

การประเมินความสามารถของแบบจำลอง RegCM4 ในการจำลองฟลักซ์ความร้อนและลมบริเวณ
ประเทศไทย



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Performance evaluation of RegCM4 to simulate heat fluxes and wind over Thailand

Miss Pipatthra Saesin



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Marine Science

Department of Marine Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความสามารถของแบบจำลอง RegCM4 ใน
	การจำลองฟลักซ์ความร้อนและลมบริเวณประเทศไทย
โดย	นางสาวพิภพธรา แซ่ชิน
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทมา สิงห์รักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรณพ วิทยากัญจน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทมา สิงห์รักษ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุริยัณฑ์ สาระมูล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรสรณ์ สันตสิริสมบุรณ์)

พิภัทรา แซ่ชิน : การประเมินความสามารถของแบบจำลอง RegCM4 ในการจำลองฟลักซ์ความร้อนและลมบริเวณประเทศไทย (Performance evaluation of RegCM4 to simulate heat fluxes and wind over Thailand) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ปัทมา สิงห์รักษ์, 124 หน้า.

ฟลักซ์ความร้อนและลมเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางทะเล และสภาพภูมิอากาศ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถในการจำลองฟลักซ์ความร้อน และลมในประเทศไทยโดยวิธีการลดขนาดแบบพลวัตด้วยแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM4 จากแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศ EC-EARTH และ MPI-ESM-MR และศึกษาการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนและลมในอนาคตภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารประกอบจากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5 โดยแบ่งภาพการณ์จำลองในอนาคตเป็นสองช่วงระยะเวลา ได้แก่ ช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2020-2049) และช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2070-2099) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองทั้งสองจำลองค่าฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น ฟลักซ์รังสีคลื่นยาว ฟลักซ์ความร้อนแฝง และลมสูงกว่าข้อมูล ERA-Interim ขณะที่ผลการจำลองฟลักซ์ความร้อนสัมผัส ต่ำกว่าข้อมูล ERA-Interim แบบจำลอง MPI-ESM-MR ให้ผลการจำลองฟลักซ์ความร้อน และลมได้ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim มากกว่าแบบจำลอง EC-EARTH ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในอนาคตพบว่าในช่วงอนาคตอันไกลมีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรมากที่สุด โดยเฉพาะภาพการณ์ RCP 8.5 การลดลงของฟลักซ์รังสีคลื่นยาวสุทธิในอนาคตเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสมดุลความร้อน ซึ่งอาจเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ ขณะที่ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นสุทธิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณเมฆในบรรยากาศมีแนวโน้มลดลง ส่วนการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ความร้อนแฝงอาจเป็นผลจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการรองรับไอน้ำในบรรยากาศเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนทั้งสามองค์ประกอบ ส่งผลให้ฟลักซ์ความร้อนรวมในช่วงอนาคตอันไกลภายใต้ภาพการณ์ RCP 8.5 เพิ่มขึ้นประมาณ $7-10 \text{ W/m}^2$ สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศที่ผิวพื้น 3°C การเปลี่ยนแปลงของลมในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย ($\sim 1 \text{ m/s}$) โดยฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะได้รับอิทธิพลของลมจากทางทิศใต้มากขึ้น ขณะที่ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะได้รับอิทธิพลของลมจากทางทิศตะวันออกมากขึ้น ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ความร้อน และลมในอนาคตอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทั้งบนบกและทะเล เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรของน้ำ

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5772080023 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEYWORDS: WIND / THAILAND / DOWNSCALING / REGCM4 / HEAT FLUXES / CLIMATE PROJECTION

PIPATTHRA SAESIN: Performance evaluation of RegCM4 to simulate heat fluxes and wind over Thailand. ADVISOR: ASST. PROF. PATAMA SINGHRUCK, Ph.D., 124 pp.

Heat fluxes and wind are essential factors to oceanic and climatic changes. This study evaluated the performance of heat flux and wind simulations over Thailand by dynamical downscaling with regional climate model, RegCM4 from 2 General Circulation Models (GCMs), EC-EARTH and MPI-ESM-MR, and investigated changes of heat fluxes and wind in the future under the Representative Concentration Pathways (RCPs), RCP 4.5 and RCP 8.5. Future projections were divided to two time periods which are near-future projections (2020-2049) and far-future projections (2070-2099). The results showed that both models overestimated shortwave radiation flux (SWR), longwave radiation flux (LWR), latent heat flux (LHF), and winds, while underestimated sensible heat flux (SHF) when compared with ERA-Interim data. MPI-ESM-MR provided simulations of heat fluxes and wind closer to the ERA-Interim data more than EC-EARTH. Results of future changes indicated that the far-future projections were the most changes of those parameters, particularly the projections under RCP 8.5. Projected decrease in net LWR was an important factor in the changes of heat balance which could arise from increasing greenhouse gases in the atmosphere. SWR trended to increase due to decreasing of cloud cover in the atmosphere. Increasing of LHF might be a result of increasing of air temperature which enhances saturated water vapor capacity. The changes of SWR, LWR and LHF resulted in increases of net heat fluxes in the far-future period under RCP 8.5 by 7-10 W/m², and surface temperature by 3°C. There were few changes of winds in the future (~ 1 m/s). Southerly winds had more influence in southwest monsoon season, whereas, easterly winds had more influence in northeast monsoon season. The changes of heat fluxes and wind in the future might affect terrestrial and marine ecosystems via increased temperature and changes of water cycle.

Department: Marine Science

Student's Signature

Field of Study: Marine Science

Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทมา สิงห์รักษ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือรวมทั้งสนับสนุนด้านต่างๆ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้อย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรณพ วัยกาญจน์ ประธานกรรมการสอบ อาจารย์ ดร. สุริย์พันธ์ สารามูล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรสรณ์ สันตีสิริสมบุญรณ์ คณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ ปรีกษา ตรวจสอบ และแก้ไขข้อผิดพลาดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการการพัฒนาศักยภาพ การวิจัยด้านแบบจำลองภูมิอากาศท้องถิ่นและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย ศูนย์วิจัยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศระดับภูมิภาคและพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยรามคำแหง และโครงการ Southeast Asia Regional Downscaling/Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment-Southeast Asia (SEACLID/CORDEX-Southeast Asia) ซึ่ง อนุเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองวโรกาสที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชทรงเจริญ พระชนมายุครบ 72 พรรษา และ ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยอบรมสั่งสอน สนับสนุน และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าทำให้สามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดียิ่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การแลกเปลี่ยนความร้อน.....	3
2.2 ระบบภูมิอากาศของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศไทย	5
2.3 ความสัมพันธ์ของบรรยากาศและมหาสมุทร.....	6
2.4 แบบจำลองภูมิอากาศ.....	6
2.5 วิธีการลดขนาด (Downscaling)	9
2.6 การศึกษาภูมิอากาศด้วยวิธีการลดขนาดในประเทศไทย.....	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	13
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	13
3.2 ข้อมูล.....	14
3.2.1 ข้อมูลสำรวจจากดาวเทียม (Satellite-based products).....	14
3.2.2 ข้อมูลจากการวิเคราะห์ (Reanalysis products).....	14

3.3 แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศ และการลดขนาดด้วยแบบจำลองภูมิอากาศ ระดับภูมิภาค RegCM4.....	16
3.4 การวิเคราะห์ผล	17
3.4.1 ปัจจัยที่ศึกษา	17
3.4.2 การประเมินชุดข้อมูลพลั๊กซ์ความร้อนจากชุดข้อมูล Reanalysis products.....	18
3.4.3 การวิเคราะห์ผลจากการจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีต.....	19
3.4.4 การวิเคราะห์ผลจากการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต	20
บทที่ 4 ผลการศึกษา และอภิปรายผล	21
4.1 พลั๊กซ์ความร้อน.....	21
4.1.1 ผลการประเมินชุดข้อมูลพลั๊กซ์ความร้อนจากข้อมูลสำรวจดาวเทียมและชุดข้อมูล Reanalysis products ในช่วงปี ค.ศ. 2001-2014.....	21
4.1.1.1 พลั๊กซ์รังสีคลื่นสั้น	21
4.1.1.2 พลั๊กซ์รังสีคลื่นยาว.....	26
4.1.2 ผลการจำลองการแลกเปลี่ยนพลั๊กซ์ความร้อนในอดีต (ค.ศ. 1979-2005).....	30
4.1.2.1 พลั๊กซ์รังสีคลื่นสั้น	30
4.1.2.2 พลั๊กซ์รังสีคลื่นยาว.....	37
4.1.2.3 พลั๊กซ์ความร้อนสัมผัส	44
4.1.2.4 พลั๊กซ์ความร้อนแฝง	51
4.1.3 ผลการจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนในอนาคตภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซ เรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์	60
4.1.3.1 พลั๊กซ์รังสีคลื่นสั้น	60
4.1.3.2 พลั๊กซ์รังสีคลื่นยาว.....	66
4.1.3.3 พลั๊กซ์ความร้อนสัมผัส	71
4.1.3.4 พลั๊กซ์ความร้อนแฝง	75

4.1.3.5 กรณีศึกษาฟลักซ์ความร้อนรวมภายใต้สภาพจำลอง RCP 8.5.....	80
4.2 ลม.....	82
4.2.1 ผลการจำลองลมในอดีต (ค.ศ. 1979-2005).....	82
4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์ลมจากข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005	82
4.2.1.2 ผลการจำลองลมของแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ระหว่าง ปี ค.ศ. 1979-2005.....	85
4.2.1.3 ผลการเปรียบเทียบทิศทางและความเร็วลมระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-M.....	89
4.2.2 ผลการจำลองลมในอนาคตภายใต้ภาพการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและ สารประกอบอื่นจากมนุษย์	95
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ	103
5.1 การประเมินความสามารถในการจำลอง	103
5.2 การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อน และลมในอนาคต	103
5.3 ข้อเสนอแนะ	105
รายการอ้างอิง	106
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	124

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นในอดีต (ค.ศ. 1979-2005) และอนาคต (ค.ศ. 2020-2049 และ ค.ศ. 2070-2099) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5.....	62
ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์รังสีคลื่นยาวในอดีต (ค.ศ. 1979-2005) และอนาคต (ค.ศ. 2020-2049 และ ค.ศ. 2070-2099) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5.....	67
ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อนสัมผัสในอดีต (ค.ศ. 1979-2005) และอนาคต (ค.ศ. 2020-2049 และ ค.ศ. 2070-2099) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5.....	71
ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อนแฝงในอดีต (ค.ศ. 1979-2005) และอนาคต (ค.ศ. 2020-2049 และ ค.ศ. 2070-2099) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5.....	76
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนทั้ง 4 รูป และฟลักซ์ความร้อนรวมจากแบบจำลองภายใต้ภาพจำลอง RCP 8.5 ในช่วงปี ค.ศ. 2020-2049 และ 2070-2099.....	80
ตาราง ก ค่าเฉลี่ยรายฤดูกาลฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น (W/m^2) จากชุดข้อมูล CERES และชุดข้อมูล reanalysis products ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014.....	120
ตาราง ข ค่าเฉลี่ยรายฤดูกาลฟลักซ์รังสีคลื่นยาว (W/m^2) จากชุดข้อมูล CERES และชุดข้อมูล reanalysis products ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014.....	120
ตาราง ค ค่าเฉลี่ยรายฤดูกาลฟลักซ์ความร้อนสัมผัส (W/m^2) จากชุดข้อมูล reanalysis products ระหว่างปี ค.ศ. 1980-2005.....	121

ตาราง ง ค่าเฉลี่ยรายฤดูกาลฟลักซ์ความร้อนแฝง (W/m^2) จากชุดข้อมูล reanalysis products ระหว่างปี ค.ศ. 1980-2005	121
ตาราง จ ค่าเฉลี่ยฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005	122
ตาราง ฉ ค่าเฉลี่ยฟลักซ์รังสีคลื่นยาวระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลองระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005	122
ตาราง ช ค่าเฉลี่ยฟลักซ์ความร้อนสัมผัสระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลองระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005.....	123
ตาราง ฌ ค่าเฉลี่ยฟลักซ์ความร้อนแฝงระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005.....	123



สารบัญรูป

รูปที่ 3.1	พื้นที่ศึกษาสำหรับการจำลอง และการประเมินชุดข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง.....	14
รูปที่ 4.1	พล็อตรังสีคลื่นสั้นจากข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b) ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014	22
รูปที่ 4.2	ผลการเปรียบเทียบพล็อตรังสีคลื่นสั้นระหว่างข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES และข้อมูล reanalysis product ทั้งสามชุดข้อมูล ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างปี ค.ศ. 2001-20014.....	25
รูปที่ 4.3	พล็อตรังสีคลื่นยาวจากข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b) ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014	26
รูปที่ 4.4	ผลการเปรียบเทียบพล็อตรังสีคลื่นยาวระหว่างข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES และข้อมูล reanalysis product ทั้งสามชุดข้อมูล ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ระหว่างปี ค.ศ. 2001-20014	29
รูปที่ 4.5	พล็อตรังสีคลื่นสั้นจากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b).....	31
รูปที่ 4.6	พล็อตรังสีคลื่นสั้นจากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	33
รูปที่ 4.7	ผลการเปรียบเทียบพล็อตรังสีคลื่นสั้นระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	35
รูปที่ 4.8	ปริมาณพล็อตรังสีคลื่นสั้นเฉลี่ยรายเดือนระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 (a) พล็อตเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน (b) และพล็อตเฉลี่ยเหนือผิวนทะเล (c).....	36
รูปที่ 4.9	พล็อตรังสีคลื่นยาวจากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b).....	38

รูปที่ 4.10	ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	40
รูปที่ 4.11	ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์รังสีคลื่นยาวระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	42
รูปที่ 4.12	ปริมาณฟลักซ์รังสีคลื่นยาวเฉลี่ยรายเดือนระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 (a) ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน (b) และฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล (c).....	43
รูปที่ 4.13	ฟลักซ์ความร้อนสัมผัส จากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b)	45
รูปที่ 4.14	ฟลักซ์ความร้อนสัมผัส จากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)	47
รูปที่ 4.15	ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อนสัมผัส ระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลองระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	49
รูปที่ 4.16	ปริมาณฟลักซ์ความร้อนสัมผัส เฉลี่ยรายเดือนระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 (a) ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน (b) และฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล (c).....	50
รูปที่ 4.17	ฟลักซ์ความร้อนแฝง จากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b).....	53
รูปที่ 4.18	ฟลักซ์ความร้อนแฝง จากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	55
รูปที่ 4.19	ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อนแฝง ระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลองระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	58
รูปที่ 4.20	ปริมาณฟลักซ์ความร้อนแฝง เฉลี่ยรายเดือนระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 (a) ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน (b) และฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล (c).....	59

- รูปที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)..... 63
- รูปที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)..... 64
- รูปที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยรายเดือนฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น (คอลัมน์ที่ 1) ฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือแผ่นดิน (คอลัมน์ที่ 2) และฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือผิวนทะเล (คอลัมน์ที่ 3) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5 65
- รูปที่ 4.24 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นยาวในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)..... 68
- รูปที่ 4.25 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นยาวในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)..... 69
- รูปที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยรายเดือนฟลักซ์รังสีคลื่นยาว (คอลัมน์ที่ 1) ฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือแผ่นดิน (คอลัมน์ที่ 2) และฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือผิวนทะเล (คอลัมน์ที่ 3) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5 70

รูปที่ 4.27 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์ความร้อนรูป sensible heat ในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)..... 72

รูปที่ 4.28 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์ความร้อนรูป sensible heat ในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5) 73

รูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยรายเดือนฟลักซ์ความร้อนรูป sensible heat (คอลัมน์ที่ 1) ฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือแผ่นดิน (คอลัมน์ที่ 2) และฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือผิวนทะเล (คอลัมน์ที่ 3) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5 74

รูปที่ 4.30 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์ความร้อนรูป latent heat ในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5) 77

รูปที่ 4.31 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์ความร้อนรูป latent heat ในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 78

รูปที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยรายเดือนฟลักซ์ความร้อนรูป sensible heat (คอลัมน์ที่ 1) ฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือแผ่นดิน (คอลัมน์ที่ 2) และฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือผิวนทะเล (คอลัมน์ที่ 3) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5 79

รูปที่ 4.33	ค่าเฉลี่ยรายเดือนของฟลักซ์ความร้อนรวม และอุณหภูมิพื้นผิวภายใต้ภาพจำลอง RCP 8.5 จากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ในปี ค.ศ. 2020-2049 (a, c) และปี ค.ศ. 2070-2099 (b, d).....	81
รูปที่ 4.34	ทิศทางและความเร็วลมจากข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b).....	83
รูปที่ 4.35	องค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตก (a, b) และองค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ (c, d) จากข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	84
รูปที่ 4.36	ทิศทางและความเร็วลมจากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และ MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	86
รูปที่ 4.37	องค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกจากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และ MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	87
รูปที่ 4.38	องค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้จากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และ MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	88
รูปที่ 4.39	ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	90
รูปที่ 4.40	ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	91
รูปที่ 4.41	ผลการเปรียบเทียบความเร็วลมระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลองทั้งสองแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d).....	92

- รูปที่ 4.42 ค่าเฉลี่ยรายเดือนขององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตก (a) และ องค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ (b) จากข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005..... 94
- รูปที่ 4.43 ผลการเปรียบเทียบการจำลององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกในอดีต และอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 และปี ค.ศ. 2070-2099 ในฤดูมรสุม ตะวันออกเฉียงใต้ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)..... 97
- รูปที่ 4.44 ผลการเปรียบเทียบการจำลององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกในอดีต และอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 และปี ค.ศ. 2070-2099 ในฤดูมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)..... 98
- รูปที่ 4.45 ผลการเปรียบเทียบการจำลององค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ในอดีตและอนาคต จากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 และปี ค.ศ. 2070-2099 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)..... 99
- รูปที่ 4.46 ผลการเปรียบเทียบการจำลององค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ในอดีตและอนาคต จากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 และปี ค.ศ. 2070-2099 ในฤดูมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)... 100
- รูปที่ 4.47 ผลการเปรียบเทียบการจำลองความเร็วลมในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 และปี ค.ศ. 2070-2099 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ภายใต้ภาพจำลองการ ปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)..... 101

รูปที่ 4.48 ผลการเปรียบเทียบการจำลองความเร็วลมในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 และปี ค.ศ. 2070-2099 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5) 102



บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี

รายงาน Fifth Assessment Report (AR5) ของ The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) คาดการณ์ว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกจะทำให้เหตุการณ์รุนแรงด้านภูมิอากาศ (Extreme events) มากขึ้น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ความหลากหลายทางชีวภาพ ระบบนิเวศ ทรัพยากรน้ำ รวมทั้งพื้นที่ชายฝั่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทวีปเอเชียที่จะมีความแปรปรวนของฤดูมรสุมมากขึ้นในอนาคต เพื่อรับมือกับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต จึงควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทยมากขึ้น โดยโครงการ Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) ได้รวบรวมแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศ (General Circulation Models: GCMs) หลายแบบจำลองเพื่อการประเมิน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตให้แก่ IPCC ในรายงาน AR5 แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศเป็นการจำลองกระบวนการทางกายภาพในบรรยากาศโดยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองภูมิอากาศไม่เพียงแต่เป็นการจำลองกระบวนการที่เกิดขึ้นในบรรยากาศเท่านั้น แต่ยังจำลองกระบวนการแลกเปลี่ยน ระหว่างบรรยากาศ มหาสมุทร และแผ่นดิน (Air-Sea-Land Interaction) ทำให้การจำลองสภาพภูมิอากาศสามารถช่วยอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรได้ แต่ด้วยข้อจำกัดของแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศมีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำ ทำให้ไม่สามารถแสดงลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางภูมิอากาศในระดับภูมิภาคได้ จึงมีการพัฒนาวิธีการลดขนาดแบบจำลอง (Downscaling) ขึ้นเพื่อให้แบบจำลองมีความละเอียดเชิงพื้นที่มากขึ้นในพื้นที่ที่ศึกษา และยังสามารถแสดงลักษณะทางภูมิศาสตร์ระดับท้องถิ่น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของระบบภูมิอากาศระดับท้องถิ่นได้ แบบจำลองที่ได้จากการลดขนาดเรียกว่าแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Models: RCMs) เนื่องจากประเทศไทยมีลักษณะภูมิประเทศซับซ้อน อยู่ในภูมิภาคเขตร้อนมีลักษณะชายฝั่งยาว และยังได้รับอิทธิพลของระบบลมมรสุมเอเชีย-ออสเตรเลีย (Asian-Australian Monsoon System) ทำให้ประเทศไทยมีลักษณะภูมิอากาศเฉพาะ การลดขนาดแบบจำลองจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และทะเล การศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทยโดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาคยังไม่แพร่หลาย และการจำลองยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้ศึกษาส่วนใหญ่มีปัจจัยเชิงฟิสิกส์บางประการที่ยังไม่เหมาะสมต่อการจำลองภูมิอากาศในเขตร้อน แต่ปัจจุบันแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค

Regional Climate Model version 4 (RegCM4) เป็นหนึ่งในแบบจำลองที่มีการพัฒนาเพื่อให้สามารถจำลองภูมิอากาศในเขตร้อนได้ นอกจากนี้การศึกษาที่ผ่านมาแล้วยังไม่ค่อยมีการศึกษาตัวแปรทางภูมิอากาศที่ส่งผลต่อทะเล เช่น ลม การแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อน ดังนั้นการประเมินการลดขนาดแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปโดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาคจึงมีความสำคัญต่อการศึกษาและพัฒนาการจำลองภูมิอากาศในประเทศไทย และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางทะเลอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ประเมินความสามารถในการจำลองลมและการแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณประเทศไทยของวิธีการลดขนาดเชิงพลวัตด้วยแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM4 จากแบบจำลองไหลเวียนทั่วไปในบรรยากาศ 2 แบบจำลอง คือ แบบจำลอง EC-EARTH และแบบจำลอง Max-Planck Earth System Model running on Medium Range (MPI-ESM-MR)

2. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลมและการแลกเปลี่ยนความร้อนในอนาคตบริเวณประเทศไทยภายใต้ภาพการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5 โดยใช้วิธีการลดขนาดเชิงพลวัตด้วยแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM4

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานวิจัย

เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาประเมินผลกระทบ และการปรับตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแลกเปลี่ยนความร้อน

การแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญที่ขับเคลื่อนระบบภูมิอากาศของโลก การศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงเป็นส่วนสำคัญต่อการศึกษากระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างบรรยากาศและมหาสมุทร การศึกษาอุทกศาสตร์ และช่วยปรับปรุงการจำลองภูมิอากาศ รูปแบบของความร้อนสามารถแบ่งออกได้ 4 รูปแบบ คือ (1) รังสีคลื่นสั้น (shortwave radiation) เป็นพลังงานที่โลกได้รับจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และเป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่มากที่สุดที่โลกได้รับ (2) รังสีคลื่นยาว (longwave radiation) เกิดจากการแผ่รังสีของพื้นผิวโลก เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและบรรยากาศ (3) ความร้อนสัมผัส (sensible heat) ความร้อนจากการนำและพาความร้อน (4) ความร้อนแฝง (latent heat) ความร้อนจากการเปลี่ยนสถานะของน้ำ (Wang & Dickinson, 2012)

ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พลาซมรังสีคลื่นสั้นที่พื้นผิวจะมีปริมาณสูงในช่วงก่อนฤดูมรสุม ระหว่างเดือนมีนาคม-เมษายนหลังจากนั้นปริมาณจะลดลง จากการศึกษาพลาซมรังสีคลื่นสั้นโดยใช้ชุดข้อมูล The modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications (MERRA) (Bosilovich et al., 2015) พบปริมาณคลื่นสั้นในช่วงฤดูมรสุมทั้งสองฤดู (ช่วงระหว่างเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ และช่วงเดือนมิถุนายน-สิงหาคม) มีปริมาณน้อยที่สุด (Kambeizidis et al., 2012) ขณะที่ข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียม J-OFURO จาก the School of Marine Science and Technology, Tokai University พบว่าปริมาณรังสีคลื่นสั้นในอ่าวไทยจะน้อยที่สุดในเดือนตุลาคม นอกจากนี้ยังพบว่าความแตกต่างของรังสีคลื่นยาวระหว่างสองฤดูมรสุมในภูมิภาคนี้ไม่แตกต่างกันมากในพื้นที่อ่าวไทย โดยมีปริมาณน้อยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เนื่องจากการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวในฤดูนี้ถูกจำกัดด้วยปริมาณเมฆและไอน้ำที่มีมากในบรรยากาศ ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายกับแก๊สเรือนกระจก ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปของรังสีคลื่นยาวไม่สามารถถ่ายเทไปยังบรรยากาศได้ (พนธิภา เลือดนกรบ และอนุกุล บูรณประทีปรัตน์, 2555) การเปลี่ยนแปลงพลาซมรังสีคลื่นสั้นที่ผ่านมามีแนวโน้มลดลงในช่วงปี ค.ศ. 1950-1980 และจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในบางพื้นที่หลังจากนั้น ในภูมิภาคเอเชียมีการศึกษาในประเทศญี่ปุ่น และประเทศจีน ซึ่งพลาซมรังสีคลื่นสั้นที่พื้นผิวมีแนวโน้มลดลง (Hartmann et al., 2013; Kudo et al., 2011; Ohmura, 2009; Norris & Wild, 2009; Shi et al., 2008; Xia, 2010) ยกเว้นบางพื้นที่ของประเทศ

ญี่ปุ่นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น (Hartmann et al., 2013; Norris & Wild, 2009; Ohmura, 2009; Kudo et al., 2011)

ความแตกต่างของฟลักซ์ความร้อนสัมผัส บริเวณเหนือพื้นทวีปและเหนือพื้นน้ำในช่วงก่อนฤดูมรสุมมีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาของมรสุม ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียง ฟลักซ์ความร้อนสัมผัสเหนือพื้นทวีปจะมากกว่าฟลักซ์เหนือพื้นทะเล โดยฟลักซ์เหนือพื้นทวีปจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่เดือนมกราคมจนถึงเดือนพฤษภาคมซึ่งมีปริมาณฟลักซ์ความร้อนมากที่สุด หลังจากนั้นฟลักซ์ความร้อนจะค่อยๆ ลดลงจนต่ำสุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ขณะที่ฟลักซ์เหนือผิวนทะเลจะตรงข้ามกับฟลักซ์เหนือแผ่นดิน กล่าวคือฟลักซ์เหนือผิวนทะเลจะมีปริมาณมากที่สุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จากนั้นจะลดลงจนกระทั่งเข้าสู่ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และเพิ่มขึ้นอีกครั้ง (Lee et al., 2011)

ความร้อนแฝง มีความสำคัญในช่วงฤดูมรสุมโดยทำหน้าที่เป็นปัจจัยควบคุมความแรงของมรสุม จาก Bulk Aerodynamic Algorithms ความร้อนแฝง จะขึ้นอยู่กับความเร็วลมและความต่างของความชื้นจำเพาะระหว่างบรรยากาศและมหาสมุทร (Zeng et al., 1998) แต่จากการศึกษาที่ผ่านมาในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature) เป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับความร้อนแฝง (Lee et al., 2011; Sui et al., 1991; Zhang & McPhaden, 1995) จากการศึกษาข้อมูล Tropical Rain Measuring Mission Microwave Imager (TMI) พบปริมาณฟลักซ์ความร้อนในรูปของ latent heat ปริมาณมาก กระจายตัวในพื้นที่ชายฝั่งตะวันตกของทะเลจีนใต้ ชายฝั่งตะวันออกของเวียดนาม และในอ่าวไทยในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Zeng et al., 2009) ซึ่งต่างจากข้อมูลดาวเทียม J-OFURO ที่แสดงฟลักซ์ความร้อนแฝง ในพื้นที่อ่าวไทย ซึ่งจะมีปริมาณสูงในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และปริมาณต่ำในช่วงเดือนตุลาคม (พนธิภา เลื่อนนักรบ และอนุกุล บุรณประทีปรัตน์, 2555) นอกจากนี้ข้อมูล TMI ยังแสดงปริมาณฟลักซ์ความร้อนสูงทางฝั่งตะวันออกของทะเลจีนใต้ โดยปัจจัยที่สำคัญต่อฟลักซ์ความร้อนแฝง คือ ความชื้นจำเพาะ และความเร็วลม (Zeng et al., 2009)

การเปลี่ยนแปลงสมดุลพลังงานในระบบภูมิอากาศนี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ การศึกษาที่ผ่านมาภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิด้วยอัตรา $0.14-0.20^{\circ}\text{C}$ ต่อทศวรรษ ตั้งแต่ทศวรรษที่ 1960 (Tangang et al., 2007) ปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น 22 มิลลิเมตรต่อทศวรรษ (Alexander et al., 2006; Caesar et al., 2011) ขณะที่ประเทศไทยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิประมาณ $1-3^{\circ}\text{C}$ ขณะที่ปริมาณน้ำฝนมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันในแต่ละการศึกษา (จิรสรณ์ สันตีสิริสมบุรณ์ และคณะ, 2558,2560; เจียมใจ เครือสุวรรณ และคณะ, 2553; Chinvano & Snidvongs, 2005; Manomaiphiboon et al., 2013)

2.2 ระบบภูมิอากาศของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และประเทศไทย

ลักษณะภูมิอากาศของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้รับอิทธิพลจากระบบลมมรสุมเอเชีย-ออสเตรเลีย (Asian-Australian Monsoon System) ระบบลมมรสุมนี้เกิดจากความแตกต่างของฟลักซ์ความร้อนเหนือพื้นผิวทวีปและเหนือพื้นผิวน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปของ sensible heat และ latent heat ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิและความกดอากาศในภูมิภาคนี้ (Clemens et al., 1991; Webster, 1987) ความแตกต่างของฟลักซ์ความร้อนส่งผลให้เกิดความแตกต่างของความกดอากาศเหนือทวีปเอเชีย และความกดอากาศเหนือมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิก โดยสามารถแบ่งได้ 2 ฤดูกาล คือ

(1) ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือฤดูฝน ในช่วงเดือนพฤษภาคม-กันยายน การเคลื่อนตัวของมวลอากาศเย็น (ความกดอากาศสูง) เหนือแผ่นทวีปออสเตรเลียและมหาสมุทรอินเดียไปยังแผ่นทวีปเอเชียที่มีมวลอากาศอุ่นกว่า (ความกดอากาศต่ำ) ประกอบกับแรงโคริโอลิสทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ลมมรสุมจะพัดพาความชื้นจากมหาสมุทรอินเดียเข้าสู่ประเทศไทย ทำให้มีปริมาณฝนมากในช่วงนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ทางฝั่งตะวันตกของประเทศ

(2) ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือฤดูแล้ง ในช่วงเดือนพฤศจิกายน-มกราคม มีการเคลื่อนตัวของมวลอากาศเย็น (ความกดอากาศสูง) เหนือแผ่นทวีปเอเชียไปยังมหาสมุทรอินเดียที่มีความกดอากาศต่ำกว่า (มวลอากาศร้อน) ประกอบกับอิทธิพลของแรงโคริโอลิส ทำให้เกิดลมพัดจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมจะพัดพามวลอากาศเย็นจากแผ่นทวีปมายังประเทศไทยทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีอากาศเย็น ขณะเดียวกันลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือก็ยังพัดพาความชื้นจากทะเลจีนใต้และอ่าวไทยเข้าสู่ภาคใต้ของประเทศไทยทำให้ภาคใต้มีฝนตกชุกในช่วงฤดูมรสุมนี้ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2554; McGregor & Nieuwolt, 1998; Snidvongs, 1998)

ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีลักษณะภูมิประเทศที่ซับซ้อน มีแนวชายฝั่งยาว มีเทือกเขาในบางพื้นที่ ประกอบกับเกาะเล็กๆ ที่กระจายอยู่ในพื้นที่ต่างๆ เช่นเดียวกับประเทศไทยมีซึ่งมีแนวเทือกเขาในภาคเหนือ ที่ราบสูงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่ราบและภูเขากระจายตัวในภาคกลางและภาคตะวันออก ส่วนในภาคใต้มีภูมิประเทศที่เป็นแนวชายฝั่งยาวและยังมีแนวเทือกเขาในบางพื้นที่ ทำให้ลักษณะภูมิอากาศในประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากทั้งทะเลและแผ่นดิน ประเทศไทยอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อน มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ตามฤดูกาล ซึ่งเป็นตัวควบคุมการไหลเวียนอากาศ และยังได้รับอิทธิพลระบบลมมรสุมเอเชีย-ออสเตรเลีย ด้วยเหตุนี้ทำให้ลักษณะ

ภูมิอากาศในประเทศไทยมีลักษณะเฉพาะ แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาคจึงมีบทบาทสำคัญต่อการศึกษาการสภาพภูมิอากาศในภูมิภาคนี้

2.3 ความสัมพันธ์ของบรรยากาศและมหาสมุทร

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าบรรยากาศและมหาสมุทรมีความสัมพันธ์กัน โดยมหาสมุทรทำหน้าที่เป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และความร้อนจากบรรยากาศ (Sen Gupta & McNeil, 2012) ลม และการแลกเปลี่ยนความร้อนยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อภูมิอากาศ และการไหลเวียนของกระแส (Buranapratheprat et al., 2008) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงในบรรยากาศย่อมส่งผลต่อมหาสมุทร ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในบรรยากาศทำให้มหาสมุทรต้องดูดซับความร้อนจากบรรยากาศเพิ่มขึ้น อุณหภูมิน้ำทะเลจึงเพิ่มสูงขึ้น น้ำทะเลมีการขยายตัวเนื่องจากความร้อน ทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นด้วย (Domingues et al., 2008) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำทะเลยังส่งผลต่อการแบ่งชั้นของน้ำตามระดับความลึก (stratification) รวมทั้งระดับของชั้นเทอร์โมไคลน์ (thermocline) (Sen Gupta & McNeil, 2012) ลมมรสุมยังเป็นตัวขับเคลื่อนรูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำที่ผิว (Snidvongs, 1998) และคลื่นผิวน้ำ (Hemer et al., 2013) ซึ่งมีส่วนสำคัญในกระบวนการการแลกเปลี่ยนระหว่างบรรยากาศและมหาสมุทร (Air-Sea Interaction) (Melville, 1996) นอกจากนี้ปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole (IOD) ปรากฏการณ์ Madden-Julian Oscillation (MJO) และปรากฏการณ์ El-Nino Southern Oscillation (ENSO) ยังส่งผลต่อภูมิอากาศในประเทศไทยอีกด้วย (Behera et al., 2013; McGregor & Nieuwolt, 1998; Sen Gupta & McNeil, 2012) จะเห็นได้ว่าลม และการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และการไหลเวียนในมหาสมุทร

2.4 แบบจำลองภูมิอากาศ

แบบจำลองภูมิอากาศเป็นการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่รวบรวมกระบวนการการเปลี่ยนแปลงทางอุณหพลศาสตร์ของบรรยากาศและกระบวนการทางสมุทรศาสตร์ไว้ด้วยกัน โดยโครงการ Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) ภายใต้ World Climate Research Programme (WCRP) Working Group on Coupled Modelling (WGCM) ได้รวบรวมแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศ (General Circulation Models: GCMs) หลายๆ แบบจำลอง และพัฒนาแก้ข้อผิดพลาดของแบบจำลองเพื่อให้สามารถจำลองลักษณะภูมิอากาศของโลกได้ดียิ่งขึ้น โดยมีแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศในโครงการมากถึง 61 แบบจำลอง จากทั้งหมด 21 สถาบันทั่วโลก ผลของแบบจำลองจากโครงการนี้ได้ถูกนำไปใช้เพื่อ

ประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกโดย Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ในรายงาน Assessment Report 5 (AR5) (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2013)

แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงและกระบวนการในบรรยากาศ มหาสมุทร น้ำแข็ง และพื้นดิน โดยอาศัยหลักการการอนุรักษ์พลังงานของโลก แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศเป็นแบบจำลองสามมิติ มีความละเอียดเชิงพื้นที่ตั้งแต่ 250-600 กิโลเมตร มีจำนวนชั้นในแนวตั้ง (vertical layers) อยู่ระหว่าง 10-20 ชั้น และอาจมากถึง 30 ชั้นในมหาสมุทร (จิรสรณ์ สันตีสิริสมบูรณ์ และคณะ, 2544; อำนาจ ชิดไธสง และคณะ, 2553; IPCC Data Distribution Centre, 2013; Warner, 2011) แบบจำลองได้รวมกระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อบรรยากาศ การแลกเปลี่ยนระหว่างบรรยากาศ มหาสมุทร และพื้นดิน (Air-Sea-Land Interaction) เพื่อให้แบบจำลองสามารถจำลองสภาพภูมิอากาศได้อย่างถูกต้องใกล้เคียงกับธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการทางกายภาพหลายกระบวนการที่เกิดขึ้นในระดับเล็ก หรือกระบวนการไม่สามารถจำลองและอธิบายได้อย่างชัดเจน เช่น กระบวนการการเกิดเมฆ กระบวนการแลกเปลี่ยนหยดน้ำภายในเมฆ นั้นยังไม่สามารถใช้คณิตศาสตร์จำลองกระบวนการขึ้นมาได้ จึงจำเป็นต้องมีวิธีการ parameterization เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ทางด้านพื้นที่และเวลา (IPCC Data Distribution Centre, 2013; อำนาจ ชิดไธสง และคณะ, 2553) โดยทั่วไปกระบวนการที่เกี่ยวข้องที่สำคัญต่อการจำลองสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันออกไป จึงควรศึกษารูปแบบของกระบวนการที่เกี่ยวข้องที่เหมาะสมต่อการจำลองสภาพภูมิอากาศในพื้นที่นั้นๆ ด้วย นอกจากนี้แบบจำลองแต่ละแบบจำลองต่างก็มีทฤษฎี วิธีการ รวมทั้งข้อมูลในการประมวลแตกต่างกัน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้การจำลองสภาพภูมิอากาศในพื้นที่เดียวกันในแต่ละแบบจำลองมีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง เพื่อเลือกแบบจำลองที่สามารถจำลองภูมิอากาศในพื้นที่ที่ศึกษาได้ดี (Siew et al., 2013; Warner, 2011) ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองสามารถทำได้โดยให้แบบจำลองทำการจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีต และเปรียบเทียบผลการจำลองกับข้อมูลการสำรวจ โดยนำสถิติและดัชนีชี้วัดต่างๆ มาช่วยในการวิเคราะห์ (Warner, 2011)

แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศยังสามารถสร้างสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตได้ โดยทาง IPCC ได้ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ในศตวรรษที่ 20 ซึ่งส่งผลกระทบต่อความร้อนในระบบ (Radiative Forcing) ที่โลกจะได้รับ และได้รายงานในรายงาน AR5 โดยแสดงเป็นภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์ (Representative Concentration Pathways: RCPs) โดยใช้ปริมาณก๊าซเรือนกระจก

ละอองลอย (Aerosol) และการใช้ประโยชน์พื้นที่เป็นข้อมูลในการคาดการณ์ ซึ่งแบ่งเป็น 4 สถานการณ์ ได้แก่ (1) RCP 2.6 โลกจะมีพลังงานความร้อนในระบบภูมิอากาศเพิ่มขึ้น 2.6 W/m^2 ก่อนสิ้นสุดศตวรรษที่ 20 จากนั้นจะลดลง (2) RCP 4.5 โลกจะมีพลังงานความร้อนในระบบภูมิอากาศเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อสิ้นสุดศตวรรษที่ 20 พลังงานความร้อนในระบบภูมิอากาศจะเพิ่มขึ้น 4.5 W/m^2 โดยหลังจากศตวรรษที่ 20 พลังงานความร้อนจะคงที่ (3) RCP 6.0 โลกจะมีพลังงานความร้อนในระบบภูมิอากาศเพิ่มขึ้นเรื่อย และเมื่อสิ้นสุดศตวรรษที่ 20 พลังงานความร้อนในระบบภูมิอากาศจะเพิ่มขึ้น 6.0 W/m^2 โดยหลังจากศตวรรษที่ 20 พลังงานความร้อนจะคงที่ (4) RCP 8.5 โลกจะมีพลังงานความร้อนในระบบภูมิอากาศเพิ่มขึ้น 8.5 W/m^2 เมื่อสิ้นสุดศตวรรษที่ 20 (IPCC, 2013)

การเปลี่ยนแปลงสมดุลพลังงานในระบบภูมิอากาศนี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระบบลมมรสุม (Behera et al., 2013) และการแลกเปลี่ยนความร้อน (Sen Gupta & McNeil, 2012) ผลการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต จากการแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศจากโครงการ CMIP5 พบว่าในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมากกว่า 3°C ในช่วงปลายศตวรรษที่ 21 นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิผิวทะเลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น (Hijioka et al., 2014) ซึ่งส่งผลให้ลุ่มน้ำเจ้าพระยามีปริมาณน้ำลดลง (Champathong et al., 2013) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน อัตราการระเหยความสามารถในการรองรับน้ำของลุ่มน้ำ (Hijioka et al., 2014) รวมทั้งปริมาณการใช้น้ำของคนในพื้นที่โดยรอบที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และความต้องการน้ำในภาคเกษตรกรรม (Lal, 2011) ผลกระทบต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลงในนาข้าวชลประทาน แต่ผลผลิตข้าวในนาข้าวน้ำฝนมีมากขึ้น (จิรสรณ์ สันตสิริสมบูรณ์ และคณะ, 2558) นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อพื้นที่ลุ่มต่ำ ระบบนิเวศชายฝั่งที่จะได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและอุณหภูมิผิวทะเล และการรุกคืบของน้ำทะเล ส่งผลให้พื้นที่อยู่อาศัยของปลา และปะการังจะมีการเคลื่อนขึ้นไปทางเหนือมากขึ้น (Tseng et al., 2011; Okunishi et al., 2012; Tian et al., 2012; Yara et al., 2012) การกระจายตัว ความชุกชุม และลักษณะทางกายภาพของปลาเปลี่ยนแปลงไป (Cheung et al., 2013) ผลกระทบเหล่านี้ส่งผลให้ประเทศไทยสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจเฉลี่ย 2.2% ของ GDP เมื่อสิ้นสุดศตวรรษนี้ (IPCC, 2007; ADB, 2009; UNFCCC, 2009; Begum et al., 2011)

อย่างไรก็ตามการใช้แบบจำลองเพื่อทำนายลักษณะภูมิอากาศในอนาคตยังคงมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้น ซึ่งมีสาเหตุจาก (1) ความไม่แน่นอนของแบบจำลอง (Model Uncertainty) เกิดได้

จากความเข้าใจที่ยังไม่สมบูรณ์ในระบบภูมิอากาศ และสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ (2) ความผันแปรของระบบภูมิอากาศ (Natural Climate Variability) และ (3) ความไม่แน่นอนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emissions Uncertainty) (UK Climate Projection, 2014; Webster & Sokolov, 2000) และเพื่อจัดการกับความไม่แน่นอนซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้นี้ จึงควรศึกษาผลจากแบบจำลองหลายๆ แบบจำลอง และควรทำการศึกษาความอ่อนไหว (sensitivity) แต่ละแบบจำลองด้วย

2.5 วิธีการลดขนาด (Downscaling)

แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศมีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำ ทำให้เกิดปัญหาในการศึกษาในพื้นที่ขนาดเล็ก โดยแบบจำลองไม่สามารถแสดงลักษณะภูมิประเทศท้องถิ่นซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อภูมิอากาศได้ การจำลองสภาพภูมิอากาศจึงไม่เป็นจริงตามธรรมชาติ และเพื่อแก้ปัญหาเชิงพื้นที่ที่เกิดขึ้นจึงมีการพัฒนาวิธีการลดขนาด (Downscaling) เพื่อให้ได้แบบจำลองภูมิอากาศที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ในพื้นที่ศึกษามากขึ้น

วิธีการลดขนาด แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ (1) การลดขนาดโดยวิธีการทางสถิติ (Statistical downscaling) โดยมีข้อสมมติฐานที่ว่าความสัมพันธ์ของตัวทำนาย (predictor) และตัวถูกทำนาย (predictand) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในอนาคต วิธีการนี้จึงเหมาะสมกับการศึกษาในพื้นที่ขนาดเล็ก และมีข้อมูลตรวจวัดที่สมบูรณ์ (2) การลดขนาดโดยวิธีทางพลวัต (Dynamical downscaling) เป็นวิธีที่นำความซับซ้อนของภูมิอากาศมาเป็นตัวแปร และใช้สมการทางคณิตศาสตร์อธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้น แบบจำลองที่ใช้วิธีการลดขนาดทางพลวัตนี้จะเรียกว่า แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Models: RCMs) ซึ่งต้องอาศัยเงื่อนไขเริ่มต้น (initial conditions) เงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) จากแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศ ในการวิเคราะห์ประมวลผล (อำนาจ ชิดไธสง และคณะ, 2553; Mearns, 2009) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ในการคำนวณมาก (อำนาจ ชิดไธสง และคณะ, 2553; Warner, 2011) อย่างไรก็ตามแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศที่เลือกใช้ในการลดขนาดยังส่งผลต่อการจำลอง และเพื่อเป็นการลดข้อผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นการเลือกแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศจึงมีความสำคัญ และควรเลือกแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่สามารถแสดงลักษณะภูมิอากาศเฉพาะพื้นที่ที่สนใจได้ (Siew et al., 2013; Warner, 2011)

แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM4 เป็นแบบจำลองที่ใช้วิธีการลดขนาดทางพลวัตพัฒนาขึ้นโดย National Center for Atmospheric Research (NCAR) เพื่อการจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาคในระยะยาว ปัจจุบันแบบจำลอง RegCM4 เป็นรุ่นล่าสุด โดยมีจุดประสงค์

