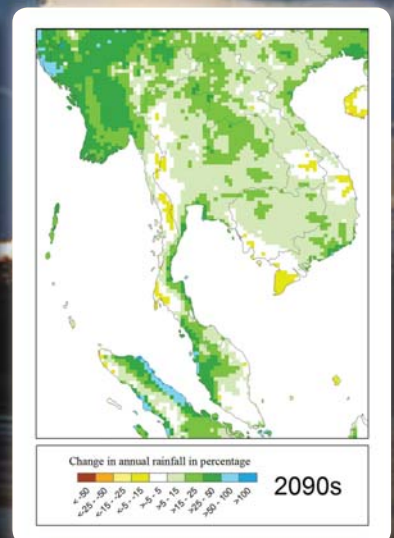
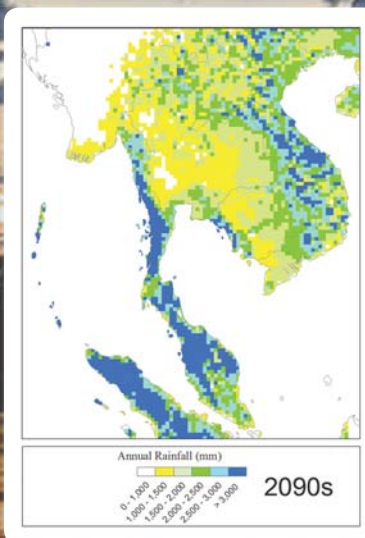
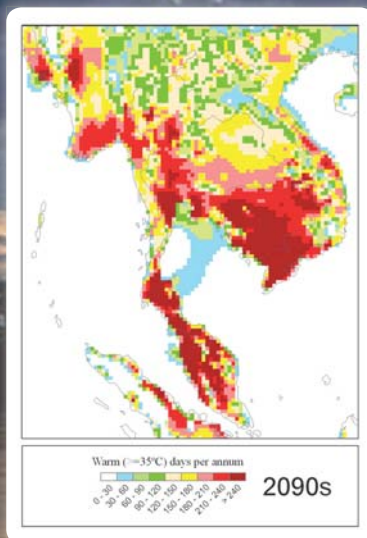




การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย (Thailand Climate Change Information)

เล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต



ผศ.ดร.อำนาจ ชิดไธสง
บรรณาธิการ

รศ.ดร.กัณฑ์รีย์ บุญประกอบ และคณะ
รศ.ดร.เจียมใจ เกรือสุวรรณ และคณะ
ศุภกร ชินวรรณ และคณะ
ผู้เขียน

ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย (Thailand Climate Change Information)

แบบจำลองสภาพภูมิอากาศ และสภาพภูมิอากาศในอนาคต (Volume 2: Climate Model and Future Climate)

อำนาจ ชิดโรสง

บรรณาธิการ

ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(The Thailand Research Fund's Research Development and
Co-ordination Center for Global Warming and Climate Change; Thai-GLOB)



สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว).

ชื่อหนังสือ	การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย (Thailand Climate Change Information) เล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต
บรรณาธิการ	อำนาจ ชิดไธสง
พิมพ์ครั้งที่ 1	กันยายน 2553
จำนวน	2,000 เล่ม
จัดทำโดย	ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (The Thailand Research Fund's Research Development and Co-ordination Center for Global Warming and Climate Change) (Thai-GLOB) บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 โทร 02 470 8309 –10 ต่อ 4144/4119 โทรสาร 02 872 9805 http://climatechange.jgsee.org
ได้รับทุนอุดหนุนจาก	สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ชั้น 14 เอสเอ็มทาวเวอร์ เลขที่ 979 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
ออกแบบโดย	วิเลศวิน หนูแสง

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

อำนาจ ชิดไธสง. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย เล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต.-- กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2553.

176 หน้า.

1. ไทย-ภูมิอากาศ 2. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก. II. ชื่อเรื่อง.

551.6

ISBN: 978-616-7070-48-3



ผู้เขียน

โครงการการสร้างภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย โดยการย่อส่วนแบบจำลองภูมิอากาศโลก

รศ.ดร. กัณฐกรีย์ บุญประกอบ	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ดร.จิรสรณ์ สันตสิริสมบุรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ดร.จารุทัศน์ สันตสิริสมบุรณ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
อาจารย์วรัญญู วงษ์เสรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
อาจารย์พัชฌณ แก้วแพรง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
อาจารย์กัมพล พรหมจิระประวัติ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
อาจารย์สิริวรินทร์ เพชรรัตน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ดร.ยอด สุขะมงคล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
นางสาวปวันรัตน์ อักษรสิงห์ชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
นางสาวขวัญฤทัย ศรีแสงฉาย	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

โครงการการจำลองสภาพภูมิอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียง

นายศุภกร ชินวรรณโณ	ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัยและฝึกอบรม การเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
น.ท.วิริยะ เหลืองอร่าม ร.น.	กองอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา กองทัพเรือ
นายเฉลิมรัฐ แสงมณี	ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัยและฝึกอบรม การเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นางสาวจุฑาทิพย์ ธนกิตติเมธาวุฒิ	ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัยและฝึกอบรม การเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



โครงการการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับประเทศไทยด้วยแบบจำลองภูมิอากาศ MM5

รศ.ดร.เจียมใจ เครือสุวรรณ

นายชาคริต โชติอมรศักดิ์

นางสาวอรรพรรณ วิรัชห์เวชยันต์

นายภาคภูมิ รัตนจิรานุกูล

นายธีรชัย อำนวยล้อเจริญ

นายปิยะ ผ่านศึก

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



คำนำ

การสนับสนุนการศึกษาวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและโลกร้อน ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) มีเป้าหมายในการสร้างองค์ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย ผลกระทบที่เกิดขึ้นในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา การหาแนวทางการปรับตัวในภาคส่วนต่างๆ ของไทย การกำหนดยุทธศาสตร์ของประเทศ เพื่อรองรับความเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นภายใต้การจัดทำระบอบความตกลงระหว่างประเทศด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหลังปี 2555 และการสร้างความร่วมมือและเครือข่ายนักวิชาการด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั้งในและต่างประเทศ รวมถึงการสนับสนุนและสร้างความตระหนักและความเข้าใจแก่สังคมไทยในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

สกว. ได้จัดพิมพ์หนังสือชุดความรู้ “การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย” เผยแพร่ในสังคมไทยและผู้สนใจทั่วไปได้รู้ถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยอันเนื่องมาจากภาวะโลกร้อน เล่มแรกเป็นสาระความรู้และข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอดีต สำหรับเล่มที่ 2 นี้ “แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต” เป็นสาระความรู้และข้อมูลการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่มองระยะยาวถึงศตวรรษที่ 21 ซึ่งประมวลจากโครงการศึกษาของกลุ่มวิจัยแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต ที่นักวิชาการจากหลายสถาบันมาทำงานร่วมกัน เริ่มตั้งแต่ แบบจำลองภูมิอากาศหลายแบบที่ใช้ศึกษา เงื่อนไขและสมมุติฐานในการจำลอง และตัวแปรภูมิอากาศและชุดข้อมูลผลลัพธ์ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมต่อการใช้งานและเผยแพร่เพื่อต่อยอดในการศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อภาคส่วนต่างๆ ต่อไป

สกว. ขอขอบคุณคณะผู้วิจัยจากมหาวิทยาลัยรามคำแหง, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ร่วมมือกันศึกษาและเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญของงานวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและโลกร้อน และขอคุณ ผศ.ดร.อำนาจ ชิตไธสง บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้ประสานงานวิจัย ที่ให้ความทุ่มเทสร้างสรรค์เครือข่ายนักวิชาการและจัดการเผยแพร่งานวิจัยในเรื่องดังกล่าว



ศาสตราจารย์ ดร. สวัสดิ์ ตันตระรัตน์

ผู้อำนวยการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย





บทบรรณาธิการ

การจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตเป็นจุดเริ่มต้นสำคัญที่จะนำไปสู่การประเมินผลกระทบและประเมินแนวทางการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในต่างประเทศได้มีการพัฒนาแบบจำลองต่างๆ ขึ้นมามากมายเริ่มตั้งแต่แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่หลายร้อยกิโลเมตร จนถึงแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคหรือท้องถิ่นที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงสามารถที่จะทำการศึกษาได้ละเอียดน้อยกว่า 10 กิโลเมตร ปัจจุบันการพัฒนาไม่ได้รวมแค่การเพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่เท่านั้น องค์ความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต่อการปรับปรุงแบบจำลองและการตรวจวัดข้อมูลต่างๆ ก็ได้พัฒนาอย่างมาก ทำให้ความเข้าใจในกระบวนการทางบรรยากาศวิทยาเพิ่มมากขึ้น และมีความมั่นใจว่าผลการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตเป็นสิ่งที่เชื่อถือได้

ประเทศไทยได้เริ่มงานศึกษาจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 ซึ่งก็ทำให้เกิดองค์ความรู้และผลที่ได้ก็สามารถนำมาปรับเพื่อศึกษาผลกระทบระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามความพร้อมด้านการทำแบบจำลองของประเทศไทยยังต้องการการพัฒนาอีกมาก การสนับสนุนการสร้างองค์ความรู้ที่จะทำให้เกิดความเข้าใจและการเพิ่มความแม่นยำในการอธิบายถึงภูมิอากาศในอนาคตเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องพิจารณา ทั้งนี้ผลการจำลองจากแบบจำลองแบบใดแบบหนึ่งไม่เพียงพอต่อการที่จะนำมาศึกษาประเมินผลกระทบ และแสวงหาแนวทางปรับตัวได้อย่างเหมาะสมกับบริบทของประเทศ การมีภาพฉายอนาคตภูมิอากาศจากแบบจำลองหนึ่งๆ เปรียบเสมือนการมองวัตถุจากเพียงด้านเดียว ทำให้ไม่สามารถรู้ว่าเกิดอะไรขึ้นในด้านอื่นๆ ฉะนั้นหากสามารถมองหลาคลุมได้ก็จะสามารถทำให้ภาพภูมิอากาศในอนาคตมีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือได้มากขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยการเปรียบเทียบผลการจำลองจากหลายแบบจำลอง การใช้เทคนิคที่หลากหลายในการย่อส่วนแบบจำลองจากระดับโลกสู่ภูมิภาค หรือแม้แต่การใช้ภาพจำลองการพัฒนาเศรษฐกิจ-สังคมแตกต่างกันหลายทิศทาง เป็นต้น

ชุดความรู้เรื่อง “การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย” เล่มที่ 2 เสนอผลการศึกษากลุ่มวิจัยการจำลองสภาพภูมิอากาศของไทยในอนาคต ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงและความละเอียดเชิงเวลาสูงจากแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค 2 แบบ (PRECIS, MM5) แบบจำลองภูมิอากาศโลก 1 แบบ (GFDL-R30) และภายใต้ภาพจำลองการพัฒนาเศรษฐกิจ-สังคมของโลก 3 แบบ (A1B, A2, B2) ผู้อ่านจะได้ความเข้าใจถึงเทคนิคการจำลองภาพภูมิอากาศ การฉายภาพอนาคตของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และข้อจำกัดที่ไม่ว่าจะเป็นข้อจำกัดด้านทฤษฎีและสมมติฐานหลักของแบบจำลอง ข้อจำกัดของข้อมูลตรวจวัดในประเทศไทยซึ่งเป็นส่วน



สำคัญในการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองที่นำมาประยุกต์ใช้กับประเทศไทย ข้อจำกัดด้านองค์ความรู้ที่จะใช้ปรับปรุงแบบจำลองให้เหมาะสมกับบริบทที่ตั้งและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของไทย ข้อจำกัดด้านบุคลากรที่ยังขาดแคลนผู้ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญ เป็นต้น ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศที่ได้แม้จะยังไม่สามารถจำลองข้อมูลการตรวจวัดในอดีตได้ดีเท่าที่ควร และยังมีความไม่แน่นอนสูง ถึงกระนั้นผลการศึกษาจากทั้ง 3 แบบจำลองสามารถสรุปคําหมายให้เห็นถึงสภาพภูมิอากาศของไทยได้เปลี่ยนแปลงมาตั้งแต่ในอดีต และมีแนวโน้มว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบเดิมต่อไปในอนาคต เช่น อุณหภูมิของประเทศไทยจะยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 100 ปีข้างหน้า ชุดข้อมูลตามสภาพอนาคตนี้สามารถนำไปใช้สำหรับการศึกษาภาวะเสี่ยงต่อความเดือดร้อนและแนวทางการปรับตัวต่อแนวโน้มที่เห็นอยู่ในปัจจุบัน และความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ควรตระหนักถึงข้อจำกัดก็จะช่วยให้การเลือกใช้แบบจำลอง/ผลจากแบบจำลองมีความเหมาะสม รวมถึงการตีความผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การที่จะปรับปรุงและพัฒนาการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตของประเทศไทยให้ดีขึ้นนั้น จำเป็นต้องมีองค์ประกอบหลัก 4 ประการด้วยกัน คือ 1) มีแบบจำลองที่ดี ซึ่งจากเนื้อหาของหนังสือนี้ จะเห็นว่าแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองนี้ สามารถปรับปรุงให้มีความเหมาะสมกับประเทศไทยได้ โดยประเด็นนี้นักวิชาการกำลังร่วมกันทำการประเมินผลจากแบบจำลองแบบองค์รวม (climate model ensemble) เพื่อวิเคราะห์จุดอ่อน จุดแข็ง และความไม่แน่นอนของแต่ละแบบจำลองสำหรับการฉายภาพอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย 2) มีความพร้อมด้านบุคลากร ทั้งด้านจำนวนคน ระดับความรู้ ความเข้าใจ และระบบสนับสนุน 3) มีข้อมูลการตรวจวัดที่มีคุณภาพ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่และเวลาที่เพียงพอ และ 4) มีองค์ความรู้สนับสนุน เช่น งานวิจัยพื้นฐานด้านบรรยากาศวิทยาและสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ เป็นต้น

ดังนั้นการศึกษากการจำลองสภาพภูมิอากาศของไทยในครั้งนี้ นอกจากจะมุ่งเน้นไปที่ผลของแบบจำลองแล้ว สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ยังให้ความสำคัญกับการเพิ่มสมรรถนะและจำนวนนักวิจัยเพื่อให้เป็นกำลังสำคัญในการช่วยพัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศของไทย ปัจจุบันนี้สามารถพูดได้ว่าประเทศของเราเริ่มจะมี “นักวิจัยและองค์ความรู้” เกิดขึ้นซึ่งจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนและพัฒนาต่อยอดเพื่อให้ได้ภาพจำลองภูมิอากาศที่เหมาะสมและที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

อำนาจ ชิตไธสง
บรรณาธิการ



สารบัญ

คำนำ	5
บทบรรณาธิการ	7
บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	11
1.1 คำนิยามที่สำคัญ	13
1.2 พัฒนาการของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก	14
1.3 ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	18
1.4 ภาพจำลองภูมิอากาศในอนาคต	21
1.5 การเลือกใช้แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก	22
1.6 สรุป	27
บทที่ 2 ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย จากผลของแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค - PRECIS	35
2.1 การจำลองสภาพภูมิอากาศความละเอียดสูงโดยแบบจำลองภูมิอากาศ ภูมิภาค - PRECIS	35
2.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพภูมิอากาศกับการตรวจวัดจริง และการจัดทำค่าสัมประสิทธิ์เพื่อใช้ปรับความคลาดเคลื่อน	43
2.3 การจัดทำภาพฉายภูมิอากาศอนาคตโดยการปรับความคลาดเคลื่อนของ ผลจากแบบจำลองภูมิอากาศ	49
2.4 ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย ปี ค.ศ. 2010-2090	58
บทที่ 3 ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย จากผลของแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค - MM5	75
3.1 การจำลองสภาพภูมิอากาศความละเอียดสูงโดยแบบจำลองภูมิอากาศ ภูมิภาค - MM5	77
3.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพภูมิอากาศกับการตรวจวัดจริง	80
3.3 ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย ปี ค.ศ. 2010-2039	73

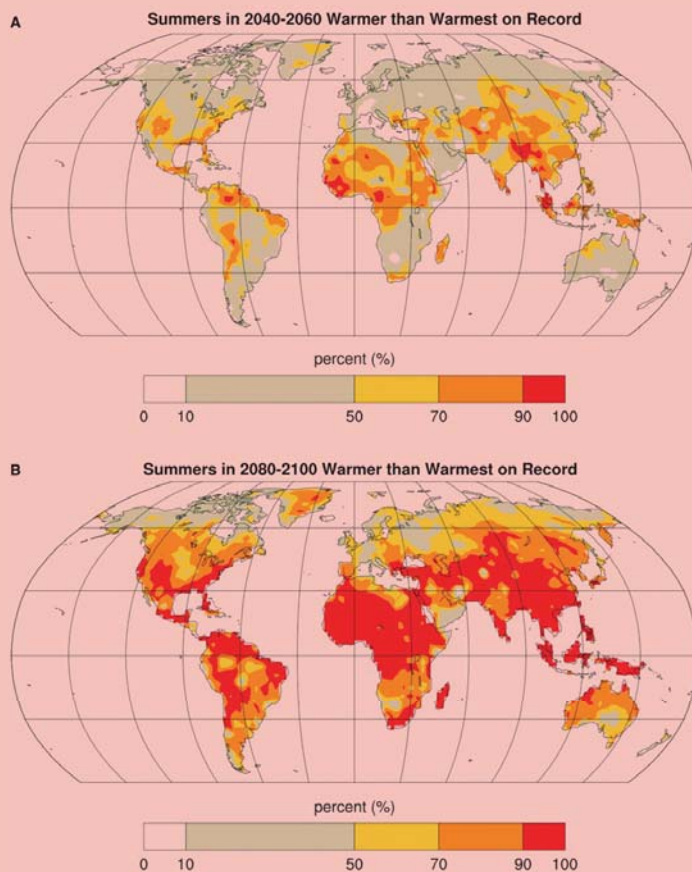


สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย	
จากผลของการมีส่วนร่วมแบบจำลองภูมิอากาศโลก- GFDL-R30	93
4.1 การจำลองสภาพภูมิอากาศโดยการมีส่วนร่วมแบบจำลองภูมิอากาศโลก – GFDL-R30	95
4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศโลก และข้อมูลภูมิอากาศ จากการตรวจวัดของประเทศไทย	103
4.3 ผลการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศในอดีตของประเทศไทย ปี ค.ศ. 1965–1990	107
4.4 ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย ปี ค.ศ. 2010–2059	119
เอกสารอ้างอิง	147
ภาคผนวก	161
ภาคผนวก ก ข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลก	163
ภาคผนวก ข ข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค	171
ภาคผนวก ค แหล่งข้อมูลภูมิอากาศและแบบจำลองภูมิอากาศโลก	174



แบบจำลองสภาพภูมิอากาศ และสภาพภูมิอากาศในอนาคต

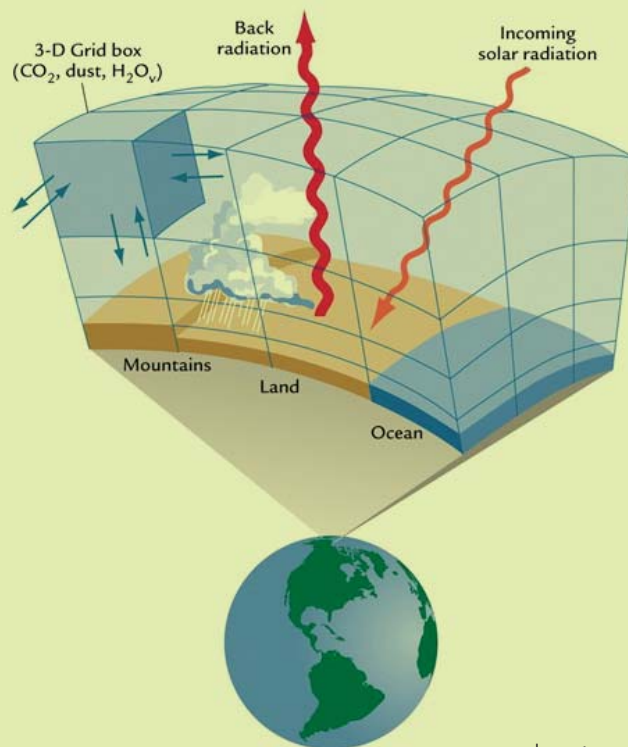


ที่มา: www.sciencemag.org/content/vol323/issue5911/image/large/323_240.jpeg

1

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบบจำลอง การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

รศ.ดร.กัณห์รีย์ บุญประกอบ*



รูปจาก <http://www.iac.ethz.ch>

*คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

1.1 คำนิยามที่สำคัญ

สภาพอากาศ (Weather)

หมายถึง เหตุการณ์ภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในปัจจุบันหรือในอนาคตใกล้ เช่น การเกิดพายุ ฝนตก น้ำท่วมในวันนี้หรือสัปดาห์หน้า การคาดการณ์ หรือทำนายภูมิอากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ เรียกว่า การพยากรณ์อากาศ (weather forecast)

ภูมิอากาศ (climate)

ตามมาตรฐานของและคำจำกัดความขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization หรือ WMO) ภูมิอากาศ (climate) หมายถึงค่าเฉลี่ยของปัจจัยภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝนในระยะยาวเป็นเวลา 30 ปี การคาดการณ์ภูมิอากาศในอนาคตทำได้โดยการสร้างภาพจำลองเหตุการณ์ภูมิอากาศ (climate scenario) ที่อาจเกิดขึ้นได้ จากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม เป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (climate change)

ตามคำจำกัดความของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงใดๆ ของภูมิอากาศที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม อันทำให้ส่วนประกอบของบรรยากาศโลกเปลี่ยนแปลงไป นอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติในช่วงเวลาเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเกิดจากก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ก๊าซเรือนกระจกมีคุณสมบัติในการดูดกลืนความร้อน ทำให้ความร้อนไม่สามารถระบายออกไปนอกบรรยากาศโลกได้ ทำให้โลกร้อนขึ้นจากปรากฏการณ์เรือนกระจก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ



ส่วนประกอบของภูมิอากาศ (climate component)

ส่วนประกอบทางกายภาพของระบบภูมิอากาศโลกมี 5 ส่วน ได้แก่ พื้นน้ำ (hydrosphere) พื้นธรณี (geosphere) บรรยากาศ (atmosphere) ชีวภาพ (biosphere) และธารน้ำแข็ง (cryosphere) โดยส่วนประกอบทั้ง 5 ส่วนนี้ได้รับและดูดซับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน โดยในบริเวณเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตรจะเป็นบริเวณที่ร้อนที่สุด และบริเวณขั้วโลกจะเป็นบริเวณที่เย็นที่สุด ทำให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานความร้อนและมวลสารขึ้น เพื่อให้เกิดสมดุลของพลังงาน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวทำให้เกิดการเคลื่อนและหมุนเวียนของมวลน้ำและอากาศ และมีอิทธิพลต่อภูมิอากาศโลก

แบบจำลองภูมิอากาศ (climate model)

แบบจำลองภูมิอากาศเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณในการลอกเลียน (simulate) ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานในบรรยากาศ มหาสมุทร พื้นดิน และน้ำแข็ง แบบจำลองนี้นำไปใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น การศึกษาพลวัตของภูมิอากาศ (weather) และระบบภูมิอากาศ (climate system) ซึ่งปัจจุบันถูกนำมาใช้ในการสร้างสภาพเหตุการณ์ภูมิอากาศในอนาคตที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ

แบบจำลองภูมิอากาศทุกชนิดใช้หลักการของสมดุลของพลังงานโลก คือ พลังงานที่โลกได้รับในสภาพคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นสั้น สมดุลกับการส่งถ่ายพลังงานออกไปนอกบรรยากาศโลกในสภาพรังสีความร้อนในช่วงคลื่นยาว (far-infrared) ความไม่สมดุลของพลังงานนำเข้าและพลังงานส่งออกทำให้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโลกเปลี่ยนแปลง เช่น การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกซึ่งดูดกลืนพลังงานความร้อนทำให้บรรยากาศโลกดูดซับความร้อนไว้มากขึ้น

1.2 พัฒนาการของแบบจำลองภูมิอากาศโลก

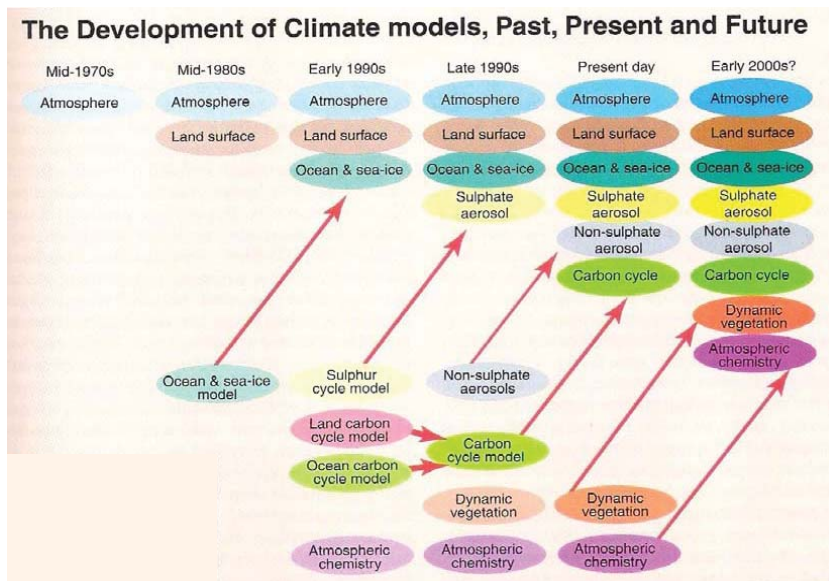
แบบจำลองภูมิอากาศโลก หรือ General Circulation Models (GCMs) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นเครื่องมือที่ทันสมัยที่สุดในปัจจุบันในการจำลองกระบวนการทางกายภาพ ของบรรยากาศ มหาสมุทร น้ำแข็ง (cryosphere) และผิวดินต่อการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ซึ่งใช้ในการสร้างเหตุการณ์จำลองของภูมิอากาศในอนาคต แบบจำลองภูมิอากาศโลกแสดงภูมิอากาศใน 3 มิติของพื้นที่หรือตารางกริด (grid) ปกติมีขนาดประมาณ 250 x 600 กม. มีชั้นในแนวตั้ง 20-30 ชั้น และชั้นในมหาสมุทรอาจสูงถึง 30 ชั้น ขนาดของแบบจำลองภูมิอากาศโลกจึงค่อนข้างกว้าง

แบบจำลองภูมิอากาศโลกประสานข้อมูลที่มีปริมาณมากในสามมิติให้สามารถเข้าใจได้ด้วยทัศนภาพของมนุษย์ เริ่มมีการพัฒนาดังแต่ก่อน ค.ศ.1955 โดยเริ่มจากแบบจำลองที่ใช้



ทำนายภูมิอากาศท้องถิ่น ต่อมาในช่วงทศวรรษ 1960s เมื่อเครื่องประมวลผลหรือคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถพัฒนาแบบจำลองให้ครอบคลุมถึงการหมุนเวียนของพลังงานและสสารในอากาศทั่วโลก รวมทั้ง สามารถจำลองภูมิอากาศเฉลี่ยได้ในระยะยาวเป็น ทศวรรษหรือศตวรรษ โดยในทศวรรษ 1970s แบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นที่นิยมอย่างกว้าง ขวางในการใช้ทำนายและคาดการณ์ภูมิอากาศในท้องถิ่นและภูมิภาค ในระยะเวลาเดียวกัน นั้นนักวิทยาศาสตร์ภูมิอากาศ (climate scientist) เริ่มมีความกังวลถึงผลกระทบในระยะยาว ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ จึงเริ่มมีการนำกิจกรรมของมนุษย์มาเป็น ตัวแปรในการประมวลผลด้วย ซึ่งต่างจากในระยะแรกประมาณปีค.ศ.1970 เป็นการใช้อัตรา ข้อมูลด้านบรรยากาศเพียงอย่างเดียว ผลลัพธ์ที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อนจากสภาพความเป็นจริงมาก

แบบจำลองภูมิอากาศโลกมีการพัฒนาให้ใช้การได้ดีขึ้น โดยแบบจำลองรุ่นแรกใช้ข้อมูล ภูมิอากาศเป็นหลัก เรียกว่า Atmospheric GCM หรือ AGCM ต่อมาได้มีการเพิ่มข้อมูลด้าน อื่นๆ ที่มีปฏิสัมพันธ์กับบรรยากาศเข้าไป เช่น มหาสมุทร โดยการพัฒนา Oceanic General Circulation Models (OGCMs) และนำแบบจำลองนี้ควบ (couple) เข้าด้วยกัน เรียกว่า Ocean Atmospheric General Circulation Models (AOGCMs) โดยเริ่มพัฒนาเป็นครั้งแรกที่ Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) แห่ง National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) สหรัฐอเมริกา ในช่วงท้ายของทศวรรษ 1960s ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่เป็น AOGCM มีความใกล้เคียงความจริงมากขึ้น และตั้งแต่ 1980s



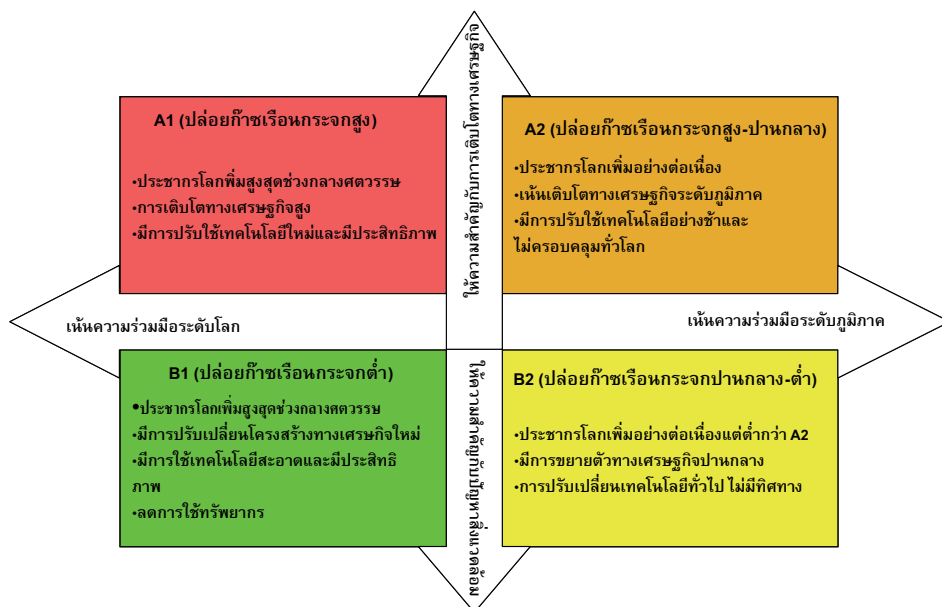
รูปที่ 1.1 การพัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศโลก (General Circulation Models หรือ GCMs) ตั้งแต่ ค.ศ. 1970 และ อนาคต (IPCC, 2001)



เป็นต้นมา มีการพัฒนา AOGCMs จากสถาบันต่างๆ ได้แก่ แบบจำลอง HadCM3, GFDL CM2.x, GISS, ECHAM เป็นต้น ซึ่งนับเป็นต้นแบบ (มาตรฐาน) ของแบบจำลองภูมิอากาศที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ถึงแม้จะยังมีข้อบกพร่องที่ต้องทำการพัฒนาต่อไปอีก แต่ก็มีมีการปรับปรุงโดยนำแบบจำลองลูกอื่นๆ เช่น ละอองลอยซัลเฟต ละอองลอยที่ไม่ใช่ซัลเฟต วัฏจักรคาร์บอน แบบจำลองพลวัตรีซ เป็นต้น เข้ามาควบรวมด้วย (รูปที่ 1.1) จนกระทั่งในปัจจุบัน ผลลัพธ์จากแบบจำลองภูมิอากาศมีความชัดเจนขึ้นมาก สามารถสร้างภูมิอากาศในอดีตได้ใกล้เคียงความจริง

1.3 ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศในอนาคตเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลองภูมิอากาศ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกอาจจะเปลี่ยนแปลงไปในอนาคตตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในทิศทางต่างๆ กัน ซึ่งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC) ได้กำหนดความเป็นไปได้ของการพัฒนาเป็น 4 รูปแบบหลัก (ดังรูปที่ 1.2-1.3) คือ

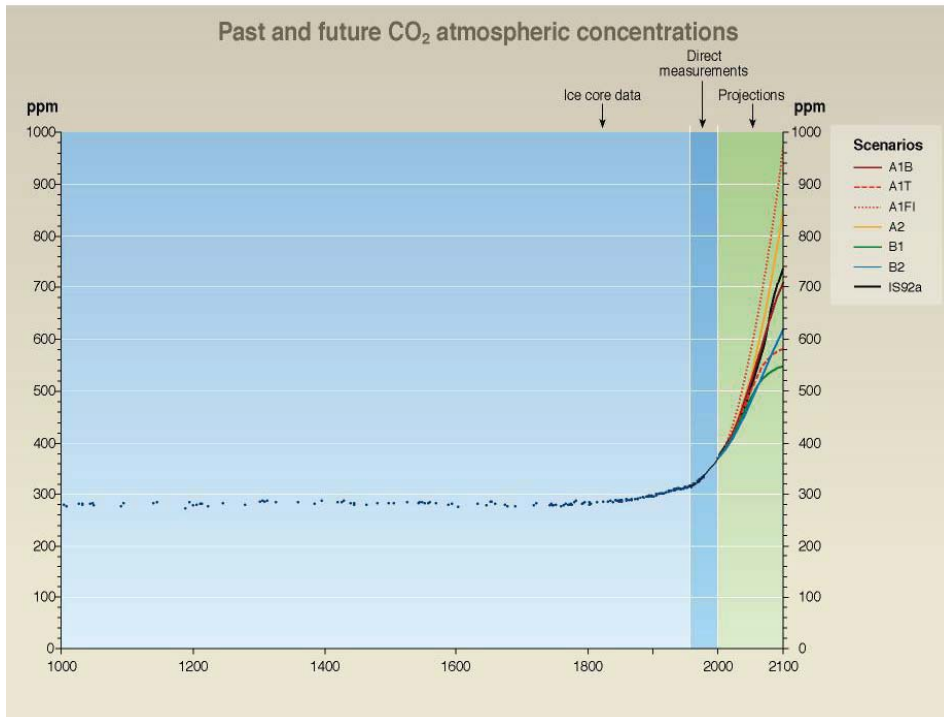


รูปที่ 1.2 ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคตจากรายงานของ IPCC (IPCC Special Report on Emission Scenario หรือ SRES) (IPCC, 2001)



- **IIU A** เป็นการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก โดยแบ่งย่อยเป็น
 - แบบ A1 คือ อนาคตการเติบโตทางเศรษฐกิจสูง ประชากรโลกสูงสุดในทศวรรษ และลดลงเล็กน้อยหลังจากนั้น มีเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง มีการพัฒนาบุคลากร มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัฒนธรรม ความแตกต่างของรายได้ ประชาชาติระหว่างภูมิภาคลดลง ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission scenario) แบบ A1 นี้ ยังแยกออกเป็นภาพจำลองย่อยต่างๆ คือ
 - A1FI (Fossil intensive) เป็นการพัฒนาที่ขึ้นอยู่กับพลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหินอย่างมาก
 - A1T (Non-fossil energy sources and technology) เป็นการพัฒนาโดยไม่ใช้พลังงานฟอสซิลเป็นหลักแต่ใช้เทคโนโลยีอื่นๆ แทน
 - A1B (Balance of all sources) พัฒนาโดยมีความสมดุลของแหล่งพลังงานที่ใช้ ไม่เน้นการใช้พลังงานฟอสซิลหรือพลังงานหมุนเวียน แต่ให้มีการผสมผสานระหว่างพลังงานทั้งสองแบบ
 - แบบ A2 คือ การพัฒนาในอนาคตของโลกมีความหลากหลาย ฟังตนเองมากขึ้นภายในภูมิภาค มีการอนุรักษ์เอกลักษณ์ท้องถิ่น จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาเศรษฐกิจขึ้นอยู่กับภูมิภาค การเติบโตทางเศรษฐกิจและการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีช้ากว่าแบบอื่น และกระจายตามท้องถิ่นและภูมิภาค
- **IIU B** เป็นการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าการพัฒนาแบบ A โดยแบ่งย่อยเป็น
 - แบบ B1 เป็นภาพจำลองการพัฒนาที่ในอนาคต ประชากรเพิ่มสูงขึ้นตอนกึ่งกลางศตวรรษเช่นเดียวกับแบบ A1 และลดลงหลังจากนั้น แต่โครงสร้างเศรษฐกิจเปลี่ยนอย่างรวดเร็วไปเป็นภาคบริการและสารสนเทศ ลดการใช้วัตถุ มีการใช้เทคโนโลยีที่สะอาด เน้นที่การแก้ปัญหาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในระดับนานาชาติมีความเสมอภาค แต่ไม่มีการนำประเด็นด้านภูมิอากาศเป็นแรงจูงใจ
 - แบบ B2 เป็นภาพจำลองการพัฒนาที่เน้นการแก้ปัญหาด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในระดับท้องถิ่นหรือภูมิภาค ประชากรเพิ่มขึ้นต่อเนื่องแต่น้อยกว่า A2 มีการพัฒนาเศรษฐกิจปานกลาง การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีหลากหลายและช้าลงกว่า B1 และ A1 โดยมีการปกป้องสิ่งแวดล้อม และความเสมอภาคของสังคมที่เน้นที่ท้องถิ่นและภูมิภาค





รูปที่ 1.3 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศโลกตั้งแต่ ค.ศ. 1000 ถึงปัจจุบัน และปริมาณในอนาคตจากภาพจำลองการปลดปล่อย SRES scenarios แบบต่างๆ คือ A1B, A1T, A1FI, A2, B1, B2 และ IS92a (IPCC 2001)

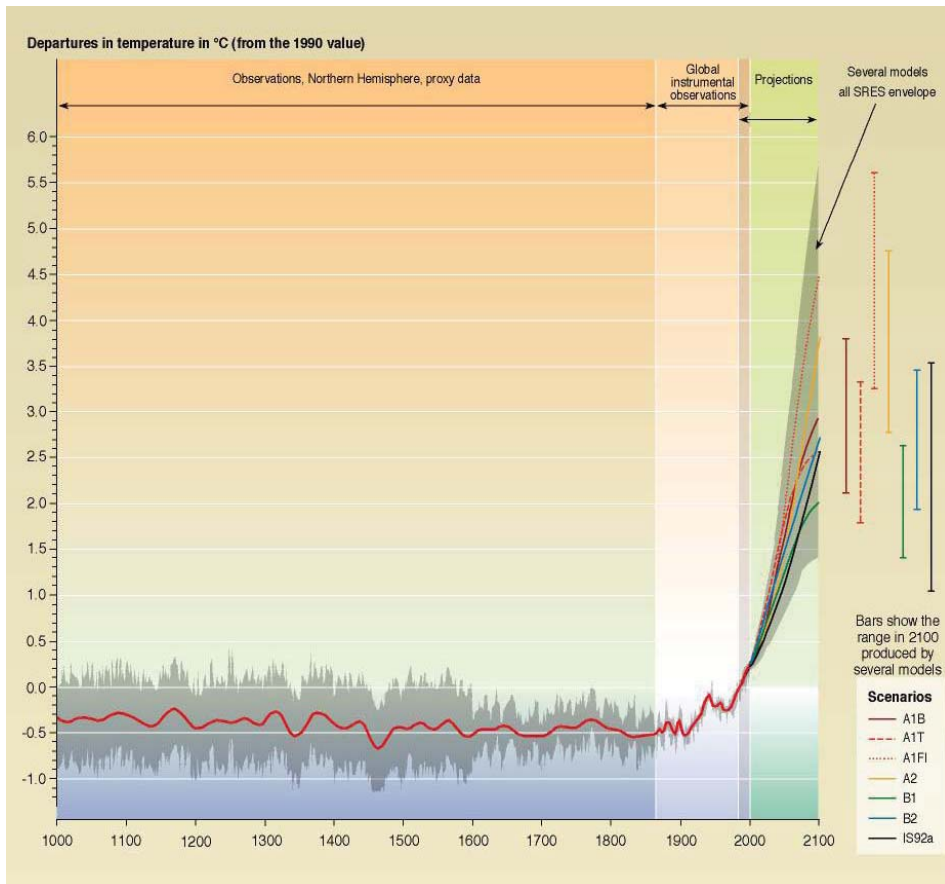
นอกจากนี้ยังมีภาพจำลองของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เรียกว่า IS92 Scenario ซึ่งเป็นภาพจำลองที่กำหนดให้มีการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในสัดส่วนคงที่ในแต่ละปี เช่น IS92a มีการเพิ่มขึ้นของของก๊าซเรือนกระจกปีละ 1 % (เฉพาะก๊าซเรือนกระจกและหรือละอองลอยซัลเฟต

IS92d มีการเพิ่มขึ้นของของก๊าซเรือนกระจก 0.5 %

1.4 ภาพจำลองภูมิอากาศในอนาคต

ภาพจำลองภูมิอากาศในอนาคตของโลก (climate change scenario) โดยใช้แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก และข้อมูลจากแบบจำลองก๊าซเรือนกระจกในอนาคต (emission scenarios) ดังที่กล่าวแล้ว ซึ่งสภาพภูมิอากาศของโลกจะแตกต่างกันตามรูปแบบของการพัฒนาและปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศโลก เช่น ในปี ค.ศ. 2100 ภายใต้การพัฒนาแบบ B2 อุณหภูมิของโลกอาจเพิ่มขึ้น 1.5 องศาเซลเซียส แต่ภายใต้การพัฒนาแบบ A1FI อุณหภูมิอาจเพิ่มมากถึง 5.6 องศาเซลเซียส เป็นต้น (รูปที่ 1.4)



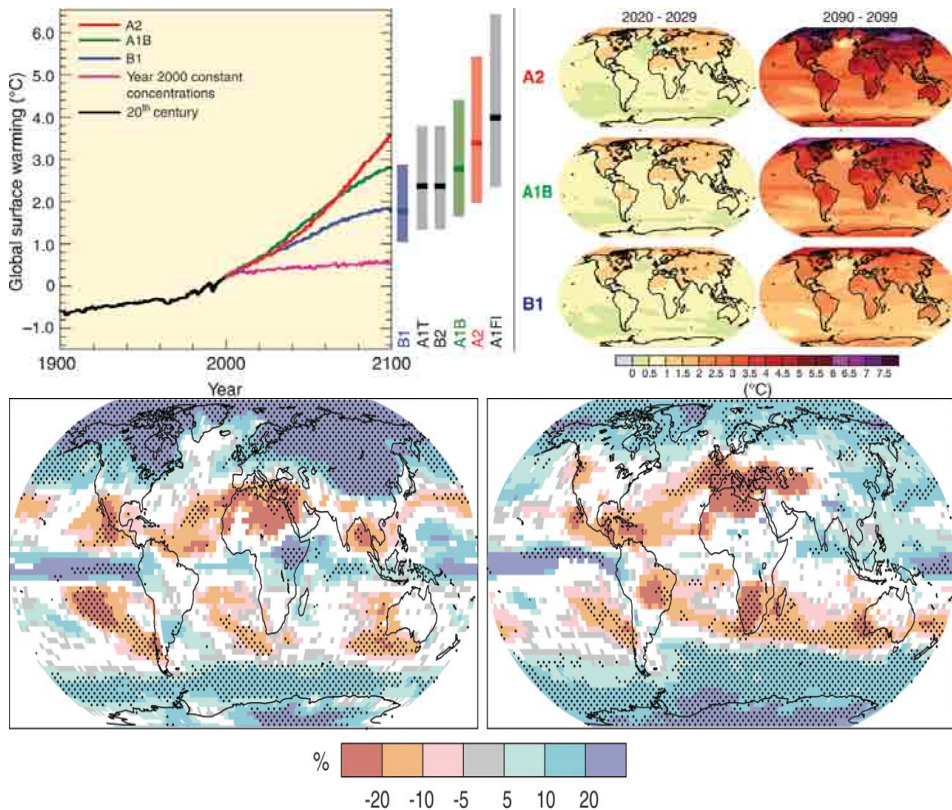


รูปที่ 1.4 ภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอดีต ปัจจุบัน และอนาคต (Temperature scenarios) จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCM) ตาม SRES scenarios แบบ A1B, A1T, A1FI, A2, B1, B2 และ IS92a จะเห็นว่า GCM สามารถจำลองภาพอุณหภูมิในอดีต (ตั้งแต่ ค.ศ.1000 – 1850) ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการประมาณ (Proxy data) เช่น วงปีของต้นไม้ ชั้นปะการัง เป็นต้น (IPCC, 2001)

1.5 การเลือกใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก

การพัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศโลกต้องใช้ข้อมูลและความเชี่ยวชาญหลายสาขา รวมทั้งเครื่องประมวลผลที่มีสมรรถนะสูง ทำให้แบบจำลองภูมิอากาศโลกถูกพัฒนาขึ้นมาโดยสถาบันชั้นนำของโลก เช่น Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), Goddard Institute of Space Studies (GISS) ของสหรัฐอเมริกา, Hadley Center for Climate Prediction and Research ของสหราชอาณาจักร และ Max Planck Institute ของเยอรมนี เป็นต้น ภาคผนวก 1 แสดงข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลกจากบางสถาบันที่นิยมใช้





รูปที่ 1.5 ภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature scenarios) ตาม SRES A2, A1B และ B1 ภายหลังศตวรรษ ที่ 20 ที่ประมวลผลจากแบบจำลองหลายแบบ เมื่อเปรียบเทียบกับ ค.ศ. 1980 – 1999 (บน) และภาพจำลองปริมาณน้ำฝน (Precipitation scenarios) ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างค.ศ. 2092-2099 เมื่อเปรียบเทียบกับค.ศ. 1980-1999 จากการประมวลผลของแบบจำลองหลายแบบตาม SRES A1B ในเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ (ล่าง-ซ้าย) และ มิถุนายน-สิงหาคม (ล่าง-ขวา) (IPCC, 2007)

ในการสร้างภาพจำลองภูมิอากาศโลก และการพัฒนารุ่นต่างๆ ที่แบบจำลองเหล่านี้ประมวลผลแบบจำลองภูมิอากาศโลกแต่ละชนิดให้ผลลัพธ์ของภูมิอากาศในอนาคตเมื่อปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศเพิ่มขึ้นต่างกัน แต่เนื่องจากแต่ละสถาบันมี ทัศนวิสัย วิธีการ และข้อมูลในการประมวลผลที่แตกต่างกัน การใช้แบบจำลองภูมิอากาศจึงควรพิจารณา ดังนี้

1. อายุของแบบจำลอง แบบจำลองที่พัฒนาใหม่ได้รับการแก้ไขและปรับปรุงข้อบกพร่องเพิ่มขึ้น ทำให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น
2. ขนาดของพื้นที่แสดงผล (resolution) แบบจำลองที่มีพื้นที่แสดงผลเล็ก เช่น $2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$ (ละติจูด x ลองจิจูด) ย่อมดีกว่าแบบจำลองที่มีพื้นที่แสดงผลกว้าง เช่น $5^{\circ} \times 4^{\circ}$

