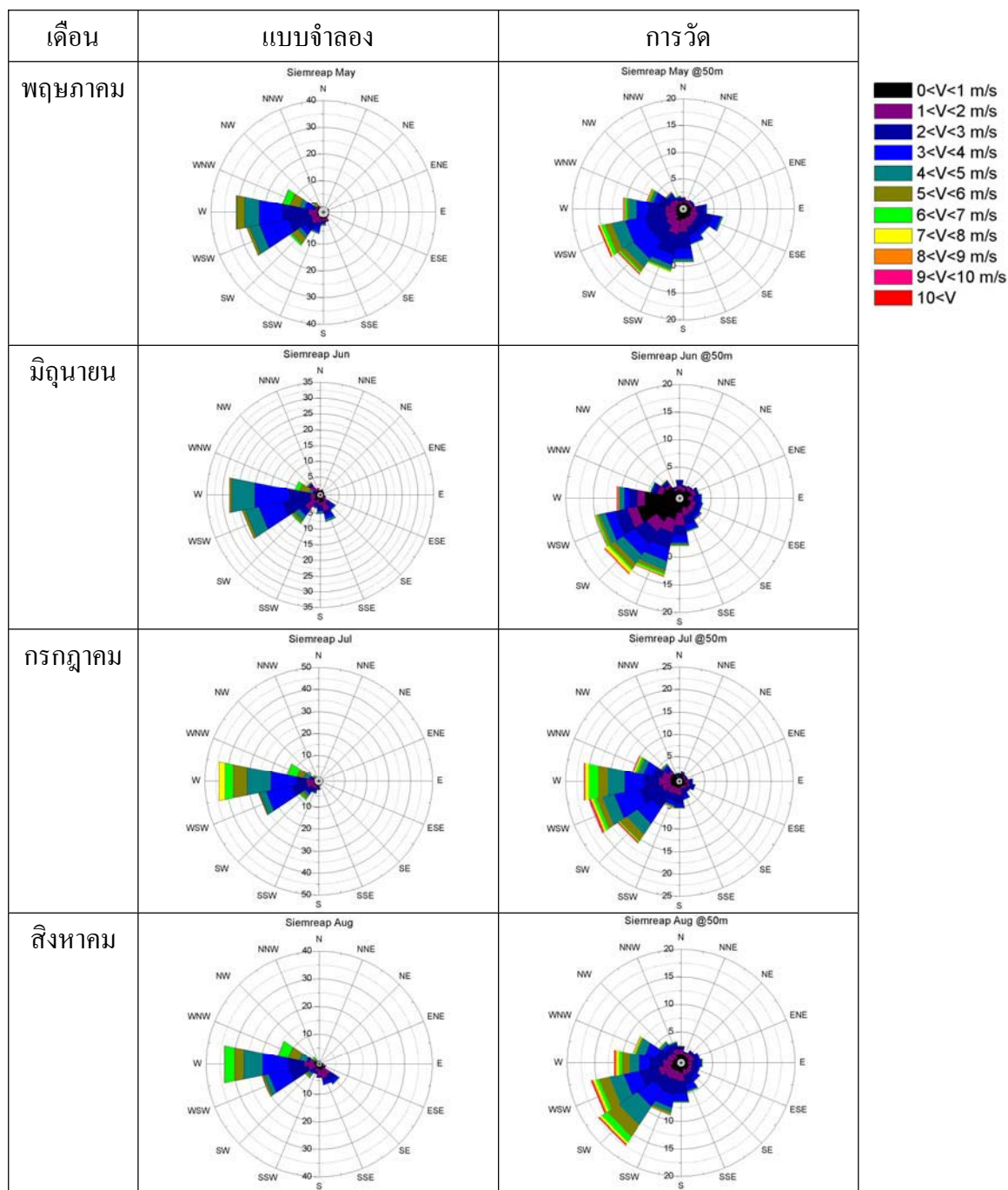
รูปที่ 3.47 แสดงการเปรียบเทียบ wind rose ที่ได้จากแบบจำลองและจากการวัดของสถานีกัมปอต จะเห็นว่า wind rose ในช่วงที่มีอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ของทั้งสองกรณีค่อนข้างใกล้เคียงกัน และเห็นความแตกต่างในเรื่องความเร็วได้ชัดเจนมากเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ ดังจะเห็นได้จากการที่ปรากฏสีเหลือง ส้ม แดง ให้เห็นมากขึ้นใน wind rose ทั้งสองวิธี ซึ่งจะเห็นชัดเจนมากในช่วงกลางปี แต่อย่างไรก็ตามโดยรวมแล้วจะพบว่า wind rose จากทั้งสองวิธีสอดคล้องกับความเป็นจริงของอิทธิพลของลมมรสุมทั้ง 2 ช่วงในรอบปี

โดยรวมแล้วจากการเปรียบเทียบ wind rose ที่เกิดจากการใช้ข้อมูลจากแบบจำลอง และ wind rose ที่เกิดจากการใช้ข้อมูลวัดจริงของทั้ง 5 สถานี ในช่วงระยะเวลา 1 ปี (กันยายน 2550 – สิงหาคม 2551) wind rose ที่ได้ทั้งหมดไม่ว่าจะจากแบบจำลองหรือจากการวัดล้วนแล้วแต่สอดคล้องกับอิทธิพลของลมมรสุมซึ่งเป็นปัจจัยหลักของลมในประเทศไทยทั้งนี้ในช่วงของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ช่วงกลางก่อนไปถึงปลายปี) wind rose ของทั้งสองกรณีจะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมากในเรื่องของทิศทาง อาจเนื่องมาจากเหตุผลที่ว่าลมมรสุมในช่วงเวลาดังกล่าวค่อนข้างชัดเจนและสม่ำเสมอแน่นอน และจะพบว่าในช่วงเวลาเดียวกันนี้จะพบเห็นลมแรงเกิดขึ้นทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ดังจะเห็นได้จากการมีแถบสี เหลือง ส้ม และ แดง ปรากฏขึ้นบ้างใน

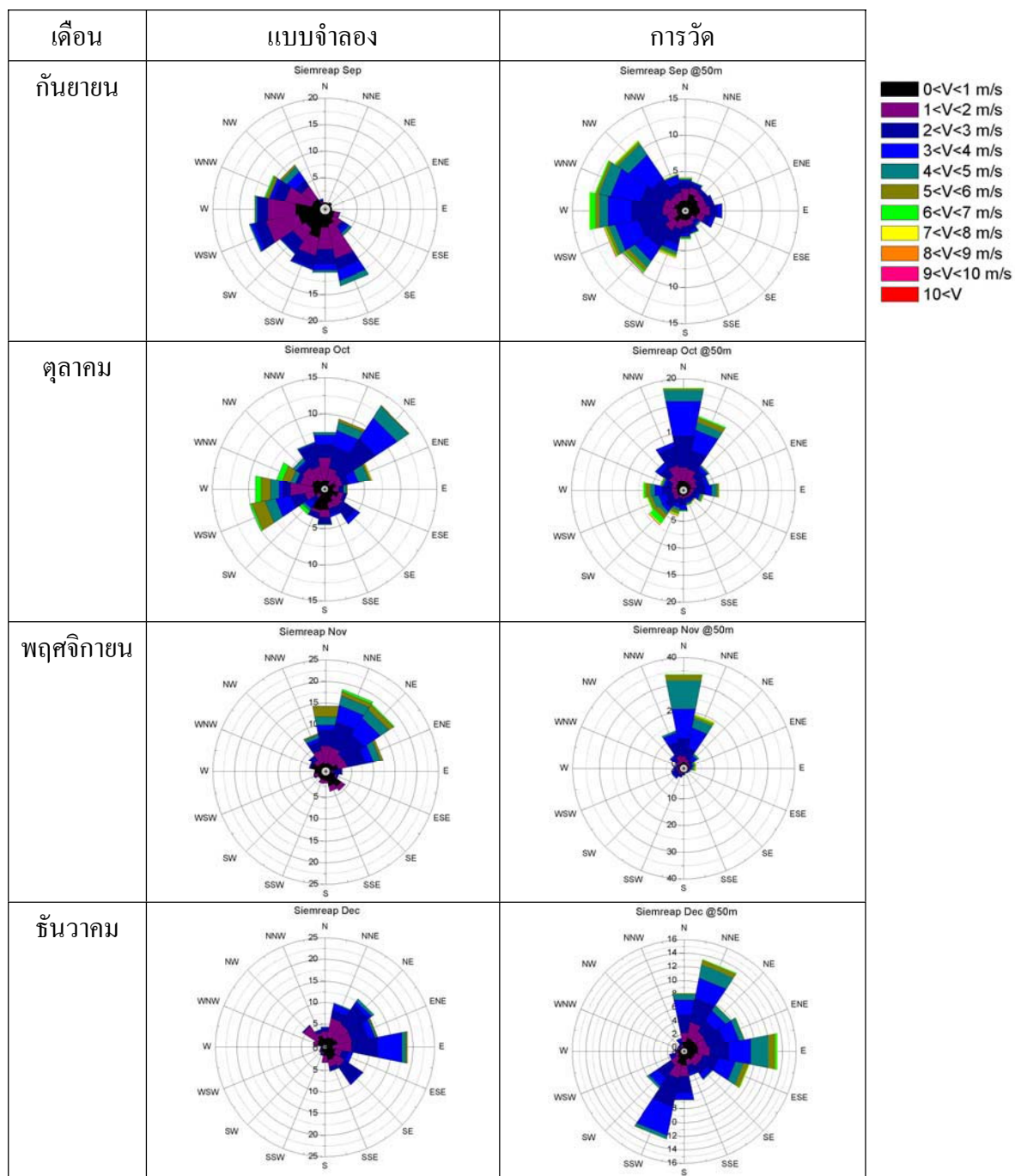
ช่วงเวลาดังกล่าว และจะพบว่าในช่วงที่พบลมที่มีความเร็วสูง wind rose ของทั้งสองกรณีนั้นค่อนข้างที่จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันอย่างมาก แต่เห็นได้ชัดว่า โดยส่วนใหญ่แล้วข้อมูลที่ได้จากการวัดจะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ นั่นแสดงให้เห็นว่าโดยส่วนใหญ่แล้วการคำนวณด้วยแบบจำลองบรรยากาศนี้จะให้ผลลัพธ์ที่ต่ำกว่าความเป็นจริง (under estimate) ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากการที่ความเร็วลมโดยเฉลี่ยในบริเวณดังกล่าวมีค่าค่อนข้างต่ำ แต่ถ้าช่วงใดหรือบริเวณใดความเร็วลมมีค่าสูงจะทำให้ผลการคำนวณด้วยแบบจำลองบรรยากาศมีค่าใกล้เคียง (หรืออาจมีค่ามากกว่า) ค่าที่ได้จากการวัด ดังจะเห็นได้จากข้อมูลของสถานีกำแพงเพชร และในช่วงที่มีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้สำหรับสถานีอื่นๆ