เพื่อจำลองภูมิอากาศในเขตร้อน และมีการเพิ่มปัจจัยทางกายภาพใหม่ๆ ที่ส่งผลต่อภูมิอากาศในแบบจำลอง (Giorgi et al., 2012) ทำให้สามารถจำลองภูมิอากาศในเขตร้อนได้ดีขึ้น ใกล้เคียงธรรมชาติมากขึ้น (Coppola et al., 2012; Giorgi et al., 2012) และมีประสิทธิภาพในการจำลองนำเชื่อถือกว่ารุ่นก่อน (Giorgi et al., 2012) นอกจากนี้แบบจำลอง RegCM4 ยังสามารถจำลองปรากฏการณ์ที่เกิดตามฤดูกาลหรือในรอบปีได้ดี (Giorgi & Anyah, 2012) อย่างไรก็ตามแบบจำลองยังคงต้องปรับปรุง Physical parameterization scheme ที่เหมาะสมสำหรับการเกิดฝนในเขตร้อน (Hassan, 2014)

แบบจำลอง RegCM4 เป็นแบบจำลอง Hydrostatic, sigma-vertical coordinate จำลองการถ่ายเทเปลี่ยนพลังงาน (Radiative transfer) จากแบบจำลอง CCM3 (Kiehl et al., 1998) มีรูปแบบการก่อตัวของเมฆ (Convective Parameterization Schemes) 3 รูปแบบซึ่งได้แก่ (1) รูปแบบ Kuo (Anthes, 1997) รูปแบบนี้เมฆจะก่อตัวเมื่อมีการยกตัวของมวลอากาศที่มีความชื้นและมวลอากาศมีลักษณะ Convectively unstable ทำให้มีการควบแน่นของไอน้ำเป็นหยดน้ำ (2) รูปแบบ Grell (Grell, 1993) เมฆจะก่อตัวก็ต่อเมื่อความชื้นในมวลอากาศมีมากเพียงพอ และมวลอากาศไม่มีการผสมผสานกัน (3) รูปแบบ MIT-Emanuel (Emanuel, 1991; Emanuel & Zivkovic-Rothman, 1999) มวลอากาศจะมีการผสมผสานกันเป็นในบางระดับ และมวลอากาศจะยกตัวขึ้นเมื่อมวลอากาศหนาแน่นน้อยกว่าสิ่งแวดล้อม รูปแบบการเปลี่ยนแปลงทางมหาสมุทร (Ocean fluxes) ในแบบจำลอง RegCM4 มี 2 รูปแบบ ซึ่งได้แก่ รูปแบบ Biosphere-Atmosphere Transfer (BATS) (Dickinson et al., 1993) และรูปแบบ Zeng (Zeng et al., 1998) โดยรูปแบบ BATS จะคำนวณการเปลี่ยนแปลงทางมหาสมุทรโดยไม่คำนึงถึงพื้นที่ที่มีมวลอากาศยกตัว ขณะที่รูปแบบ Zeng จะคำนึงถึงการถ่ายเทความร้อนในรูป Sensible and Latent heat รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมระหว่างผิวหน้าทะเลและบรรยากาศชั้นล่างด้วย

การศึกษาลดขนาดด้วยแบบจำลอง RegCM4 ในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบว่ารูปแบบการก่อตัวของเมฆที่เหมาะสม คือ MIT-Emanuel (Emanuel, 1991; Juneng et al., 2016) ขณะที่รูปแบบการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ของมหาสมุทรแต่ละรูปแบบให้ผลการจำลองไม่แตกต่างกันมากนัก (Li et al., 2015) โดยรูปแบบ BATS เป็นรูปแบบที่จำลองได้ดีที่สุด (Juneng, et al., 2016) จากการศึกษาของ Li et al. (2015) พบว่า Land surface Model แบบ Community Land Model (CLM) (Oleson et al., 2008) สามารถจำลองลักษณะภูมิอากาศได้ดีกว่ารูปแบบ Biosphere-Atmosphere Transfer (BATS) (Dickinson et al., 1993)

2.6 การศึกษาภูมิอากาศด้วยวิธีการลดขนาดในประเทศไทย

การศึกษาภูมิอากาศด้วยวิธีการลดขนาดในประเทศไทยยังมีไม่มากนัก การศึกษาที่ผ่านมา มีการลดขนาดด้วยวิธีทางสถิติจากแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศ GFDL-R30 (กัณฐิรีย์ บุญประกอบ และคณะ, 2553) แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศ GFDL-ESM2M MPI-ESM-LR และ HadGEM2-ES (จิรสรณ์ สันตีสิริสมบุรณ์ และคณะ, 2558) และการลดขนาดด้วยวิธีทางพลวัต ด้วยแบบจำลอง MM5 Regional Climate Model (MM5-RCM) (เจียมใจ เครือสุวรรณ และคณะ, 2553) แบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF) (Chotamonsak et al., 2012) แบบจำลอง PRECIS (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2553; Chinvano, 2009) และแบบจำลอง Regional Climate Model version 3 (RegCM3) (Manomaiphiboon et al., 2013; Octaviani & Manomaiphiboon, 2011; Torsri et al., 2012) และแบบจำลอง RegCM4 (จิรสรณ์ สันตีสิริสมบุรณ์ และคณะ, 2560) โดยในแต่ละการศึกษาต่างก็ใช้แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศ แตกต่างกันไป และด้วยปัจจัยทางด้านทรัพยากรทำให้แต่ละการศึกษาสามารถลดขนาดแบบจำลอง หมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศได้เพียงแค่อันหนึ่งหรือสองแบบจำลองเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถประเมิน ความไม่แน่นอนในการจำลองได้ เพื่อลดปัญหาด้านทรัพยากรจึงมีการรวมกลุ่มนักวิจัยในภูมิภาค เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ภายใต้โครงการ Southeast Asia Regional climate Downscaling Project (SEACLID)/CORDEX Southeast Asia โดยมีข้อตกลงร่วมกันในการวิจัยการย่อส่วน แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีนักวิจัยจาก มหาวิทยาลัยรามคำแหง และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยร่วมในโครงการนี้ด้วย นอกจากนี้การศึกษาที่ ผ่านมาจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ Special Report on Emission Scenarios (SRES) จากรายงาน AR4 (Meehl et al., 2007; IPCC, 2007) ซึ่งปัจจุบันมีการเสนอภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบใหม่ คือ RCPs จากรายงาน AR5 (IPCC, 2013)

ผลจากการประเมิน sensitivity ของแบบจำลอง RegCM3 พบว่ารูปแบบการก่อตัวของเมฆที่ เหมาะสมต่อการจำลองภูมิอากาศในประเทศไทย คือ MIT-Emanuel รูปแบบการเปลี่ยนแปลงปลั๊กซ์ ทางทะเล คือ BATS (Octaviani & Manomaiphiboon, 2011) โดยผลการจำลองอุณหภูมิใน ประเทศไทยแต่ละแบบจำลองสอดคล้องกับผลการสำรวจ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2553; กัณฐิรีย์ บุญประกอบ และคณะ, 2553; เจียมใจ เครือสุวรรณ และคณะ, 2553; Chinvano, 2009; Manomaiphiboon et al., 2013; Torsri et al., 2012) แต่แบบจำลองส่วนใหญ่ยังมีความ คลาดเคลื่อนในการจำลองปริมาณฝน (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2553; อำนาจ ชิดไธสง และคณะ, 2553)

เนื่องจากปัจจัยเชิงฟิสิกส์บางตัวยังไม่เหมาะสมกับประเทศไทย (เจียมใจ เครือสุวรรณ และคณะ, 2553) ในการจำลองลม แบบจำลอง RegCM3 จำลองลมในอ่าวไทยรุนแรงมากกว่าการสำรวจ ทำให้ภาคใต้มีปริมาณฝนมากในฤดูแล้ง (Torsri et al., 2012) ขณะที่แบบจำลอง WRF สามารถจำลองระบบลมมรสุมเอเชีย-ออสเตรเลีย และการก่อตัวของมรสุมได้ดี แต่มีความเร็วสูงเกินจริง (Chotamonsak et al., 2012) จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางทะเล เช่น ลม และการเปลี่ยนแปลงความร้อน ยังมีการศึกษาไม่มากนัก และยังไม่มีการศึกษาที่ใช้แบบจำลอง RegCM4 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการจำลองภูมิอากาศในเขตร้อนมากกว่ารุ่นก่อน รวมทั้งการศึกษาภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบใหม่ RCP ในรายงาน AR5 (IPCC, 2013)



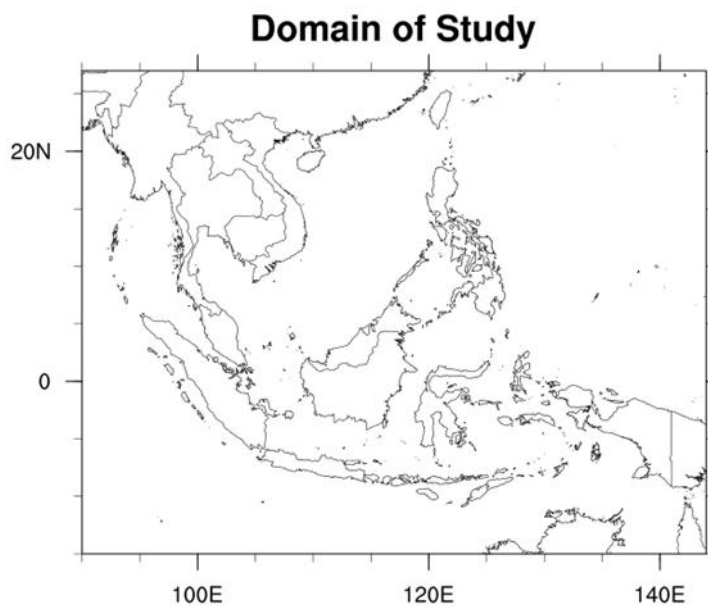
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ที่ใช้สำหรับการจำลองเป็นพื้นที่จากโครงการ Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment-Southeast Asia (CORDEX-Southeast Asia) (Cruz et al., 2017; Juneng et al., 2016; Ngo-Duc et al., 2016; SEACLID/CORDEX-Southeast Asia, 2013) ซึ่งกำหนดจุดกึ่งกลางพื้นที่ศึกษาที่ละติจูด 6.5 องศาเหนือ ลองจิจูด 118.0 องศาตะวันออก โดยมีจำนวนกริดในแนวละติจูด 194 กริด ลองจิจูด 256 กริด ด้วยความละเอียด 25 ตารางกิโลเมตร ซึ่งจะครอบคลุมละติจูด 10 องศาใต้ถึง 25 องศาเหนือ ลองจิจูด 90 ถึง 140 องศาตะวันออก (รูปที่ 3.1) โดยพื้นที่นี้จะเป็นพื้นที่สำหรับการประเมินชุดข้อมูล reanalysis และข้อมูลสำรวจดาวเทียมเพื่อพิจารณาชุดข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง เนื่องจากชุดข้อมูล reanalysis และข้อมูลสำรวจดาวเทียมบางชุดข้อมูลมีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำ ทำให้ไม่สามารถแสดงลักษณะการกระจายฟลักซ์ความร้อนในพื้นที่ประเทศไทยได้อย่างชัดเจน จึงจำเป็นต้องขยายพื้นที่ศึกษาให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

ในการประเมินประสิทธิภาพในการจำลองของแบบจำลอง และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนและลมจะจำกัดพื้นที่ให้ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย โดยจะครอบคลุมละติจูด 5-22 องศาเหนือ ลองจิจูด 95-107 องศาตะวันออก



รูปที่ 3.1 พื้นที่ศึกษาสำหรับการจำลอง และการประเมินชุดข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

3.2 ข้อมูล

3.2.1 ข้อมูลสำรวจจากดาวเทียม (Satellite-based products)

3.2.1.1 The Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES)

The Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) เป็นชุดข้อมูลการสำรวจรังสีล่าสุดจาก The National Aeronautics and Space Administration (NASA) โดยชุดข้อมูล CERES จะประกอบไปด้วยข้อมูลรังสีที่ระดับชั้นบนและพื้นผิวของบรรยากาศ โดยใช้แบบจำลอง radiative transfer model ควบคู่ไปกับ Cloud Radiative Effect (CRE) ซึ่งมีส่วนสำคัญที่จะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดการเมฆได้ ชุดข้อมูล CERES มีความละเอียดเชิงเวลาตั้งแต่ทุก 3 ชั่วโมง ทุกวัน และทุกเดือน และความละเอียดเชิงพื้นที่ 1° ละติจูด ซึ่งมีข้อมูลตั้งแต่เดือนมีนาคม ค.ศ. 2001 จนถึงปัจจุบัน (Wielicki, 1996)

3.2.2 ข้อมูลจากการวิเคราะห์ (Reanalysis products)

3.2.2.1 ERA-Interim

ชุดข้อมูล ERA-Interim เป็นชุดข้อมูลจาก European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) โดยมีข้อมูลตั้งแต่ปีค.ศ. 1979 ถึงปัจจุบัน ด้วย

ความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 80 km และความละเอียดเชิงพื้นที่ในแนวตั้ง 60 ระดับ ตั้งแต่ระดับพื้นผิวจนถึงชั้นที่มีความกดอากาศ 0.1 hPa ความละเอียดเชิงเวลา 12 ชั่วโมง พลังค์ความร้อนที่พื้นผิวคำนวณด้วยวิธี short-range forecast (Berrisford et al., 2011a; Berrisford et al., 2011b; Dee et al., 2011) พลังค์รังสีคลื่นสั้นและคลื่นยาวคำนวณจากแบบจำลอง Rapid Radiation Transfer Model (RRTM) (Mlawer et al., 1997) ขณะที่พลังค์ความร้อนสัมผัสและพลังค์ความร้อนแฝงคำนวณจากทฤษฎีของ Monin-Obukhov similarity theory (Monin & Obukhov, 1954)

3.2.2.2 The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2)

ชุดข้อมูล MERRA-2 พัฒนารับขึ้นภายใต้ Godard Earth Observing System version 5 (GEOS-5) atmospheric data assimilation system (Molod et al., 2015; Molod et al., 2012) จาก NASA for Satellite era ด้วยความละเอียดเชิงพื้นที่ $0.5^{\circ} \times 0.625^{\circ}$ และความละเอียดเชิงพื้นที่ในแนวตั้ง 72 ระดับ ตั้งแต่ระดับพื้นผิวถึงระดับความกดอากาศ 0.01 hPa (Bosilovich et al., 2015) ข้อมูล MERRA-2 มีตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 ถึงปัจจุบัน โดยกระบวนการที่ใช้ในการคำนวณรังสีคลื่นสั้นจาก Chou and Suarez (1999) ค่าความร้อนรังสีคลื่นยาวจาก Chou and Suarez (1994) ค่าความร้อนรูป sensible และ latent heat จากทฤษฎีของ Monin-Obukhov similarity theory ซึ่งอธิบายโดย Helfand and Schubert (1995)

3.2.2.3 The National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR)

ชุดข้อมูล NCEP/NCAR เป็นชุดข้อมูล reanalysis ชุดแรกจากการร่วมมือของ The National Centers for Environmental Prediction (NCEP) และ National Center for Atmospheric Research (NCAR) ชุดข้อมูลชุดนี้เป็นข้อมูลพยากรณ์ล่วงหน้า 6 ชั่วโมง โดยมีความละเอียดเชิงเวลาตั้งแต่ 4 ครั้งต่อวัน รายวัน และรายเดือน ความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ $1.9^{\circ} \times 1.9^{\circ}$ และความละเอียดตามแนวตั้ง 17 ระดับความกดอากาศ และ 28 ระดับชั้นความหนาแน่น (sigma layer) และมีข้อมูลตั้งแต่ปีค.ศ. 1984 ถึงปัจจุบัน

3.3 แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศ และการลดขนาดด้วยแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM4

ในการศึกษานี้จะใช้แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศ 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง EC-EARTH และแบบจำลอง Max-Planck Earth System Model running on Medium Range (MPI-ESM-MR) โดยมีรายละเอียดของแต่ละแบบจำลองดังนี้

แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศ EC-EARTH (Hazeleger et al., 2010; Hazeleger et al., 2012) เป็นแบบจำลอง Numerical earth system model ประเภท Air-Ocean General Circulations (AOGCMs) ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงแบบจำลองในบรรยากาศและแบบจำลองทางมหาสมุทรเข้าด้วยกัน ภายใต้โครงการ Seasonal Forecasting System ของ European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF) โดยมีแบบจำลองบรรยากาศ Integrated Forecasting System (IFS) โดย ECMWF และแบบจำลองทางมหาสมุทร NEMO (Madec, 2012) ซึ่งจำลองกระแสน้ำ แผ่นน้ำแข็งในทะเล (Sea ice) รวมทั้งกระบวนการทางชีวธรณีเคมี (Biogeochemistry) และยังมีแบบจำลองแผ่นน้ำแข็ง (Sea ice model) LIM (Fichefet & Maqueda, 1997) โดยเชื่อมโยงแบบจำลองด้วย Ocean Atmosphere Sea Ice Soil version 3 (OASIS3) (Donners et al., 2012; Hazeleger et al., 2012; Valcke, 2013;) ส่งผลให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการจำลองลักษณะในบรรยากาศชั้น Troposphere สามารถจำลองรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในแต่ละปี (Interannual climate variability) และเหมาะสมกับการทำนายตามฤดูกาล (Seasonal prediction) นอกจากนี้แบบจำลอง EC-EARTH ยังสามารถจำลองลักษณะของระบบมรสุมเอเชียใต้ (Syed et al., 2011) และพายุหมุนเขตร้อนใต้ (Rathmann et al., 2014) ผลจากแบบจำลอง EC-EARTH ยังเป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในการประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในรายงานการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก AR5 (IPCC, 2013) อย่างไรก็ตามแบบจำลอง EC-EARTH ยังมีความไม่แน่นอนอบในการจำลองอุณหภูมิพื้นผิวและการแลกเปลี่ยน (Fluxes) สูงอยู่ (Hazeleger et al., 2012)

แบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศ Max-Planck Earth System Model running on Medium Range (MPI-ESM-MR) (Giorgetta et al., 2013) เป็นแบบจำลองที่มีการเชื่อมโยงแบบจำลองบรรยากาศและแบบจำลองในมหาสมุทรเข้าด้วยกันเช่นเดียวกับแบบจำลอง EC-EARTH แต่ใช้แบบจำลองบรรยากาศ ECHAM 6 (Stevens et al., 2013) แบบจำลองในมหาสมุทร MPIOM (Jungclaus et al., 2013) แบบจำลองกระบวนการทางชีวธรณีเคมี HAMOCC (Ilyina et al., 2013) แบบจำลองลักษณะพื้นดิน JSBACH (Reick et al., 2013) โดยเชื่อมโยงแบบจำลองต่างๆ เข้าด้วยกันด้วยโปรแกรม OASIS 3 (Valcke, 2013)

การศึกษานี้ทำการลดขนาดแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศทั้งหมด 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง EC-EARTH และแบบจำลอง MPI-ESM-MR โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM4 ในพื้นที่ของ CORDEX-Southeast Asia ภายใต้โครงการ Southeast Regional Climate Downscaling (SEACLID) และโครงการการพัฒนาศักยภาพการวิจัยด้านแบบจำลองภูมิอากาศท้องถิ่นและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย สนับสนุนโดยสำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย (จิรสรณ์ สันติสิริสมบุรณ์ และคณะ, 2560) ด้วยความละเอียดเชิงพื้นที่ 25 กิโลเมตร ภายใต้เงื่อนไขรูปแบบการก่อตัวของเมฆแบบ Emanuel การแลกเปลี่ยนระหว่างบรรยากาศและมหาสมุทรแบบ Zeng และ land surface model จาก BATs ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการจำลองสภาพภูมิอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Cruz et al., 2017; Juneng et al., 2016; Li et al., 2015; Ngo-Duc et al., 2017) ช่วงเวลาในการลดขนาดจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ การจำลองภูมิอากาศในอดีต ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970-2005 และการจำลองภูมิอากาศในอนาคตตั้งแต่ปี ค.ศ. 2006-2099 โดยการจำลองภูมิอากาศในอนาคตจะจำลองภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก RCP 4.5 และ RCP 8.5

3.4 การวิเคราะห์ผล

3.4.1 ปัจจัยที่ศึกษา

3.4.1.1 พลังค์ความร้อน

ในการศึกษานี้จะศึกษาพลังค์ความร้อนที่ระดับพื้นผิว 4 แบบ ด้วยกัน คือ พลังค์รังสีคลื่นสั้นสุทธิ พลังค์รังสีคลื่นยาวสุทธิ พลังค์ความร้อนสัมผัส และ พลังค์ความร้อนแฝง ซึ่งกำหนดให้พลังค์ที่มีค่าเป็นบวก หมายถึงพื้นผิวได้รับพลังงาน (พลังค์มีทิศลง) ขณะที่พลังค์ที่มีค่าเป็นลบ หมายถึงพื้นผิวสูญเสียพลังงานในกับบรรยากาศ (พลังค์มีทิศขึ้น) โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) พลังค์รังสีคลื่นสั้นสุทธิ เป็นผลรวมระหว่างพลังค์รังสีคลื่นสั้นที่มีทิศลง (เครื่องหมายบวก) กับพลังค์รังสีคลื่นสั้นที่มีทิศขึ้นเนื่องจากการสะท้อนกลับของพื้นผิว (เครื่องหมายลบ) ดังสมการ (1) โดยทั่วไปพื้นผิวโลกจะได้รับพลังค์รังสีคลื่นสั้นมากกว่าการสะท้อนกลับทำให้ค่าพลังค์รังสีคลื่นสั้นสุทธิที่ระดับพื้นผิวมีค่าเป็นบวกในการศึกษานี้

$$\text{พลังค์รังสีคลื่นสั้นสุทธิ} = \text{พลังค์รังสีคลื่นสั้นที่มีทิศลง} + \text{พลังค์รังสีคลื่นสั้นที่มีทิศขึ้น} \quad (1)$$

(2) พลักซ์รังสีคลื่นยาวสุทธิ เป็นผลรวมระหว่างพลักซ์รังสีคลื่นยาวที่มีทิศลง เนื่องจากการแผ่กลับในชั้นบรรยากาศ (เครื่องหมายบวก) กับพลักซ์รังสีคลื่นยาวที่มีทิศขึ้น เนื่องจากการแผ่รังสีของพื้นผิวโลก (เครื่องหมายลบ) ดังสมการ (2) โดยทั่วไปพื้นผิวโลกจะมีการแผ่รังสีที่พื้นผิวมากกว่าพลักซ์ที่แผ่กลับในชั้นบรรยากาศ ดังนั้นค่าพลักซ์รังสีคลื่นยาวสุทธิที่ระดับพื้นผิวจะมีค่าเป็นลบในการศึกษานี้

พลักซ์รังสีคลื่นยาวสุทธิ = พลักซ์รังสีคลื่นยาวที่มีทิศลง + พลักซ์รังสีคลื่นยาวที่มีทิศขึ้น (2)

(3) พลักซ์ความร้อนสัมผัส การถ่ายเทความร้อนในรูปความร้อนสัมผัสเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่พื้นผิว และอุณหภูมิอากาศ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่พื้นผิวจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทำให้พลักซ์ความร้อนสัมผัสมีการถ่ายเทจากพื้นผิวไปสู่บรรยากาศ (ทิศขึ้น) ดังนั้นพลักซ์ความร้อนสัมผัสจึงมีค่าเป็นลบในการศึกษานี้

(4) พลักซ์ความร้อนแฝง ความแตกต่างของความชื้นระหว่างพื้นผิว และอากาศเป็นปัจจัยที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนความร้อนแฝง โดยทั่วไปความชื้นที่ระดับพื้นผิวจะมีค่ามากกว่าความชื้นในอากาศทำให้การถ่ายเทความร้อนแฝงมีทิศทางจากพื้นผิวสู่บรรยากาศ ดังนั้นพลักซ์ความร้อนแฝงจึงมีค่าเป็นลบในการศึกษานี้

3.4.1.2 ลม

ในการศึกษานี้จะศึกษาลมที่ระดับพื้นผิว โดยจะใช้ข้อมูลลมที่ระดับความสูง 10 เมตรจากพื้นผิว

3.4.2 การประเมินชุดข้อมูลพลักซ์ความร้อนจากชุดข้อมูล Reanalysis products

เนื่องจากการศึกษาพลักซ์ความร้อนที่พื้นผิวในประเทศไทยมีข้อมูลค่อนข้างจำกัด ดังนั้นจึงควรประเมินหาชุดข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพจากแบบจำลอง และเนื่องจากความละเอียดเชิงพื้นที่บางชุดข้อมูลมีความละเอียดต่ำ ดังนั้นการประเมินชุดข้อมูลพลักซ์ความร้อนจึงพิจารณาในพื้นที่ CORDEX-Southeast Asia (รูปที่ 3.1) การประเมินชุดข้อมูลพลักซ์ความร้อนเป็นการเปรียบเทียบชุดข้อมูล reanalysis products กับข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES ในช่วงปี ค.ศ. 2001-2014 และเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES ซึ่งมีข้อมูลพลักซ์ความร้อน 2 แบบ คือ พลักซ์รังสีคลื่นสั้น และพลักซ์รังสีคลื่นยาว การศึกษานี้จึงประเมินชุดข้อมูลพลักซ์ความร้อน 2 แบบ โดยใช้ข้อมูลดังนี้

(1) ชุดข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES ใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือน surface net shortwave radiation ในการประเมินฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น และค่าเฉลี่ยรายเดือน surface net longwave radiation ในการประเมินฟลักซ์รังสีคลื่นยาว ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ $1^{\circ} \times 1^{\circ}$

(2) ชุดข้อมูล ERA-Interim ใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือน surface net solar radiation ในการประเมินฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น และค่าเฉลี่ยรายเดือน surface net thermal radiation ในการประเมินฟลักซ์รังสีคลื่นยาว ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ เนื่องด้วยชุดข้อมูล ERA-Interim มีการคำนวณทุกๆ 12 ชั่วโมง ดังนั้นฟลักซ์ในช่วงเวลากลางวันและฟลักซ์ช่วงเวลากลางคืนจะมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้ค่าเฉลี่ยข้อมูลฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาวระหว่างเวลา 0000 และ 1200 UTC โดยเวลา 0000 UTC จะตรงกับเวลาช่วงเช้าของประเทศไทยประมาณ 7.00 น. และเวลา 1200 UTC จะตรงกับเวลากลางคืนของประเทศไทยประมาณ 19.00 น.

(3) ชุดข้อมูล MERRA-2 ใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือน surface net downward shortwave flux (SWGDN) ในการประเมินฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น และค่าเฉลี่ยรายเดือน surface net downward longwave flux (LWGNT) เพื่อประเมินฟลักซ์รังสีคลื่นยาว ซึ่งข้อมูลทั้งสองอยู่ใน radiative package โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ $0.5^{\circ} \times 0.625^{\circ}$

(4) ชุดข้อมูล NCEP/NCAR ใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือน net shortwave radiation เพื่อประเมินฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น และ net longwave radiation เพื่อประเมินฟลักซ์รังสีคลื่นยาว ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ $1.9^{\circ} \times 1.9^{\circ}$

เนื่องจากข้อมูลแต่ละชุดมีความละเอียดเชิงพื้นที่แตกต่างกัน จึงได้ทำการปรับความละเอียดเชิงพื้นที่ของชุดข้อมูล reanalysis products ทั้ง 3 ชุดข้อมูล ในมีความละเอียดเท่ากับชุดข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES ซึ่งมีขนาด $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ด้วยวิธี bilinear interpolation หลังจากนั้นจึงประเมินหาค่าความเอนเอียงทางสถิติ (bias) ระหว่างชุดข้อมูล reanalysis product ทั้ง 3 ชุดข้อมูล กับข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

3.4.3 การวิเคราะห์ผลจากการจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีต

วิเคราะห์ผลการจำลองในอดีตโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายเดือน และค่าเฉลี่ยฤดูกาลของฟลักซ์ความร้อนทั้ง 4 แบบ ความเร็วและทิศทางลม จากชุดข้อมูล ERA-Interim กับผลจากการลดขนาดแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศทั้ง 2 แบบจำลอง โดยเปรียบเทียบความเอนเอียง (bias) ในช่วงปี ค.ศ. 1979-2005 ดังสมการที่ (3) แต่เนื่องจากความละเอียดเชิงพื้นที่จากแบบจำลอง

มีขนาดไม่เท่ากับข้อมูล ERA-Interim จึงต้องปรับความละเอียดเชิงพื้นที่ให้มีความละเอียดเท่ากับข้อมูล ERA-Interim ซึ่งมีขนาด $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ด้วยวิธี bilinear interpolation

$$\text{ค่าความเอนเอียง (bias)} = | \text{ผลจากแบบจำลอง} - | \text{ข้อมูล ERA-Interim} | \quad (3)$$

โดย $| |$ คือ ผลสัมบูรณ์

3.4.4 การวิเคราะห์ผลจากการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต

วิเคราะห์ผลการจำลองสภาพการณ์ในอนาคตจะทำการแบ่งช่วงเวลาในการวิเคราะห์เป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาอนาคตอันใกล้ (near future projection) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2020-2050 และ ช่วงเวลาอนาคตอันไกล (far future projection) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2070-2099 โดยเปรียบเทียบผลการจำลองแต่ละช่วงเวลากับผลการจำลองภูมิอากาศในอดีตในช่วงปี ค.ศ. 1979-2005 โดยศึกษาค่าความแตกต่างทางสถิติ (difference) ดังสมการที่ (4) จากค่าเฉลี่ยรายเดือน และค่าเฉลี่ยตามฤดูกาลของ พลังค์ความร้อนทั้ง 4 แบบ และลม

$$\text{ค่าความแตกต่าง} = | \text{ผลการจำลองในอนาคต} - | \text{ผลการจำลองในอดีต} | \quad (4)$$

โดย $| |$ คือ ผลสัมบูรณ์

บทที่ 4

ผลการศึกษา และอภิปรายผล

4.1 พลังค์ความร้อน

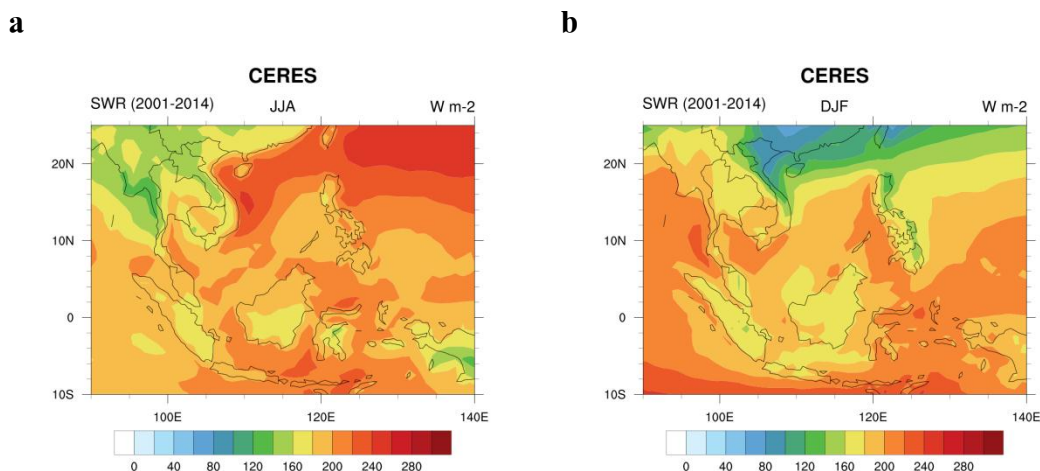
4.1.1 ผลการประเมินชุดข้อมูลพลังค์ความร้อนจากข้อมูลสำรวจดาวเทียมและชุดข้อมูล Reanalysis products ในช่วงปี ค.ศ. 2001-2014

ผลการประเมินชุดข้อมูลพลังค์รังสีคลื่นสั้น และพลังค์รังสีคลื่นยาวพบว่า ข้อมูล ERA-Interim มีความเหมาะสมมากที่สุดในการประเมินความสามารถในการจำลองพลังค์ความร้อนจากแบบจำลอง โดยมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูล CERES และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่เหมาะสม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1.1 พลังค์รังสีคลื่นสั้น

4.1.1.1.1 พลังค์รังสีคลื่นสั้นจากชุดข้อมูล CERES ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014

พลังค์รังสีคลื่นสั้นจากชุดข้อมูล CERES แสดงความแตกต่างของพลังค์ทั้งสองฤดูมรสุมได้อย่างชัดเจน ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ปริมาณพลังค์รังสีคลื่นสั้นจะมีค่าเฉลี่ย 196.60 W/m^2 พลังค์เหนือผิวน้ำเฉลี่ย 204.45 W/m^2 โดยเฉพาะมหาสมุทรแปซิฟิก และทะเลจีนใต้ตอนบน ค่าพลังค์เหนือแผ่นดินที่มีค่าเฉลี่ย 168.69 W/m^2 พื้นที่ที่มีพลังค์รังสีคลื่นสั้นน้อยจะพบบริเวณเหนือแผ่นดิน และอ่าวเบงกอล ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าพลังค์เฉลี่ย 184.46 W/m^2 โดยพลังค์เหนือผิวน้ำมีค่าเฉลี่ย 191.25 W/m^2 และพลังค์เหนือแผ่นดินมีค่าเฉลี่ย 160.30 W/m^2 (ตาราง ก-1) เนื่องจากดวงอาทิตย์จะอยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับพื้นที่เส้นศูนย์สูตรในช่วงฤดูกาลนี้ ส่งผลให้ได้รับปริมาณพลังค์รังสีคลื่นสั้นมากกว่า (Krishnamurti et al., 2013; McGregor & Nieuwolt, 1998) ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือนี้ พลังค์เหนือมหาสมุทรแปซิฟิก และทะเลจีนใต้ตอนบนจะมีค่าต่ำ ขณะเดียวกันพลังค์เหนืออ่าวเบง กอลและประเทศเมียนมาร์จะมีค่าสูงกว่าฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ปริมาณพลังค์เหนือทะเลพื้นที่ 5-10 องศาได้ มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพลังค์บริเวณนี้จะมีค่ามากกว่าฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 พลังค์รังสีคลื่นสั้นจากข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b) ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014

4.1.1.1.2 ผลการเปรียบเทียบพลังค์รังสีคลื่นสั้นระหว่างข้อมูล CERES กับ reanalysis products ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014

4.1.1.1.2.1 ERA-Interim

พลังค์รังสีคลื่นสั้นจากข้อมูล ERA-Interim ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เฉลี่ย 193.08 W/m^2 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน 153.92 W/m^2 และค่าเฉลี่ยเหนือผิวนทะเล 203.02 W/m^2 ผลการเปรียบเทียบข้อมูล CERES กับข้อมูล ERA-Interim พบว่าในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ข้อมูล ERA-Interim ให้ค่าพลังค์รังสีคลื่นสั้นต่ำกว่าข้อมูล CERES เหนือพื้นที่ที่เป็นแผ่นดิน และให้ค่าพลังค์ที่สูงกว่าข้อมูล CERES เหนือพื้นทะเลบริเวณตอนใต้ของทะเลจีนใต้ และชายฝั่งเวียดนามตอนเหนือ ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือข้อมูล ERA-Interim มีค่าพลังค์คลื่นสั้นเฉลี่ย 182.44 W/m^2 โดยมีค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน 151.73 W/m^2 และค่าเฉลี่ยเหนือผิวนทะเล 188.22 W/m^2 และยังคงให้ค่าพลังค์รังสีคลื่นสั้นต่ำกว่าข้อมูล CERES เหนือแผ่นดินบริเวณเกาะบอร์เนียว และอินโดนีเซีย และให้ค่าพลังค์ที่สูงกว่าข้อมูล CERES เหนือพื้นที่ชายฝั่งตอนเหนือของประเทศเวียดนามและจีน

4.1.1.1.2.2 MERRA-2

พลังค์รังสีคลื่นสั้นจากข้อมูล MERRA-2 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เฉลี่ย 170.26 W/m^2 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน 171.14 W/m^2 และค่าเฉลี่ยเหนือผิวนทะเล 170.02 W/m^2 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลพลังค์รังสีคลื่นสั้นระหว่างข้อมูล CERES

และ MERRA-2 พบว่าในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พลังค์รังสีคลื่นสั้นจากข้อมูล MERRA-2 ให้ข้อมูลต่ำกว่าข้อมูล CERES เหนือผิวนทะเล โดยเฉพาะพื้นที่ทางซีกโลกเหนือ และให้ค่าพลังค์สูงกว่าเหนือประเทศเมียนมาร์และประเทศจีน ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือข้อมูล MERRA-2 ให้ค่าพลังค์คลื่นสั้นเฉลี่ย 177.49 W/m^2 โดยมีค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน 179.32 W/m^2 และค่าเฉลี่ยเหนือผิวนทะเล 179.51 W/m^2 ผลการเปรียบเทียบพบว่าข้อมูลพลังค์ต่ำกว่าข้อมูล CERES เหนือผิวนทะเลทางซีกโลกใต้ และให้พลังค์ที่มากกว่าเหนือแผ่นดินบริเวณประเทศลาว เวียดนาม จีน บางส่วนของประเทศมาเลเซีย และภาคใต้ของประเทศไทย

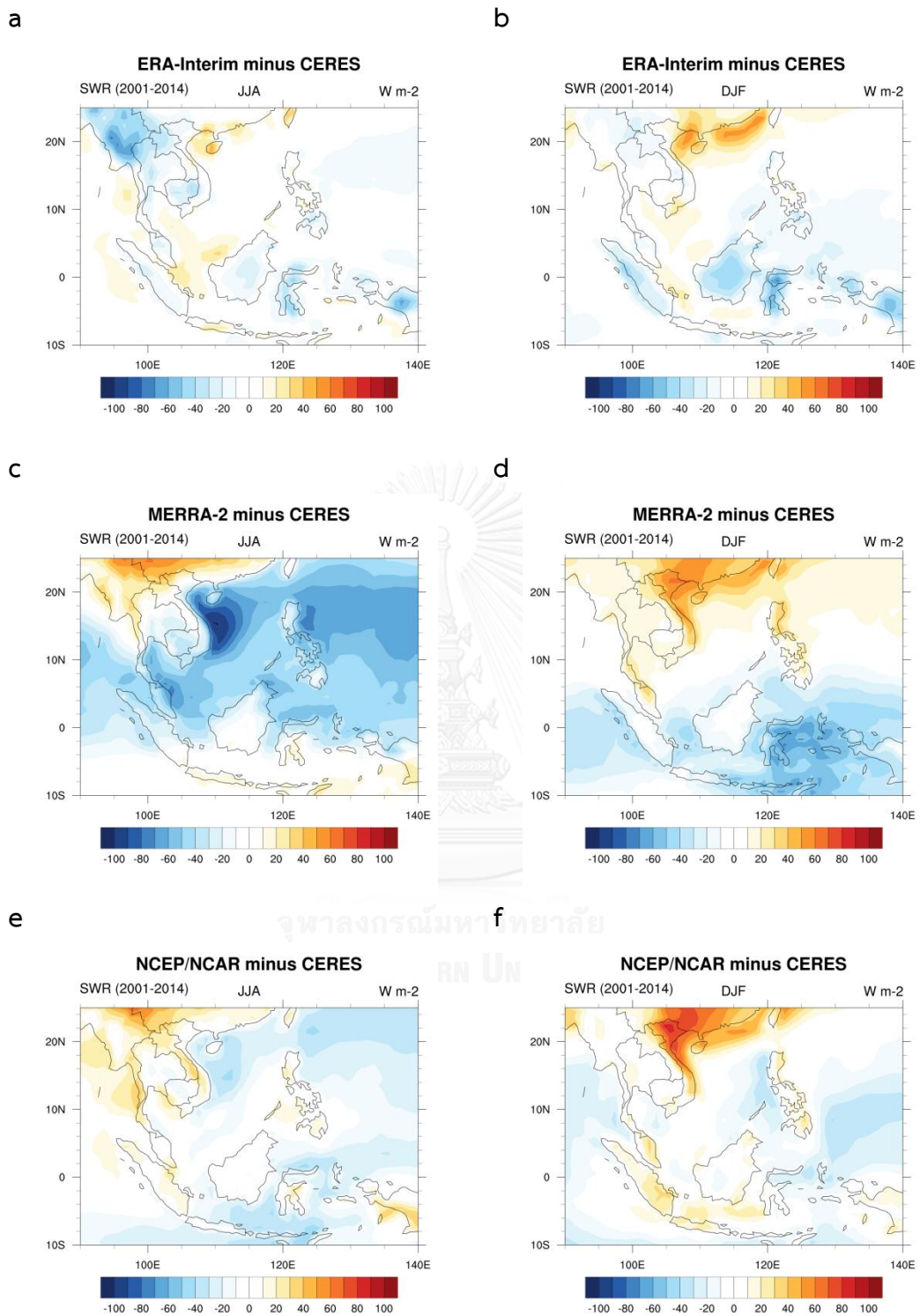
4.1.1.1.2.3 NCEP/NCAR

จากการวิเคราะห์พบว่าข้อมูล NCEP/NCAR ให้ค่าเฉลี่ยข้อมูลพลังค์รังสีคลื่นสั้นในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ 188.75 W/m^2 ค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน 181.87 W/m^2 ค่าเฉลี่ยเหนือผิวนทะเล 190.68 W/m^2 ซึ่งให้ค่าต่ำกว่าข้อมูล CERES เหนือผิวนทะเล และให้ค่าพลังค์ที่สูงเหนือแผ่นดินบริเวณประเทศลาว เมียนมาร์ จีน และบางพื้นที่ของหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย และเหนือผิวนทะเลบริเวณทะเลอันดามัน และอ่าวเบงกอล ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือข้อมูล NCEP/NCAR มีค่าพลังค์รังสีคลื่นสั้นเฉลี่ย 182.11 W/m^2 ค่าเฉลี่ยพลังค์เหนือแผ่นดิน 178.99 W/m^2 และค่าเฉลี่ยพลังค์เหนือผิวนทะเล 182.99 W/m^2 ในฤดูนี้ ข้อมูล NCEP/NCAR ยังคงให้พลังค์ที่ต่ำกว่าข้อมูล CERES เหนือผิวนทะเล และค่าพลังค์ที่สูงกว่าเหนือแผ่นดิน โดยเฉพาะประเทศเวียดนาม จีน และบางส่วนของหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย

ผลการวิเคราะห์รังสีคลื่นสั้นระหว่างข้อมูล CERES และข้อมูล reanalysis products ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 พบว่าพลังค์รังสีคลื่นสั้นจะมีค่ามากในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยเฉพาะในพื้นที่เหนือผิวนทะเล (ยกเว้นชุดข้อมูล MERRA-2 ที่ให้ค่าพลังค์เฉลี่ยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้น้อยกว่าฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) เนื่องจากดวงอาทิตย์จะอยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับพื้นที่เส้นศูนย์สูตรในช่วงฤดูกาลนี้ ส่งผลให้ได้รับปริมาณพลังค์รังสีคลื่นสั้นมากกว่า (Krishnamurti et al., 2013; McGregor & Nieuwolt, 1998) และข้อมูล CERES ไม่ได้แสดงอิทธิพลของเมฆในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้นี้ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันรังสีคลื่นสั้นส่องผ่านสู่พื้นผิว (Krishnamurti et al., 2013) ในแต่ละฤดูมรสุมมีความแตกต่างระหว่างพลังค์เหนือแผ่นดินและพลังค์เหนือผิวนทะเลอย่างชัดเจน พลังค์รังสีคลื่นสั้นเหนือแผ่นดินจะมีค่าน้อยกว่าพลังค์เหนือผิวนทะเลทั้งสองฤดูมรสุม ข้อมูล

ERA-Interim เป็นชุดข้อมูลที่ให้ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES มากที่สุด (รูปที่ 4.2) แต่ให้ค่าฟลักซ์เฉลี่ยรวม ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน และฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวทะเลต่ำกว่าข้อมูล CERES ทั้งสองฤดูกาล (ตาราง ก) สาเหตุที่ทำให้ข้อมูล reanalysis products แสดงค่าต่ำกว่าข้อมูล CERES อาจมาจากข้อมูล reanalysis products มีการคำนวณอิทธิพลของเมฆ มรสุม และร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านในการวิเคราะห์ด้วย แต่ข้อมูล CERES ที่นำมาใช้ศึกษานี้ตัดอิทธิพลของเมฆต่อรังสีออก



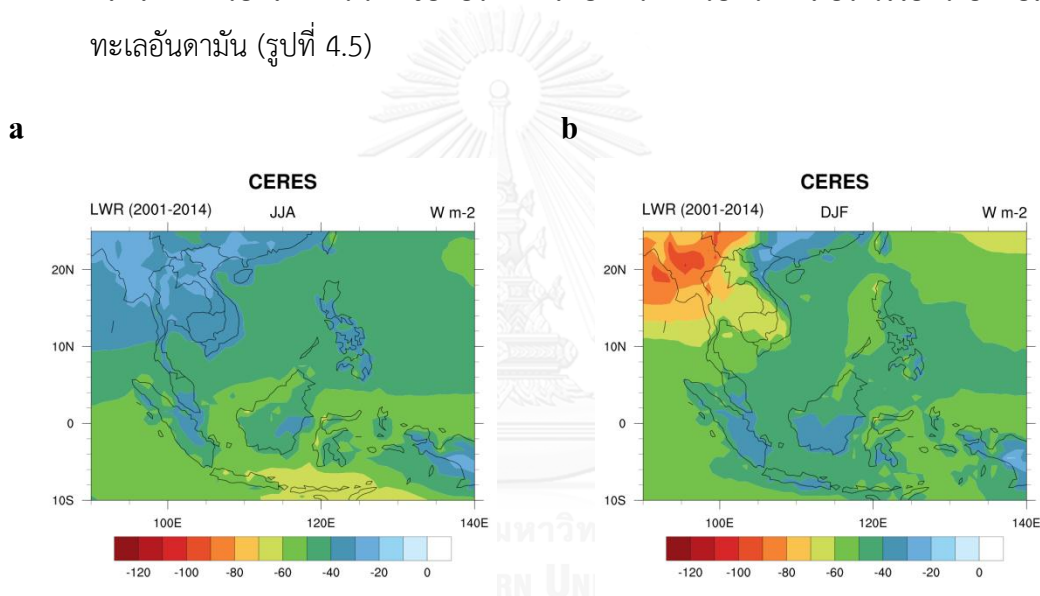


รูปที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบพลักรังสีคลื่นสั้นระหว่างข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES และข้อมูล reanalysis product ทั้งสามชุดข้อมูล ได้แก่ ERA-Interim (a, b) MERRA-2 (c, d) และ NCEP/NCAR (e, f) ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c, e,) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d, f) ระหว่างปี ค.ศ. 2001-20014