(ละติจูด x ลองจิจูด)

ความแม่นยำในการแสดงผลภูมิอากาศปัจจุบัน แบบจำลองที่มีสภาพภูมิอากาศปัจจุบันใกล้เคียงกับสภาพภูมิอากาศจากการตรวจวัดในพื้นที่ ควรมีความสามารถในการสร้างภาพจำลองภูมิอากาศในอนาคตได้ดีกว่า

การสร้างภาพจำลองภูมิอากาศในอนาคตให้เหมาะสมกับการใช้งานขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ โดยขนาดพื้นที่และความละเอียดของเวลาขึ้นอยู่กับความจำเป็นในการใช้ข้อมูล เช่น

- ขนาดพื้นที่
 - ลุ่มน้ำ
 - ระดับฟาร์มหรือพื้นที่เกษตรกรรม
- ระยะเวลา: การศึกษาผลกระทบในภาคส่วนต่างๆ ใช้ความละเอียดของข้อมูลต่างกัน เช่น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศป่าไม้อาจใช้ข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือน ส่วนการศึกษาผลกระทบต่อผลผลิตการเกษตรอาจต้องใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวัน เป็นต้น

1.5.1 การย่อส่วนแบบจำลองภูมิอากาศโลก

แบบจำลองภูมิอากาศโลกมีพื้นที่แสดงผลขนาดใหญ่ เช่น 200 x 600 กม. หรือ 250 X 250 กม. เหมาะสำหรับการใช้ในการมองภาพในระดับทวีปหรืออนุทวีป การนำผลลัพธ์ของแบบจำลอง มาใช้ในการศึกษาผลกระทบ ความอ่อนไหว และการปรับตัวในระดับภูมิภาค ท้องถิ่น และประเทศที่มีขนาดพื้นที่เล็กกว่ามาก จึงต้องทำการย่อส่วน (downscale) ให้แสดงผลลัพธ์ที่มีความละเอียดเพิ่มขึ้นในเชิงพื้นที่และเวลา โดยการย่อส่วนแบบจำลองภูมิอากาศโลก ซึ่งมี 3 วิธี คือ

1. การเพิ่มค่าภูมิอากาศพื้นฐาน การนำผลลัพธ์ที่เป็นค่าเฉลี่ยของสภาพภูมิอากาศแต่ละเดือน เช่น อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (ความละเอียดต่ำ) ไปผนวกกับค่าที่ได้จากการตรวจวัด (observation) ในพื้นที่เล็ก (มีความละเอียดสูง) วิธีการนี้เป็นวิธีการที่หายากที่สุด ใช้ในการประเมินผลเบื้องต้น แต่มีการใช้ศึกษาหลายกรณี โดยค่าเฉลี่ยภูมิอากาศพื้นฐานควรมีระยะเวลา 30 ปี เช่น 1961–1990 หรือ 1970–2000 และแบบจำลองควรมีภูมิอากาศพื้นฐานในเวลาเดียวกัน

2. การย่อส่วนด้วยวิธีทางสถิติ (statistical downscale) เป็นวิธีที่ซับซ้อนขึ้น โดยมีสมมุติฐานว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวบ่งชี้ (predictor) ซึ่งเป็นผลที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก และตัวถูกทำนาย (predictand) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดโดยตรง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในอนาคตเมื่อนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาทำการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลง



ภูมิอากาศในอนาคต (ซึ่งสมมุติฐานนี้ไม่ถูกต้องเสมอไป) วิธีการนี้เหมาะสำหรับการศึกษาในระดับพื้นที่ขนาดเล็ก เช่น บางส่วนของภูมิภาคและเกาะ เป็นต้น วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีข้อมูลไม่สมบูรณ์ การย่อส่วนด้วยวิธีทางสถิติ สามารถแสดงผลความรุนแรงของภูมิอากาศ (climate extreme) และตามช่วงเวลาต่างๆ ได้ (transient) แต่วิธีการนี้ยังมีหลักเกณฑ์ที่ค่อนข้างจำกัดและใช้กับแบบจำลองภูมิอากาศโลกบางชนิดเท่านั้น

3. การย่อส่วนด้วยวิธีการพลวัต (dynamic downscale) หรือการใช้แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค (regional climate model หรือ RCM) เป็นวิธีการที่มีความละเอียดสูงที่นำความซับซ้อนของภูมิอากาศมาเป็นตัวแปร แต่มีข้อจำกัดในการใช้งานและต้องใช้เครื่องประมวลผลที่มีประสิทธิภาพ แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคส่วนมากฝัง (nested) อยู่ในแบบจำลองภูมิอากาศโลกแต่ละแบบซึ่งมีพื้นที่แสดงผลขนาดใหญ่ เช่น 200 X 250 กม. โดยพื้นที่แสดงผลของแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคส่วนใหญ่มีขนาด 50 กม. บางชนิดอาจเล็กถึง 36 X 36 กม. หรือ 10 X 10 กม. ซึ่งต้องมีการป้อนข้อมูลรายละเอียดของพื้นที่เพิ่มเติมตามความละเอียดที่เพิ่มขึ้น

แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค ประมวลผลโดยใช้ขอบเขต (boundary) ของแบบจำลองภูมิอากาศโลก โดยแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคมีความละเอียดที่ตรงจบลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่เป็นตัวแปรท้องถิ่น (regional forcing) เช่น ภูเขา ทะเลสาบ ชายฝั่ง และการใช้พื้นที่ที่หลากหลาย นอกจากนี้แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคยังสามารถพัฒนาการจำลองสถานการณ์ที่รุนแรง เช่น ฝนตกหนัก พายุ ใต้ถื่นขึ้น ให้ข้อมูลด้านภูมิศาสตร์และกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพิกัดเล็กลง และสามารถนำไปใช้ในการศึกษาผลกระทบได้ชัดเจนขึ้น แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคส่วนใหญ่พัฒนาโดยสถาบันที่ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศโลกมาแล้ว โดยการใช้ข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นขอบเขต ภาคผนวก ข แสดงแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคที่ใช้กันแพร่หลายเป็นตัวอย่าง

1.5.2 เปรียบเทียบการย่อส่วนแบบต่างๆ

มีรายงานเปรียบเทียบการย่อส่วนผลลัพธ์จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกลงบนพื้นที่แสดงผลขนาดเล็ก ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น

Wilby *et al.* (1998) ทำการย่อส่วนฝนรายวันโดยใช้วิธีการย่อส่วน 6 แบบ พบว่า Artificial Neural Network (ANN) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดในการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนของสถานีตรวจวัด เนื่องจากไม่สามารถจำลองการเกิดฝนตก-ฝนแล้งได้ใกล้เคียงความจริง (อ้างจาก Haylock *et al.*, 2006)

Wilby *et al.* (2000) เปรียบเทียบปริมาณฝนรายวันในบริเวณ Animus River basin ใน Colorado โดยใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาจาก National Centers for Environmental Prediction (NCEP-reanalysis data) สหรัฐอเมริกา และพบว่าการย่อส่วนด้วยวิธีการทางสถิติ



โดยใช้ Linear regression ให้ผลใกล้เคียงกับการใช้แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค นอกจากนี้ Murphy (1999) พบว่า Linear regression Model และแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคให้ผลในการย่อส่วนใกล้เคียงกัน ในการย่อส่วนฝนรายวันและอุณหภูมิของสถานีอุตุนิยมวิทยา 976 แห่งในยุโรป นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Kidson and Thompson (1988) พบความใกล้เคียงกันของวิธีการทางสถิติที่ใช้ Regression technique และ แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค (พื้นที่ 50 กม²) ในการย่อส่วน ฝนรายวัน อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด ของสถานีตรวจวัดอากาศ 78 แห่งในนิวซีแลนด์

เป็นที่ยอมรับกันตั้งแต่ศตวรรษที่ 1990s เป็นต้นมาว่าการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนที่สุดของภูมิอากาศโลกเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก คือ ความรุนแรงของของภูมิอากาศ (Extreme) เช่น ฝนตกหนัก น้ำท่วม ภัยแล้ง เพิ่มขึ้น (Gordon *et al.* 1992) อ้างจาก Haylock *et al.* (2006) โดย Haylock ทำการย่อส่วน ฝนตกหนัก (heavy precipitation) ในสหราชอาณาจักร โดยใช้วิธีการทางสถิติ 6 แบบ และวิธีการทางพลวัต (dynamic downscaling) 2 แบบ โดยวิธีการทางสถิติเป็น regression based ทั้งหมดที่ใช้ large-scale GCM เป็น predictor และ station scale เป็น predictand ส่วนวิธีการทางพลวัตใช้แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค-HadRM3 ที่ฝังอยู่กับแบบจำลองภูมิอากาศโลก-HadAM3 ด้วยการเปรียบเทียบกับตัวชี้วัดทางฤดูกาล 7 อย่างที่สัมพันธ์กับการเกิดฝนตกหนักของสถานีอุตุนิยมวิทยา ผลของการศึกษาพบว่า ANN ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติแบบ regression ที่ใช้ non-linear transfer function สามารถคาดการณ์ความแปรปรวนในรอบปีของตัวแปรทั้งหมดได้ดีที่สุด แต่มีอคติทางลบอย่างมาก ทำให้คาดการณ์ความรุนแรงของภูมิอากาศได้ต่ำกว่าเหตุการณ์จริง ผลลัพธ์ของการย่อส่วนด้วยวิธีการต่างๆ มีมากเท่าๆ กับผลความแตกต่างที่เกิดจากภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (A2 & B2) ที่ต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคเพียงแบบเดียวเพื่อคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตมีความน่าเชื่อถือต่ำ ดังนั้นในการศึกษาหรือคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต ควรใช้วิธีการย่อส่วนหลายวิธี พร้อมทั้งแบบจำลองภูมิอากาศโลกหลายแบบ และภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หลายแบบ

การย่อส่วนด้วยวิธีพลวัตและวิธีทางสถิติมีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกัน การเปรียบเทียบแบบจำลองทั้งสองกลุ่ม สรุปได้ดังตารางที่ 1.1



ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของแบบจำลองพลวัตและสถิติ (Wilby and Dawson, 2004)

วิธีทางสถิติ	วิธีพลวัต
ข้อดี	
• การสังเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศในระดับสถานีตรวจอากาศจากข้อมูลภูมิอากาศซึ่งเป็นผลลัพธ์จาก GCM • ค่าใช้จ่ายต่ำ • การวิเคราะห์และรวมกลุ่ม (Ensemble) แบบจำลองภูมิอากาศ เพื่อวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของแบบจำลอง • สามารถประยุกต์ใช้กับตัวถูกทำนายที่ไม่ใช้ตัวแปรภูมิอากาศ เช่น คุณภาพอากาศ ความสูงของคลื่น เป็นต้น	• การสังเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศในระดับหน่วยแยกต่างขนาด 10 ถึง 50 กิโลเมตรจากข้อมูลภูมิอากาศซึ่งเป็นผลลัพธ์จาก GCM • ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอิทธิพลภายนอกในลักษณะความสัมพันธ์ทางกายภาพ • คำนวณกระบวนการบรรยากาศเมื่อภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เช่น การเกิดหยาดน้ำฟ้า • สัมพันธ์กับแบบจำลอง GCM
ข้อด้อย	
• ไม่เป็นอิสระจากความเป็นจริงของอิทธิพลของเงื่อนไขขอบของ GCM • การเลือกขนาดของโดเมนและสถานที่ตั้งจะส่งผลต่อผลลัพธ์ของแบบจำลอง • ต้องการข้อมูลซึ่งมีคุณภาพสำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลอง • ความสัมพันธ์ระหว่างตัวทำนายและตัวถูกทำนายมักไม่คงที่ • การเลือกตัวทำนายจะส่งผลต่อผลลัพธ์ของแบบจำลอง • การเลือกรูปแบบฟังก์ชันเอมพิริคัลของการถ่ายเทจะส่งผลต่อผลลัพธ์ของแบบจำลอง • ไม่สามารถแสดงความผันแปรของภูมิอากาศที่มีความถี่ของการเกิดต่ำ • ผลลัพธ์ที่ได้จะไม่ตอบสนองย้อนกลับสู่แบบจำลอง GCM	• ไม่เป็นอิสระจากความเป็นจริงของอิทธิพลของเงื่อนไขขอบของ GCM • การเลือกขนาดของโดเมนและสถานที่ตั้งจะส่งผลต่อผลลัพธ์ของแบบจำลอง • ต้องการทรัพยากรเพื่อตอบสนองการคำนวณ • ไม่มีการรวมกลุ่ม (ensemble) แบบจำลองภูมิอากาศ เพื่อวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของแบบจำลอง • การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นส่งผลต่อผลลัพธ์ของแบบจำลอง • การเลือกแบบแผนของเมฆ หรือการพาส่งผลต่อผลลัพธ์ (หยาดน้ำฟ้า) ของแบบจำลอง • ยังไม่สามารถถ่ายทอดไปสู่ภูมิภาคหรือโดเมนใหม่อื่นๆ • ผลลัพธ์ที่ได้จะไม่ตอบสนองย้อนกลับสู่แบบจำลอง GCM



1.6 สรุป

ที่ผ่านมาจนถึงช่วงต้นปี พ.ศ. 2551 ได้มีความพยายามในการใช้แบบจำลองต่างๆ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย สรุปได้ดังนี้

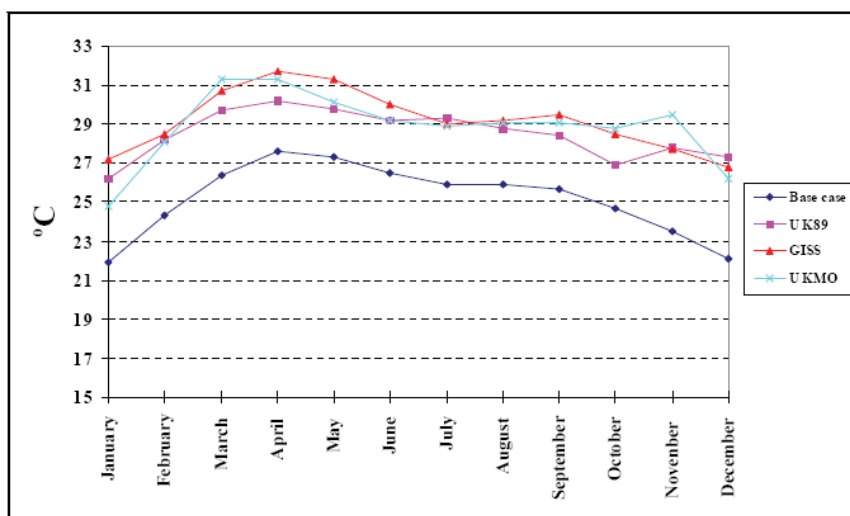
Boonpragob (1999) รายงานการสร้างภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตของประเทศไทยจากการเปรียบเทียบแบบจำลองภูมิอากาศโลก 6 แบบได้แก่ GISS (Hanson *et al.*, 1988), GFD3 (Manabe *et al.*, 1990), CCCM (Boer *et al.*, 1992), GF01 (Manabe *et al.*, 1990), UK89 (Mitchell *et al.*, 1989) และ UKMO (Wilson *et al.*, 1987) พบว่า ภาพจำลองภูมิอากาศพื้นฐาน (Baseline scenarios) ของแบบจำลองทั้งหกในภาวะปัจจุบันที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ 1 เท่า ($1 \times \text{CO}_2$) มีอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนรายเดือนแตกต่างกัน และแตกต่างจากข้อมูลภายในประเทศที่ได้จากบันทึกของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศในประเทศไทย 74 แห่งทั่วประเทศ ระหว่างปี 1951–1980 (พ.ศ. 2494–2523) รวมทั้งอุณหภูมิและน้ำฝนรายเดือนในภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ กลาง ตะวันตก และใต้ โดยข้อมูลพื้นฐานจากแบบจำลอง UK89 มีความเบี่ยงเบนจากข้อมูลภายในประเทศน้อยที่สุด และข้อมูลจาก UKMO และ GISS มีความใกล้เคียงรองลงมา จึงเลือกแบบจำลองทั้งสามนี้ในการสร้างภาพจำลองของอุณหภูมิและฝนรายเดือนของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเมื่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ($2 \times \text{CO}_2$) เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่และชนิดของป่าไม้

ตัวอย่างภาพจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต ($2 \times \text{CO}_2$) จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกทั้งสามคือ UK89, UKMO และ GISS ที่แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนและปริมาณน้ำฝนที่แตกต่างกันจากผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 1.2–1.3 และ รูปที่ 1.6–1.7



ตารางที่ 1.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของประเทศไทยในสภาพภูมิอากาศปัจจุบัน (Base case) ที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็น 1 เท่า ($1xCO_2$) และอนาคตเมื่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ($2xCO_2$) จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (GCMs) 3 แบบคือ UK89, GISS และ UKMO (Boonpragob, 1999)

Scenarios	Mean monthly temperature ($^{\circ}C$)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Avg
Base case	21.9	24.3	26.4	27.6	27.3	26.5	25.9	25.9	25.7	24.7	23.5	22.1	25.15
UK89	26.2	28.2	29.7	30.2	29.8	29.2	29.3	28.8	28.4	26.9	27.8	27.3	28.5
GISS	27.2	28.5	30.7	31.7	31.3	30	29	29.9	29.5	28.5	27.7	26.8	29.2
UKMO	24.8	28.1	31.3	31.3	30.1	29.1	28.9	29.1	29.1	28.8	29.5	26.2	28.9
Temperature differences from $1xCO_2$													
UK89	4.3	3.9	3.3	2.6	2.5	2.7	3.4	2.9	2.7	2.2	4.3	5.2	3.3
GISS	5.3	4.2	4.3	4.1	4	3.5	3.1	4	3.8	3.8	4.2	4.7	4.1
UKMO	2.9	3.8	4.9	3.7	2.8	2.6	3	3.2	3.4	4.1	6	4.1	3.7

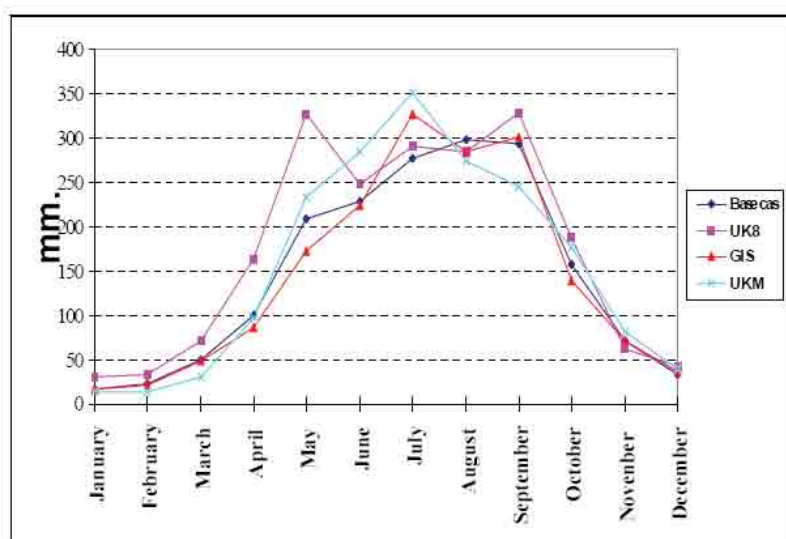


รูปที่ 1.6 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของประเทศไทยในปัจจุบัน (Base case) ที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็น 1 เท่า ($1xCO_2$) และอนาคตเมื่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ($2xCO_2$) จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (GCMs) 3 แบบคือ UK89, GISS และ UKMO (Boonpragob, 1999)



ตารางที่ 1.3 เปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนของประเทศไทยในสภาพภูมิอากาศปัจจุบัน (Base case) ที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็น 1 เท่า ($1xCO_2$) และอนาคตเมื่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ($2xCO_2$) จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (GCMs) 3 แบบคือ UK89, GISS and UKMO (Boonpragob, 1999)

Scenarios	Mean monthly precipitation (mm)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Avg.
$1xCO_2$	17	22	50	100	209	229	277	298	294	157	71	34	1758
UK89	31	33	71	163	327	248	291	285	329	188	62	42	2070
GISS	17	21	49	87	172	225	328	285	302	139	71	37	1733
UKMO	13	14	30	97	233	285	352	274	246	177	82	40	1843
Precipitation differences from $1xCO_2$													
UK89	14	11	21	63	118	19	14	-13	35	31	-9	8	312
GISS	0	-1	-1	-13	-37	-4	51	-13	8	-18	0	3	-25
UKMO	-4	-8	-20	-3	24	56	75	-24	-48	20	11	6	85



รูปที่ 1.7 เปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนของประเทศไทยในปัจจุบัน (Base case) ที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็น 1 เท่า ($1xCO_2$) และอนาคตเมื่อปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ($2xCO_2$) จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (GCMs) 3 แบบ คือ UK89, GISS and UKMO (Boonpragob, 1999)



ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาค เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้สร้างภาพจำลองสภาพภูมิอากาศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค คือ CCCM จากประเทศออสเตรเลีย ครอบคลุมพื้นที่ในลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่างโดยเฉพาะ ไทย ลาว เวียดนาม โดยพื้นที่จำลองมีขนาด 10 กม. ประกอบด้วยข้อมูลภูมิอากาศรายวันระยะเวลา 1 ทศวรรษ ที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ ต่างกัน คือ 360, 540 และ 720 ส่วนในล้านส่วน โดยความเข้มข้นแรกเป็นฐาน (baseline) ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำโขงมีแนวโน้มที่อุณหภูมิอากาศลดลงเล็กน้อย เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้น 540 ส่วนในล้านส่วน แต่จะร้อนขึ้นเล็กน้อยเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์มีความเข้มข้น 720 ส่วนในล้านส่วน ปริมาณน้ำฝนสูงขึ้นทั่วทั้งภูมิภาค ฤดูร้อนและความแห้งแล้งยาวนานขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ ในอนาคตส่วนอนุภูมิภาค เช่น ไทย ลาว มีแนวโน้มที่มีน้ำท่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่สูงขึ้น โดยรวมแล้วผลผลิตข้าวจะสูงขึ้น ยกเว้นในสามเหลี่ยมปากแม่น้ำโขง แต่โอกาสที่ผลผลิตพืชจะล้มเหลวมีเพิ่มขึ้นเนื่องจากความรุนแรงของภูมิอากาศ

สรุป

ข้อที่ควรระลึกในการสร้างภาพจำลองภูมิอากาศในอนาคต เพื่อใช้ในการศึกษาผลกระทบและการปรับตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ คือ

- ▶▶ ต้องตระหนักว่าภาพจำลองภูมิอากาศไม่ใช่การทำนายการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต
- ▶▶ การใช้ภาพจำลองภูมิอากาศในอนาคตอย่างเหมาะสม ช่วยให้เข้าใจความเป็นไปได้ของภูมิอากาศที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ความไม่แน่นอน (uncertainty) เกี่ยวกับภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และผลสืบเนื่องที่มีแนวโน้มว่าอาจเกิดขึ้นได้
- ▶▶ การใช้ภาพจำลองภูมิอากาศในอนาคตในการประมวลความอ่อนไหวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ภาพจำลองนั้นควรเป็นภาพกว้าง แสดงความเป็นจริงของเหตุการณ์ต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้
- ▶▶ การเตรียมการด้านการปรับตัว ต้องแสดงภาพกว้างของความเป็นไปได้ในสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้น ถ้าเลือกช่วงของความไม่แน่นอนแคบเกินไป อาจนำไปสู่การตัดสินใจที่ผิดพลาด



- ▶▶ ควรใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค และวิธีการหลายแบบ รวมทั้งภาพจำลองการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ภาพจำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก หลายแบบ





2

ภาพถ่ายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ของประเทศไทยจากผลของแบบจำลองภูมิอากาศ ภูมิภาค - PRECIS

ศุภกร ชินวรรณ¹, น.ท.วิริยะ เหลืองอร่าม ร.น.², เฉลิมรัฐ แสงมณี³, จุฑาทิพย์ ธนกิจดีเมธาวุฒิ⁴



^{1, 3, 4} ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาค
เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² แผนกพยากรณ์อากาศ กองอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา กองทัพเรือ

2.1 การจำลองสภาพภูมิอากาศความละเอียดสูง โดยแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค - PRECIS

การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ และใช้เวลานานกว่าที่จะสังเกตพบได้ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศนั้นมีความแปรปรวนอยู่แล้วตามธรรมชาติ ดังนั้นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศนั้นจึงต้องมองไปในอนาคตระยะยาว ซึ่งเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันนี้ยังไม่สามารถทำการพยากรณ์สภาพอากาศอนาคตระยะยาวได้ อีกทั้งพลวัตของภาคส่วนต่างๆ ก็ส่งผลให้เกิดความไม่แน่นอนได้มาก ดังนั้นแนวทางหนึ่งต่อการทำความเข้าใจต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว คือ การจัดทำภาพฉายอนาคต (scenario) ขึ้นเพื่อใช้อธิบายถึงภูมิอากาศอนาคตภายใต้เงื่อนไขและสมมติฐานบางประการ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการประเมินผลกระทบภายใต้สถานการณ์นั้นๆ ตลอดจนผลสืบเนื่องอื่นๆ จากการเปลี่ยนแปลงที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตภายใต้ข้อสมมุติเหล่านั้น ทั้งนี้ การทำภาพฉายอนาคตไม่ใช่การวิเคราะห์เพื่อทำนายอนาคต แต่เป็นการหาทางเลือกที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากแนวโน้มที่เห็นอยู่ในปัจจุบันและความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต ภาพฉายอนาคตอาจมีหลายภาพแต่จะต้องมีความเป็นไปได้ และมักเกิดขึ้นมาจากความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของตัวแปรหลายชนิดตามเวลาที่เปลี่ยนไป (Ringland, 2006)

แนวทางการจัดทำภาพฉายอนาคตของภูมิอากาศนั้น ในปัจจุบันมักใช้ผลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ซึ่งทำการคำนวณสภาพอากาศในพื้นที่ทั่วโลกที่น่าจะเป็นภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ซึ่งโดยพื้นฐานจะใช้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่อาจจะเปลี่ยนแปลงไปในอนาคตตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในทิศทางต่าง ๆ กัน ซึ่งผลของแบบจำลองภูมิอากาศโลกนั้น อาจนำมาใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นในการจัดทำภาพฉายอนาคตของภูมิอากาศในพื้นที่ระดับภูมิภาคหรือระดับประเทศที่มีรายละเอียดสูงขึ้น เพื่อให้สามารถใช้ในการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ซึ่งต้องการข้อมูลสภาพอากาศอนาคตที่มีความละเอียดสูง ทั้งในเชิงพื้นที่ (spatial resolution) และในเชิงเวลา (temporal resolution)



2.1.1 หลักการ

วิธีที่ใช้ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาวะทางภูมิอากาศในอนาคตที่ได้รับการยอมรับมากในปัจจุบัน ได้แก่ การใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก ซึ่งเป็นแบบจำลองที่รวมเอาผล กระทบของการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยมวิทยาของบรรยากาศและสมุทรศาสตร์ โดยแบบจำลองทางภูมิอากาศตัวแรกได้เกิดขึ้นที่ NOAA's Geophysical Fluid Dynamics Laboratory มหาวิทยาลัยพรินซ์ตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา ในช่วงปลายทศวรรษ 1960 และในปัจจุบันได้มีหลายหน่วยงานที่พัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศขึ้นมาโดยใช้พื้นฐานแนวคิดคล้ายๆ กัน เช่น HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model, Version 3) ที่ถูกพัฒนาขึ้นที่ The Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research ประเทศอังกฤษ โดยการรวมเอาแบบจำลองบรรยากาศ HadAM3 ซึ่งคำนวณที่ความละเอียดทุกๆ 2.5×3.75 องศา ในแนวละติจูดและลองจิจูดเข้ากับแบบจำลองสมุทรศาสตร์ HadOM3 ซึ่งคำนวณที่ความละเอียดทุกๆ 1.25×1.25 องศา ในแนวละติจูดและลองจิจูด โดยในการรวมแบบจำลองได้คำนึงถึงการถ่ายเทความร้อน ความชื้นและโมเมนตัมระหว่างพื้นผิวที่สัมผัสกันระหว่างบรรยากาศกับมหาสมุทร หรือแบบจำลองที่พิจารณาแต่ผลของการไหลเวียนของบรรยากาศเพียงอย่างเดียวอย่าง ECHAM4 ที่พัฒนามาจากแบบจำลอง European Centre for Medium Range Weather Forecast: ECMWF โดย Max Planck Institute for Meteorology และ German Climate Computing Centre ประเทศเยอรมนี

อย่างไรก็ดี แม้ว่าการใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลกจะเป็นวิธีที่ใช้ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตที่ได้รับการยอมรับมากก็ตาม แต่แบบจำลองโดยส่วนใหญ่ที่ดำเนินการในปัจจุบันมีความละเอียดต่ำ กล่าวคือ ทำการคำนวณเป็นตารางขนาดประมาณด้านละ $2-3^\circ$ (ประมาณ 200 – 300 กม.) เนื่องจากการคำนวณการคาดการณ์สภาพอากาศอนาคตระยะยาวนี้ใช้ทรัพยากรระบบคอมพิวเตอร์สูงมาก ดังนั้น ผลที่ได้จึงไม่สามารถใช้ในการอธิบายถึงลักษณะสภาพอากาศของภูมิภาคหรือประเทศขนาดเล็กที่มีพื้นที่ไม่มากนัก การที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของภูมิภาคใดภูมิภาคหนึ่งหรือประเทศใดประเทศหนึ่ง จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการในการคำนวณเพิ่มความละเอียดของผลที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก หรือเรียกว่ากระบวนการ “Downscale” ซึ่งมีหลายวิธีการ (รายละเอียดในบทที่ 1) แต่ในบทนี้เป็นการศึกษาวิธีการทางพลศาสตร์ โดยการใช้แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค ซึ่งเป็นการรวบรวมเอาความรู้ทางพลศาสตร์ฟิสิกส์ของบรรยากาศเพื่อจำลองสภาวะภูมิอากาศแบบเดียวกับที่ใช้ในแบบจำลองภูมิอากาศโลก แต่ทำการจำลองภูมิอากาศที่มีความละเอียดสูงในพื้นที่ขนาดจำกัด ซึ่งส่วนใหญ่นำไปใช้กับพื้นที่ขนาดประมาณ $5,000 \times 5,000$ ตารางกิโลเมตร ด้วยความละเอียดในทางราบประมาณ 25-50 กิโลเมตร โดยแบบจำลองนี้สร้างบนพื้นฐานของกระบวนการทางฟิสิกส์ของบรรยากาศที่มีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิประเทศ ซึ่งมีผล



ต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ อาทิ เมฆ การแผ่รังสี ฝน ระบบน้ำและดิน ซึ่งบางกระบวนการที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กกว่าขนาดของกริดที่ใช้ในการคำนวณจะถูกแก้ปัญหด้วยวิธีการที่เรียกว่า “Parameterization” โดยอาศัยความสัมพันธ์ทางด้านพื้นที่และเวลาเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ย่อยๆ ของการคำนวณนำไปสู่การไหลเวียนในพื้นที่ขนาดใหญ่ต่อไป การย่อส่วนด้วยวิธีนี้จะเป็นการคำนวณด้วยแบบจำลอง 2 ครั้ง ได้แก่ การคำนวณด้วยแบบจำลองภูมิอากาศโลกเพื่อให้ได้ผลเพื่อใช้ศึกษาในภาพกว้าง สร้างเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) และข้อมูลในบริเวณพื้นที่ขอบ (Boundary Conditions) ให้กับการคำนวณด้วยความละเอียดที่สูงขึ้นในพื้นที่เฉพาะที่จะศึกษาต่อไป (IPCC, 2007)

เมื่อแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคได้รับข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้นและข้อมูลพื้นที่ขอบจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก จะนำไปคำนวณใหม่อีกครั้งบนพื้นฐานทางกายภาพของพื้นที่ที่ต้องการศึกษา โดยมีรายละเอียดต่างๆ มากยิ่งขึ้น เช่น ลักษณะของเส้นขอบฟ้า ลักษณะทางภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์จากพื้นดิน ชนิดของวัสดุที่ปกคลุมดิน ฯลฯ ด้วยสมการและเงื่อนไขทางพลศาสตร์ฟิสิกส์เหมือนกับที่ใช้ในแบบจำลองภูมิอากาศโลก ข้อเสียของการย่อส่วนด้วยวิธีนี้ได้แก่ ความสิ้นเปลืองทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการคำนวณ ถ้าการคำนวณมีความละเอียดสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการคำนวณแต่ละครั้งจะยิ่งยาวนานขึ้น และความผิดพลาดที่สืบทอดมาจากผลการคำนวณในแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่มีตารางกริดของการคำนวณขนาดใหญ่ ทำให้แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคไม่สามารถแสดงถึงลักษณะเฉพาะของพื้นที่ในการคำนวณได้ดีเพียงพอ รวมถึงการคำนวณแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคแต่ละครั้งมีความต้องการข้อมูลตั้งต้นเป็นจำนวนมากจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ทำให้มีปัญหาในเรื่องของการจัดการฐานข้อมูลในระดับหนึ่งด้วย (Jones *et al*, 2004)

อย่างไรก็ดี แม้ว่าความพยายามที่จะทำความเข้าใจถึงสภาพอากาศอนาคตโดยการคำนวณเพิ่มรายละเอียดให้กับผลของแบบจำลองภูมิอากาศนั้นจะมีข้อจำกัดอยู่บ้างก็ตาม แต่ผลที่ได้ก็เพียงพอที่จะนำไปใช้ประกอบการศึกษาและวางแผนต่าง ๆ ในกระบวนการวางแผนที่อิงกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในอนาคตหลายๆ แนวทางได้ (Scenario-based planning)

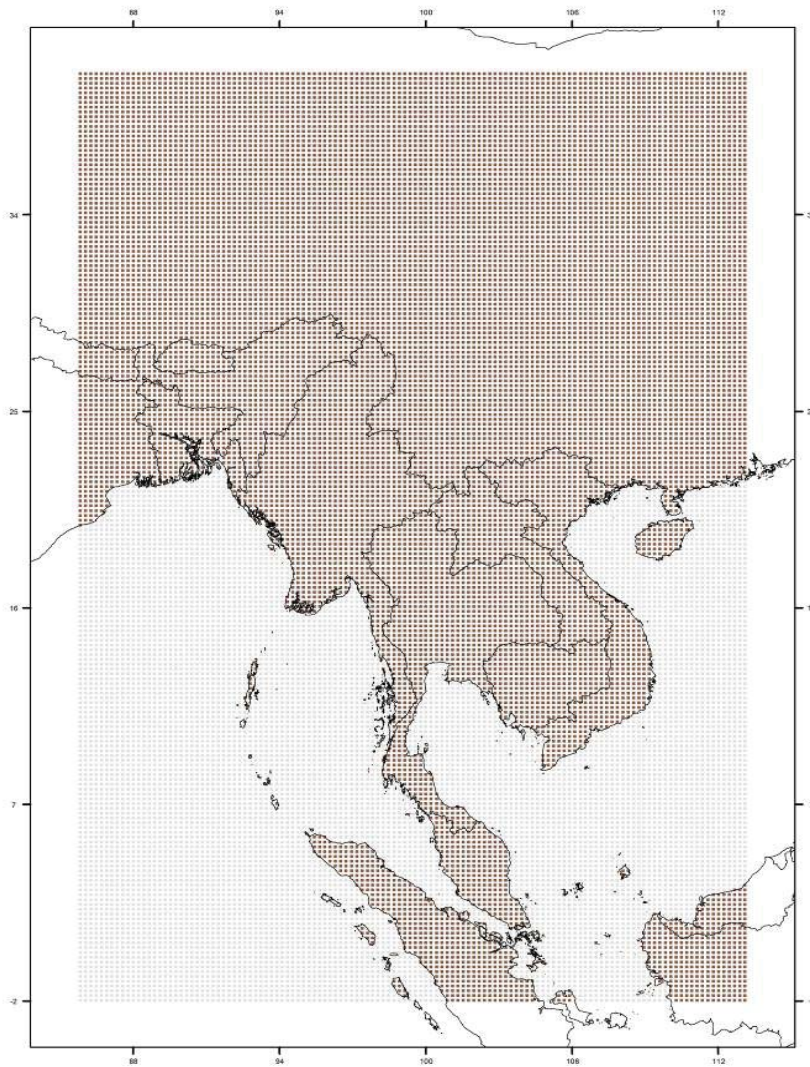
2.1.2 แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค - PRECIS

การจำลองสถานการณ์สภาพภูมิอากาศอนาคตในการศึกษานี้เป็นการจำลองสภาพอากาศที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ 0.22° หรือประมาณ 25 กิโลเมตร (รูปที่ 2.2) โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies) (<http://precis.metoffice.com/>) ซึ่งเป็นแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคที่พัฒนาขึ้นโดย The Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research ประเทศอังกฤษ โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้ได้กับทุกพื้นที่ทั่วโลกโดยคำนวณได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์



ส่วนบุคคลประสิทธิภาพสูงเพื่อตอบสนองความต้องการของประเทศต่างๆ ที่มีความประสงค์จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของภูมิภาคตัวเอง โดยมีพื้นฐานการพัฒนาจากแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาครุ่นที่ 3 ของ Hadley Centre โดยเน้นการพัฒนาไปที่ความสะดวกของการใช้งานและการแสดงผลแก่ผู้ใช้ (Simson *et al*, 2006)

รูปที่ 2.1 ขอบเขตพื้นที่ที่ทำการคำนวณการจำลองสภาพอากาศอนาคต



การจำลองบรรยากาศภายในแบบจำลองประกอบด้วย

1. พลศาสตร์ ประกอบด้วย การจำลองการไหลเวียนของบรรยากาศในทางอุตุนิยมวิทยาและเทอร์โมไดนามิกของบรรยากาศ รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นบริเวณผิวพื้น และการรบกวนการไหลเวียนของบรรยากาศเนื่องจากอิทธิพลของความสูงของพื้นที่
2. วัฏจักรของซัลเฟอร์ในบรรยากาศ พิจารณาการกระจายตัวและช่วงชีวิตของผงซัลเฟตในบรรยากาศ ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของความหนาแน่นและปริมาณการปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งจากธรรมชาติและมนุษย์
3. เมฆและหยาดน้ำฟ้า พิจารณาการเกิดเมฆก่อตัวทางตั้งและเมฆแผ่นขนาดใหญ่จากผลของหยาดน้ำฟ้ารวมถึงปริมาณรังสีที่บรรยากาศได้รับ
4. กระบวนการในการรับและแผ่รังสี ภายในแบบจำลองจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้น ความหนาแน่น คุณสมบัติของก๊าซในบรรยากาศ ความหนาแน่นของซัลเฟต ฝุ่นควันแขวนลอยในบรรยากาศ เมฆ การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณรังสีที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของปี
5. คุณสมบัติของพื้นดิน พิจารณาถึงการปกคลุมดินในแง่ผลกระทบต่อ การไหลเวียนของอากาศ การรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ หยาดน้ำฟ้า การปลดปล่อยพลังงานความร้อน และความชื้นกลับสู่บรรยากาศ การไหลบ่าของน้ำที่เกิดจากฝน อุณหภูมิตามความลึกของดิน ความสามารถในการรองรับและการดูดซับน้ำ

เงื่อนไขบริเวณขอบเขตของการคำนวณ แบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่

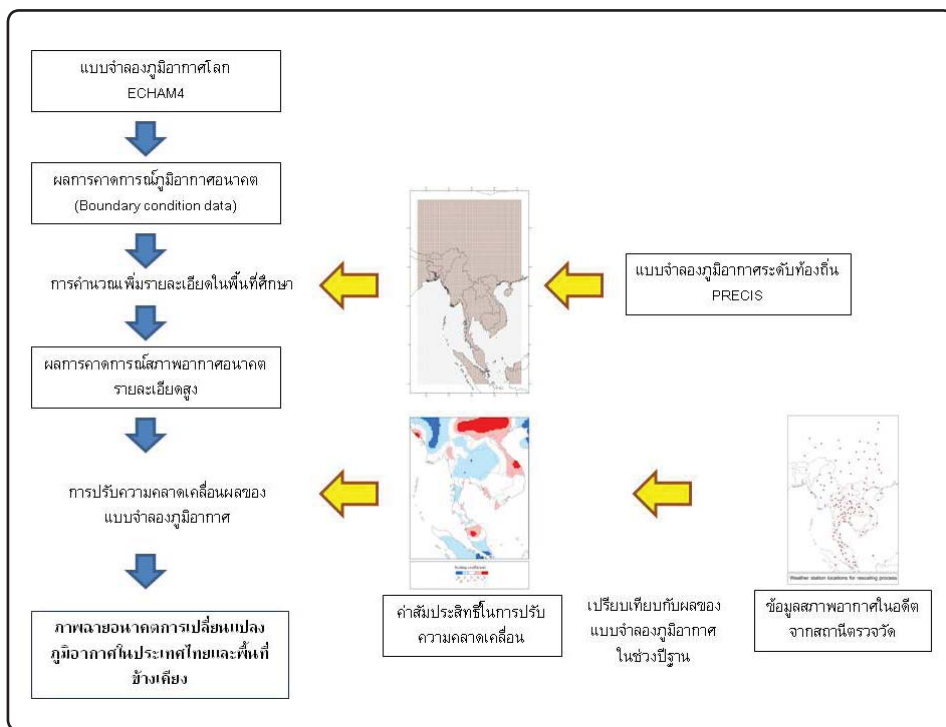
1. ขอบเขตบนพื้นผิวของการคำนวณ ต้องการข้อมูลนำเข้าเฉพาะในบริเวณที่ปกคลุมด้วยน้ำเท่านั้น โดยปัจจัยที่ต้องการได้แก่ อุณหภูมิบริเวณพื้นพื้นผิวและการปกคลุมของน้ำแข็งตลอดช่วงเวลาที่ทำกรคำนวณด้วยแบบจำลอง
2. ขอบเขตด้านข้างของการคำนวณ ต้องการข้อมูลทางพลศาสตร์ของบรรยากาศที่ขอบของการคำนวณประกอบด้วยข้อมูล ความกดอากาศที่ผิวพื้น ลม อุณหภูมิ ความชื้นและข้อมูลทางเคมีของบรรยากาศ สำหรับขอบเขตด้านบนของการคำนวณต้องการเพียงข้อมูลปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์เท่านั้น

2.1.3 การนำแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค - PRECIS มาใช้ประกอบการจัดทำภาพฉายอนาคตลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทย

การจัดทำภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยในการศึกษานี้จึงเป็นการจัดทำการศึกษาการคาดการณ์สภาพอากาศในประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงโดยใช้ผลของการจำลองสภาพอากาศอนาคตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก - ECHAM4 จาก Max Planck



Institute for Meteorology และ German Climate Computing Centre ประเทศเยอรมันนี้เป็นข้อมูลตั้งต้นและคำนวณเพิ่มรายละเอียดโดยแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค - PRECIS ในลักษณะตารางกริด (Grid) ขนาด 20x20 กิโลเมตร โดยคำนวณผลเป็นชุดข้อมูลรายวัน ตลอดช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 21 นี้ และใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดในอดีตเป็นตัวเทียบและปรับให้มีความสอดคล้องกัน โดยตั้งข้อสมมุติฐาน (Assumption) ว่า ผลจากแบบจำลองภูมิอากาศนั้นเป็นข้อมูลที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงสัมพัทธ์เมื่อเปรียบเทียบผลของแบบจำลองที่ทำการจำลองสภาพอากาศในอดีตและการจำลองสภาพอากาศในอนาคต โดยถือว่าการเปลี่ยนแปลงในอนาคตจะเป็นการเปลี่ยนแปลงไปจากภูมิอากาศที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน กรอบแนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กรอบแนวคิดและขั้นตอนการจัดทำภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยจากผลของแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค - PRECIS

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาและทดลองใช้แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค - PRECIS มาระยะหนึ่ง จึงได้พิจารณานำเอาแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ในการคาดหมายลักษณะภูมิอากาศในรอบ 100 ปีข้างหน้าของประเทศไทยโดยมีรายละเอียดของการทำงานดังนี้



1. กำหนดพื้นที่คำนวณระหว่างละติจูด 0 – 35 องศาเหนือ ลองจิจูด 90-112 องศาตะวันออก ด้วยความละเอียดของการคำนวณทุกๆ 0.22x0.22 องศา หรือประมาณ 25x25 กม./หนึ่งพื้นที่คำนวณ

2. กำหนดช่วงเวลาในการคำนวณ แบ่งช่วงเวลาของการคำนวณตั้งแต่ ปี ค.ศ.1960 – 1989 และ ค.ศ.2010 – 2100 ออกเป็นช่วงๆ ละ 10 ปี โดยแต่ละช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ กำหนดให้แบบจำลองเริ่มทำการคำนวณก่อนเวลาที่จะนำไปใช้ 2 ปี เพื่อให้แบบจำลองได้เข้าสู่ภาวะสมดุลของข้อมูลเริ่มต้นและขอบเขตที่ได้รับจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ก่อนที่จะถึงช่วงเวลาที่จะใช้ผลการคำนวณ ทั้งนี้การที่แบ่งการคำนวณออกเป็นช่วงๆ เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาที่ใช้ทำการคำนวณ

3. รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิอากาศในอนาคต เลือกใช้ชุดข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก - ECHAM4 ในรูปแบบของการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบ A2 และ B2 โดยที่ทาง Hadley Center ผู้พัฒนา software PRECIS ได้จัดเตรียมชุดข้อมูลดังกล่าวในรูปแบบที่ software PRECIS สามารถใช้งานได้มาพร้อมแล้ว

4. การกำหนดรูปแบบของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณเพื่อการเผยแพร่ ในเบื้องต้นกำหนดไว้ 2 รูปแบบดังนี้ คือ

- ผลการคำนวณในลักษณะของ Text files ซึ่งให้ผลการคำนวณในทุกจุดที่พื้นที่คำนวณ โดยจัดทำเป็นชุดข้อมูลแบบรายวัน ประกอบด้วยตัวแปรทางอุณหภูมิลึกๆ ซึ่งครอบคลุมถึง ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ทิศทางและความเร็วลม ปริมาณรังสีคลื่นสั้น/หน่วยพื้นที่ที่ตกกระทบผิวพื้น อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง PRECIS นี้ยังประกอบด้วยตัวแปรอีกหลายตัวแปร ซึ่งสามารถทำการเผยแพร่เพิ่มเติมในภายหลังเมื่อมีความต้องการใช้งานจากด้านผู้ใช้
- การสรุปผลการคำนวณในลักษณะของ GIS ซึ่งในเบื้องต้นนี้ทำเฉพาะบางตัวแปรเท่านั้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทยโดยสังเขป

นอกจากนี้ในส่วนของผลที่ได้จาก PRECIS ซึ่งเป็นรูปแบบเฉพาะของแบบจำลองทั้งในส่วนในรูปแบบของการจัดเก็บข้อมูล รูปแบบของพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณรวมถึงหน่วยของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ ซึ่งในเบื้องต้นได้พิจารณาแล้วเห็นว่ายังไม่มีมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงหรือเผยแพร่ได้โดยตรง จึงได้มีการปรับรูปแบบของผลลัพธ์จากแบบจำลองดังนี้

❖ ตัดขอบของพื้นที่การคำนวณ เนื่องจากข้อจำกัดของทุกแบบจำลองจะอยู่ที่ความผิดพลาดบริเวณพื้นที่ขอบของการคำนวณที่เรียกกันว่า Boundary Error ดังนั้นเมื่อแบบจำลองได้คำนวณเสร็จจึงได้ตัดบริเวณขอบของการคำนวณออก 2 กริด หรือ 0.44 องศา หรือประมาณ 50 กม.