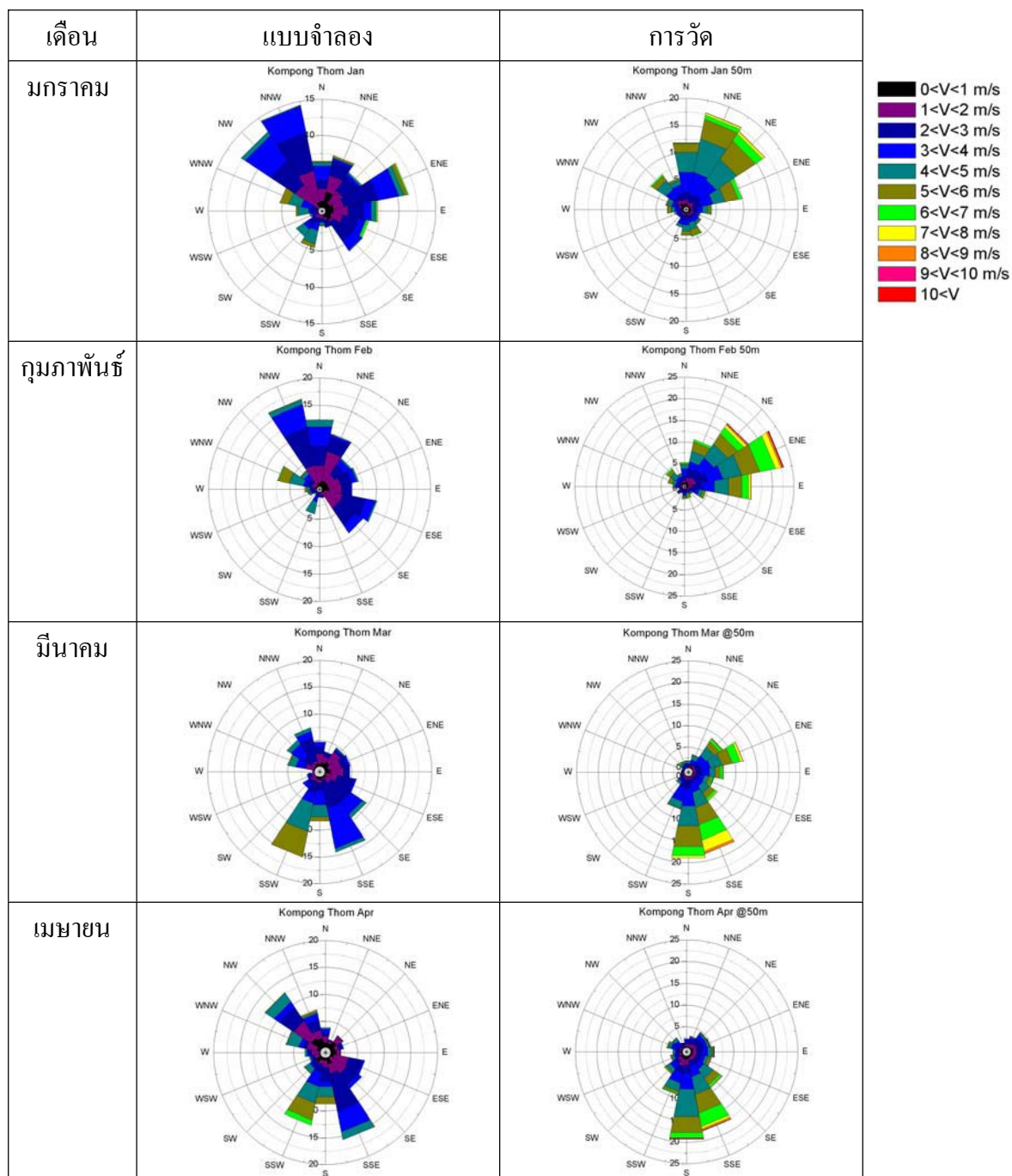
รูปที่ 3.43 เปรียบเทียบ wind rose รายเดือนของข้อมูลที่ได้จาก แบบจำลองบรรยากาศ และจากการวัด ณ เมืองเสียมเรียบ



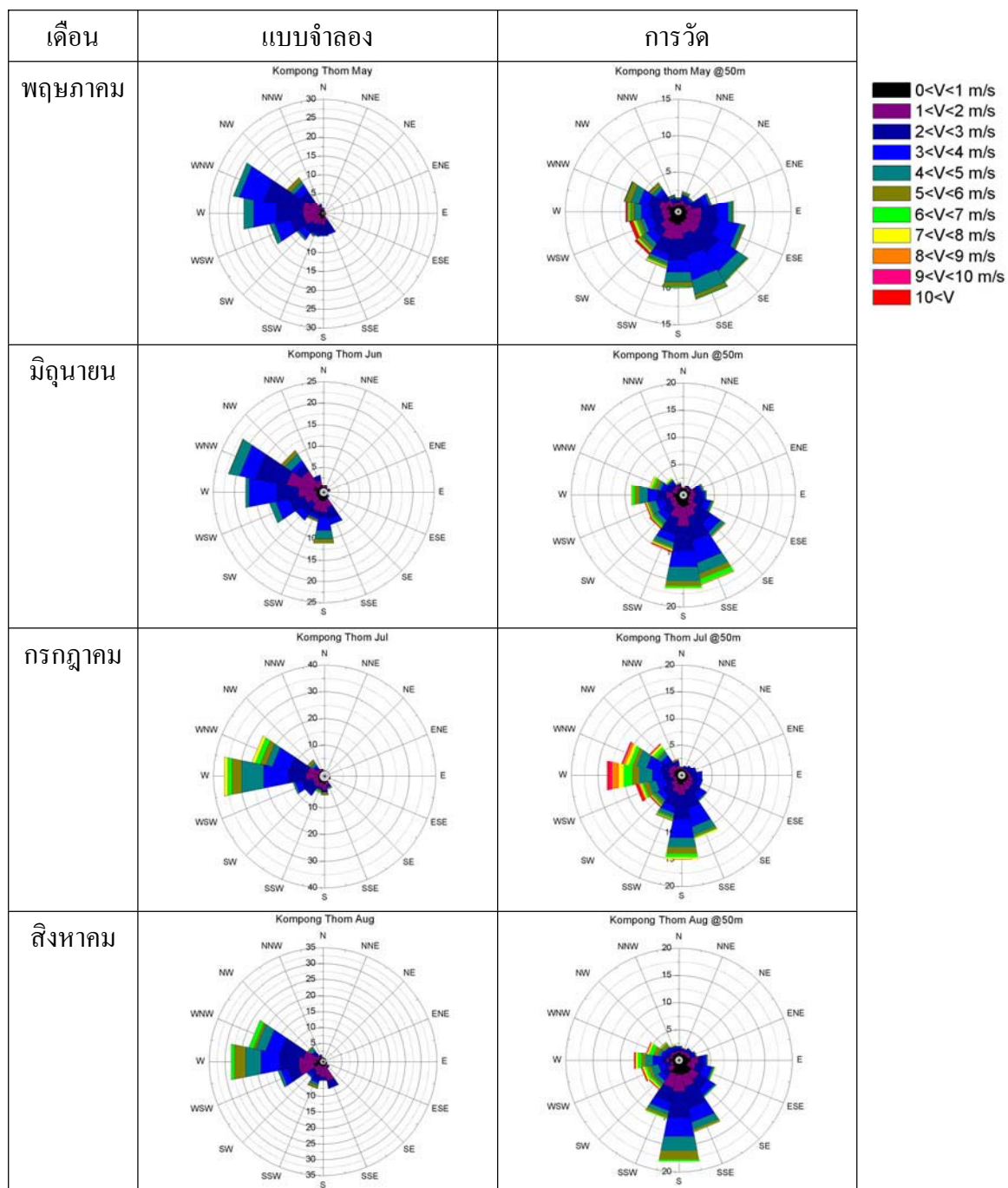
รูปที่ 3.43 (ต่อ)



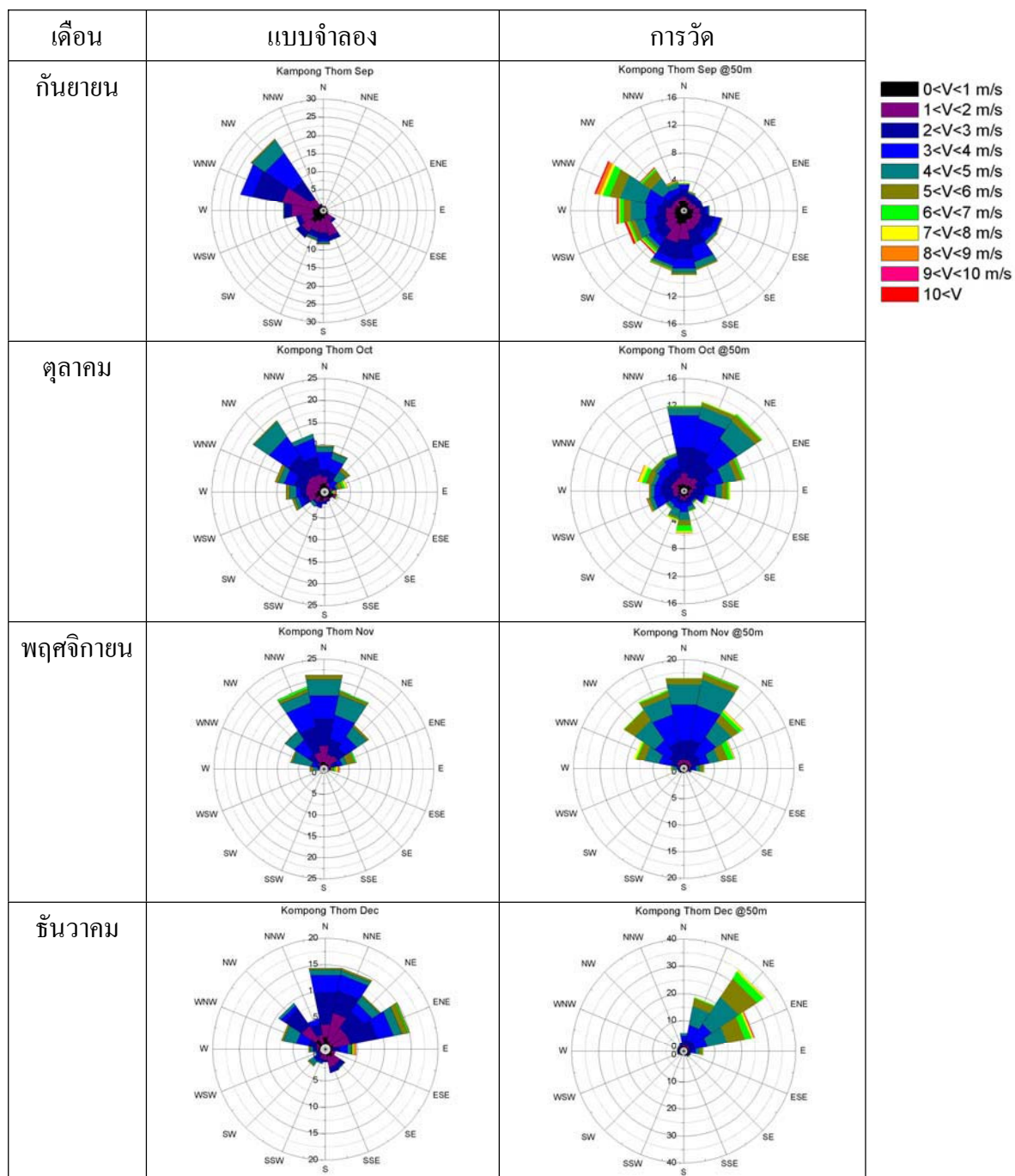
รูปที่ 3.43 (ต่อ)