4.1.1.2 พลังค์รังสีคลื่นยาว

4.1.1.2.1 พลังค์รังสีคลื่นยาวจากชุดข้อมูล CERES ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014

ข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES แสดงปริมาณค่าเฉลี่ยของพลังค์รังสีคลื่นยาวในช่วงปี ค.ศ. 2001-2014 ซึ่งมีค่าในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ -45.79 W/m^2 โดยพลังค์เฉลี่ยเหนือแผ่นดินมีค่า -36.55 W/m^2 และพลังค์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -48.38 W/m^2 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือปริมาณพลังค์รังสีคลื่นยาวมีค่าเฉลี่ย -51.86 W/m^2 โดยมีพลังค์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -53.51 W/m^2 และพลังค์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -51.40 W/m^2 (ตาราง ข) ซึ่งพื้นที่ที่มีพลังค์รังสีคลื่นยาวสูงในฤดูนี้ได้แก่ พื้นที่เหนือแผ่นดินบริเวณประเทศเมียนมาร์ จีน และภาคเหนือและตะวันตกของประเทศไทย พื้นที่เหนือผิวนทะเลบริเวณอ่าวเบงกอลและทะเลอันดามัน (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.3 พลังค์รังสีคลื่นยาวจากข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b) ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014

4.1.1.2.2 ผลการเปรียบเทียบพลังค์รังสีคลื่นยาวระหว่างข้อมูล CERES กับ reanalysis products ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014

4.1.1.2.2.1 ERA-Interim

พลังค์รังสีคลื่นยาวจากชุดข้อมูล ERA-Interim ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่าเฉลี่ย -44.63 W/m^2 โดยมีพลังค์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -32.99 W/m^2 และพลังค์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -47.89 W/m^2 ผลการเปรียบเทียบข้อมูล ERA-Interim กับข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES พบว่า ข้อมูล ERA-Interim ให้ค่าพลังค์ที่ต่ำกว่า

เหนือแผ่นดิน และให้ค่าฟลักซ์ที่สูงเหนือแนวชายฝั่ง ในฤดูมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือฟลักซ์รังสีคลื่นยาวมีค่าเฉลี่ย -51.26 W/m^2 โดยมีค่าโดยมี ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -49.51 W/m^2 และฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -51.83 W/m^2 ผลการเปรียบเทียบกับข้อมูล CERES ข้อมูล ERA-Interim ยังคงให้ค่าฟลักซ์ ต่ำเหนือแผ่นดินให้ฤดูนี้ ซึ่งให้ค่าฟลักซ์ที่ต่ำกว่าฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แต่พื้นที่ เหนือแผ่นดินประเทศจีน ตอนเหนือของประเทศเวียดนามเหนือผิวนทะเลบริเวณ อ่าวเบงกอล ทะเลอันดามัน ตอนเหนือของทะเลจีนใต้ และมหาสมุทรแปซิฟิกให้ ค่าฟลักซ์สูงกว่าข้อมูล CERES

4.1.1.2.2.2 MERRA-2

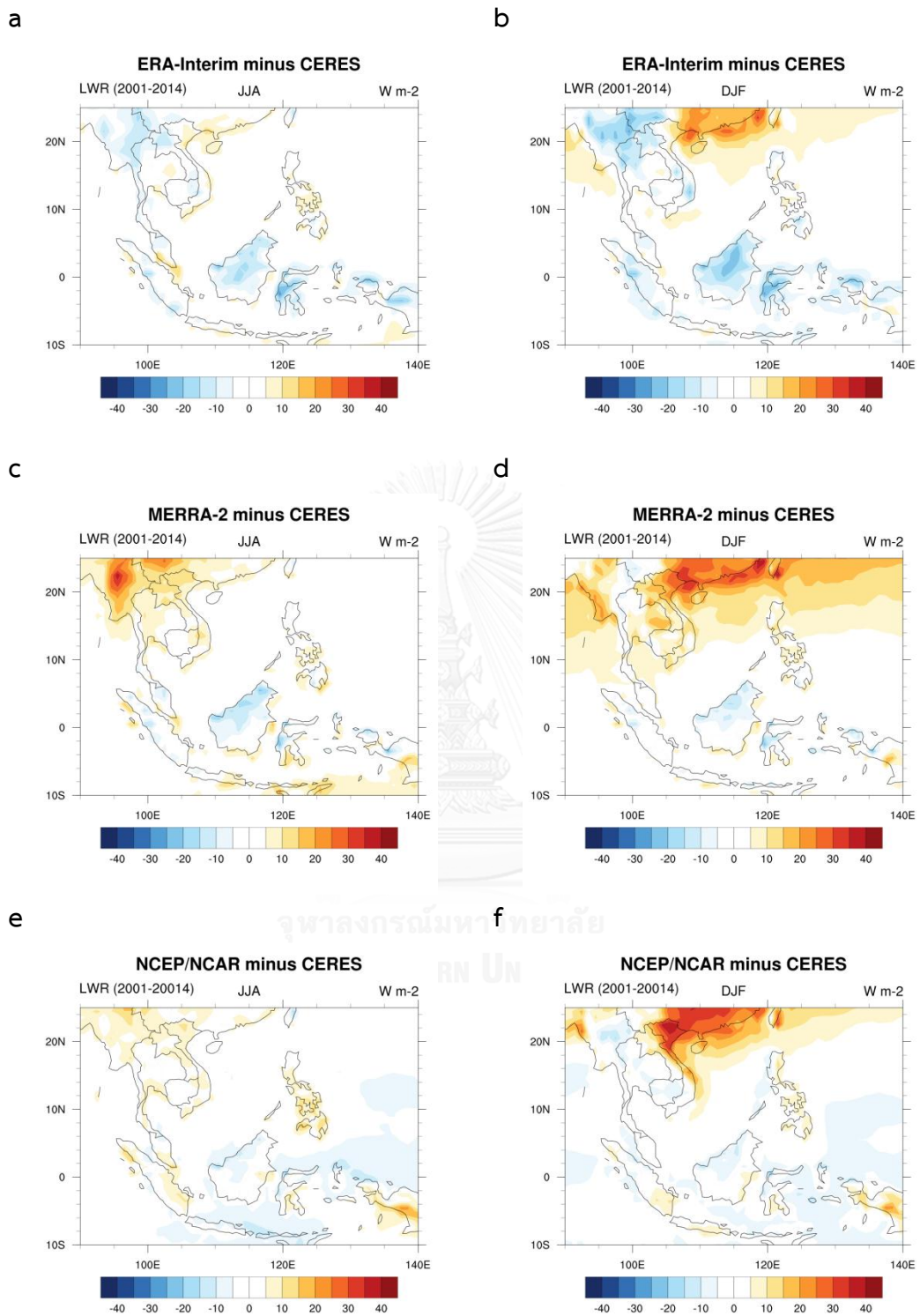
ข้อมูล MERRA-2 ให้ค่าฟลักซ์รังสีคลื่นยาวในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เฉลี่ย -48.53 W/m^2 โดยค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดินมีค่า -40.80 W/m^2 และค่าเฉลี่ย เหนือผิวนทะเล -50.70 W/m^2 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์รังสีคลื่นยาวระหว่างข้อมูล สำรวจดาวเทียม CERES และข้อมูล MERRA-2 พบว่าในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ข้อมูล MERRA-2 ให้ค่าฟลักซ์ที่ต่ำกว่าข้อมูล CERES เหนือแผ่นดินหมู่เกาะประเทศ อินโดนีเซีย และมีค่าฟลักซ์ที่สูงกว่าเหนือแผ่นดินประเทศเมียนมาร์ ลาว เวียดนาม จีน และบางส่วนของประเทศไทย ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ MERRA-2 ให้ ค่าเฉลี่ยฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น -48.53 W/m^2 โดยฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -40.80 W/m^2 และฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -50.70 W/m^2 ผลการเปรียบเทียบในฤดูมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ MERRA-2 ยังคงให้ค่าฟลักซ์ที่ต่ำเหนือแผ่นดินบริเวณหมู่เกาะ ประเทศอินโดนีเซีย แต่มีค่าฟลักซ์ที่สูงกว่าในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพบค่า ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวที่สูงกว่าข้อมูล CERES เหนือผิวนทะเลบริเวณอ่าวเบงกอล ทะเล อันดามัน ตอนเหนือของทะเลจีนใต้ และมหาสมุทรแปซิฟิก และเหนือแผ่นดิน ประเทศเมียนมาร์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางของประเทศไทย ประเทศลาว เวียดนาม และจีน

4.1.1.2.2.3 NCEP/NCAR

ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากข้อมูล NCEP/NCAR มี ค่าเฉลี่ย -44.93 W/m^2 โดยมีฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -40.11 W/m^2 และฟลักซ์ เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -46.29 W/m^2 จากการเปรียบเทียบในฤดูมรสุมนี้พบว่าข้อมูล NCEP/NCAR ให้ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าข้อมูล CERES เหนือผิวนทะเลบริเวณมหาสมุทร

แปซิฟิก และเหนือแผ่นดินบริเวณหมู่เกาะประเทศอินโดนีเซีย และให้ค่าฟลักซ์ที่สูงกว่าข้อมูล CERES เหนือแผ่นดิน ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจากข้อมูล NCEP/NCAR มีค่าฟลักซ์เฉลี่ย -54.17 W/m^2 โดยมีฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -59.70 W/m^2 และฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -50.85 W/m^2 ผลการเปรียบเทียบในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าข้อมูล NCEP/NCAR ให้ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าข้อมูล CERES เหนือแผ่นดิน และเหนือผิวนทะเลบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก อ่าวเบงกอล ส่วนค่าฟลักซ์ที่สูงกว่าจะพบเหนือแผ่นดินประเทศเวียดนาม และจีน และเหนือผิวนทะเลบริเวณตอนเหนือของทะเลจีนใต้ และมหาสมุทรแปซิฟิกทางตอนเหนือของพื้นที่ศึกษา

ผลการเปรียบเทียบข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES และข้อมูล reanalysis products ทั้ง 3 ชุดข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 พบว่าฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจะมีค่าต่ำในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมีฟลักซ์เหนือแผ่นดินน้อยกว่าฟลักซ์เหนือผิวนทะเล เนื่องจากเป็นฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เหนือแผ่นดินส่วนใหญ่จะได้รับอิทธิพลจากทั้งร่องความกดอากาศที่พาดผ่าน และอิทธิพลของมรสุมปริมาณเมฆในบรรยากาศมาก ทำให้รังสีคลื่นยาวแผ่กลับสู่พื้นผิวได้มากขึ้น (Krishnamurti et al., 2013; McGregor & Nieuwolt, 1998) ส่งผลให้ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวสุทธิที่พื้นผิวมีค่าน้อยลง แต่ทิศทางของฟลักซ์สุทธิยังคงมีทิศขึ้น (ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวสุทธิมีค่าเป็นลบ แต่ปริมาณของฟลักซ์ค่าน้อย) แต่ความแตกต่างของฟลักซ์เหนือแผ่นดินและฟลักซ์เหนือผิวนทะเลในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือนั้นไม่มีความแตกต่างกัน ข้อมูล ERA-Interim เป็นชุดข้อมูลที่ให้ค่าใกล้เคียงกับข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES มากที่สุด แต่ให้ค่า ฟลักซ์เฉลี่ยรวม ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน และฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเลต่ำกว่าข้อมูล CERES ยกเว้นฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเลในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่ให้ค่าฟลักซ์มากกว่าข้อมูล CERES



รูปที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์รังสีคลื่นยาวระหว่างข้อมูลสำรวจดาวเทียม CERES และข้อมูล reanalysis product ทั้งสามชุดข้อมูล ERA-Interim (a, b) MERRA-2 (c, d) และ NCEP/NCAR (e, f) ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c, e,) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d, f) ระหว่างปี ค.ศ. 2001-20014

4.1.2 ผลการจำลองการแลกเปลี่ยนฟลักซ์ความร้อนในอดีต (ค.ศ. 1979-2005)

แบบจำลองทั้งสองจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น ฟลักซ์รังสีคลื่นยาว และฟลักซ์ความร้อนแฝงมากกว่าข้อมูล ERA-Interim ขณะที่ผลการจำลองฟลักซ์ความร้อนสัมผัสจากแบบจำลองทั้งสองมีค่าต่ำกว่าข้อมูล ERA-Interim โดยแบบจำลอง MPI-ESM-MR สามารถจำลองฟลักซ์ความร้อนบริเวณประเทศได้ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim มากกว่า ซึ่งมีรายละเอียดผลการจำลองดังนี้

4.1.2.1 ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น

ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะมีค่าเฉลี่ยที่พื้นผิวน้อยกว่าฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากอิทธิพลของมรสุม และร่องความกดอากาศต่ำ ทำให้ประเทศไทยมีปริมาณเมฆในบรรยากาศมาก ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้รังสีคลื่นสั้นส่องผ่านสู่พื้นผิวได้น้อยลง ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นสุทธิในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จึงมีน้อยกว่าฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ผลการจำลองจากแบบจำลองทั้งสองให้ค่าฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นมากกว่าข้อมูล ERA-Interim ตลอดทั้งปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลการจำลองในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งอาจจะเป็นผลจากแบบจำลองทั้งสองจำลองอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ร่องความกดอากาศต่ำ และปริมาณเมฆในบรรยากาศในฤดูมรสุมนี้ได้ต่ำกว่าข้อมูล ERA-Interim ผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นในรอบปีจากแบบจำลองทั้งสองพบว่า แบบจำลอง MPI-ESM-MR ให้ผลการจำลองที่ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim มากกว่าแบบจำลอง EC-EARTH ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

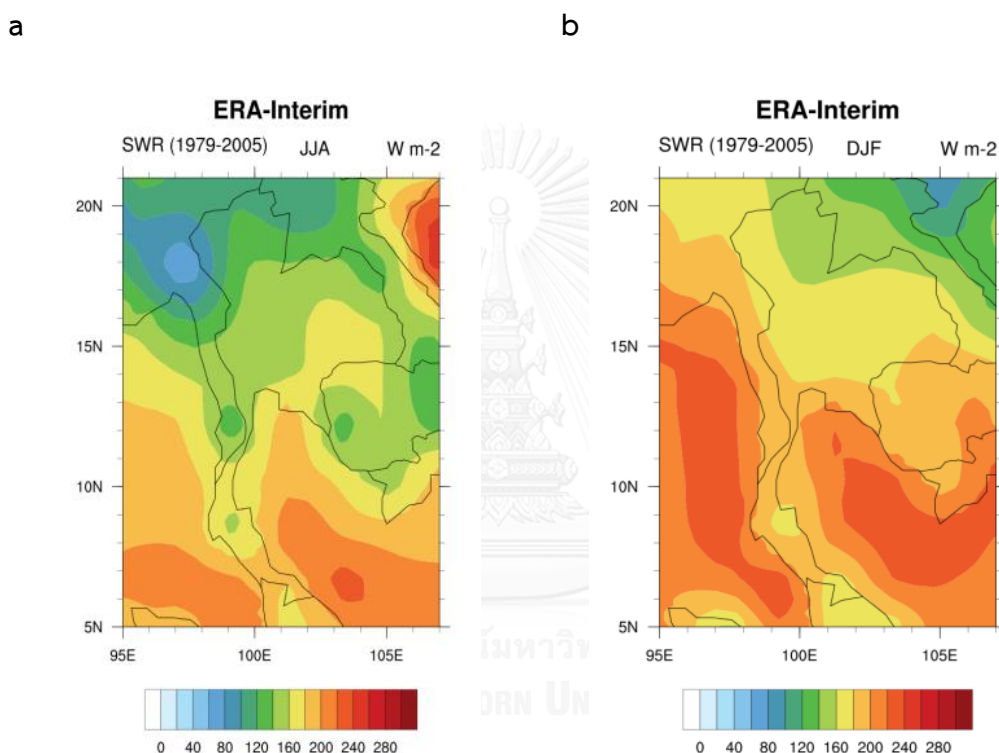
4.1.2.1.1 ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นจากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นจากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 มีค่าเฉลี่ยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ 163.81 W/m^2 ซึ่งพบความแตกต่างชัดเจนระหว่างฟลักซ์เหนือแผ่นดินที่มีค่าน้อยกว่าฟลักซ์เหนือผิวนทะเล โดยมีค่าเฉลี่ยฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นเหนือแผ่นดิน 182.48 W/m^2 และค่าเฉลี่ยเหนือผิวนทะเล 209.18 W/m^2 พื้นที่ทางภาคเหนือและภาคตะวันตกของไทยจะมีปริมาณ ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นต่ำกว่าพื้นที่ทางภาคใต้และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นมีค่าเฉลี่ย 188.51 W/m^2 ฟลักซ์เหนือแผ่นดินยังคงมีค่าน้อยกว่าฟลักซ์เหนือผิวนทะเล โดยมีค่าฟลักซ์เฉลี่ยเหนือพื้นดิน 171.65 W/m^2 และฟลักซ์เหนือผิวนทะเล 199.74 W/m^2 (ตาราง จ) โดยมีพื้นที่ภาคเหนือเป็นพื้นที่ที่มีฟลักซ์ต่ำสุด ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือนี้จะเห็นได้ว่าฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นมีค่าเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เนื่องจากในฤดูมรสุม

ตะวันตกเฉียงใต้พื้นที่ประเทศไทยได้รับอิทธิพลของมรสุม ประกอบกับร่องความกดอากาศต่ำ พาดผ่านส่งผลในปริมาณเมฆในพื้นที่มีมากขึ้นและป้องกันไม่ให้รังสีคลื่นสั้นส่องผ่านสู่ผิวโลก ได้ (Krishnamurti et al., 2013; McGregor & Nieuwolt, 1998) (รูปที่ 4.13)

ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูล ERA-Interim จะมีค่าสูงสุดในช่วงก่อน มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนมีนาคม-เมษายน) หลังจากนั้นฟลักซ์จะลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าต่ำสุดในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้ง (รูปที่ 4.15)



รูปที่ 4.5 ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นจากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b)

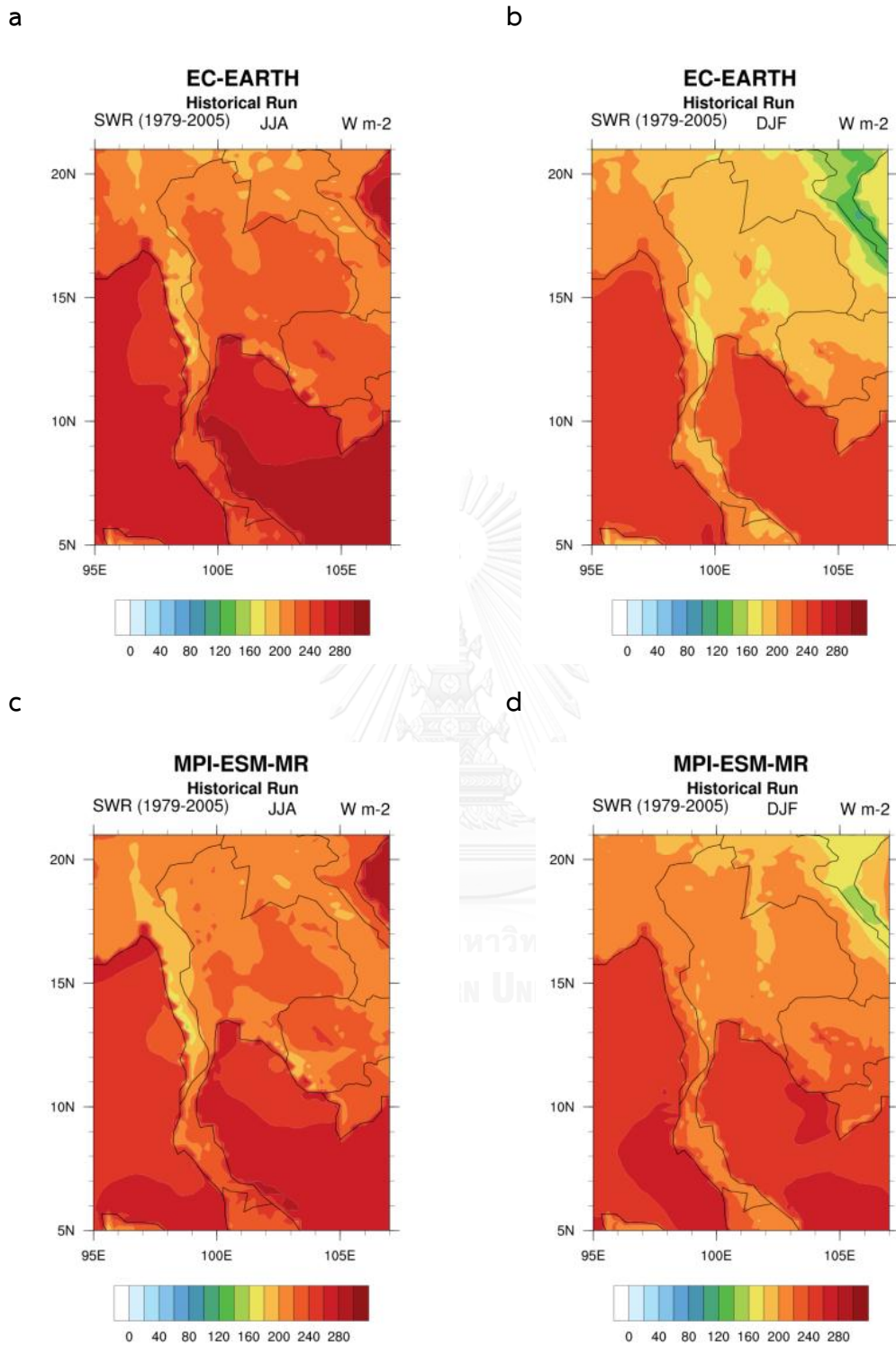
4.1.2.1.2 ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นจากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

แบบจำลอง EC-EARTH มีค่าเฉลี่ยฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ 242.71 W/m^2 ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน 218.91 W/m^2 ฟลักซ์เหนือผิวทะเล 272.56 W/m^2 ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR มีฟลักซ์ที่ต่ำกว่าโดยมีค่าฟลักซ์เฉลี่ย 235.45 W/m^2 ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน 214.81 W/m^2 และฟลักซ์เหนือผิวทะเล 261.34 W/m^2

ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นมีค่าเฉลี่ยลดลงเมื่อเทียบกับมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แบบจำลอง EC-EARTH ให้ค่าฟลักซ์เฉลี่ย 213.89 W/m^2 ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน 190.07 W/m^2 ฟลักซ์เหนือผิวนทะเล 243.77 W/m^2 ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR ให้ค่าฟลักซ์เฉลี่ย 227.54 W/m^2 ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน 205.77 W/m^2 และฟลักซ์เหนือผิวนทะเล 254.84 W/m^2 ในฤดูนี้แบบจำลอง EC-EARTH ให้ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าแบบจำลอง MPI-ESM-MR

ผลจากทั้งสองแบบจำลองแสดงฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นเหนือแผ่นดินที่ต่ำกว่าฟลักซ์เหนือผิวนทะเลในทั้งสองฤดูมรสุม นอกจากนี้รูปแบบการกระจายตัวของฟลักซ์จากทั้งสองแบบจำลองยังมีลักษณะที่คล้ายกัน โดยประเทศไทยจะได้รับพลังงานจากรังสีคลื่นสั้นในปริมาณใกล้เคียงกันในทุกพื้นที่ (รูปที่ 4.14)

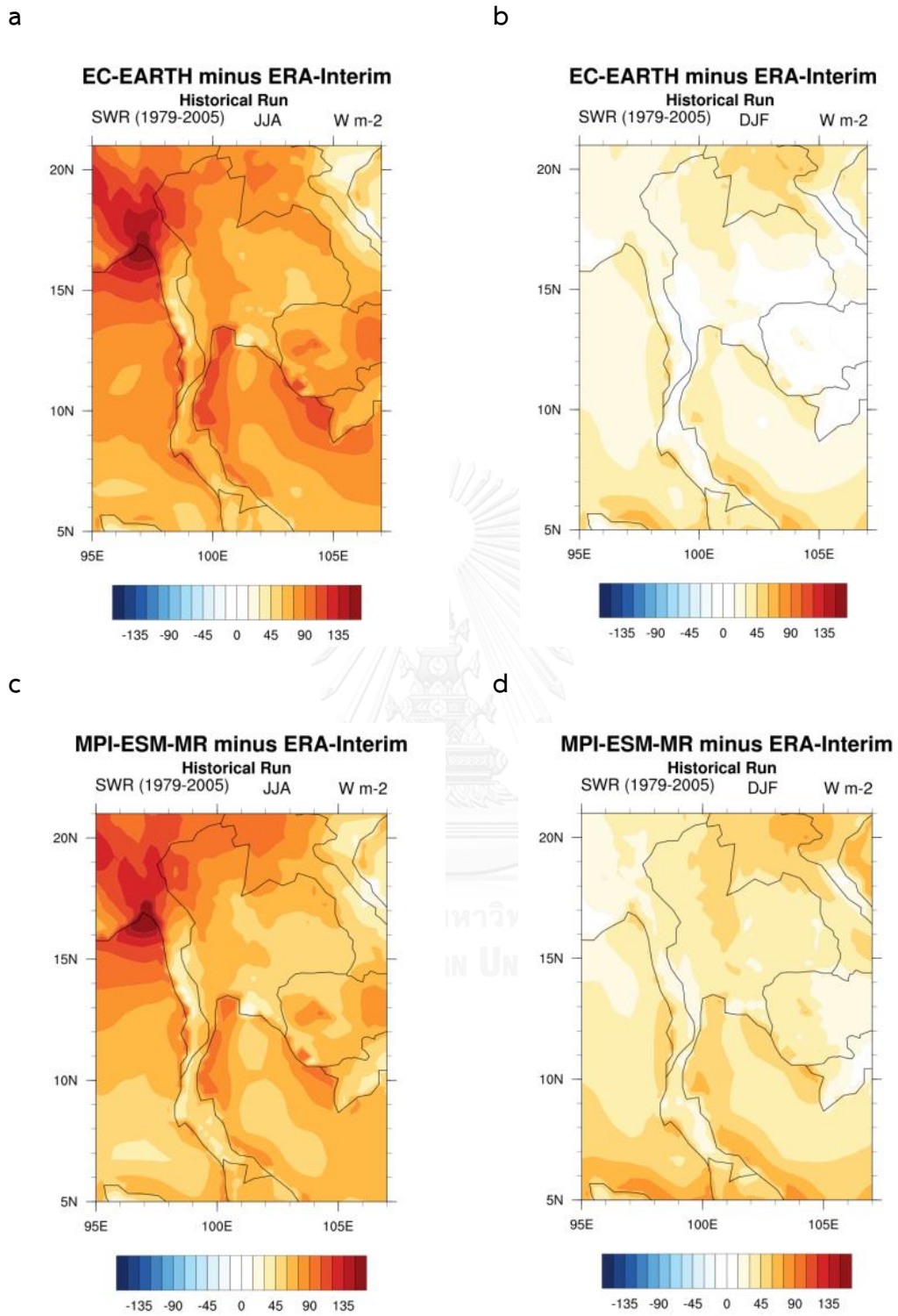




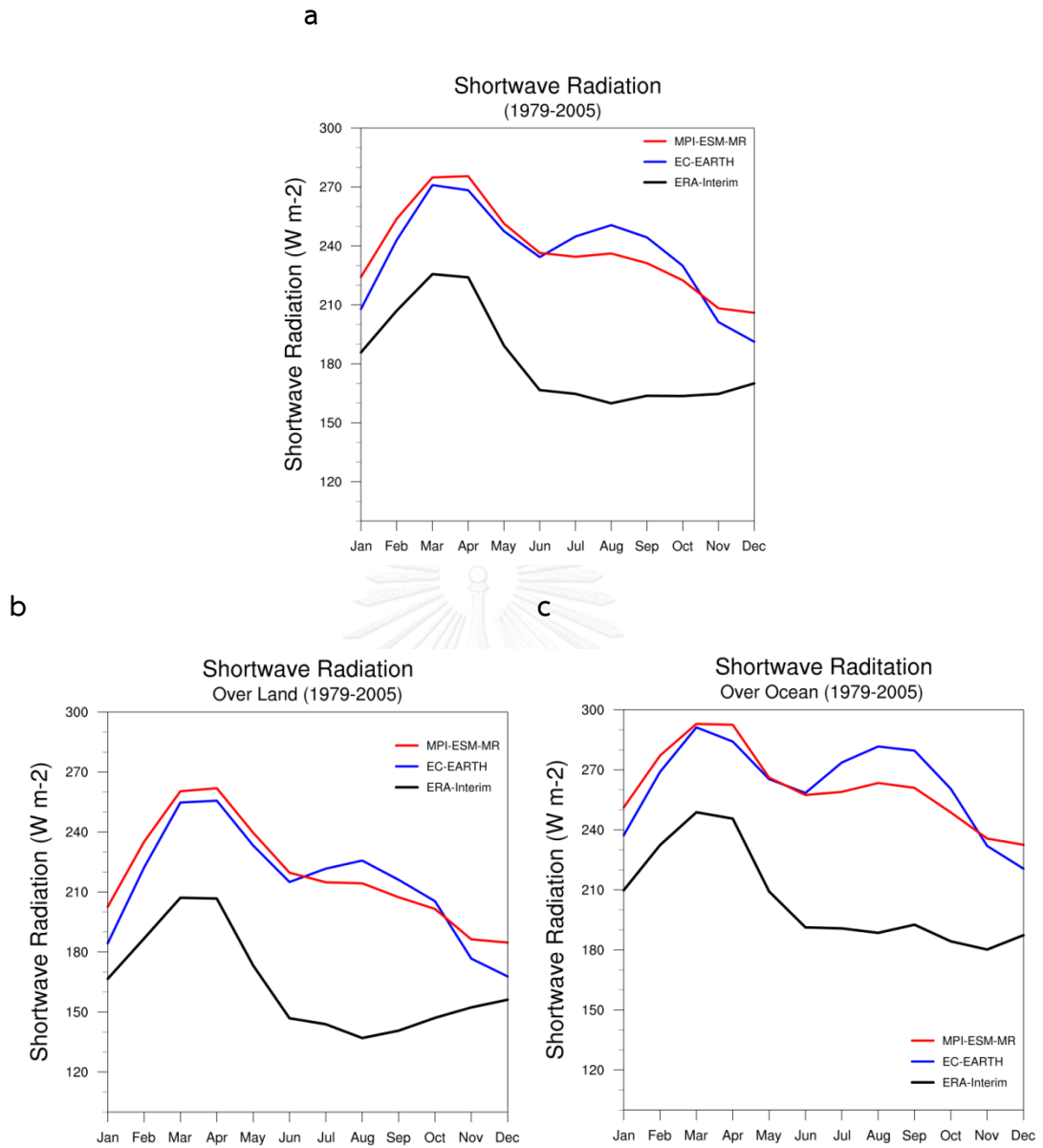
รูปที่ 4.6 พลิกซังสีคลื่นสั้นจากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)

4.1.2.1.3 ผลการเปรียบเทียบพลักรังสีคลื่นสั้นระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลองระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

แบบจำลองทั้งสองให้ค่าพลักรังสีคลื่นสั้นสูงกว่าข้อมูล ERA-Interim ในทั้งสองฤดูมรสุม โดยเฉพาะฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันตก อ่าวไทยฝั่งตะวันตก และชายฝั่งทะเลอันดามัน ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแบบจำลอง EC-EARTH แสดงพื้นที่ที่ให้ค่าพลักรังสีสูงกว่าข้อมูล ERA-Interim ในพื้นที่ภาคเหนือ และทะเลชายฝั่งของอ่าวไทย และทะเลอันดามัน ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR ให้ค่าพลักรังสีสูงกว่าข้อมูล ERA-Interim ในทุกพื้นที่ของประเทศไทย จากการเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองและข้อมูล ERA-Interim จะเห็นได้ว่าแบบจำลองทั้งสองไม่สามารถจำลองลักษณะพลักรังสีคลื่นสั้นในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ได้ดี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแบบจำลองไม่สามารถจำลองอิทธิพลของมรสุม และร่องความกดอากาศต่ำในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการขัดขวางการส่องผ่านของรังสีคลื่นสั้นสู่พื้นผิวโลกได้ อย่างไรก็ตามผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง EC-EARTH สามารถจำลองพลักรังสีคลื่นสั้นได้ดีกว่าในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR สามารถจำลองพลักรังสีคลื่นสั้นได้ดีกว่าในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (รูปที่ 4.15)



รูปที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลองระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)



รูปที่ 4.8 ปริมาณฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นเฉลี่ยรายเดือนระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 (a) ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน (b) และฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล (c)

4.1.2.2 ฟลักซ์รังสีคลื่นยาว

ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจะมีค่าน้อยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากมรสุม และร่องความกดอากาศต่ำ ซึ่งทำให้ปริมาณเมฆในบรรยากาศมาก ส่งผลให้รังสีคลื่นยาวสามารถแผ่รังสีกลับสู่พื้นผิวได้มากขึ้น ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวสุทธิจึงมีค่าน้อย แต่ยังมีคงมีทิศจากพื้นผิวสู่บรรยากาศ (ค่าเป็นลบ) ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นมีค่ามากในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยความร้อนจากพื้นผิวจะแผ่สู่บรรยากาศได้มากขึ้นในฤดูมรสุมนี้ (มีค่าเป็นลบมาก) ผลการจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจากแบบจำลองทั้งสองให้ค่ามากกว่าข้อมูล ERA-Interim ในทั้งสองฤดูมรสุม อาจเนื่องมาจากการจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นที่มากกว่าข้อมูล ERA-Interim ซึ่งส่งผลต่อพลังงานในระบบ ทำให้การจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นยาวมีค่ามากกว่าข้อมูล ERA-Interim ตามไปด้วย การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ในรอบปีของฟลักซ์รังสีคลื่นยาวสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น เนื่องจากในช่วงที่พื้นผิวได้รับพลังงานรังสีคลื่นสั้นมาก อุณหภูมิพื้นผิวก็จะมากตามไปด้วย ทำให้การแผ่รังสีคลื่นยาวจากพื้นผิวมีค่ามากตามไปด้วย เมื่อพิจารณาการจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจากทั้งสองแบบจำลองพบว่าแบบจำลอง MPI-ESM-MR สามารถจำลองฟลักซ์ได้ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim มากกว่า ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

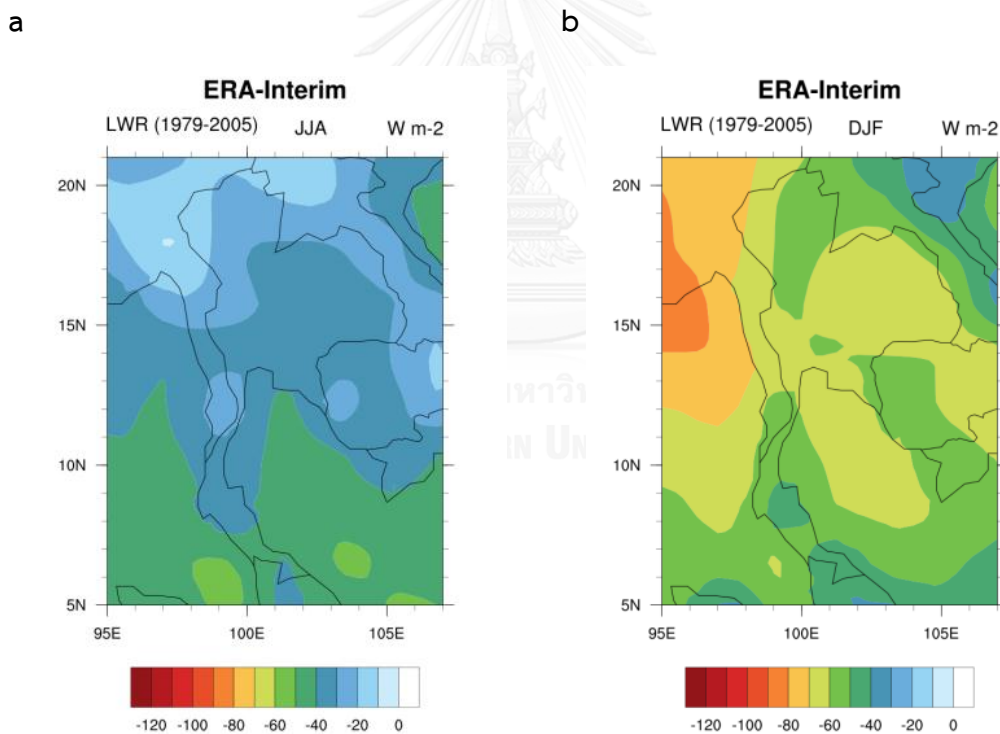
4.1.2.2.1 ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณเมฆ และละอองลอยในอากาศ โดยในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงรังสีคลื่นยาวจะสามารถถ่ายเทพลังงานจากพื้นผิวไปสู่บรรยากาศได้ดี แต่ถ้าพื้นที่ที่มีความชื้น ปริมาณเมฆมาก มีละอองลอยในอากาศมากจะทำให้การถ่ายเทความร้อนในรูปรังสีคลื่นยาวจากพื้นผิวสู่บรรยากาศลดลง เนื่องจากความชื้น เมฆ และละอองลอยมีคุณสมบัติของก๊าซเรือนกระจกทำให้ความร้อนไม่สามารถถ่ายเทสู่บรรยากาศได้ (Krishnamurti et al., 2013; พนธิภา เลือดนักรบ และอนุกุล บูรณประทีป รัตน์, 2555) ค่าเฉลี่ยฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจากข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่า -34.71 W/m^2 ค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -43.30 W/m^2 และค่าเฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -48.66 W/m^2 ในฤดูมรสุมนี้ฟลักซ์เหนือแผ่นดินจะมีค่าต่ำกว่า ฟลักซ์เหนือผิวนทะเล โดยเฉพาะพื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทย แต่พื้นที่แนวชายฝั่งทะเลที่ค่าฟลักซ์มีค่าใกล้เคียงกับฟลักซ์เหนือแผ่นดิน

ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าเฉลี่ยรังสีคลื่นยาว -60.10 W/m^2 ค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -41.38 W/m^2 และค่าเฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -49.06 W/m^2 (ตาราง ฉ) ซึ่งมีค่า

ฟลักซ์มากกว่าฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยเฉพาะบริเวณทะเลอันดามัน และอ่าวเบงกอล อย่างไรก็ตาม ข้อมูล ERA-Interim แสดงค่าความแตกต่างของฟลักซ์รังสีคลื่นยาวระหว่างฟลักซ์เหนือแผ่นดิน และฟลักซ์เหนือผิวน้ำไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ฟลักซ์เหนือผิวน้ำมีแนวโน้มสูงกว่า ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน อิทธิพลของมรสุม และร่องความกดอากาศต่ำที่พาดผ่านประเทศไทยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่าต่ำกว่ามรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (รูปที่ 4.17)

จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรายเดือนของ ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวพบว่าฟลักซ์จะมีค่ามากที่สุดในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนธันวาคม-มีนาคม) หลังจากนั้น ฟลักซ์จะลดลงเรื่อยๆ และมีค่าต่ำสุดในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากมรสุม และร่องความกดอากาศต่ำที่พาดผ่าน (Krishnamurti et al., 2013) และจะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง (รูปที่ 4.20)

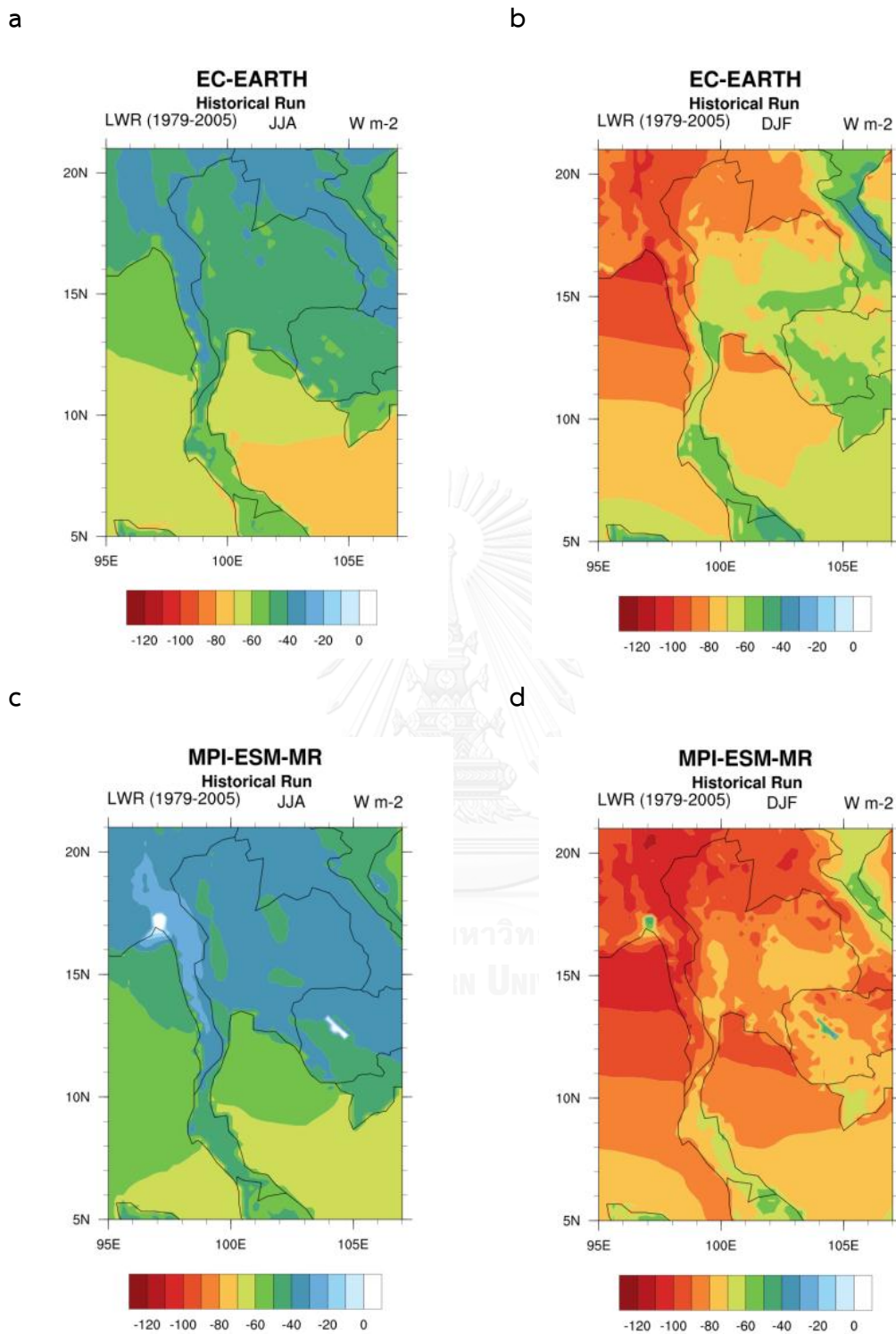


รูปที่ 4.9 ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b)

4.1.2.2.2 ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

ค่าเฉลี่ยฟลักซ์คลื่นยาวในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากทั้งสองแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยฟลักซ์เหนือแผ่นดินมีค่าต่ำกว่าฟลักซ์เหนือผิวน้ำทะเล ผลจากแบบจำลอง EC-EARTH มีค่าเฉลี่ยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ -52.86 W/m^2 ค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -42.68 W/m^2 และค่าเฉลี่ยเหนือผิวน้ำทะเล -65.63 W/m^2 ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR มีฟลักซ์เฉลี่ยต่ำกว่าแบบจำลอง EC-EARTH ในฤดูมรสุมนี้ โดยมีค่าฟลักซ์เฉลี่ย -46.23 W/m^2 ค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -37.77 W/m^2 และค่าเฉลี่ยเหนือผิวน้ำทะเล -56.84 W/m^2

ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจากแบบจำลอง EC-EARTH มีค่าเฉลี่ย -73.13 W/m^2 ค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -70.84 W/m^2 และค่าเฉลี่ยเหนือผิวน้ำทะเล -76.02 W/m^2 และแบบจำลอง MPI-ESM-MR มีค่าฟลักซ์เฉลี่ย -84.93 W/m^2 ค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -85.34 W/m^2 และค่าเฉลี่ยเหนือผิวน้ำทะเล -84.40 W/m^2 จะเห็นได้ว่าในฤดูมรสุมนี้ฟลักซ์จะมีค่าสูงในพื้นที่อ่าวเบงกอล ทะเลอันดามัน อ่าวไทย ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจากแบบจำลอง EC-EARTH จะมีค่าสูงในพื้นที่ทางตอนเหนือของประเทศไทย ขณะที่ผลจากแบบจำลอง MPI-ESM-MR พื้นที่ของประเทศไทยมีค่าฟลักซ์สูงทั่วทั้งพื้นที่ (รูปที่ 4.18)