❖ เนื่องจากในแบบจำลองมีการกำหนดแผนที่ด้วยวิธี Polar Projection ซึ่งมองว่าเส้นลองจิจูดทุกเส้นไปบรรจบกันบริเวณขั้วโลก ทำให้ระยะห่างระหว่างเส้นลองจิจูดที่ละติจูดต่างกันจะไม่เท่ากัน โดยที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรนั้นระยะห่างระหว่างเส้นลองจิจูดแต่ละเส้นจะมากที่สุดและค่อยๆ แคลงไปจนถึงขั้วโลกทั้ง 2 ด้าน แต่การกำหนดจุดของการคำนวณในแบบจำลองเป็นแบบขนาดของแต่ละกริดคงที่ เมื่อเลือกจำนวนกริดของการคำนวณในแนวตะวันออก-ตะวันตก แล้วจะทำให้จำนวนลองจิจูดที่ปรากฏในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรมีน้อยกว่าจำนวนลองจิจูดในบริเวณที่ละติจูดที่สูงกว่า ซึ่งหากนำผลดังกล่าวมาแสดงโดยตรงอาจจะสร้างความลำบากให้กับผู้ใช้ที่ไม่คุ้นเคย รวมถึงแบบจำลองอื่นๆ ที่มีรูปแบบของการกำหนดแผนที่แบบ Mercator ที่ให้ระยะห่างของลองจิจูดเท่ากันทั่วโลกแบบแผนที่ที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไป โดยวิธีการในการคลี่แผนที่จาก Polar Projection เป็น Mercator Projection นั้นใช้ software ที่มีอยู่ในส่วนประกอบของ PRECIS เอง โดย software ดังกล่าวจะทำการ Interpolate ผลที่ได้จากการคำนวณ ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันในตัวแปรแต่ละชนิด (รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถอ่านได้ที่ UM documentation: The full scientific and technical manual of the unified model) ผลที่ได้จากการคลี่แผนที่นี้ ได้แก่ การปรับพื้นที่ซึ่งเป็นผลของการคำนวณ ให้อยู่ในตำแหน่งละติจูด และลองจิจูดตามระบบ Mercator รวมทั้งทำให้ความละเอียดของการคำนวณถูกปรับลงมาอยู่ที่ 0.20 องศาหรือประมาณ 20 กิโลเมตร

❖ การเปลี่ยนรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลจากแบบฐาน 2 ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดเก็บที่ทำให้สามารถเก็บข้อมูลจำนวนมากให้อยู่ในแฟ้มข้อมูลขนาดเล็กได้ แต่มีข้อเสียคือ binary file นี้อยู่ใน format ที่ไม่เป็นที่คุ้นเคยของกลุ่มผู้ใช้จึงได้จัดทำเป็นแฟ้มข้อมูลแบบ ASCII หรือ text file ที่แม้ว่าจะมีขนาดของแฟ้มข้อมูลใหญ่กว่า แต่ทำให้มีความสะดวกต่อการนำไปใช้ของผู้ใช้ทั่วไปมากยิ่งขึ้นด้วย โดยให้รูปแบบของการจัดเก็บข้อมูลเป็นลักษณะตาราง โดยในแต่ละแถวจะเป็นข้อมูลรายวันของตัวแปรที่กำหนดของแต่ละกริดที่ได้จากแบบจำลอง โดย 1 แฟ้มข้อมูลจะเป็นข้อมูลรายวันของ 1 ตัวแปรทั้งพื้นที่ที่คำนวณ/ 1 ปี

❖ การเปลี่ยนหน่วยที่ได้จากผลการคำนวณ เนื่องจากแบบจำลองได้ถูกออกแบบมาให้ตัวแปรต่างๆ ใช้หน่วยเป็นมาตรฐานเดียวกันเพื่อสะดวกในการคำนวณแต่อาจจะไม่เป็นที่คุ้นเคยต่อผู้ใช้จึงได้มีการคำนวณเพื่อเปลี่ยนหน่วยในตัวแปรต่างๆ โดยเฉพาะตัวแปรที่มีที่ใช้งานโดยทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1

❖ หาค่าอื่นๆ ที่คาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 2.2



ตารางที่ 2.1 การเปลี่ยนหน่วยที่ได้จากผลการคำนวณ

ตัวแปร	หน่วยจาก PRECIS	สมการ	หน่วยที่ได้
อุณหภูมิ (T)	เคลวิน (k)	$T_{(c)} = T_{(k)} - 273.15$	เซลเซียส (c)
ปริมาณน้ำฝน (P)	กิโลกรัม/ตร.ม.วินาที ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	$P(\text{mm}) = P (\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}) * 86555.1847911$	มม.(mm)
ทิศทางลม (W_{dir})	Wind U,V component	$W_{\text{dir}} = 2\pi \text{ArcTAN}(U/V) * 360$	องศาจากทิศเหนือ
ความเร็วลม (W_{speed})	Wind U,V component	$W_{\text{speed}} = \text{SQRT}(U^2+V^2)$	เมตร/วินาที (m/s)

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลอื่นๆ ที่วิเคราะห์เพิ่มเติม

ข้อมูล	เกณฑ์	หน่วย
จำนวนวันฝนตก	มีปริมาณน้ำฝน/วัน มากกว่า 3 มม.	วัน
จำนวนวันอากาศร้อน	มีอุณหภูมิสูงสุดของวันสูงกว่าหรือเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส	วัน
จำนวนวันอากาศเย็น	มีอุณหภูมิต่ำสุดของวันต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส	วัน

2.2 การเปรียบเทียบผลจากการจำลองภูมิอากาศกับผลการตรวจวัดจริงและการจัดทำค่าสัมประสิทธิ์เพื่อใช้ปรับความคลาดเคลื่อน

เนื่องจากการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตบนพื้นฐานของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศนั้นมีข้อจำกัดที่มักเกิดความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากข้อจำกัดของแบบจำลองหลายประการ ดังนั้นการทดสอบความถูกต้องของผลการคำนวณจากแบบจำลองจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญ โดยใช้ผลที่ได้จากแบบจำลองในช่วงปี ค.ศ.1980-1989 ซึ่งกำหนดเป็นปีฐานสำหรับการศึกษาและทำการเปรียบเทียบจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดโดยสถานีตรวจอากาศ โดยการเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพภูมิอากาศกับผลการตรวจวัดนี้ เป็นการแสดงผลการเปรียบเทียบเป็นบางจุดที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกับสถานีตรวจอากาศของประเทศไทยในช่วงเวลาเดียวกัน โดยมีหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกตำแหน่งที่อ่านข้อมูลจากแบบจำลองและสถานีตรวจอากาศที่จะนำมาใช้เปรียบเทียบ ดังนี้



1. เลือกสถานีให้มีการกระจายตำแหน่งที่ตั้งอยู่ทั่วประเทศให้สามารถเป็นตัวแทนของพื้นที่ในแต่ละภาคทางอุตุนิยมวิทยาได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน-ตอนล่าง และภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน ซึ่งตามหลักเกณฑ์ดังกล่าวทำให้สามารถเลือกได้ 24 สถานี ดังนี้

ภาคเหนือ - เชียงราย แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ น่าน อุตรดิตถ์

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ - อุตรธานี นครพนม ขอนแก่น อุบลราชธานี
นครราชสีมา

ภาคกลาง - นครสวรรค์ กำแพงเพชร ลพบุรี กรุงเทพฯ

ภาคตะวันออก - ชลบุรี ระยอง ตราด

ภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน - หัวหิน ชุมพร

ภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนล่าง - นครศรีธรรมราช ปัตตานี

ภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน - ระนอง ภูเก็ต สตูล

2. เลือกตำแหน่งที่อ่านข้อมูลจากแบบจำลอง เนื่องจากการจำลองเชิงตัวเลขจะแบ่งพื้นที่คำนวณเป็นตารางกริดขนาดเล็ก จำนวนมากเรียงต่อกัน โดยแต่ละกริดจะเป็นตัวแทนของพื้นที่ซึ่งจะมีขนาดเท่ากับ 0.2×0.2 องศา หรือประมาณ 20×20 กม. การเลือกกริดที่จะนำมาใช้เปรียบเทียบกับผลการตรวจอากาศในเบื้องต้นจะเลือกจากกริดที่อยู่ใกล้สถานีตรวจอากาศมากที่สุด แต่ในกรณีที่เป็นการตรวจอากาศชายฝั่งแล้วกริดที่อยู่ใกล้ที่สุดในทะเลจะพิจารณาเลือกกริดที่ใกล้ที่สุดซึ่งอยู่บนแผ่นดิน เนื่องจากในทางอุตุนิยมวิทยาความแตกต่างระหว่างทะเลและแผ่นดินมีผลเป็นอย่างมากต่อตัวแปรต่างๆ

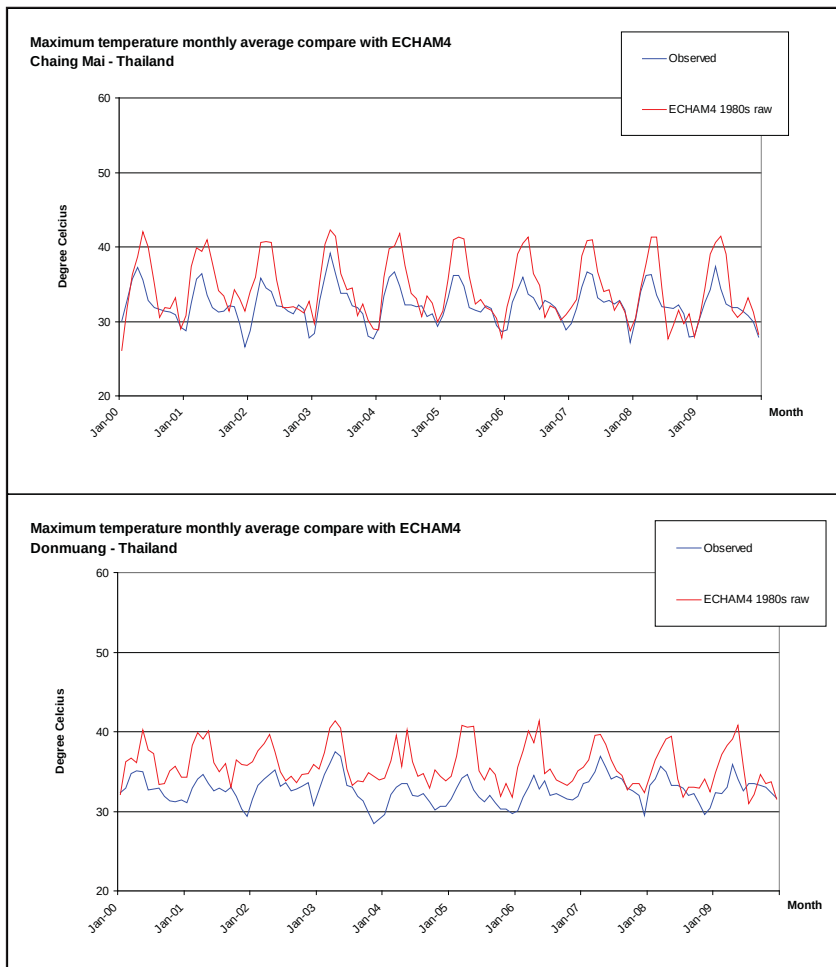
ทั้งนี้ การเปรียบเทียบได้ใช้ข้อมูล 3 ชนิด คือใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือน ที่ได้จากข้อมูลตรวจอากาศทำการเปรียบเทียบกับผลสรุปของการคำนวณรายวันโดยแบบจำลอง และได้นำมาเปรียบเทียบโดยใช้กราฟเส้นแบบจุดต่อจุด ดังแสดงเป็นตัวอย่าง ดังนี้

2.2.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุด

ผลการคำนวณจากแบบจำลองสามารถแสดงสอดคล้องของลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเชิงฤดูกาลได้เป็นอย่างดี ทั้งในช่วงที่ร้อนที่สุดและเย็นที่สุดของปี ดังแสดงในรูปที่ 2.3-2.4 เส้นสีแดงเป็นผลที่ได้จากแบบจำลอง ส่วนเส้นสีน้ำเงินเป็นผลจากการตรวจวัดที่สถานีอุตุนิยมวิทยา อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากแบบจำลองยังมีความคลาดเคลื่อนซึ่งแยกตามลักษณะพื้นที่ คือ สถานีตรวจวัดในแผ่นดินโดยผลที่ได้ส่วนใหญ่แสดงค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าผล

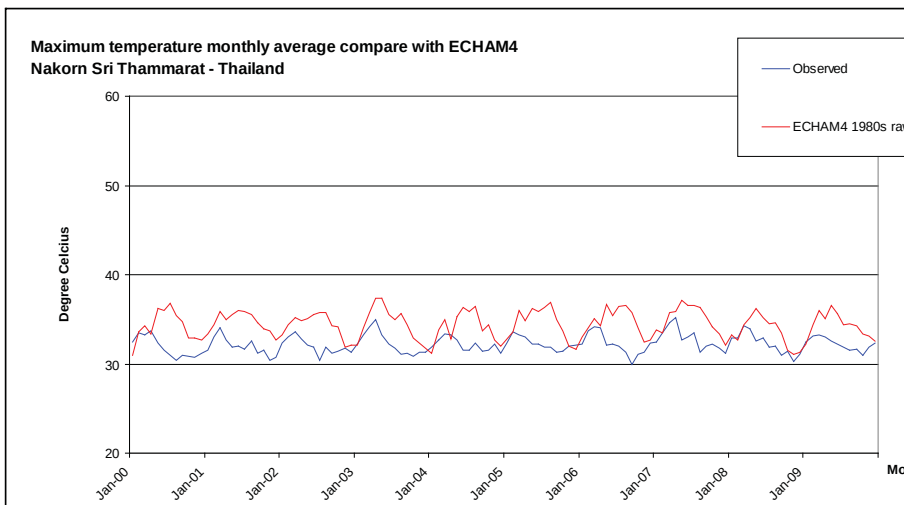
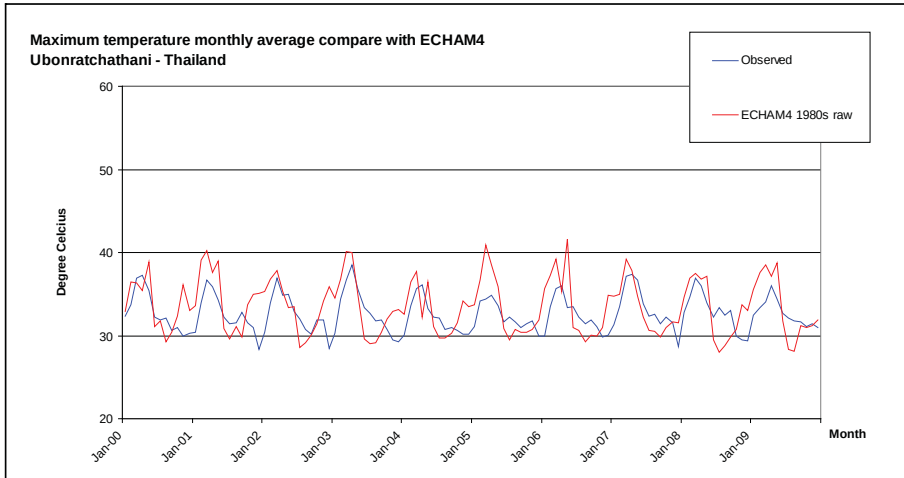


การตรวจวัดในหลายสถานี และสถานีตรวจวัดชายฝั่งทะเลที่จะความคลาดเคลื่อนในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือในบางสถานีกลับพบรูปแบบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากแบบจำลองที่แตกต่างจากผลการตรวจวัด เช่น ภูเก็ต และนครศรีธรรมราช เป็นต้น เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบโดยส่วนใหญ่แบบจำลองให้ผลการคำนวณค่าอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าความเป็นจริงอยู่ประมาณ 4-6 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.3 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนในช่วงทศวรรษ 1980s ระหว่างผลการคำนวณโดยแบบจำลอง PRECIS (ECHAM4 1980s raw) และผลการตรวจวัด (Observed) ในจังหวัดเชียงใหม่และกรุงเทพฯ





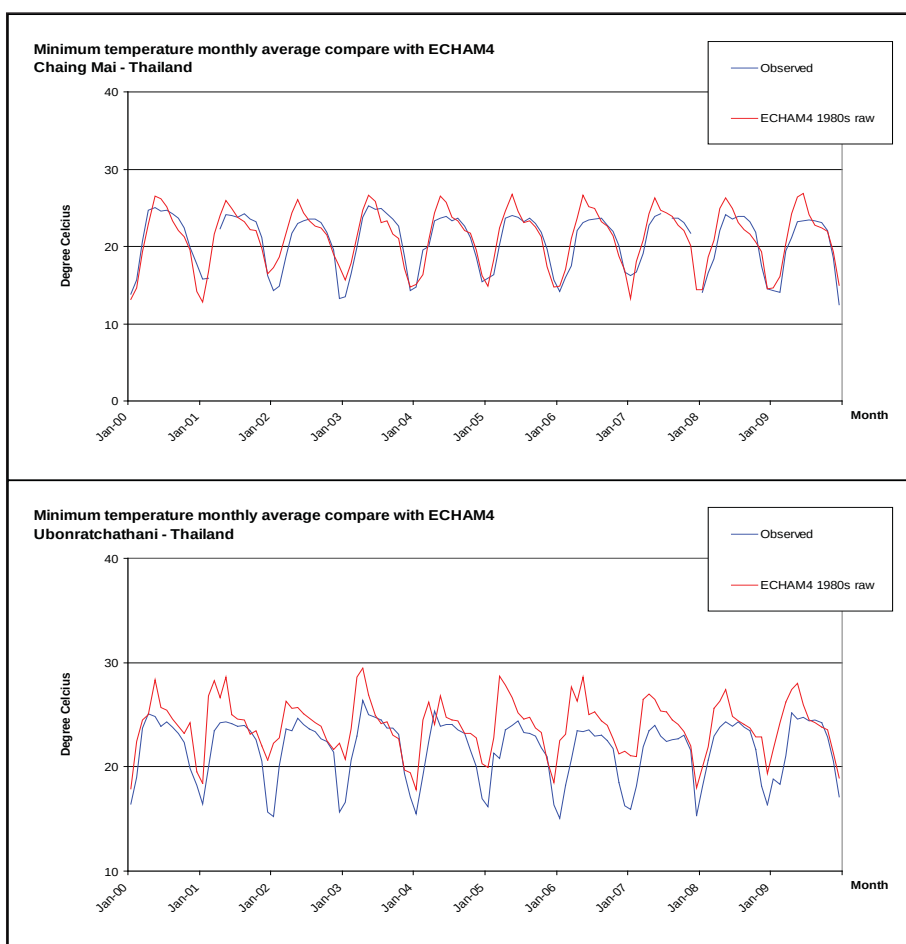
รูปที่ 2.4 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนในช่วงทศวรรษ 1980s ระหว่างผลการคำนวณโดยแบบจำลอง PRECIS และผลการตรวจวัด ในจังหวัดอุบลราชธานีและนครศรีธรรมราช

2.2.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิต่ำสุด

ผลการคำนวณจากแบบจำลองสามารถแสดงความสอดคล้องของลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามฤดูกาลได้เป็นอย่างดี ทั้งในช่วงเวลาในการเกิดช่วงที่ร้อนที่สุดและเย็นที่สุดของปี ข้อมูลที่ได้จากการตรวจอากาศ ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ ของปีประมาณ 1-2 เดือน เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบโดยส่วนใหญ่แล้วพบว่าแบบจำลอง



ให้ค่าอุณหภูมิต่ำสุดสูงกว่าค่าจริงประมาณ 1 – 2 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.5 กราฟเส้นสีแดงเป็นผลที่ได้จากแบบจำลอง ส่วนเส้นสีน้ำเงินคือผลการตรวจอากาศที่เกิดขึ้นจริง



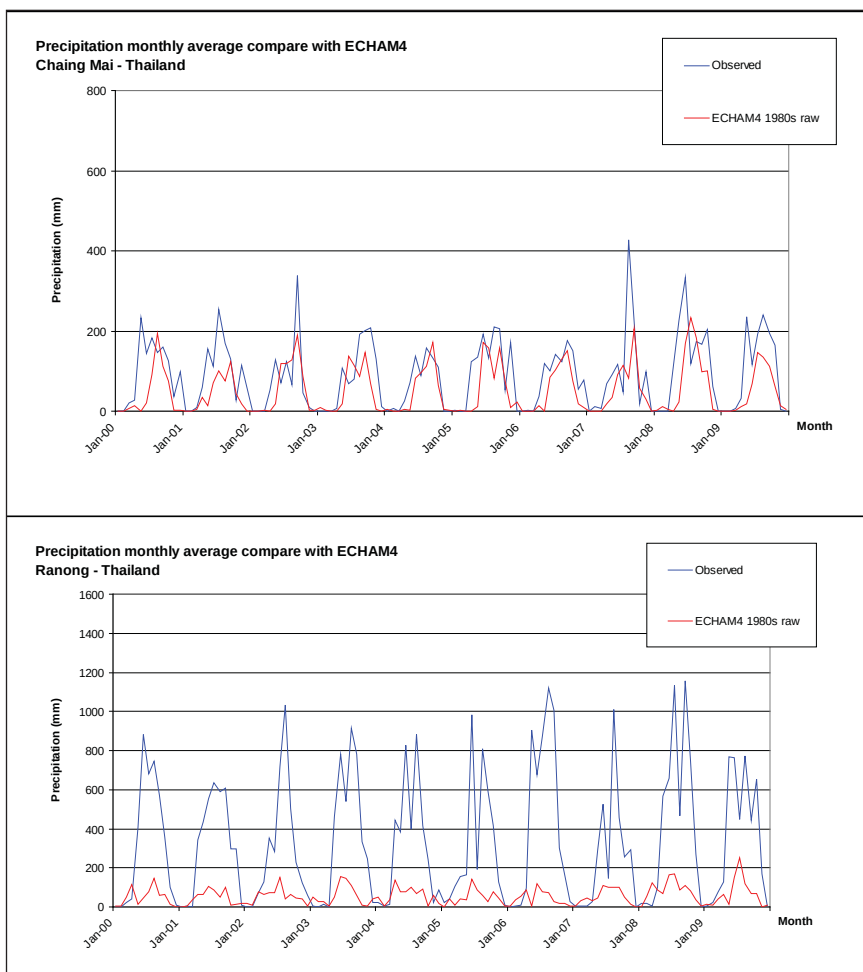
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนในช่วงทศวรรษ 1980s ระหว่างผลการคำนวณโดยแบบจำลอง PRECIS และผลการตรวจวัดในจังหวัดเชียงใหม่และอุบลราชธานี

2.2.3 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝน

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าตรวจวัดและค่าจากแบบจำลองพบว่าแบบจำลองจะแสดงปริมาณฝนที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลได้อย่างชัดเจนโดยแบ่งเป็นช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งในแต่ละปี แต่กลับพบความคลาดเคลื่อนในสองลักษณะ คือ ช่วงเวลาการเกิดฝนและช่วงเดือนที่



เริ่มปรากฏฝนที่คลาดเคลื่อนในบางสถานีรวมทั้งความคลาดเคลื่อนอาจปรากฏเป็นบางปี และความคลาดเคลื่อนของรูปแบบปริมาณฝนตามฤดูกาลซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการตรวจวัดในบริเวณพื้นที่ที่อยู่ติดชายฝั่งทะเลและคาบสมุทรบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนสะสมรายเดือนในช่วงทศวรรษ 1980s ระหว่างผลการคำนวณโดยแบบจำลอง PRECIS และผลการตรวจวัด



2.3 การจัดทำภาพฉายภูมิอากาศอนาคตโดยการปรับความคลาดเคลื่อนของผลจากแบบจำลองภูมิอากาศ

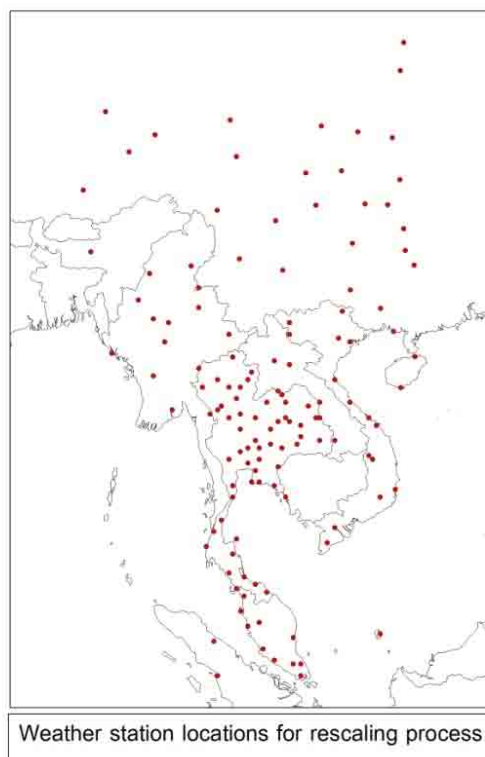
จะเห็นได้จากผลการเปรียบเทียบข้างต้นว่า ผลที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศยังไม่สามารถนำมาใช้อธิบายลักษณะสภาพอากาศได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งมีข้อจำกัดหากจะนำผลจากแบบจำลองไปใช้ต่อเนื่องสำหรับงานวิจัยอื่นๆ โดยตรง การปรับความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้จากแบบจำลอง (rescaling) เพื่อให้ได้ภาพฉายอนาคตที่สอดคล้องกับสภาพอากาศที่เคยเกิดขึ้นจริง ภายใต้ข้อสมมุติฐานโดยคณะผู้วิจัย มีดังนี้คือ

- ผลจากแบบจำลองภูมิอากาศนั้นเป็นข้อมูลที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงสัมพัทธ์
- การเปลี่ยนแปลงในอนาคตจะเป็นการเปลี่ยนแปลงไปจากภูมิอากาศที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

ทั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการปรับความคลาดเคลื่อนนี้กับชุดข้อมูลตัวแปรทางอุตุนิยมเพียง 3 ตัวแปรที่เห็นว่าจะมีความสมบูรณ์ของข้อมูลตรวจวัดเพียงพอต่อการดำเนินการ อีกทั้งเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการต่อยอดไปสู่งานวิจัยขั้นอื่นๆ คือ ข้อมูลฝนรายวัน ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด และข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด โดยในการปรับความคลาดเคลื่อนของข้อมูล คณะผู้วิจัยพิจารณาเลือกข้อมูลรายสถานีตรวจวัดจำนวน 130 สถานี* จากประเทศต่าง ๆ ที่ครอบคลุมพื้นที่คำนวณในการศึกษานี้ ดังนี้ ประเทศจีน จำนวน 31 สถานี ประเทศอินเดีย จำนวน 1 สถานี ประเทศไทย จำนวน 56 สถานี ประเทศเวียดนาม จำนวน 15 สถานี ประเทศพม่า จำนวน 9 สถานี ประเทศลาว จำนวน 5 สถานี ประเทศมาเลเซีย จำนวน 16 สถานี ประเทศอินโดนีเซีย จำนวน 3 สถานี โดยมีตำแหน่งสถานี ดังรูปที่ 2.7

*ที่มา National Climatic Data Center (<http://www.ncdc.noaa.gov>) , Meteorological and Geophysical Agency, Indonesia, Department of Meteorology and Hydrology, Laos PDR, Malaysian Meteorological Department, Malaysia, Department of Meteorology & Hydrology, Myanmar, Thailand Meteorology Department, Institute of Meteorology, Hydrology and Environment, Vietnam,





รูปที่ 2.7 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดที่ใช้ข้อมูลในการปรับความคลาดเคลื่อนของผลจากแบบจำลองภูมิอากาศ

2.3.1 การปรับความคลาดเคลื่อนของข้อมูลฝนรายวัน

เมื่อพิจารณาในภาพรวมของพื้นที่จากสถานีตรวจวัดทั้งหมด 130 สถานีแล้ว พบว่าการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยช่วงทศวรรษในปี่ฐาน (1980s) จากข้อมูลตรวจวัดกับผลจากแบบจำลอง พบว่าโดยส่วนใหญ่ความคลาดเคลื่อนจะไปในแนวทางเดียวกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งจากการเปรียบเทียบปริมาณฝนรวมรายปีเฉลี่ยจากแบบจำลองน้อยกว่าผลการตรวจวัดเกือบทุกสถานีในอัตราที่ไม่เท่ากัน ยกเว้นสถานีในประเทศพม่า จากเหตุผลนี้ นำไปสู่การปรับความคลาดเคลื่อนโดยการปรับเพิ่มหรือลดผลที่ได้จากแบบจำลองด้วยค่าสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างกันในแต่ละกริด โดยค่าสัมประสิทธิ์นั้นเป็นผลมาจากการคำนวณอัตราส่วนระหว่างปริมาณฝนรวมรายปีเฉลี่ยรายทศวรรษจากการตรวจวัด กับผลจากแบบจำลอง ตามสมการ (2.1)

$$k_i = \frac{\overline{P_{simulated}}}{\overline{P_{Observed}}} \quad (2.1)$$

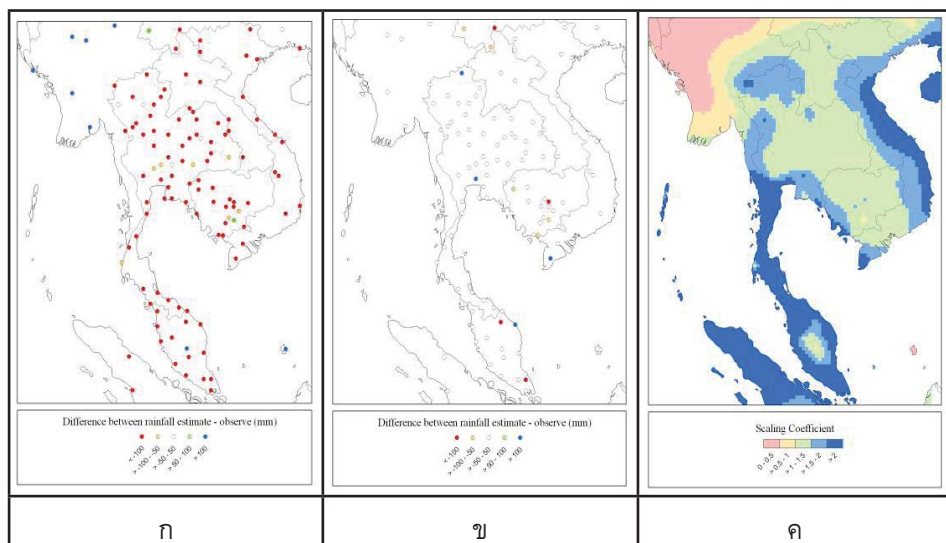
k_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปรับลดความคลาดเคลื่อน และ $\bar{P}$ คือ ปริมาณฝนรวมรายปีเฉลี่ยรายทศวรรษที่กริด i

โดยค่าสัมประสิทธิ์รายสถานีที่ได้นี้จะนำมา Interpolate เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์รายกริดทั้งหมดซึ่งเป็นผลจากแบบจำลองด้วยโปรแกรม Surfer v.8 หลังจากได้ค่าสัมประสิทธิ์รายกริดแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์นี้จะถูกนำไปคูณกับปริมาณฝนรายวันจากแบบจำลองที่กริดเดียวกันตามสมการ (2) เพื่อให้ได้ข้อมูลปริมาณฝนรายวันที่ผ่านการปรับลดความคลาดเคลื่อนแล้ว

$$P_i' = k_i \cdot P_i \quad (2.2)$$

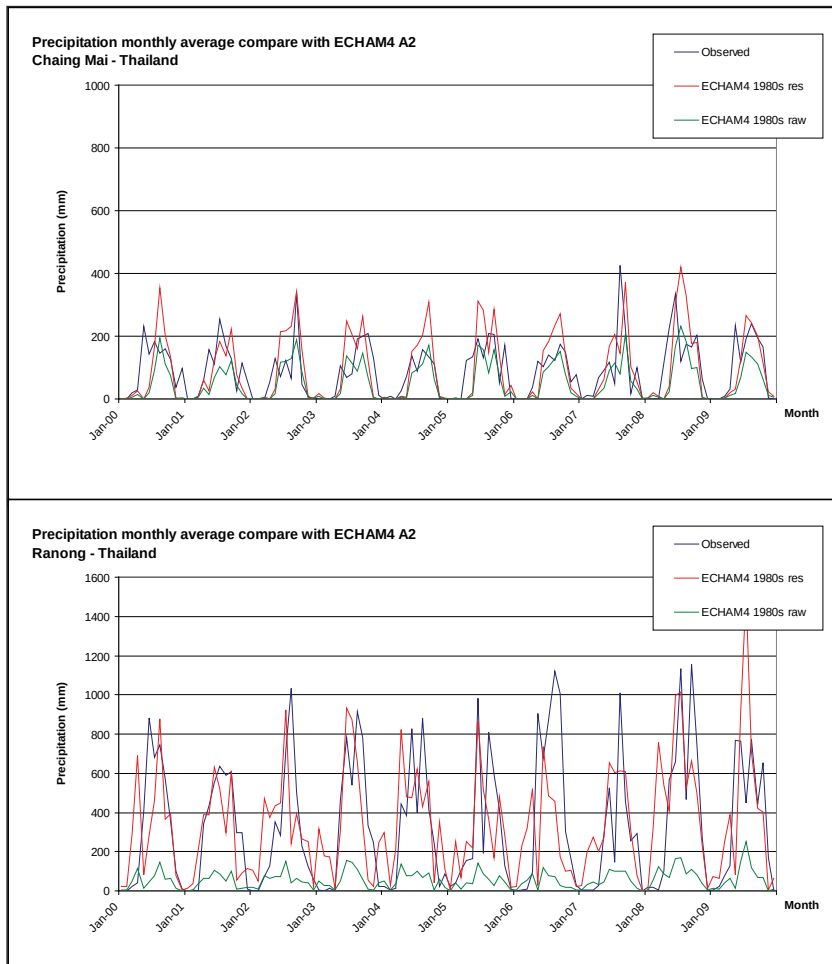
P_i' คือ ปริมาณฝนรายวันหลังปรับลดความคลาดเคลื่อน และ P_i คือ ปริมาณฝนรายวันก่อนปรับลดความคลาดเคลื่อนที่ กริด i

ทั้งนี้การเปรียบเทียบผลที่ได้หลังการปรับความคลาดเคลื่อน แสดงผลที่น่าสนใจ โดยผลที่ได้เกือบทุกสถานีแสดงค่าความแตกต่างของปริมาณฝนรวมรายปีเฉลี่ยรายทศวรรษไม่เกิน 100 มิลลิเมตร (รูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 ความแตกต่างระหว่างปริมาณฝนรวมรายปีเฉลี่ยรายทศวรรษในฐานเปรียบเทียบระหว่างผลจากแบบจำลองและผลการตรวจวัด (ก.) ก่อนปรับลดความคลาดเคลื่อน และ (ข.) หลังปรับลดความคลาดเคลื่อน และ (ค.) ผลการ Interpolate ค่าสัมประสิทธิ์การปรับความคลาดเคลื่อนรายสถานี

ภายหลังการปรับความคลาดเคลื่อนแล้วผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลของการตรวจวัดมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เปรียบเทียบผลระหว่างผลจากการตรวจวัด (เส้นสีน้ำเงิน) ผลจากแบบจำลอง (เส้นสีเขียว) และผลจากแบบจำลองหลังปรับความคลาดเคลื่อน (เส้นสีแดง)



รูปที่ 2.9 ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนสะสมรายเดือนในช่วงทศวรรษ 1980s ระหว่างผลการคำนวณโดยแบบจำลอง PRECIS (ECHAM4 1980 raw) และผลหลังการปรับความคลาดเคลื่อน (ECHAM4 1980 res) เปรียบเทียบกับผลการตรวจวัด

2.3.2 การปรับความคลาดเคลื่อนของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวัน

ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากการคำนวณโดยแบบจำลองนี้ก็แสดงลักษณะคล้ายกับข้อมูลปริมาณฝนรายวัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดอาจมีค่าต่ำกว่าหรือมากกว่าศูนย์ได้ทำให้ไม่สามารถดำเนินการในลักษณะเดียวกันกับข้อมูลฝน การหาค่าสัมประสิทธิ์การปรับลดความคลาดเคลื่อนดำเนินการโดยการหาผลต่างระหว่างอุณหภูมิรายวันเฉลี่ยรายทศวรรษระหว่างผลจากแบบจำลองและผลจากการตรวจวัดตามสมการ (2.3)

$$k_i = \overline{Tx_{simulated}} - \overline{Tx_{Observed}} \quad (2.3)$$

k_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปรับลดความคลาดเคลื่อน และ $\bar{T}$ คือ อุณหภูมิสูงสุดรายวันเฉลี่ยรายทศวรรษที่กริด i

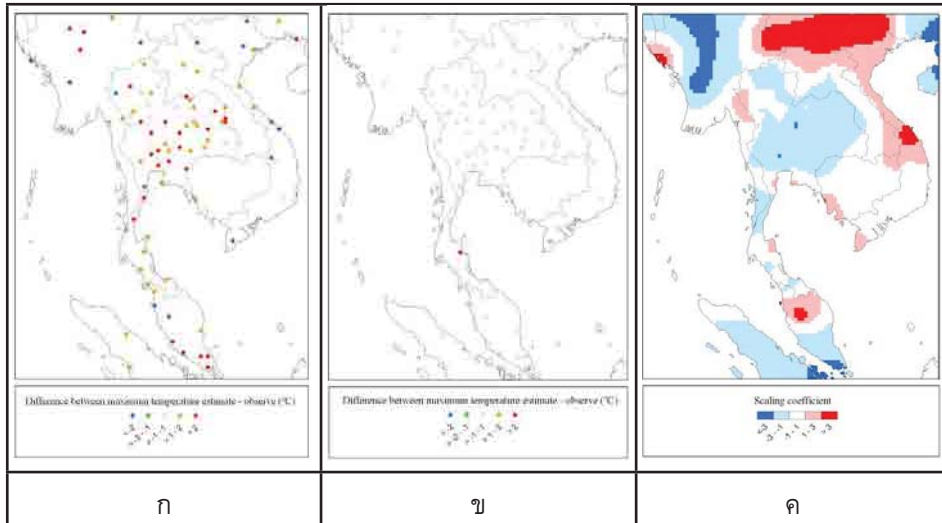
โดยค่าสัมประสิทธิ์รายสถานีที่ได้จะนำมา Interpolate เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์รายกริดทั้งหมดซึ่งเป็นผลจากแบบจำลองด้วยโปรแกรม Surfer v.8 หลังจากได้ค่าสัมประสิทธิ์รายกริดแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์นี้จะถูกนำไปคูณกับอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากแบบจำลองที่กริดเดียวกันตามสมการ (2.4) เพื่อให้ได้ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันที่ผ่านการปรับลดความคลาดเคลื่อนแล้ว

$$Tx'_i = k_i + Tx_i \quad (2.4)$$

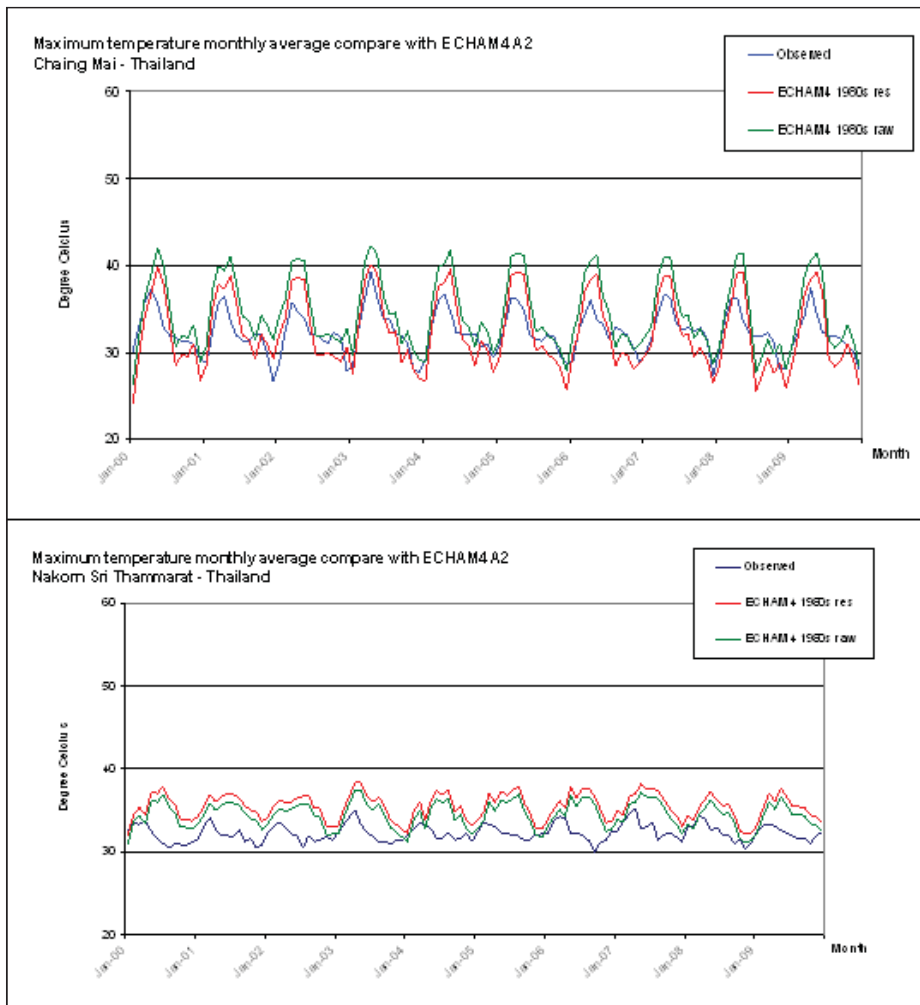
Tx'_i คือ อุณหภูมิสูงสุดรายวันหลังปรับความคลาดเคลื่อน k_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปรับลดความคลาดเคลื่อน และ Tx_i คือ อุณหภูมิสูงสุดรายวันก่อนปรับความคลาดเคลื่อนเคลื่อนที่กริด i

ผลที่ได้หลังการปรับความคลาดเคลื่อนแสดงผลที่น่าพอใจ โดยผลที่ได้เกือบทุกสถานีแสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดรายวันเฉลี่ยรายทศวรรษไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส (รูปที่ 2.10 – 2.11)





รูปที่ 2.10 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดรายวันเฉลี่ยรายทศวรรษในปีฐานเปรียบเทียบระหว่างผลจากแบบจำลองและผลการตรวจวัด (ก.) ก่อนปรับลดความคลาดเคลื่อน และ (ข.) หลังปรับความคลาดเคลื่อน และ (ค.) ผลการ interpolate ค่าสัมประสิทธิ์การปรับความคลาดเคลื่อนรายสถานี



รูปที่ 2.11 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนในช่วงทศวรรษ 1980s ระหว่างผลการคำนวณโดยแบบจำลอง PRECIS (ECHAM4 1980s raw) และผลหลังการปรับความคลาดเคลื่อน (ECHAM4 1980s res) เปรียบเทียบกับผลการตรวจวัด (Observed)



2.3.3 การปรับความคลาดเคลื่อนของข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน

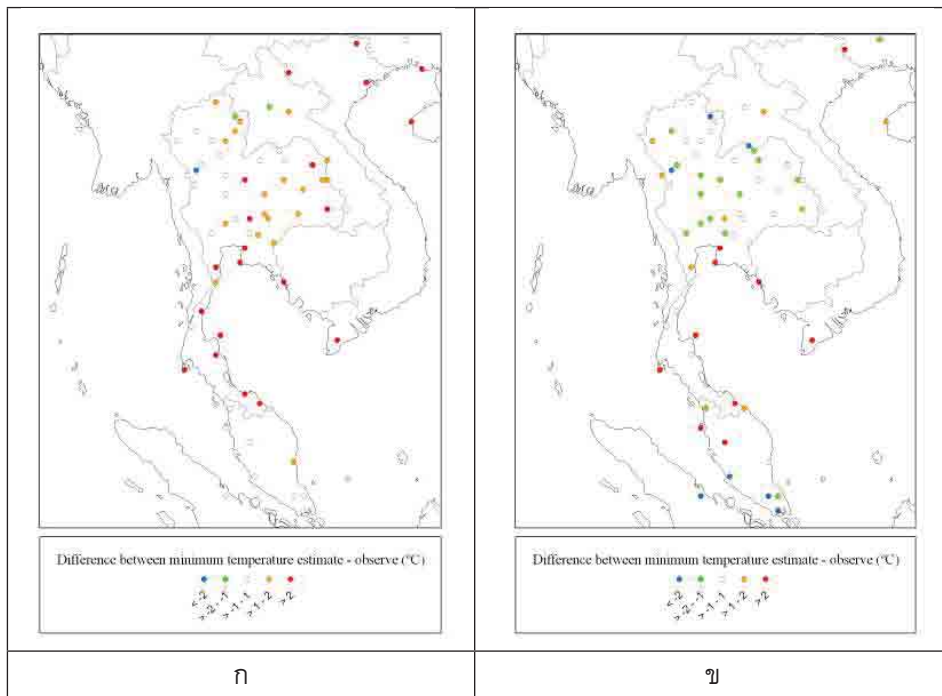
การปรับความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิประเภทนี้มีความแตกต่างจากการปรับความคลาดเคลื่อนของข้อมูลประเภทอื่น เนื่องจากในการปรับข้อมูลนี้จำเป็นที่จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขประการหนึ่ง คือ ค่าอุณหภูมิต่ำสุดรายวันต้องไม่มากกว่าอุณหภูมิสูงสุดในวันเดียวกันซึ่งได้รับการปรับความคลาดเคลื่อนแล้ว คณะผู้วิจัยได้ทดลองดำเนินการในหลายๆแนวทาง จนได้ข้อสรุปในการปรับความคลาดเคลื่อน คือ การปรับลดความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิต่ำสุดดำเนินการโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปรับความคลาดเคลื่อนเดียวกันกับการปรับค่าอุณหภูมิสูงสุดรายวันตามสมการ

$$Tn'_i = k_i + Tn_i \quad (2.5)$$

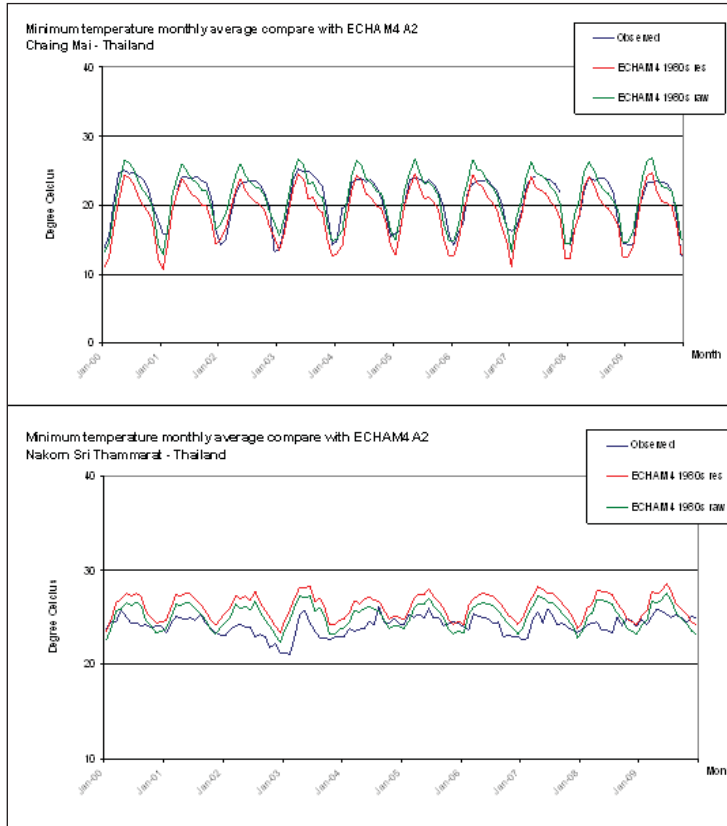
Tn'_i คือ อุณหภูมิสูงสุดรายวันหลังปรับความคลาดเคลื่อน k_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปรับลดความคลาดเคลื่อนและ Tn_i คือ อุณหภูมิต่ำสุดรายวันก่อนปรับความคลาดเคลื่อนเคลื่อนที่กริด i