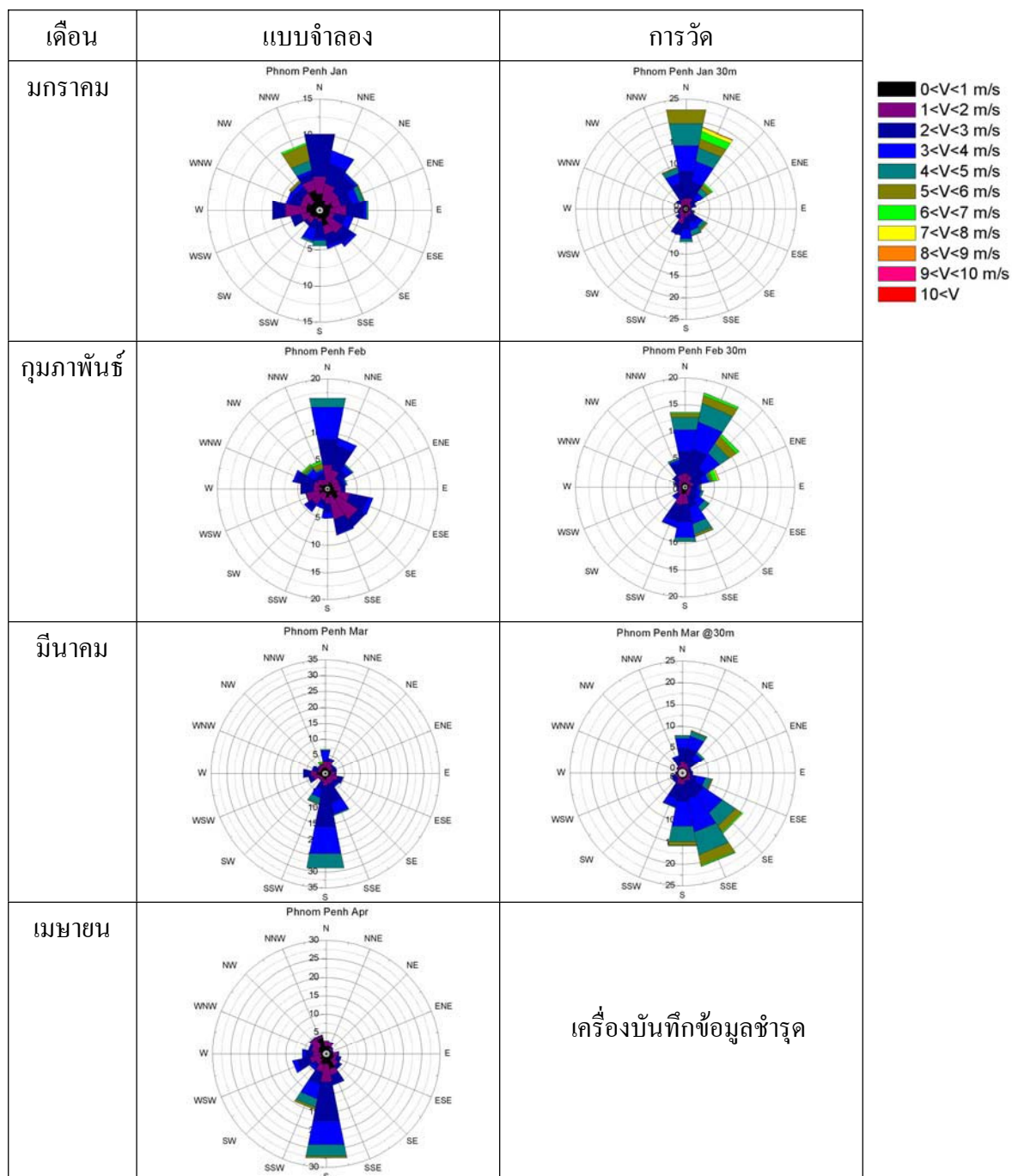
รูปที่ 3.44 เปรียบเทียบ wind rose รายเดือนของข้อมูลที่ได้จาก แบบจำลองบรรยากาศ และจากการวัด ณ เมืองกัมปงทม



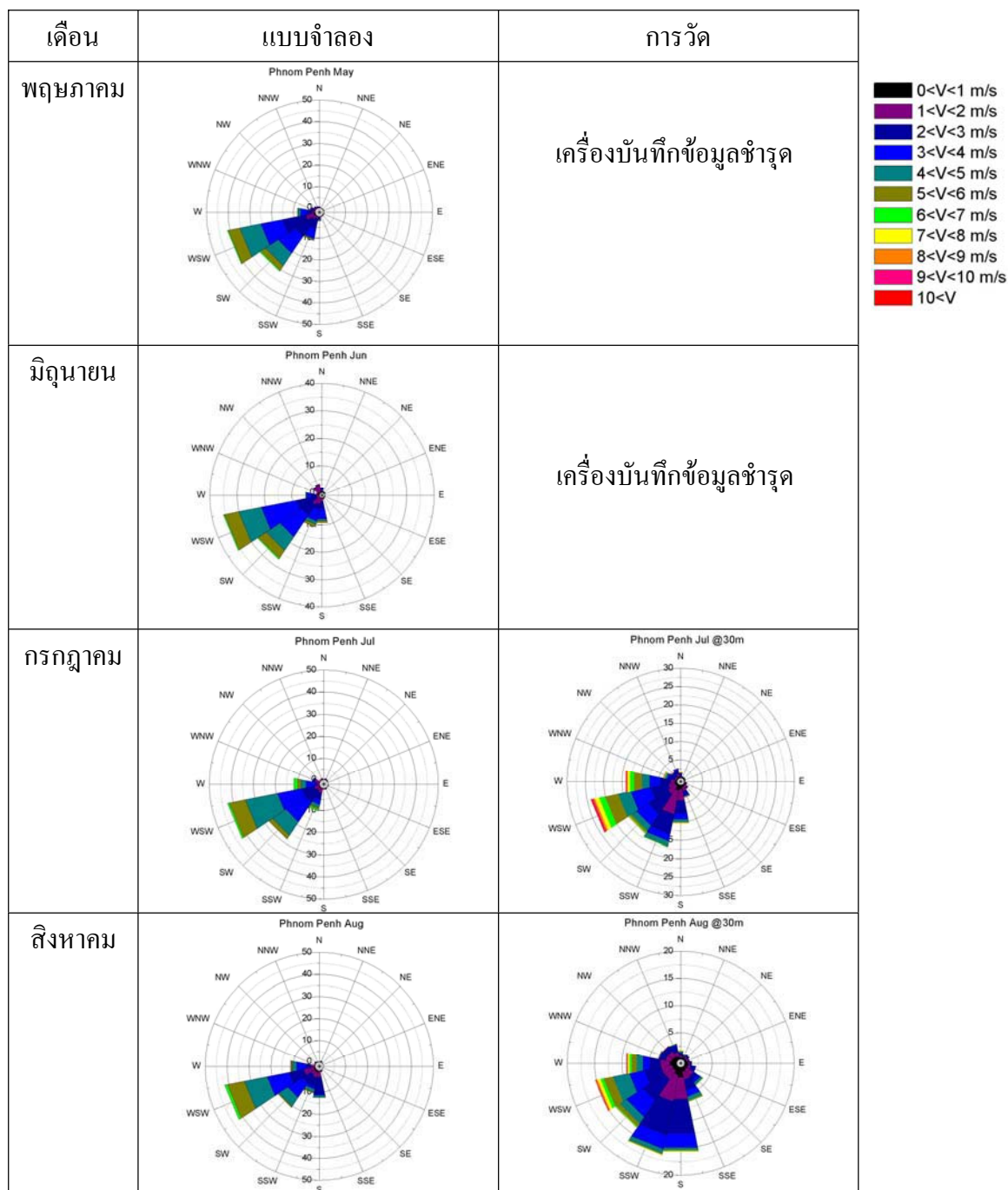
รูปที่ 3.44 (ต่อ)