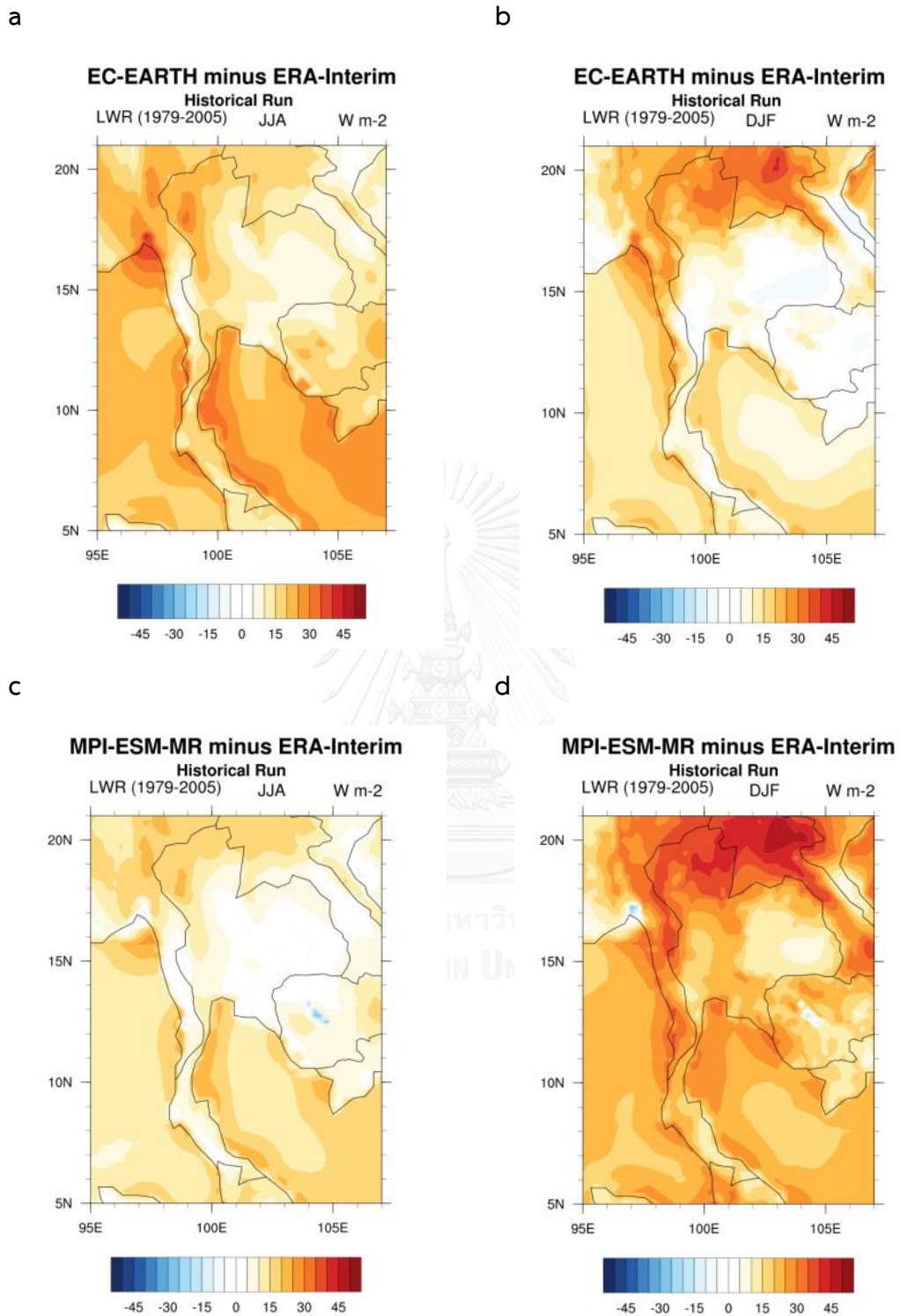


รูปที่ 4.10 ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)

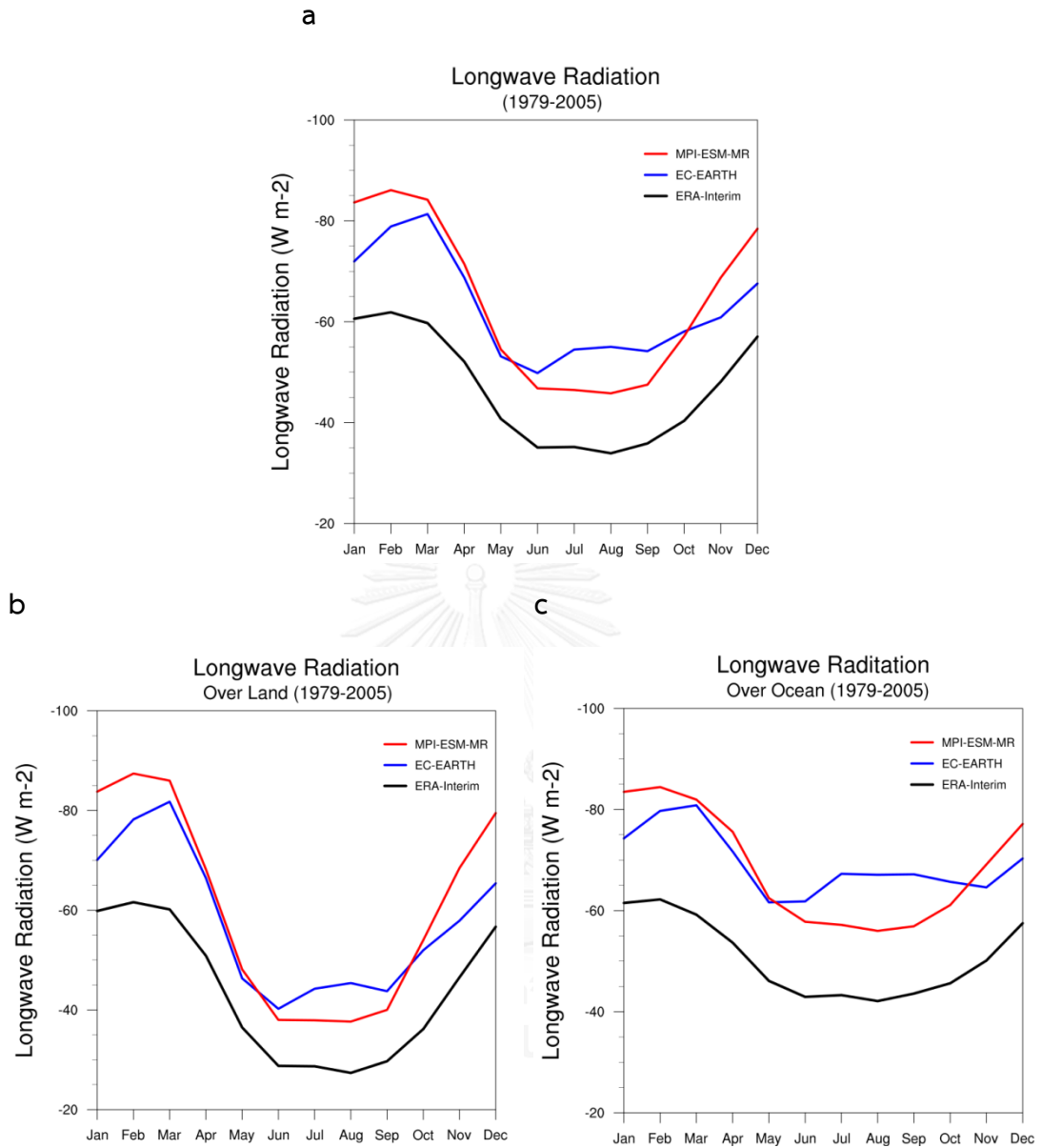
4.2.2.3 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์รังสีคลื่นยาวระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลองระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

แบบจำลองทั้งสองให้ค่าฟลักซ์รังสีคลื่นยาวที่สูงกว่าข้อมูล ERA-Interim ในทั้งสองฤดูมรสุม ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แบบจำลอง MPI-ESM-MR จะให้ค่าฟลักซ์ที่ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim มากกว่าแบบจำลอง EC-EARTH ขณะที่ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแบบจำลอง EC-EARTH สามารถจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นยาวใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim มากกว่า (รูปที่ 4.19) ผลการจำลองฟลักซ์ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจากแบบจำลองทั้งสองจะมีค่ามากกว่าข้อมูล ERA-Interim บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย (รังสีคลื่นสั้นจากพื้นผิวถ่ายเทสู่บรรยากาศได้มากกว่าข้อมูล ERA-Interim) ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองอุณหภูมิอากาศบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือนี้มีค่าต่ำกว่าข้อมูล ERA-Interim

ผลการวิเคราะห์ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวเฉลี่ยรายเดือนพบว่า การเปลี่ยนแปลงในรอบปีของฟลักซ์รังสีคลื่นยาวมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น เนื่องจากช่วงเวลาฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นที่พื้นผิวมากส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนในรูปของฟลักซ์รังสีคลื่นยาวมากตามไปด้วย ผลการจำลองจากแบบจำลอง MPI-ESM-MR สามารถจำลองรูปแบบการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ในรอบปีได้ดีกว่าแบบจำลอง EC-EARTH ซึ่งแสดงการเพิ่มขึ้นของ ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งแตกต่างจากข้อมูล ERA-Interim (รูปที่ 4.20)



รูปที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์รังสีคลื่นยาวระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลองระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)



รูปที่ 4.12 ปริมาณฟลักซ์รังสีคลื่นยาวเฉลี่ยรายเดือนระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 (a) ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน (b) และฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวทะเล (c)

4.1.2.3 พลังค์ความร้อนสัมผัส

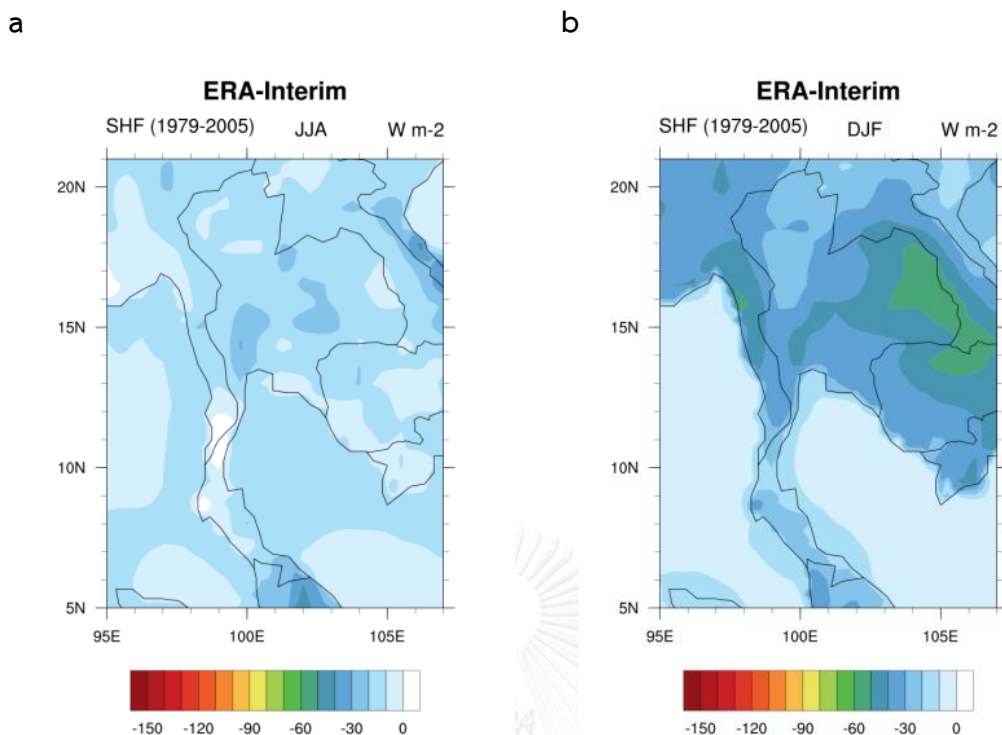
ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวและบรรยากาศ และความแรงลมเป็นปัจจัยหลักในการถ่ายเทความร้อนรูปความร้อนสัมผัส ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะมีพลังค์ความร้อนสัมผัสมากกว่าฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เนื่องจากประเทศไทยจะได้รับอิทธิพลของมวลอากาศเย็นในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวและบรรยากาศมาก มีการถ่ายเทความร้อนสัมผัสจากพื้นผิวสู่บรรยากาศมากขึ้นในฤดูมรสุมนี้ ผลการจำลองพลังค์ความร้อนสัมผัสจากแบบจำลองทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim ในทั้งสองฤดูมรสุม โดยเฉพาะในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

4.1.2.3.1 พลังค์ความร้อนสัมผัส จากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

พลังค์ความร้อนสัมผัส จากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะมีค่าต่ำกว่าฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ โดยฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงใต้มีค่าพลังค์เฉลี่ย -12.48 W/m^2 ค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดินและเหนือผิวนทะเลมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -24.12 W/m^2 และค่าเฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -11.31 W/m^2

ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพลังค์ความร้อนสัมผัส จะมีค่ามากกว่าฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้โดยมีค่าเฉลี่ย -23.66 W/m^2 ค่าเฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -21.33 W/m^2 (ตาราง ๕) และค่าเฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -10.03 W/m^2 พลังค์เหนือแผ่นดินจะมีค่ามากกว่าพลังค์เหนือผิวนทะเลอย่างชัดเจน เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิเหนือแผ่นดิน โดยมีค่าสูงสุดในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (รูปที่ 4.21)

ผลการวิเคราะห์พลังค์เฉลี่ยรายเดือนของความร้อนสัมผัส พบว่าพลังค์จะมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม เนื่องจากในช่วงเดือนนี้จะได้รับความร้อนจากรังสีคลื่นสั้นมากที่สุด ส่งผลให้อุณหภูมิแผ่นดินสูงและถ่ายเทไปสู่บรรยากาศได้มาก (Krishnamurti et al., 2013; McGregor & Nieuwolt, 1998) หลังจากนั้นพลังค์จะมีค่าลดลงและต่ำสุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีอิทธิพลของมรสุมและร่องความกดอากาศต่ำทำให้ความร้อนที่ได้รับลดลง (Krishnamurti et al., 2013; McGregor & Nieuwolt, 1998) หลังจากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และจากการพิจารณาพลังค์เหนือแผ่นดิน และผิวนทะเลพบว่าการเปลี่ยนแปลงพลังค์ความร้อนสัมผัส แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยพลังค์เหนือแผ่นดินมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของพลังค์เฉลี่ยรวมในรอบปีมากกว่าพลังค์เหนือผิวนทะเล โดยพลังค์เหนือผิวนทะเลมีการเปลี่ยนแปลงในรอบปีน้อยกว่าเนื่องจากน้ำทะเลมีความจุความร้อนสูงทำให้อุณหภูมิของน้ำทะเลเปลี่ยนแปลงน้อย (รูปที่ 4.23)



รูปที่ 4.13 ฟลักซ์ความร้อนสัมผัส จากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b)

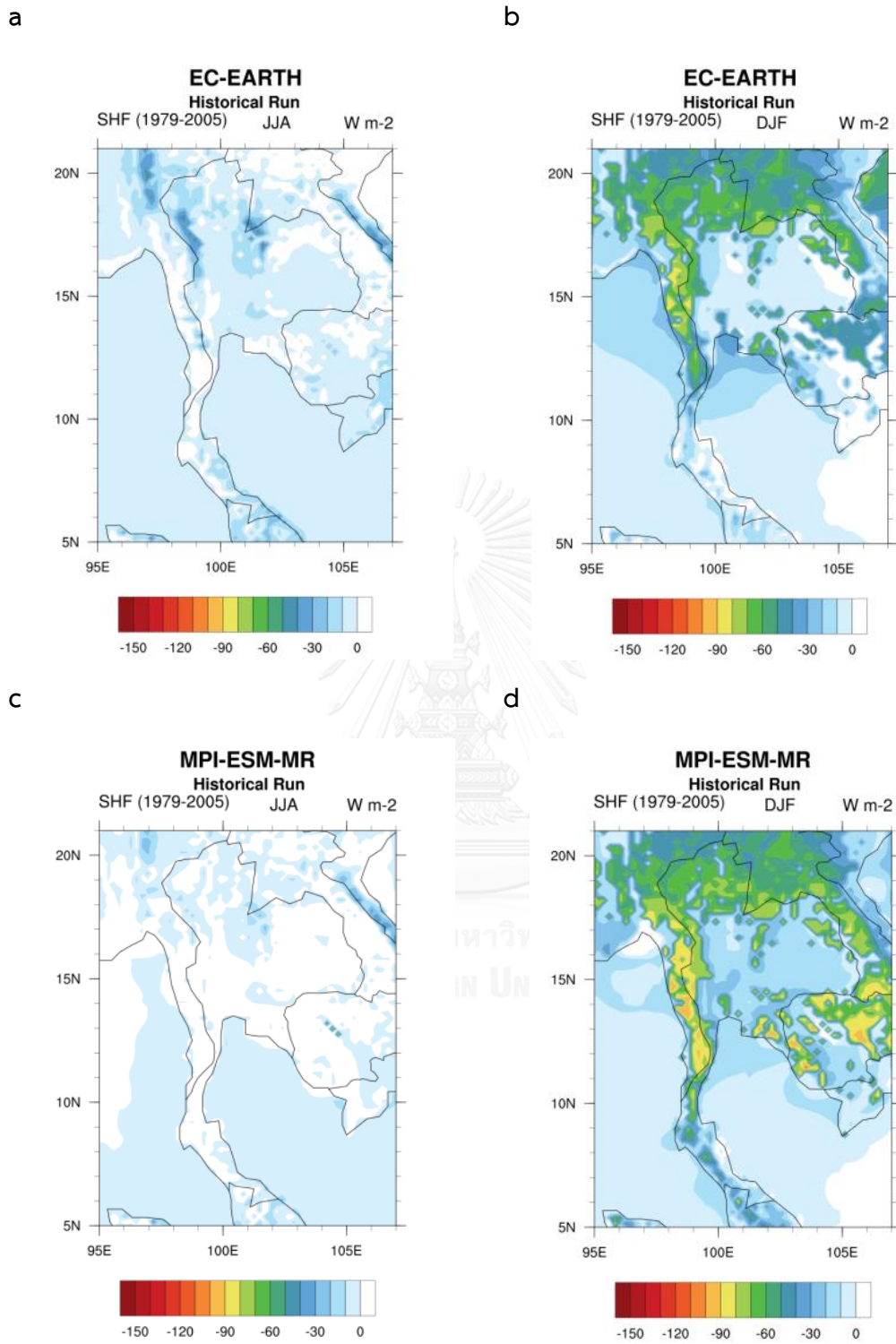
4.1.2.3.2 ฟลักซ์ความร้อนสัมผัส จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

ฟลักซ์ความร้อนสัมผัสจากแบบจำลองทั้งสองให้ค่าฟลักซ์ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ต่ำกว่าฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แบบจำลอง EC-EARTH ให้ค่าฟลักซ์เฉลี่ยสูงกว่าแบบจำลอง MPI-ESM-MR โดยแบบจำลอง EC-EARTH มีฟลักซ์เฉลี่ย -4.01 W/m^2 ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน -3.81 W/m^2 ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -4.27 W/m^2 ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR มีฟลักซ์เฉลี่ย 0.16 W/m^2 ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน 2.40 W/m^2 และ ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล -2.65 W/m^2 ฟลักซ์เหนือผิวนทะเลจากทั้งสองแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับ ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน ผลจากแบบจำลอง EC-EARTH แสดงพื้นที่ที่มีฟลักซ์สูงในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันตก ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR มีการกระจายตัวของฟลักซ์ความร้อนสัมผัส ทั่วทั้งประเทศมีค่าใกล้เคียงกัน

ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแบบจำลอง EC-EARTH ให้ค่าฟลักซ์เฉลี่ยสูงกว่าแบบจำลอง MPI-ESM-MR โดยแบบจำลอง EC-EARTH มีค่าฟลักซ์เฉลี่ย -20.48 W/m^2 ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน -29.29 W/m^2 และ ฟลักซ์เหนือผิวนทะเล -9.43 W/m^2 ขณะที่

แบบจำลอง MPI-ESM-MR มีค่าเฉลี่ย -25.72 W/m^2 พลักซ์เหนือแผ่นดิน -40.93 W/m^2 และพลักซ์เหนือผิวนทะเล -6.65 W/m^2 พลักซ์เหนือผิวนทะเลในฤดูมรสุมนี้มีค่าต่ำกว่าพลักซ์เหนือแผ่นดินอย่างชัดเจน โดยทั้งสองแบบจำลองแสดงพื้นที่ที่มีพลักซ์ความร้อนสัมผัส สูงในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันตก และภาคใต้ตอนบน (รูปที่ 4.22) การเปลี่ยนแปลงพลักซ์ความร้อนสัมผัสเหนือแผ่นดินมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงพลักซ์ความร้อนรังสีคลื่นสั้น เนื่องจากในช่วงเดือนมีนาคมเป็นเดือนที่พื้นผิวได้รับพลังงานจากรังสีคลื่นสั้นมากที่สุด ประกอบกับความชื้นในดินช่วงเดือนนี้มีค่าต่ำไม่เหมาะสมต่อการถ่ายเทความร้อนในรูปความร้อนแฝง ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเหนือแผ่นดินในรูปความร้อนสัมผัสมาก การเปลี่ยนแปลงเหนือผิวนทะเลมีการเปลี่ยนแปลงในรอบปีน้อยมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงเหนือแผ่นดิน แต่การเปลี่ยนแปลงพลักซ์ความร้อนสัมผัสยังคงมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล



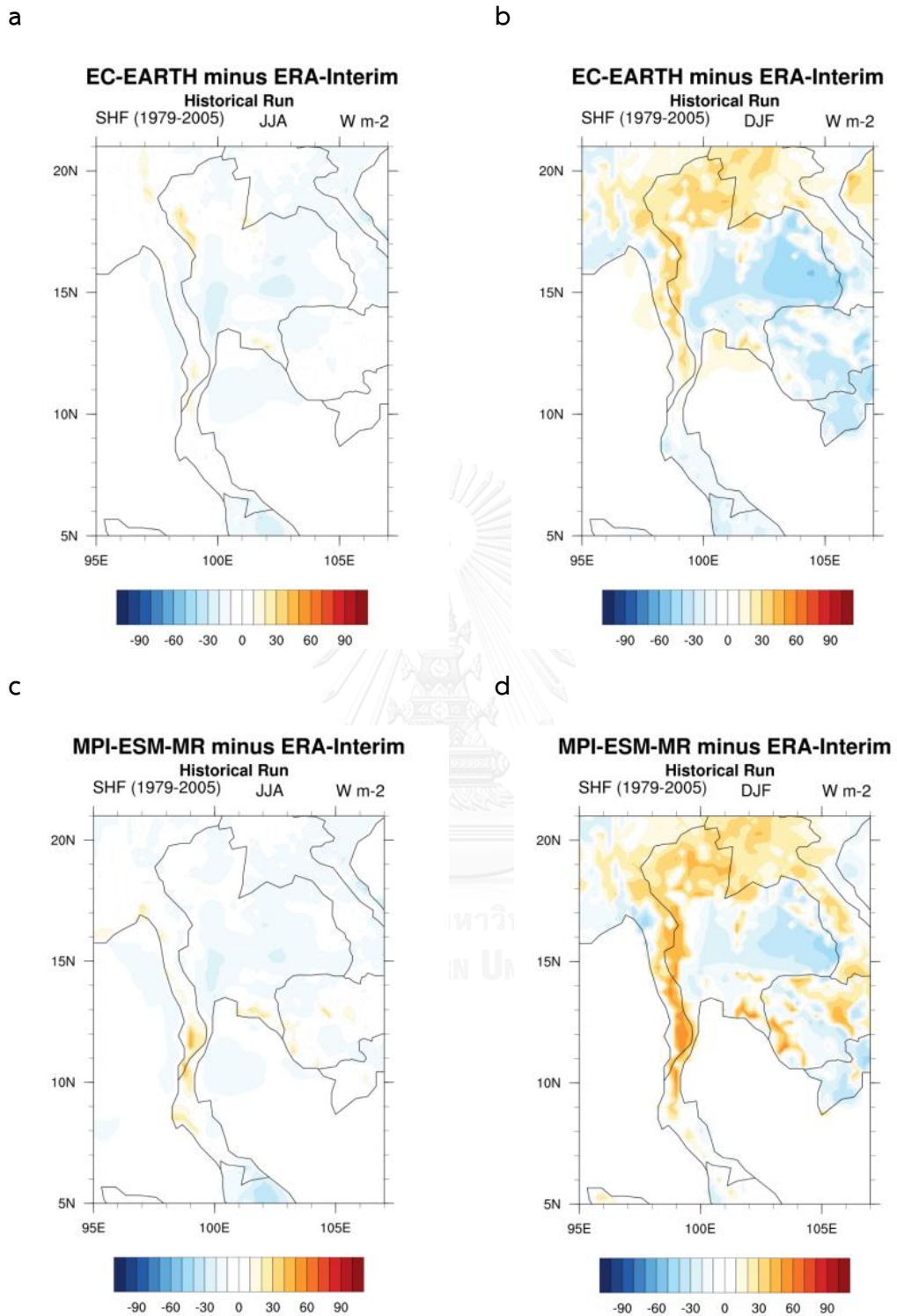


รูปที่ 4.14 ฟลักซ์ความร้อนสัมผัส จากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)

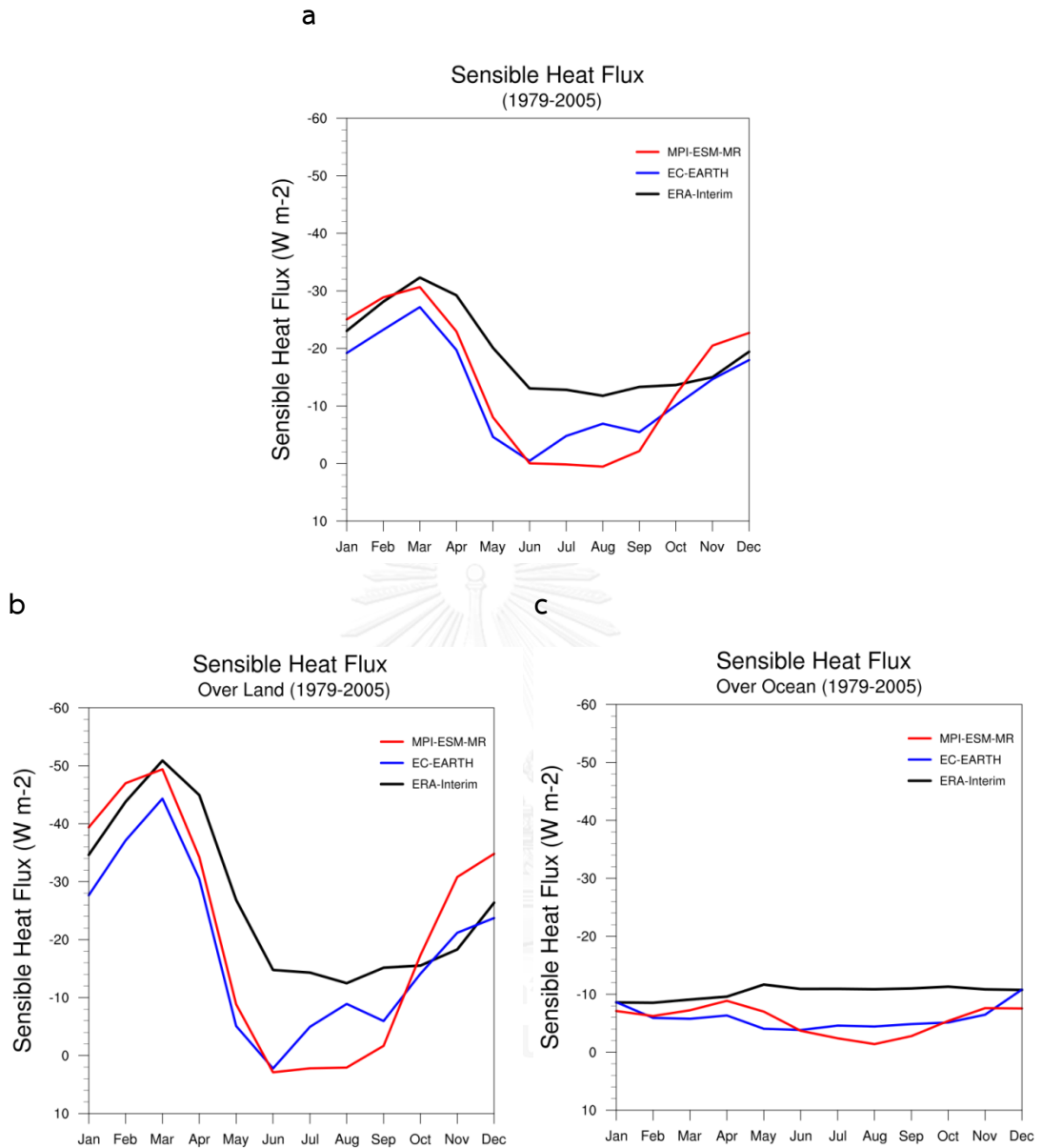
4.2.3.3 ผลการเปรียบเทียบพลั๊กซ์ความร้อนสัมผัส ระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

ผลการเปรียบเทียบพลั๊กซ์ความร้อนสัมผัส ระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 พบว่าทั้งสองแบบจำลองสามารถจำลองพลั๊กซ์ได้ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แต่ยังมีเฉลี่ยต่ำกว่าข้อมูล ERA-Interim ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแบบจำลองทั้งสองแสดงรูปแบบการกระจายตัวของพลั๊กซ์ความร้อนสัมผัส ที่มีค่าสูงกว่าข้อมูล ERA-Interim ในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันตก ภาคใต้ตอนบน และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และมีค่าต่ำกว่าข้อมูล ERA-Interim ในพื้นที่ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ผลการจำลองพลั๊กซ์เหนือผิวทะเลจากทั้งสองแบบจำลองสามารถจำลองได้ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim ในทั้งสองฤดูมรสุม





รูปที่ 4.15 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อนสัมผัส ระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)



รูปที่ 4.16 ปริมาณฟลักซ์ความร้อนสัมผัส เฉลี่ยรายเดือนระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 (a) ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน (b) และฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล (c)

4.1.2.4 พลังค์ความร้อนแฝง

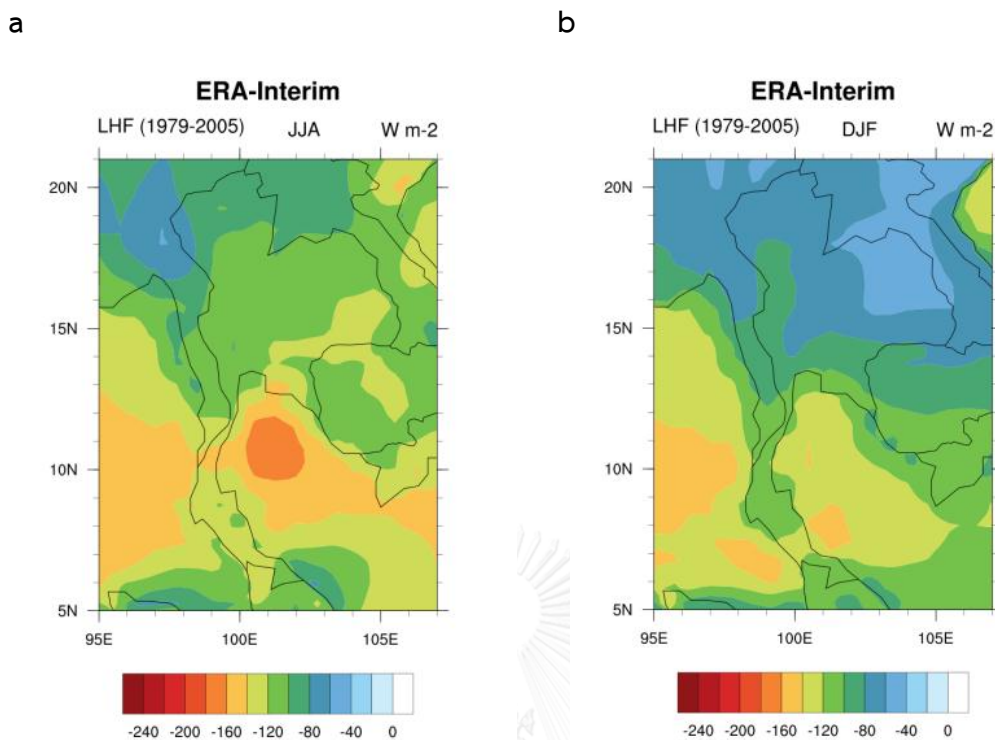
ความชื้นในดินเป็นปัจจัยสำคัญต่อพลังค์ความร้อนแฝงเหนือแผ่นดิน ขณะที่ลมจะมีอิทธิพลต่อพลังค์เหนือผิวทะเลมากกว่า (Steiner et al., 2009; Swain et al., 2009; Zhang & Mc Phaden, 1995; Zhang et al., 2012) ประเทศไทยจะมีค่าพลังค์ความร้อนแฝงมากในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เนื่องจากในฤดูนี้将有ความชื้นในดินมาก ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนในรูปความร้อนแฝงมากตามไปด้วย พลังค์ความร้อนแฝงเหนือผิวทะเลจะมีค่ามากในช่วงที่ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมทั้งสองฤดู ซึ่งมีความเร็วลมสูงกว่าช่วงเปลี่ยนผ่านฤดูมรสุม ผลการจำลองพลังค์ความร้อนแฝงของแบบจำลองทั้งให้ค่าพลังค์เหนือแผ่นดินมากกว่าข้อมูล ERA-Interim ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งอาจเนื่องมาจากการจำลองความชื้นในดินในฤดูมรสุมนี้มากกว่าข้อมูล ERA-Interim การจำลองพลังค์ความร้อนแฝงเหนือแผ่นดินในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้นี้สอดคล้องกับการจำลองปริมาณน้ำฝนที่มากกว่าข้อมูล ERA-Interim ด้วยเช่นเดียวกัน ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแบบจำลองทั้งสองจำลองพลังค์เหนือผิวทะเลมากกว่าข้อมูล ERA-Interim ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองความเร็วลมจากแบบจำลองทั้งสองที่มีความเร็วมากกว่าข้อมูล ERA-Interim โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.2.4.1 พลังค์ความร้อนแฝง จากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

ผลการวิเคราะห์พลังค์ความร้อนแฝง จากข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 พบว่าค่าเฉลี่ยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่ามากกว่ามรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากอิทธิพลของร่องความกดอากาศต่ำที่พัดผ่านในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มวลอากาศยกตัวขึ้น ส่งผลให้พลังค์ความชื้นถ่ายเทสู่บรรยากาศได้มากขึ้นด้วย (Harrop & Hartmann, 2016) นอกจากนี้พลังค์ความร้อนแฝง ยังส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนอีกด้วย โดยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่าพลังค์เฉลี่ย -118.17 W/m^2 พลังค์เหนือแผ่นดิน -104.87 W/m^2 และพลังค์เหนือผิวทะเล -115.56 W/m^2 พลังค์เหนือผิวทะเลจะมีค่าสูงกว่าพลังค์เหนือแผ่นดินอย่างชัดเจน เนื่องจากความแตกต่างของความชื้นระหว่างผิวทะเล และอากาศ มีค่ามากกว่าความชื้นระหว่างแผ่นดิน และอากาศ โดยเฉพาะอ่าวไทยที่มีค่าพลังค์สูงที่สุด พลังค์เหนือแผ่นดินในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้นี้จะมีค่าต่ำในพื้นที่ภาคเหนือ และมีค่าสูงในภาคใต้ของประเทศไทย

ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าฟลักซ์เฉลี่ย -99.31 W/m^2 ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน -96.83 W/m^2 และ ฟลักซ์เหนือผิวนทะเล -102.43 W/m^2 (ตาราง ซ) ฟลักซ์เหนือผิวนทะเลในฤดูมรสุมนี้จะมีค่าต่ำกว่าฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมีการกระจายตัวของฟลักซ์ต่ำเหนือแผ่นดินในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และบางพื้นที่ของภาคกลาง (รูปที่ 4.25) จากการวิเคราะห์ฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนพบว่าฟลักซ์ความร้อนแฝง มีค่าสูงที่สุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนมิถุนายน) และมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์

ผลจากการวิเคราะห์ฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือแผ่นดิน และเหนือผิวนทะเลพบว่ามีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยฟลักซ์เหนือแผ่นดินจะมีค่า ฟลักซ์สูงสุดในเดือนพฤษภาคม หลังจากนั้นฟลักซ์จะค่อยๆ ลดต่ำลง และต่ำสุดในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และสูงขึ้นอีกครั้ง ขณะที่ฟลักซ์เหนือผิวนทะเลจะมีค่าสูงสุดในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนมิถุนายน-สิงหาคม) หลังจากนั้นฟลักซ์จะลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงเดือนตุลาคม และเพิ่มขึ้นในเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม หลังจากนั้นฟลักซ์จะลดลงอีกครั้งจะมีค่าต่ำสุดในเดือนเมษายน และฟลักซ์จะเพิ่มขึ้นอีกครั้ง (รูปที่ 4.28) จะเห็นได้ว่าฟลักซ์ความร้อนแฝงเหนือผิวนทะเลจะมีค่ามากในช่วงฤดูมรสุมทั้งสองฤดู ทั้งนี้เนื่องจากลมเป็นปัจจัยสำคัญต่อการถ่ายเทฟลักซ์ความร้อนแฝงในภูมิภาคนี้ (Swain et al., 2009; Zhang & McPhaden, 1995; Zhang et al., 2012) ซึ่งสอดคล้องกับความเร็วลมในฤดูมรสุมซึ่งมีความแรงมากกว่าช่วงเปลี่ยนผ่านฤดูมรสุม



รูปที่ 4.17 ฟลักซ์ความร้อนแฝง จากชุดข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดู
มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b)

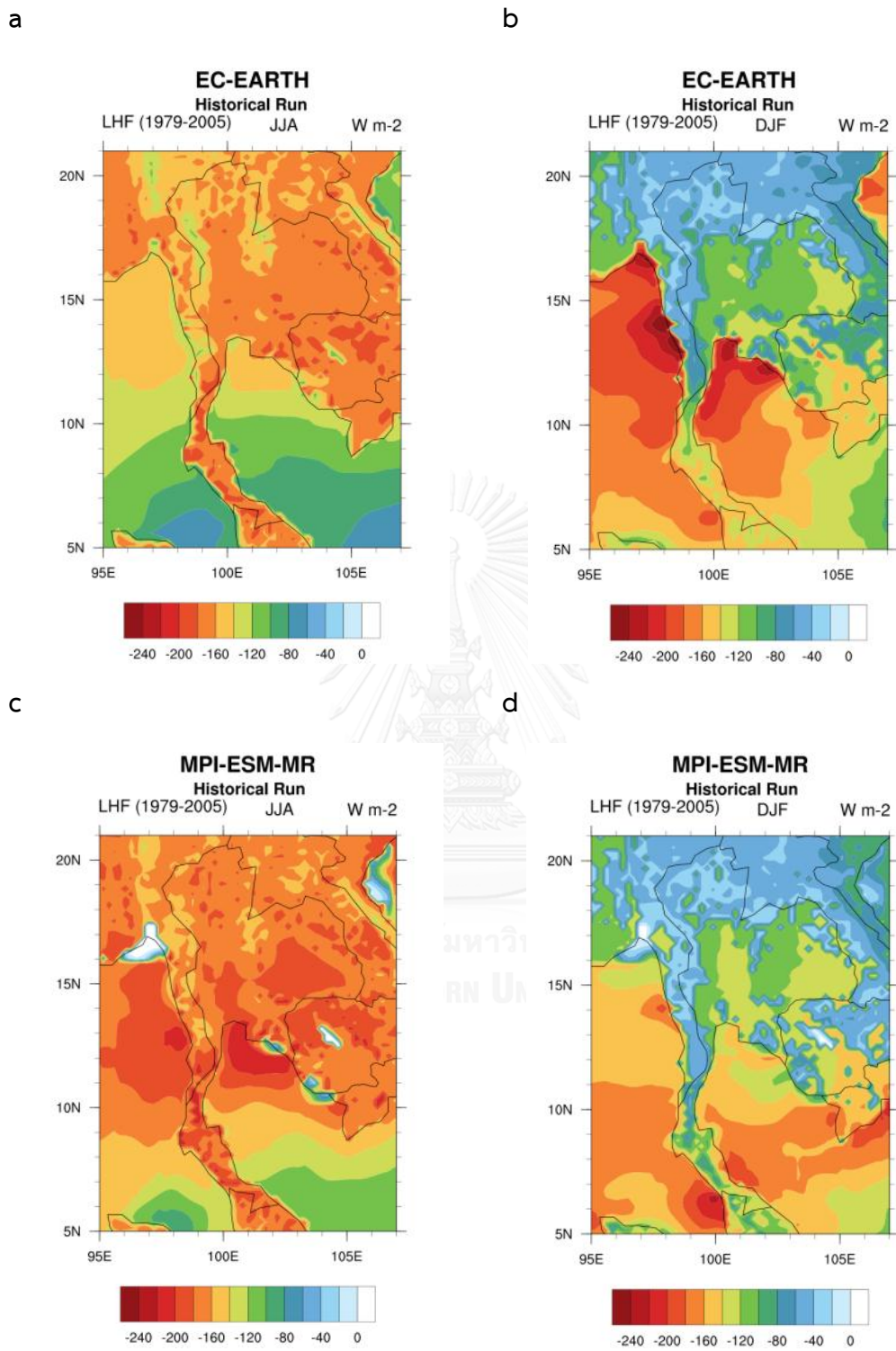
4.1.2.4.2 ฟลักซ์ความร้อนแฝง จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

ฟลักซ์ความร้อนแฝง จากแบบจำลองทั้งสองแบบจำลองแสดงฟลักซ์เหนือแผ่นดินที่มีค่าสูงในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมีค่าต่ำลงในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยแบบจำลอง EC-EARTH มีค่าฟลักซ์เฉลี่ย -143.38 W/m^2 ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน -167.07 W/m^2 และฟลักซ์เหนือผิวนทะเล -113.67 W/m^2 แบบจำลอง MPI-ESM-MR EARTH มีค่าฟลักซ์เฉลี่ย -162.60 W/m^2 ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน -173.94 W/m^2 และฟลักซ์เหนือผิวนทะเล -148.38 W/m^2 ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน และเหนือผิวนทะเลจากแบบจำลอง EC-EARTH มีค่าต่ำกว่าแบบจำลอง MPI-ESM-MR แต่มีรูปแบบการกระจายตัวของฟลักซ์คล้ายคลึงกัน โดยมีฟลักซ์เหนือผิวนทะเลที่มีค่าสูงในพื้นที่อ่าวไทยตอนบน ทะเลอันดามันและอ่าวเบงกอลตอนบน (ตั้งแต่พื้นที่ประมาณ 10-5 องศาเหนือ)

ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงใต้แบบจำลอง EC-EARTH มีค่าฟลักซ์เฉลี่ย -122.43 W/m^2 ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน -86.92 W/m^2 และฟลักซ์เหนือผิวนทะเล -166.97 W/m^2 แบบจำลอง MPI-ESM-MR EARTH มีค่าฟลักซ์เฉลี่ย -113.52 W/m^2 ฟลักซ์เหนือแผ่นดิน

-83.74 W/m² และฟลักซ์เหนือผิวทะเล -150.87 W/m² แบบจำลองทั้งสองแสดงการกระจายตัวของฟลักซ์ที่มีค่าต่ำในพื้นที่ภาคเหนือ และภาคตะวันตกของประเทศไทย เหมือนกัน แต่รูปแบบการกระจายตัวของฟลักซ์เหนือผิวทะเลแตกต่างกัน โดยแบบจำลอง EC-EARTH มีค่าฟลักซ์สูงที่สุดในพื้นที่อ่าวไทยตอนใน และยังมีการกระจายตัวของฟลักซ์ที่มีค่าสูงทั่วทั้งอ่าวไทย ทะเลอันดามัน และอ่าวเบงกอล ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR มีค่าฟลักซ์ที่สูงสุดในพื้นที่อ่าวไทยตอนล่างฝั่งตะวันตก และทะเลอันดามัน และมีการกระจายตัวของฟลักซ์ที่มีค่าสูงในพื้นที่ทางตอนล่างของอ่าวไทย และทะเลอันดามัน (รูปที่ 4.26)





รูปที่ 4.18 ฟลักซ์ความร้อนแฝง จากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)

4.2.4.3 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อนแฝง ระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