ผลที่ได้หลังการปรับความคลาดเคลื่อนให้ผลเป็นที่น่าพอใจเมื่อพิจารณาจากผลต่างระหว่างอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเฉลี่ยรายทศวรรษก่อนการปรับความคลาดเคลื่อนกับหลังปรับความคลาดเคลื่อนแสดงให้เห็นว่าผลจากแบบจำลองให้ค่าสูงกว่าผลการตรวจวัดมากกว่า 2 องศาเซลเซียส แต่ภายหลังการปรับความคลาดเคลื่อนแล้วปรากฏว่าผลจากแบบจำลองหลังการปรับแสดงอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเฉลี่ยรายทศวรรษต่ำกว่าผลการตรวจวัดในช่วง 1-2 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม ยังมีบางสถานีซึ่งยังมีความคลาดเคลื่อนมากกว่า 2 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะในบริเวณคาบสมุทรภาคใต้ของไทย (รูปที่ 2.12-2.13)





รูปที่ 2.12 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิต่ำสุดรายวันเฉลี่ยรายทศวรรษในฐานเปรียบเทียบระหว่างผลจากแบบจำลองและผลการตรวจวัด (ก) ก่อนปรับความคลาดเคลื่อน และ (ข) หลังปรับความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนในช่วงทศวรรษ 1980s ระหว่างผลการคำนวณโดยแบบจำลอง PRECIS และผลหลังการปรับความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัด

2.4 ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย

ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย เป็นการสรุปโดยสังเขปของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต โดยครอบคลุมถึงตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญเพียง อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และปริมาณน้ำฝน เท่านั้น



2.4.1 ภาพಾಯอนาคตการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุด

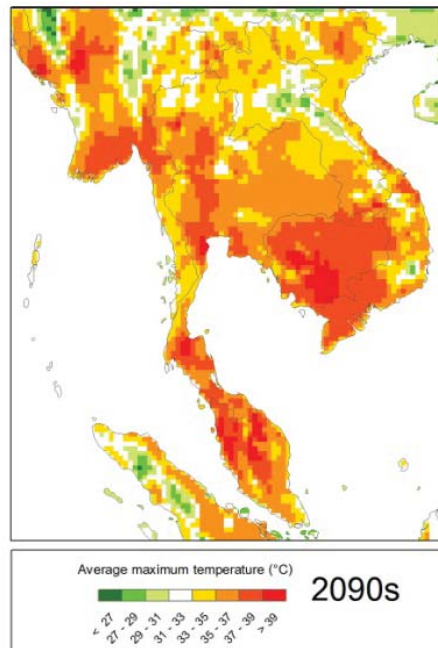
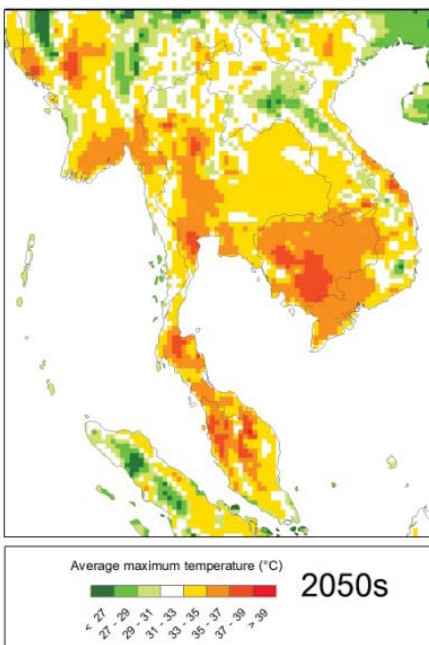
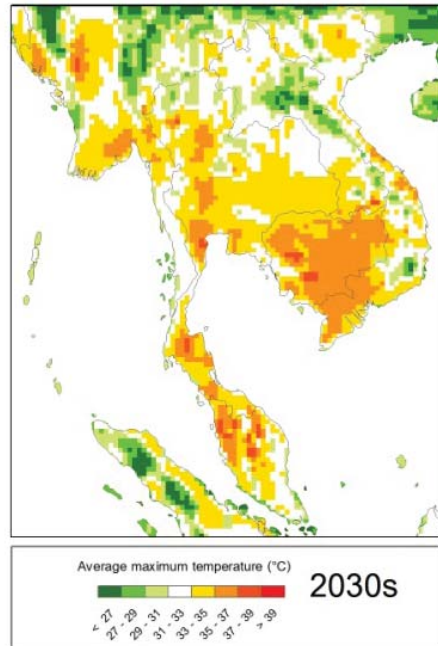
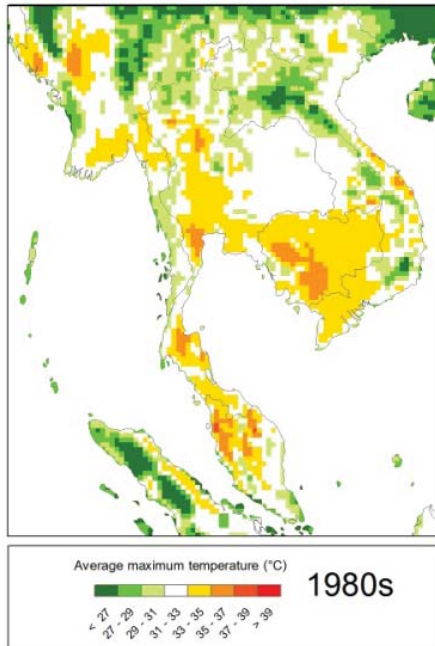
สภาพอุณหภูมิสูงสุดในอนาคต คือ อุณหภูมิสูงสุดรายวันเฉลี่ยในรอบ 10 ปี และจำนวนวันที่มีอากาศร้อน หรือวันที่มีอุณหภูมิสูงสุดมากกว่าหรือเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส

ในส่วนของอุณหภูมิสูงสุดรายวันเฉลี่ยรายทศวรรษนั้น พบว่าช่วงทศวรรษที่ 1980 บริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 27-33 องศาเซลเซียส ส่วนพื้นที่ส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 31-33 องศาเซลเซียส บริเวณภาคเหนือตอนล่าง ภาคกลาง ภาคตะวันออก ตลอดจนพื้นที่ในภาคใต้มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย ประมาณ 33-37 องศาเซลเซียส ภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแบบ A2 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในประเทศไทยในช่วงต้นศตวรรษไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากช่วงปลายศตวรรษก่อนมากนัก กล่าวคือ ภาคเหนือตอนบนมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 29-33 องศาเซลเซียส แต่จะเพิ่มสูงขึ้นเป็นประมาณ 33-35 องศาเซลเซียส ในช่วงปลายศตวรรษ พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 31-33 องศาเซลเซียส จะเพิ่มสูงขึ้นเป็นประมาณ 33-37 องศาเซลเซียสในช่วงปลายศตวรรษ ส่วนภาคเหนือตอนล่าง ภาคกลาง ภาคตะวันออก และพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคใต้ซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปีในช่วงต้นศตวรรษประมาณ 33-35 องศาเซลเซียส จะเพิ่มสูงขึ้นเป็นประมาณ 33-37 องศาเซลเซียสในช่วงปลายศตวรรษ ส่วนสภาพอุณหภูมิสูงสุดในอนาคตภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแบบ B2 ก็เป็นไปในทิศทางที่เพิ่มสูงขึ้นในเกือบทุกพื้นที่ในประเทศไทยเช่นกัน แต่เพิ่มสูงขึ้นในระดับที่ต่ำกว่า A2 เล็กน้อย (รูปที่ 2.14-2.15)

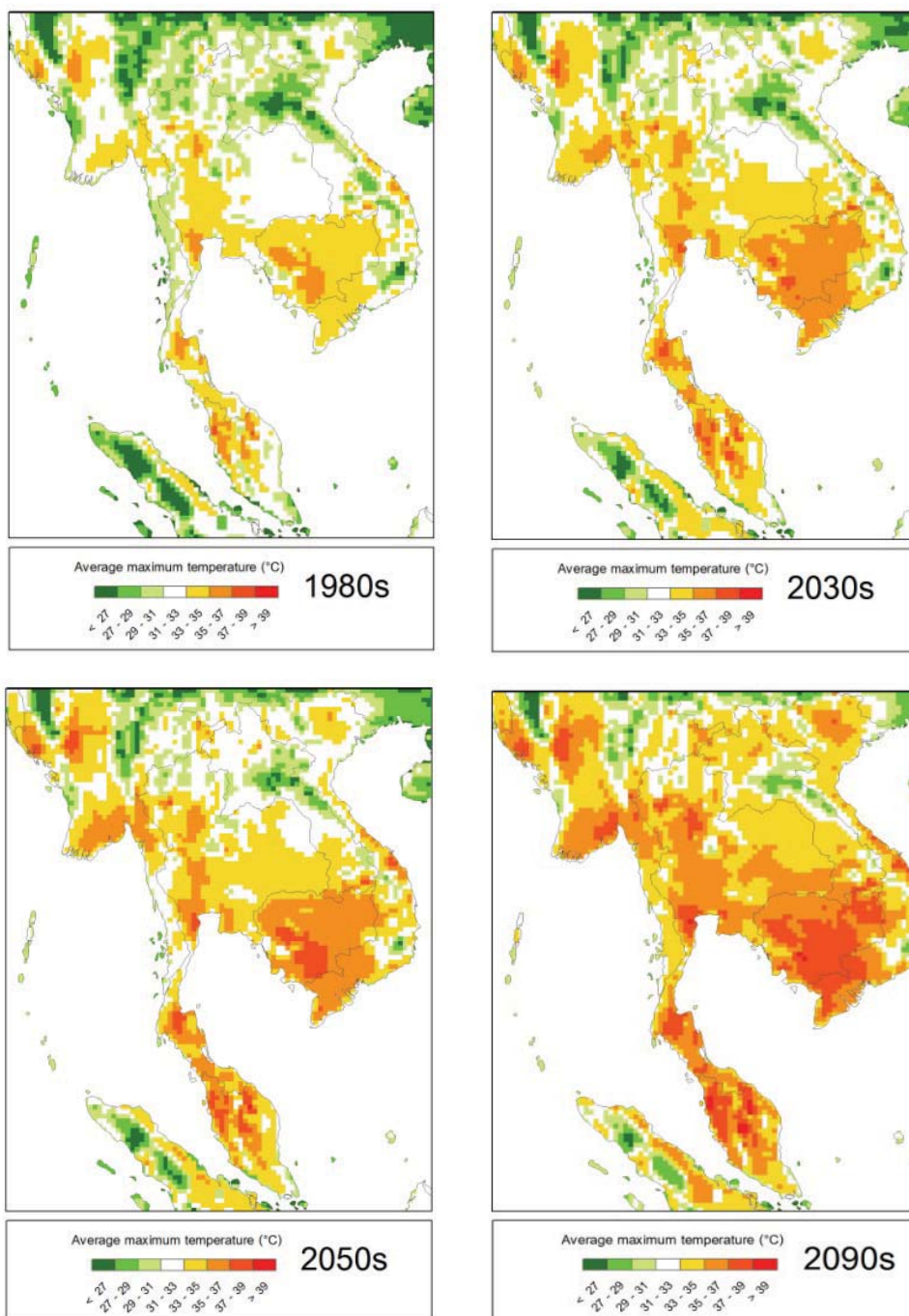
2.4.2 วันที่มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับหรือสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส

ในส่วนของระยะเวลาที่มีอากาศร้อนในรอบปี หรือวันที่มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับหรือสูงกว่า 35 องศาเซลเซียสนั้น ในช่วงปลายศตวรรษที่ผ่านมา บริเวณที่มีจำนวนวันที่มีอากาศร้อนมากที่สุดอยู่ในบริเวณภาคกลางและตอนกลางของภาคใต้ โดยมีจำนวนวันที่มีอากาศร้อนยาวนานถึงประมาณ 5-6 เดือนต่อปี และนานมากถึง 7-8 เดือนต่อปีในบางพื้นที่ ส่วนภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีฤดูร้อนยาวนานประมาณ 3-4 เดือนต่อปีในช่วงต้นศตวรรษนี้ ภาพจำลองอนาคตนี้แสดงให้เห็นว่าฤดูร้อนหรือระยะเวลาที่มีอากาศร้อนในรอบปีจะยาวนานขึ้นในเกือบทุกพื้นที่ในประเทศไทย ซึ่งอาจยาวนานขึ้นกว่าเดิมถึง 2-3 เดือนในช่วงปลายศตวรรษนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.16-2.17



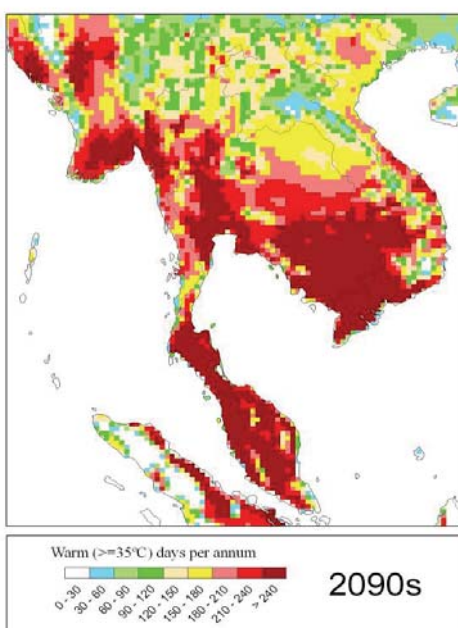
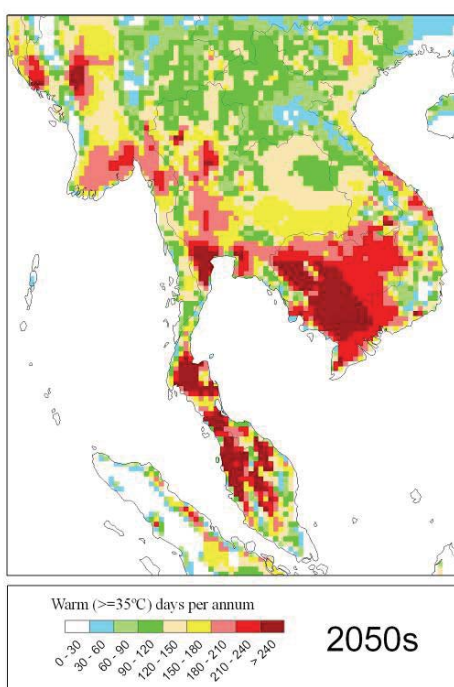
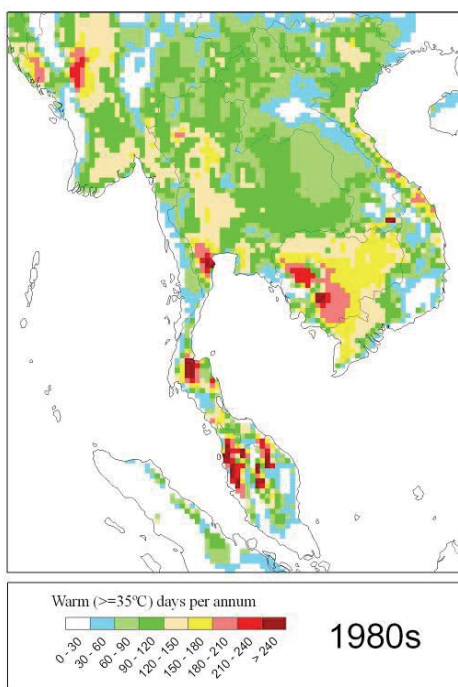


รูปที่ 2.14 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของพื้นที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงตลอดช่วงศตวรรษที่ 21 ภายใต้ SRES A2

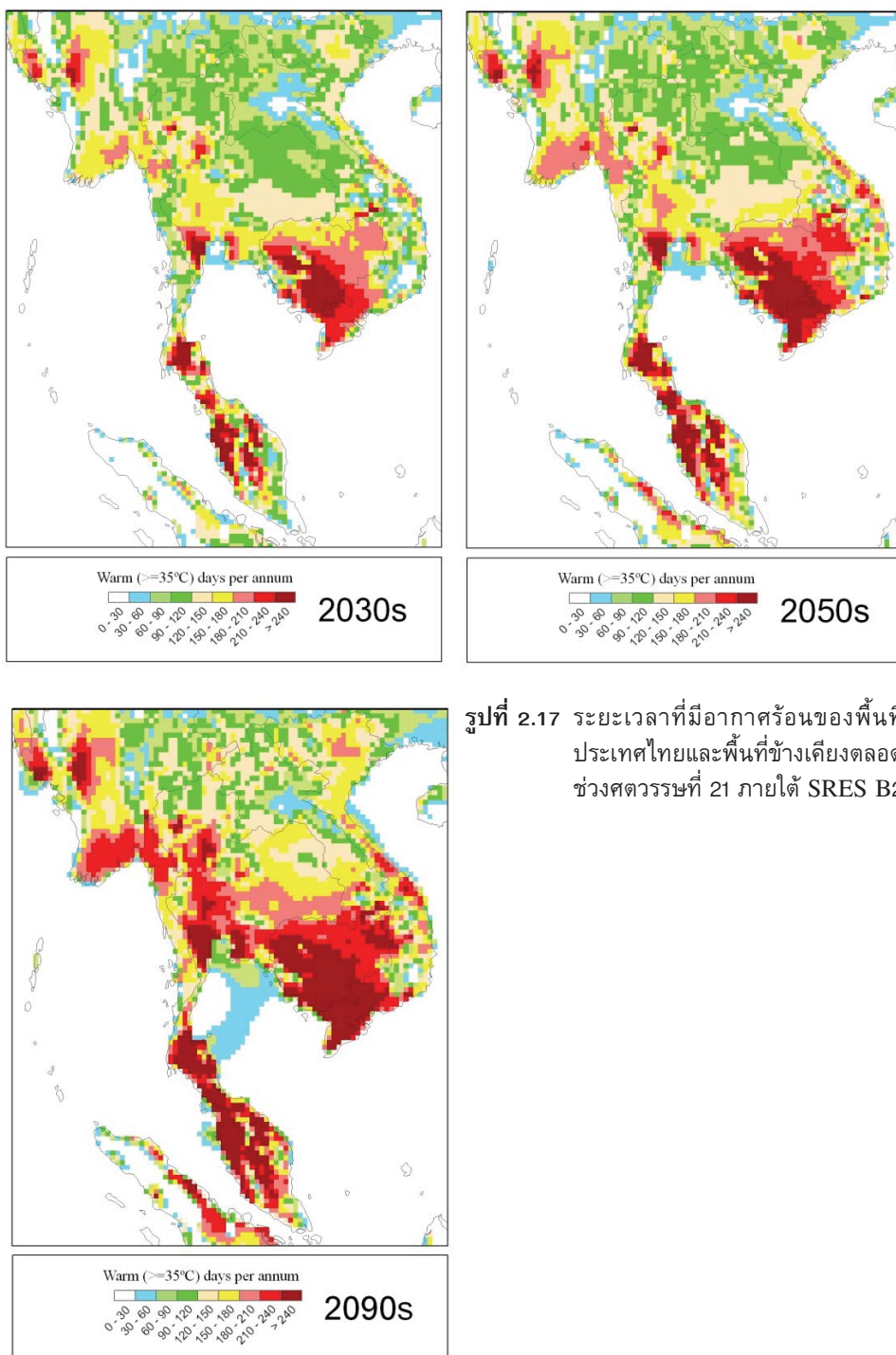


รูปที่ 2.15 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของพื้นที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงตลอดช่วงศตวรรษที่ 21 ภายใต้ SRES B2





รูปที่ 2.16 ระยะเวลาที่มีอากาศร้อนของพื้นที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงตลอดช่วงศตวรรษที่ 21 ภายใต้ SRES A2



รูปที่ 2.17 ระยะเวลาที่มีอากาศร้อนของพื้นที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงตลอดช่วงศตวรรษที่ 21 ภายใต้ SRES B2



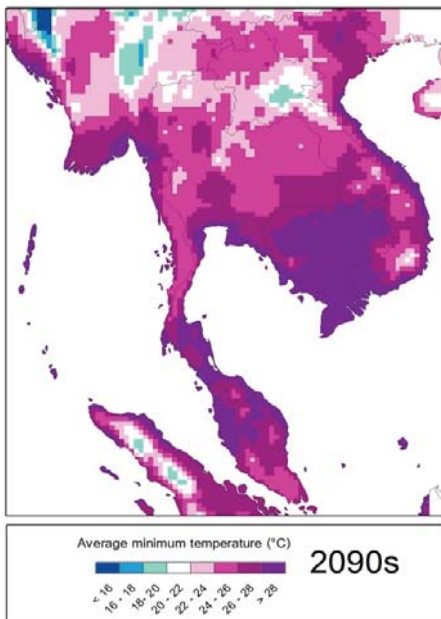
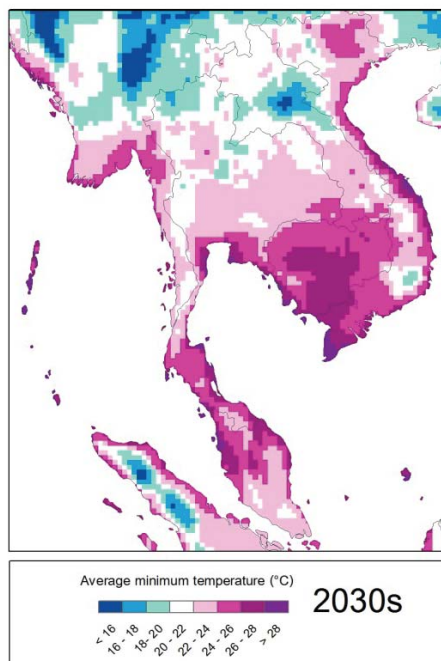
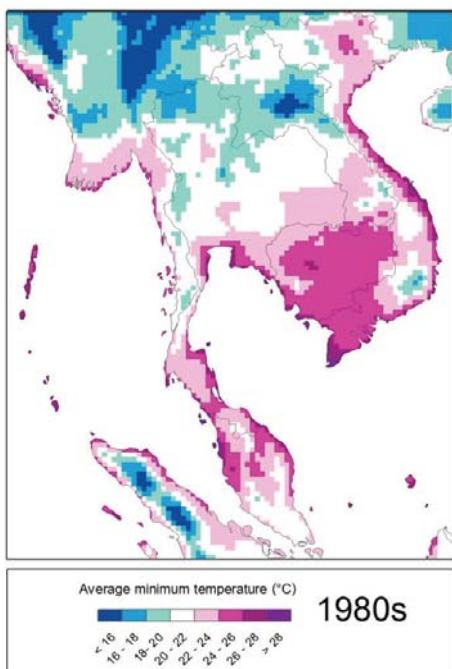
2.4.3 ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุด

ช่วงทศวรรษที่ 1980 บริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 18–22 องศาเซลเซียส ในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 22–24 องศาเซลเซียส ส่วนในบริเวณภาคกลาง และภาคตะวันออกจะมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยสูงกว่าพื้นที่อื่นๆ คือ 24–26 องศาเซลเซียส และในช่วงต้นศตวรรษนี้ อุณหภูมิรายวันต่ำสุดเฉลี่ยของพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะอยู่ในช่วง 20–22 องศาเซลเซียส สำหรับพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ภาคกลาง และภาคตะวันออกตลอดจนภาคใต้ จะมีอุณหภูมิรายวันต่ำสุดเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 22–24 องศาเซลเซียส โดยที่พื้นที่บางส่วนของภาคใต้จะมีอุณหภูมิรายวันต่ำสุดเฉลี่ยที่สูงกว่านั้นเล็กน้อย สภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ทั่วประเทศไทยมีแนวโน้มที่อุณหภูมิรายวันต่ำสุดเฉลี่ยจะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอาจเพิ่มสูงขึ้น 3–4 องศาเซลเซียสในช่วงปลายศตวรรษภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแบบ A2 ซึ่งภายใต้สถานการณ์แบบ B2 อุณหภูมิรายวันต่ำสุดเฉลี่ยตลอดปีก็มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน แต่เป็นไปในระดับที่ต่ำกว่า กล่าวคือ ประมาณ 2–3 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.18–2.19

2.4.4 ระยะเวลาที่มีอากาศเย็นในรอบปี

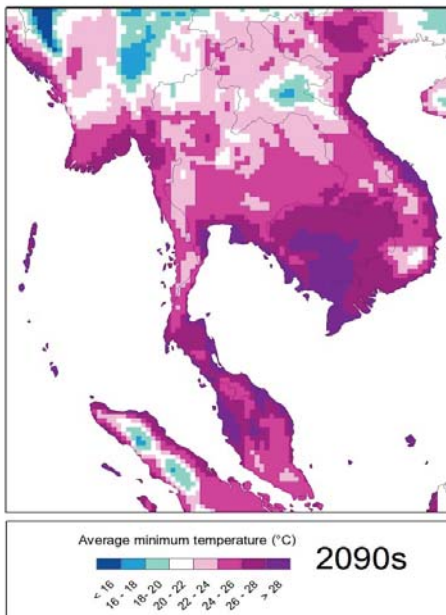
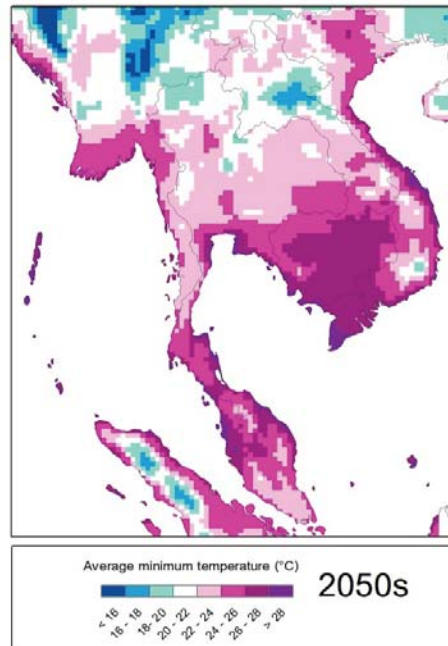
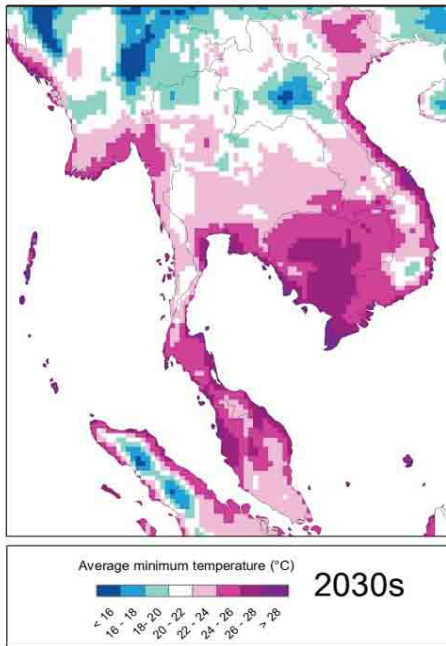
ระยะเวลาที่มีอากาศเย็นในรอบปีนั้น พบว่าพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนมีจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส ยาวนานที่สุดประมาณ 2–2.5 เดือน สำหรับพื้นที่อื่นๆ ของประเทศไทยโดยเฉลี่ยในรอบทศวรรษแล้วมีจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียสไม่เกิน 10 วัน และภาพฉายอนาคตแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่มีอากาศเย็นในประเทศไทยจะลดลงในอนาคต ในช่วงต้นศตวรรษนี้ พื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนจะมีจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส ยาวนานที่สุดประมาณ 1–2.5 เดือน โดยยังคงมีพื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส ยาวนานกว่า 2 เดือนปรากฏให้เห็นอยู่ทางตอนบนของพื้นที่ แต่ระยะเวลาที่มีอากาศเย็นนี้จะสั้นลง โดยเริ่มเห็นได้ตั้งแต่ช่วงกลางศตวรรษและเห็นได้อย่างชัดเจนในช่วงปลายศตวรรษภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแบบ A2 ทั้งนี้พื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส จะเหลืออยู่เพียงตามพื้นที่ที่เทือกเขาบางแห่งเท่านั้น อย่างไรก็ตาม สถานการณ์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงแบบ B2 จะเปลี่ยนน้อยกว่า โดยบางส่วนของภาคเหนือตอนบนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนยังคงมีระยะเวลาที่อากาศเย็นประมาณ 1 เดือนอยู่บ้าง แต่พื้นที่ดังกล่าวก็มีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 2.20–2.21



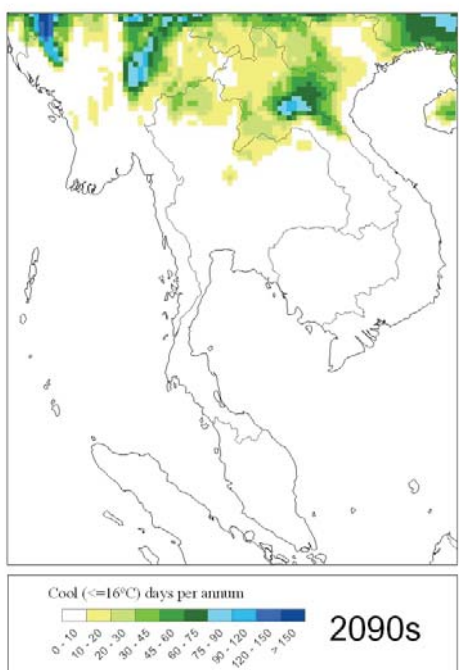
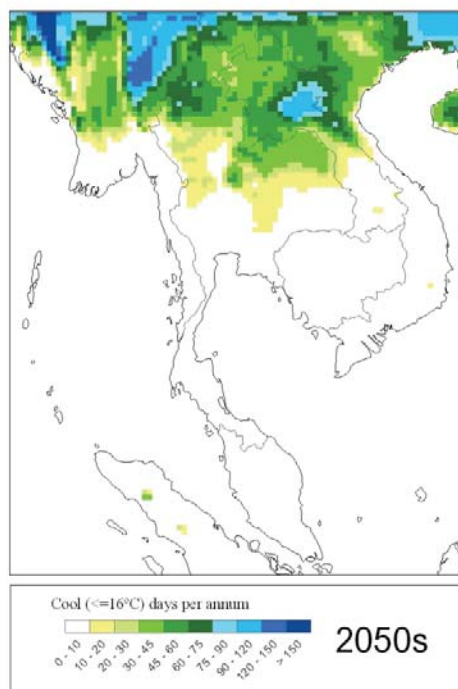
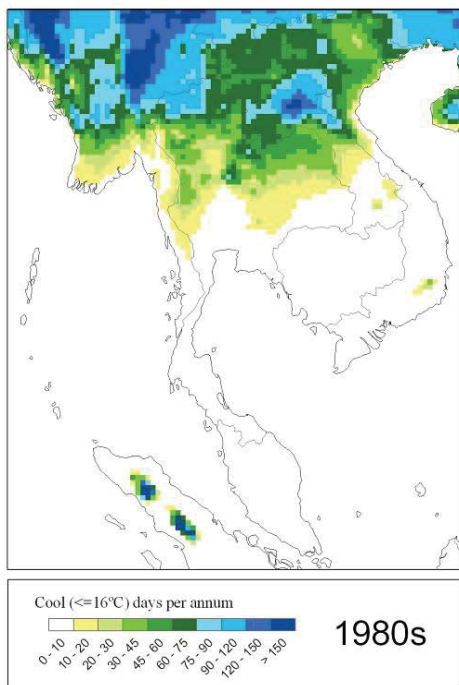


รูปที่ 2.18 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของพื้นที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงตลอดช่วงศตวรรษที่ 21 ภายใต้ SRES A2



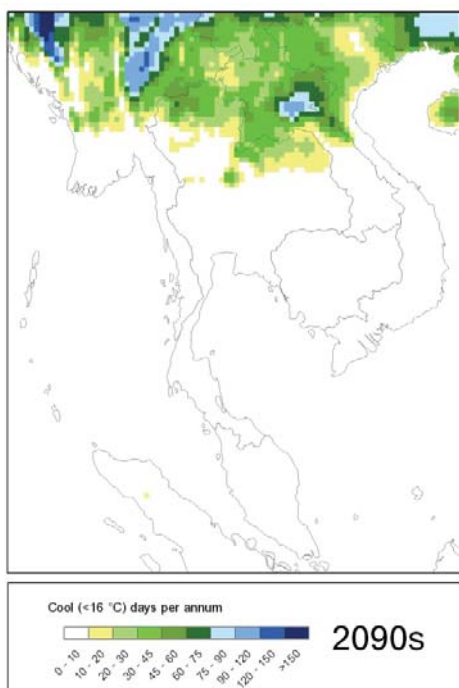
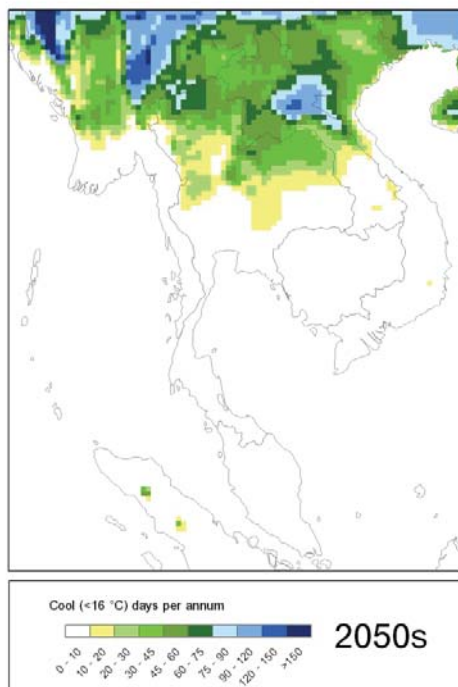
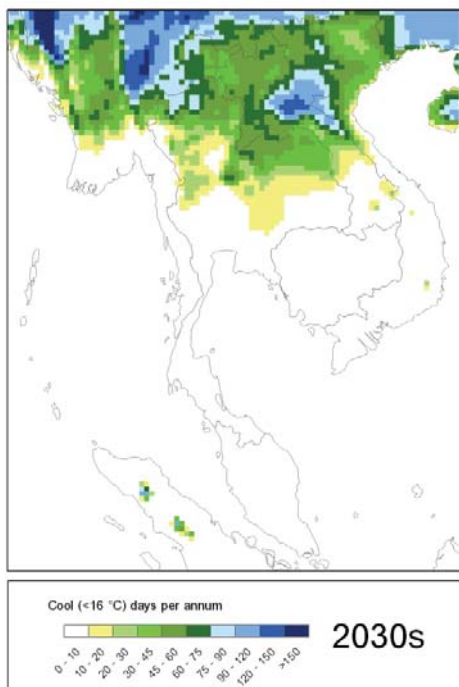


รูปที่ 2.19 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของพื้นที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงตลอดช่วงศตวรรษที่ 21 ภายใต้ SRES B2



รูปที่ 2.20 ระยะเวลาที่มีอากาศเย็นของพื้นที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงตลอดช่วงศตวรรษที่ 21 ภายใต้ SRES A2





รูปที่ 2.21 ระยะเวลาที่มีอากาศเย็นของพื้นที่ประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงตลอดช่วงศตวรรษที่ 21 ภายใต้ SRES B2

2.4.5 ภาพฉายอนาคตของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนรายปี

ภาพฉายอนาคตของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทั่วทุกภาคของประเทศไทยทั้งในด้านปริมาณซึ่งในช่วงปลายศตวรรษอาจเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 15-25% และ 25-50% ในหลายพื้นที่โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ภาคกลางต่อกับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน และการกระจายตัวของพื้นที่ที่มีจำนวนฝนตกเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 2.22-2.23

อนึ่ง เมื่อพิจารณาถึงจำนวนวันที่ฝนตกในรอบปี ซึ่งใช้เกณฑ์การพิจารณาในรายงานฉบับนี้พอให้เกิดความเข้าใจโดยสังเขป คือ วันที่มีฝนตกเกินกว่า 3 มิลลิเมตรขึ้นไป ผลจากภาพฉายอนาคตแสดงให้เห็นว่าจำนวนวันที่ฝนตกเฉลี่ยในแต่ละปีในเกือบทุกพื้นที่ยังคงใกล้เคียงกับที่เคยเป็นมาในอดีต ซึ่งบ่งชี้ว่าความยาวนานของฤดูฝนในอนาคตน่าจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลงไปจากที่เคยเป็นอยู่มากนัก นอกจากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งอาจมีฤดูฝนยาวนานขึ้น 1-2 สัปดาห์ และภาคตะวันออกจะมีฤดูฝนยาวนานขึ้น 2-4 สัปดาห์ ซึ่งจากการที่ปริมาณฝนรายปีในอนาคตเกือบทุกพื้นที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยที่การกระจายตัวยังคงเป็นไปประมาณที่เป็นอยู่ในปัจจุบันนี้ อาจบ่งชี้ว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละครั้งในอนาคตจะเพิ่มสูงขึ้นหรืออาจจะเรียกได้ว่าฝนที่ตกแต่ละครั้งจะตกหนักมากขึ้นกว่าที่เป็นมาในอดีต ซึ่งหมายถึงความเสี่ยงต่อภาวะน้ำท่วมฉับพลัน น้ำหลาก และภัยธรรมชาติที่จะเกิดตามมาจากอุทกภัยอีกหลายชนิด

สรุป

ภาพฉายอนาคตภูมิอากาศในอนาคตของประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงนี้ แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นทั้งกลางวันและกลางคืน โดยที่อุณหภูมิกลางวันจะเปลี่ยนแปลงมากกว่าอุณหภูมิกลางคืน อีกทั้งจะมีช่วงเวลาที่มียามอากาศร้อนในรอบปียาวนานมากขึ้น ซึ่งอาจอนุมานได้ว่า ฤดูร้อนยืดยาวขึ้นโดยที่ฤดูหนาวจะหดสั้นลง โดยที่ฤดูฝนมีฝนตกชุกมากขึ้น ซึ่งชุดข้อมูลตามภาพฉายอนาคตนี้ สามารถนำไปใช้ศึกษาต่อในเรื่องผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อระบบและภาคส่วนต่างๆ ในประเทศไทย รวมถึงผลกระทบต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นข้ามขอบเขตพรมแดนของประเทศไทยด้วย เพื่อที่จะได้นำไปสู่การศึกษาถึงภาวะเสี่ยงต่อความเดือดร้อนและแนวทางการปรับตัวต่อสถานการณ์ในอนาคตต่อไป

แต่อย่างไรก็ดี ผลการจำลองภูมิอากาศอนาคตและการจัดทำภาพฉายอนาคตนี้ก็สามารถบอกการเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้เพียงสังเขปเท่านั้น โดยบอกถึงแนวโน้มของทิศทางและรูปแบบการเปลี่ยนแปลงภายใต้เงื่อนไขบางประการ คือ การที่ก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น และคำนวณการเปลี่ยนแปลงในอนาคตโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ภายใต้

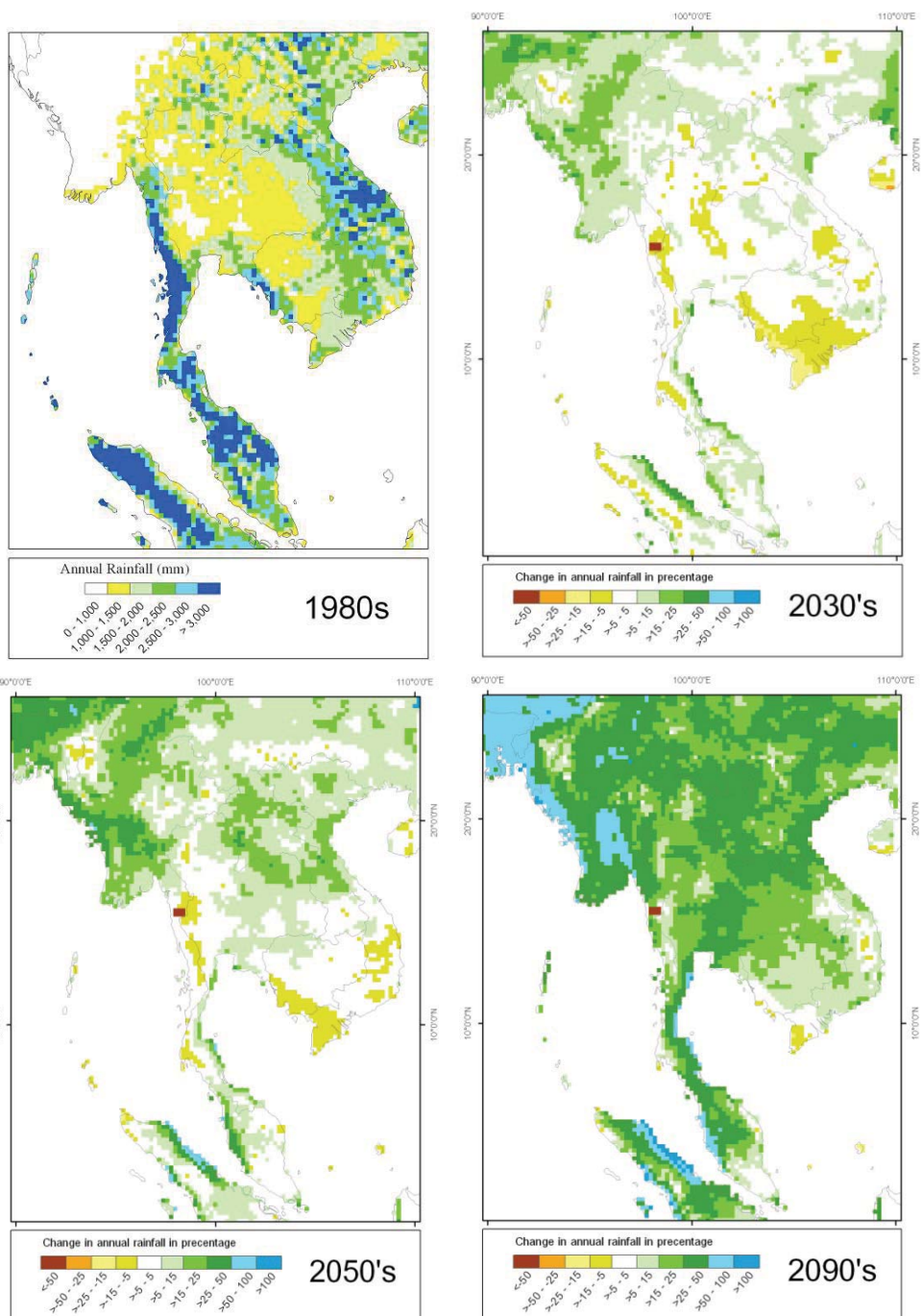


ได้หลักเกณฑ์ที่เข้าใจอยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้การนำไปใช้งานต่างๆ นั้น ผู้ใช้ข้อมูลจะต้องคำนึงถึง การนำไปใช้งานในบริบทของภูมิอากาศโดยมองถึงสภาพอากาศโดยรวมของช่วงระยะเวลาแต่ละ ช่วงที่นานพอสมควร และพิจารณาในเชิงการเปลี่ยนแปลงเปรียบเทียบกับสภาพของช่วงปีฐาน ที่เป็นผลจากการจำลองโดยแบบจำลอง โดยพิจารณาถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงหรือความ แปรปรวนของช่วงเวลาในอนาคตแต่ละช่วง ตัวอย่างเช่น การพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ หรือปริมาณฝนของแต่ละทศวรรษ หรือ การพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในปี median year ในแต่ละรอบทศวรรษ หรือ การพิจารณาถึงจำนวนปีที่มีสภาพอากาศที่สูงหรือต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของทศวรรษนั้น ๆ หรือพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงของปีที่ร้อนที่สุดหรือปีที่มีฝน มากที่สุดในแต่ละรอบทศวรรษ เป็นต้น นอกจากนี้ ข้อควรระวังที่สำคัญในการพิจารณาถึงการ เปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจากผลของแบบจำลองภูมิอากาศหรือการนำผลไปใช้เพื่อการวิเคราะห์ ผลกระทบต่อไป ก็คือ ค่าตัวแปรต่างๆ ที่แบบจำลองให้ผลมาเป็นรายวันในแต่ละปีนั้นไม่ใช่ปีจริง ตามปฏิทิน แต่เป็นการบ่งถึงช่วงเวลาโดยประมาณในช่วงปีนั้นๆ ดังนั้นการใช้งานชุดข้อมูลนี้จะ ต้องคำนึงถึงบริบทของภูมิอากาศ (climate) ทั้งนี้การทำภาพฉายอนาคตนี้ไม่ใช่การพยากรณ์ อากาศระยะยาวดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

กติการับประกาศ

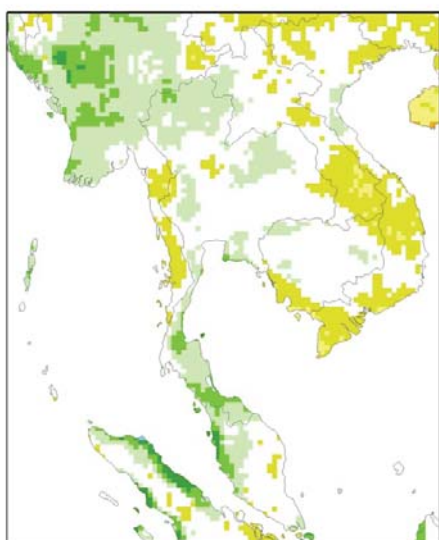
การจำลองสภาพอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียงโดยแบบจำลอง ภูมิอากาศเพื่อใช้จัดทำภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในการศึกษานี้เป็นผล สืบเนื่องจากความร่วมมือด้านเทคนิคระหว่างศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัย และฝึกอบรม การเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และ The Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research, United Kingdom ซึ่งเป็นหน่วยวิจัยทางด้านการ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศอังกฤษ โดยได้เริ่มความร่วมมือกันมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ภายใต้การสนับสนุน จาก Asia-Pacific Network for Global Change Research, British Council - Thailand และ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ทั้งนี้ทาง Hadley Centre ได้ให้การสนับสนุนต่อทางศูนย์เครือข่ายฯ ในด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยีผ่านทางกรฝึกอบรม การใช้งานแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ ตลอดจนการสนับสนุนด้าน software และชุดข้อมูล พื้นฐานที่จำเป็นต่อการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาคและระดับ ประเทศ