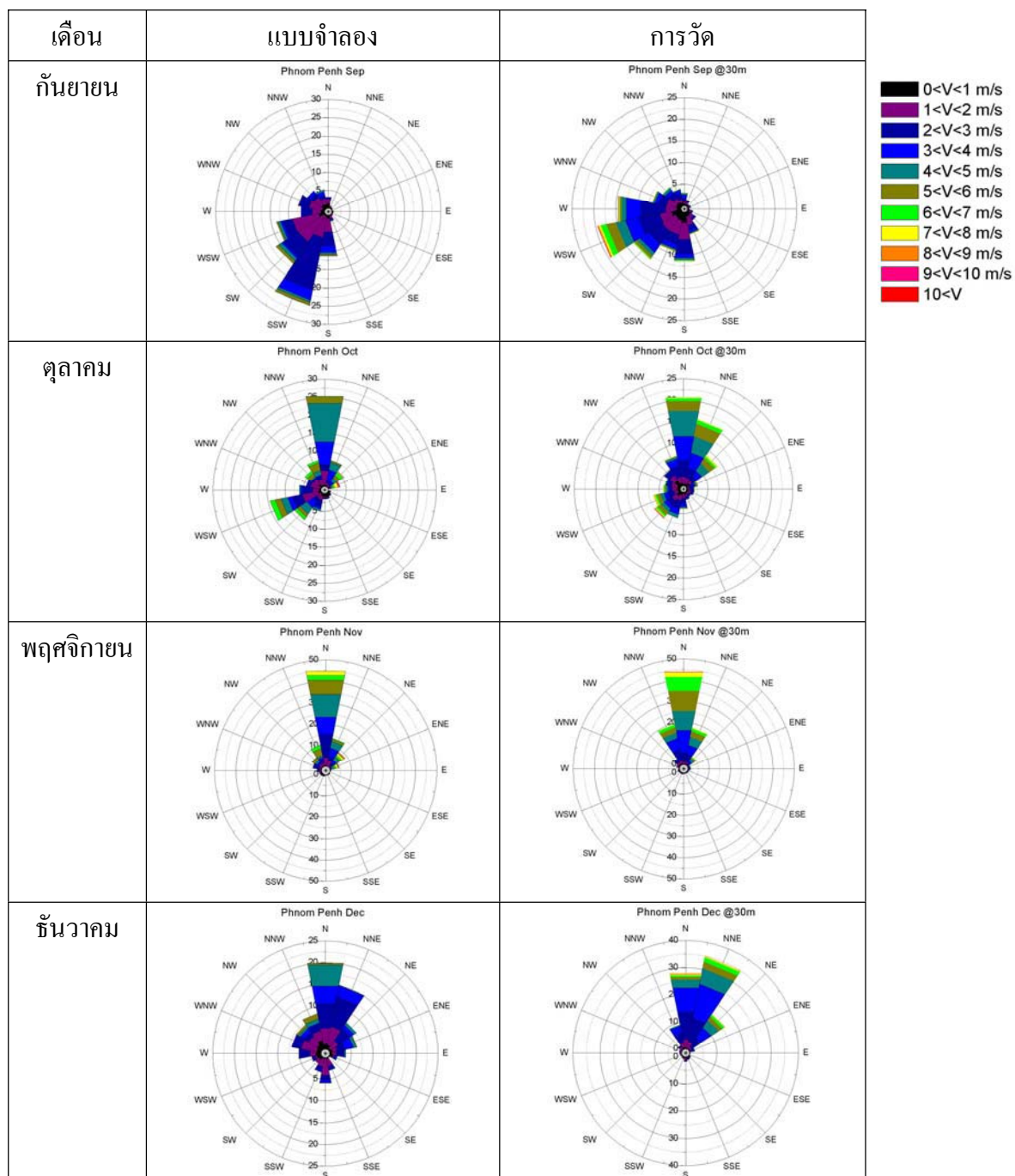
รูปที่ 3.44 (ต่อ)



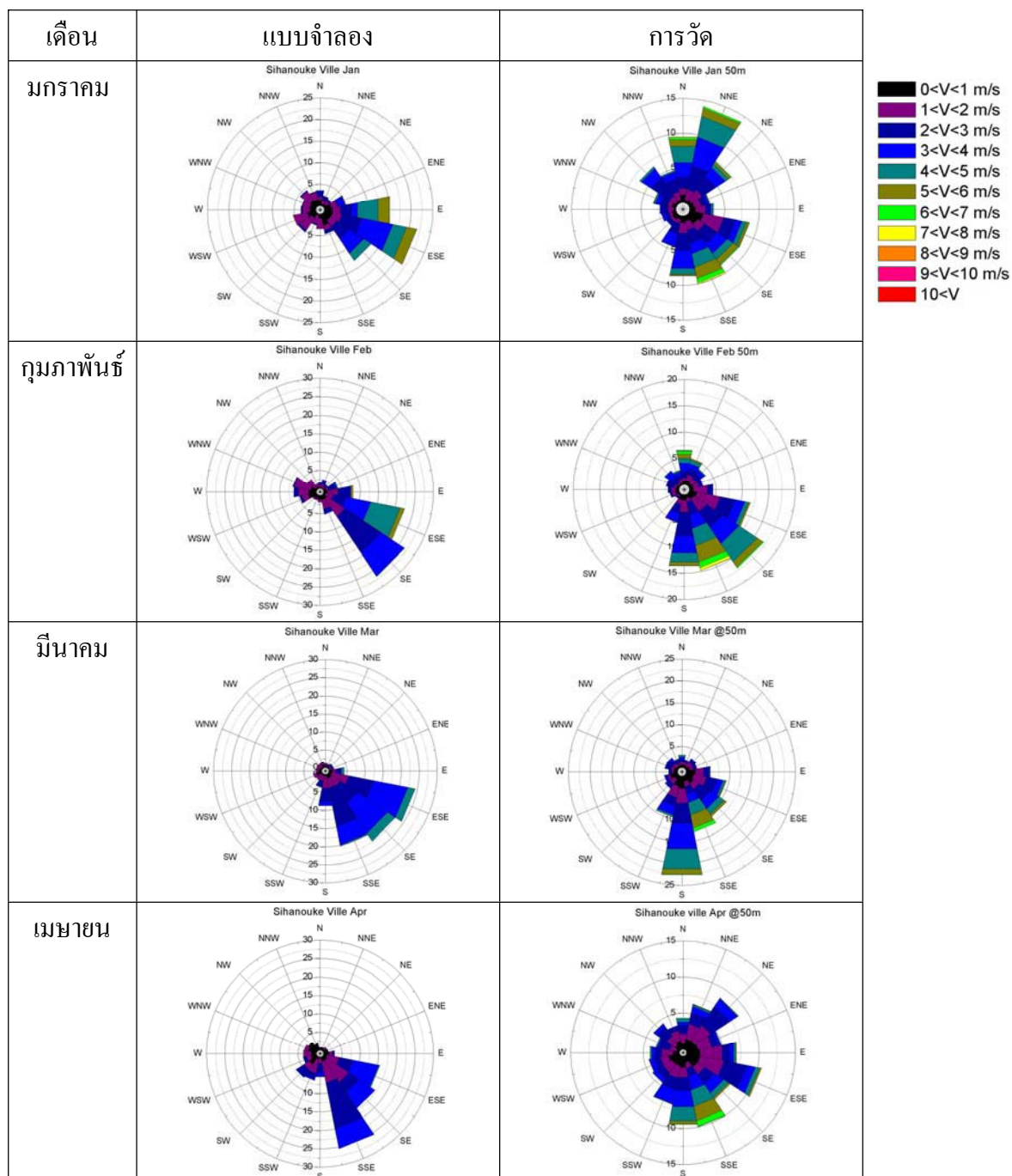
รูปที่ 3.45 เปรียบเทียบ wind rose รายเดือนของข้อมูลที่ได้จาก แบบจำลองบรรยากาศ และจากการวัด ณ เมืองพนมเปญ



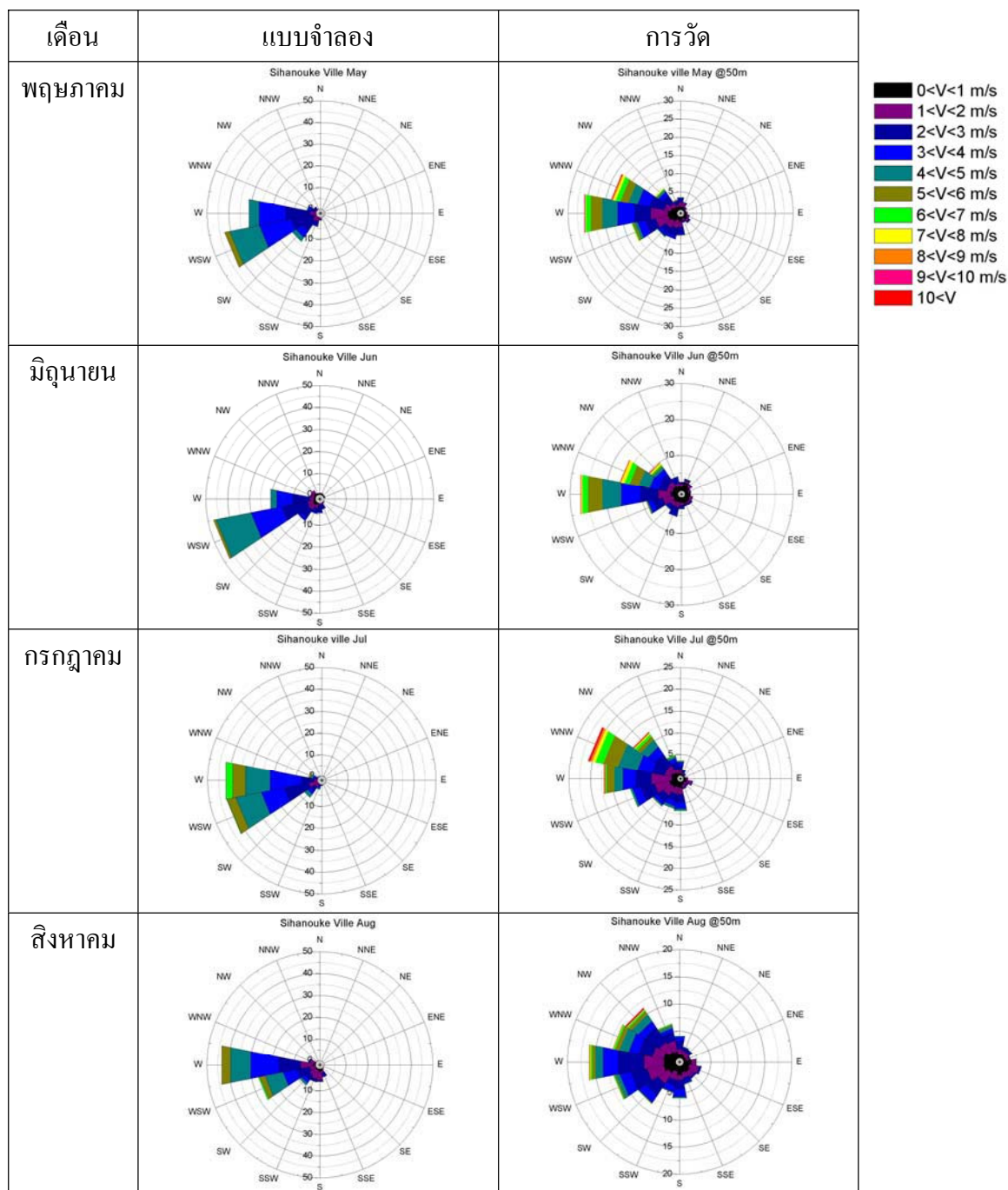
รูปที่ 3.45 (ต่อ)