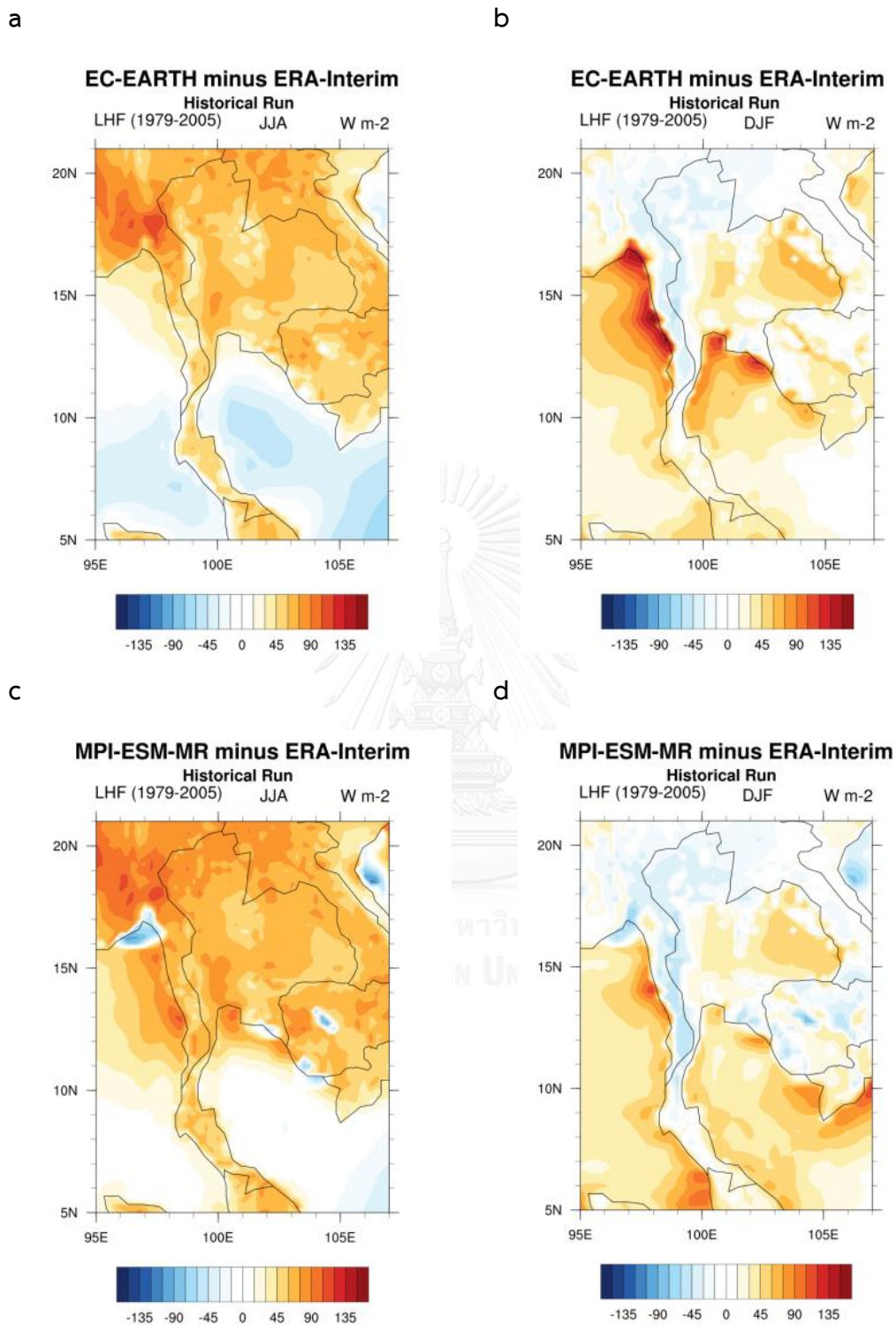
ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อนแฝงระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พบว่าทั้งสองแบบจำลองจำลองค่าฟลักซ์เหนือแผ่นดินสูงกว่าข้อมูล ERA-Interim ซึ่งอาจเป็นผลจากการจำลองความชื้นในดินที่มีค่ามากกว่าข้อมูล ERA-Interim จากรูปแบบการแลกเปลี่ยนระหว่างแผ่นดินและบรรยากาศ BATs ที่เลือกใช้ในการศึกษานี้ ซึ่งมีผลต่อการจำลองความชื้นในดินมากกว่าข้อมูลสำรวจ (Steiner, et al., 2009; Wang et al., 2015) และอิทธิพลจากรูปแบบการก่อตัวของเมฆ MIT-Emanuel ซึ่งส่งผลในการจำลองปริมาณฝนมากกว่าข้อมูลสำรวจ (Juneng et al., 2016) แบบจำลอง EC-EARTH แสดงค่าฟลักซ์เหนือผิวนทะเลที่ต่ำกว่าข้อมูล ERA-Interim ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR แสดงค่าฟลักซ์เหนือผิวนทะเลที่สูงกว่าข้อมูล ERA-Interim ในอ่าวไทยตอนบน และทะเลอันดามัน แบบจำลองทั้งสองแสดงการกระจายตัวของฟลักซ์ความร้อนแฝง

ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่มีค่าต่ำกว่าข้อมูล ERA-Interim ในพื้นที่ภาคเหนือ และภาคตะวันตก และมีค่าสูงกว่าข้อมูล ERA-Interim ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ฟลักซ์เหนือผิวนทะเลของทั้งสองแบบจำลองในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือนี้ยังคงมีรูปแบบการกระจายตัวที่แตกต่างกันเช่นเดียวกับฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยแบบจำลอง EC-EARTH ในค่าฟลักซ์สูงกว่าข้อมูล ERA-Interim ในพื้นที่อ่าวไทยตอนบน ชายฝั่งทะเลอันดามัน และตอนบนของอ่าวเบงกอลเท่านั้น แต่แบบจำลอง MPI-ESM-MR จำลอง ฟลักซ์ที่มีค่าสูงกว่าข้อมูล ERA-Interim ทั่วทั้งผิวนทะเล (รูปที่ 4.27)

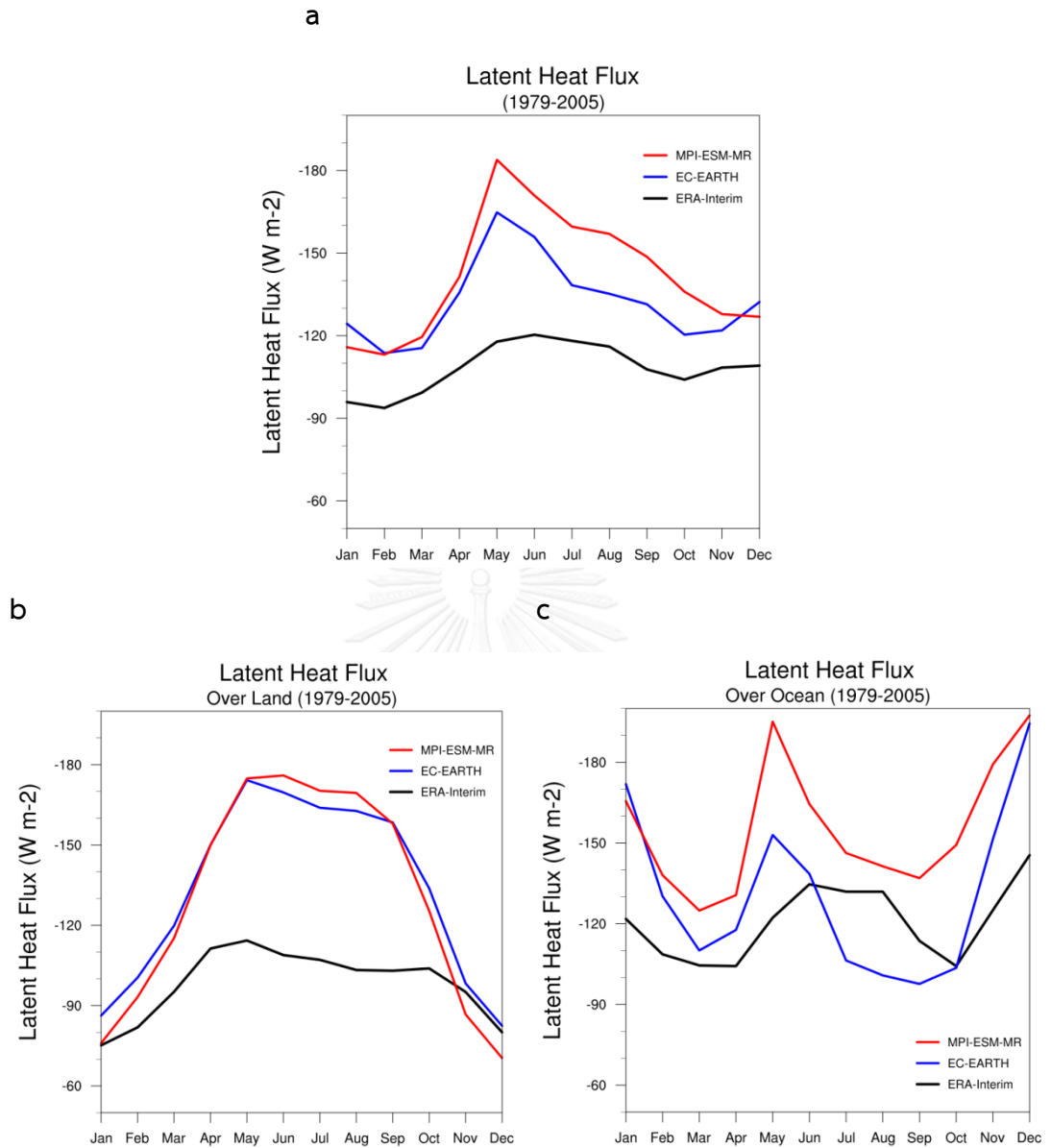
ผลการจำลองฟลักซ์ความร้อนแฝงจากทั้งสองแบบจำลองสามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงในรอบปีของฟลักซ์เหนือแผ่นดินได้ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim แต่ค่าฟลักซ์ยังมีค่ามากกว่าข้อมูล ERA-Interim โดยเฉพาะในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR จำลองฟลักซ์ที่มีค่าต่ำกว่าข้อมูล ERA-Interim ในช่วงเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม ผลการจำลองฟลักซ์เหนือผิวนทะเลจากแบบจำลองทั้งสองแตกต่างจากข้อมูล ERA-Interim โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนพฤษภาคม โดยแบบจำลองทั้งสองให้ค่าฟลักซ์ความร้อนแฝงมากกว่าข้อมูล ERA-Interim ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองความเร็วลมจากแบบจำลองที่มีค่ามากกว่าข้อมูล ERA-Interim ในเดือนพฤษภาคม ซึ่งส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์เฉลี่ยรวมเหนือพื้นที่ศึกษานี้มีความแตกต่างจากข้อมูล ERA-Interim ผล

การจำลองฟลักซ์เหนือผิวทะเลจากแบบจำลอง EC-EARTH ให้ค่าฟลักซ์มากกว่าข้อมูล ERA-Interim ยกเว้นเดือนมิถุนายน-ตุลาคม แต่แบบจำลอง MPI-ESM-MR จะให้ค่าฟลักซ์เหนือผิวทะเลสูงกว่าข้อมูล ERA-Interim ตลอดทั้งปี อย่างไรก็ตามผลการจำลองค่าเฉลี่ยรวมของฟลักซ์ความร้อนแฝง จากทั้งสองแบบจำลองต่างก็ให้ค่าฟลักซ์ที่มากกว่าข้อมูล ERA-Interim ตลอดทั้งปี (รูปที่ 4.28)





รูปที่ 4.19 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อนแฝง ระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)



รูปที่ 4.20 ปริมาณฟลักซ์ความร้อนแฝง เฉลี่ยรายเดือนระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 (a) ฟลักซ์เฉลี่ยเหนือแผ่นดิน (b) และฟลักซ์เฉลี่ยเหนือผิวนทะเล (c)

4.1.3 ผลการจำลองการแลกเปลี่ยนความร้อนในอนาคตภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์

ฟลักซ์รังสีคลื่นยาวมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับฟลักซ์ความร้อนรูปอื่นๆ โดยฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจะมีแนวโน้มลดลง กล่าวคือฟลักซ์รังสีคลื่นยาวที่พื้นผิวสุทธิจะสามารถถ่ายเทจากพื้นผิวสู่บรรยากาศได้น้อยลง ส่งผลในอุณหภูมิพื้นผิวเพิ่มสูงขึ้น ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ขณะที่ฟลักซ์ความร้อนแฝงจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลในการถ่ายเทความร้อนในรูปความร้อนแฝงจากแผ่นดินสู่บรรยากาศมากขึ้นในอนาคต ฟลักซ์ความร้อนรวมในอนาคตจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 1 W/m^2 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ปี ค.ศ. 2020-2049) ส่งผลในอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 1°C ในช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2070-2099) จะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ความร้อนรวม $7-10 \text{ W/m}^2$ ส่งผลในอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 3°C โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.3.1 ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น

ผลการเปรียบเทียบค่าฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นในอดีต (ค.ศ. 1979-2005) และอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พบว่าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแนวโน้มการลดลงของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น แต่ฟลักซ์เหนือผิวทะเลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก RCP 8.5 ในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 เป็นสถานการณ์ที่มีฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยเฉพาะในพื้นที่ทะเลอันดามัน อ่าวเบงกอล และภาคใต้ของประเทศไทย เมื่อเปรียบเทียบภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก RCP 4.5 และ RCP 8.5 พบว่าระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ภาพจำลองทั้งสองให้ผลแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ขณะที่ช่วงเวลา ค.ศ. 2070-2099 RCP 4.5 แสดงแนวโน้มการลดลงของฟลักซ์เหนือพื้นดินอย่างชัดเจน และมีการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์เหนือผิวทะเลบริเวณอ่าวเบงกอลเพียงเล็กน้อย ขณะที่ RCP 8.5 แสดงการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นเหนือผิวทะเลอย่างเห็นได้ชัด และมีแนวโน้มของฟลักซ์เหนือแผ่นดินเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ผลจากแบบจำลอง MPI-ESM-MR ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พบว่าระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ภาพจำลองทั้งสองให้ผลใกล้เคียงกัน โดยฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งฟลักซ์เหนือผิวทะเลระหว่างปี ค.ศ. 2070-2099 ผลจากภาพจำลอง RCP4.5 แสดงการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นเหนือแผ่นดิน และผิวทะเลทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา แต่ภาพจำลอง RCP 8.5 แสดงการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์เหนือผิวทะเลในพื้นที่ทะเลอันดามัน อ่าวเบงกอล และอ่าวไทย และมีแนวโน้มการลดลงของฟลักซ์เหนือแผ่นดิน (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.29)

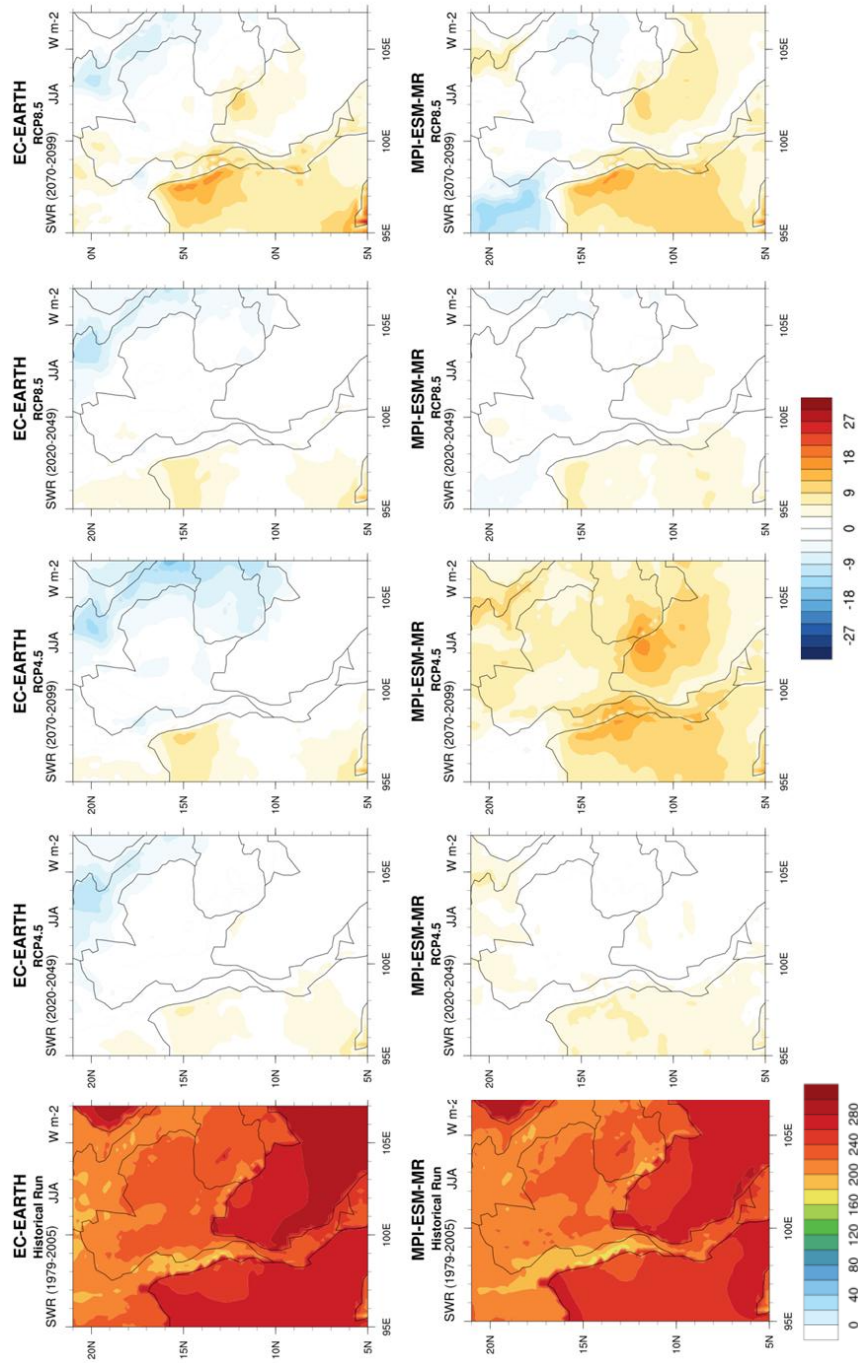
ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือแบบจำลอง EC-EARTH แสดงการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นอย่างชัดเจนภายใต้ภาพจำลอง RCP 4.5 ในช่วงปี ค.ศ 2070-2099 และ RCP 8.5 ในช่วงปี ค.ศ. 2020-2049 ขณะที่ภาพการอื่นมีแนวโน้มลดลง แบบจำลอง MPI-ESM-MR ในมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่แบบจำลอง MPI-ESM-MR แสดงแนวโน้มการลดลงของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นเมื่อเวลาผ่านไป กล่าวคือฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นจากภาพจำลองทั้งสองในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 มีค่าน้อยกว่าในช่วงปี ค.ศ. 2020-2049 (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.30) การเพิ่มขึ้นและลดลงของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นในแต่ละพื้นที่ของประเทศไทยสอดคล้องกับการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นจากข้อมูลสำรวจในประเทศญี่ปุ่น และประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งพบว่า ฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นที่พื้นผิวมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ (Liley, 2009; Norris & Wild, 2009; Ohmura, 2009; Kudo et al., 2011) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของช่วงเวลาที่มิแสงอาทิตย์ (sunshine duration) ทักษะวิสัยของบรรยากาศ (atmospheric visibility) อัตราการระเหย (evaporation rate) และช่วงความต่างของอุณหภูมิระหว่างวัน (diurnal temperature range) (Hartmann et al., 2013) ซึ่งล้วนส่งผลต่อละอองลอย และปริมาณเมฆในบรรยากาศ นอกจากนี้ผลการศึกษากการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นจากแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศพบว่า นอกจากเมฆที่มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นแล้ว การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่เป็นน้ำแข็งในพื้นที่ละติจูดสูงก็ยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญ โดยผลการจำลองจากแบบจำลองในโครงการ CMIP 5 พบว่าปริมาณเมฆในบรรยากาศในพื้นที่ประเทศไทยมีแนวโน้มลดลง (Collin et al., 2013) :ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น

เมื่อเปรียบเทียบฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนจะเห็นได้ชัดว่าแบบจำลองทั้งสองต่างแสดงการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นเหนือผิวทะเล โดยเฉพาะในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 โดยฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่เดือนเมษายน-ธันวาคม (รูปที่ 4.31)

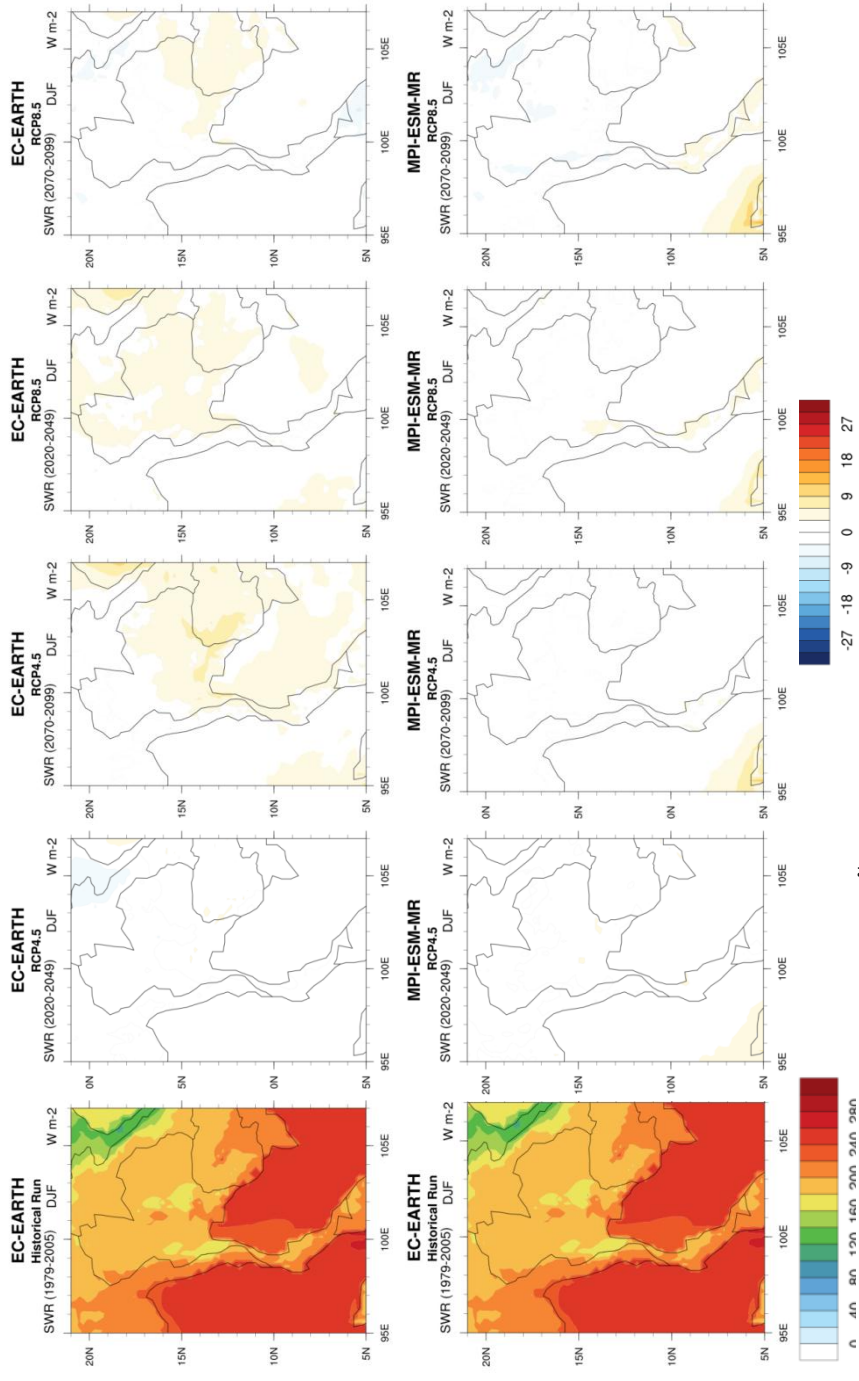
ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นในอดีต (ค.ศ. 1979-2005) และอนาคต (ค.ศ. 2020-2049 และ ค.ศ. 2070-2099) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5

SWR (W/m^2)		RCP 4.5		RCP8.5	
		Near future (2020-2049)	Far Future (2070-2099)	Near future (2020-2049)	Far Future (2070-2099)
JJA	EC-EARTH	0.10	-1.23	0.09	2.62
	MPI-ESM-MR	2.21	7.12	0.70	2.66
DJF	EC-EARTH	-0.37	2.62	2.42	0.38
	MPI-ESM-MR	0.60	0.29	0.38	-0.33

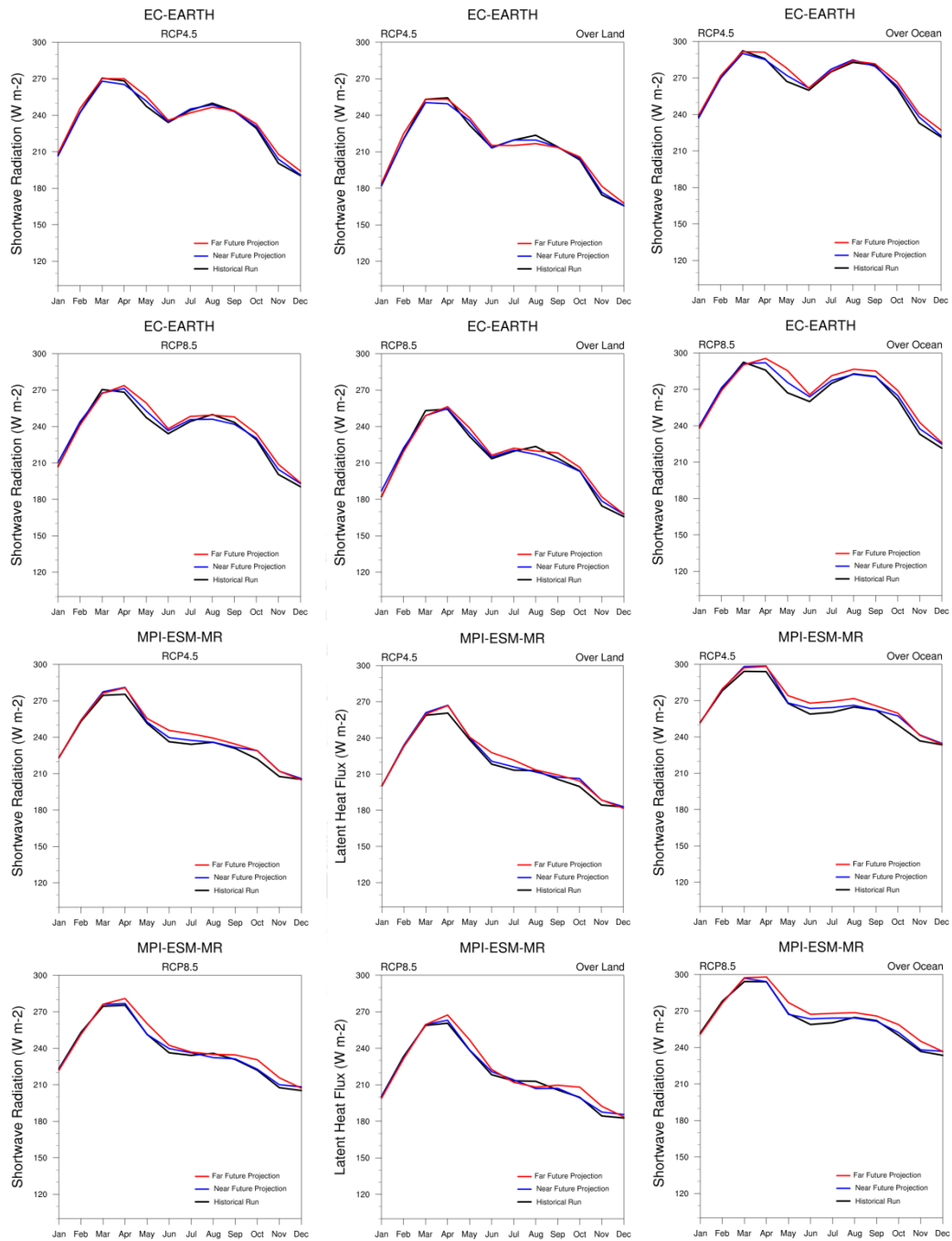




รูปที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จาก มนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



รูปที่ 4.22 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอินทรีย์จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



รูปที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยรายเดือนฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น (คอลัมน์ที่ 1) ฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือแผ่นดิน (คอลัมน์ที่ 2) และฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือผิวนทะเล (คอลัมน์ที่ 3) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5

4.1.3.2 พลังค์รังสีคลื่นยาว

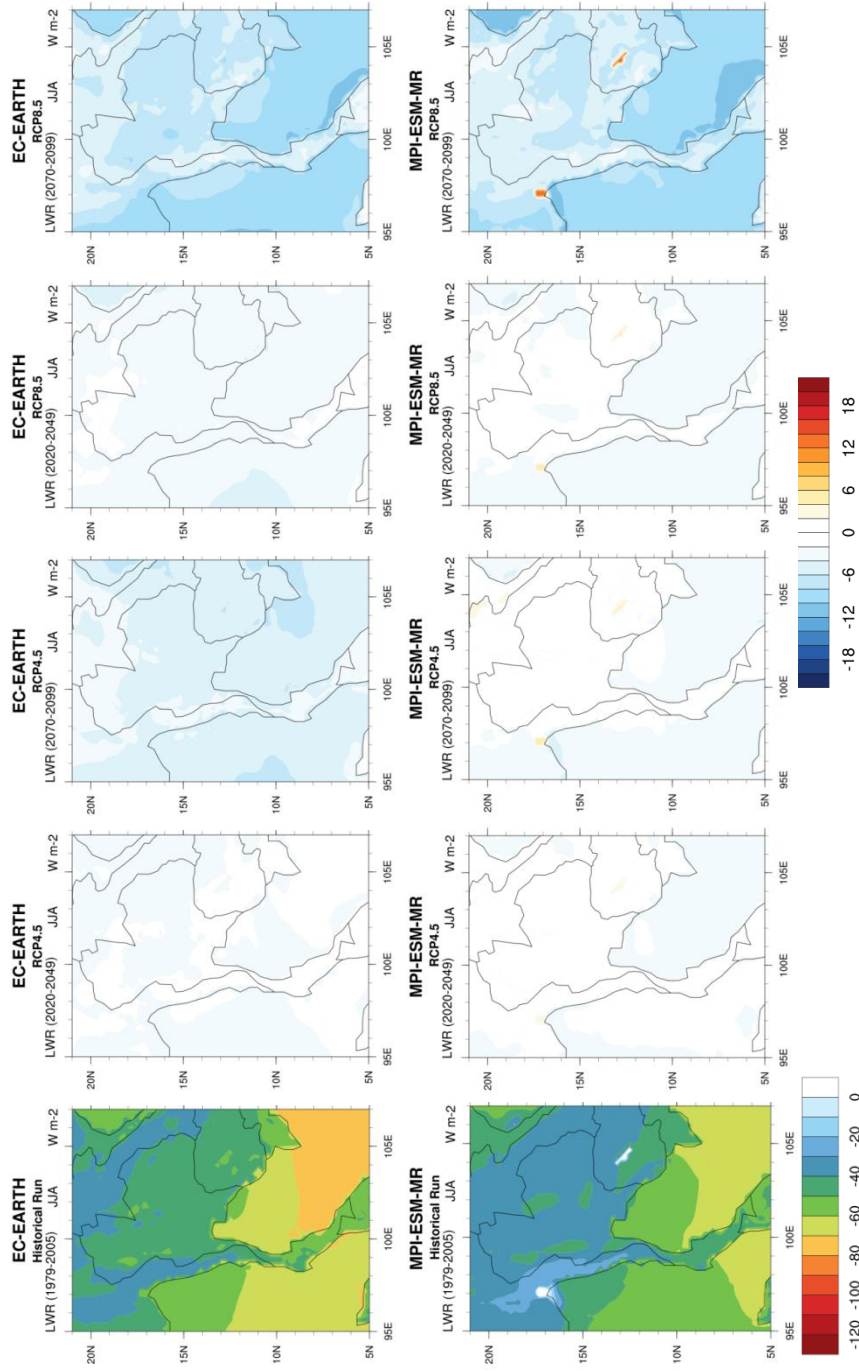
ผลจากการเปรียบเทียบพลังค์รังสีคลื่นยาวในอดีต (ค.ศ. 1979-2005) จากทั้งสองแบบจำลองแสดงแนวโน้มการลดลงของพลังค์ในทั้งสองฤดูมรสุม (มีค่าเป็นลบน้อยขึ้น หมายถึง พลังค์ความร้อนถ่ายเทจากพื้นผิวสู่บรรยากาศได้น้อยลง) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 ที่จะมีแนวโน้มการลดลงมากกว่าในช่วงปี ค.ศ. 2020-2049 ภาพการณ์ที่แสดงแนวโน้มการลดลงของพลังค์มากที่สุดคือ ภาพการณ์ภายใต้ภาพจำลอง RCP 8.5 ในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 จากทั้งสองแบบจำลอง ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะมีแนวโน้มการลดลงของพลังค์มากกว่าฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.32 และรูปที่ 4.33)

ค่าเฉลี่ยรายเดือนของพลังค์รังสีคลื่นยาวจากทั้งสองแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าการลดลงของ พลังค์รังสีคลื่นยาวจะมากขึ้นในช่วงฤดูมรสุมทั้งสอง (รูปที่ 4.34) การเปลี่ยนแปลงพลังค์รังสีคลื่นยาวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิพื้นผิว และความรุนแรงของผลกระทบจากก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ และแม้ว่าผลการจำลองปริมาณเมฆในอนาคตจะมีแนวโน้มลดลง ซึ่งส่งผลให้พลังค์รังสีคลื่นยาวที่พื้นผิวสามารถแผ่ไปสู่บรรยากาศได้มากขึ้น แต่อิทธิพลของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศก็ยังคงมีส่วนให้พลังค์รังสีคลื่นยาวมีแนวโน้มลดลงได้ (Collins et al., 2013) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่พบว่าพลังค์รังสีคลื่นยาวมีแนวโน้มลดลง ซึ่งการลดลงของพลังค์รังสีคลื่นยาวในอนาคตส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนจากผิวโลกสู่บรรยากาศลดลง แม้ว่าอุณหภูมิที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคตจะส่งผลให้รังสีคลื่นยาวแผ่ความร้อนสู่บรรยากาศได้มากขึ้น แต่ก๊าซเรือนกระจกที่ทำหน้าที่คล้ายเกราะป้องกันไม่ให้รังสีคลื่นยาวแผ่ความร้อนออกสู่บรรยากาศชั้นนอกได้ กล่าวคือพลังค์รังสีคลื่นยาวที่เกิดจากการสะท้อนกลับของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศมากขึ้น ทำให้พื้นผิวได้รับพลังงานมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต

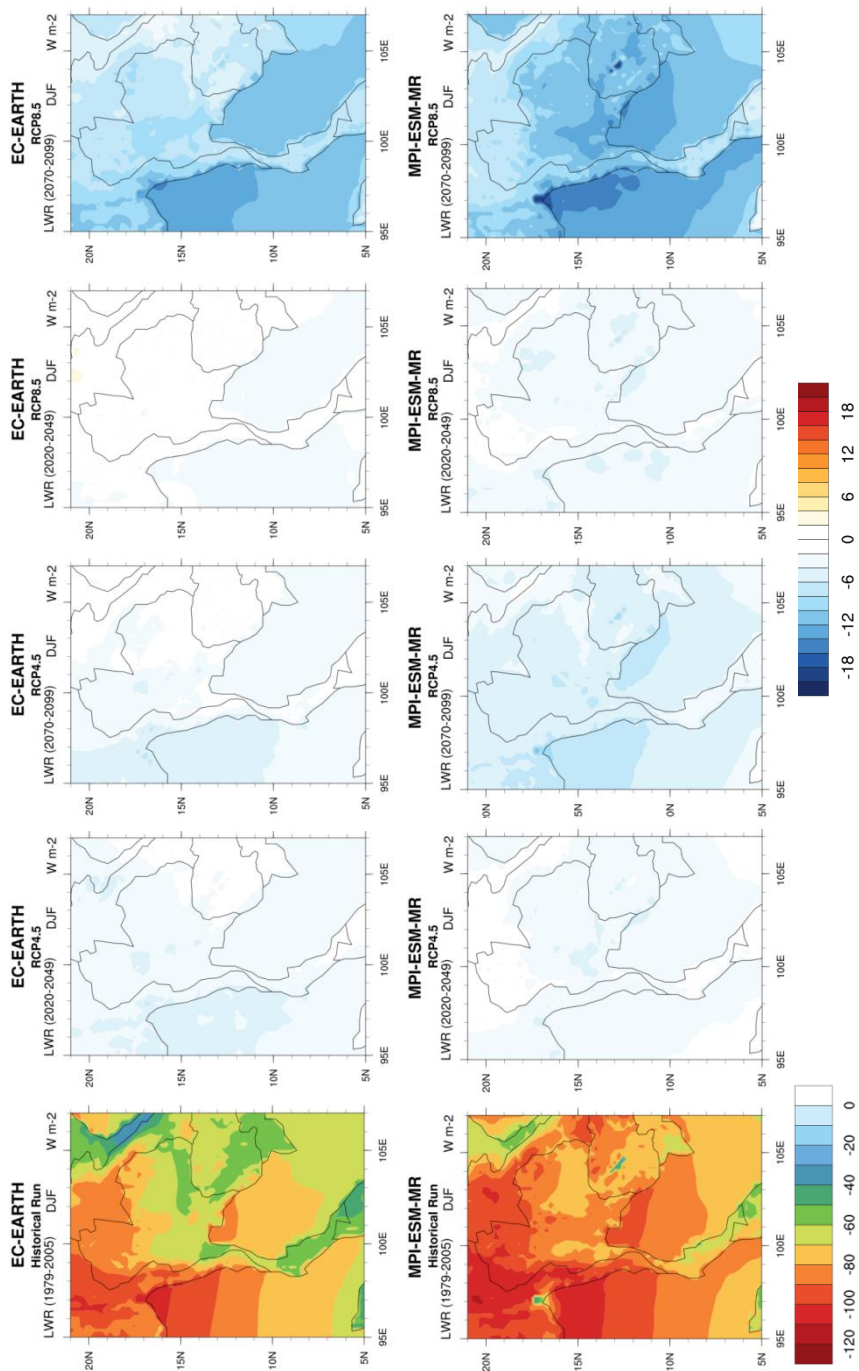
ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์รังสีคลื่นยาวในอดีต (ค.ศ. 1979-2005) และอนาคต (ค.ศ. 2020-2049 และ ค.ศ. 2070-2099) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5

LWR (W/m^2)		RCP 4.5		RCP8.5	
		Near future (2020-2049)	Far Future (2070-2099)	Near future (2020-2049)	Far Future (2070-2099)
JJA	EC-EARTH	-2.04	-4.72	-2.87	-7.31
	MPI-ESM-MR	-1.56	-1.66	-2.25	-7.19
DJF	EC-EARTH	-3.00	-2.56	-0.99	-8.81
	MPI-ESM-MR	-2.41	-4.77	-2.91	-10.42

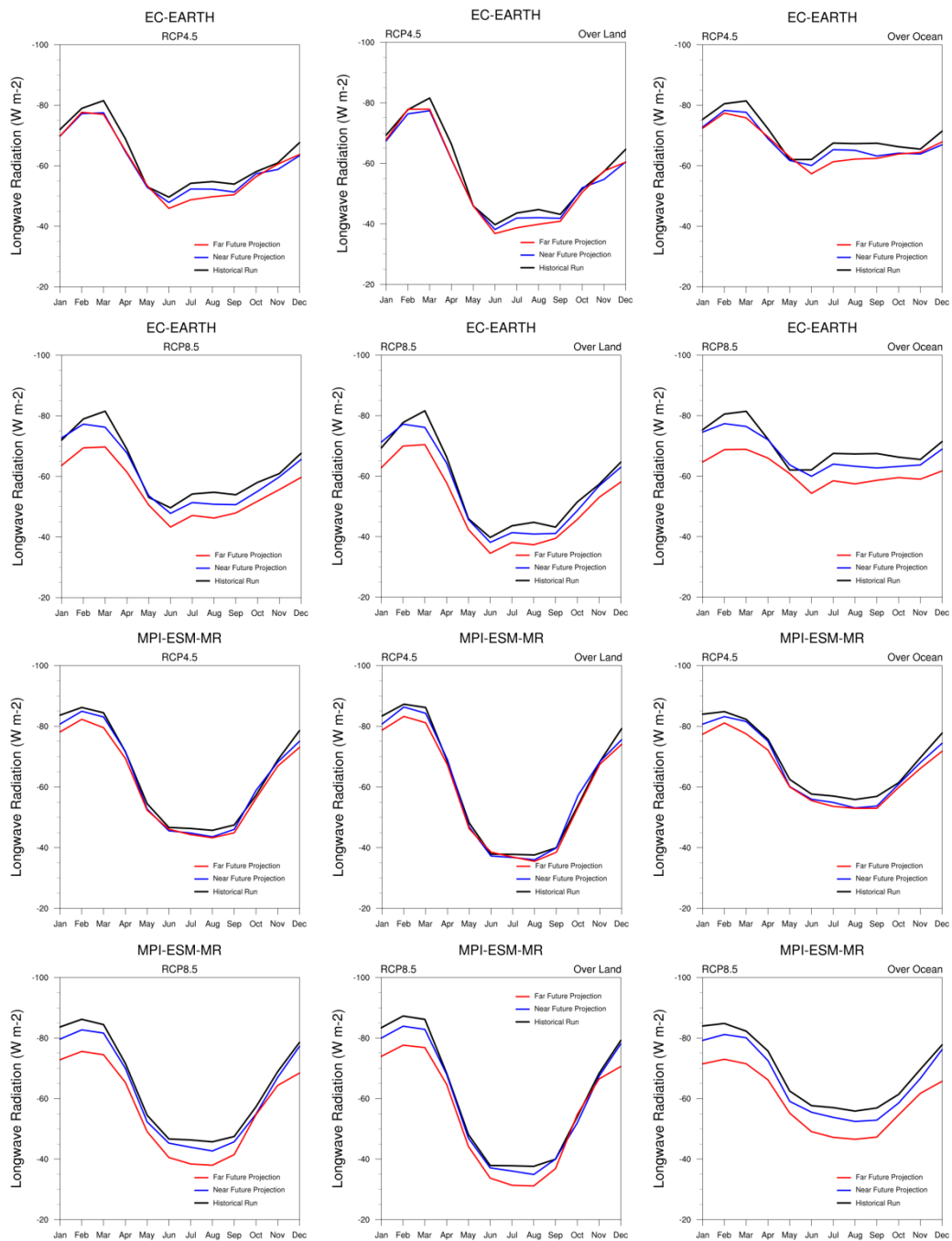




รูปที่ 4.24 ผลการเปรียบเทียบการจำลองพลังค์ซึ่งใช้ศึคินยาวในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จาก มนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



รูปที่ 4.25 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นยาวในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอินทรีย์จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



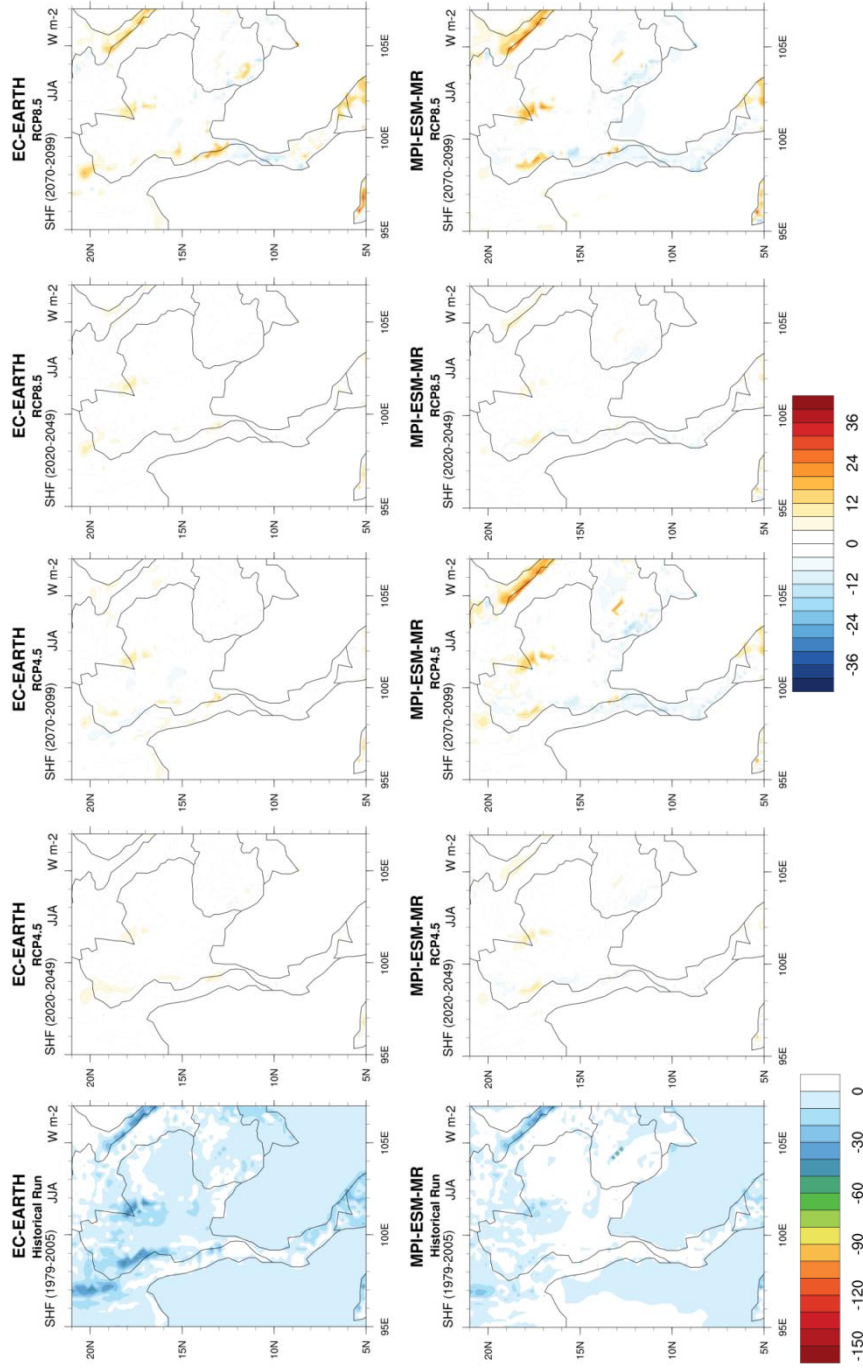
รูปที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยรายเดือนฟลักซ์รังสีคลื่นยาว (คอลัมน์ที่ 1) ฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือแผ่นดิน (คอลัมน์ที่ 2) และฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือผิวน้ำทะเล (คอลัมน์ที่ 3) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5