รูปที่ 2.22 ปริมาณน้ำฝนสะสมในรอบปีในช่วงทศวรรษ 1980 และการเปลี่ยนแปลง (%) ตลอดช่วงศตวรรษที่ 21 ภายใต้ SRES A2

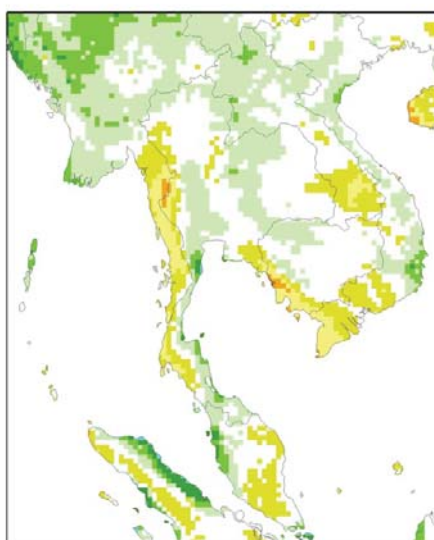




Change in annual rainfall in percentage

<-50	-25 - -50	-5 - -15	-5 - 5	5 - 15	15 - 25	25 - 50	>50 - 100	>100
------	-----------	----------	--------	--------	---------	---------	-----------	------

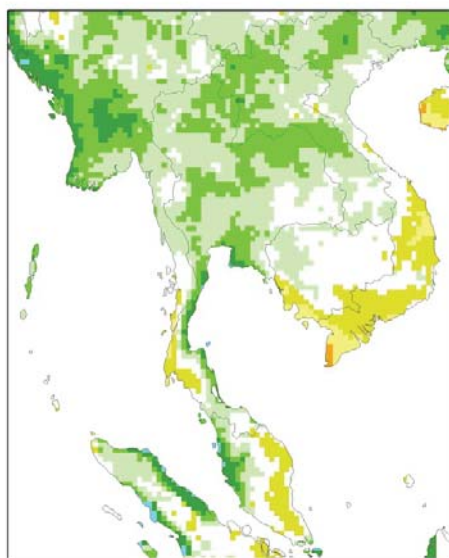
2010s



Change in annual rainfall in percentage

<-50	-25 - -50	-5 - -15	-5 - 5	5 - 15	15 - 25	25 - 50	>50 - 100	>100
------	-----------	----------	--------	--------	---------	---------	-----------	------

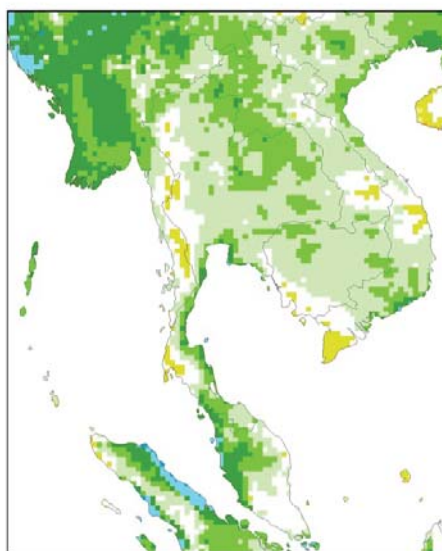
2030s



Change in annual rainfall in percentage

<-50	-25 - -50	-5 - -15	-5 - 5	5 - 15	15 - 25	25 - 50	>50 - 100	>100
------	-----------	----------	--------	--------	---------	---------	-----------	------

2050s



Change in annual rainfall in percentage

<-50	-25 - -50	-5 - -15	-5 - 5	5 - 15	15 - 25	25 - 50	>50 - 100	>100
------	-----------	----------	--------	--------	---------	---------	-----------	------

2090s

รูปที่ 2.23 ปริมาณน้ำฝนสะสมในรอบปีในช่วงทศวรรษ 1980 และการเปลี่ยนแปลง (%) ตลอดช่วงศตวรรษที่ 21 ภายใต้ SRES B2



3

ภาพถ่ายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ของประเทศไทยจากผลของแบบจำลองภูมิอากาศ ภูมิภาค - MM5

รศ.ดร.เจียมใจ เครือสุวรรณ¹, ชาคริต โชติอมรศักดิ์², อรพรรณ วิรัชเวชยันต์³,
ภาคภูมิ รัตนจิรานุกุล³, ชีรชัย อำนวนยล่อเจริญ¹, ปิยะ ผ่านศึก¹



¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

² คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

³ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

3.1 การจำลองสภาพภูมิอากาศความละเอียดสูง โดยแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค – MM5

บทที่ 3 นี้ เป็นการจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยในช่วงปี ค.ศ. 1970–1990 และในอนาคต 30 ปี ค.ศ. 2010–2039 โดยแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค – MM5 โดยนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก – CCSM3 (Community Climate System Model 3.0) ที่มีรายละเอียดทุก 6 ชั่วโมง เป็นข้อมูลเงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขตป้อนให้กับแบบจำลอง และกำหนดบริเวณพื้นที่ศึกษา 2 โดเมนที่เชื่อมโยงกันตามหลักการของการย่อส่วนด้วยวิธีการพลวัต ในรูปแบบของ One-way nesting โดเมนใหญ่มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ 45 กิโลเมตร ครอบคลุมเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ บางส่วนของประเทศอินเดีย บังกลาเทศ เมียนมาร์ จีน มหาสมุทรอินเดีย และทะเลจีนใต้ ขณะที่โดเมนเล็กมีรายละเอียดเชิงพื้นที่ 15 กิโลเมตรครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยและบางพื้นที่ของประเทศเมียนมาร์ ลาว เวียดนาม กัมพูชา และมาเลเซีย ข้อมูลสภาพอากาศจาก CCSM3 จะถูกถ่ายทอดเข้าที่โดเมนใหญ่ แล้วผ่านเข้าสู่โดเมนเล็กตามขบวนการ Mesoscale ตามลักษณะภูมิประเทศ ปฏิกริยาของพื้นดิน-มหาสมุทร และการคำนวณภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงเป็นไปตามหลักการของสมการต่าง ๆ ที่อธิบายถึงการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงตามแนวดิ่งตามแบบแผนเชิงกายภาพของสมดุลย์พลังงาน การเกิดเมฆและฝน ตามหลักการของ Mixed-Phase (Reiner 2) และ Betts–Miller Cumulus Parameterizations

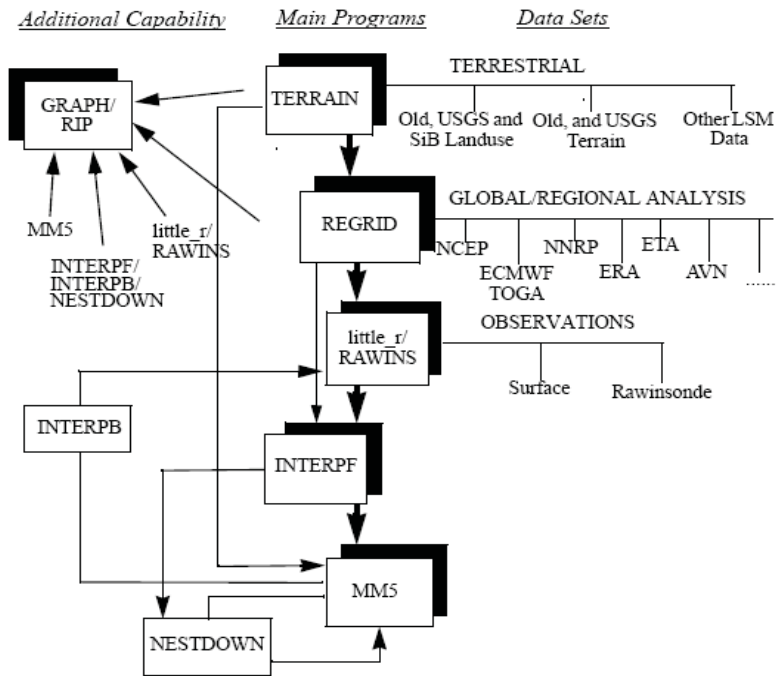
3.1.1 แบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค - MM5

แบบจำลองภูมิอากาศ – MM5 (The Fifth Generation Penn State/NCAR mesoscale model) เป็นแบบจำลองสภาพภูมิอากาศภูมิภาค พัฒนาร่วมกันโดย Pennsylvania State University และ ศูนย์วิจัยทางบรรยากาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Center for Atmospheric Research, NCAR) สามารถใช้วิเคราะห์สภาพการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ตั้งแต่ 3 กิโลเมตร ถึง หลายร้อยกิโลเมตร โดยพิจารณาภูมิประเทศ การพาความร้อนที่เกิดในบริเวณพื้นที่ทำการวิเคราะห์และได้รวม land-surface model ที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณน้ำฝนที่สัมพันธ์กับทรัพยากรแหล่งน้ำในบริเวณพื้นที่ศึกษา



รายละเอียดโดยย่อของแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค – MM5

การทำงานของแบบจำลอง MM5 มีหลายวิธี ตามไดอะแกรม คณะผู้วิจัยได้เลือกขั้นตอนการใช้แบบจำลอง MM5 ดังนี้ TERRAIN → REGRID → INTERPF → MM5



TERRAIN

เป็นส่วนที่กำหนดลักษณะภูมิประเทศและการใช้ที่ดิน ประกอบด้วย ความสูงต่ำของสภาพภูมิประเทศ การใช้ที่ดินและลักษณะการปกคลุมดิน ส่วนเชื่อมต่อระหว่างพื้นดิน-น้ำประเภทของดิน ส่วนที่เป็นพืช และอุณหภูมิดิน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ สามารถปรับแก้ให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ที่ทำการศึกษาได้

REGRID

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่หลักๆ ดังต่อไปนี้ 1) อ่านค่าข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาและค่าที่ทำนายได้ (archived girded meteorological analyzed and forecasted) จากชั้นความสูงของความดันบรรยากาศ คำนวณค่าต่างๆ ภายใน horizontal grid แล้วจัดวางข้อมูล เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ตามกริดและตามพื้นที่ที่เลือกไว้จาก **TERRAIN** 2) จัดการข้อมูลสภาพอากาศตามชั้นความสูงและข้อมูลที่เกิดจากผลการวิเคราะห์ที่พื้นผิว และ 3) สร้างไฟล์ที่พร้อมสำหรับ **INTERPF**



INTERPF

เป็นส่วนที่เปลี่ยนข้อมูลนำเข้าจากระดับความสูง (Pressure level) ให้เป็น Sigma level หรือ พิกัดความสูงต่ำของลักษณะภูมิประเทศสำหรับเป็นเงื่อนไขเริ่มต้นและขอบเขต (Initial and boundary conditions) ในการทำงานของแบบจำลอง MM5 ซึ่ง Sigma level (σ) นี้หาได้จาก

$$\sigma = \frac{(p_0 - p_t)}{(p_{s0} - p_t)}$$

เมื่อ p_0 คือ ความดันที่ระดับความสูงที่สนใจ, p_t คือ ความดันคงที่ที่ระดับสูงสุดของแบบจำลอง และ p_{s0} คือ ความดันอ้างอิงที่พื้นผิว

MM5 เป็นส่วนที่ทำการประมวลผลสภาพภูมิอากาศเชิงตัวเลขของแบบจำลอง

3.1.2 เงื่อนไขการจำลองสภาพภูมิอากาศ

การจำลองสภาพภูมิอากาศได้ดำเนินการภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้ (Kain, 2004; Kain and Fritsch, 1993a; 1993b)

เงื่อนไขที่ใช้	รายละเอียด
GHG scenarios	IPCC SRES A2 & A1B
Global dataset	NCAR-GCM(PCM)
ความละเอียดเชิงพื้นที่	15 x 15 km ²
ความละเอียดเชิงเวลา	รายวัน
ช่วงระยะเวลา • ช่วงปีฐาน • อนาคต	ค.ศ. 1970-1990 ค.ศ. 2010-2039
ขอบเขตพื้นที่	Latitude 5-22 °N & Longitude 95-108 °E
เงื่อนไขอื่นๆ	• Cumulus parameterizations • Planetary boundary layer • Moist vertical diffusion • Horizontal diffusion • Microphysics (explicit moisture) scheme • Radiation schemes • Surface schemes (Multi-layers soil temperatures) • Hydrostatic/Non-hydrostatic
	• Betts-Miller cumulus schemes • Medium range forecast (MRF) • Moist vertical diffusion in cloud • Sigma-diffusion using temperature • Mixed-phase (Reiner 2) • RRTM radiation • 5-layer soil model • Non-hydrostatic



3.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพภูมิอากาศ กับการตรวจวัดจริง

การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองและค่าตรวจวัด คงทำได้โดยประมาณเนื่องจากสภาพอากาศจากแบบจำลองเป็นค่าเฉลี่ยใน Grid box ที่มีขนาด 15 กิโลเมตร x 15 กิโลเมตร x 10 เมตร (ตามระยะสูงของตัวแปร) ขณะที่ค่าจากการตรวจวัดเป็นค่าที่จุดใดจุดหนึ่ง (point observation) ทั้งนี้ ค่าตัวแปรในบรรยากาศแปรผันอย่างรวดเร็วในตำแหน่งที่ใกล้กันตามลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน

3.2.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายวันในอดีตจากข้อมูลการตรวจวัด กับข้อมูลจากแบบจำลอง MM5-RCM

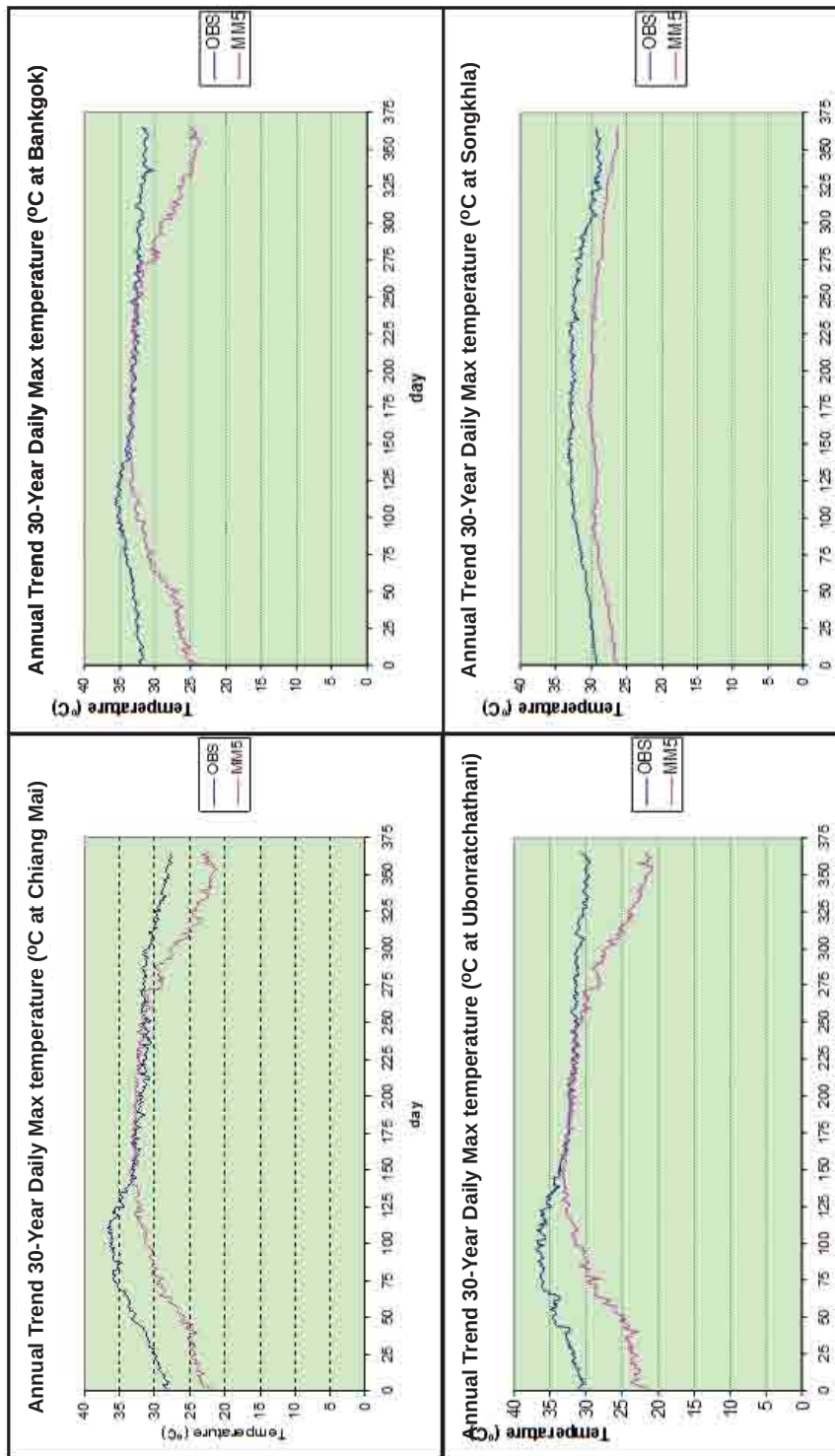
อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 30 ปี จากแบบจำลอง ณ สถานีตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่ กรุงเทพฯ อุบลราชธานี และสงขลา (รูปที่ 3.1) ส่วนใหญ่พบว่าในช่วงฤดูฝน ค่าที่ตรวจวัดได้และค่าที่ได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงฤดูหนาวและฤดูแล้ง ค่าที่ได้จากแบบจำลองจะต่ำกว่าค่าที่วัดได้จริงประมาณ 2-10 องศาเซลเซียส (เฉลี่ยประมาณ 5 องศาเซลเซียส) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับที่ตั้งของสถานี โดยความแตกต่างจะมากที่สุดที่สถานีตรวจวัดอุบลราชธานีและน้อยสุดในภาคใต้ของประเทศไทยคือที่สถานีตรวจวัดสงขลา โดยที่สงขลา ค่าจากแบบจำลองต่ำกว่าค่าที่ตรวจวัดได้ตลอดปีทุกฤดูกาล

3.2.2 การเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันในอดีตระหว่างข้อมูลการตรวจวัด กับข้อมูลจากแบบจำลอง MM5-RCM

การเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 30 ปี (ค.ศ.1970-1999) จากแบบจำลอง MM5-RCM และค่าตรวจวัด (รูปที่ 3.2) ของจังหวัดเชียงใหม่ กรุงเทพฯ และอุบลราชธานี พบว่าค่าของน้ำฝนจากแบบจำลอง MM5-RCM มีค่าต่ำกว่าค่าตรวจวัด แต่ปริมาณฝนมากที่สุดของแบบจำลองยังคงอยู่ในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม-กันยายน) และที่ปริมาณฝนในจังหวัดอุบลราชธานีมีค่าใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดมากที่สุด ส่วนปริมาณฝนในจังหวัดสงขลา โดยแนวโน้มของปริมาณฝนจากแบบจำลอง MM5-RCM และค่าตรวจวัดสอดคล้องกัน แต่ปริมาณฝนจากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าค่าตรวจวัด และปริมาณฝนมากที่สุดอยู่ช่วงปลายปีซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของฝนที่ตกในภาคใต้

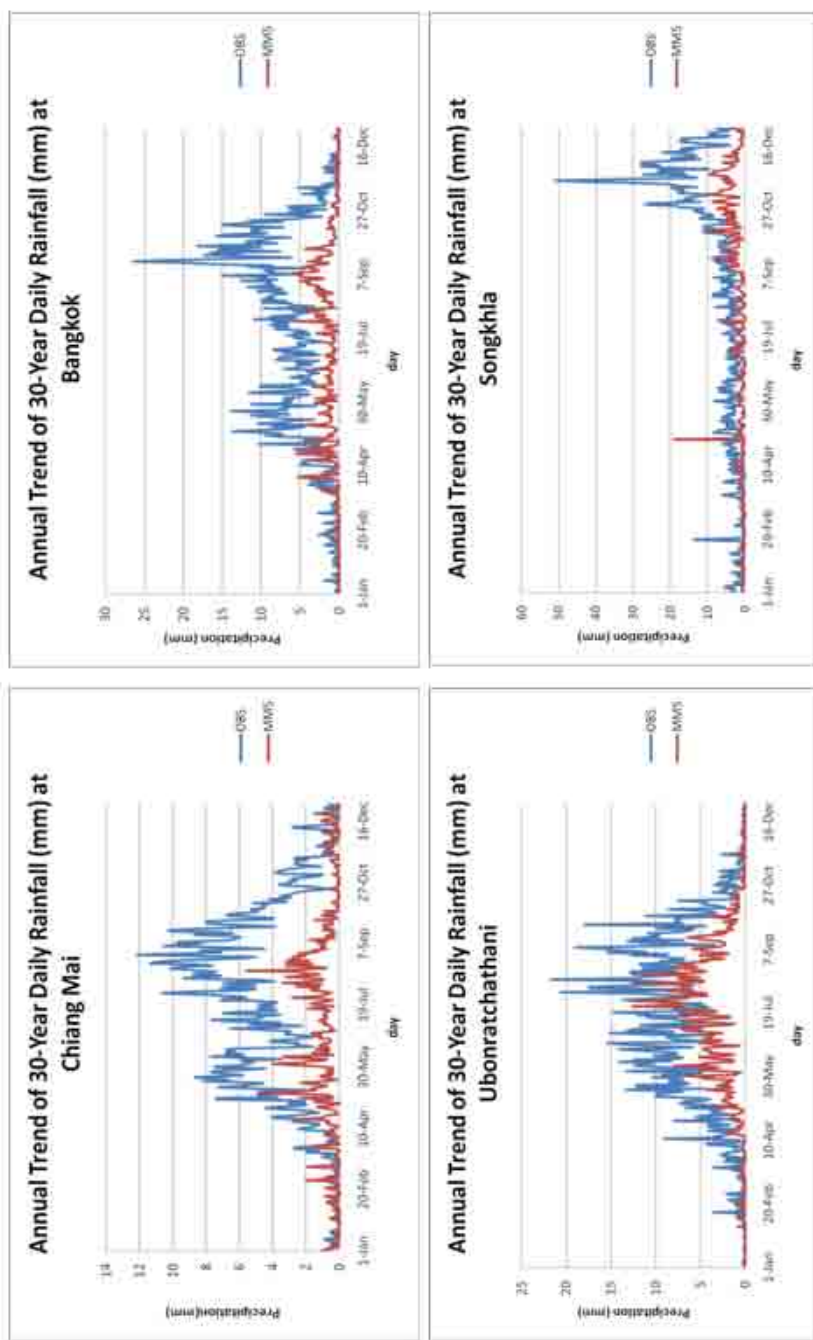
ซึ่งโดยสรุปอาจกล่าวได้ว่า ในทำนองเดียวกันกับกรณีของอุณหภูมิ แบบจำลองยังไม่สามารถจำลองค่าปริมาณของฝนในอดีตได้ดีนัก โดยค่าที่ได้จะต่ำกว่าค่าที่วัดได้จริง 40-80% แต่โดยทั่วไปแล้ว แบบจำลองสามารถจำลองรูปแบบการตกของฝนได้ระดับหนึ่ง





รูปที่ 3.1 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายวันในอดีต ค.ศ. 1970–1999 ณ สถานีตรวจวัดเชียงใหม่ อุบลราชธานี กรุงเทพฯ และสงขลา เปรียบเทียบค่าตรวจวัดจริง (OBS) กับค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลอง (MIM5)





รูปที่ 3.2 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันในอดีต ค.ศ. 1970-1999 ณ สถานีตรวจวัดจังหวัดเชียงใหม่ อุบลราชธานี กรุงเทพฯ และสงขลา เปรียบเทียบระหว่างค่าตรวจวัดจริง (OBS) และค่าที่ได้จากการใช้แบบจำลอง (MMS)

3.3 ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศ ไทย ปี ค.ศ. 2010-2039

3.3.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

ช่วงปี ค.ศ. 2010-2019 - ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (SRES) แบบ A1B

ในฤดูหนาว (รูปที่ 3.3-3.5) อุณหภูมิเฉลี่ยในภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนเพิ่มขึ้น 0.4-0.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด 0.2-0.4 องศาเซลเซียส ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ขณะที่ อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากที่สุด 0.6-0.8 องศาเซลเซียส ในภาคใต้

ในฤดูร้อน ภาคกลางและพื้นที่ส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.1-0.2 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้น 0.2-0.4 องศาเซลเซียส ในภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ตอนบน ขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น 0.4-0.6 องศาเซลเซียส ในภาคใต้ตอนล่าง เทียบกับค่าเฉลี่ยในอดีต

ในฤดูฝน ทั่วประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.6-0.8°C ยกเว้นตอนบนของภาคเหนือที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยลดลง 0.4-0.6 องศาเซลเซียส

ช่วงปี ค.ศ. 2010-2019 - ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (SRES) แบบ A2

อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วประเทศในฤดูหนาวเพิ่มขึ้น 0.1-0.6 องศาเซลเซียส เทียบกับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในอดีต 30 ปี โดยที่ภาคเหนือตอนบน และภาคกลางมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด 0.1-0.2 องศาเซลเซียส

ฤดูร้อน ประเทศไทยตอนบนมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.1-0.4 องศาเซลเซียส ขณะที่ภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ลงไป อุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อนเพิ่มขึ้น 0.4-0.6 องศาเซลเซียส เทียบกับค่าเฉลี่ยในอดีต 30 ปี

ฤดูฝน อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.4-0.8 องศาเซลเซียส ทุกภาคทั่วประเทศ

ช่วงปี ค.ศ.2020-2029 - ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (SRES) แบบ A1B

ฤดูหนาว อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วประเทศเพิ่มขึ้น 0.6-0.8 องศาเซลเซียส บริเวณบางพื้นที่ของจังหวัดมุกดาหาร และพื้นที่ใกล้เคียงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 0.8 -1.2 องศาเซลเซียส

ฤดูร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วประเทศมีค่าเพิ่มขึ้น 0.8-1.2 องศาเซลเซียส เทียบกับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อนในอดีต ช่วงปี ค.ศ.1970-1999



ฤดูฝน อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.8–1.2 องศาเซลเซียส ทุกภาคทั่วประเทศ โดยเฉพาะภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุด 1.0–1.2 องศาเซลเซียส

ช่วงปี ค.ศ.2020-2029 - ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (SRES) แบบ A2

อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วประเทศในฤดูหนาวเพิ่มขึ้น 0.6–0.8°C ยกเว้นบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑล มีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.4–0.6 องศาเซลเซียส

ในฤดูร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้น 0.4–0.6 , 0.2–0.4 , 0.1–0.2 และ 0.6–0.8 องศาเซลเซียส ในภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก อีสาน และภาคใต้ ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มมากที่สุดที่ภาคใต้ฝั่งตะวันออก 0.8–1.0 องศาเซลเซียส

ในฤดูฝน อุณหภูมิเฉลี่ย มีค่าเพิ่มขึ้น 0.4–1.0 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะภาคเหนือ ภาคใต้ และบางพื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.8–1.0 องศาเซลเซียส

ช่วงปี ค.ศ.2030-2039 - ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (SRES) แบบ A1B

ฤดูหนาว อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.1–0.4 องศาเซลเซียส เกือบทั่วทุกภาคของประเทศ ยกเว้น บริเวณกรุงเทพฯ และปริมณฑล ที่อุณหภูมิเฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนภาคใต้ตอนล่างมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.4–0.6 องศาเซลเซียส

ฤดูร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยตาม Scenario A1B เพิ่มขึ้นทั่วทุกภาคของประเทศ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อนเพิ่มขึ้นสูงสุด 0.8–1.0 องศาเซลเซียส ในภาคใต้ตอนล่าง ขณะที่ภาคเหนือ และภาคใต้ตอนบนมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.6–0.8 องศาเซลเซียส ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.4–0.6 องศาเซลเซียส สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือ 0.2–0.4 องศาเซลเซียส

ฤดูฝนตาม Scenario A1B อุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูฝนทั่วประเทศเพิ่มขึ้น 0.8–1.2 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุด 1.0–1.2 องศาเซลเซียส

ช่วงปี ค.ศ.2030-2039 - ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (SRES) แบบ A2

ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ ฝั่งตะวันออกในฤดูหนาว มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้น 0.8–1.2 องศาเซลเซียส เทียบกับค่าในอดีต 30 ปี ขณะที่ภาคกลางมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.6–0.8 องศาเซลเซียส

ฤดูร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยในทุกภาคของประเทศไทยเพิ่มขึ้น 0.8–1.2 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุดบริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน และบางส่วนของภาคใต้ตอนล่าง



ฤดูฝน ทั่วทุกภาคของประเทศไทยตั้งแต่ภาคกลางลงไปถึงภาคใต้อุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูฝนมีค่าเพิ่มขึ้น 0.8–1.4 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะบางพื้นที่ของภาคเหนือตอนบนมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 1.0–1.4 องศาเซลเซียส

3.3.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝน

ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน–เมษายน) และฤดูฝน (พฤษภาคม–ตุลาคม)

ปริมาณน้ำฝนในฤดูแล้งในช่วง ค.ศ.2010–2019, 2020–2029, 2030–2039 ภายใต้แบบ A1B มีลักษณะคล้ายๆ กันคือ ปริมาณฝนเพิ่มขึ้นบ้างบริเวณเทือกเขาทางตะวันตกของประเทศไทย และมีฝนกระจายตามบริเวณเทือกเขาต่างๆ ของประเทศ พื้นที่ตอนบนแห้งแล้ง มีปริมาณฝนลดลง ในภาคใต้มีปริมาณฝนเพิ่มมากขึ้นเป็นบริเวณกว้าง ภายใต้แบบ A2 มีฝนตกเพิ่มขึ้นกระจายตามแนวเชิงเขาทั่วประเทศ บริเวณส่วนใหญ่ของประเทศตอนบน มีฝนลดลง เป็นสภาพแห้งแล้ง และในภาคใต้ส่วนใหญ่มีฝนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับภายใต้ Scenario A1B (รูปที่ 3.6)

ปริมาณน้ำฝนในฤดูฝนในช่วง ค.ศ.2010–2019, 2020–2029, 2030–2039 ภายใต้แบบ A1B พบว่า ปริมาณฝนไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับค่าในอดีต ยกเว้นภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีปริมาณฝนลดลง ส่วนภาคใต้มีปริมาณฝนเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวก็พบภายใต้แบบ A2 (รูปที่ 3.7)

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสำหรับประเทศไทยขึ้นอยู่กับข้อมูลภูมิอากาศโลก CCSM3 mesoscale process จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศเพื่อนบ้าน มหาสมุทร และลักษณะภูมิประเทศเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งบ่งชี้ได้จากในขนาดต่ออุณหภูมิอากาศของพื้นที่ภาคใต้ที่มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงขึ้น นอกจากนี้ การเคลื่อนที่ขึ้นของอากาศตามแนวไหล่เขาช่วยให้ฝนตกเพิ่มขึ้นในบริเวณภูเขา ขณะที่พื้นที่ราบส่วนใหญ่ของประเทศมีฝนลดลง

สรุป

ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่มีทิศทางการพัฒนาแบบ A1B และ A2 มีความแตกต่างกันเนื่องจากค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกหลักที่แตกต่างกันในแต่ละทศวรรษ ทำให้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศตามฤดูกาลในอนาคตต่างกัน โดยในช่วงปี ค.ศ.2010–2019 แบบ A1B มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าแบบ A2 ช่วงปี ค.ศ.2020–2029 ค่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซ

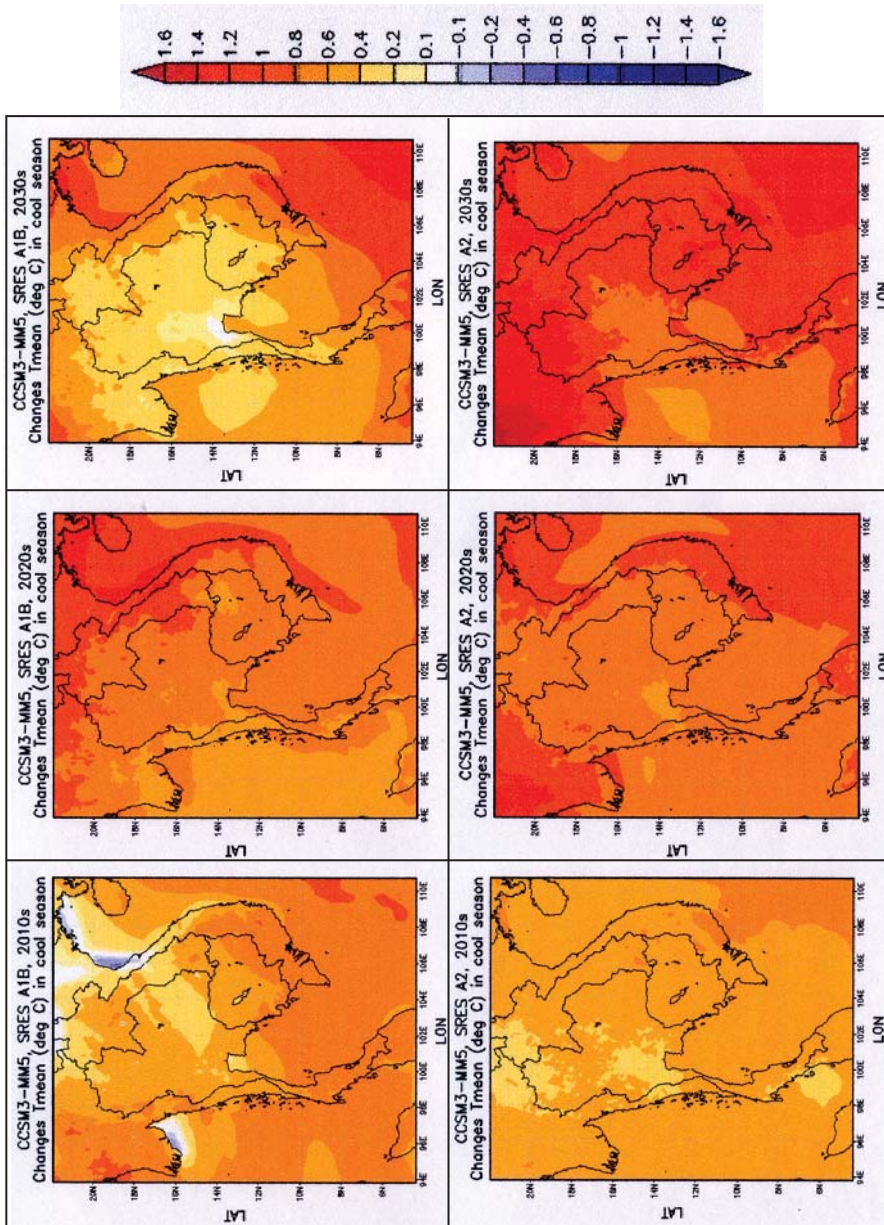


คาร์บอนไดออกไซด์จากทั้งสองแบบไม่แตกต่างกัน ขณะที่ ช่วงปี ค.ศ. 2030–2039 อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแบบ A1B มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแบบ A2

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสำหรับประเทศไทยขึ้นอยู่กับข้อมูลนำเข้าภูมิอากาศโลก CCSM3 และ Mesoscale process จากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศเพื่อนบ้าน มหาสมุทร และลักษณะภูมิประเทศเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งบ่งชี้ได้จากในอนาคตอุณหภูมิอากาศของพื้นที่ภาคใต้ที่มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงขึ้น นอกจากนี้ การเคลื่อนที่ของอากาศตามไหล่เขาช่วยให้ฝนตกเพิ่มขึ้นในบริเวณภูเขา ขณะที่พื้นที่ราบส่วนใหญ่ของประเทศมีฝนลดลง

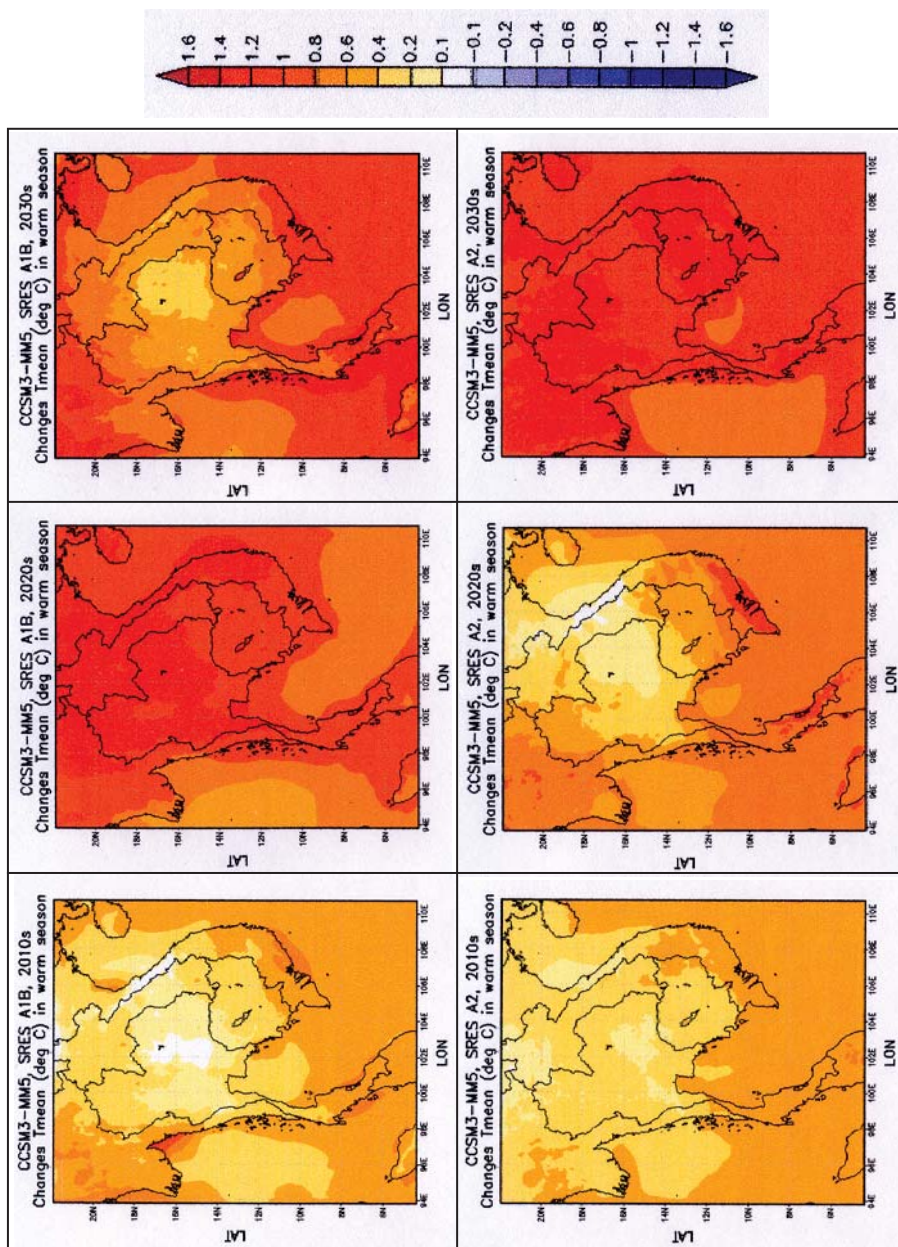
ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพภูมิอากาศอาจไม่ถูกต้องทั้งหมด แต่คณะผู้วิจัยได้ปรับให้มีความใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด โดยเปรียบเทียบผลจากการจำลอง MM5-RCM กับค่าตรวจวัดจากกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดซึ่งแตกต่างกันไม่เกิน 5° องศาเซลเซียส แต่ปริมาณฝนจากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าที่ตรวจวัดจริง เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มี physic scheme ที่เหมาะสมสำหรับการจำลองปริมาณฝนในเขตร้อน โดยเฉพาะประเทศไทย แต่นักวิทยาศาสตร์ในสาขานี้ในประเทศที่พัฒนายังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง อนาคตอาจมี physic scheme ที่ดีและเหมาะสมต่อการศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสำหรับประเทศไทยในอนาคตได้



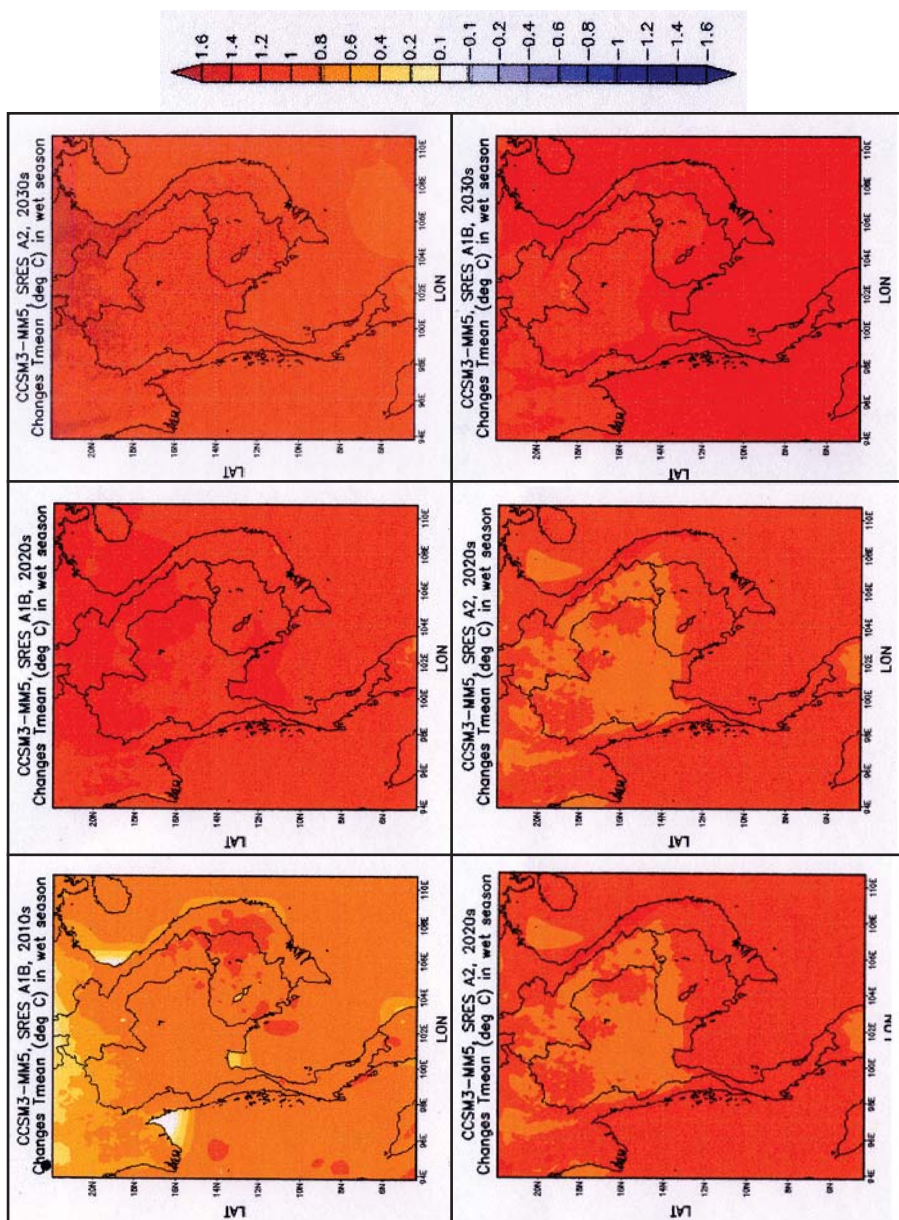


รูปที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูหนาวในทศวรรษที่ 2010, 2020 และ 2030 เทียบกับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของฤดูหนาว ปี ค.ศ. 1970-1999 ตาม IPCC SRES A1B และ A2



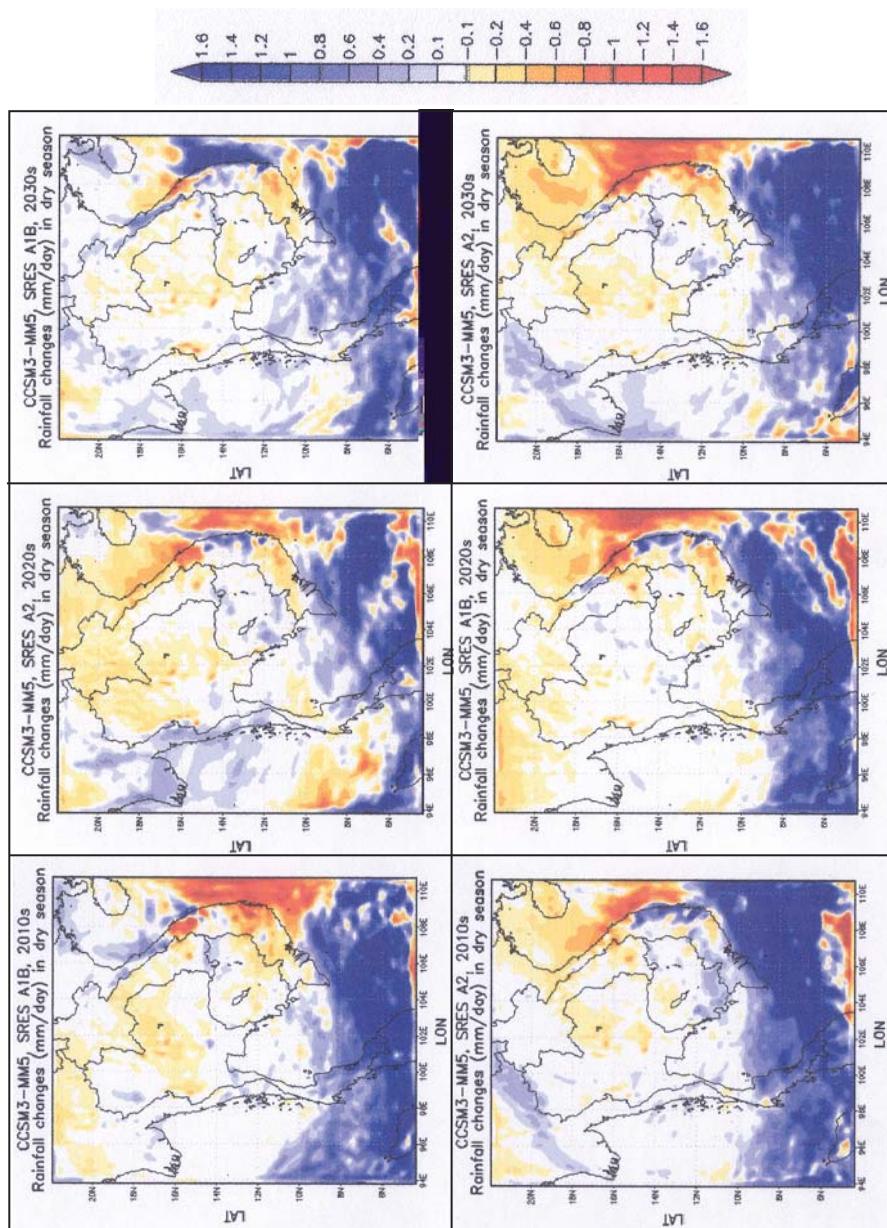


รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อนในทศวรรษที่ 2010, 2020 และ 2030 เทียบกับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของ ฤดูร้อนปี ค.ศ. 1970-1999 ตาม IPCC SRES A1B และ A2