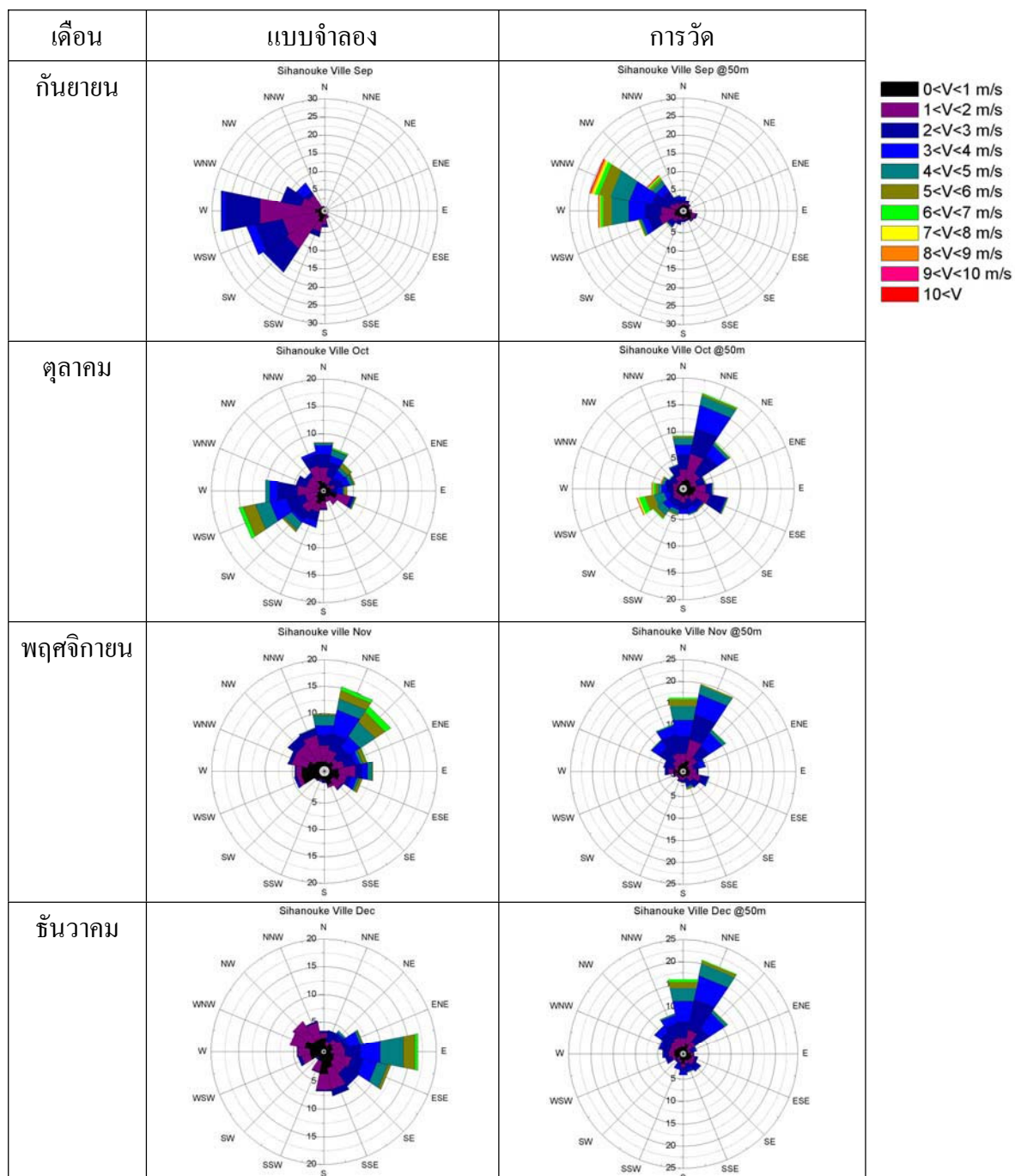
รูปที่ 3.45 (ต่อ)



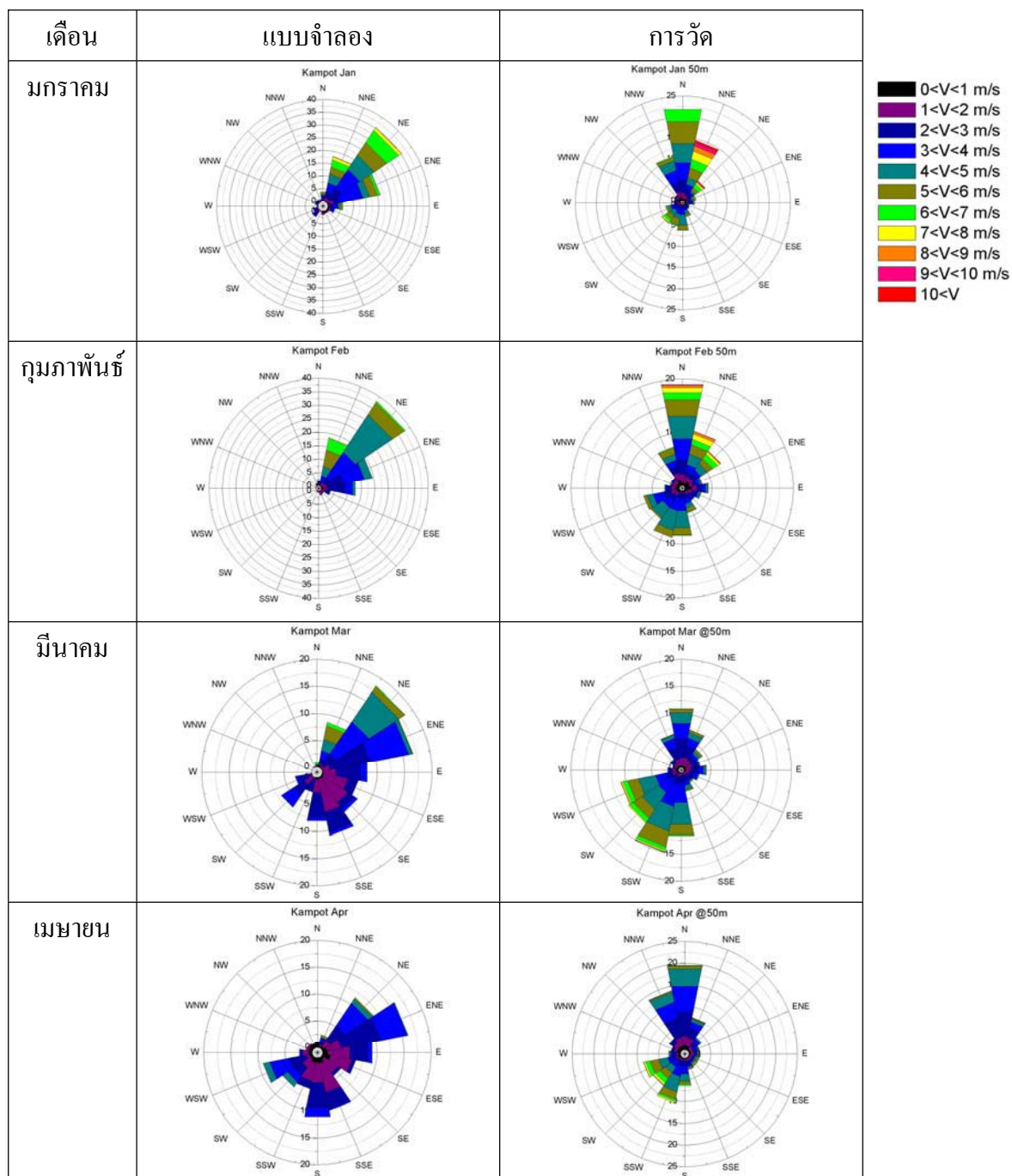
รูปที่ 3.46 เปรียบเทียบ wind rose รายเดือนของข้อมูลที่ได้จาก แบบจำลองบรรยากาศ
และจากการวัด ณ เมืองสีหนุวิลล์



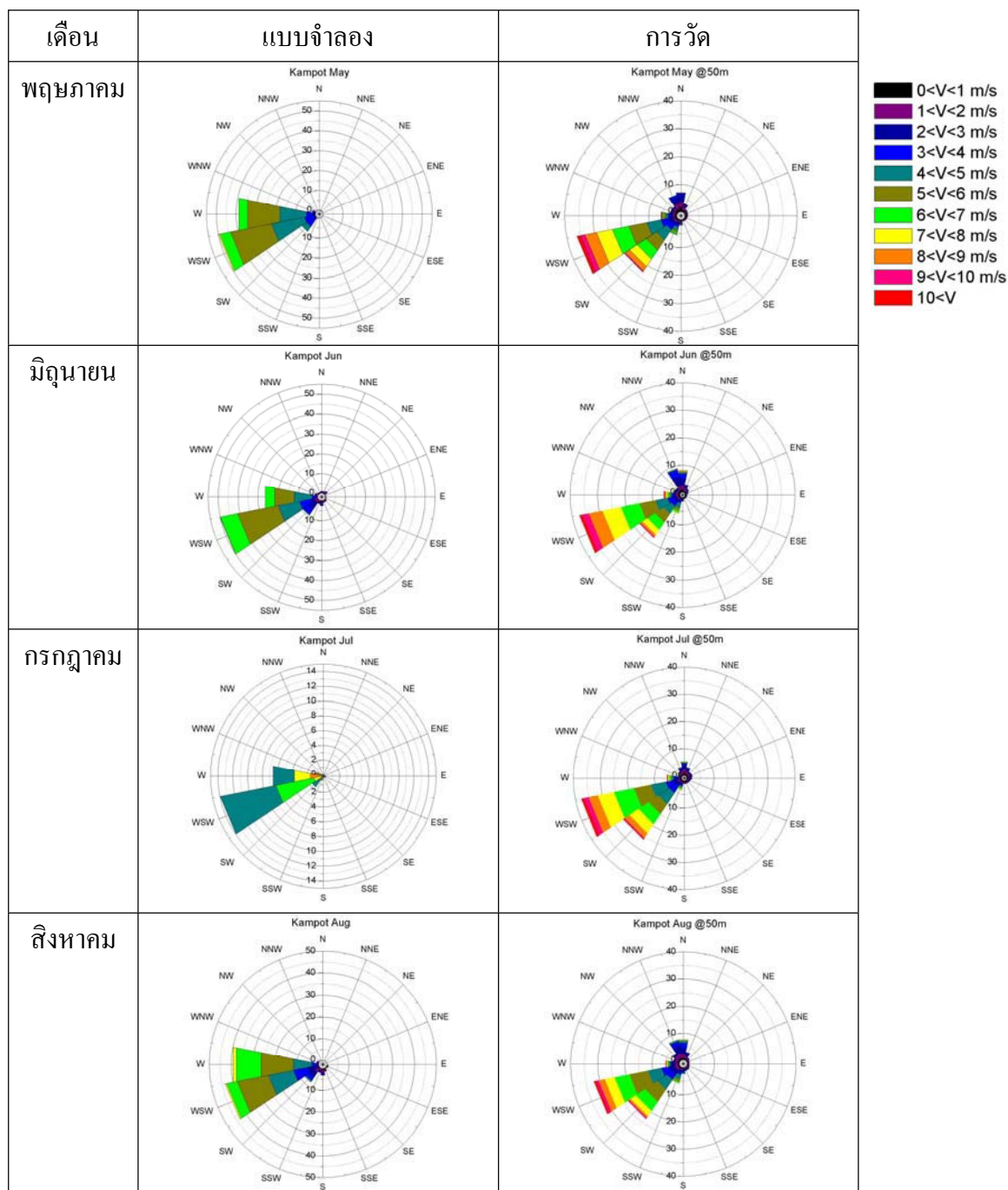
รูปที่ 3.46 (ต่อ)