4.1.3.3 ฟลักซ์ความร้อนสัมผัส

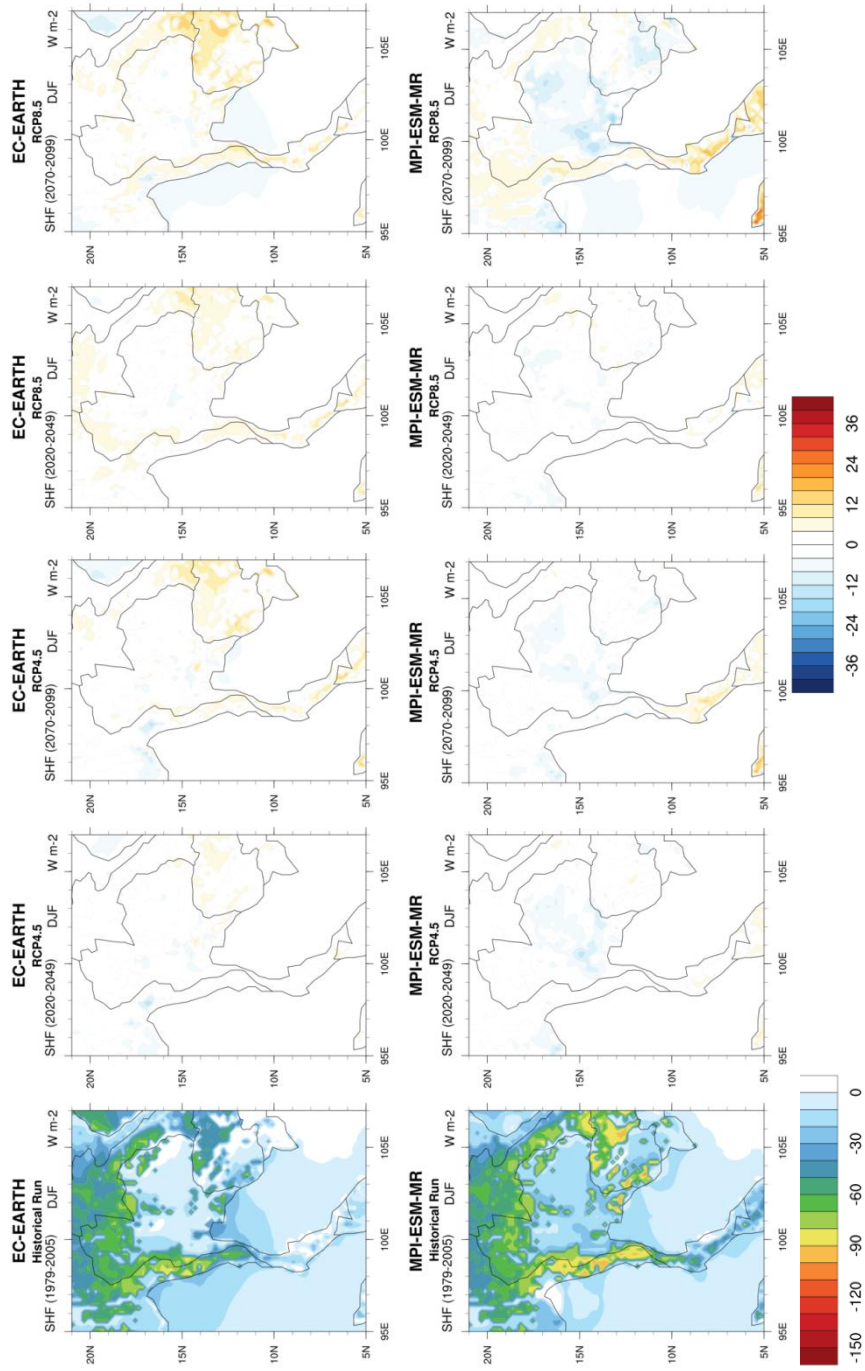
ค่าเฉลี่ยรายเดือนของฟลักซ์ความร้อนสัมผัส จากแบบจำลอง EC-EARTH มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับแบบจำลอง MPI-ESM-MR โดยแบบจำลอง MPI-ESM-MR แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ได้ชัดเจนกว่าแบบจำลอง EC-EARTH โดยแสดงแนวโน้มการถ่ายเทความร้อนสัมผัสเหนือแผ่นดินสู่บรรยากาศเพิ่มมากขึ้น แต่การถ่ายเทความร้อนเหนือผิวนทะเลสู่บรรยากาศจะลดลงและมีแนวโน้มที่จะได้รับความร้อนจากบรรยากาศในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ภาพการณ์ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ ภาพจำลอง RCP 8.5 ในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 (รูปที่ 4.37)

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อนสัมผัสในอดีต (ค.ศ. 1979-2005) และอนาคต (ค.ศ. 2020-2049 และ ค.ศ. 2070-2099) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5

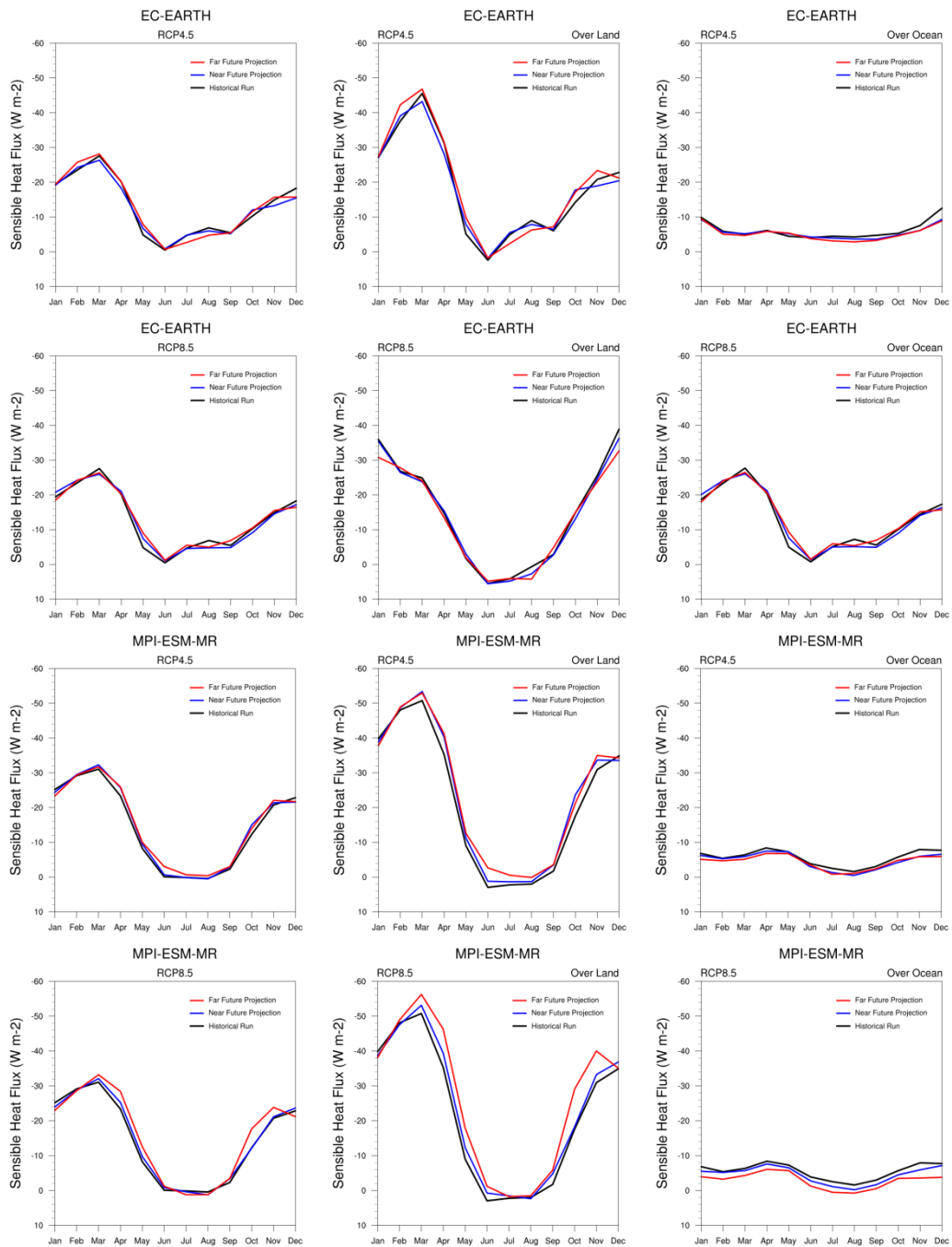
SHF (W/m^2)		RCP 4.5		RCP8.5	
		Near future (2020-2049)	Far Future (2070-2099)	Near future (2020-2049)	Far Future (2070-2099)
JJA	EC-EARTH	0.00	-0.50	-0.22	-0.22
	MPI-ESM-MR	-0.14	0.03	-0.22	-0.01
DJF	EC-EARTH	-0.61	0.14	0.62	-0.12
	MPI-ESM-MR	-0.54	-0.80	-0.33	-1.17



รูปที่ 4.27 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์ความร้อนรูป sensible heat ในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอินทรีย์จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



รูปที่ 4.28 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์ความร้อนรูป sensible heat ในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



รูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยรายเดือนฟลักซ์ความร้อนรูป sensible heat (คอลัมน์ที่ 1) ฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือแผ่นดิน (คอลัมน์ที่ 2) และฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือผิวนทะเล (คอลัมน์ที่ 3) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5

4.1.3.4 พลังค์ความร้อนแฝง

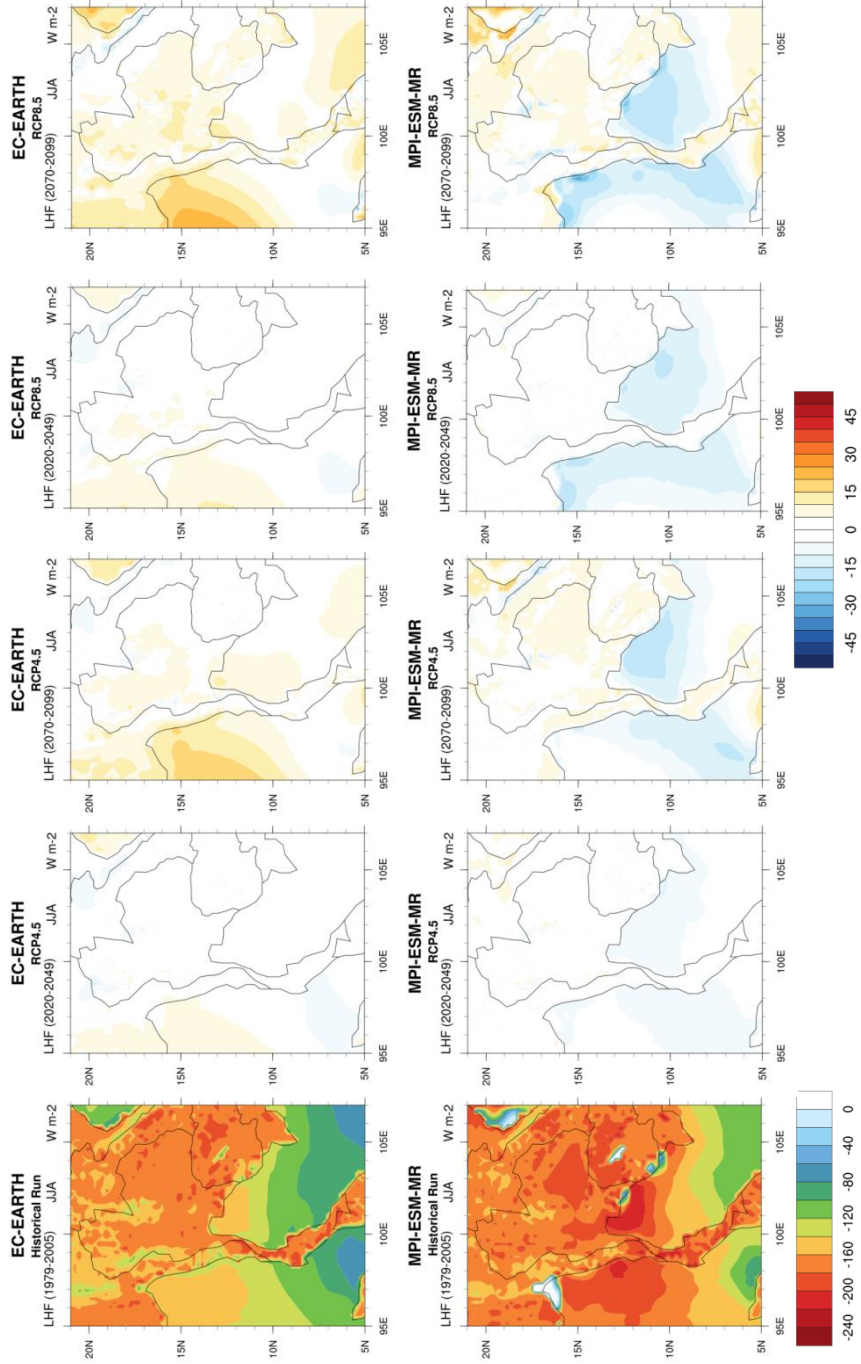
ผลการเปรียบเทียบพลังค์ความร้อนแฝง ระหว่างผลการจำลองในอดีต (ค.ศ. 1979-2005) และอนาคต (ค.ศ. 2020-2049 และค.ศ. 2070-2099) ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จากแบบจำลอง EC-EARTH แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้น (มีค่าเป็นลบมากขึ้น หมายถึงสามารถถ่ายเทความร้อนในรูปความร้อนแฝงจากพื้นผิวสู่บรรยากาศได้มากขึ้น) ของพลังค์เหนือผิวทะเลบริเวณอ่าวเบงกอล ซึ่งจะเห็นได้ชัดในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 จากทั้งสองภาพจำลอง โดยในช่วงปีนี้มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ พลังค์เหนือแผ่นดินประเทศไทยอีกด้วย ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR แสดงแนวโน้มการลดลงของพลังค์เหนือผิวทะเล ซึ่งจะเห็นได้ชัดภายใต้ภาพจำลอง RCP 4.5 ในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 และภายใต้ RCP 8.5 ทั้งในช่วงปี ค.ศ. 2020-2049 และ ค.ศ. 2070-2099 ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองความเร็วลมที่มีแนวโน้มลดลงเหนือผิวทะเลนอกจากนี้ยังแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของพลังค์เหนือแผ่นดิน ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยทั้งพื้นที่พบว่าในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แบบจำลอง EC-EARTH มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพลังค์ แต่แบบจำลอง MPI-ESM-MR แสดงแนวโน้มการลดลง (ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.38) ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแบบจำลองทั้งสองต่างแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพลังค์ความร้อนแฝง ซึ่งผลการจำลองภายใต้ภาพจำลอง RCP 8.5 ในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 จากทั้งสองแบบจำลองแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยมีการเพิ่มขึ้นทั้งพลังค์เหนือแผ่นดินและพลังค์เหนือผิวทะเล (ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.39)

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยรายเดือนของพลังค์ความร้อนแฝง แบบจำลองทั้งสองแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพลังค์เหนือแผ่นดินโดยเฉพาะในช่วงเดือนพฤษภาคม-กันยายน นอกจากนี้ผลการจำลองจากแบบจำลอง EC-EARTH ภายใต้ภาพจำลอง RCP 8.5 ระหว่างปี ค.ศ. 2070-2099 ยังแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพลังค์ความร้อนแฝงตลอดทั้งปี ผลการจำลองพลังค์เหนือผิวทะเลจากแบบจำลอง EC-EARTH แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพลังค์ในช่วงเดือนมกราคม-มีนาคม และช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายน และการลดลงของพลังค์ในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม และช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคม ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพลังค์ความร้อนแฝง ในช่วงเดือนมกราคม-มีนาคมเท่านั้น โดยในเดือนอื่นผลการจำลองแสดงแนวโน้มการลดลงของพลังค์ ซึ่งพลังค์ในเดือนกันยายน และตุลาคมมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด

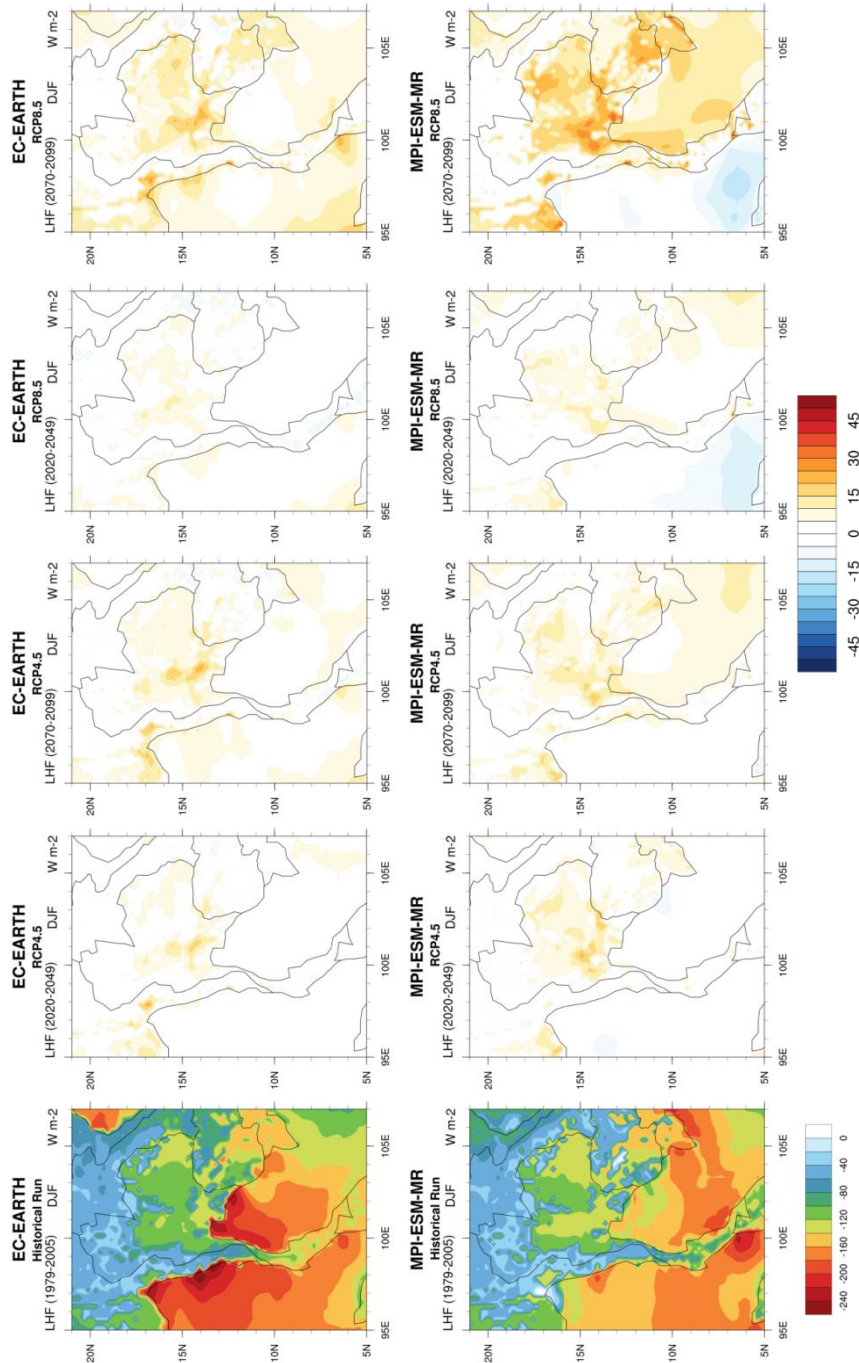
การเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ความร้อนแฝงมีส่วนช่วยในการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวโลกสู่ชั้นบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ความร้อนแฝงเหนือแผ่นดินจากการศึกษาที่สอดคล้องกับการจำลองปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศจากโครงการ CMIP 5 ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Collins et al., 2013) แต่การเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ความร้อนแฝงเหนือผืนดินนี้ไม่สอดคล้องกับความชื้นในดินบริเวณประเทศไทยจากแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศจากโครงการ CMIP 5 ซึ่งมีแนวโน้มลดลง (Collins et al., 2013) และการจำลองปริมาณน้ำฝนจากการศึกษาการลดขนาดแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศที่มีแนวโน้มลดลง (จิรสรณ์ สันติสิริสมบุรณ์ และคณะ, 2560) ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นอุณหภูมิอากาศในอนาคต (จิรสรณ์ สันติสิริสมบุรณ์ และคณะ, 2560) ส่งผลให้ความสามารถในการรองรับไอน้ำในอากาศมากขึ้น ฟลักซ์ความร้อนแฝงจึงมากขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบฟลักซ์ความร้อนแฝงในอดีต (ค.ศ. 1979-2005) และอนาคต (ค.ศ. 2020-2049 และ ค.ศ. 2070-2099) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5

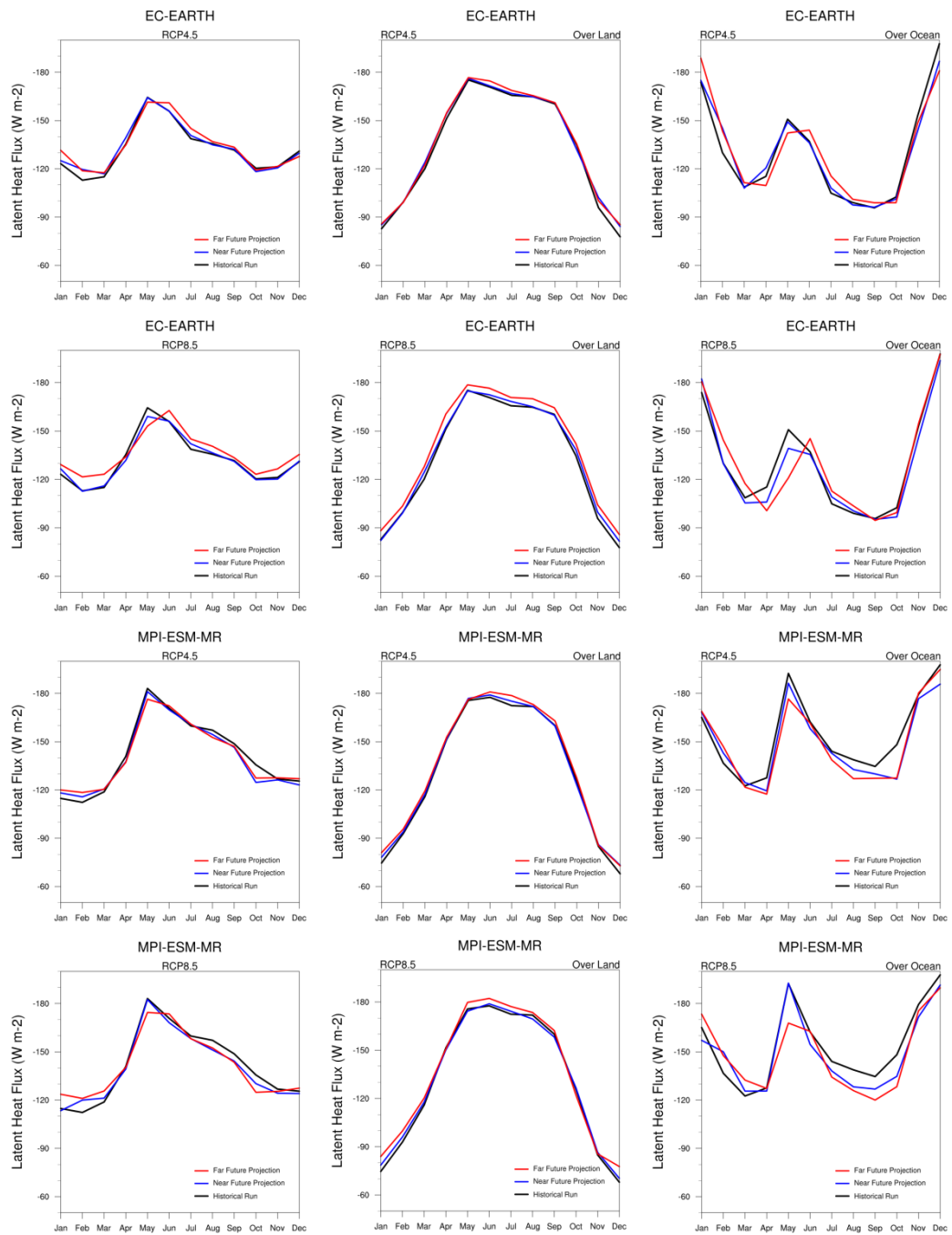
LHF (W/m^2)		RCP 4.5		RCP8.5	
		Near future (2020-2049)	Far Future (2070-2099)	Near future (2020-2049)	Far Future (2070-2099)
JJA	EC-EARTH	0.43	4.30	1.48	6.05
	MPI-ESM-MR	-0.89	-0.61	-1.08	-1.08
DJF	EC-EARTH	2.19	3.64	1.23	6.18
	MPI-ESM-MR	1.35	4.11	6.36	6.37



รูปที่ 4.30 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์ความร้อนรูป latent heat ในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



รูปที่ 4.31 ผลการเปรียบเทียบการจำลองฟลักซ์ความร้อนรูป latent heat ในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



รูปที่ 4.32 ค่าเฉลี่ยรายเดือนฟลักซ์ความร้อนรูป sensible heat (คอลัมน์ที่ 1) ฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือแผ่นดิน (คอลัมน์ที่ 2) และฟลักซ์เฉลี่ยรายเดือนเหนือผิวนทะเล (คอลัมน์ที่ 3) จากแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 และ RCP 8.5

4.1.3.5 กรณีศึกษาฟลักซ์ความร้อนรวมภายใต้ภาพจำลอง RCP 8.5

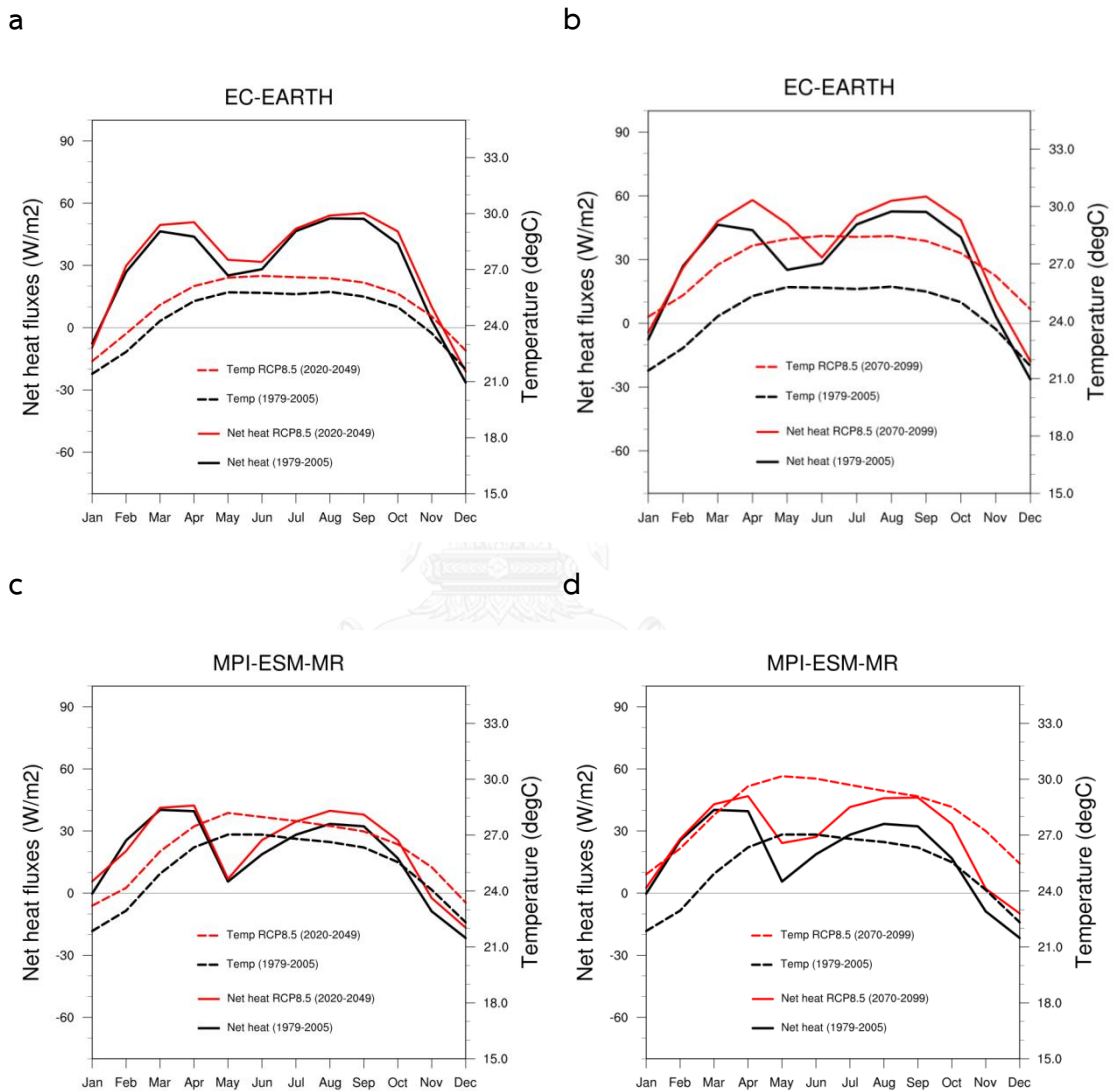
การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนแต่ละรูปส่งผลต่ออุณหภูมิพื้นผิว ผลจากแบบจำลองทั้งสองแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ความร้อนรวม แบบจำลอง EC-EARTH มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ความร้อนรวมน้อยกว่าแบบจำลอง MPI-ESM-MR ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ความร้อนรวม ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น การลดลงของ ฟลักซ์รังสีคลื่นยาว และการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนแฝง ฟลักซ์ความร้อนรวมเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นประมาณ 4 W/m^2 (ตารางที่ 4.5) ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวเพิ่มขึ้นประมาณ 1°C (แบบจำลอง EC-EARTH มีอุณหภูมิพื้นผิวเพิ่มขึ้น 0.84°C และแบบจำลอง MPI-ESM-MR เพิ่มขึ้น 1.07°C) ในช่วงปี ค.ศ. 2020-2049 ขณะที่ในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 ค่าเฉลี่ยฟลักซ์ความร้อนรวมจากแบบจำลอง EC-EARTH จะมีค่าเพิ่มขึ้น 7.12 W/m^2 แต่แบบจำลอง MPI-ESM-MR มีค่าเพิ่มขึ้น 10.06 W/m^2 โดยส่งผลให้อุณหภูมิพื้นผิวในช่วงเวลานี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 3°C (อุณหภูมิพื้นผิวจากแบบจำลอง EC-EARTH เพิ่มขึ้น 2.70°C และแบบจำลอง MPI-ESM-MR เพิ่มขึ้น 3.05°C)

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนทั้ง 4 รูป และฟลักซ์ความร้อนรวมจากแบบจำลองภายใต้ภาพจำลอง RCP 8.5 ในช่วงปี ค.ศ. 2020-2049 และ 2070-2099

Net heat flux (W/m^2)	EC-EARTH					MPI-ESM-MR				
	SWR	LWR	SHF	LHF	Net	SWR	LWR	SHF	LHF	Net
Near future (2020-2049)	1.45	-2.08	-0.16	-0.17	3.85	0.82	-2.34	0.26	-1.45	4.36
Far future (2070-2099)	3.50	-7.26	-0.08	3.56	7.12	3.63	-7.31	1.16	-0.28	10.06

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรายเดือนการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนรวม และอุณหภูมิพื้นผิวพบว่าแบบจำลอง EC-EARTH จะมีค่าฟลักซ์ความร้อนรวมเพิ่มมากที่สุดในช่วงก่อนฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนเมษายน-พฤษภาคม) ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR จะแสดงการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนรวมมากที่สุดในช่วงก่อนเข้าฤดูมรสุม (เดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม) การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนรวมที่น้อยที่จะเกินในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนมกราคม-กุมภาพันธ์) อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนรวมในแต่ละฤดูกาลไม่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิว แบบจำลองทั้งสองแสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิพื้นผิวมากที่สุดในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือ และต่ำสุดในช่วงก่อนเข้าฤดูมรสุม ทั้งนี้อาจเนื่องจากกระบวนการถ่ายเท

ความร้อนมีปัจจัยหลายๆ อย่างที่มีความสำคัญ เช่น ความเร็วลม ความชื้นในอากาศ อุณหภูมิผิวน้ำทะเล เป็นต้น ไม่เพียงแต่ฟลักซ์ความร้อนเท่านั้นที่เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ แต่อุณหภูมิพื้นผิวก็ยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อการถ่ายเทความร้อน โดยเฉพาะฟลักซ์ความร้อนรังสีคลื่นยาว และฟลักซ์ความร้อนแฝง (Krishnamurti et al., 2013; McGregor & Nieuwolt, 1998; Sui et al., 1991; G. J. Zhang & McPhaden, 1995)



รูปที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยรายเดือนของฟลักซ์ความร้อนรวม และอุณหภูมิพื้นผิวภายใต้ภาพจำลอง RCP 8.5 จากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ในปี ค.ศ. 2020-2049 (a, c) และปี ค.ศ. 2070-2099 (b, d)

4.2 ลม

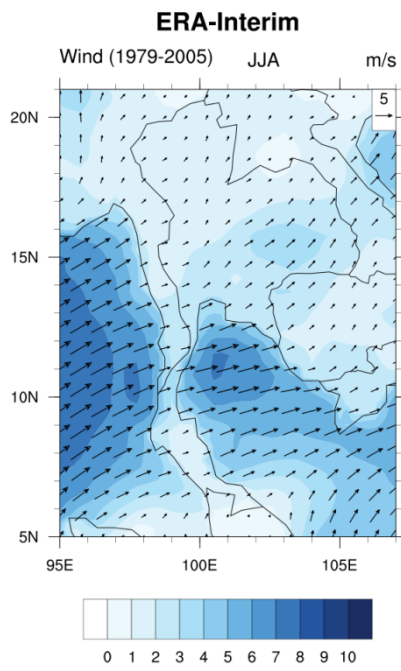
4.2.1 ผลการจำลองลมในอดีต (ค.ศ. 1979-2005)

แบบจำลองทั้งสองจำลองทิศทางของลมในช่วงมรสุมทั้งสองได้ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim ยกเว้นในพื้นที่อ่าวไทยที่ผลการจำลองทิศทางลมเบี่ยงเบนไปจากข้อมูล ERA-Interim การจำลองความเร็วลมจากแบบจำลองทั้งสองให้ค่ามากกว่าข้อมูล ERA-Interim โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูมรสุมทั้งสอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

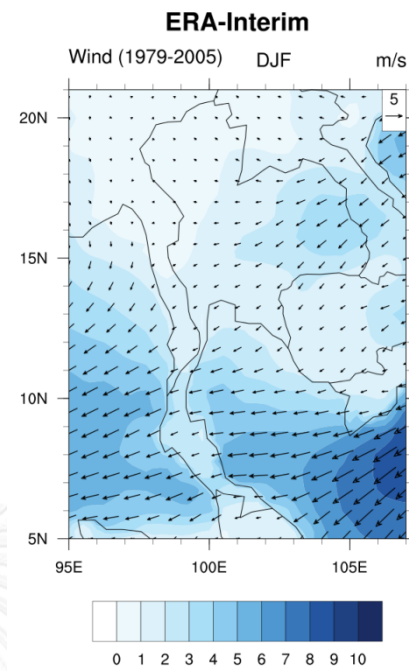
4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์ลมจากข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

ผลการวิเคราะห์ลมจากข้อมูล ERA-Interim พบว่าทิศทางของลมเป็นไปตามฤดูมรสุมทั้งสองฤดูกาล และความเร็วลมเหนือผิวนทะเลจะแรงกว่าความเร็วลมเหนือแผ่นดิน โดยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ลมเหนือพื้นที่ทะเลอันดามัน อ่าวเบงกอล และอ่าวไทยจะมีความแรงมากกว่าพื้นที่บริเวณอื่น ขณะที่ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือลมเหนือทะเลจีนใต้จะแรงมากกว่าพื้นที่อื่น และเมื่อเปรียบเทียบความเร็วลมเหนือแผ่นดิน จะเห็นได้ว่าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยจะมีความแรงมากกว่าพื้นที่อื่นในทั้งสองฤดูกาล (รูปที่ 5.1) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกและองค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ พบว่า เป็นองค์ประกอบที่มีอิทธิพลหลักในทั้งสองฤดูมรสุม จากการศึกษาที่ผ่านมาความเร็วลมมีส่วนสำคัญในกระบวนการถ่ายเทความร้อนรูป sensible heat และ latent heat (X. Zeng et al., 1998)

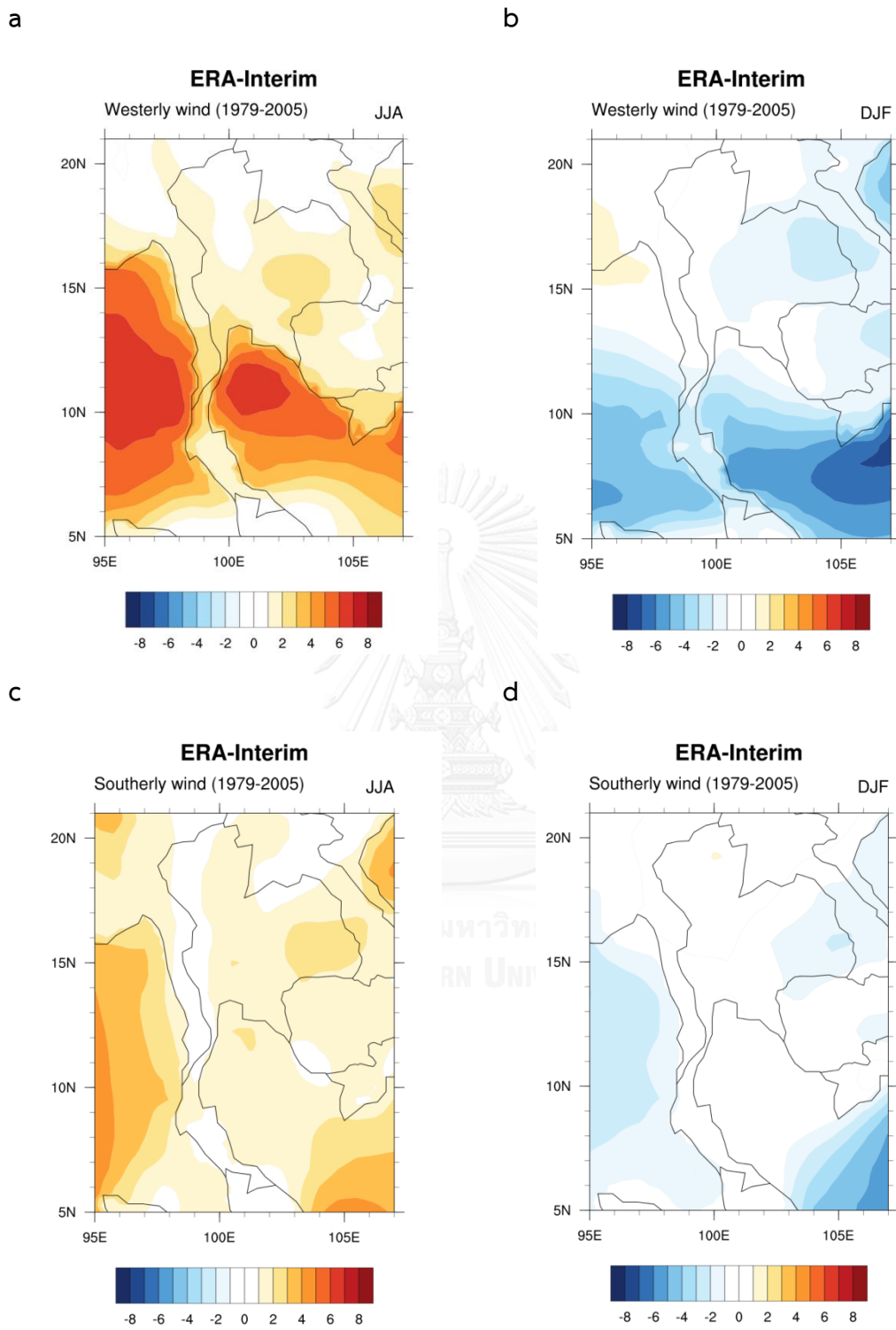
a



b



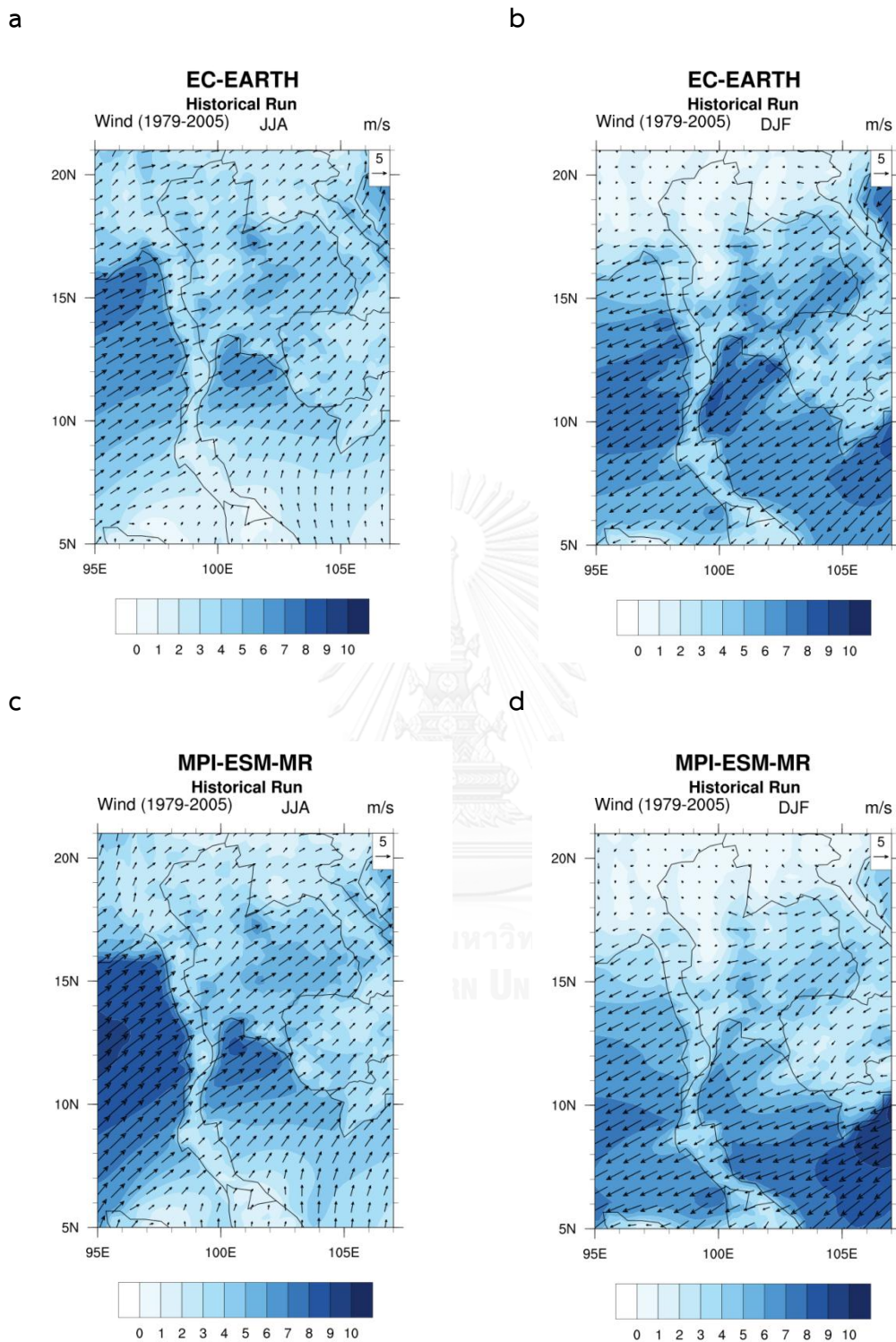
รูปที่ 4.34 ทิศทางและความเร็วลมจากข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b)



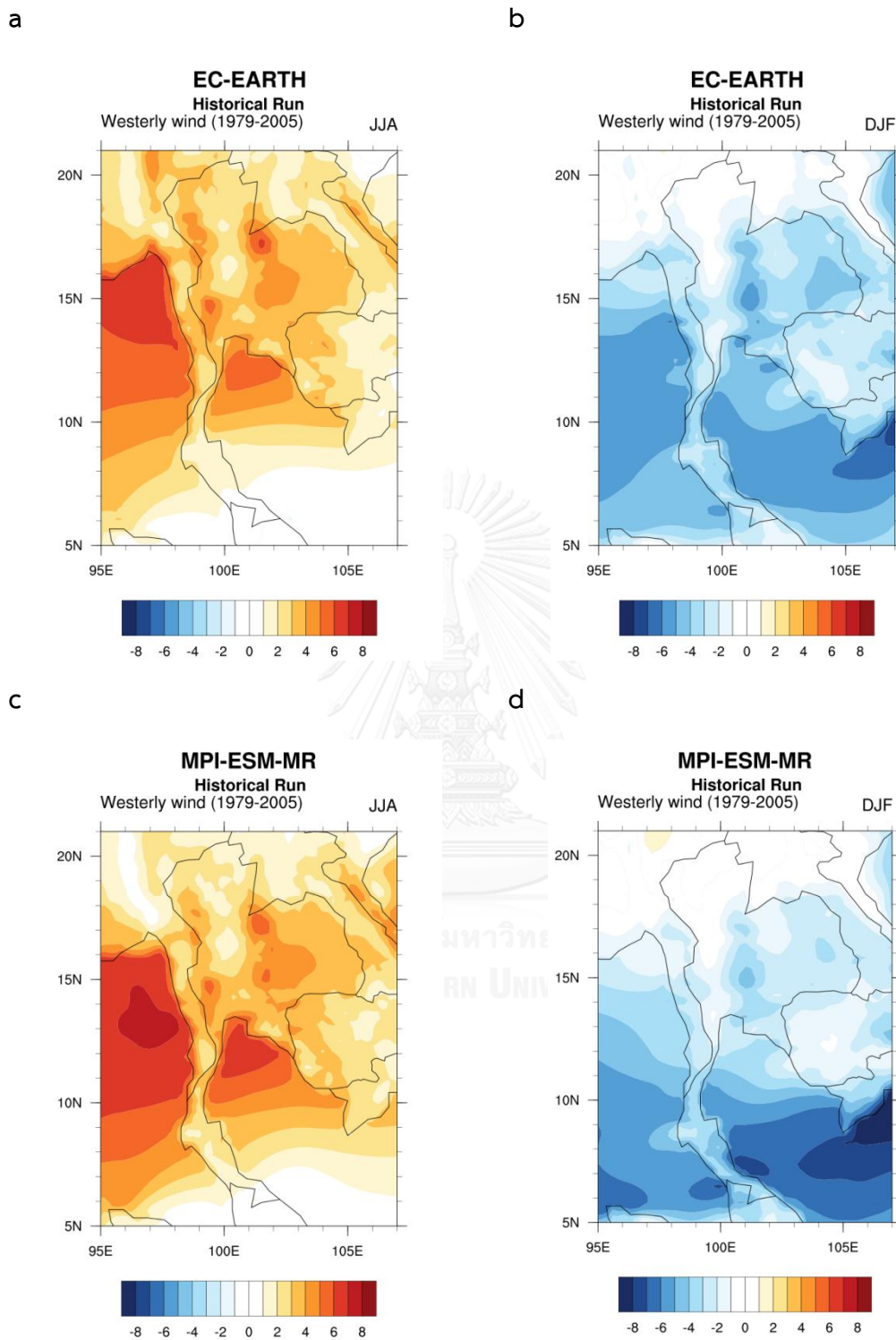
รูปที่ 4.35 องค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตก (a, b) และองค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ (c, d) จากข้อมูล ERA-Interim ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)