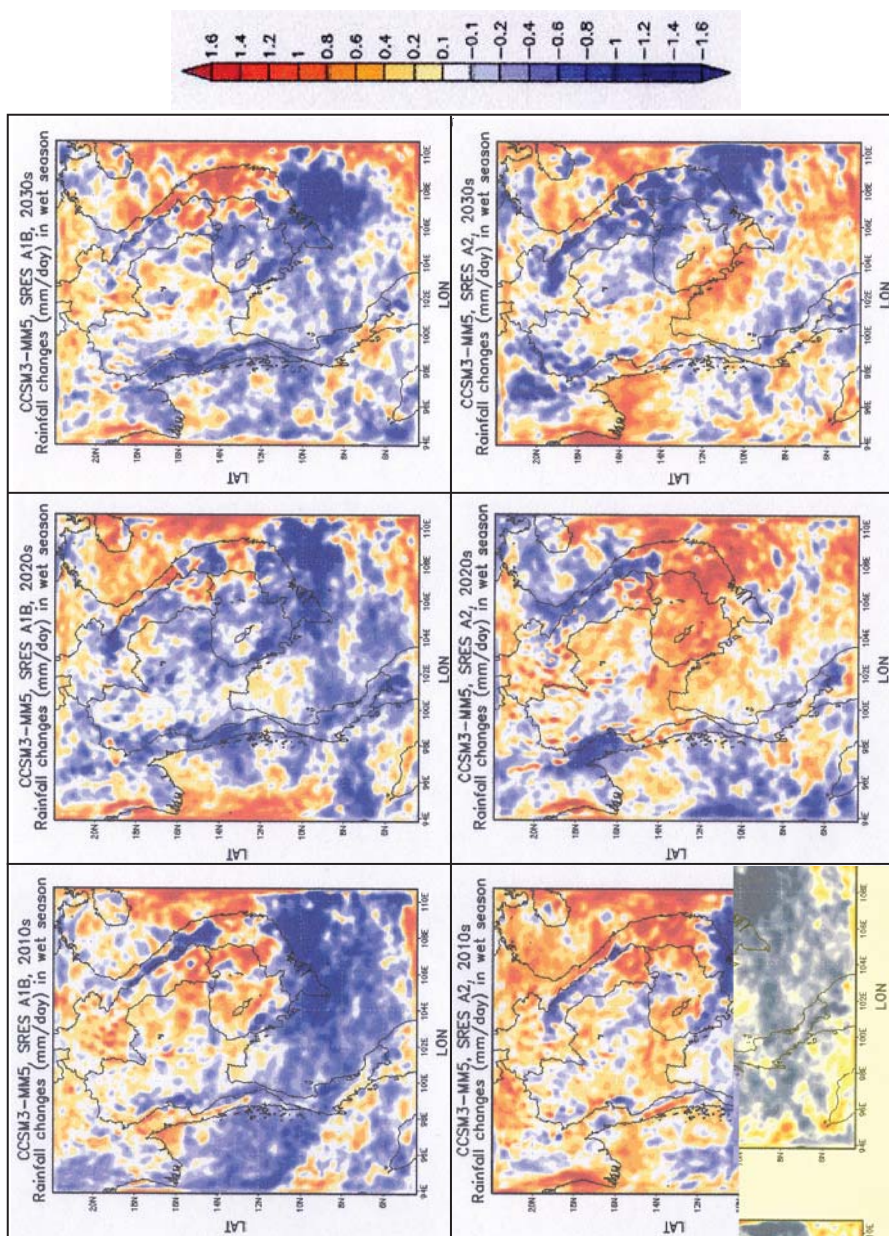


รูปที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูฝนในทศวรรษที่ 2010, 2020 และ 2030 เทียบกับค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของ
ฤดูฝน ค.ศ. 1970-1999 ตาม IPCC SRES A1B และ A2





รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) ของทศวรรษที่ 2010, 2020 และ 2030 เทียบกับค่าปริมาณน้ำฝนในฤดูแล้งในอดีต ช่วง ค.ศ. 1970-1999 ตาม IPCC SRES A1B และ A2



รูปที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) ของทศวรรษที่ 2010, 2020 และ 2030 เทียบกับค่าปริมาณน้ำฝนในฤดูฝนในอดีต ช่วง ค.ศ. 1970-1999 ตาม IPCC SRES A1B และ A2





4

ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ของประเทศไทย จากผลของการย่อส่วนแบบจำลอง ภูมิอากาศโลก - GFDL-R30

รศ.ดร.กัณห์รีย์ บุญประกอบ¹, ดร.จิรสรณ์ สันติสิริสมบุญ², ดร.จารุทัศน์ สันติสิริสมบุญ¹,
อ.วรัญญู วงษ์เสรี², อ.พัชมน แก้วแพรก², อ.กัมพล พรหมจิระประวัติ², อ.สิริวรินทร์ เพชรรัตน์²,
ดร.ยอด สุขะมงคล², น.ส.ปวันรัตน์ อักษรสิงห์ชัย², และน.ส.ขวัญฤทัย ศรีแสงฉาย²



¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

4.1 การจำลองสภาพภูมิอากาศโดยการย่อส่วน/ลดขนาดด้วยสถิติแบบจำลองภูมิอากาศโลก

เทคนิค “การปรับให้เป็นระดับภูมิภาค” เพื่อใช้จำลองข้อมูลระดับภูมิภาคในสเกลละเอียดจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกโดยการย่อส่วน/ลดขนาดด้วยสถิติ เป็นวิธีการที่ประหยัดเวลาการคำนวณ และยังสามารถให้ข้อมูลในระดับท้องถิ่นซึ่งจำเป็นสำหรับการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ในบทนี้ เป็นการเสนอผลการจำลองสภาพภูมิอากาศ โดยใช้วิธีการทางสถิติในการย่อส่วนผลลัพธ์ของ GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory-R30) ตามรูปแบบการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม การเติบโตของประชากร และเทคโนโลยีในอนาคต (Special Report on Emission Scenarios, SRES) 2 รูปแบบ คือ A2 และ B2 หน่วยแยกต่าง (Grid resolution) จากการย่อส่วนมีขนาด 0.5° ละติจูด x 0.5° ลองจิจูด หรือมีพื้นที่ประมาณ 50 x 50 กิโลเมตร ข้อมูลภูมิอากาศที่ดำเนินการย่อส่วนประกอบด้วยข้อมูลรายวันของอุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณหยาดน้ำฟ้า ความดันบรรยากาศ ความยาวนานแสงแดด ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

4.1.1 หลักการ

การย่อส่วน/ลดขนาดผลลัพธ์แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกด้วยสถิติ ประกอบด้วยหลายวิธีการ เช่น การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น-ไม่เชิงเส้น (linear and non-linear regression), ข่ายงานระบบประสาทเทียม (artificial neural networks, ANN), canonical correlation analyses (CCA), principal components analyses (PCA) เป็นต้น การประยุกต์วิธีการดังกล่าวในประเทศไทยยังมีจำกัด ในการศึกษาซึ่งเป็นการศึกษาเบื้องต้นจะประยุกต์วิธีการถดถอยเชิงเส้น-ไม่เชิงเส้น

กระบวนการทางสถิติเพื่อลดขนาดแบบจำลองภูมิอากาศโลก โดยทั่วไปจะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวทำนาย (predictor) คือ ข้อมูลภูมิอากาศในอดีตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก และตัวถูกทำนาย (predictand) คือ สถิติข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากการตรวจวัด ณ สถานีตรวจอากาศในช่วงเวลาที่สัมพันธ์กัน ซึ่งอาจมีความถี่ของข้อมูลเป็นรายวันหรือเฉลี่ยรายเดือน และใช้ข้อความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้ในการประมาณค่าอนาคตของข้อมูล



อุตุนิยมวิทยา ณ สถานีตรวจวัดโดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศอนาคตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก เป็นข้อมูลนำเข้า ค่าที่ได้จากการประมาณจะใช้สำหรับการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศต่อไป การสร้างภาพจำลองโดยการลดขนาดจึงประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ส่วน คือ

- 1) การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศในอดีตจากแบบจำลอง ภูมิอากาศโลก และสถิติข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากการตรวจวัด ณ สถานีตรวจอากาศ ของประเทศไทย
- 2) ประยุกต์ความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ในการประมาณค่าข้อมูลอุตุนิยมวิทยานาคต โดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกเป็นตัวแปรนำเข้าเพื่อประมาณค่าตัวแปร ภูมิอากาศท้องถิ่นในอนาคต ณ สถานีตรวจวัดอากาศของประเทศไทยให้ครบทุก สถานี
- 3) ประยุกต์ใช้วิธีการประมาณค่าในช่วง-นอกช่วง (interpolation and extrapolation) เพื่อประมาณค่าตัวแปรภูมิอากาศ ณ บริเวณศูนย์กลางของหน่วยแยกต่าง

แบบจำลองภูมิอากาศโลก ที่ใช้เป็นตัวทำนายในการศึกษาครั้งนี้ คือ ผลลัพธ์ของ GFDL-R30 โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1 ผลของการย่อส่วนมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2 การย่อ ส่วนจะไม่สามารถดำเนินการในช่วง ค.ศ. 2030 – 2039 เนื่องจากไม่มีข้อมูลตัวทำนายจาก GFDL-R30

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดแบบจำลองภูมิอากาศที่ใช้เป็นตัวทำนาย

ขอบเขต	รายละเอียด
แบบจำลองภูมิอากาศโลก	GFDL-R30
ปีฐาน	ค.ศ.1965-1990
ปีอนาคต	ค.ศ.2010-2029 และ ค.ศ.2040-2059
ขนาดหน่วยแยกต่าง	2.20o ละติจูด x 3.75o ลองจิจูด
ความละเอียดเชิงเวลา	รายวัน
SRES Scenario	A2 และ B2
ตัวทำนายที่ประยุกต์ใช้	อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ปริมาณหยาดน้ำฟ้า รังสีอาทิตย์ และการระเหย



ตารางที่ 4.2 รายละเอียดผลลัพธ์จากแบบจำลองการย่ส่วน/ลดขนาดด้วยสถิติ

ขอบเขต	รายละเอียด
แบบจำลองการลดขนาด	การย่ส่วนด้วยสถิติ
ปีฐาน	ค.ศ. 1965 – 1990
ปีอนาคต	ค.ศ. 2010 – 2029 และ ค.ศ. 2040 – 2059*
ขนาดหน่วยแยกต่าง	0.5° ละติจูด x 0.5° ลองจิจูด
ความละเอียดเชิงเวลา	รายวัน
ขอบเขตพื้นที่	ละติจูด 5 – 22° เหนือ ลองจิจูด 95 – 105° ตะวันออก
ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ของปี 2010 2019 2029 2040 2049 และ 2059	อุณหภูมิเฉลี่ย สูงสุด ต่ำสุด ปริมาณหยาดน้ำฟ้า ความชื้นสัมพัทธ์ ความยาวนานแสงแดด ความดันบรรยากาศและความเร็วลม

4.1.2 การย่ส่วนด้วยสถิติและการจัดเตรียมข้อมูล

การสร้างภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทยโดยการย่ส่วนแบบจำลองภูมิอากาศโลก มีขั้นตอนการดำเนินการโดยสรุป ดังนี้

การย่ส่วนด้วยสถิติ

1) กำหนดให้พื้นที่ประเทศไทยแบ่งออกเป็นหน่วยแยกต่าง (resolution cell) แต่ละหน่วยมีขนาด 0.5° ละติจูด x 0.5° ลองจิจูด (ประมาณ 50 x 50 กิโลเมตร²) ทั้งนี้เพื่อให้สัมพันธ์กับข้อมูลสถานการณ์จำลองของสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ซึ่งมักแสดงผลหน่วยแยกต่างในรูปแบบพิกัดละติจูด-ลองจิจูด

2) รวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากการตรวจวัดของสถานีตรวจอากาศครอบคลุมพื้นที่ของประเทศไทย และข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศ GFDL-R30

3) จัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่จะใช้วิเคราะห์

4) กำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่น และตัวแปรภูมิอากาศหน่วยแยกต่างสเกลหยาบ วิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของความสัมพันธ์โดยอาศัยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R) เป็นดัชนีในการเปรียบเทียบ

5) ประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญในการประมาณค่าตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่นในอนาคต ณ ตำแหน่งของสถานีตรวจอากาศ โดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลอง GFDL-R30 เป็นตัวแปรนำเข้า

6) ประมาณค่าตัวแปรภูมิอากาศในอนาคตที่บริเวณศูนย์กลางของหน่วยแยกต่างจากตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่น ณ ตำแหน่งของสถานีตรวจอากาศ 4 สถานีที่อยู่ใกล้ศูนย์กลางหน่วย



แตกต่างกันที่สุด โดยการใช้การประมาณค่าในช่วง และการประมาณค่านอกช่วง

7) ประมาณค่าตัวแปรภูมิอากาศในอนาคตที่บริเวณศูนย์กลางของหน่วยแยกต่างซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นทั้งในรูปแบบความสัมพันธ์ทางกายภาพ และความสัมพันธ์แบบเอมพิริคัล เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น

8) สอเทียบข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศในอนาคตที่บริเวณศูนย์กลางของหน่วยแยกต่างที่ประมาณค่าได้ และจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ รวมถึงการประมวลผลในรูปแบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การจัดเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ข้อมูลสถิติภูมิอากาศของประเทศไทยจากการตรวจวัดบริเวณสถานีตรวจอากาศ และข้อมูลภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง GFDL-R30 ซึ่งเป็นข้อมูลของหน่วยแยกต่าง (grid resolution) ที่มีสเกลขนาดใหญ่ การจัดเตรียมข้อมูลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง GFDL-R30

ข้อมูลภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง GFDL-R30 สามารถดาวน์โหลดได้จากฐานข้อมูลของ Intergovernmental Panel on Climate Change Data Distribution Center (IPCC DDC) ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นค่ารายวันของทุกหน่วยแยกต่างครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก ไฟล์ข้อมูลจึงมีขนาดใหญ่ ซึ่งการสร้างภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทยโดยการลดขนาดแบบจำลองภูมิอากาศโลกจะใช้ข้อมูลเฉพาะหน่วยแยกต่างในพื้นที่ประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นจึงต้องจัดเตรียมข้อมูลเพื่อแยกข้อมูลเฉพาะส่วนที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่น ข้อมูลที่ผ่านกระบวนการแล้วจะมีขนาดเล็กลงและอยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปได้โดยตรง

2) ข้อมูลสถิติภูมิอากาศของประเทศไทย

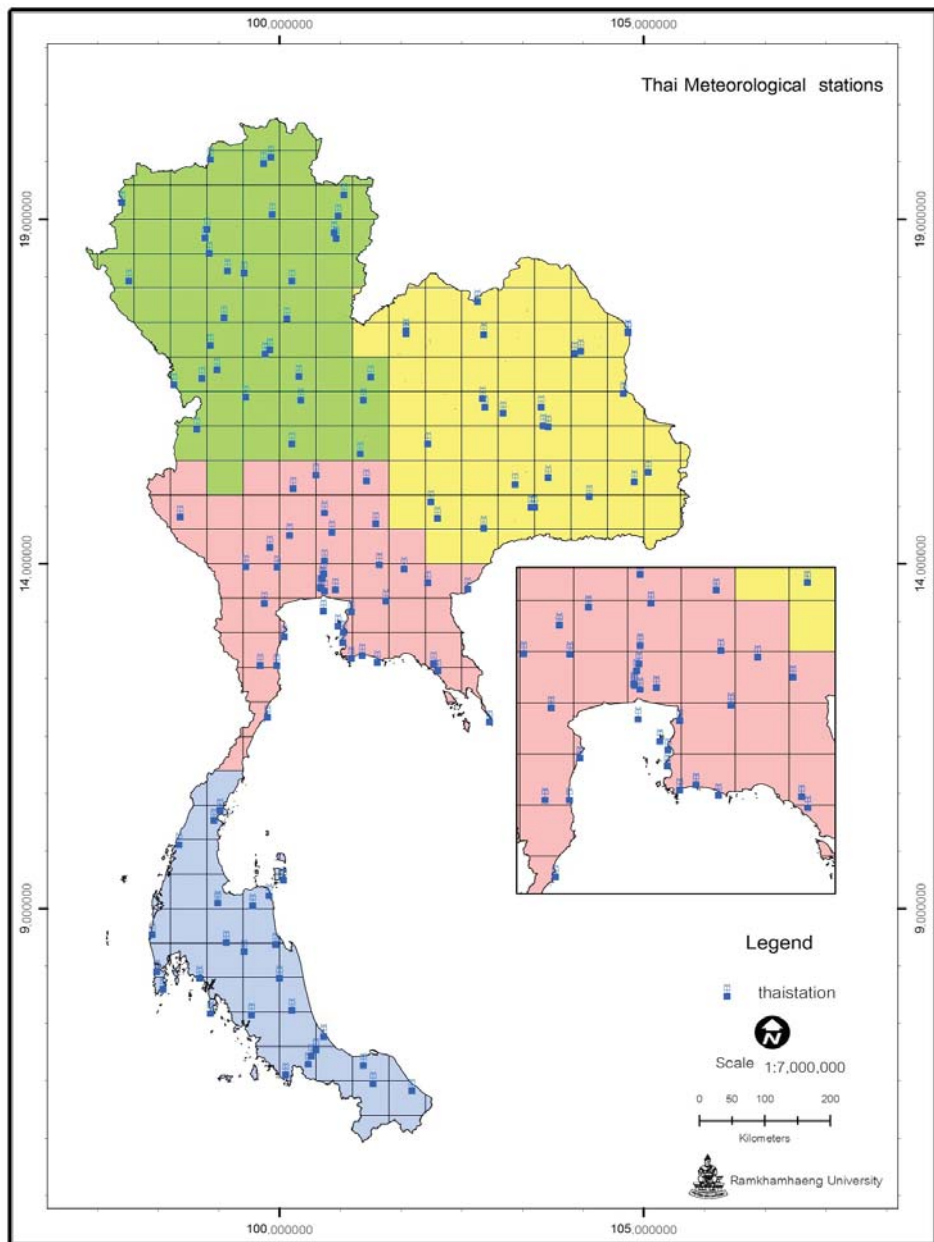
ข้อมูลสถิติภูมิอากาศของประเทศไทยที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นข้อมูลจากการตรวจวัด ณ สถานีตรวจอากาศพื้นผิว และสถานีตรวจอากาศเกษตร จำนวนทั้งสิ้น 119 สถานี ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย ดังรูปที่ 4.1 ข้อมูลที่พิจารณา ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความยาวนานแสงแดด ความดันบรรยากาศ ความเร็วลม และปริมาณหยาดน้ำฟ้า

3) การแบ่งพื้นที่ประเทศไทย

การย่อส่วน/ลดขนาดแบบจำลองภูมิอากาศโลกให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่มากขึ้นในการศึกษานี้จะแบ่งประเทศไทยออกเป็นออกเป็นหน่วยแยกต่าง (grid resolution) ขนาด

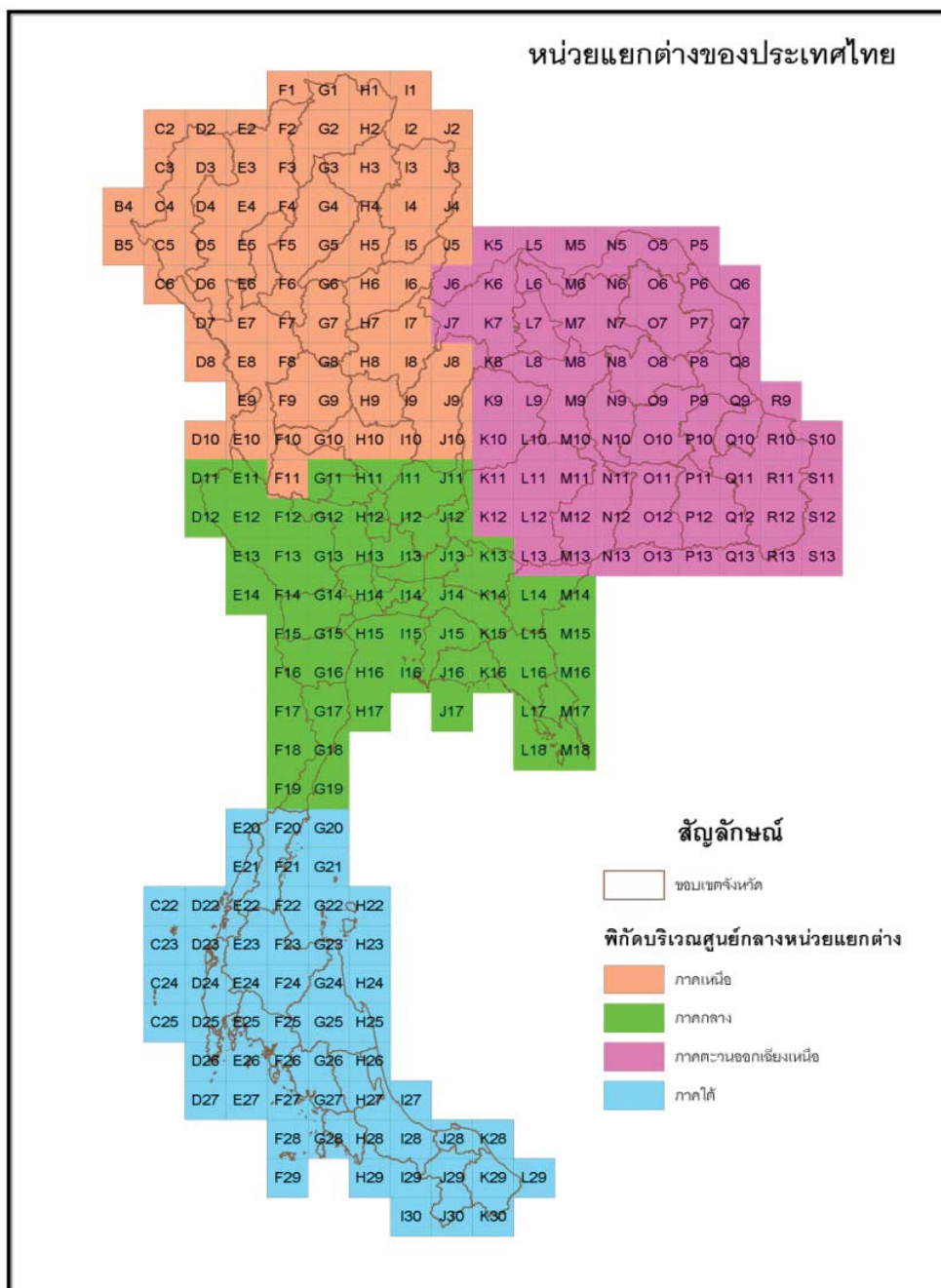


0.5° ละติจูด x 0.5° ลองจิจูด หรือประมาณ 50 x 50 กิโลเมตร² รวมมีจำนวนหน่วยแยกต่าง
ทั้งสิ้น 257 หน่วย ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจอากาศของประเทศไทย





รูปที่ 4.2 หน่วยแยกต่าง (Grid) ของประเทศไทย ขนาด 0.5๐ ละติจูด ´ 0.5๐ ลองจิจูด

4.1.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศหรือตัวทำนาย และข้อมูลสถิติอุตุนิยมวิทยาท้องถิ่นหรือตัวถูกทำนาย มีขั้นตอนการดำเนินการที่สำคัญ คือ การกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ซึ่งส่งผลให้การประมาณค่ามีความถูกต้องมากที่สุด รูปแบบความสัมพันธ์พื้นฐานที่ประยุกต์ใช้ คือ ความสัมพันธ์ในลักษณะฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear function)

$$\text{ClimVar}_{i,\text{station } j} = a_{i,\text{station } j} + \sum_{p=1}^m \left[\sum_{k=1}^n (b_{i,\text{station } j,\text{grid } k,\text{variable } p} \times \text{GridVar}_p) \right] \quad (4.1)$$

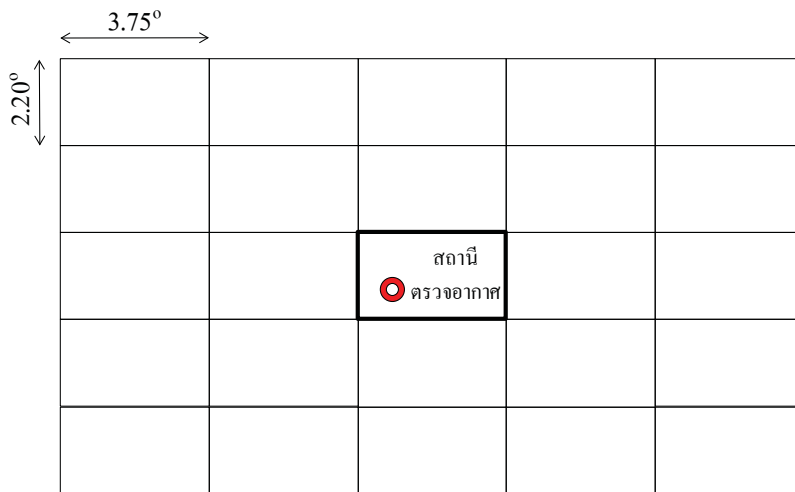
เมื่อ

$\text{ClimVar}_{i,\text{station } j}$ คือ ตัวแปรภูมิอากาศ i ของสถานีตรวจอากาศท้องถิ่น j
 $a_{i,\text{station } j}$ คือ ค่าคงที่ฟังก์ชันของตัวแปรภูมิอากาศ i สถานีตรวจอากาศท้องถิ่น j
 $b_{i,\text{station } j,\text{grid } k,\text{variable } p}$ คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรภูมิอากาศของ i สถานีตรวจอากาศท้องถิ่น j และตัวแปรภูมิอากาศหน่วยแยกต่างสเกลหยาบ p
 GridVar_p คือ ตัวแปรภูมิอากาศหน่วยแยกต่างสเกลหยาบ p

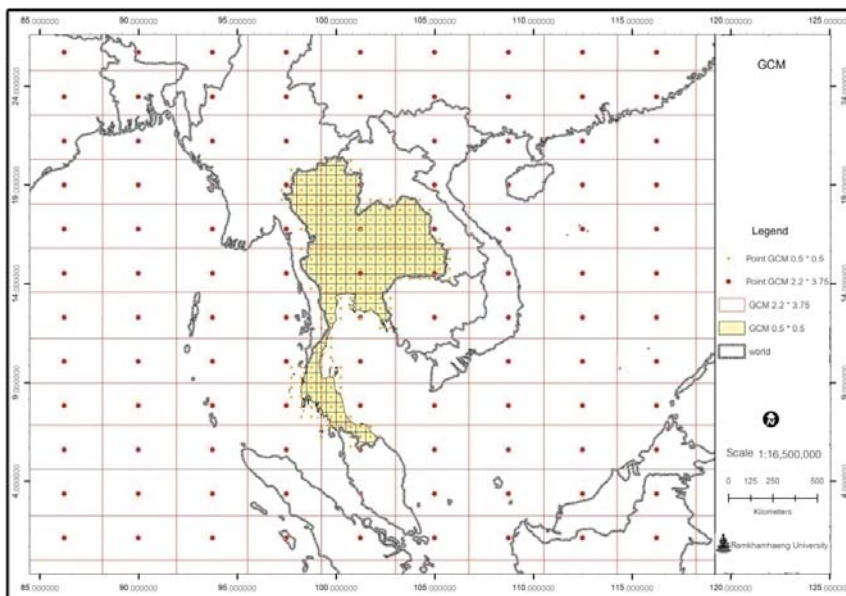
ตัวแปรภูมิอากาศหน่วยแยกต่างสเกลหยาบ (GridVar_p) จะคัดเลือกจาก GCM-GFDL-R30 จำนวน 25 หน่วยแยกต่างซึ่งมีลักษณะเป็นอะเรย์ที่มีมิติ 5×5 โดยกำหนดให้สถานีตรวจอากาศท้องถิ่นอยู่ภายในหน่วยแยกต่างซึ่งเป็นกึ่งกลางของอะเรย์ ดังรูปที่ 4.3 รูปที่ 4.4

การวิเคราะห์หาค่าคงที่ และสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันความสัมพันธ์ในการศึกษานี้ ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด ดำเนินการโดยใช้แบบจำลองสำเร็จรูป WEKA (<http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาค่าคงที่และสัมประสิทธิ์การถดถอย รวมถึงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)





รูปที่ 4.3 อะเรย์หน่วยแยกต่างของ GCM และสถานีตรวจอากาศ



รูปที่ 4.4 หน่วยแยกต่างของ GCM และหน่วยแยกต่างของประเทศไทย

4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศโลก และข้อมูลภูมิอากาศจากการตรวจวัดของประเทศไทย

4.2.1 การประมาณค่าตัวแปรในหน่วยแยกต่าง

ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่น และตัวแปรภูมิอากาศหน่วยแยกต่างสเกลหยาบจะใช้ในการประมาณค่าข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่นในอนาคตโดยอาศัยข้อมูลจาก GCM-GFDL-R30 เป็นตัวแปรนำเข้า หรือตัวทำนาย ผลที่ได้จากการประมาณค่า คือ ข้อมูลภูมิอากาศอนาคต ณ บริเวณสถานีตรวจอากาศทั้ง 119 สถานีครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย ขั้นตอนต่อไปคือการประมาณค่าข้อมูลภูมิอากาศอนาคตของท้องถิ่นในแต่ละหน่วยแยกต่าง ดำเนินการโดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) แบ่งหน่วยแยกต่าง (0.5° ละติจูด x 0.5° ลองจิจูด) ออกเป็นอะเรย์ย่อยจำนวน 10×10 หรือ 100 หน่วยย่อย (0.05° ละติจูด x 0.05° ลองจิจูด ต่อหน่วยย่อย)
- 2) ประมาณค่าภูมิอากาศอนาคตของแต่ละหน่วยย่อยจากข้อมูลภูมิอากาศ (CImVar) ที่คัดเลือกจากสถานีตรวจอากาศ 4 สถานีซึ่งกระจายอยู่โดยรอบทั้ง 4 ทิศและมีระยะห่างจากศูนย์กลางของหน่วยย่อยต่ำสุด ดังรูปที่ 4.5 โดยวิธีการประมาณค่าในช่วงหรือนอกช่วง (interpolation/ extrapolation)

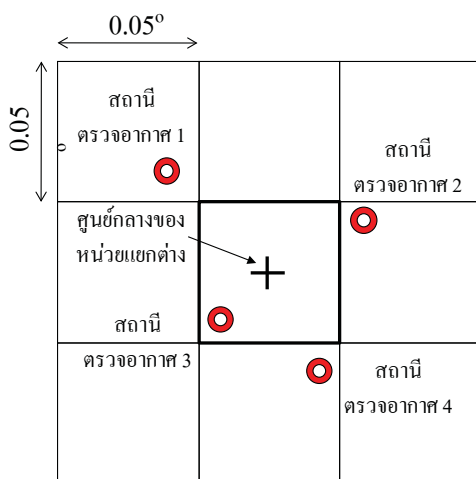
$$\text{CImVar}_{\text{grid } i} = \frac{\sum_{j=1}^4 \text{CImVar}_{\text{station } j} / D_{\text{station } j-\text{grid } i}}{\sum_{j=1}^4 1/D_{\text{station } j-\text{grid } i}} \quad (4.2)$$

เมื่อ

- $\text{CImVar}_{\text{grid } i}$ คือ ค่าตัวแปรอุตุนิยมวิทยาที่บริเวณศูนย์กลางของหน่วยแยกต่าง i
 $D_{\text{station } j-\text{grid } i}$ คือ ระยะห่างระหว่างสถานี j และจุดศูนย์กลางของหน่วยแยกต่าง i

- 3) คำนวณค่าข้อมูลภูมิอากาศอนาคตของหน่วยแยกจากค่าเฉลี่ยของ 100 หน่วยย่อย ข้อมูลภูมิอากาศอนาคตของหน่วยแยกต่างที่ประมาณค่าได้จากวิธีการข้างต้นจะถูกเทียบมาตรฐาน เพื่อให้ค่าเฉลี่ยข้อมูลภูมิอากาศของอะเรย์หน่วยแยกต่างมีค่าที่สัมพันธ์กับข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศหน่วยแยกต่างสเกลหยาบจาก GCM-GFDL-R30 การเทียบมาตรฐานนี้จะดำเนินการเฉพาะข้อมูลที่มีอยู่ใน GCM-GFDL-R30 เท่านั้น ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย และความดันบรรยากาศ





รูปที่ 4.5 การคัดเลือกสถานีตรวจอากาศเพื่อประมาณค่า ClmVar

4.2.2 การประมาณค่าตัวแปรภูมิอากาศที่สัมพันธ์กับตัวแปรอื่น

ตัวแปรอุตุนิยมวิทยาที่เป็นเป้าหมายการสร้างภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทยนั้นมีตัวแปรบางส่วนซึ่งมีความสัมพันธ์ทั้งในทางกายภาพกับตัวแปรอื่น เช่น ความชื้นจำเพาะ และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น ตัวแปรเหล่านี้จะไม่ดำเนินการลดขนาดโดยตรง แต่จะประมาณค่าจากความสัมพันธ์ซึ่งมีตัวแปรจากการลดขนาดเป็นข้อมูลนำเข้า ในการศึกษานี้จะประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวในการประมาณค่าความชื้นสัมพัทธ์

อากาศเป็นของผสมของไนโตรเจน ออกซิเจน และก๊าซอื่น ๆ ในปริมาณน้อย ตามปกติอากาศในบรรยากาศมีไอน้ำหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าความชื้นเป็นส่วนประกอบ และมักเรียกว่าอากาศบรรยากาศ อากาศที่ไม่มี ความชื้นจะเรียกว่าอากาศแห้ง ดังนั้นจึงอาจกำหนดให้อากาศบรรยากาศเป็นของผสมระหว่าง ไอน้ำ และอากาศแห้ง องค์ประกอบของอากาศแห้งนั้นมีค่าคงที่ แต่ปริมาณไอน้ำจะเปลี่ยนแปลงตามการระเหย และการควบแน่นของแหล่งน้ำ รวมถึงการคายน้ำจากพืชและสิ่งมีชีวิต

$$P = P_a + P_v \quad (4.3)$$

- เมื่อ
- P คือ ความดันบรรยากาศ (kPa)
 - P_a คือ ความดันของอากาศแห้ง (kPa)
 - P_v คือ ความดันของไอน้ำ (kPa)



การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอากาศบรรยากาศนั้นจำเป็นต้องมีการตั้งสมมติฐานที่สำคัญ คือ การสมมติให้อากาศแห้ง และไอน้ำประพฤติตัวเป็นก๊าซอุดมคติ สมมติฐานดังกล่าวอาจส่งผลให้ความแม่นยำของการประมาณค่าลดลง แต่จะทำให้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ได้ง่ายและสะดวกมากขึ้น ดังนั้น

$$P_v = \frac{R_v T}{v_g} \quad (4.4)$$

เมื่อ R_v คือ ค่าคงที่ของน้ำ ($0.4615 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K}$)
 T คือ อุณหภูมิบรรยากาศ (K)
 v_g คือ ปริมาตรจำเพาะของไอน้ำ (m^3/kg)

ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, ϕ) คือ ปรมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศต่อความชื้นสูงสุดที่อากาศรับได้ภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน

$$\phi = \frac{\omega P}{(0.622 + \omega) P_g} \quad (4.5)$$

เมื่อ ω คือ ความชื้นจำเพาะ (specific humidity, kg water vapour/kg dry air)
 P_g คือ ความดันอิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมิ T (kPa)

$$\omega = \frac{0.622 P_v}{P - P_v} \quad (4.6)$$

$$P_g = \frac{e^{\frac{C_1}{T} + C_2 + C_3 T + C_4 T^2 + C_5 T^3 + C_6 \ln(T)}}{1,000} \quad (4.7)$$

เมื่อ $C_1 = -5.8002206 \times 10^3$
 $C_2 = -5.5162560$
 $C_3 = -4.8640239 \times 10^{-2}$
 $C_4 = 4.1764768 \times 10^{-5}$
 $C_5 = -1.4452093 \times 10^{-8}$
 $C_6 = 6.5459673$



ดังนั้น ความชื้นสัมพัทธ์อนาคต ณ บริเวณสถานีตรวจอากาศจึงประมาณค่าได้จากความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิเฉลี่ยซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการย่อส่วนด้วยสถิติที่กล่าวมาแล้วข้างต้น การประยุกต์ใช้หลักการดังกล่าวมีจุดประสงค์เพื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ประมาณค่าได้นั้นสัมพันธ์กับตัวแปรภูมิอากาศที่ได้จากการย่อส่วน ซึ่งหากไม่ดำเนินการในลักษณะดังกล่าวแล้วค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ประมาณค่าได้อาจขัดแย้งกับอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ

4.2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศโลกจาก GFDL-R30 หรือตัวทำนาย และข้อมูลภูมิอากาศจากการตรวจวัด ณ สถานีตรวจอากาศ หรือตัวถูกทำนาย จะคัดเลือกข้อมูลจาก GFDL-R30 จำนวน 25 หน่วยแยกต่าง โดยกำหนดให้สถานีตรวจอากาศอยู่ภายในหน่วยแยกต่างซึ่งเป็นหน่วยกลางของอะเรียตัวแปรภูมิอากาศที่คัดเลือกเป็นตัวทำนายของแต่ละหน่วยแยกต่าง ได้แก่ อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ปริมาณหยาดน้ำฟ้า ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีอาทิตย์ และการระเหย ดังนั้นตัวทำนายสำหรับประมาณค่าตัวถูกทำนายหรือข้อมูลภูมิอากาศท้องถิ่นแต่ละค่าต่อสถานีตรวจอากาศมีจำนวน 150 ค่า ($25 \times 6 = 150$)

ผลการวิเคราะห์การถดถอยพบว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงสุดและต่ำสุดของตัวถูกทำนายภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 แสดงดังตารางที่ 4.3 ตัวถูกทำนายซึ่งมีความผันแปรของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในช่วงกว้าง เช่น ความเร็วลม มีค่าสูงสุด – ต่ำสุดในช่วง 0.7711 – 0.014

ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากการวิเคราะห์การถดถอย

ตัวถูกทำนาย	SRES A2		SRES B2	
	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์			
	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
อุณหภูมิเฉลี่ย	0.9568	0.4846	0.9236	0.4825
อุณหภูมิสูงสุด	0.9222	0.3177	0.8847	0.2601
อุณหภูมิต่ำสุด	0.9549	0.1117	0.9433	0.2567
ปริมาณหยาดน้ำฟ้า	0.8266	0.3378	0.8336	0.2254
ความดันบรรยากาศเฉลี่ย	0.9641	0.2000	0.9630	0.2000
ความยาวนานแสงแดด	0.7707	0.5575	0.8532	0.4467
ความเร็วลม	0.7711	0.0140	0.7022	0.0185



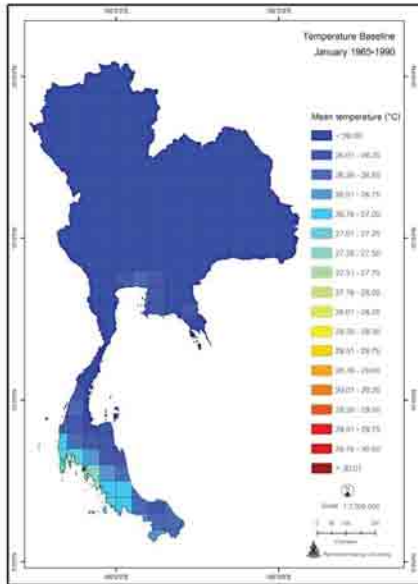
4.3 ผลการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศในอดีตของประเทศไทย ค.ศ. 1965-1990

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในช่วงปีฐาน หรือ ค.ศ. 1965-1990 ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความยาวนานแสงแดด ความดันบรรยากาศ ความเร็วลม และปริมาณหยาดน้ำฟ้า เป็นข้อมูลสถิติรายวันจากการตรวจวัด ณ สถานีตรวจอากาศ และสถานีตรวจอากาศเกษตร จำนวนทั้งสิ้น 119 สถานี การประมาณค่าข้อมูลดังกล่าว ณ บริเวณศูนย์กลางของหน่วยแยกต่างจำนวน 257 หน่วย ดำเนินการโดยการประมาณค่าในช่วง และการประมาณค่านอกช่วงจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่อยู่ใกล้เคียง 4 สถานี ข้อมูลรายเดือนโดยสรุปที่แสดงในการศึกษานี้ประกอบด้วย เดือนมกราคม เมษายน กรกฎาคม และตุลาคม

4.3.1 อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ย

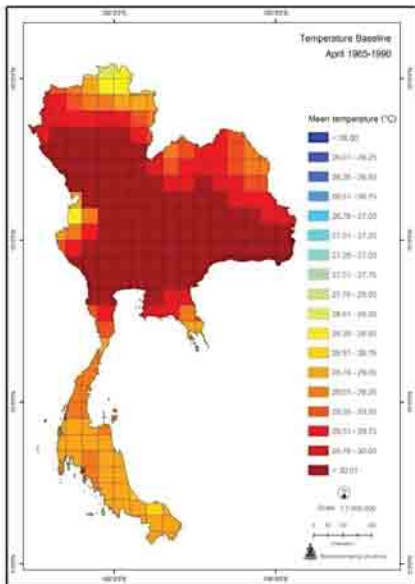
แผนที่แสดงหน่วยแยกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุด และอุณหภูมิสูงสุด แสดงดังรูปที่ 4.6 ถึง รูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.4





ก. มกราคม

- อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งประเทศ 24.25°C
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิเฉลี่ย
ละติจูด 20.33°C
ลองจิจูด 20.25°N
จังหวัดเชียงราย
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิเฉลี่ย 27.74°C
ละติจูด 7.25°N
ลองจิจูด 98.75°E
จังหวัดสุราษฎร์ธานี
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีอุณหภูมิ
ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 129
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 50.2

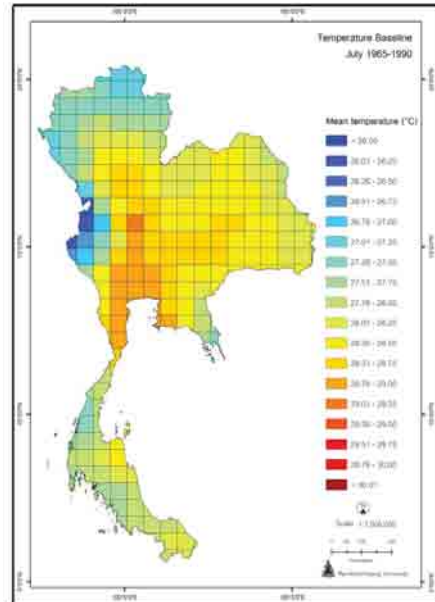


ข. เมษายน

- อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งประเทศ 29.70°C
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิเฉลี่ย 28.08°C
ละติจูด 20.25°N
ลองจิจูด 99.75°E
จังหวัดเชียงราย
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิเฉลี่ย 31.42°C
ละติจูด 15.75°N
ลองจิจูด 100.25°E
จังหวัดนครสวรรค์
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีอุณหภูมิ
ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 132
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 51.4

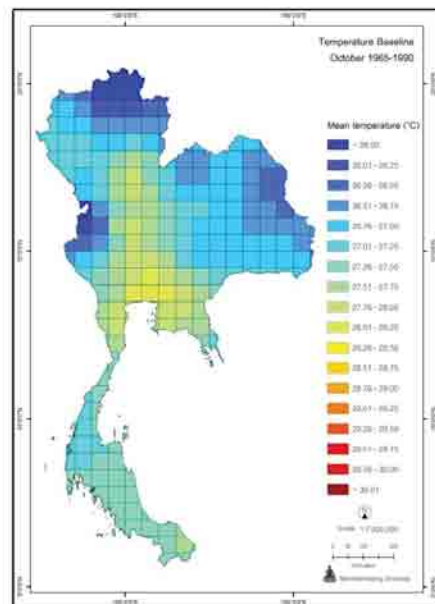
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนมกราคม และเมษายนของปีฐาน ค.ศ. 1965-1990

- อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งประเทศ 28.03°C
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิเฉลี่ย
 - ละติจูด 15.75°N
 - ลองจิจูด 98.25°E
 - จังหวัดตาก
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิเฉลี่ย 29.06°C
 - ละติจูด 15.75°N
 - ลองจิจูด 100.25°E
 - จังหวัดนครสวรรค์
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีอุณหภูมิ
 - ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 112
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
 - อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 43.6



ก. กรกฎาคม

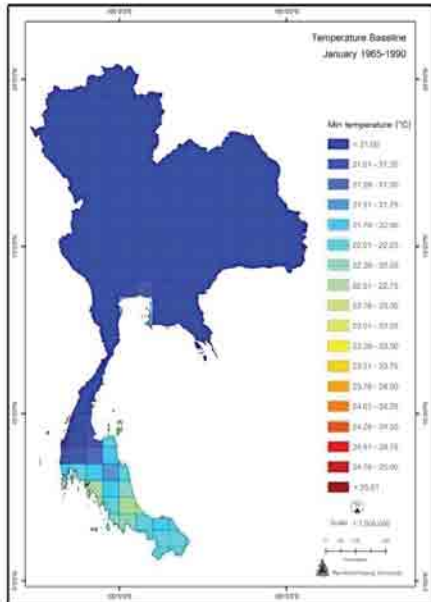
- อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นที่ทั้งประเทศ 27.10°C
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิเฉลี่ย 25.54°C
 - ละติจูด 20.25°N
 - ลองจิจูด 99.75°E
 - จังหวัดเชียงราย
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิเฉลี่ย 28.18°C
 - ละติจูด 13.75°N
 - ลองจิจูด 100.75°E
 - จังหวัดกรุงเทพมหานคร
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีอุณหภูมิ
 - ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 122
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
 - อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 47.5



ข. ตุลาคม

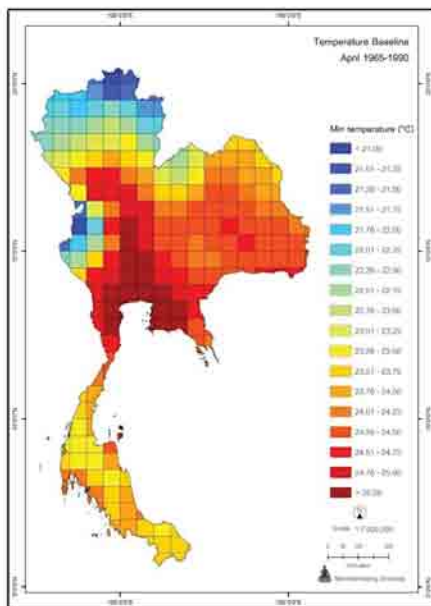
รูปที่ 4.7 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนกรกฎาคม และตุลาคมของปีฐาน ค.ศ. 1965-1990