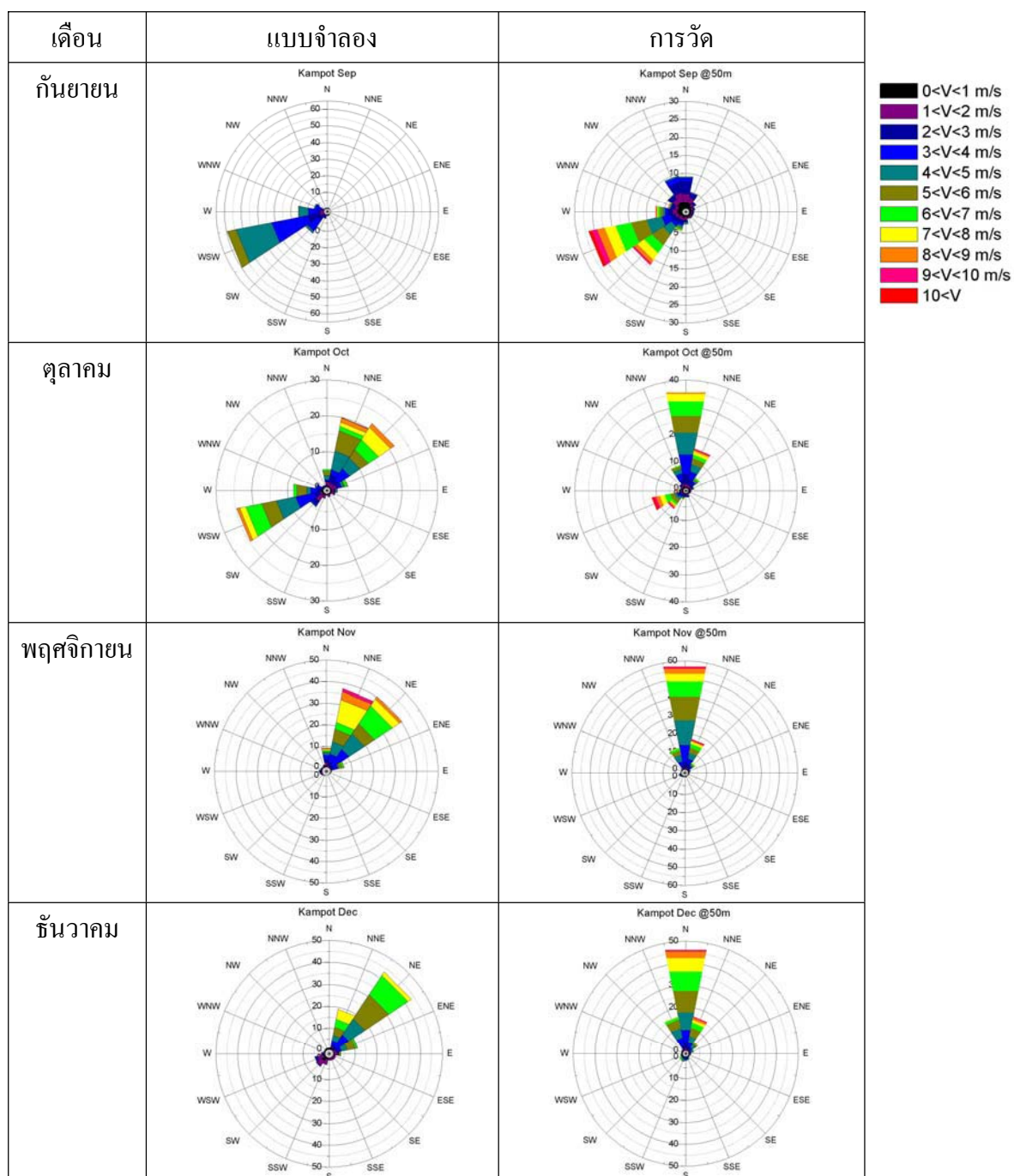
รูปที่ 3.46 (ต่อ)



รูปที่ 3.47 เปรียบเทียบ wind rose รายเดือนของข้อมูลที่ได้จาก แบบจำลองบรรยากาศ และจากการวัด ณ เมืองกัมปอด



รูปที่ 3.47 (ต่อ)



รูปที่ 3.47 (ต่อ)

3.6.4 การเปรียบเทียบแผนที่ลมจากงานวิจัยนี้กับแผนที่ลมที่ดำเนินการโดย World bank

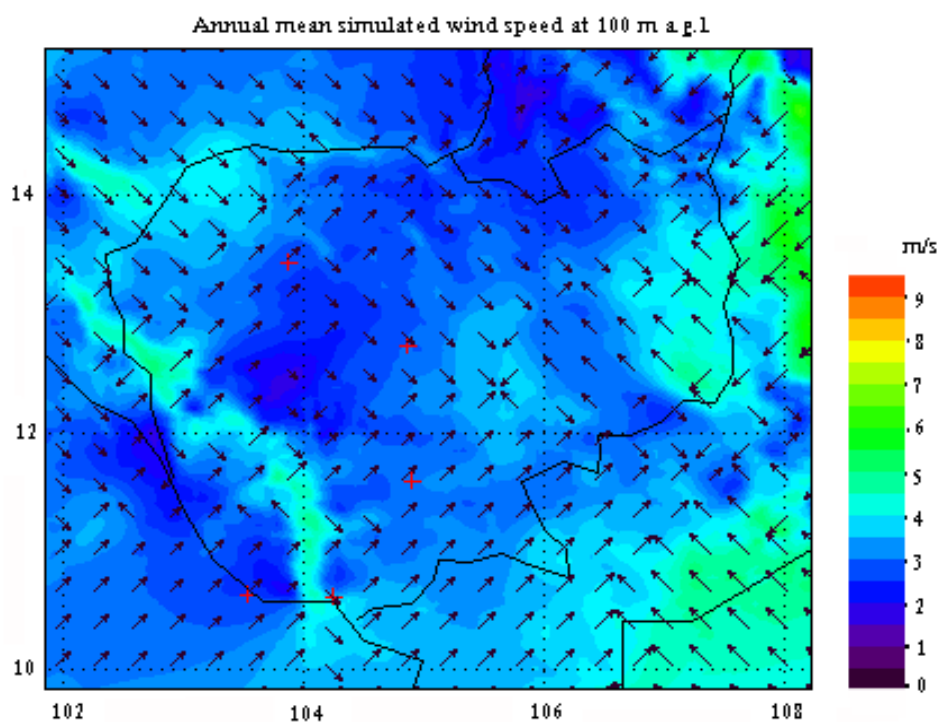
นอกจากนั้นผู้วิจัยได้เปรียบเทียบแผนที่ลมที่ได้จากแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลางที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้กับแผนที่แสดงศักยภาพของพลังงานลมของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ภายใต้โครงการ The World Bank Asia Alternative Energy Program ดังแสดงในรูปที่ 3.48

แผนที่แสดงศักยภาพของพลังงานลมที่ดำเนินการโดย World bank จะครอบคลุมพื้นที่ 4 ประเทศคือ กัมพูชา ลาว ไทย และ เวียดนาม โดยใช้โปรแกรม MesoMap ของบริษัท TrueWind Solutions ซึ่งอาศัยแบบจำลองสภาพอากาศในการจำลองสภาวะลมในอดีตตลอดจนลักษณะภูมิอากาศของวันที่เลือกใช้เป็นตัวแทนในช่วงปีพ.ศ. 2527 - 2541 โดยใช้ข้อมูลความสูงต่ำของพื้นที่ ความหยาบของพื้นผิว และลักษณะพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นที่ ด้วยความละเอียดของกริด(grid size) ขนาด 1 ตารางกิโลเมตร เป็นข้อมูลอินพุต รวมถึงข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาอันได้แก่ gridded analysis whether data, rawinsonde data และ อุณหภูมิพื้นผิวทะเล

จากแผนที่ของ world bank (รูปที่ 3.48) จะเห็นว่ามีการจัดแสดงความเร็วลมตั้งแต่ 5.5 m/s ขึ้นไป บริเวณใดที่มีความเร็วลมต่ำกว่านี้จะแสดงเป็นสีเขียวอ่อนทั้งหมด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผนที่ลมของ world bank ไม่สามารถแยกแยะบริเวณที่มีความเร็วลมต่ำๆได้ รวมถึงไม่มีการจัดแสดงทิศทางลมในแผนที่ด้วย อย่างไรก็ตามจากแผนที่ดังกล่าวนี้จะพบว่าในประเทศกัมพูชาบริเวณแนวเขาทางทิศตะวันตกถึงตะวันตกเฉียงใต้ และในบริเวณทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศมีลมที่ค่อนข้างแรงกว่าในส่วนอื่นของประเทศ เมื่อเปรียบเทียบกับแผนที่จากการศึกษาครั้งนี้ (รูปที่ 3.49) พบว่ามีลมที่ค่อนข้างแรงในบริเวณที่ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมาก จะเห็นว่าค่าความเร็วเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลางจะมีค่าน้อยกว่างานของ World Bank เล็กน้อย ทั้งนี้จะเกิดจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในช่วง 1 ปี (กันยายน 2550 – สิงหาคม 2551) เท่านั้น จึงอาจทำให้ผลการคำนวณแตกต่างจากงานของ World bank ซึ่งใช้ข้อมูลถึง 15 ปี จึงได้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อย



รูปที่ 3.48 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากโครงการ The World Bank Asia Alternative Energy Program (ัดมาเฉพาะประเทศกัมพูชา)