4.2.1.2 ผลการจำลองลมของแบบจำลอง *EC-EARTH* และ *MPI-ESM-MR* ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

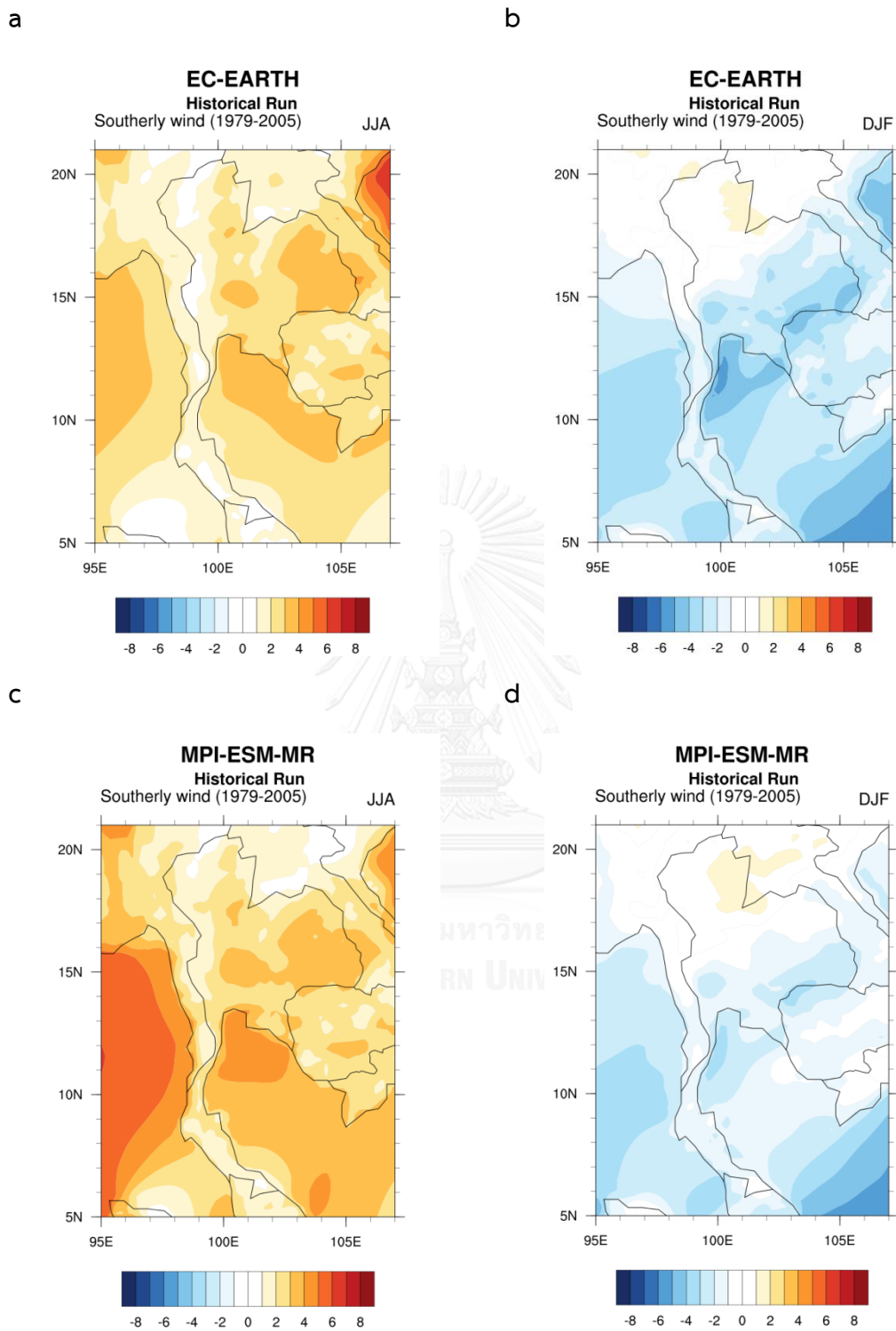
ผลการจำลองลมจากแบบจำลองทั้งสองระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 แสดงทิศทางลมตรงตามฤดูมรสุม ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แบบจำลองทั้งสองแสดงพื้นที่ที่มีความเร็วลมสูงเหนือทะเลอันดามัน อ่าวเบงกอล อ่าวไทย และเหนือแผ่นดินโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แบบจำลองทั้งสองแสดงพื้นที่ที่มีความเร็วลมสูงเหนือทะเล และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยพื้นที่ภาคเหนือเป็นพื้นที่ที่มีความเร็วต่ำสุด ในฤดูกาลนี้ (รูปที่ 5.3) เมื่อพิจารณาการจำลององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตก และองค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้จากทั้งสองแบบจำลองพบว่า มีรูปแบบการกระจายขององค์ประกอบลมใกล้เคียงกัน โดยมีองค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกเป็นองค์ประกอบหลักของทิศทางลมในทั้งสองฤดูมรสุม องค์ประกอบลมทั้งสองจากแบบจำลอง *MPI-ESM-MR* ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีค่าสูงเหนืออ่าวเบงกอล ทะเลอันดามัน และอ่าวไทยตอนบนซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความเร็วลมในพื้นที่ดังกล่าวที่มีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแบบจำลอง *EC-EARTH* จำลององค์ประกอบลมทั้งสองซึ่งมีค่ามากเหนือแผ่นดินบริเวณภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งอ่าวไทยตอนบน ทำให้ผลการจำลองความเร็วลมจากแบบจำลอง *EC-EARTH* มีค่าสูงกว่าแบบจำลอง *MPI-ESM-MR* (รูปที่ 5.4 และ รูปที่ 5.5) การจำลององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตก และองค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้จากแบบจำลอง *EC-EARTH* จะให้สูงเหนือแผ่นดิน แต่แบบจำลอง *MPI-ESM-MR* จะให้ที่สูงเหนือผิวทะเล



รูปที่ 4.36 ทิศทางและความเร็วลมจากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และ MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)



รูปที่ 4.37 องค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกจากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และ MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)



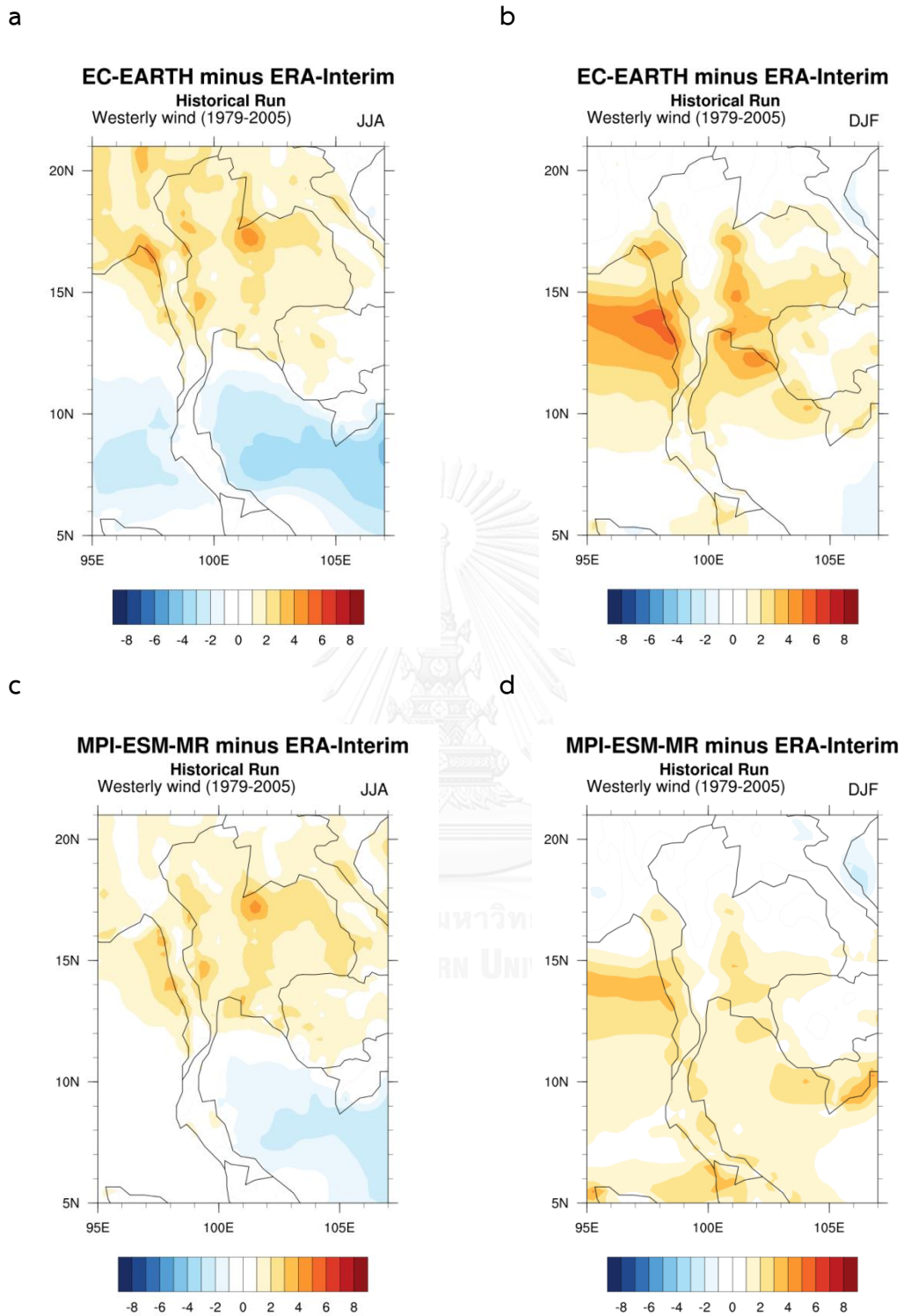
รูปที่ 4.38 องค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้จากแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และ MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)

4.2.1.3 ผลการเปรียบเทียบทิศทางและความเร็วลมระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-M

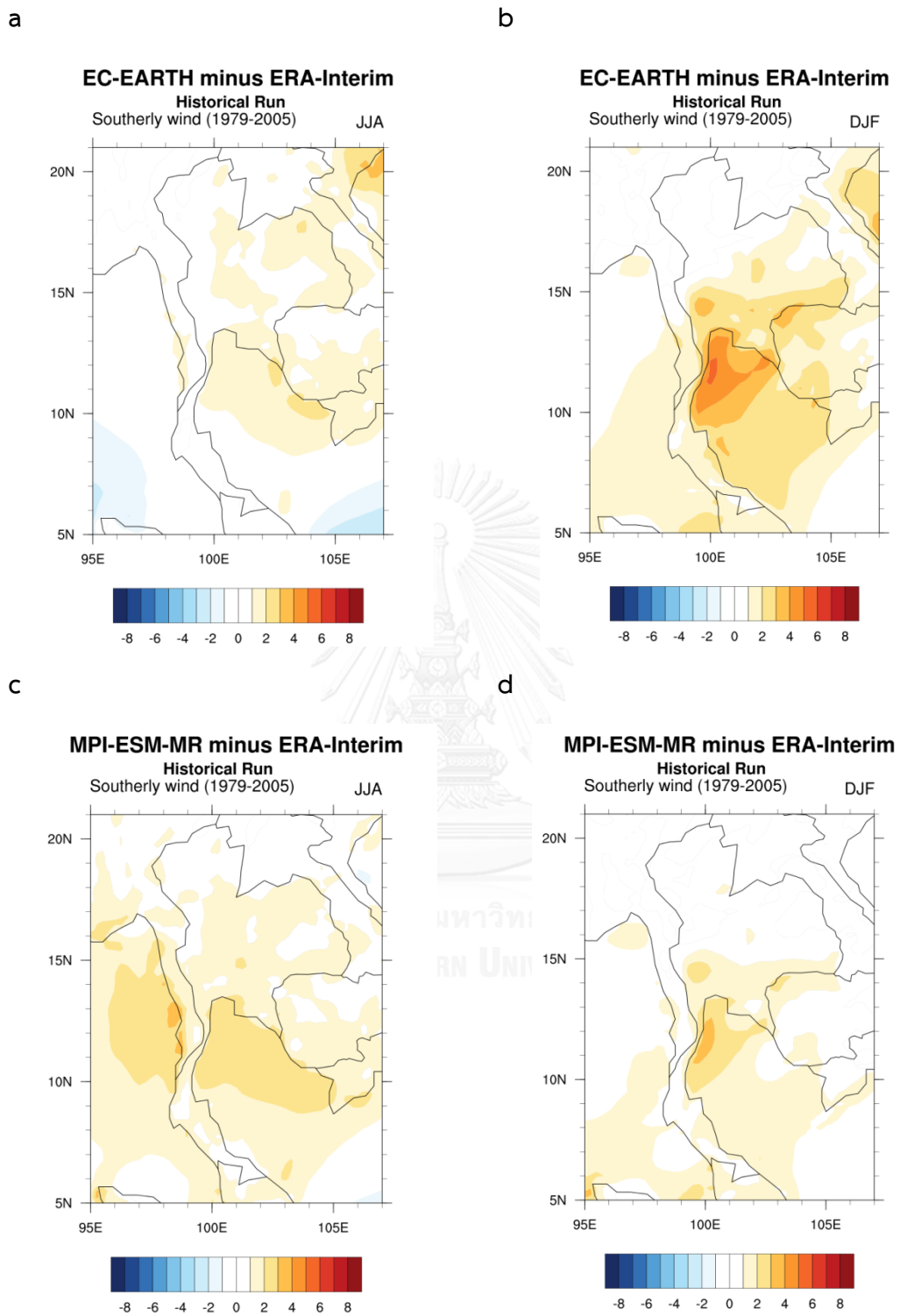
พิจารณาองค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จากแบบจำลองพบว่าทั้งสองแบบจำลองจำลองค่ามากกว่าข้อมูล ERA-Interim เหนือแผ่นดิน แต่จำลองค่าน้อยกว่าเหนือผิวนทะเล โดยมีแบบจำลอง MPI-ESM-MR เป็นแบบจำลองที่มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim มากที่สุด แบบจำลองที่สองจำลององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมากกว่าข้อมูล ERA-Interim ทั้งเหนือแผ่นดิน และเหนือผิวนทะเล โดยเฉพาะในพื้นที่ทะเลอันดามัน อ่าวเบงกอล และชายฝั่งทะเลของภาคตะวันออก (รูปที่ 5.6)

การจำลององค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากแบบจำลอง EC-EARTH มีค่ามากกว่าข้อมูล ERA-Interim เหนือแผ่นดิน และเหนือผิวนทะเล อ่าวไทยฝั่งตะวันออก และมีค่าน้อยกว่าข้อมูล ERA-Interim ในพื้นที่อ่าวเบงกอล และทะเลจีนใต้ แต่แบบจำลอง MPI-ESM-MR จำลองค่าที่มากกว่าข้อมูล ERA-Interim ทั้งเหนือแผ่นดิน และเหนือผิวนทะเล โดยเฉพาะอ่าวไทยฝั่งตะวันออก และชายฝั่งอันดามัน การจำลององค์ประกอบลมใต้ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจากแบบจำลองทั้งสองต่างก็มีค่าสูงกว่าข้อมูล ERA-Interim โดยแบบจำลอง MPI-ESM-MR จะมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim มากกว่าแบบจำลอง EC-EARTH (รูปที่ 5.7)

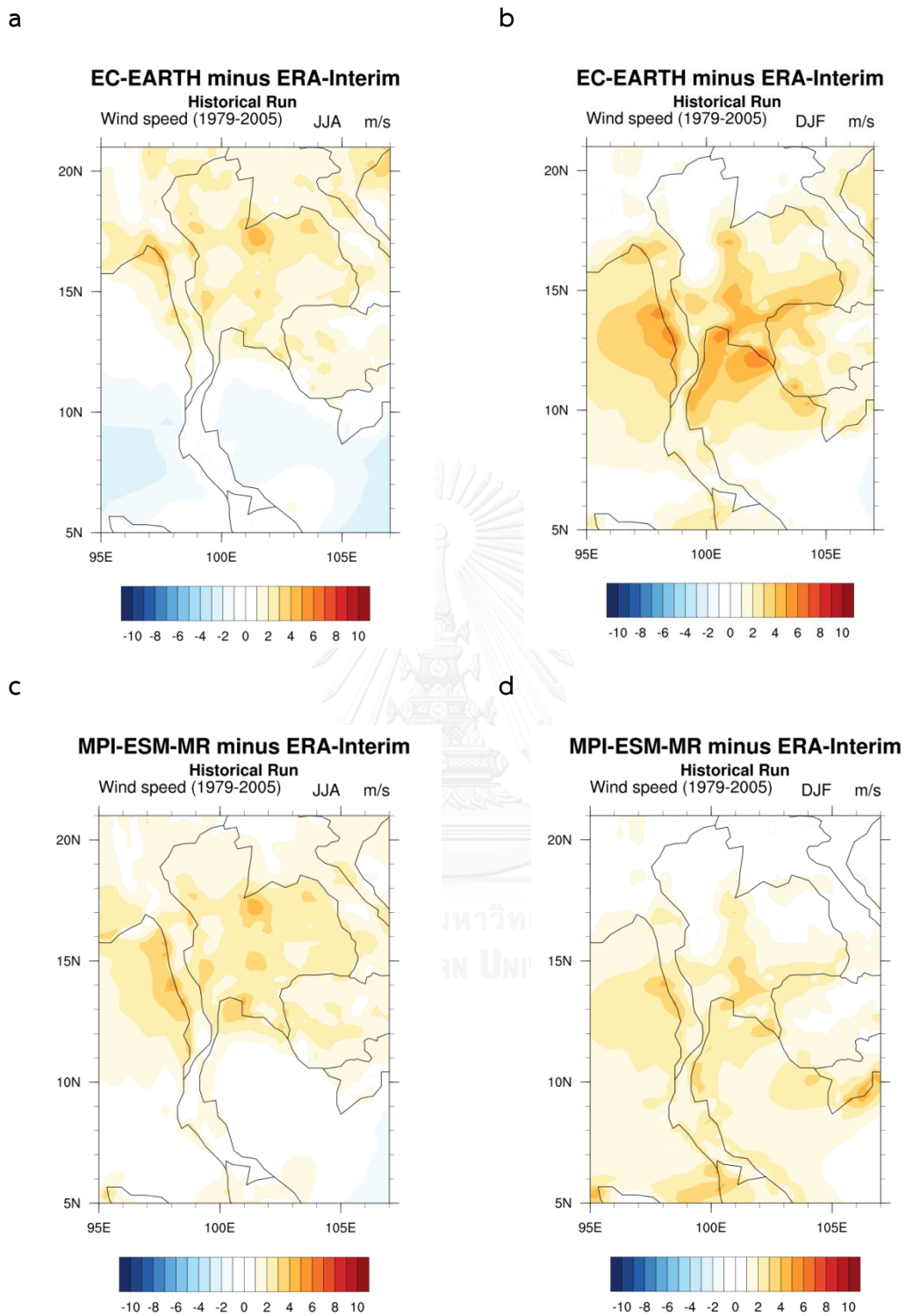
ผลการจำลององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกและลมใต้ส่งผลให้แบบจำลองทั้งสองแสดงค่าความเร็วลมเหนือแผ่นดินมากกว่าข้อมูล ERA-Interim ในทั้งสองฤดูมรสุม และความเร็วลมเหนือทะเลอันดามัน อ่าวเบงกอล และอ่าวไทยในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ผลการจำลองของแบบจำลอง EC-EARTH จำลองความเร็วลมเหนือผิวนทะเลต่ำกว่าข้อมูล ERA-Interim จากการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้งสองแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง MPI-ESM-MR สามารถจำลองความเร็วได้ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim มากกว่าแบบจำลอง EC-EARTH (รูปที่ 5.8)



รูปที่ 4.39 ผลการเปรียบเทียบขององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)



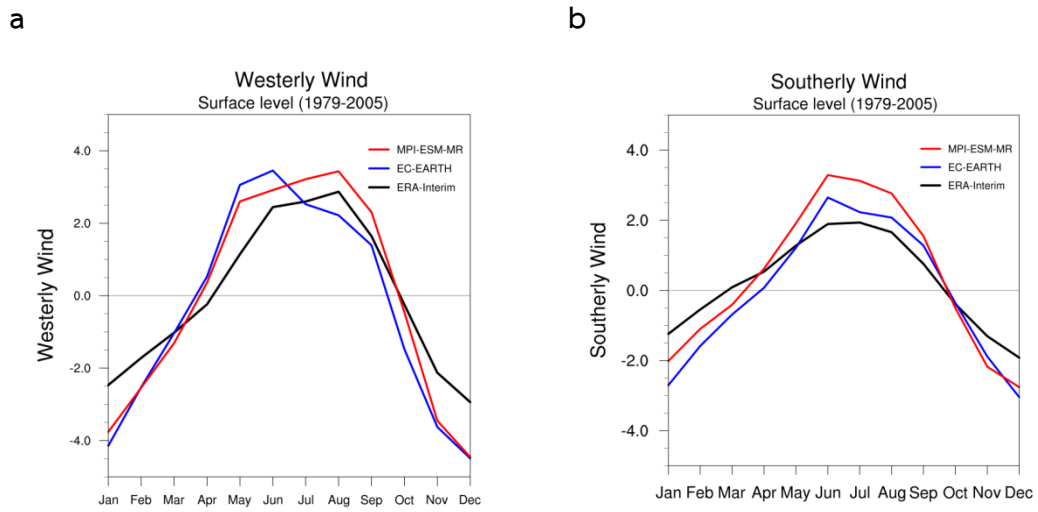
รูปที่ 4.40 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง EC-EARTH (a, b) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (c, d) ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)



รูปที่ 4.41 ผลการเปรียบเทียบความเร็วมระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลองทั้งสองแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (a, c) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (b, d)

จากการพิจารณาค่าเฉลี่ยรายเดือนขององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกพบว่าแบบจำลองทั้งสองให้ค่ามากกว่าข้อมูล ERA-Interim ตลอดทั้งปี ยกเว้นผลจากแบบจำลอง EC-EARTH ในช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายนซึ่งให้ค่าองค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกต่ำกว่าข้อมูล ERA-Interim ผลจากแบบจำลอง MPI-ESM-MR สามารถจำลองลักษณะการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกได้ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim มากกว่า และมีค่าองค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกตลอดทั้งปีใกล้เคียงกว่าแบบจำลอง EC-EARTH เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนผ่านฤดูมรสุม ผลจากแบบจำลองทั้งสองมีการเปลี่ยนผ่านมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือไปเป็นมรสุมตะวันออกเฉียงใต้เร็วกว่าข้อมูล ERA-Interim ประมาณหนึ่งเดือน โดยการเปลี่ยนผ่านของข้อมูล ERA-Interim จะอยู่ในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม แต่ผลจากแบบจำลองแสดงการเปลี่ยนผ่านฤดูมรสุมในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนผ่านจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ไปมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจากแบบจำลองทั้งสองสอดคล้องกับข้อมูล ERA-Interim ซึ่งจะมีการเปลี่ยนผ่านในช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม (รูปที่ 5.9a)

องค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้จากทั้งสองแบบจำลองต่างก็ให้ค่าสูงมากกว่าข้อมูล ERA-Interim ตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงฤดูมรสุม เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองจากทั้งสองแบบจำลองพบว่าแบบจำลอง EC-EARTH สามารถจำลองค่าองค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ได้ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim ในช่วงเดือนพฤษภาคม-พฤศจิกายน ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR สามารถจำลองได้ใกล้เคียงกว่าในช่วงเดือนธันวาคม-เมษายน การเปลี่ยนผ่านมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ไปเป็นมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจากแบบจำลองทั้งสองสอดคล้องกับข้อมูล ERA-Interim โดยจะเปลี่ยนผ่านในช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม แต่การเปลี่ยนผ่านมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือไปเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้นั้น แบบจำลองทั้งสองแสดงผลช้ากว่าข้อมูล ERA-Interim ประมาณหนึ่งเดือน กล่าวคือข้อมูล ERA-Interim จะแสดงการเปลี่ยนผ่านฤดูมรสุมในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม แต่แบบจำลองทั้งสองแสดงผลในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน (รูปที่ 5.9b)



รูปที่ 4.42 ค่าเฉลี่ยรายเดือนขององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตก (a) และองค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ (b) จากข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง EC-EARTH และ MPI-ESM-MR ระหว่างปี ค.ศ. 1979-2005

4.2.2 ผลการจำลองลมในอนาคตภายใต้ภาพการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์

ในอนาคตลมจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยจะเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในช่วงก่อนเข้าฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งองค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกจะเป็นองค์ประกอบหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลมในอนาคต โดยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อิทธิพลของลมใต้ (พัดมาจากทางทิศใต้) จะมีมากขึ้น ขณะที่ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออิทธิพลของลมตะวันออก (พัดมาจากทางทิศตะวันออก) จะมีมากขึ้นในอนาคต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

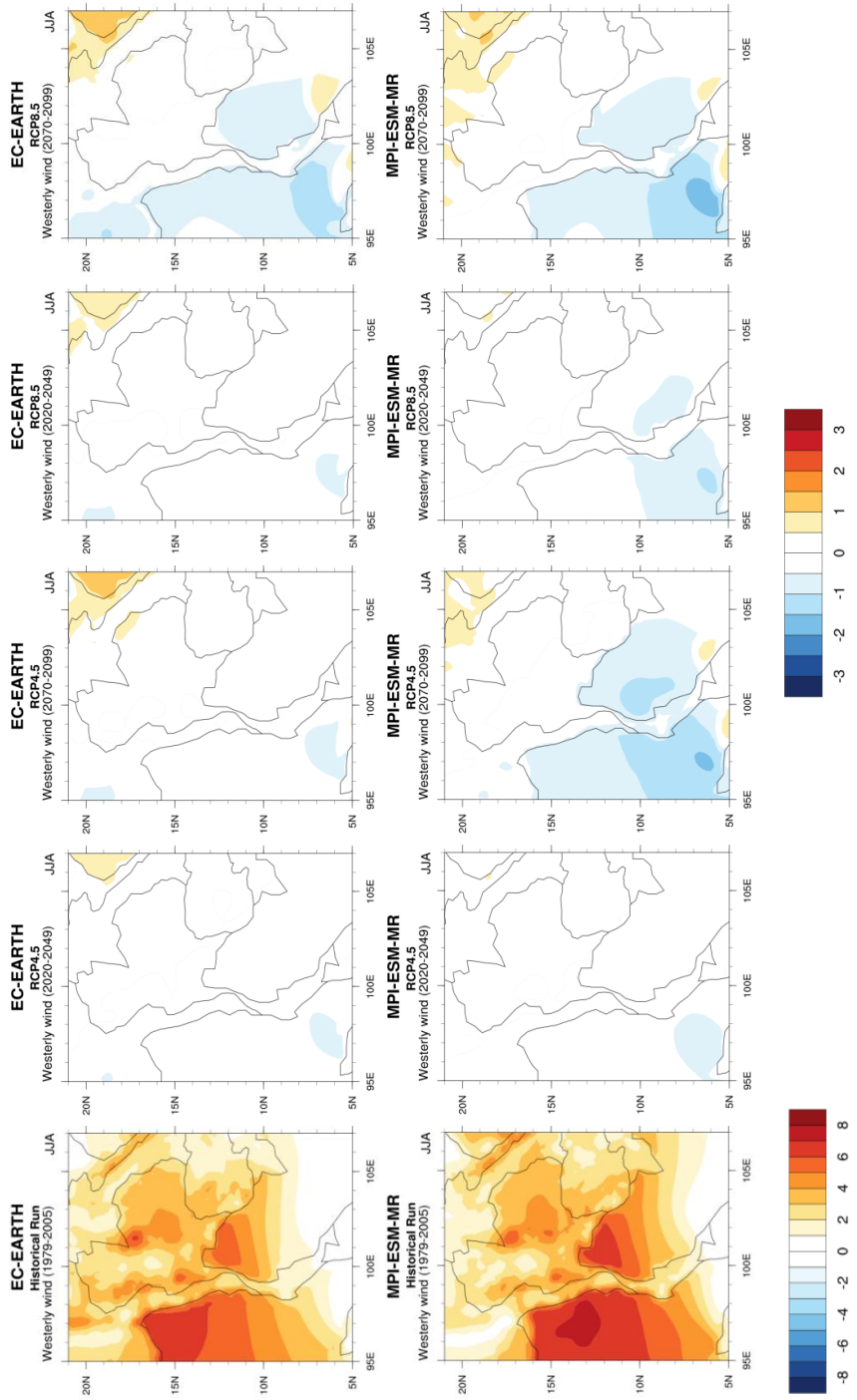
ผลการจำลององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกในอนาคตภายใต้ภาพการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นจากมนุษย์ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้แสดงแนวโน้มการลดลงขององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกเหนือผิวทะเล โดยเฉพาะในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ซึ่งแบบจำลอง MPI-ESM-MR จะแสดงแนวโน้มการลดลงมากกว่าแบบจำลอง EC-EARTH ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแบบจำลอง EC-EARTH แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกเหนือผิวทะเลในช่วงปี ค.ศ. 2020-2049 ภายใต้ RCP 4.5 และช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 ภายใต้ RCP 4.5 และ RCP 8.5 ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR แสดงแนวโน้มการลดลงขององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเหนือผิวทะเลอ่าวไทยตอนล่างฝั่งตะวันตก และทะเลอันดามันในช่วงปี ค.ศ. 2020-2049 ภายใต้ RCP 8.5 เท่านั้น

ผลการจำลององค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากทั้งสองแบบจำลองแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้เหนือผิวทะเลบริเวณอ่าวเบงกอล โดยแบบจำลอง EC-EARTH ยังแสดงการเพิ่มขึ้นขององค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้เหนือทะเลอันดามันอีกด้วย โดยในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 ภายใต้ RCP 8.5 เป็นภาพการณ์ที่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลจากทั้งสองแบบจำลองพบว่าแบบจำลอง EC-EARTH แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นมากกว่าแบบจำลอง MPI-ESM-MR ผลการจำลององค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจากทั้งสองแบบจำลองมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในฤดูมรสุมนี้

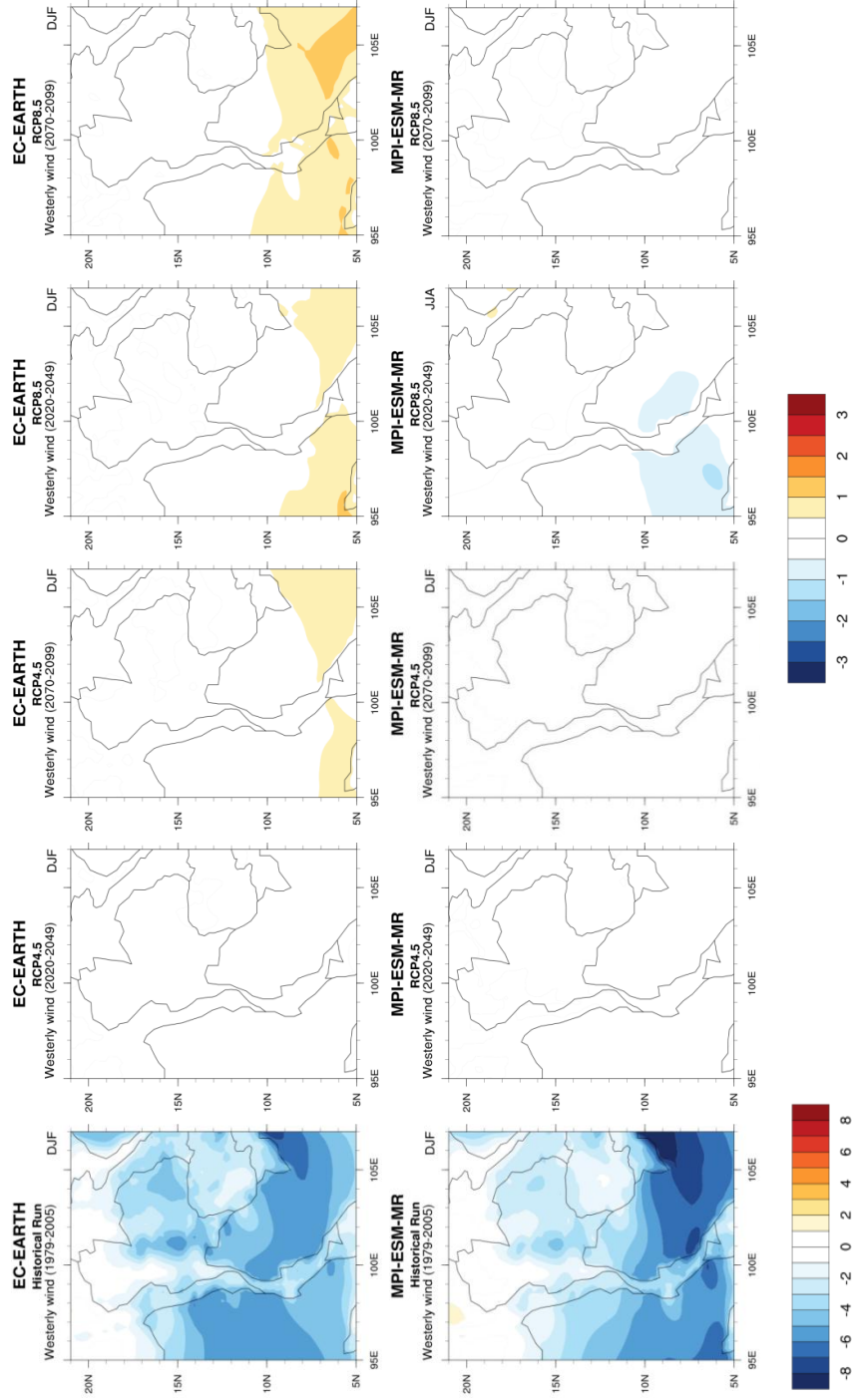
ผลการจำลองความเร็วลมในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากแบบจำลอง EC-EARTH มีแนวโน้มแรงมากขึ้นในพื้นที่อ่าวเบงกอล ขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM-MR มีแนวโน้มลดลงในพื้นที่ทะเลอันดามันและอ่าวไทย ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือผลจากแบบจำลอง EC-EARTH แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมเหนือพื้นที่ทะเลจีนใต้ และทะเลอันดามันตอนใต้ แต่แบบจำลอง MPI-ESM-MR มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ในอนาคตต้องประกอบกลม และความเร็วมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มากกว่า การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเหนือผิวนทะเล โดยองค์ประกอบลมในแนวตะวันออกเฉียง-ตะวันตกมีแนวโน้มลดลง แต่องค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น กล่าวคือในอนาคตทิศทางของลมในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้นี้อาจได้รับอิทธิพลจากลมใต้มากกว่าอิทธิพลมตะวันตก การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมจากแบบจำลอง EC-EARTH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่แบบจำลอง MPI-ESM-MR มีแนวโน้มลดลง

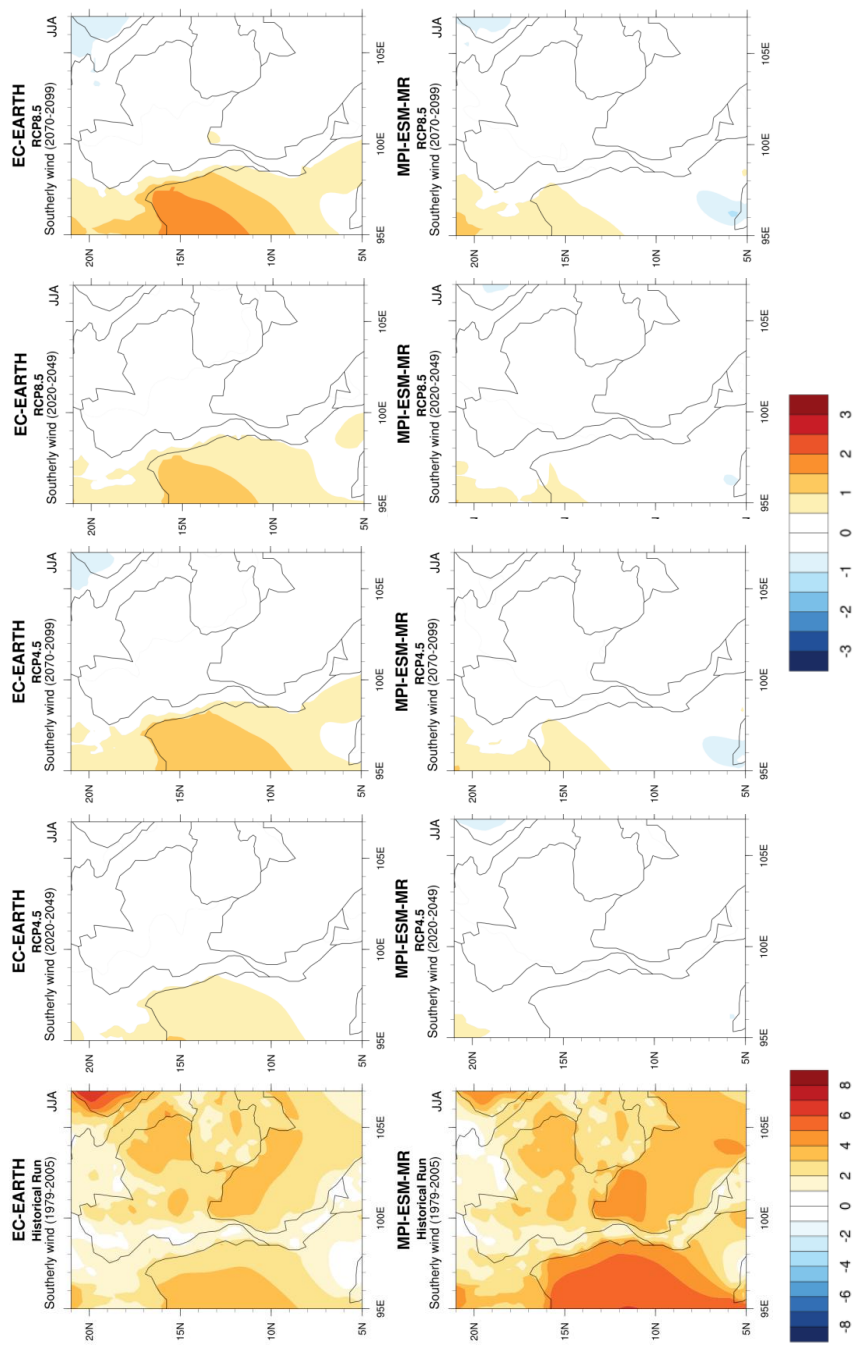




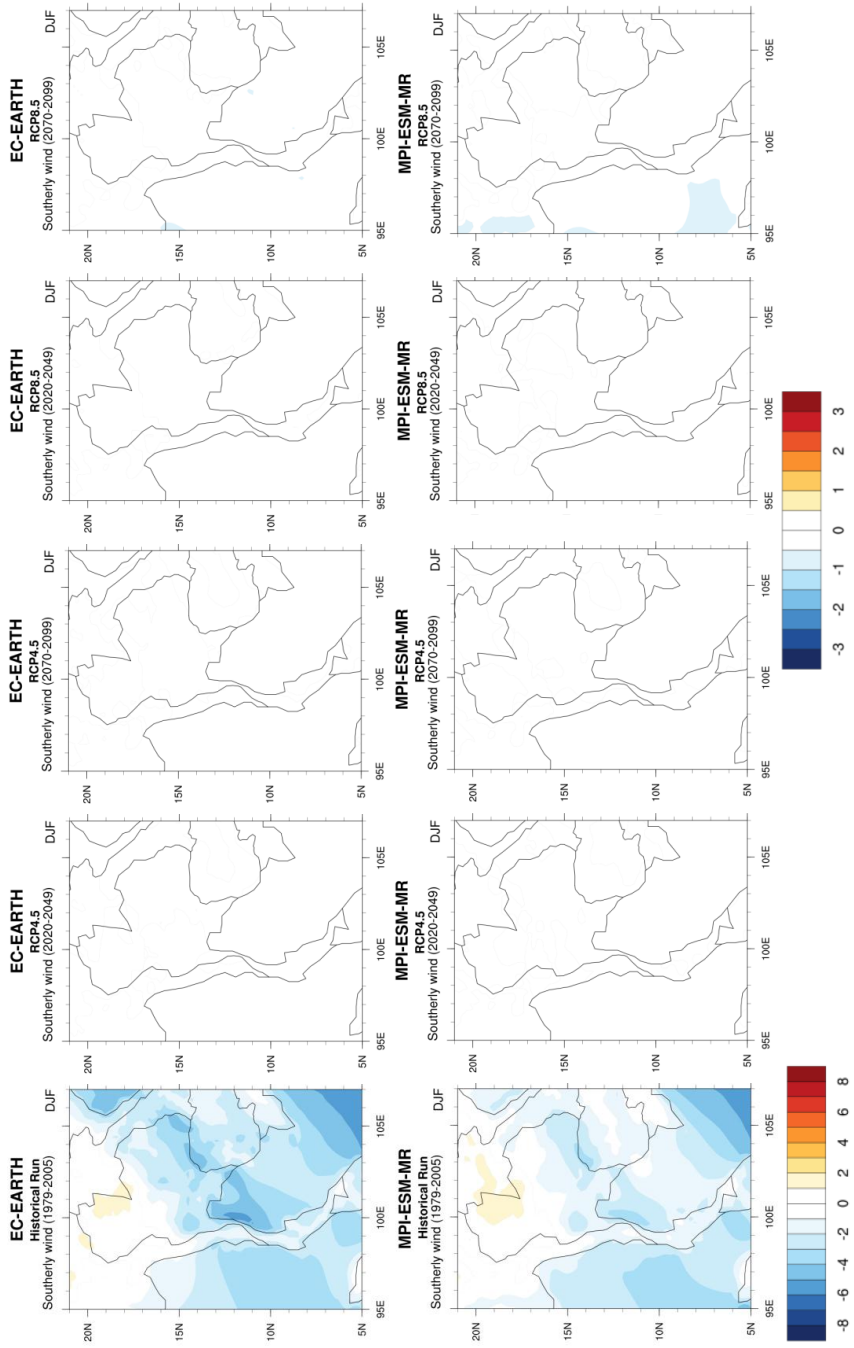
รูปที่ 4.43 ผลการเปรียบเทียบการจำลององค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 และปี ค.ศ. 2070-2099 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ภายใต้สภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



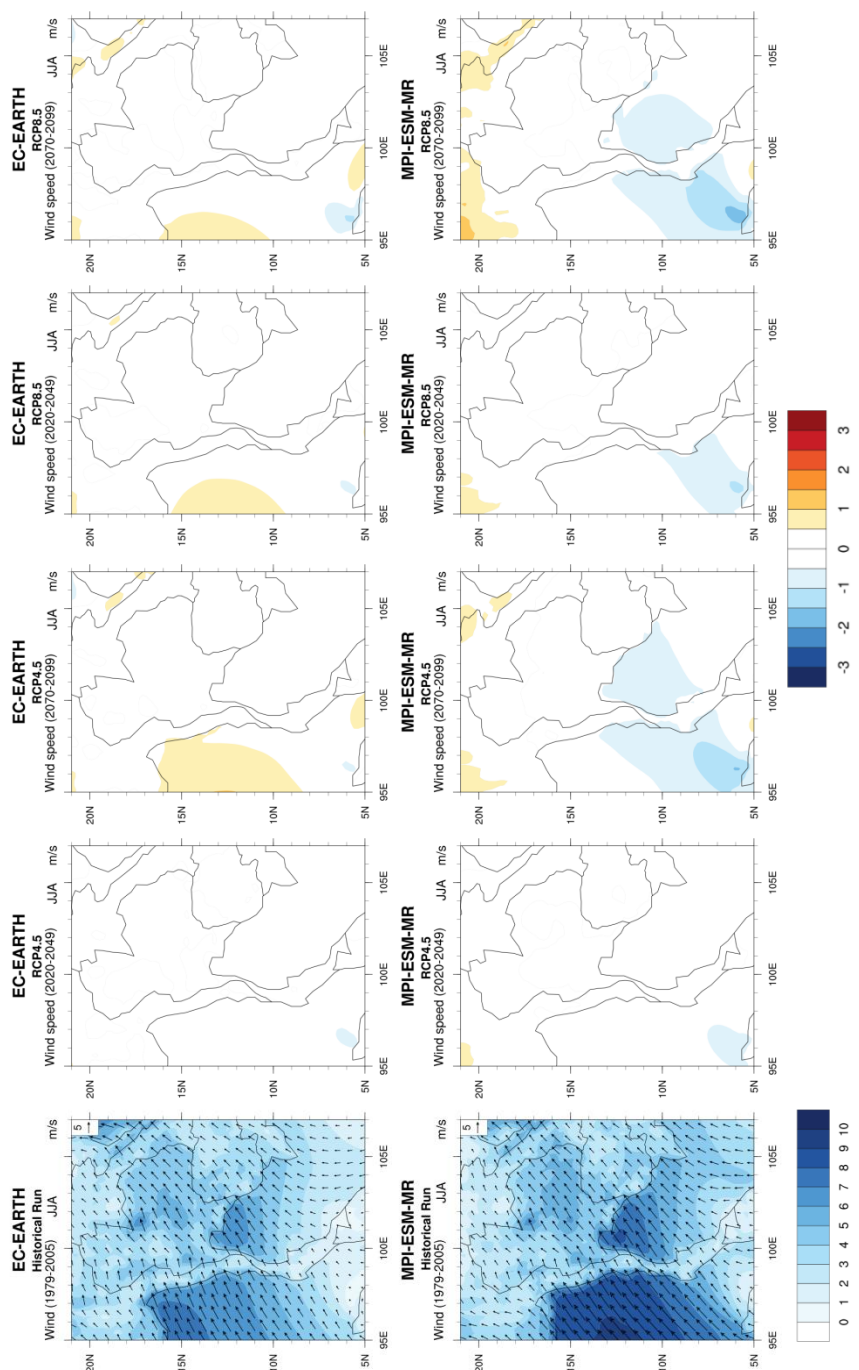
รูปที่ 4.44 ผลการเปรียบเทียบการจำลองของค่าประจวบในแนวตะวันออก-ตะวันตกในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 และปี ค.ศ. 2070-2099 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้สภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