ก. มกราคม

- อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยพื้นที่ทั้งประเทศ 17.77°C
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิต่ำสุด
ละติจูด 20.25°N
ลองกิจูด 99.75°E
จังหวัดเชียงราย
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิต่ำสุด
ละติจูด 9.25°N
ลองกิจูด 100.25°E
จังหวัดสุราษฎร์ธานี
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีอุณหภูมิ
ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 151
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 58.8



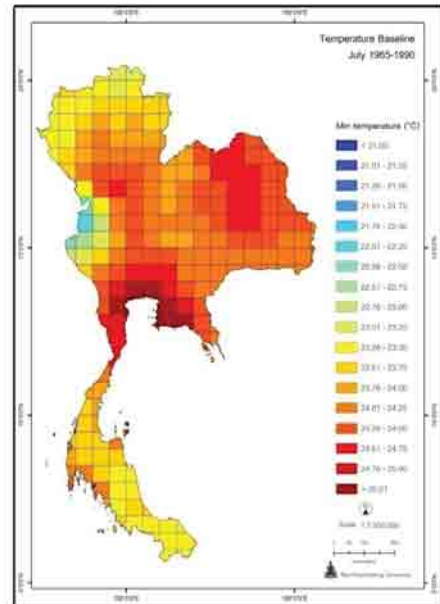
ข. เมษายน

- อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยพื้นที่ทั้งประเทศ 23.84°C
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิต่ำสุด
ละติจูด 15.75°N
ลองกิจูด 98.75°E
จังหวัดตาก
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิต่ำสุด
ละติจูด 13.25°N
ลองกิจูด 100.75°E
จังหวัดชลบุรี
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีอุณหภูมิ
ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 113
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 44.0

รูปที่ 4.8 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยเดือนมกราคม และเมษายนของปีฐาน ค.ศ.1965 - 1990

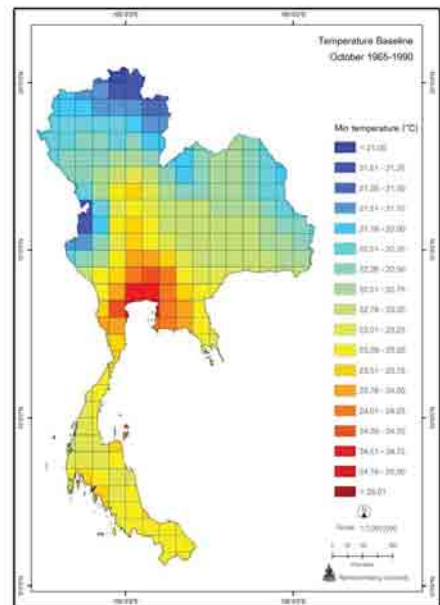


- อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยพื้นที่ทั้งประเทศ 24.05°C
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิต่ำสุด
 - ละติจูด 15.75°N
 - ลองจิจูด 98.75°E
 - จังหวัดตาก
 - ละติจูด 13.25°N
 - ลองจิจูด 100.75°E
 - จังหวัดสมุทรสงคราม
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีอุณหภูมิ
 - ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 115
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
 - อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 44.7



ก. กรกฎาคม

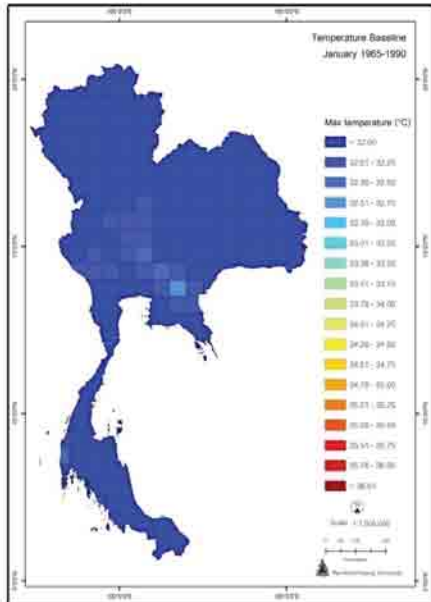
- อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยพื้นที่ทั้งประเทศ 22.86°C
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิต่ำสุด
 - ละติจูด 20.25°N
 - ลองจิจูด 99.75°E
 - จังหวัดเชียงราย
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิต่ำสุด
 - ละติจูด 24.75°N
 - ลองจิจูด 100.25°E
 - จังหวัดสมุทรสงคราม
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีอุณหภูมิ
 - ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 120
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
 - อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 46.7



ข. ตุลาคม

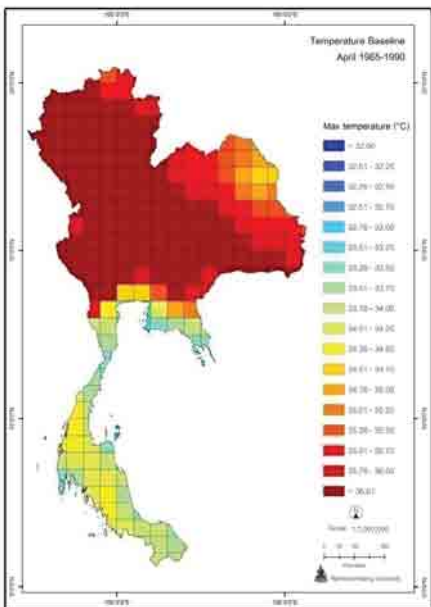
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยเดือนกรกฎาคม และตุลาคมของปีฐาน ค.ศ.1965-1990





- อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยพื้นที่ทั้งประเทศ 30.71°C
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิสูงสุด
ละติจูด 20.25°N
ลองกิจูด 99.75°E
จังหวัดเชียงราย
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิสูงสุด
ละติจูด 13.75°N
ลองกิจูด 101.75°E
จังหวัดฉะเชิงเทรา
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีอุณหภูมิ 126
ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี 49.0
อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย

ก. มกราคม

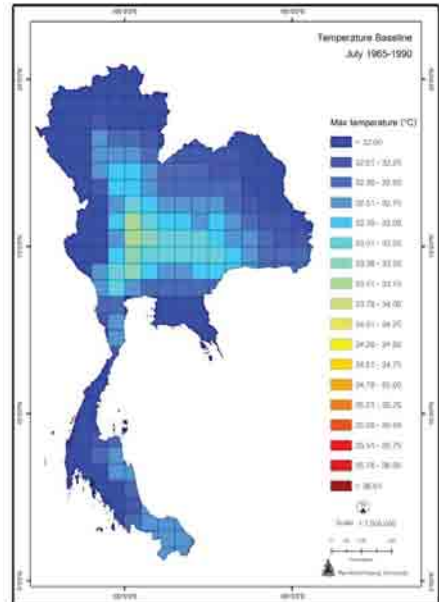


- อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยพื้นที่ทั้งประเทศ 33.86°C
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิสูงสุด
ละติจูด 9.75°N
ลองกิจูด 100.25°E
จังหวัดนครศรีธรรมราช
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิสูงสุด
ละติจูด 17.25°N
ลองกิจูด 99.25°E
จังหวัดตาก
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีอุณหภูมิ 105
ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี 40.9
อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย

ข. เมษายน

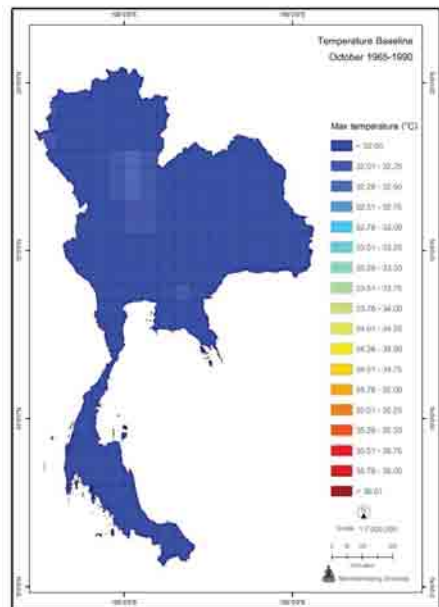
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเดือนมกราคม และเมษายนของปีฐาน ค.ศ.1965 - 1990

- อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยพื้นที่ทั้งประเทศ 32.02°C
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิสูงสุด
ละติจูด 15.75°N
ลองกิจูด 98.25°E
จังหวัดตาก
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิสูงสุด
ละติจูด 15.75°N
ลองกิจูด 100.25°E
จังหวัดนครสวรรค์
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีอุณหภูมิ
ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 122
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 47.5



ก. กรกฎาคม

- อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยพื้นที่ทั้งประเทศ 31.31°C
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิสูงสุด
ละติจูด 20.25°N
ลองกิจูด 99.75°E
จังหวัดเชียงราย
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิสูงสุด
ละติจูด 17.75°N
ลองกิจูด 100.25°E
จังหวัดอุตรดิตถ์
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีอุณหภูมิ
ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 146
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
อุณหภูมิต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 56.8



ข. ตุลาคม

รูปที่ 4.11 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเดือนกรกฎาคม และตุลาคมของปีฐาน ค.ศ.1965 - 1990



ตารางที่ 4.4 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของปีฐาน ค.ศ.1990 – 1965

เดือน	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)			อุณหภูมิสูงสุด (°C)			อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (°C)		
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
มกราคม	17.77	12.53	23.31	30.71	28.17	32.52	24.25	20.33	27.74
กุมภาพันธ์	19.59	13.77	24.44	32.85	30.11	34.69	26.22	22.63	28.45
มีนาคม	21.78	17.13	25.74	34.69	31.35	36.84	28.25	25.61	30.07
เมษายน	23.84	20.82	26.78	35.52	32.57	37.99	29.70	28.08	31.42
พฤษภาคม	24.37	22.43	26.59	33.86	31.97	35.60	29.12	27.77	30.37
มิถุนายน	24.37	22.58	26.55	32.45	30.19	34.18	28.42	26.40	29.50
กรกฎาคม	24.05	22.19	26.06	32.02	29.71	33.65	28.03	25.95	29.06
สิงหาคม	23.98	22.17	25.97	31.65	29.26	32.99	27.82	25.72	28.93
กันยายน	23.63	21.91	25.23	31.62	30.44	32.60	27.62	26.15	28.48
ตุลาคม	22.86	20.90	24.75	31.31	30.23	32.47	27.10	25.54	28.18
พฤศจิกายน	20.81	17.60	23.75	30.45	28.62	31.77	25.64	23.09	27.38
ธันวาคม	18.12	13.15	23.39	29.76	27.00	31.64	23.94	20.07	27.28

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยหมายถึงค่าเฉลี่ยในทุกพื้นที่ของประเทศ ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด คือ ค่าในพื้นที่หน่วยแยกต่าง

ข้อสรุปที่สำคัญสำหรับอุณหภูมิของปีฐาน 1965–1990 มีดังต่อไปนี้

- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 12.53 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นในเดือนมกราคม จังหวัดเชียงราย
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 26.78 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นในเดือนเมษายน จังหวัดชลบุรี
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 27.00 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นในเดือนธันวาคม จังหวัดเชียงราย
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 37.99 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นในเดือนเมษายน จังหวัดตาก
- ค่าต่ำสุดของอุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 20.07 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นในเดือนธันวาคม จังหวัดเชียงราย
- ค่าสูงสุดของอุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 31.42 องศาเซลเซียส เกิดขึ้นในเดือนเมษายน จังหวัดนครสวรรค์
- กรณีอุณหภูมิต่ำสุด เดือนธันวาคมมีพื้นที่ซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งประเทศด้วยจำนวนหน่วยแยกต่างสูงสุด



- กรณีอุณหภูมิต่ำสุด เดือนมีนาคมมีพื้นที่ซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งประเทศ ด้วยจำนวนหน่วยแยกต่างต่ำสุด
- กรณีอุณหภูมิต่ำสุด ฤดูหนาวในช่วงเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม มกราคม มีจำนวนหน่วยแยกต่างเกินกว่าครึ่งหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งประเทศ
- กรณีอุณหภูมิสูงสุด เดือนตุลาคมมีพื้นที่ซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งประเทศ ด้วยจำนวนหน่วยแยกต่างสูงสุด
- กรณีอุณหภูมิสูงสุด เดือนเมษายนมีพื้นที่ซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งประเทศ ด้วยจำนวนหน่วยแยกต่างต่ำสุด
- กรณีอุณหภูมิต่ำสุด ในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนกันยายน มีจำนวนหน่วยแยกต่างเกินกว่าครึ่งหนึ่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งประเทศ
- กรณีอุณหภูมิจเฉลี่ย เดือนธันวาคมมีพื้นที่ซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งประเทศ ด้วยจำนวนหน่วยแยกต่างสูงสุด
- กรณีอุณหภูมิจเฉลี่ย เดือนกุมภาพันธ์มีพื้นที่ซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งประเทศ ด้วยจำนวนหน่วยแยกต่างต่ำสุด

4.2.3 ปริมาณหยาดน้ำฟ้า

ค่าเฉลี่ยรายเดือนปริมาณหยาดน้ำฟ้า รวมถึงค่าต่ำสุด และสูงสุดในปีฐานแสดงดังตารางที่ 4.5 และเมื่อพิจารณาจากจำนวนหน่วยแยกต่างของพื้นที่ทั้งประเทศพบว่า กว่าร้อยละ 50 มีปริมาณหยาดน้ำฟ้าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนในช่วงปีฐาน ดังรูปที่ 4.12 ปริมาณหยาดน้ำฟ้าโดยเฉลี่ยในเดือนมกราคม เมษายน กรกฎาคม และตุลาคม แสดงดังรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14

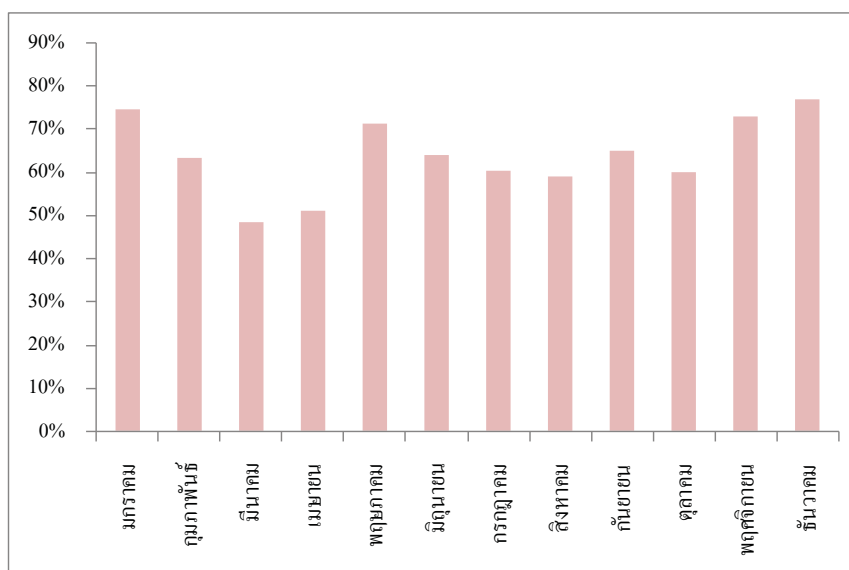
ข้อสรุปที่สำคัญสำหรับอุณหภูมิของปีฐาน ค.ศ.1990-1965 มีดังต่อไปนี้

- ค่าต่ำสุดปริมาณหยาดน้ำฟ้าต่ำสุดเท่ากับ 1.34 มิลลิเมตร เกิดขึ้นในเดือนมกราคม จังหวัดอุบลราชธานี
- ค่าสูงสุดปริมาณหยาดน้ำฟ้าสูงสุดเท่ากับ 826.58 มิลลิเมตร เกิดขึ้นในเดือนสิงหาคม จังหวัดตราด
- เดือนกันยายนมีค่าเฉลี่ยปริมาณหยาดน้ำฟ้าสูงสุด
- เดือนกุมภาพันธ์มีค่าเฉลี่ยปริมาณหยาดน้ำฟ้าต่ำสุด
- เดือนพฤษภาคม ถึงเดือนพฤศจิกายน-กลางฤดูร้อนจนถึงกลางฤดูหนาว) มีปริมาณหยาดน้ำฟ้าเฉลี่ยรายเดือนสูงกว่า 100 มิลลิเมตร)
- ฤดูฝนมีปริมาณหยาดน้ำฟ้าโดยเฉลี่ยรายเดือนสูงกว่า 200 มิลลิเมตร



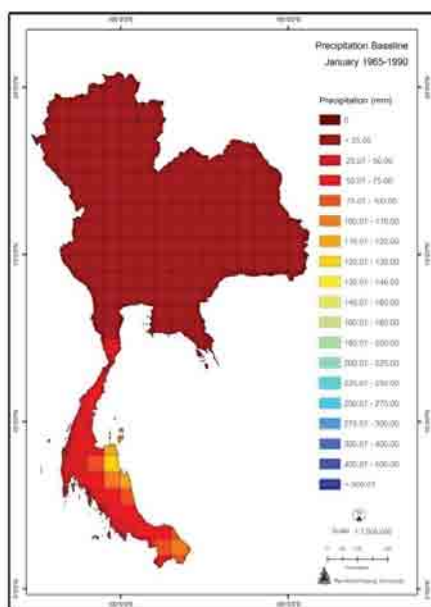
ตารางที่ 4.5 ปริมาณหยาดน้ำฟ้าเฉลี่ยรายเดือนของปีฐาน ค.ศ.1990 – 1965

เดือน	ปริมาณหยาดน้ำฟ้ารายเดือน (มิลลิเมตร)		
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
มกราคม	20.62	1.34	141.06
กุมภาพันธ์	18.79	2.81	60.19
มีนาคม	34.93	6.78	88.93
เมษายน	85.00	38.80	173.86
พฤษภาคม	202.27	113.35	440.84
มิถุนายน	204.21	77.68	762.02
กรกฎาคม	209.15	85.34	699.00
สิงหาคม	247.11	107.70	826.58
กันยายน	254.29	109.45	547.99
ตุลาคม	177.99	77.63	413.99
พฤศจิกายน	111.51	6.24	571.89
ธันวาคม	45.89	1.49	450.15
รวม	1,611.78		



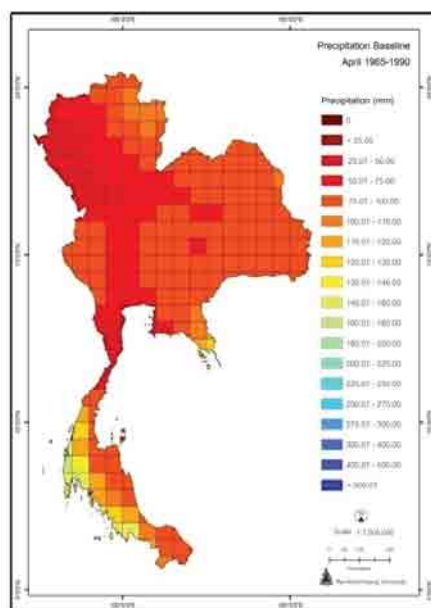
รูปที่ 4.12 เปอร์เซนต์ของหน่วยแยกต่างหากซึ่งมีปริมาณหยาดน้ำฟ้าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั่วประเทศ



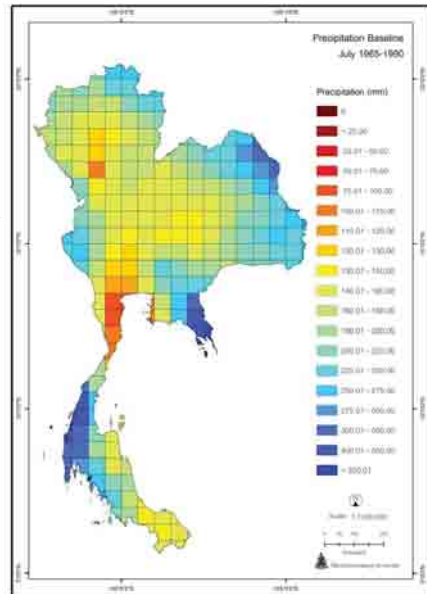


- ปริมาณเฉลี่ยพื้นที่ทั้งประเทศ 20.62 mm
- ค่าต่ำสุดของปริมาณหยาดน้ำฟ้า
 - ละติจูด 15.25°N
 - ลองจิจูด 104.75°E
 - จังหวัดอุบลราชธานี
- ค่าสูงสุดของปริมาณหยาดน้ำฟ้า
 - ละติจูด 8.75°N
 - ลองจิจูด 100.25°E
 - จังหวัดนครราชสีมา
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีปริมาณ
 - ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 191
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
 - ปริมาณต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 74.3

ก. มกราคม

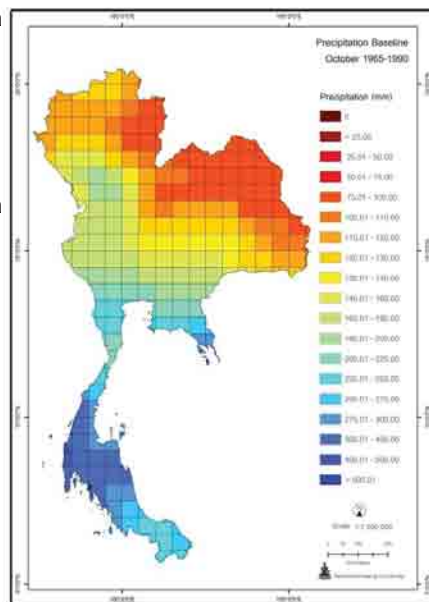


- ปริมาณเฉลี่ยพื้นที่ทั้งประเทศ 209.15 mm
- ค่าต่ำสุดของปริมาณหยาดน้ำฟ้า
 - ละติจูด 13.25oN
 - ลองจิจูด 100.25oE
 - จังหวัดสมุทรสงคราม
- ค่าสูงสุดของปริมาณหยาดน้ำฟ้า 699.00 mm
 - ละติจูด 11.75oN
 - ลองจิจูด 102.75oE
 - จังหวัดตราด
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีปริมาณ
 - ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 155
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
 - ปริมาณต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 60.3



ก. กรกฎาคม

- ปริมาณเฉลี่ยพื้นที่ทั้งประเทศ 177.99 mm
- ค่าต่ำสุดของปริมาณหยาดน้ำฟ้า 77.63 mm
 - ละติจูด 18.25oN
 - ลองจิจูด 104.25oE
 - จังหวัดหนองคาย
- ค่าสูงสุดของปริมาณหยาดน้ำฟ้า 413.99 mm
 - ละติจูด 8.75oN
 - ลองจิจูด 98.25oE
 - จังหวัดพังงา
- จำนวนหน่วยแยกต่างที่มีปริมาณ
 - ต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 154
- ร้อยละของหน่วยแยกต่างที่มี
 - ปริมาณต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเฉลี่ย 59.9



ข. ตุลาคม

รูปที่ 4.14 ปริมาณหยาดน้ำฟ้าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคม และตุลาคมของปีฐาน ค.ศ.1965 - 1990



4.4 ภาพฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย ปี ค.ศ. 2010 - 2059

4.4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยในอนาคต

การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนกรกฎาคม ระหว่างเหตุการณ์จำลองแบบ A2 และ B2 แสดงดังรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเดือนเดียวกันของทั้งสองเหตุการณ์จำลองแบบเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐานแสดงดังรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18

อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน

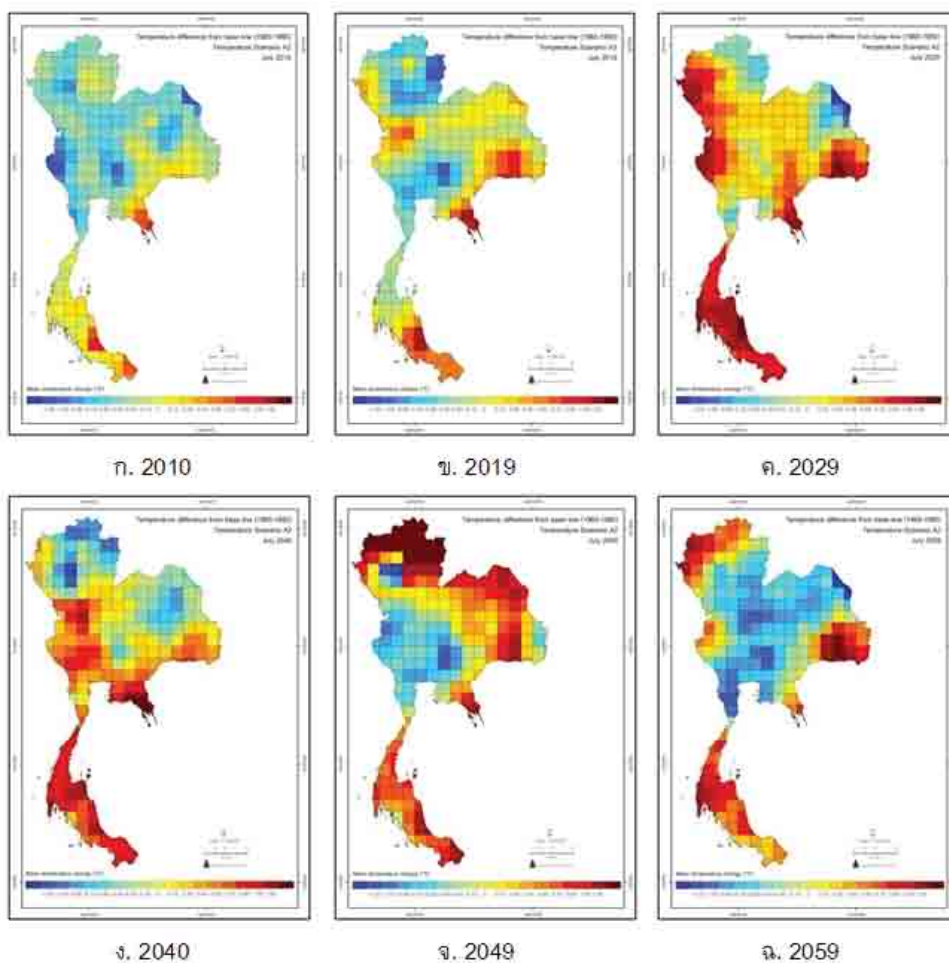
- ในเดือน**มกราคม** เหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอนาคตที่เห็นได้ชัดเจนกว่า SRES A2 ในปี ค.ศ. 2059 จาก SRES B2 พื้นที่ในบริเวณภาคกลางบริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยา ภาคตะวันออก บางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ตอนล่าง มีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน
- ในเดือน**เมษายน** เหตุการณ์จำลองแบบทั้งสองให้ผลการประมาณที่แตกต่างกัน แม้ว่าแนวโน้มของอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นในเหตุการณ์จำลองแบบทั้งสอง แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละช่วงจะต่างกัน
- ในเดือน**เมษายน** เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบ พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ A2 มีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ในปี ค.ศ. 2019 และ 2029 และ 2049 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน ในขณะที่เหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 พื้นที่ส่วนใหญ่มีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในปี ค.ศ. 2049 และ 2059
- ในเดือน**เมษายน** ค.ศ. 2059 เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีอุณหภูมิเฉลี่ยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน มีเพียงบางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งครอบคลุมจังหวัดหนองคายและสกลนคร และบางส่วนของพื้นที่ภาคใต้บริเวณจังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง ยะลา ปัตตานี และนราธิวาส มีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน
- ในเดือน**เมษายน** ค.ศ. 2059 เหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 ให้ผลการประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยเปรียบเทียบกับปีฐานที่แตกต่างจาก SRES A2 พื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มขึ้น พื้นที่ในภาคเหนือที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยลดลงครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเชียงราย และพะเยา รวมถึงพื้นที่ในภาคกลางตอนล่าง และภาคใต้ ยกเว้นพื้นที่ในบางบริเวณของจังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดตรัง พัทลุง พังงา และภูเก็ตที่คาดว่าจะมีอุณหภูมิเฉลี่ย



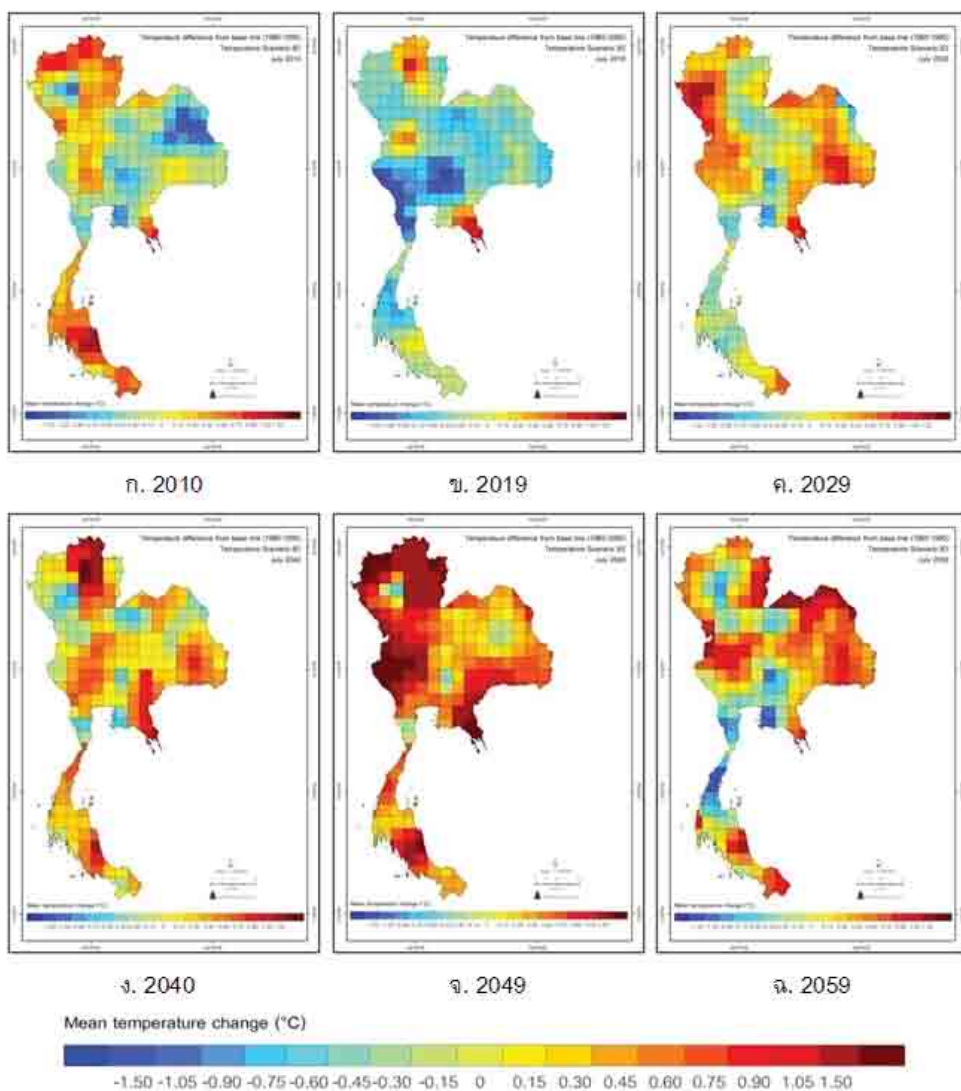
สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน

- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเดือน**กรกฎาคม** ปี ค.ศ.2059 เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 พื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศในภาคเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ และ กลางมีอุณหภูมิเฉลี่ยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน ในขณะที่ภาคกลางตอนล่าง และภาคใต้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.15
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเดือน**กรกฎาคม** ปี ค.ศ. 2059 ในเหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 พบว่าพื้นที่บางส่วนของภาคกลาง และภาคใต้ตอนบน มีอุณหภูมิลดลง ในขณะที่พื้นที่ส่วนอื่นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.16
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเดือน**ตุลาคม**ภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 พบว่าในปี ค.ศ. 2010 พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นยกเว้นภาคกลางตอนล่างและภาคใต้ ในขณะที่ปีอื่นๆ พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีอุณหภูมิลดลง ยกเว้นภาคกลางและภาคใต้ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน
- ในปี ค.ศ. 2059 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเดือน**ตุลาคม**ภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 พื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน ยกเว้นพื้นที่บางส่วนของภาคกลางซึ่งครอบคลุมจังหวัดปราจีนบุรี และฉะเชิงเทราที่คาดว่าจะมีอุณหภูมิลดต่ำกว่าปีฐาน





รูปที่ 4.15 ความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนกรกฎาคม ระหว่างปีฐานและ SRES A2



รูปที่ 4.16 ความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนกรกฎาคม ระหว่างปีฐานและ SRES B2

อุณหภูมิเฉลี่ยรายฤดูกาล

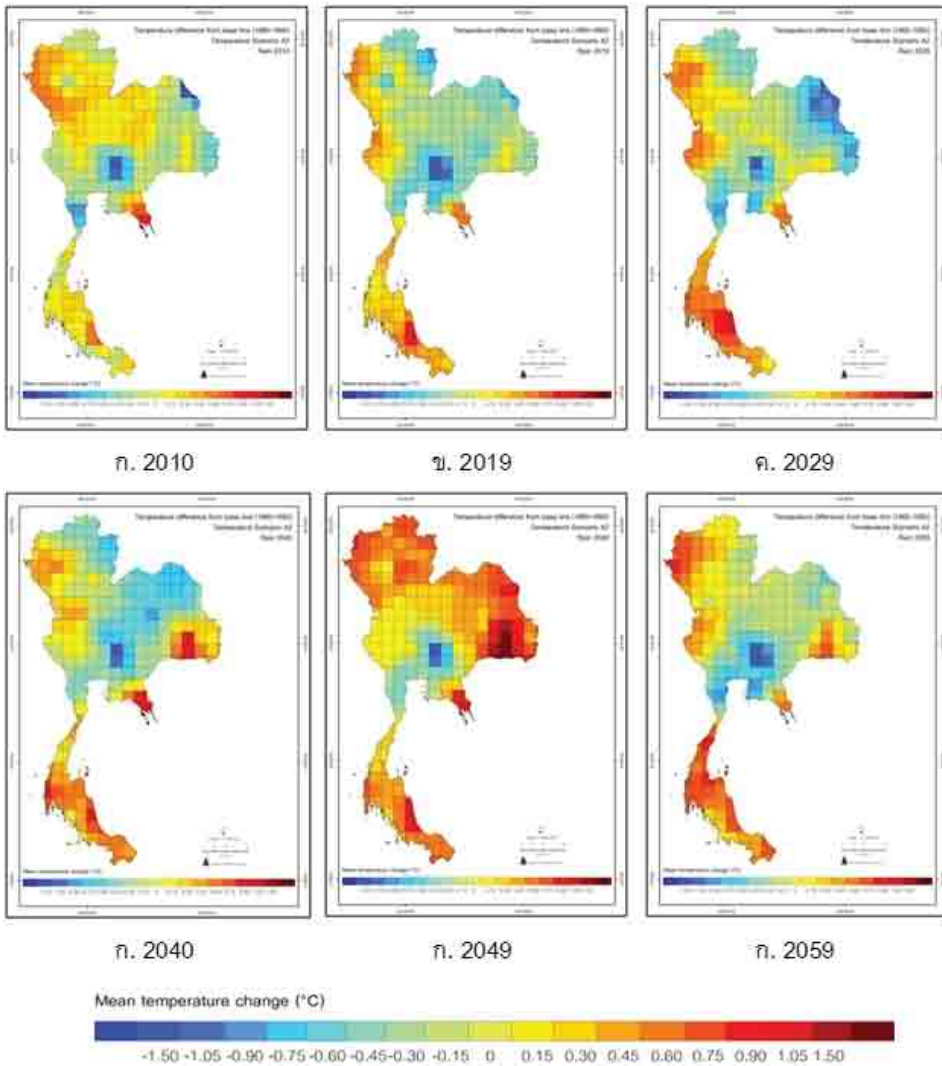
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูหนาวของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 ในอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบ พบว่า พื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปี ค.ศ. 2010 จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดกว่าปีอื่น ในปี ค.ศ. 2059 พื้นที่ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย



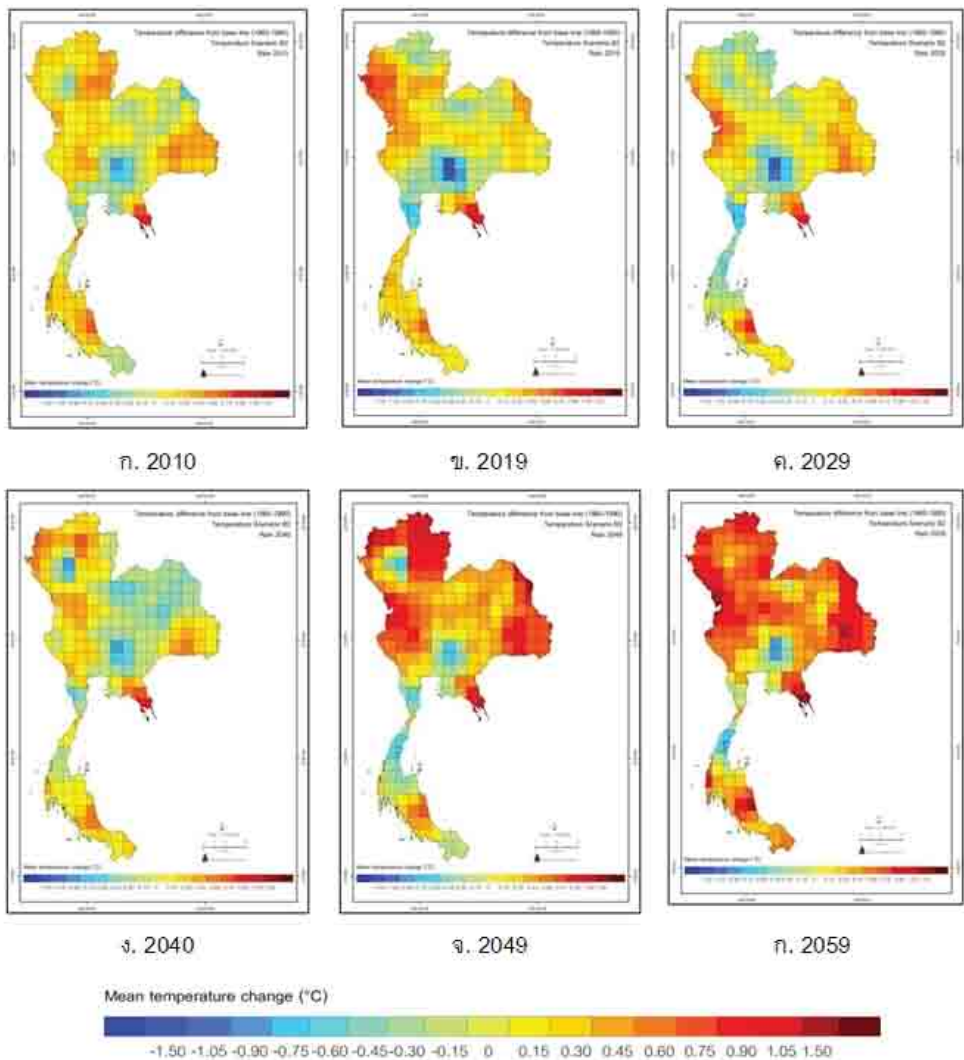
สูงกว่าปีฐานอยู่ในบริเวณภาคเหนือ ภาคกลางตอนบน และบางส่วนของภาคใต้ ในขณะที่พื้นที่ส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอุณหภูมิต่ำกว่าปีฐาน

- อุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อนของเหตุการณ์จำลองแบบทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มสูงขึ้น ในปี ค.ศ. 2019 เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อนสูงกว่าปีอื่นในอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบ ในขณะที่ SRES B2 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2059 สูงกว่าปีอื่น และในปีเดียวกัน SRES B2 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงกว่า SRES A2
- อุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูฝนของเหตุการณ์จำลองแบบทั้งสองมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในอนาคต ในปี ค.ศ. 2059 พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากปีฐานมากกว่า 0.45 องศาเซลเซียส ภายใต้ SRES B2 และจากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในปีเดียวกันพบว่า SRES B2 มีอุณหภูมิสูงขึ้นจากปีฐานมากกว่า SRES A2 (รูปที่ 4.17 – 4.18)





รูปที่ 4.17 ความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยของฤดูฝน ระหว่างปีฐานและ SRES A2



รูปที่ 4.18 ความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยของฤดูฝน ระหว่างปีฐานและ SRES B2



4.4.2 อุณหภูมิสูงสุดของประเทศไทยในอนาคต

อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีของค่ารายวันจากเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 เปรียบเทียบกับปีฐาน ค.ศ. 1965–1990 สรุปได้ดังนี้

- ในช่วง ค.ศ. 2010 – 2029 อุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2022 ภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 มีค่าสูงกว่าปีฐาน 0.44 องศาเซลเซียส
- ในช่วง ค.ศ. 2040 – 2059 อุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2059 ภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 มีค่าสูงกว่าปีฐาน 0.55 องศาเซลเซียส
- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดในช่วง ค.ศ. 2010 – 2029 ของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 เท่ากับ 32.29 องศาเซลเซียส และ 32.27 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดของปีฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ 32.23 องศาเซลเซียส
- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดในช่วง ค.ศ. 2040 – 2059 ของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 เท่ากับ 32.28 องศาเซลเซียส และ 32.30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าปีฐานเช่นเดียวกัน

อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน

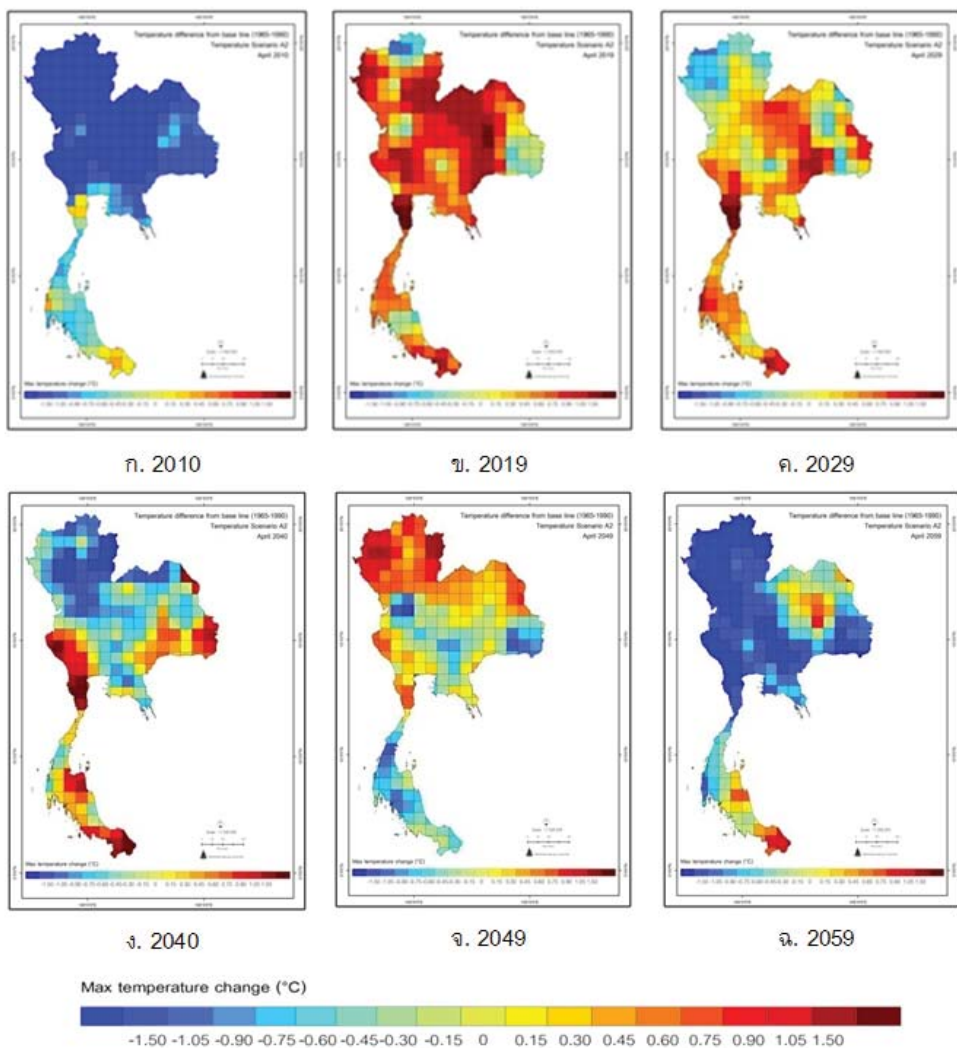
- ในเดือนมกราคม อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนของเหตุการณ์จำลองแบบทั้งสองมีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคต เมื่อพิจารณาในอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบพบว่า ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าภาคอื่นในทั้งสองเหตุการณ์ฯ แต่ SRES B2 จะมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างกว่า SRES A2
- ในเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2059 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนเปรียบเทียบกับปีฐานของเหตุการณ์จำลองแบบทั้งสองพบว่าพื้นที่เกือบทั้งประเทศมีอุณหภูมิสูงกว่าปีฐานมากกว่า 0.45 องศาเซลเซียส
- ในเดือนเมษายน เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 ในปี ค.ศ. 2010 พื้นที่ของประเทศไทยซึ่งมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยสูงกว่า 36 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน แต่ในปีอื่นของอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบจะมีพื้นที่ซึ่งอุณหภูมิสูงกว่า 36 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น และจะมีพื้นที่ลดลงในปี ค.ศ. 2059 ในขณะที่เหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 ที่มีพื้นที่ซึ่งอุณหภูมิสูงกว่า 36 องศาเซลเซียส ครอบคลุมบริเวณน้อยสุดคือ ค.ศ. 2029
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในเดือนเมษายนเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐานพบว่า SRES A2 มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดในปี ค.ศ. 2019 พื้นที่มากกว่าครึ่งหนึ่งของประเทศมีอุณหภูมิสูงขึ้น 0.45 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4-19 แต่ SRES B2 จะ



เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2049 และพื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยสูงกว่าปีฐานประมาณ 0.30 องศาเซลเซียส รูปที่ 4.20