รูปที่ 3.49 แผนที่ลมเฉลี่ยในช่วง 1 ปี (กันยายน 2550 – สิงหาคม 2551) จากการศึกษารังนี้

จากแผนที่ลมที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศเกลปานกลางในครั้งนี้เป็น การแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของลมตามพื้นที่ของประเทศกัมพูชา ณ ระดับความสูง 50 เมตร และ 100 เมตร จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในบริเวณทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศและในบริเวณแนวเขาทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศค่อนข้างที่จะมีลมแรงกว่าบริเวณอื่นๆ และในระดับความสูง 100 เมตร ค่าความเร็วลมเฉลี่ยจะมีค่าสูงถึง 7 – 8 m/s และพบว่าแผนที่ทั้งหมดสอดคล้องเป็นอย่างดีกับอิทธิพลของลมมรสุมในพื้นที่ นั้นเป็นการแสดงให้เห็นว่าการใช้แบบจำลองบรรยากาศเกลปานกลางในการคำนวณความเร็วและทิศทางลมในประเทศกัมพูชานั้นสามารถกระทำได้และได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับความเป็นจริงในระดับหนึ่ง

บทที่ 4

สรุป

ในการศึกษาความเร็วลมและทิศทางของลมในประเทศกัมพูชาโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง ผู้วิจัยทำการคำนวณความเร็วและทิศทางลมโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศ โดยเริ่มต้นจากการจัดเตรียมข้อมูลบรรยากาศ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูล geopotential height ความเร็วและทิศทางลมจีโอโทรฟิก ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิบรรยากาศของช่วงเดือน กันยายน 2550 ถึง สิงหาคม 2551 และจัดเตรียมข้อมูลลักษณะพื้นผิวของประเทศกัมพูชา ได้แก่ ข้อมูลแผนที่ความสูงของพื้นที่ (orographic map) และความหยาบของพื้นผิว (roughness) จากนั้นจะใช้แบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง (meso-scale atmospheric model) ทำการคำนวณความเร็วและทิศทางลมทั่วประเทศกัมพูชา โดยใช้ข้อมูลบรรยากาศและข้อมูลลักษณะพื้นผิวเป็นข้อมูลอินพุตของแบบจำลอง แล้วนำผลการคำนวณมาจัดแสดงในรูปแผนที่ลม ณ ระดับความสูง 50 เมตรและ 100 เมตรเหนือพื้นดิน จากแผนที่รายเดือนพบว่าความเร็วลมในประเทศกัมพูชามีการเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางตามอิทธิพลของลมมรสุม โดยในช่วงเดือนตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ จะมีลมมรสุมพัดจากทะเลจีนใต้ผ่านประเทศเวียดนามเข้ามายังประเทศกัมพูชาทางด้านตะวันออกและตะวันออกเฉียงเหนือ และระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน จะมีลมมรสุมพัดจากอ่าวไทยเข้าไปในประเทศกัมพูชา สำหรับเดือนมีนาคมและเมษายนจะเป็นช่วงเปลี่ยนของลมมรสุมทำให้ความเร็วลมทั่วประเทศค่อนข้างต่ำ เมื่อพิจารณาความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปีที่ระดับความสูง 50 เมตรเหนือพื้นดิน จะพบว่าโดยส่วนใหญ่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศกัมพูชา ความเร็วลมมีค่าค่อนข้างต่ำ (เฉลี่ย 2 – 3 เมตร/วินาที) แต่พบว่าในบางบริเวณมีลมค่อนข้างแรงกว่าบริเวณอื่นๆ (4 - 5 เมตร/วินาที) ในบริเวณพื้นที่ด้านตะวันออกเฉียงเหนือ และที่บริเวณแนวเขาด้านตะวันตกเฉียงใต้ บริเวณดังกล่าวมีศักยภาพพลังงานลมค่อนข้างสูงกว่าบริเวณอื่นๆ และในบริเวณดังกล่าวนี้ที่ระดับความสูง 100 เมตรเหนือพื้นดินความเร็วลมยังมีค่าสูงขึ้น (6 – 7 เมตร/วินาที) ในการทดสอบความละเอียดถูกต้องของผลการคำนวณ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลลมที่วัดจริงจากเสาวัดลมที่ได้รับการติดตั้งขึ้นใหม่ภายใต้โครงการความร่วมมือทางด้านพลังงานทดแทนระหว่างประเทศไทยและประเทศกัมพูชา 5 แห่ง คือ ที่เมืองเสียมเรียบ กัมปงธม สีหนุวิลล์ กัมปอต และ พนมเปญ ผลการเปรียบเทียบพบว่าความเร็วลมที่ได้จากการคำนวณมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกับความเร็วลมที่ได้จากการวัด และสอดคล้องกับอิทธิพลของลมมรสุมเป็นอย่างดี ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างในรูปของ root mean square difference (RMSD) ซึ่งได้ค่าออกมาเท่ากับ 23.1% โดยพบว่าสถานีกัมปอตเป็นสถานีที่ผลการการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลวัดมากที่สุด สาเหตุที่ทำให้ผลการคำนวณของสถานีวัดอื่นๆค่อนข้าง

แตกต่างจากข้อมูลวัดมากน่าจะเกิดจากความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ในบริเวณที่ความเร็วลมน้อยจะทำให้เห็นผลของความคลาดเคลื่อนน้อยอย่างชัดเจน ดังนั้นแบบจำลองดังกล่าวนี้จะให้ผลการคำนวณแม่นยำขึ้นสำหรับบริเวณที่มีความเร็วลมสูงๆ นอกจากการเปรียบเทียบความเร็วแล้วผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณและข้อมูลที่ได้จากการวัดมาจัดทำ wind rose ในแต่ละเดือนเพื่อเปรียบเทียบทิศทางลมและดูความสอดคล้องกับอิทธิพลของลมมรสุมทั้งสองช่วง ปรากฏว่าได้ผลค่อนข้างที่จะสอดคล้องกันกับอิทธิพลของมรสุมแต่แตกต่างกันบ้างในเรื่องของทิศทางในแต่ละเดือนสำหรับบางสถานี หนึ่งในสถานีทั้ง 5 แห่งที่เรามีข้อมูลวัดมาเปรียบเทียบ คือ สถานีวัดที่เมืองกัมปอต จัดได้ว่าอยู่ในบริเวณที่ๆ มีความเร็วลมค่อนข้างสูง ซึ่งจากข้อมูลวัดที่เราได้ในช่วง 1 ปี ยืนยันเช่นนั้นจริง นอกจากนั้นผู้วิจัยได้เปรียบเทียบแผนที่ลมเฉลี่ยรายปีที่ได้กับแผนที่ศักยภาพพลังงานลมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากโครงการ The World Bank Asia Alternative Energy Program พบว่าแผนที่ทั้งสองสอดคล้องกันเป็นอย่างดีในแง่ของบริเวณที่น่าจะมีลมแรงของประเทศกัมพูชา แต่ทว่าค่าของความเร็วที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลาง มีค่าน้อยกว่าค่าที่แสดงบนแผนที่ศักยภาพพลังงานลมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เล็กน้อย ทั้งนี้อาจสืบเนื่องมาจากความเร็วลมโดยเฉลี่ยในประเทศกัมพูชามีค่าต่ำจึงทำให้ผลการคำนวณจากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนปรากฏให้เห็นชัดเจน จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าแบบจำลองบรรยากาศสเกลปานกลางที่เลือกใช้ให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจในการศึกษาสภาพของลมในประเทศกัมพูชาได้ ถึงแม้ว่าโดยธรรมชาติของแบบจำลองจะเหมาะสมกับสถานะที่มีลมแรงมากกว่าแต่อย่างน้อยการศึกษาครั้งนี้สามารถแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของลมและทิศทางลมตามพื้นที่ของประเทศกัมพูชาได้ การพัฒนาแบบจำลองนี้เพื่อใช้แสดงศักยภาพของพลังงานลมสำหรับประเทศที่ขาดแคลนข้อมูลวัดจริงจากเสาวัดลมที่ได้มาตรฐานน่าจะเกิดประโยชน์อย่างยิ่งในอนาคต อย่างไรก็ตามในการจะนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า หรือการตัดสินใจจัดตั้งกังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าในบริเวณที่มีศักยภาพลมค่อนข้างสูง ควรต้องศึกษาปัจจัยอื่นประกอบ เช่น โครงสร้างพื้นฐานสำหรับการติดตั้งกังหันลม ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และที่สำคัญ ควรมีการติดตั้งเครื่องวัดลมเพื่อการตรวจสอบให้แม่นยำอีกชั้นหนึ่งด้วย

บรรณานุกรม

- Adrian, G. and Fiedler F., Simulation of unstationary wind and temperature fields over complex terrain and comparison with observations, Beitr. Phys. Atmosph. 64, 27 – 48, 1991
- Brower, M., Zack, J.W., Bailey, B., Schwartz, M.N., Elliott, D.L., Mesoscale modelling as a tool for wind resource assessment and mapping, 14th conference on applied climatology, 2004
- Frank, H.P. and Landberg, L., Modelling the wind climate of Ireland, Boundary-layer Meteorology, 85, 359 – 378, 1997
- Justic, G. Physical climatology of solar and wind energy, World Scientific, Singapore, 1988
- Khan, M.J. and Iqbal, M.T., Wind energy resource map of Newfoundland. Renewable Energy 29, 1211-1221, 2004
- Khan, M.J., Iqbal, M.T., Mahboob, S., A wind map of Bangladesh, Renewable Energy 29, 643-660, 2004
- Landberg, L., Myllerup, L., Rathmann, O., Petersen, E.L., Jorgensen, B.H., Badger, J., Mortensen, N.G. Wind resource estimation-An overview, Wind Energy 6, 261-271, 2003.
- Lettan, H. Note on aerodynamic roughness parameter estimation J. Appl. Met. 8, 828-832, 1969.
- Mathew, S. Wind Energy, Springer, Berlin, 2006.
- Mortensen, N.G., U. Said Said, H.P. Frank, L. Georgy, C.B. Hasager, M. Akmal Mahmoud, J.C. Hansen and A. Abd El-Salam Moussa, *Wind Atlas for the Gulf of Suez. Measurements and Modelling 1991-2001*. New and Renewable Energy Authority, Cairo, and Risø National Laboratory, Roskilde. ISBN 87-550-3195-1. 196 pp. 2003
- Mortensen, N.G., D.N. Heathfield, L. Myllerup, L. Landberg and O. Rathmann, Wind Atlas Analysis and Application Program: *WAsP 8 Help Facility and On-line Documentation*. Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark. 335 topics. ISBN 87-550-3457-8, 2005
- Mortensen, N.G., J.C. Hansen, J. Badger, B.H. Jørgensen, C.B. Hasager, L. Georgy Youssef, U. Said Said, A. Abd El-Salam Moussa, M. Akmal Mahmoud, A. El Sayed Yousef, A. Mahmoud Awad, M. Abd-El Raheem Ahmed, M. A.M. Sayed, M. Hussein Korany, M. Abd-El Baky Tarad, *Wind Atlas for Egypt, Measurements and Modelling 1991-2005*. New and Renewable Energy Authority, Egyptian Meteorological Authority and Risø National Laboratory. ISBN 87-550-3493-4. 258 pp, 2005