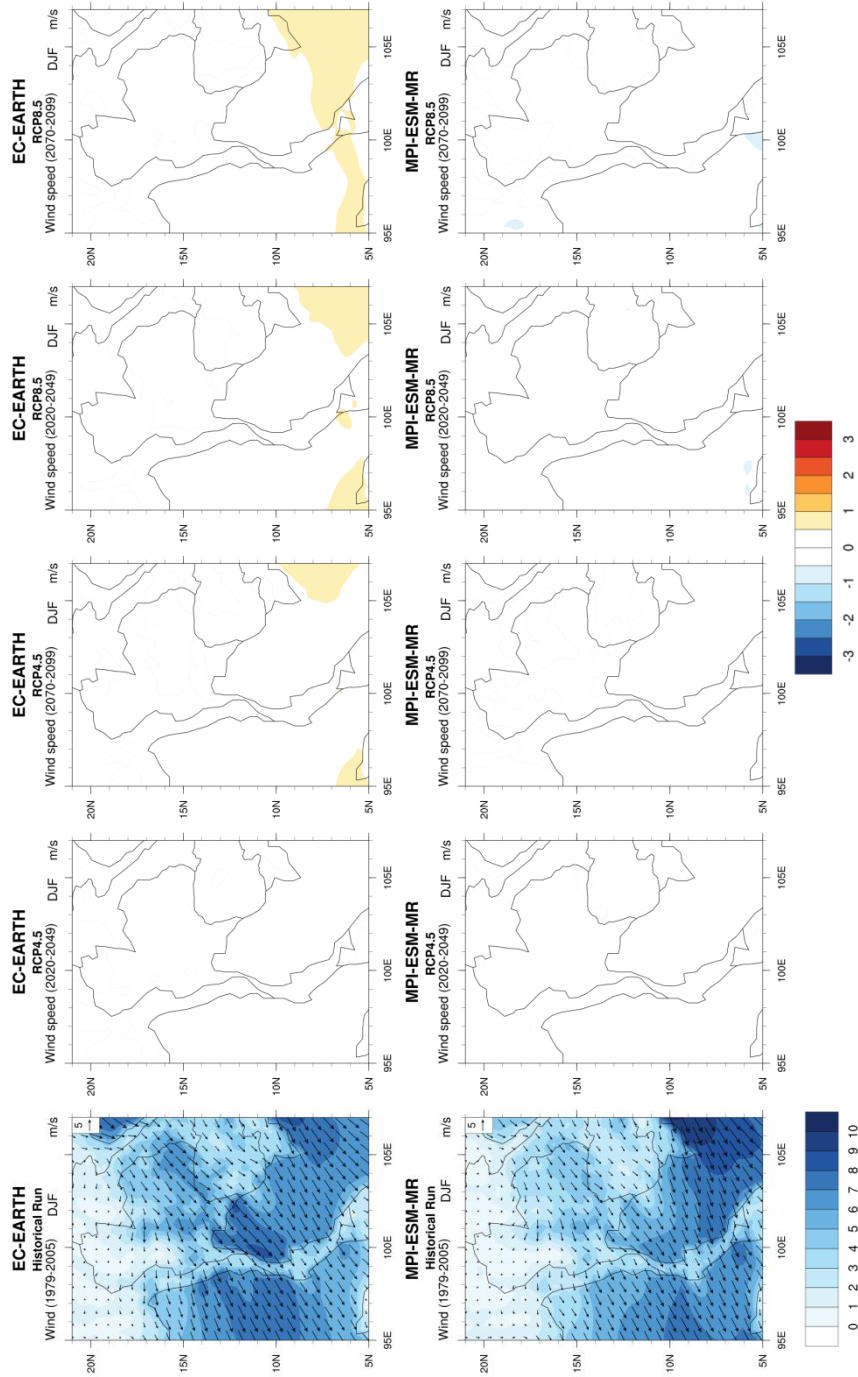
รูปที่ 4.45 ผลการเปรียบเทียบการจำลององค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 และปี ค.ศ. 2070-2099 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ภายใต้สภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



รูปที่ 4.46 ผลการเปรียบเทียบการจำลององค์ประกอบลมในแนวเหนือ-ใต้ในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 และปี ค.ศ. 2070-2099 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



รูปที่ 4.47 ผลการเปรียบเทียบการจำลองความเร็วลมในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 และปี ค.ศ. 2070-2099 ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)



รูปที่ 4.48 ผลการเปรียบเทียบการจำลองความเร็วลมในอดีตและอนาคตจากแบบจำลอง EC-EARTH (แถวบน) และแบบจำลอง MPI-ESM-MR (แถวล่าง) ระหว่างปี ค.ศ. 2020-2049 และปี ค.ศ. 2070-2099 ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารประกอบอื่นๆ จากมนุษย์ RCP 4.5 (คอลัมน์ที่ 2 และ 3) และ RCP8.5 (คอลัมน์ที่ 4 และ 5)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

5.1 การประเมินความสามารถในการจำลอง

แบบจำลอง EC-EARTH และแบบจำลอง MPI-ESM-MR จำลองฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น ฟลักซ์รังสีคลื่นยาว ฟลักซ์ความร้อนแฝง และลมมากกว่าข้อมูล ERA-Interim ขณะที่การจำลองฟลักซ์ความร้อนสัมผัสจากแบบจำลองทั้งสองมีค่าต่ำกว่าข้อมูล ERA-Interim เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองจากทั้งสองแบบจำลองพบว่าแบบจำลอง MPI-ESM-MR สามารถจำลองฟลักซ์ความร้อน และลม ได้ใกล้เคียงกับข้อมูล ERA-Interim มากกว่าแบบจำลอง EC-EARTH

การจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นที่มากกว่าข้อมูล ERA-Interim นั้นส่งผลต่อการรักษาสมดุลพลังงานในระบบ ซึ่งอาจส่งผลให้การจำลองฟลักซ์รังสีคลื่นยาวมากกว่าข้อมูล ERA-Interim ตามด้วยผลการจำลองฟลักซ์ความร้อนแฝงที่มากกว่าข้อมูล ERA-Interim เหนือแผ่นดิน อาจเนื่องมาจากการเลือกใช้รูปแบบการแลกเปลี่ยนระหว่างแผ่นดินและบรรยากาศแบบ BATs ซึ่งส่งผลในการจำลองความชื้นในดินมากกว่าข้อมูล reanalysis (Steiner et al., 2009; Wang et al., 2015) การเลือกใช้รูปแบบการก่อตัวของเมฆแบบ MIT-Emanuel ซึ่งส่งผลในการจำลองปริมาณฝนมากกว่าข้อมูลสำรวจ (Juneng et al., 2016)

5.2 การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อน และลมในอนาคต

การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนในอนาคตจะได้รับอิทธิพลจากฟลักซ์รังสีคลื่นยาวมากที่สุด ซึ่งมีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้การถ่ายเทฟลักซ์รังสีคลื่นยาวจากพื้นผิวสู่บรรยากาศลดลง อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่ส่งผลให้การแผ่รังสีคลื่นยาวสู่บรรยากาศชั้นบนเพิ่มมากขึ้น

ฟลักซ์ความรังสีคลื่นสั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณเมฆในอนาคตจากแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศในโครงการ CMIP 5 (Collins et al., 2013)

ฟลักซ์ความร้อนแฝงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลจากแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศจากโครงการ CMIP 5 ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Collins et al., 2013) แต่การเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ความร้อนแฝงเหนือแผ่นดินไม่สอดคล้องกับปริมาณความชื้นในดินจากแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศจากโครงการ CMIP 5 (Collins et al., 2013) และการจำลองปริมาณน้ำฝนจากการศึกษาการลดขนาดแบบจำลองหมุนเวียนทั่วไปในบรรยากาศที่มีแนวโน้มลดลง (จิรสรณ์ สันติสิริ

สมบูรณ์ และคณะ, 2560) การเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ความร้อนแฝงในอนาคตอาจเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (จิรสรณ์ สันติสิริสมบูรณ์ และคณะ, 2560) ส่งผลให้ความสามารถในการรองรับไอน้ำในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ความร้อนในแต่ละแบบส่งผลให้ฟลักซ์ความร้อนรวมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 4 W/m^2 ในช่วงปี ค.ศ. 2020-2049 ส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 1°C และฟลักซ์ความร้อนรวมจะเพิ่มขึ้นประมาณ $7-10 \text{ W/m}^2$ ในช่วงปี ค.ศ. 2070-2099 ส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 3°C ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองจากโครงการ CMIP 5 (Hijioka, et al., 2014) และการศึกษาในประเทศไทย (จิรสรณ์ สันติสิริสมบูรณ์ และคณะ, 2558,2560; เจียมใจ เครือสุวรรณ และคณะ, 2553; Chinvano & Snidvongs, 2005; Manomaiphiboon et al., 2013)

การเปลี่ยนแปลงลมในอนาคตจะเปลี่ยนแปลงชัดเจนในช่วงก่อนฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยองค์ประกอบลมในแนวตะวันออก-ตะวันตกมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด แต่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยประมาณ 1 m/s ในอนาคตฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะได้รับอิทธิพลของลมใต้มากขึ้น (ลมจากทางทิศใต้มีกำลังแรงขึ้น) และอิทธิพลของลมตะวันออกจะมีอิทธิพลมากขึ้นในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ลมจากทางทิศตะวันออกมีกำลังขึ้น) การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ความร้อนแฝงเหนือผิวนทะเล

การเปลี่ยนแปลงสมดุลความร้อน และลมในอนาคตอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน (จิรสรณ์ สันติสิริสมบูรณ์ และคณะ, 2558,2560; เจียมใจ เครือสุวรรณ และคณะ, 2553 Alexander et al., 2006; Caesar et al., 2011; Chinvano & Snidvongs, 2005; Manomaiphiboon et al., 2013) ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำเจ้าพระยาลดลง (Champathong et al., 2013) ผลกระทบต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีแนวโน้มลดลงในนาข้าวชลประทาน แต่ผลผลิตข้าวในนาข้าวน้ำฝนมีมากขึ้น (จิรสรณ์ สันติสิริสมบูรณ์ และคณะ, 2558) นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อพื้นที่ลุ่มต่ำ ระบบนิเวศชายฝั่งที่จะได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และการรุกคืบของน้ำทะเล ส่งผลให้พื้นที่อยู่อาศัยของปลาและปะการังจะมีการเคลื่อนขึ้นไปทางเหนือมากขึ้น (Tseng et al., 2011; Okunishi et al., 2012; Tian et al., 2012; Yara et al., 2012) การกระจายตัว ความขุ่น และลักษณะทางกายภาพของปลาเปลี่ยนแปลงไป (Cheung et al., 2013) ปัญหาการจัดการน้ำในภาคเกษตรกรรม และครัวเรือน (Hijioka et al., 2014; Lal, 2011) ซึ่งผลกระทบต่างๆ เหล่านี้ส่งผลให้ประเทศไทยสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจเฉลี่ย 2.2% ของ GDP เมื่อสิ้นสุดศตวรรษนี้ (IPCC, 2007; ADB, 2009; UNFCCC, 2009; Begum et al., 2011)

5.3 ข้อเสนอแนะ

1) การศึกษาพลาซมาสเฟียร์สั้น และพลาซมาสเฟียร์ยาวในการศึกษานี้ใช้ค่าพลาซมาสเฟียร์ ซึ่งไม่สามารถอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ได้ชัดเจน ดังนั้นการแยกพิจารณาพลาซมาสเฟียร์สั้น และพลาซมาสเฟียร์ยาวออกจากกันอาจเป็นวิธีการที่ช่วยอธิบายกระบวนการการแลกเปลี่ยนพลาซมาสเฟียร์ร้อนได้ดียิ่งขึ้น

2) การเลือกใช้รูปแบบการก่อตัวของเมฆ การแลกเปลี่ยนระหว่างผิวทะเลและบรรยากาศ และการแลกเปลี่ยนระหว่างแผ่นดินและบรรยากาศในการศึกษานี้ส่งผลต่อการจำลองพลาซมาสเฟียร์ร้อนและลม และยังส่งผลต่อกระบวนการที่เกี่ยวข้องอื่นๆ (positive-negative feedback) ทำให้การจำลองปัจจัยหลายปัจจัยมีค่าเอนเอียง (bias) จากข้อมูล ERA-Interim และข้อมูลสำรวจอื่นๆ

3) การศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต่อกระบวนการการแลกเปลี่ยนความร้อน และลม เป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้เข้าใจในกระบวนการที่เกิดขึ้นในพื้นที่ได้ เช่น การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณเมฆในบรรยากาศและพลาซมาสเฟียร์สั้น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดิน พลาซมาสเฟียร์ร้อน แผลง และปริมาณฝน เป็นต้น

4) การประเมินความสามารถของแบบจำลองอาจใช้ความสัมพันธ์ทางสถิติอื่นๆ เพิ่มเติม เช่น ค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) เป็นต้น และสามารถแสดงผลในลักษณะของ Taylor diagram ซึ่งง่ายต่อการประเมินผล

รายการอ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2553). เอกสารวิชาการ ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย และการคาดการณ์ในอนาคต, ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2554). ความรู้อุตุนิยมวิทยา ภูมิอากาศของประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=22> [8 ธันวาคม 2558]
- กัณฑ์บุญประกอบ และคณะ. (2553). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการการสร้างภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย โดยการย่อส่วนแบบจำลองภูมิอากาศโลก, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- จิรสรณ์ สันตีสิริสมบูรณ์ และเจียมใจ เครือสุวรรณ. (2554). ภาพจำลองภูมิอากาศโลกและภูมิอากาศอนาคต. ใน อัสมน ลิ้มสกุล อำนาง ชิดไธสง และกัณฑ์บุญประกอบ (บรรณาธิการ.), รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานการณ์ภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1: องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ, หน้า. 155-183. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- จิรสรณ์ สันตีสิริสมบูรณ์ และคณะ (2558). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการการลดขนาดแบบจำลองภูมิอากาศโลกเพื่อการศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อการผลิตข้าวของประเทศไทย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- จิรสรณ์ สันตีสิริสมบูรณ์ และคณะ (2560). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการการพัฒนาศักยภาพการวิจัยด้านแบบจำลองภูมิอากาศท้องถิ่นและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- เจียมใจ เครือสุวรรณ และคณะ. (2553). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการการจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสำหรับประเทศไทยด้วยแบบจำลองภูมิอากาศท้องถิ่น MM5, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- พนธิภา เลือดนักรบ และอนุกุล บุณประทีปรัตน์. (2555). พลั๊กซ์ความร้อนที่ผิวหน้าทะเลในรอบปีบริเวณอ่าวไทย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 17(1), 77-86.
- อำนาง ชิดไธสง และคณะ. (2553). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย เล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศ และสภาพภูมิอากาศในอนาคต. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ADB. (2009). The economics of climate change in Southeast Asia: A regional Review. Asian development Bank (ADB), Manila, Philippines.

- Anthes, R. A. (1997). A Cumulus Parameterization Scheme Utilizing a One-Dimensional Cloud Model. Monthly Weather Reviews, 105, 270-286.
- Begum, R. A., Abidin, R. D. Z. R. Z., & Pereira, J. J. (2011). Initiatives and market mechanisms for climate change actions in Malaysia. Journal of Environmental Science and Technology, 4(1), 31-40.
- Behera, S., Brandt, P., & Reverdin, G. (2013). The Tropical Ocean Circulation and Dynamics In Siedler, G., Griffies, S. M., Gould, J., & Church, J. A. (eds.), Ocean circulation & climate, pp. 385-412. Oxford, UK and Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Berrisford, P., Dee, D.P., Gelding, K., Fuentes, M., Kållberg, P., Kobayashi, S. & Uppala, S.M. (2011a). The ERA-Interim Archive: Version 2. ERA Report Series, 1.
- Berrisford, P., Kållberg, P., Kobayashi, S., Dee, D., Uppala, S., Simmons, A. J., Poli, P., & Sato, H. (2011b). Atmospheric conservation properties in ERA-Interim. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 137(659), 1381-1399. doi:10.1002/qj.864
- Bosilovich, M. G., Akella, S., Coy, L., Cullather, R., Draper, C., & Gelaro, R. (2015). MERRA-2: Initial Evaluation of the Climate. Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, 43.
- Buranapratheprat, A., Yanagi, T., & Matsumura, S. (2008). Seasonal variation in water column conditions in the upper Gulf of Thailand. Continental Shelf Research, 28(17), 2509-2522. doi:10.1016/j.csr.2008.07.006
- Caesar, J., Alexander, L. V., Trewin, B., Tse-ring, K., Sorany, L., Vuniyayawa, V., Keosavang, N., Shimana, A., Htay, M. M., Karmacharya, J., Jayasinghearachchi, D. A., Sakkamart, J., Soares, E., Hung, L. T., Thuong, L. T., Hue, C. T., Dung, N. T. T., Hung, P. V., Cuong, H. D., Cuong, N. M., & Sirabaha, S. (2011). Changes in temperature and precipitation extremes over the Indo-Pacific region from 1971 to 2005. International Journal of Climatology, 31(6), 791-801.
- Champathong, A., Konori, D., Kiguchi, M., Sukhapunphan, T., Oki, T., & Nakaegawa, T. (2013). Future projection of mean river discharge climatology for the Chao Phraya River basin. Hydrological Research Letters, 7(2), 36-41.

- Cheung, W. W. L., Sarmiento, J. L., Dunne, J., Frölicher, T. L., Lam, V. W. Y., Palomares, M. L. D., Watson, R., & Pauly, D. (2013). Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems. Nature Climate Change, 3(3), 254-258.
- Chinvanno, S. & Snidvongs, A. (2005). The pilot study of future climate change impact on water resource and rain-fed agriculture production: case studies in Lao PDR and Thailand. Southeast Asia START Regional Center Technical Report, 13
- Chinvanno, S. (2009). Future climate projection for Thailand and surrounding countries: Climate change scenario of 21st century. The First China-Thailand Joint Seminar on Climate Change.
- Chotamonsak, C., Salathé Jr, E. P., Kreasuwan, J., & Chantara, S. (2012). Evaluation of Precipitation Simulations over Thailand using a WRF Regional Climate Model. Chiang Mai Journal of Science, 39(4), 623-638.
- Chou, M. D., & Suarez, M. J. (1994). An Efficient Thermal Infrared Radiation fchParameterization for Use in General Circulation Models. NASA Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, 3.
- Chou, M. D., & Suarez, M. J. (1999). A Solar Radiation Parameterization for Atmospheric Studies. NASA Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, 15.
- Clemens, S., Prell, W., Murray, D., Shimmeild, G., & Weedon, G. (1991). Forcing Mechanisms of the Indian Ocean Monsoon. Nature, 253, 720-725.
- Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J. L., Fichfet, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, W. J., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Tebaldi, C., Weaver, A. J., & Wehner, M. (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P. M. Midgley (eds). Cambridge, UK & New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Coppola, E., Giorgi, F., Mariotti, L., & Bi, X. (2012). RegT-Band: a tropical band version of RegCM4. Climate Research, 52, 115-133, doi:10.3354/cr01078

- Cruz, F. T., Narisma, G. T., Dado, J. B., Singhruck, P., Tangang, F., Linarka, U. A., Wati, T., Juneng, L., Phan-Van, T., Ngo-Duc, T., Santisirisomboon, J., Gunawan, D., & Aldrian, E. (2017). Sensitivity of temperature to physical parameterization schemes of RegCM4 over the CORDEX-Southeast Asia region. International Journal of Climatology. doi: 10.1002/joc.5151.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J. J., Park, B. K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J. N., & Vitart, F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 137(656), 553-597. doi:10.1002/qj.828
- Dickinson, R. E., Henderson-Sellers, A., & Kennedy, P. J. (1993). Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as Coupled to the NCAR Community Climate Model. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 119(553-597).
- Domingues, C. M., Church, J. A., White, N. J., Gleckler, P. J., Wijffels, S. E., Barker, P. M., & Dunn, J. R. (2008). Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. Nature, 453(7198), 1090-1093. doi:10.1038/nature07080
- Donners, J., Basu, C., McKinsrty, A., Asif, M., Porter, A., Maisonnave, E., Valcke, S., & Fladrich, U. (2012). Performance Analysis of EC-EARTH 3.1. [Online] Available from http://www.praceri.eu/IMG/pdf/Performance_Analysis_of_EC-EARTH_3-1-2.pdf [2015, May 19]
- Emanuel, K. A., & Zivkovic-Rothman, M. (1999). Development and evaluation of a convection scheme for use in climate models. Journal of Atmospheric Science, 56, 1766-1782.
- Emanuel, K. A. (1991). A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. Journal of the Atmospheric Sciences, 48(21), 2313-2335.

- Fichefet, T., & Maqueda, M. A. M. (1997). Sensitivity of a global sea ice model to the treatment of ice thermodynamics and dynamics. Journal of Geophysical Research: Oceans, 102(C6), 12609-12646. doi:10.1029/97jc00480
- Giorgetta, M. A., Jungclaus, J., Reick, C. H., Legutke, S., Bader, J., Böttinger, M., Brovkin, V., Crueger, T., Esch, M., Fieg, K., Glushak, K., Gayler, V., Haak, H., Hollweg, H. D., Ilyina, T., Kinne, S., Kornblueh, L., Matei, D., Mauritsen, T., Mikolajewicz, U., Mueller, W., Notz, D., Pithan, F., Raddatz, T., Rast, S., Redler, R., Roeckner, E., Schmidt, H., Schnur, R., Segschneider, J., Six, K. D., Stockhause, M., Timmreck, C., Wegner, J., Widmann, H., Wieners, K. H., Claussen, M., Marotzke, J., & Stevens, B. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 5(3), 572-597. doi:10.1002/jame.20038
- Giorgi, F., & Anyah, R. O. (2012). INTRODUCTION The road towards RegCM4 F. Giorgi1,* , R. O. Anyah2. Climate Research, 52, 3-6. doi:10.3354/cr01089
- Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M. B., Bi, X., Elguindi, N., Diro, G. T., Nair, V., Giuliani, G., Turuncoglu, U. U., Cozzini, S., Güttler, I., O'Brien, T. A., Tawfik, A. B., Shalaby, A., Zakey, A. S., Steiner, A. L., Stordal, F., Sloan, L. C., & Brankovic, C. (2012). RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. Climate Research, 52, 7-29. doi:10.3354/cr01018
- Grell, G. (1993). Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. Monthly Weather Reviews, 121, 764-787.
- Harrop, B. E., & Hartmann, D. L. (2016). The Role of Cloud Radiative Heating in Determining the Location of the ITCZ in Aquaplanet Simulations. Journal of Climate, 29(8), 2741-2763. doi:10.1175/jcli-d-15-0521.1
- Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M. G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F. J., Dlugokencky, E. J., Easterling, D. R., Kaplan, A., Sonden, B. J., Thorne, P. W., Wild, M., & Zhai, P. M. (2013). Observations: Atmosphere and Surface. In: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. -K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P. M. (eds.), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working

Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 159-254. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press

- Hassan, M. (2014). Temperature and Precipitation Climatology Assessment over South Asia using the Regional Climate Model (RegCM4.3): An Evaluation of the Model Performance. Journal of Earth Science & Climatic Change, 05(07). doi:10.4172/2157-7617.1000214.
- Hazeleger, W., Severijns, C., Semmler, T., Ștefănescu, S., Yang, S., Wang, X., Wyser, K., Dutra, E., Baldasano, J. M., Bintanja, R., Bougeault, P., Caballero, R., Ekman, A. M. L., Christensen, J. H., van den Hurk, B., Jimenez, P., Jones, C., Kållberg, P., Koenigk, T., McGrath, R., Miranda, P., Van Noije, T., Palmer, T., Parodi, J. A., Schmith, T., Selten, F., Storelvmo, T., Sterl, A., Tapamo, H., Vancoppenolle, M., Viterbo, P., & Willén, U. (2010). EC-Earth: A Seamless Earth-System Prediction Approach in Action. Bulletin of the American Meteorological Society, 91(10), 1357-1363. doi:10.1175/2010bams2877.1
- Hazeleger, W., Wang, X., Severijns, C., Ștefănescu, S., Bintanja, R., Sterl, A., van der Wiel, K. (2012). EC-Earth V2.2: description and validation of a new seamless earth system prediction model. Climate Dynamics, 39(11), 2611-2629. doi:10.1007/s00382-011-1228-5
- Helfand, M. H., & Schubert, S. D. (1995). Climatology of the Simulated Great Plain Low-Level jet and Its Contribution to the Continental Moisture budget of the United States. Journal of Climate, 8, 784-806.
- Hemer, M. A., Katzfey, J., & Trenham, C. E. (2013). Global dynamical projections of surface ocean wave climate for a future high greenhouse gas emission scenario. Ocean Modelling, 70, 221-245. doi:10.1016/j.ocemod.2012.09.008
- Hijioka, Y., Lin, E., Pereira, J. J., Corlett, R. T., Cui, X., Insarov, G. E., Lasco, R. D., Lindgren, E., & Surjan, A. (2014). Asia. In Barros, V. R., Gied, C. B., Dokken, D. J., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Bilir, T. E., Chatterjee, M., Ebi, K. L., Estrada, Y. O., Genova, R. C., Birma, B., Kissel, E. S., Levy, A. N., MacCracken, S., Mastrandrea, P. R., & White, L. L. (eds.), Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and Bulmerability, Part B: Regional Aspects. Contribution of

- Working group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 1327-1370. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press
- Ilyina, T., Six, K. D., Segschneider, J., Maier-Reimer, E., Li, H., & Núñez-Riboni, I. (2013). Global ocean biogeochemistry model HAMOCC: Model architecture and performance as component of the MPI-Earth system model in different CMIP5 experimental realizations. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 5(2), 287-315. doi:10.1029/2012ms000178
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group I to the Forth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on the Climate Change . In Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., & Hanson, C. E. (eds.), Cambridge, UK & New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.
- IPCC Data Distribution Centre (2013). What is a GCM? [Online] Available from: http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/gcm_guide.htm [2014, October 25]
- Juneng, L., Tangang, F., Chung, J.X., Ngai, S.T., Tay, T.W., Narisma, G., Cruz, F., Phan-Van, T., Ngo-Duc, T., Santisirisomboon, J., Singhruck, P., Gunawan, D., & Aldrian, E. (2016). Sensitivity of Southeast Asia rainfall simulations to cumulus and air-sea flux parameterizations in RegCM4. Climate Research, 69(1), 59-77.
- Jungclaus, J. H., Fischer, N., Haak, H., Lohmann, K., Marotzke, J., Matei, D., Mikolajewicz, U., Notz, D., & von Storch, J. S. (2013). Characteristics of the ocean simulations in the Max Planck Institute Ocean Model (MPIOM) the ocean component of the MPI-Earth system model. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 5(2), 422-446. doi:10.1002/jame.20023
- Kambezidis, H. D., Kaskaoutis, D. G., Kharol, S. K., Moorthy, K. K., Satheesh, S. K., Kalapureddy, M. C. R., Badarinath, K. V. S., Sharma, A. R., & Wild, M. (2012). Multi-decadal variation of the net downward shortwave radiation over south

- Asia: The solar dimming effect. Atmospheric Environment, 50, 360-372. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.11.008
- Kiehl, J. T., Hack, J. J., & Hurrell, J. W. (1998). The energy budget of the NCAR Community Climate Model: CCM3. Journal of Climate, 11, 1151-1178.
- Krishnamurti, T. N., Stefanova, L., & Misra, V. (2013). Tropical Meteorology. New York: Springer.
- Kudo, R., Uchiyama, A., Yamazaki, A., Sakami, T., & Ijima, O. (2011). Decadal Changes in aerosol optical thickness and single scattering albedo estimated from ground-based broadband radiometers: A case study in Japan. Journal of Geophysical Research, 166, D03207.
- Lal, M. (2011). Implications of climate change in sustained agricultural productivity in South Asia. Regional Environmental Change, 11, S79-S94.
- Lee, E., Barford, C. C., Kucharik, C. J., Felzer, B. S., & Foley, J. A. (2011). Role of Turbulent Heat Fluxes over Land in the Monsoon over East Asia. International Journal of Geosciences, 2(4), 420-431. doi:10.4236/ijg.2011.24046
- Li, Y.-B., Tam, C.-Y., Huang, W.-R., Cheung, K. K. W., & Gao, Z. (2015). Evaluating the impacts of cumulus, land surface and ocean surface schemes on summertime rainfall simulations over East-to-southeast Asia and the western north Pacific by RegCM4. Climate Dynamics, 46, 2487-2505. doi:10.1007/s00382-015-2714-y
- Madec, G. (2012). NEMO ocean engine. Note du Pôle de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), 27.
- Manomaiphiboon, K., Octaviani, M., Torsri, K., & Towprayoon, S. (2013). Projected changes in means and extremes of temperature and precipitation over Thailand under three future emissions scenarios. Climate Research, 58(2), 97-115. doi:10.3354/cr01188
- McGregor, G. R., & Nieuwolt, S. (1998). Tropical Climatology An Introduction to the Climates of the Low Latitudes. England: John Wiley & Sons Ltd.,
- Mearns, L. (2009). Methods of downscaling future climate information and applications. [Online] Available from https://www.narccap.ucar.edu/users/user-meeting-09/talks/Downscaling_summary_for_NARCCAP_Users_Meet09.pdf [2015, June 15]

- Meehl, G. A., Stocker, T. F., Colins, W. D., Friedlingstein, P., Gaya, A. T., Gregory, J. M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J. M., Noda, A., Raper, S. C. B., Watterson, I. G., Weaver, A. J., Zhao, Z. C. (2007). Global Climate Projections. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, & H. L. Miller (Eds.), Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. 747-845. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.
- Melville, W. K. (1996). The role of surface-wave breaking in air-sea interaction. Annual Review of Fluid Mechanics, 28, 297-321.
- Mlawer, E. J., Taubman, S. J., Brown, P. D., Iacono, M. J., & Clough, S. A. (1997). Radiative Transfer for Inhomogeneous Atmospheres: RRTM, a Validated Correlated-k Model for the Longwave. Journal of Geophysical Research, 102, 16663-16682.
- Molod, A., Takacs, L., Suarez, M., Bacmeister, J., Song, I.S. & Eichmann, A. (2012). The GEOS-5 Atmospheric General Circulation Model: Mean Climate and Development from MERRA to Fortuna. Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, 28.
- Molod, A., Takacs, L., Suarez, M., & Bacmeister, J. (2015). Development of the GEOS-5 atmospheric general circulation model: evolution from MERRA to MERRA2. Geoscientific Model Development, 8(5), 1339-1356. doi:10.5194/gmd-8-1339-2015
- Monin, A. S., & Obukhov, A. M. (1954). Basic Laws of Turbulent Mixing in the Surface Layer of the Atmosphere. Contributions of the Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences, 24(151), 163-187.
- Ngo-Duc, T., Tangang, F.T., Santisirisomboon, J., Cruz, F., Trinh-Tuan, L., Nguyen-Xuan, T., Phan-Van, T., Juneng, L., Narisma, G., Singhruck, P., Gunawan, D., & Aldrian, E. (2017). Performance evaluation of RegCM4 in simulating extreme rainfall and temperature indices over the CORDEX-Southeast Asia region. International Journal of Climatology, 37(3), 1634-1647.

- Norris, J. R. & Wild, M. (2009). Trends in aerosol radiative effects over China and Japan inferred from observed cloud cover, solar dimming, and solar brightening. Journal of Geophysical Research: Atmosphere. 114, D00d15.
- Octaviani, M., & Manomaiphiboon, K. (2011). Performance of Regional Climate Model RegCM3 over Thailand. Climate Research, 47(3), 171-186. doi:10.3354/cr00990
- Ohmura, A. (2009). Observed decadal variations in surface solar radiation and their causes. Journal of Geophysical Research: Atmosphere, 114, D00d05.
- Okunishi, T., Ito, S. I., Hashioka, T., Sakamoto, T. T., Yoshie, N., Sumata, H., Yara, Y., Okada, N., & Yamanaka, Y. 2012. Impacts of climate change on growth, migration and recruitment success of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the western North Pacific. Climatic Change, 115, 485-503.
- Oleson, K. W., Niu, G. Y., Yang, Z. L., Lawrence, D. M., Thornton, P. E., Lawrence, P. J., Thornton, P. E., Lawrence, P. J., Stöckli, R., Dickinson, R. E., Bonan, G. B., Levis, S., Dai, A., & Qian, T. (2008). Improvements to the Community Land Model and their impact on the hydrological cycle. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 113(G1), n/a-n/a. doi:10.1029/2007jg000563
- Rathmann, N. M., Yang, S., & Kaas, E. (2014). Tropical cyclones in enhanced resolution CMIP5 experiments. Climate Dynamics, 42(3-4), 665-681. doi:10.1007/s00382-013-1818-5
- Reick, C. H., Raddatz, T., Brovkin, V., & Gayler, V. (2013). Representation of natural and anthropogenic land cover change in MPI-ESM. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 5(3), 459-482. doi:10.1002/jame.20022
- Schneck, R., Reick, C. H., & Raddatz, T. (2013). Land contribution to natural CO₂ variability on time scales of centuries. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 5(2), 354-365. doi:10.1002/jame.20029
- SEACLID/CORDEX-Southeast Asia. (2013). SEACLID/CORDEX-Southeast Asia. [Online] Available from <http://www.ukm.edu.my/seaclid-cordex/> [2015, July 7]
- Sen Gupta, A., & McNeil, B. (2012). Variability and Change in the Ocean. In A. Henderson-Sellers & K. McGuffie (Eds.), The Future of the World's Climate. pp. 141-165. China: Elsevier.

- Shi, G. Y., Hayasaka, T., Ohmura, A., Chen, Z. H., Wang, B., Zhao, J. Q., Che, H. Z., & Xu, L. (2008). Data quality assessment and the long-term trend of ground solar radiation in China. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 47, 1006-1016.
- Siew, J. H., Tangang, F. T., & Juneng, L. (2013). Evaluation of CMIP5 coupled atmosphere-ocean general circulation models and projection of the Southeast Asian winter monsoon in the 21st century. International Journal of Climatology, 34(9), 2872-2884. doi:10.1002/joc.3880
- Snidvongs, A. (1998). Oceanography of the Gulf of Thailand: research and management priorities. In D. M. Johnston (Ed.), Seapol integrated studies of the Gulf of Thailand Volume 1. Thailand: Southeast Asian Programme in Ocean Law, Policy and Management.
- Steiner, A. L., Pal, J. S., Rauscher, S. A., Bell, J. L., Diffenbaugh, N. S., Boone, A., Sloan, L. C., & Giorgi, F. (2009). Land surface coupling in regional climate simulations of the West African monsoon. Climate Dynamics, 33, 869-892.
- Stevens, B., Giorgetta, M., Esch, M., Mauritsen, T., Crueger, T., Rast, S., Salzmann, M., Schmidt, H., Bader, J., Block, K., Brokopf, R., Fast, I., Kinne, S., Kornblueh, L., Lohmann, U., Pincus, R., Reichler, T., & Roeckner, E. (2013). Atmospheric component of the MPI-M Earth System Model: ECHAM6. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 5(2), 146-172. doi:10.1002/jame.20015
- Sui, C. H., Lau, K. M., & Betts, A. K. (1991). An equilibrium model for the coupled ocean-atmosphere boundary layer in the tropics. Journal of Geophysical Research, 96, 3151-3163.
- Swain, D., Rahman, S. H., & Ravichandran, M. (2009). Comparison of NCEP turbulent heat fluxes with in situ observations over the south-eastern Arabian Sea. Meteorology and Atmospheric Physics, 104, 163-175. doi:10.1007/s00703-009-0023-x
- Syed, F. S., Yoo, J. H., Körnich, H., & Kucharski, F. (2011). Extratropical influences on the inter-annual variability of South-Asian monsoon. Climate Dynamics, 38(7-8), 1661-1674. doi:10.1007/s00382-011-1059-4

- Tangang, F. T., Juneng, L., & Ahmad, S. (2007). Trend and interannual variability of temperature in Malaysia. Theoretical and Applied Climatology, 89, 127-141.
- Tian, Y., Kidokoro, H., Watanabe, T., Igeta, Y., Sakaji, H., & Ino, S. (2012). Response of yellowtail, *Seriola quinqueradiata*, a key large predatory fish in the Japan Sea, to sea water temperature over the last century and potential effects of global warming. Journal of Marine Systems, 91(1), 1-10.
- Torsri, K., Octaviani, M., Manomaiphiboon, K., & Towprayoon, S. (2012). Regional mean and variability characteristics of temperature and precipitation over Thailand in 1961–2000 by a regional climate model and their evaluation. Theoretical and Applied Climatology, 113(1-2), 289-304. doi:10.1007/s00704-012-0782-z
- Tseng, C. T., Sun, C. L., Yeh, S. Z., Chen, S. C., Su, W. C., & Liu, D. C. (2011). Influence of climate-driven sea surface temperature increase on potential habitats of the Pacific saury (*Cololabis saira*). ICES Journal of Marine Science, 68(6), 1105-1113.
- UK Climate Projection (2014). Uncertainties. [Online] Available from: <http://ukclimateprojections.metoffice.gov.uk/22553> [2015, July 9]
- UNFCCC, (2009). Technical Paper. Potential Costs and Benefits of Adaptation Options: A review of existing literature: Technical Paper. United Nation Framework convention on Climate Change (UNFCCC), Bonn, Germany.
- Valcke, S. (2013). The OASIS3 coupler: a European climate modelling community software. Geoscientific Model Development, 6(2), 373-388. doi:10.5194/gmd-6-373-2013
- Wang, K., & Dickinson, R. E. (2012). A review of global terrestrial evapotranspiration: Observation, modeling, climatology, and climatic variability. Reviews of Geophysics, 50(2). doi:10.1029/2011rg000373
- Warner, T. T. (2011). Numerical Weather and Climate Prediction. New York: Cambridge University Press.
- Webster, M. D., & Sokolov, A. P. (2000). A methodology for quantifying uncertainty in climate projections. Climatic Change, 46, 417-446.
- Webster, P. J. (1987). The Elementary Monsoon. In J. S. Fein & P. L. Stephens (Eds.), Monsoon. New York, USA: Wiley-Intersciences.

- Wielicki, B. A., Barkstrom, B.R., Harrison, E.F., Lee III, R.B., Smith, G.L. and Cooper, J.E. . (1996). Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES): An Earth Observing System Experiment. Bulletin of the American Meteorological Society, 77(5), 853-868.
- Xia, X. G. (2010). A closer looking at dimming and brightening in China during 1961-2005. Annales Geophysicae, 28, 1121-1132.
- Yara, Y., Vogt, M., Fujii, M., Yamano, H., Hauri, C., Steinacher, M., Gruber, N., & Yanamaka, Y. (2012). Ocean acidification limits temperature-induced poleward expansion of coral habitats around Japan. Biogeosciences, 9(12), 4955-4968.
- Zeng, L., Shi, P., Liu, W. T., & Wang, D. (2009). Evaluation of a satellite-derived latent heat flux product in the South China Sea: A comparison with moored buoy data and various products. Atmospheric Research, 94(1), 91-105. doi:10.1016/j.atmosres.2008.12.007
- Zeng, X., Zhao, M., & Dickinson, R. E. (1998). Intercomparison of Bulk Aerodynamic Algorithms for the Computation of Sea Surface Fluxes Using TOGA COARE and TAO Data. Journal of Climate, 11, 2628-2644.
- Zhang, G. J., & McPhaden, M. J. (1995). The Relationship between Sea Surface Temperature and Latent Heat Flux in the Equatorial Pacific. Journal of Climate, 8, 589-605.
- Zhang, Y., Wang, D., Xia, H., & Zeng, L. (2012). The seasonal variability of an air-sea heat flux in the northern South China Sea. Acta Oceanologica Sinica, 31, 79-86. doi:10.1007/s13131-012-0238-4



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง ก ค่าเฉลี่ยรายฤดูกาลฟลักซ์รังสีคลื่นสั้น (W/m^2) จากชุดข้อมูล CERES และชุดข้อมูล reanalysis products ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014

SWR (W/m^2)		JJA	DJF
CERES	All	196.60	184.46
	Land	168.69	160.30
	Ocean	204.45	191.25
ERA-Interim	All	193.08	182.44
	Land	153.92	151.73
	Ocean	203.02	188.22
MERRA-2	All	170.26	177.49
	Land	171.14	170.32
	Ocean	170.02	179.51
NCEP/NCAR	All	188.75	182.11
	Land	181.87	178.99
	Ocean	190.68	182.99

ตาราง ข ค่าเฉลี่ยรายฤดูกาลฟลักซ์รังสีคลื่นยาว (W/m^2) จากชุดข้อมูล CERES และชุดข้อมูล reanalysis products ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014

LWR		JJA	DJF
CERES	All	-45.79	-51.86
	Land	-36.55	-53.51
	Ocean	-48.38	-51.40
ERA-Interim	All	-44.63	-51.26
	Land	-32.99	-49.24
	Ocean	-47.89	-51.83
MERRA-2	All	-48.53	-56.71
	Land	-40.80	-58.88
	Ocean	-50.70	-56.10
NCEP/NCAR	All	-44.93	-54.17
	Land	-40.11	-59.70
	Ocean	-46.29	-50.85

ตาราง ค ค่าเฉลี่ยรายฤดูกาลฟลักซ์ความร้อนสัมผัส (W/m^2) จากชุดข้อมูล reanalysis products
ระหว่างปี ค.ศ. 1980-2005

SHF		JJA	DJF
Ensemble Mean	All	-10.15	-17.83
	Land	-14.90	-31.76
	Ocean	-8.81	-13.92
ERA-Interim	All	-12.71	-17.45
	Land	-19.04	-26.56
	Ocean	-10.93	-14.89
MERRA-2	All	-11.82	-17.69
	Land	-22.88	-37.58
	Ocean	-8.71	-12.10
NCEP/NCAR	All	-5.92	-18.36
	Land	-2.79	-31.13
	Ocean	-6.79	-14.77

ตาราง ง ค่าเฉลี่ยรายฤดูกาลฟลักซ์ความร้อนแฝง (W/m^2) จากชุดข้อมูล reanalysis products
ระหว่างปี ค.ศ. 1980-2005

LHF		JJA	DJF
Ensemble Mean	All	-122.87	-123.63
	Land	-116.00	-82.24
	Ocean	-124.80	-135.26
ERA-Interim	All	-123.98	-124.83
	Land	-105.33	-81.97
	Ocean	-129.22	-136.88
MERRA-2	All	-122.42	-123.98
	Land	-108.58	-77.84
	Ocean	-126.31	-136.95
NCEP/NCAR	All	-122.21	-122.06
	Land	-134.08	-86.91
	Ocean	-118.88	-131.94

ตาราง จ ค่าเฉลี่ยฟลักซ์รังสีคลื่นสั้นระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ.

1979-2005

SWR (W/m^2)		JJA	DJF
ERA-Interim	All	163.81	188.51
	Land	182.48	171.65
	Ocean	209.18	199.74
EC-EARTH	All	242.71	213.89
	Land	218.91	190.07
	Ocean	272.56	243.77
MPI-ESM-MR	All	235.45	227.54
	Land	214.81	205.77
	Ocean	261.34	254.84

ตาราง ฉ ค่าเฉลี่ยฟลักซ์รังสีคลื่นยาวระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลองระหว่างปี ค.ศ.

1979-2005

LWR (W/m^2)		JJA	DJF
ERA-Interim	All	-34.71	-60.10
	Land	-43.30	-41.38
	Ocean	-48.66	-49.06
EC-EARTH	All	-52.86	-73.13
	Land	-42.68	-70.84
	Ocean	-65.63	-76.02
MPI-ESM-MR	All	-46.23	-84.93
	Land	-37.77	-85.34
	Ocean	-56.84	-84.40

ตาราง ข ค่าเฉลี่ยฟลักซ์ความร้อนสัมผัสระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลองระหว่างปี ค.ศ.
1979-2005

SHF (W/m^2)		JJA	DJF
ERA-Interim	All	-12.48	-23.66
	Land	-24.12	-21.33
	Ocean	-11.31	-10.03
EC-EARTH	All	-4.01	-20.48
	Land	-3.81	-29.29
	Ocean	-4.27	-9.43
MPI-ESM-MR	All	0.16	-25.72
	Land	2.40	-40.93
	Ocean	-2.65	-6.65

ตาราง ข ค่าเฉลี่ยฟลักซ์ความร้อนแฝงระหว่างข้อมูล ERA-Interim และแบบจำลอง ระหว่างปี ค.ศ.
1979-2005

LHF (W/m^2)		JJA	DJF
ERA-Interim	All	-118.17	-99.21
	Land	-104.87	-96.83
	Ocean	-115.56	-102.43
EC-EARTH	All	-143.38	-122.43
	Land	-167.07	-86.92
	Ocean	-113.67	-166.97
MPI-ESM-MR	All	-162.60	-113.52
	Land	-173.94	-83.74
	Ocean	-148.38	-150.87

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพิภทรา แซ่ชิน เกิดเมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2535 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเล แขนงวิชาสมุทรศาสตร์ฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2557