- Mortensen, N.G., J.C. Hansen, J. Badger, B.H. Jørgensen, C.B. Hasager, Uwe S.Paulsen, Ole F. Hansen, Karen Enevoldsen, L. Georgy Youssef, U. Said Said, A.Abd El-Salam Moussa, M. Akmal Mahmoud, A. El Sayed Yousef, A. Mahmoud Awad, M. Abd-El Raheem Ahmed, M. A.M. Sayed, M. Hussein Korany, M. Abd-El Baky Tarad, Wind Atlas for Egypt: Measurements, micro- and mesoscale modelling. Proceedings of the *2006 European Wind Energy Conference and Exhibition*, Athens, Greece, February 27 to March 2., 2006
- Mortensen, N.G., Said, U.S., Badger, J., Wind Atlas for Egypt, Roskilde, 2005
- Ozerdem, B. Turkeli, H.M., Wind energy potential estimation and micrositting on Izmir Institute of Technology Campus, Turkey, *Renewable Energy* 30, 1623-1633, 2005
- Perera, M.D. Shelter behind two-dimensional solid and porous fences, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 8, 93-104, 1981
- Peterson, E.L., Mortensen, N.G., Landberg, L., Hojstrup, J., Frank, H.P., Wind power meteorology, Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1997
- Salmon, J.R., Bowen, A.J, Hoff, A.M., Johnson, R. Mickle, R.E., Taylor, P.A., Tetzlaff, G., Walmsley, J.L., The Askervein Hill Project: Mean wind variations at fixed height above ground. *Boudary-Layer Meteorology* 43, 247-271, 1987
- Suwantakul, B., Watabutr, W. Sitathani, V.T., Namprakai, P., Solar and Wind Potential Assessment of Thailand, Renewable Nonconvictional Energy Project, USAID project No. 493-0304, Meteorological Department and King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, 1984
- Troen, I., Petersen, E.L., *European Wind Atlas*. ISBN 87-550-1482-8. Risø National Laboratory, Roskilde. 656 pp., 1989

ภาคผนวก

รายละเอียดการติดตั้งสถานีวัดลมตามโครงการความร่วมมือทางด้านพลังงานทดแทน ระหว่างประเทศไทยและประเทศกัมพูชา

ผู้วิจัยได้ร่วมเดินทางไปติดตั้งเสาวัดลมที่ได้มาตรฐานในประเทศไทย 5 แห่งภายใต้โครงการความร่วมมือทางด้านพลังงานทดแทนระหว่างประเทศไทยและประเทศกัมพูชา ซึ่งข้อมูลที่ได้จากสถานีวัดทั้ง 5 แห่งนี้จะใช้เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโดยใช้แบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลาง โดยสถานที่สำหรับติดตั้งเสาวัดลมจะอยู่ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา 5 แห่งคือ สถานีอุตุนิยมวิทยาเมืองเสียมเรียบ สถานีอุตุนิยมวิทยาเมืองกัมปงธม สถานีอุตุนิยมวิทยาเมืองพนมเปญ สถานีอุตุนิยมวิทยาเมืองสีหนุวิลล์ และ สถานีอุตุนิยมวิทยาเมืองกัมปอต

นอกจากอุปกรณ์วัดลมแล้วจำเป็นต้องเตรียมอุปกรณ์ประกอบต่างๆ สำหรับเสาวัดลม ดังนี้

1) เสาวัดลม

ในโครงการนี้ ผู้ดำเนินโครงการเลือกใช้เสาวัดลมแบบโครงถัก (lattice wind mast) ทั้งนี้เพราะสามารถขึ้นไปติดตั้งอุปกรณ์วัดลม และปรับระดับอุปกรณ์ได้สะดวกกว่าเสาแบบท่อนทรงกระบอก อีกทั้งยังสามารถขึ้นไปซ่อมบำรุงได้ง่าย เนื่องจากวัสดุสำหรับสร้างเสาวัดลมในกัมพูชาหาได้ยาก ผู้ดำเนินโครงการจึงได้จัดสร้างเสาวัดลมที่ประเทศไทยโดยแยกชิ้นส่วนให้สามารถขนส่งไปติดตั้งได้สะดวก



รูปที่ A1 แสดงชิ้นส่วนของเสาวัดลม ซึ่งจะนำไปติดตั้งในกัมพูชา

2) แขนติดตั้งอุปกรณ์วัดลม

ในการวัดลมในกัมพูชาที่สถานีสีหนุวิลล์ กัมปอต กัมปงธม และเสียมเรียบ จะทำการวัดที่ระดับ 20 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร และที่พนมเปญจะวัดที่ระดับ 30 เมตร การวัดที่ระดับดังกล่าวจำเป็นต้องทำแขนติดตั้งเครื่องวัดลม (boom) ให้ยื่นห่างจากเสาวัดลม ผู้ดำเนินโครงการจึงได้จัดเตรียมแขนติดตั้งอุปกรณ์วัดลม ซึ่งทำด้วยเหล็กกล่องชุบด้วยสังกะสีที่กันสนิม โดยออกแบบให้สามารถเลื่อนเข้าออกจากเสาวัดลม และปรับมุมซ้ายขวาได้ แสดงดังรูปที่ A2



รูปที่ A2 แสดงแขนติดตั้งอุปกรณ์วัดลม

3) อุปกรณ์ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์

เนื่องจากเครื่องบันทึกสัญญาณที่ใช้ในระบบเก็บข้อมูลทำงานด้วยไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ ดังนั้นจึงต้องทำการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งาน โดยผู้ดำเนินโครงการจะติดบนเสาวัดลมที่ระดับความสูง 10-15 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน ในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ผู้ดำเนินโครงการได้จัดทำแขนและแผ่นรองแผงโซลาร์เซลล์ ดังแสดงในรูปที่ A3



รูปที่ A3 แสดงแขนพร้อมแผ่นรองโซลาร์เซลล์ ซึ่งจะนำไปติดบนเสาวัดลม

4) ตู้เหล็กใส่เครื่องบันทึกข้อมูล

ถึงแม้ว่าเครื่องบันทึกข้อมูลจะออกแบบให้ติดตั้งใช้งานกลางแจ้ง แต่สภาพแวดล้อมของกัมพูชาซึ่งเป็นแบบร้อนชื้น มีความชื้นรังสีดวงอาทิตย์และความชื้นสูง ฤดูฝนค่อนข้างยาว ดังนั้นเพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ดังกล่าว ผู้ดำเนินโครงการจะติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลของสถานีสีหนุวิลล์ กัมปอต กัมปงธม และเสียมเรียบไว้ในอาคารใกล้กับเสาวัดลม โดยผู้ดำเนินโครงการได้จัดทำตู้เหล็กสำหรับใส่อุปกรณ์ดังกล่าวจากประเทศไทยจำนวน 4 ชุด ตู้ดังกล่าวนอกจากใช้วางเครื่องบันทึกข้อมูลแล้วยังสามารถจัดเก็บเอกสารและสมุดบันทึกประจำเครื่อง (log-book) ด้วย สำหรับกรณีสถานีพนมเปญ เสาวัดลมอยู่ห่างจากอาคารมาก จึงติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลในตู้ติดตั้งอุปกรณ์อุตุนิยมหาวิทยาลัย ซึ่งป้องกันแดดและฝนได้



รูปที่ A4 แสดงตู้ใส่เครื่องบันทึกข้อมูล

ในโครงการนี้จะติดตั้งแขนสำหรับติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วลม (anemometer) และแขนสำหรับติดตั้งอุปกรณ์วัดทิศทางลม (wind vane) ที่ระดับต่างกันประมาณ 50 เซนติเมตร และอยู่คนละด้านของเสาวัดลม เนื่องจากกัมพูชาอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้นแขนเสาวัดลมของทุกสถานีจะยื่นจากตัวเสาไปทางทิศเหนือ ซึ่งเป็นทิศที่กระแสลมถูกเสาวัดลมรบกวนน้อยที่สุด โดยใน 4 สถานีคือ เสียมเรียบ กัมปงธม สีหนุวิลล์ และกัมปอตได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดลมทั้งหมด 3 ระดับ คือที่ระดับ 20 เมตร 40 เมตร และ 50 เมตร สำหรับสถานีพนมเปญนั้นเนื่องจากอยู่ใกล้กับสนามบินจึงติดตั้งเพียงระดับเดียวคือ 30 เมตร และเครื่องบันทึกข้อมูลจะอยู่ในอาคารสำนักงานของเจ้าหน้าที่ทั้งหมด ยกเว้นที่สถานีพนมเปญจะอยู่ตรงโคนเสาเนื่องจากเสาอยู่ห่างจากสำนักงานมาก รูปของเสาวัดลมและเครื่องบันทึกข้อมูลของแต่ละสถานีได้แสดงไว้ในรูปที่ A5 – A14



รูปที่ A5 แสดงเสาวัดลมที่สถานีเสียมเรียบ



รูปที่ A6 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลที่สถานีเสียมเรียบ



รูปที่ A7 แสดงเสาวัดลมที่สถานีกัมปงรม



รูปที่ A8 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลที่สถานีกัมปงรม



รูปที่ A9 แสดงการติดตั้งเสาวิทยุที่สถานีพนมเปญ



รูปที่ A10 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลของสถานีพนมเปญ



รูปที่ A11 แสดงเสาวิทยุที่สถานีสีหนุวิลล์



รูปที่ A12 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลที่สถานีสีหนุวิลล์



รูปที่ A13 แสดงเสาวิทยุคลื่นที่สถานีกำปอด



รูปที่ A14 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูลที่สถานีกำปอด

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายวรภาส พรหมเสน
ที่อยู่	123 ถ.มะโน ต.โนนเวียง อ.เมือง จ.น่าน 55000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2540	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
พ.ศ. 2550	ศึกษาต่อวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร จ.นครปฐม