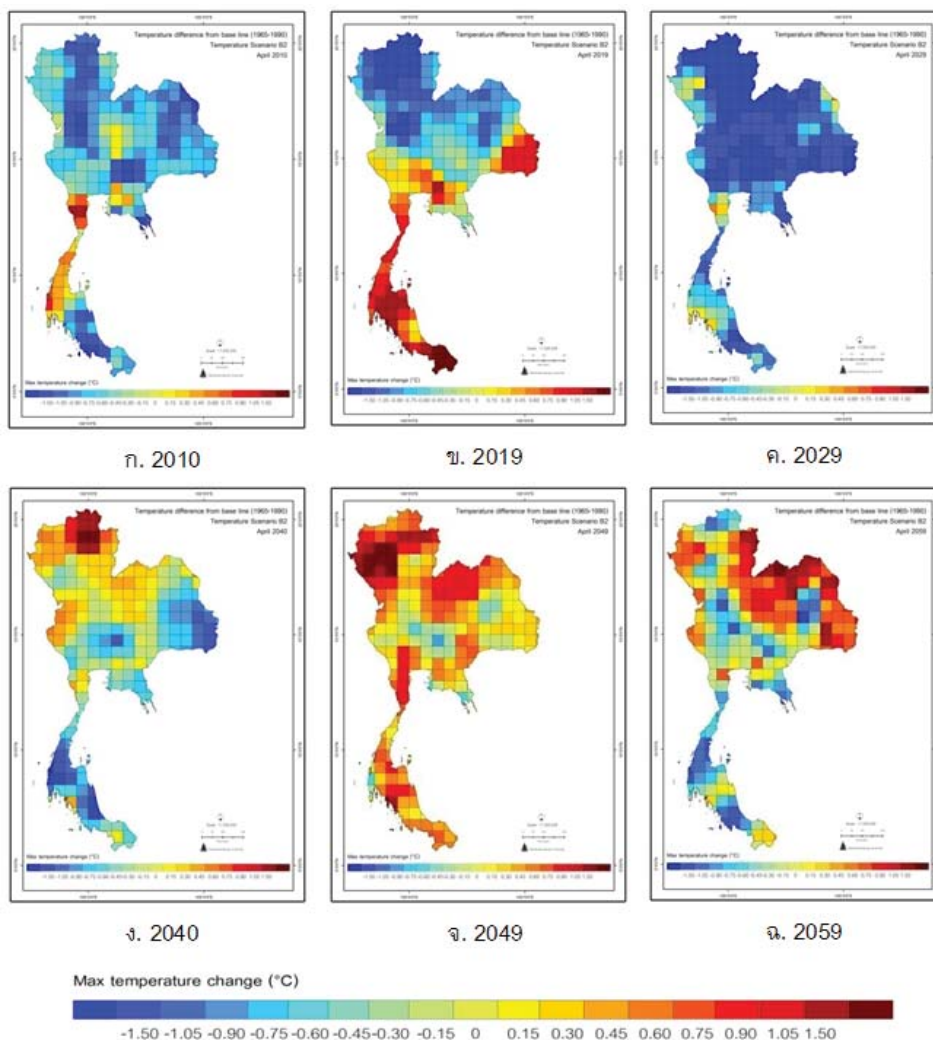
- ในเดือนกรกฎาคม เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 ในระยะสั้น (ค.ศ. 2010-2019 และ 2029) บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยสูงกว่า 32.75 องศาเซลเซียส ครอบคลุมพื้นที่บริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นบริเวณกว้างกว่าปีฐาน ในระยะยาว (ค.ศ. 2040-2049 และ 2059) บริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ลดลง แต่ในบริเวณภาคใต้มีพื้นที่เป็นบริเวณกว้างขึ้น กรณี SRES B2 ในระยะสั้นกลับมีพื้นที่ลดลง แต่ในระยะยาวกลับครอบคลุมพื้นที่กว้างมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคกลางจะมีบริเวณที่อุณหภูมิสูงกว่า 34.26 องศาเซลเซียส มากกว่าปีฐาน
- ในเดือนกรกฎาคม เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยกับปีฐาน พบว่า เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างมากสุดในปี ค.ศ. 2029 และ SRES B2 เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2049
- ในเดือนตุลาคม พื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 ในอนุกรมปีที่ใช้ในการเปรียบเทียบมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยต่ำกว่า 32 องศาเซลเซียส ยกเว้นในปี ค.ศ. 2010 ซึ่งพื้นที่บางส่วนของภาคเหนือตอนล่าง และภาคกลางตอนบนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 32.50 องศาเซลเซียส และลักษณะดังกล่าวเกิดขึ้นกับ SRES B2 ในปี ค.ศ. 2029 และ 2059
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในเดือนตุลาคมของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน พบว่าปีที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดคือ ปี ค.ศ. 2010 และ SRES B2 เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวในปี ค.ศ. 2059





รูปที่ 4.19 ความแตกต่างอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของเดือนเมษายน ระหว่างปีฐานและ SRES A2





รูปที่ 4.20 ความแตกต่างอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของเดือนเมษายน ระหว่างปีฐานและ SRES B2

อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายฤดูกาล

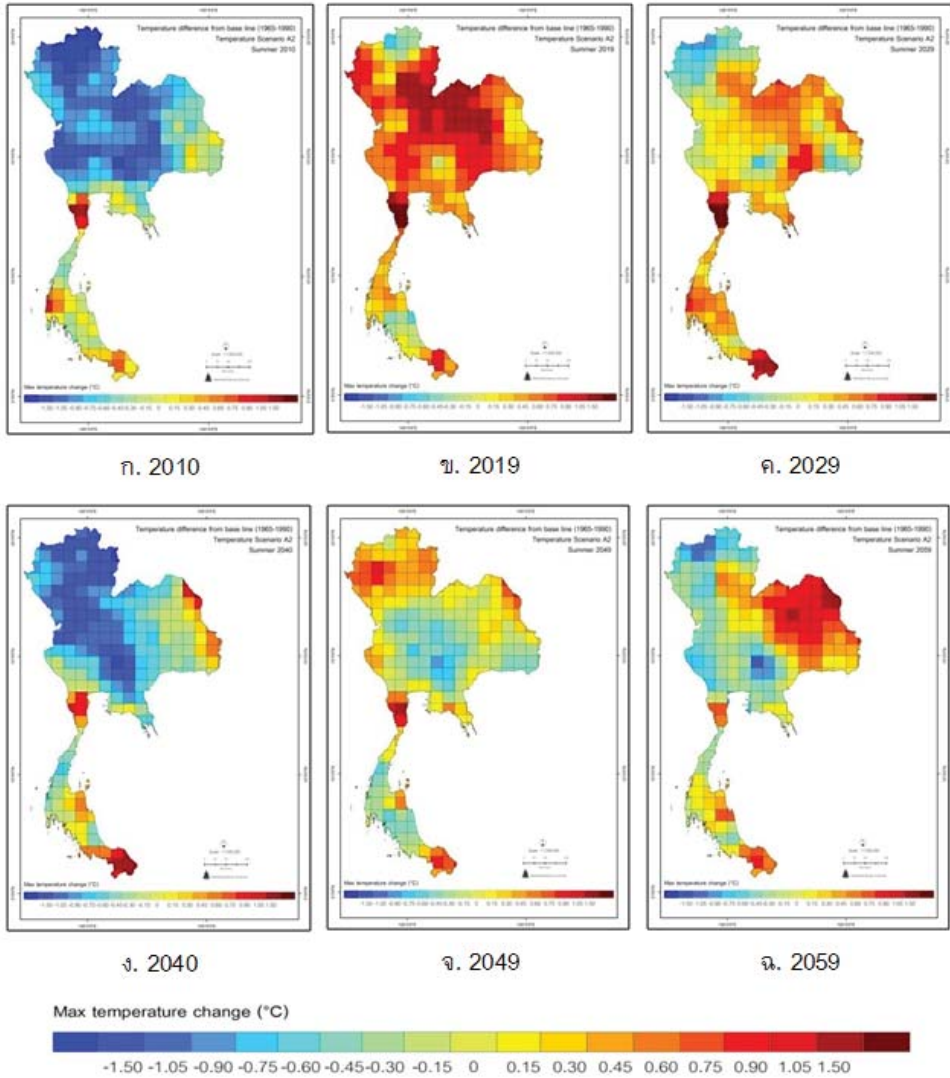
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในฤดูหนาว ของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน พบว่าปี ค.ศ. 2010 มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด และครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างมากที่สุด แตกต่างจาก SRES B2 ซึ่งเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2059 ในปี ค.ศ. 2059 ภายใต้ SRES A2 พื้นที่ส่วนใหญ่ในภาคเหนือของ ประเทศมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยมากกว่า 0.45 องศาเซลเซียส ใน



ขณะที่ SRES B2 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระดับเดียวกันแต่ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งประเทศ

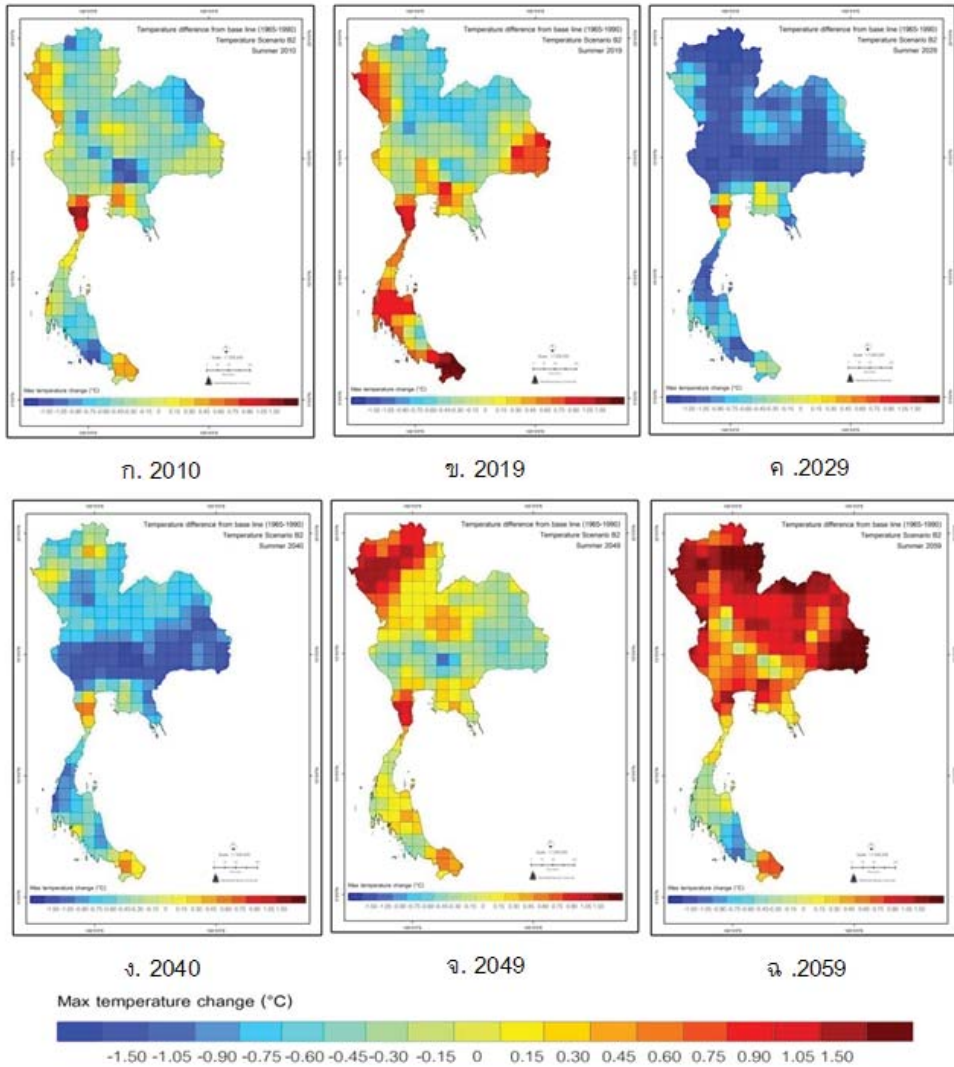
- อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในฤดูร้อนของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐานพบว่า ในปี ค.ศ. 2019 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุด และครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างสุด ดังรูปที่ 4.21 ในขณะที่ SRES B2 เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2049 รูปที่ 4.22
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในฤดูฝน เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดในปี ค.ศ. 2049 และพื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศ มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นต่ำกว่า 0.75 องศาเซลเซียส มีพื้นที่เพียงบางส่วนของภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงกว่า 1.0 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงในกรณีของ SRES B2 มีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่พื้นที่ซึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นนั้นจะครอบคลุมบริเวณกว้างกว่า SRES A2





รูปที่ 4.21 ความแตกต่างอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของฤดูร้อน ระหว่างปีฐานและ SRES A2





รูปที่ 4.22 ความแตกต่างอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของฤดูร้อน ระหว่างปีฐานและ SRES B2

4.4.3 อุณหภูมิต่ำสุดของประเทศไทยในอนาคต

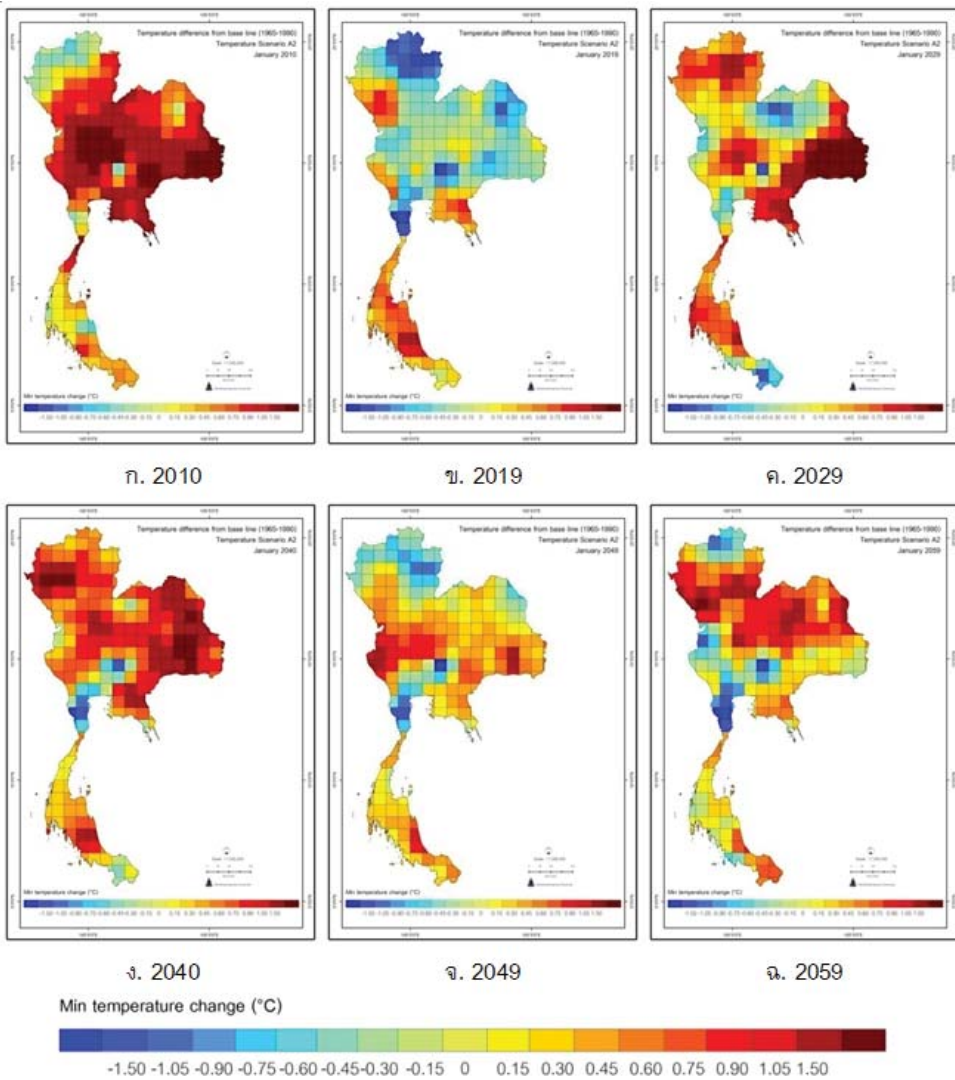
อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีของค่ารายวันจากเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 เปรียบเทียบกับปีฐาน ค.ศ. 1965–1990 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในระยะสั้นถึงปานกลาง หรือ ในช่วง ค.ศ. 2029 – 2059 ของ SRES A2 มีจำนวนปีที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าปีฐานมากกว่าปีที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปีฐานซึ่งแตกต่างจาก SRES B2 ในระยะยาวหรือในช่วง ค.ศ. 2059 – 2040 ทั้งสองกรณีมีจำนวนปีที่มีอุณหภูมิสูงกว่าปีฐานมากกว่าปีที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าปีฐาน

- ในช่วง ค.ศ. 2010 – 2029 อุณหภูมิต่ำสุด เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2027 ภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 มีค่าต่ำกว่าปีฐาน 0.33 องศาเซลเซียส
- ในช่วง ค.ศ. 2040 – 2059 อุณหภูมิต่ำสุดเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2043 ภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 มีค่าต่ำกว่าปีฐาน 0.29 องศาเซลเซียส
- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดในช่วง ค.ศ. 2010 – 2029 ของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 เท่ากับ 22.04 องศาเซลเซียส และ 22.19 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีค่าใกล้เคียงอุณหภูมิต่ำสุดของปีฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.11 องศาเซลเซียส
- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดในช่วง ค.ศ. 2040 – 2059 ของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 เท่ากับ 22.16 องศาเซลเซียส และ 22.38 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิต่ำสุดของปีฐาน

อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน

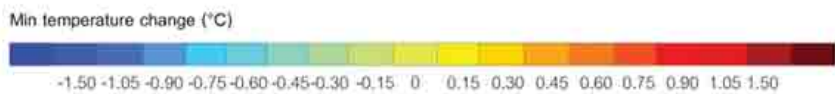
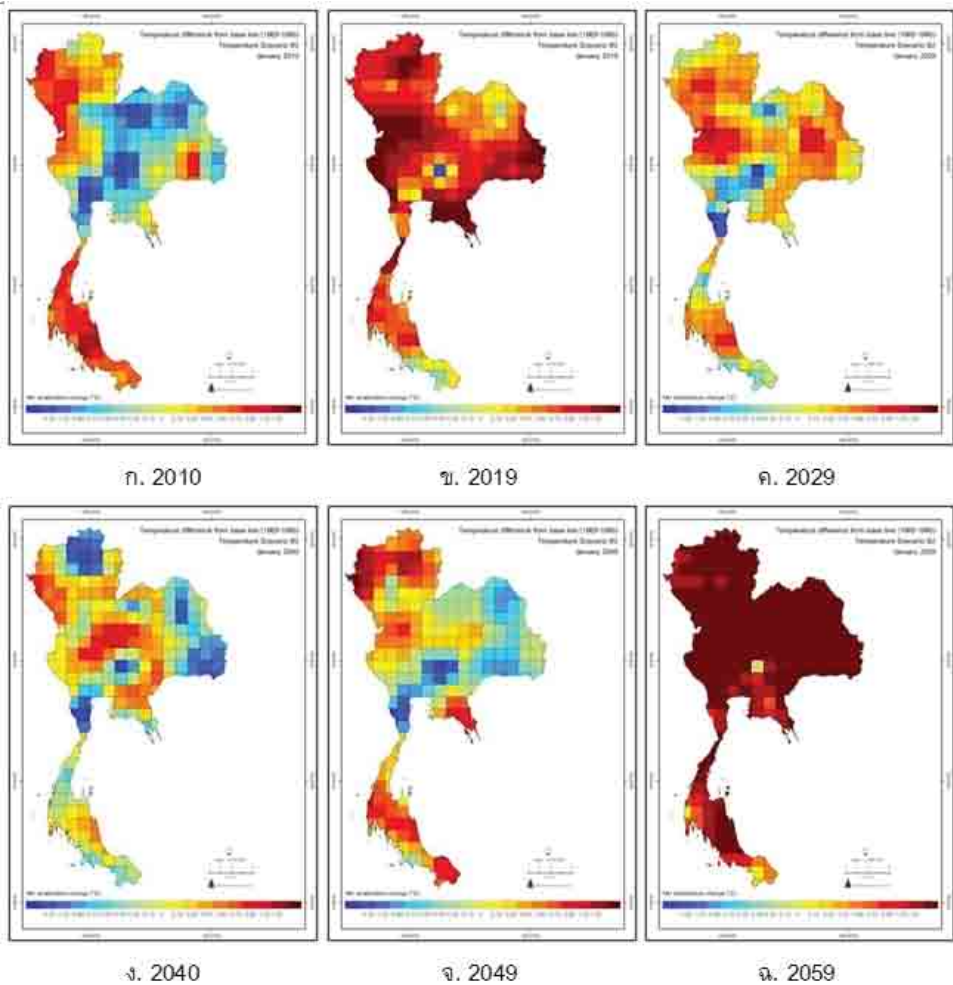
- ในเดือนมกราคม เมื่อพิจารณาในอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบพบว่าอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนของเหตุการณ์จำลองแบบทั้งสองมีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคตบริเวณภาคใต้ แต่ SRES B2 จะมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นครอบคลุมบริเวณพื้นที่เป็นบริเวณกว้างกว่า SRES A2
- ในเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2059 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนเปรียบเทียบกับปีฐานของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 มีอุณหภูมิสูงกว่าปีฐานมากกว่า 1.50 องศาเซลเซียส ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั่วประเทศ ในขณะที่ SRES A2 มีการเปลี่ยนแปลงต่ำกว่าและครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่า (รูปที่ 4.23 – 4.24)





รูปที่ 4.23 ความแตกต่างอุณหภูมิที่สำคัญที่สุดของเดือนมกราคม ระหว่างปีฐานและ SRES A2





รูปที่ 4.24 ความแตกต่างอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของเดือนมกราคม ระหว่างปีฐานและ SRES B2



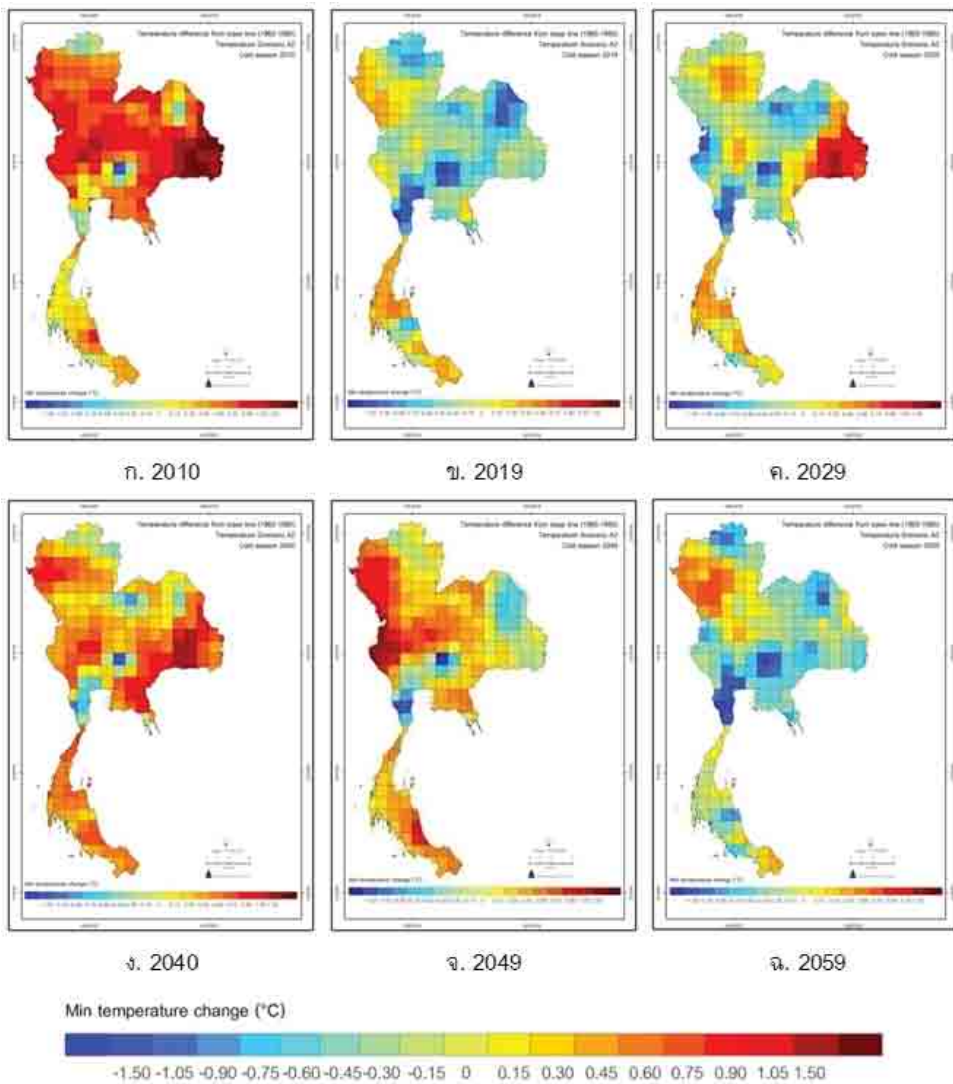
- ในเดือน**เมษายน** เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 ในปี ค.ศ. 2029 พื้นที่ของประเทศไทยซึ่งมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ครอบคลุมบริเวณกว้างมากกว่าปีฐาน แต่ในปีอื่นของอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบจะมีพื้นที่ซึ่งอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ลดลง ในขณะที่เหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 ที่มีพื้นที่ซึ่งอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ครอบคลุมบริเวณกว้างมากที่สุดคือ ค.ศ. 2059
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในเดือน**เมษายน**เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐานพบว่า SRES A2 มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดในปี ค.ศ.2029 พื้นที่มากกว่าครึ่งหนึ่งของประเทศมีอุณหภูมิต่ำสุดสูงขึ้น 1.05 องศาเซลเซียส แต่ SRES B2 จะเกิดขึ้นในปี ค.ศ.2059 และพื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยสูงกว่าปีฐานประมาณ 1.05 องศาเซลเซียส ยกเว้นในบริเวณภาคเหนือที่มีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน
- ในเดือน**กรกฎาคม** เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 ในระยะสั้น (ค.ศ. 2010 2019 และ 2029) มีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยใกล้เคียงกับกรณีฐาน แต่ในระยะยาว (ค.ศ. 2040 2049 และ 2059) มีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยมีแนวโน้มที่ลดต่ำลง กรณี SRES B2 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทั้งในระยะสั้นและระยะยาว
- ในเดือน**กรกฎาคม** เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยกับปีฐาน พบว่า เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างมากที่สุดในปี ค.ศ. 2040 และ SRES B2 เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2059
- ในเดือน**ตุลาคม** เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 ในอนุกรมปีที่ใช้ในการเปรียบเทียบมีพื้นที่ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยสูงขึ้นในปี ค.ศ. 2010 ส่วนในปีอื่นมีค่าในช่วงที่ใกล้เคียงกับปีฐาน ในขณะที่ SRES B2 มีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในปี ค.ศ. 2059
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในเดือน**ตุลาคม**ของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน พบว่า ปีที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดคือ
- ปี ค.ศ. 2010 ซึ่งพื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศมีอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยสูงกว่าปีฐานประมาณ 0.45 องศาเซลเซียส และ SRES B2 เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวในปี ค.ศ. 2059 พื้นที่ส่วนใหญ่มีอุณหภูมิสูงกว่าปีฐาน 1.05 องศาเซลเซียส



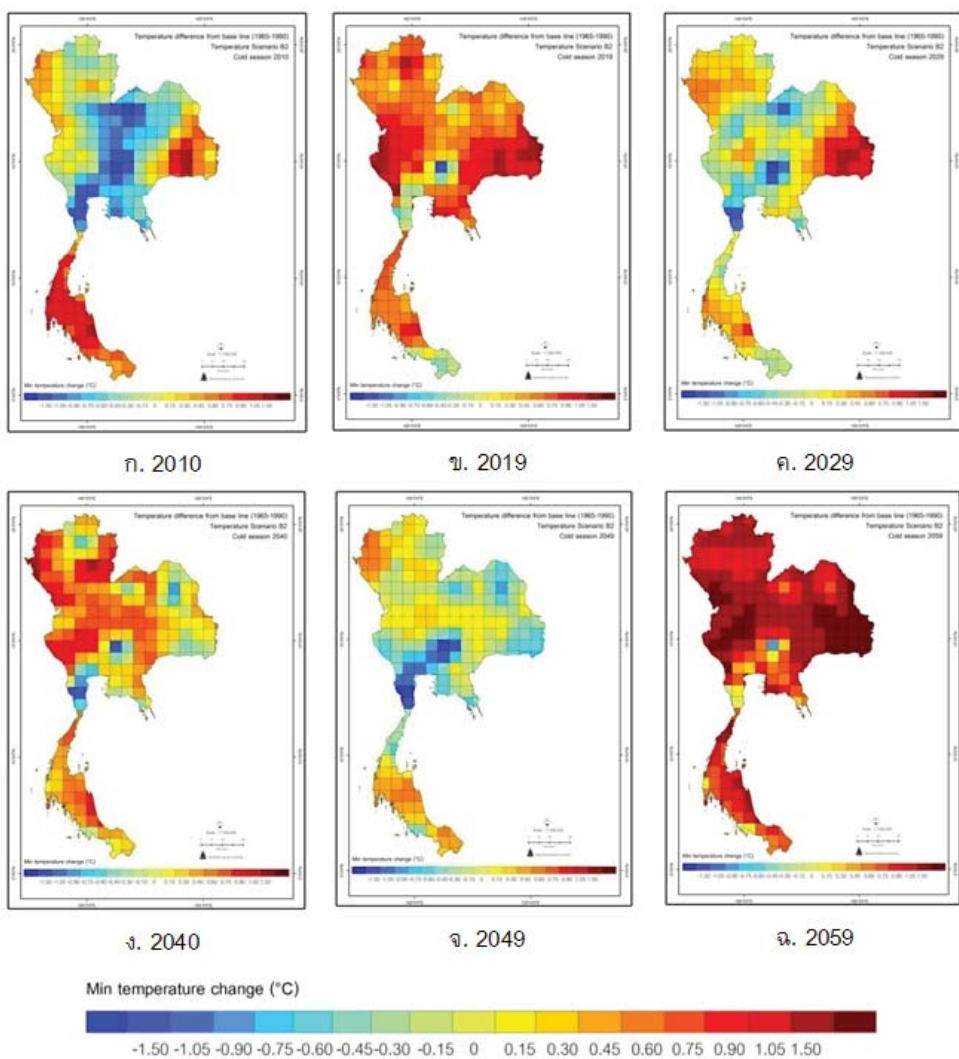
อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายฤดูกาล

- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในฤดูหนาว ของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน พบว่าปี ค.ศ. 2010 มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดและครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างมากที่สุด แตกต่างจาก SRES B2 ซึ่งเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2059 ในปี ค.ศ. 2059 ภายใต้ SRES A2 พื้นที่ส่วนใหญ่ในภาคเหนือของประเทศมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยมากกว่า 0.75 องศาเซลเซียส ในขณะที่ SRES B2 มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่า 0.75 องศาเซลเซียส ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งประเทศ (รูปที่ 4.25-4.26)
- อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในฤดูร้อนของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐานพบว่า ในปี ค.ศ. 2029 มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด และครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างสุด ในขณะที่ SRES B2 เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2059
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในฤดูฝน เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดในปี ค.ศ. 2049 และพื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศ มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นต่ำกว่า 0.75 องศาเซลเซียส มีพื้นที่บางส่วนของภาคกลางที่อุณหภูมิลดต่ำกว่าปีฐาน การเปลี่ยนแปลงในกรณีของ SRES B2 มีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่พื้นที่ซึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นนั้นจะครอบคลุมบริเวณกว้างกว่า SRES A2





รูปที่ 4.25 ความแตกต่างอุณหภูมิที่ต่ำสุดเฉลี่ยของฤดูหนาว ระหว่างปีฐานและ SRES A2



รูปที่ 4.26 ความแตกต่างอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของฤดูหนาว ระหว่างปีฐานและ SRES B2



4.4.4 ผลการคาดการณ์ปริมาณหยาดน้ำฟ้าของประเทศไทยในอนาคต

ปริมาณหยาดน้ำฟ้ารายปีจากเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 เปรียบเทียบกับปีฐาน (ค.ศ. 1965–1990) ในระยะสั้นถึงปานกลางหรือช่วง ค.ศ. 2010 – 2029 และระยะยาวหรือช่วง ค.ศ. 2040 – 2059 เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 มีปริมาณหยาดน้ำฟ้าเฉลี่ยต่ำกว่าปีฐาน แตกต่างจาก SRES B2 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าปีฐาน

- ในช่วง ค.ศ. 2010 – 2029 ปริมาณหยาดน้ำฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2012 ภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 มีค่าสูงกว่าปีฐาน 246 มิลลิเมตร
- ในช่วง ค.ศ. 2040 – 2059 ปริมาณหยาดน้ำฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2046 ภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 มีค่าสูงกว่าปีฐาน 354.18 มิลลิเมตร
- ค่าเฉลี่ยปริมาณหยาดน้ำฟ้ารายปีในช่วง ค.ศ. 2010 – 2029 ของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 เท่ากับ 1,515 มิลลิเมตร ต่ำกว่าปริมาณสูงสุดของปีฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,612 มิลลิเมตร ในขณะที่ค่าเฉลี่ย SRES B2 เท่ากับ 1,695 มิลลิเมตร
- ค่าเฉลี่ยปริมาณหยาดน้ำฟ้าสูงสุดในช่วง ค.ศ. 2040 – 2059 ของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 เท่ากับ 1,554 และ 1,774 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าปีฐานเช่นเดียวกัน

ปริมาณหยาดน้ำฟ้ารายเดือน

- ในเดือนมกราคม เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 ปีที่คาดว่าจะมีปริมาณหยาดน้ำฟ้าต่ำสุดในอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบคือ ค.ศ. 2029 บริเวณที่มีปริมาณลดลงคือพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง ภาคกลาง และภาคใต้ตอนล่าง ในขณะที่ SRES B2 มีปริมาณหยาดน้ำฟ้าต่ำสุดในปี ค.ศ. 2010 บริเวณที่มีปริมาณลดลงคือ พื้นที่ภาคเหนือ ภาคกลาง และบางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- การเปลี่ยนแปลงปริมาณหยาดน้ำฟ้าในเดือนมกราคม พบว่าเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 ปี ค.ศ. 2029 มีปริมาณหยาดน้ำฟ้าลดลงมากที่สุดและครอบคลุมบริเวณกว้างกว่าปีอื่นในอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบ
- ในเดือนเมษายน เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 ในปี ค.ศ. 2010 พื้นที่ของประเทศไทยมีปริมาณหยาดน้ำฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าปีฐานครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งประเทศ ในขณะที่ SRES B2 ที่มีปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มสูงขึ้นครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณน้อยกว่า
- การเปลี่ยนแปลงปริมาณหยาดน้ำฟ้าในเดือนเมษายนเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน พบว่า SRES A2 มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดในปี ค.ศ. 2019 โดยมีปริมาณลดลงพื้นที่เกือบทุกภูมิภาคของประเทศมีปริมาณหยาดน้ำฟ้าลดลงยกเว้นบางส่วนของ



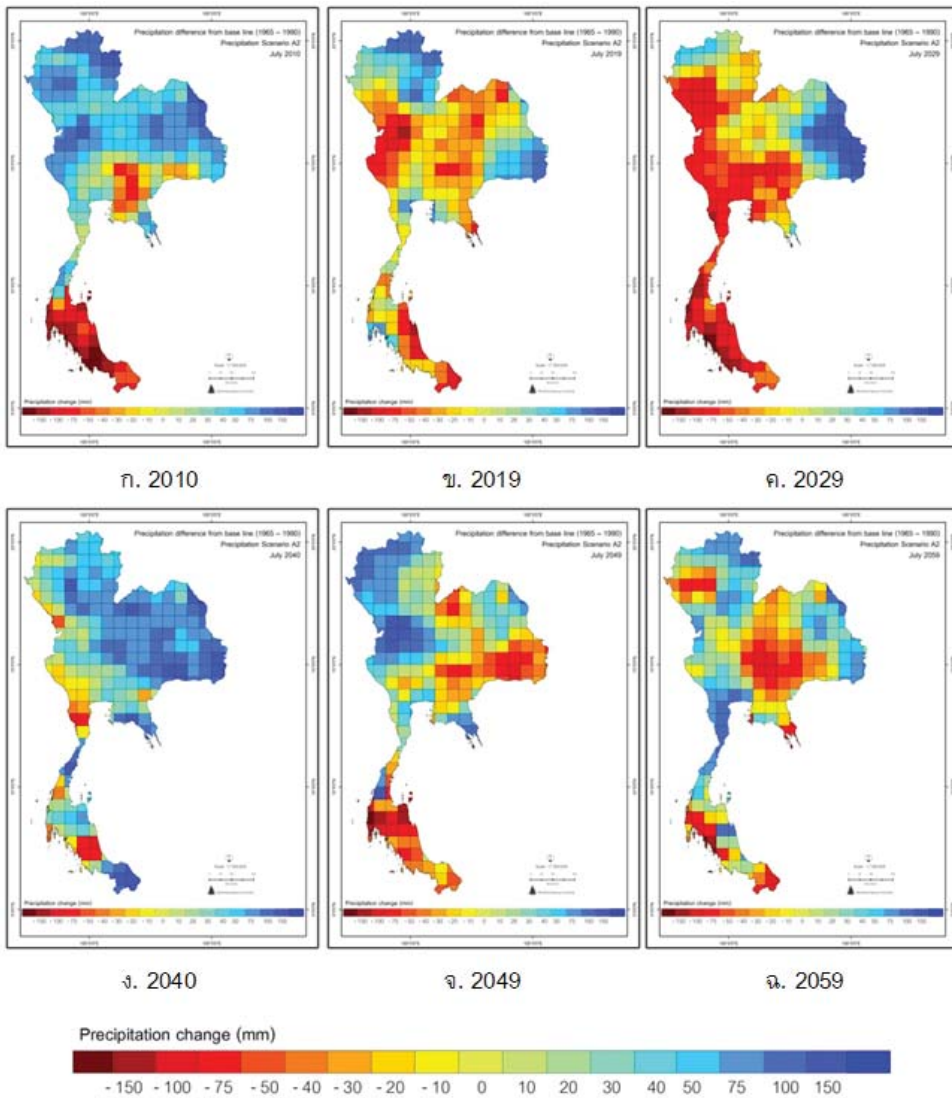
เหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ แต่ SRES B2 จะเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2049 และพื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศมีปริมาณหยาดน้ำฟ้าลดลง ยกเว้นในบริเวณภาคใต้

- ในเดือนกรกฎาคม เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 ในระยะสั้น (ค.ศ. 2010 2019 และ 2029) และในระยะยาว (ค.ศ. 2040 2049 และ 2059) พื้นที่ซึ่งมีปริมาณหยาดน้ำฟ้าลดลงอยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคใต้ กรณี SRES B2 มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน (รูปที่ 4.27 – 4.28)
- ในเดือนกรกฎาคม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณหยาดน้ำฟ้ากับปีฐาน พบว่า เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 มีปริมาณหยาดน้ำฟ้าลดลงมากที่สุด ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างมากสุดในปี ค.ศ. 2029 และ SRES B2 เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2010
- ในเดือนตุลาคม เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ SRES B2 ในอนุกรมปีที่ใช้ในการเปรียบเทียบ มีปริมาณหยาดน้ำฟ้าในช่วงที่ใกล้เคียงกับปีฐานครอบคลุมทุกพื้นที่ของประเทศ
- การเปลี่ยนแปลงปริมาณหยาดน้ำฟ้าในเดือนตุลาคมของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน พบว่าปีที่มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดคือ ปี ค.ศ. 2040 และ SRES B2 เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวในปี ค.ศ. 2049

ปริมาณหยาดน้ำฟ้ารายฤดูกาล

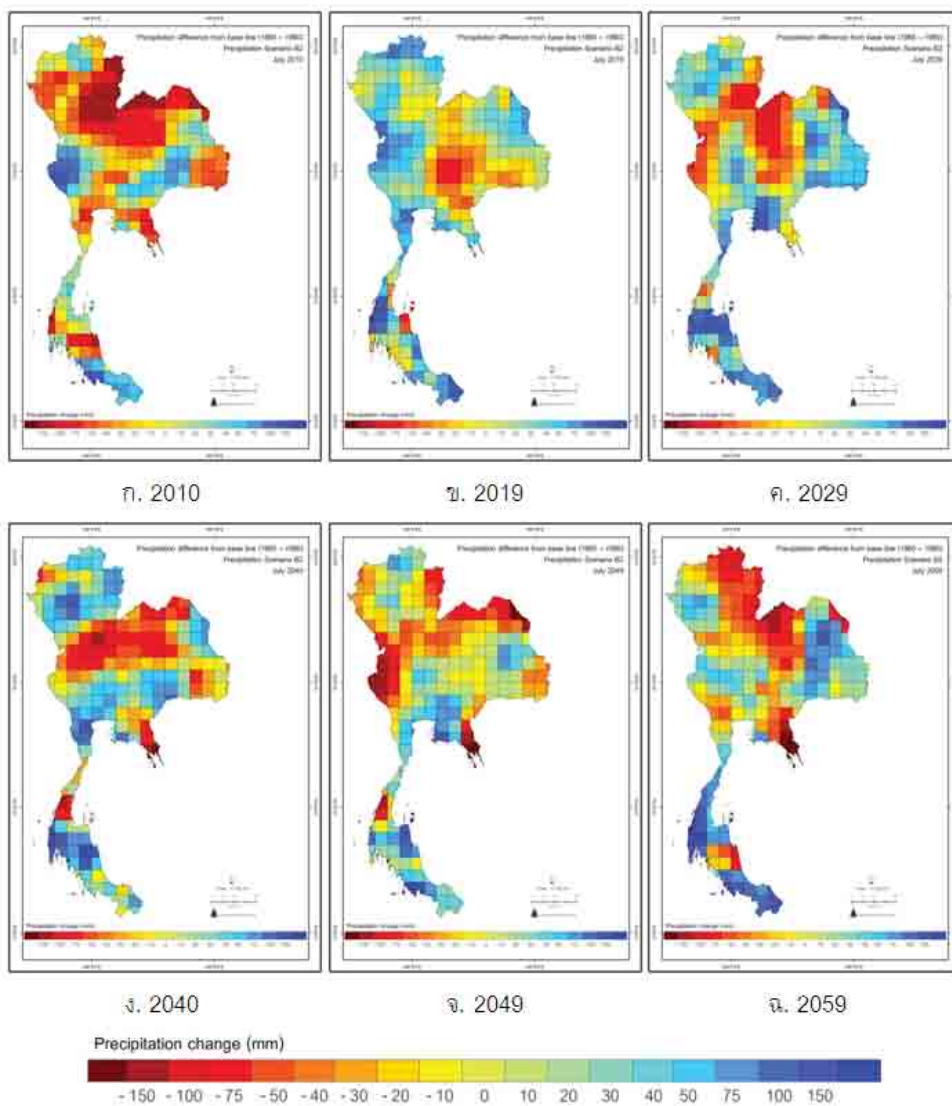
- การเปลี่ยนแปลงปริมาณหยาดน้ำฟ้าในฤดูหนาว ของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน พบว่าปี ค.ศ. 2059 มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุดและครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างมากสุด แตกต่างจาก SRES B2 ซึ่งเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2029 ในปี ค.ศ. 2059 ภายได้ SRES A2 พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีปริมาณหยาดน้ำฟ้าลดลงมากกว่า 30 มิลลิเมตร โดยเฉพาะในภาคใต้มีปริมาณลดลงมากกว่า 100 มิลลิเมตร
- ปริมาณหยาดน้ำฟ้าในฤดูร้อนของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐานพบว่า ในปี ค.ศ. 2019 มีปริมาณลดลงสูงสุด และครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างสุด ในขณะที่ SRES B2 เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2040
- การเปลี่ยนแปลงปริมาณหยาดน้ำฟ้าในฤดูฝน เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 พบว่ามีปริมาณลดลงสูงสุดในปี ค.ศ. 2029 และพื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศมีปริมาณลดลงมากกว่า 50 มิลลิเมตร การเปลี่ยนแปลงในกรณีของ SRES B2 มีปริมาณลดลงสูงสุดในปี ค.ศ. 2040 (รูปที่ 4.29 – 4.30)



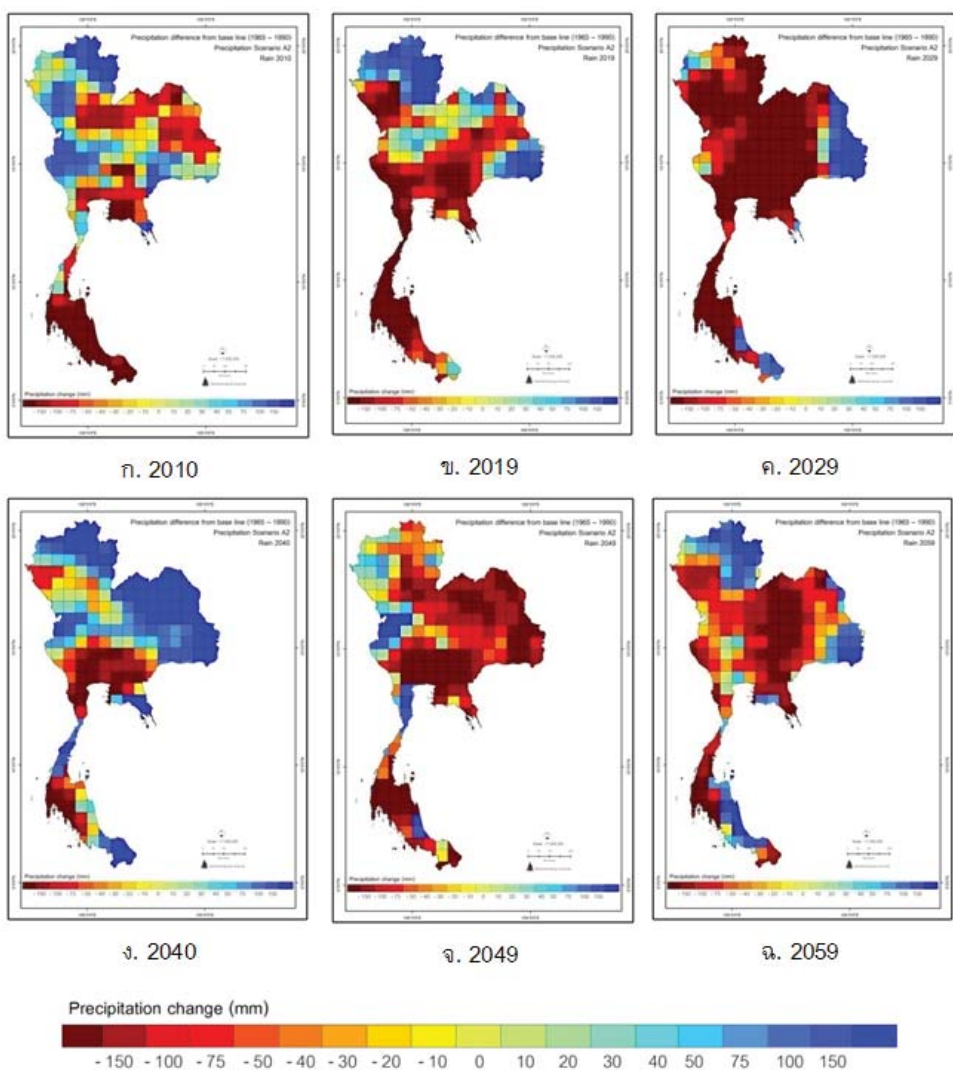


รูปที่ 4.27 ความแตกต่างปริมาณหยาดน้ำฟ้าเฉลี่ยของเดือนกรกฎาคม ระหว่างปีฐาน และ SRES



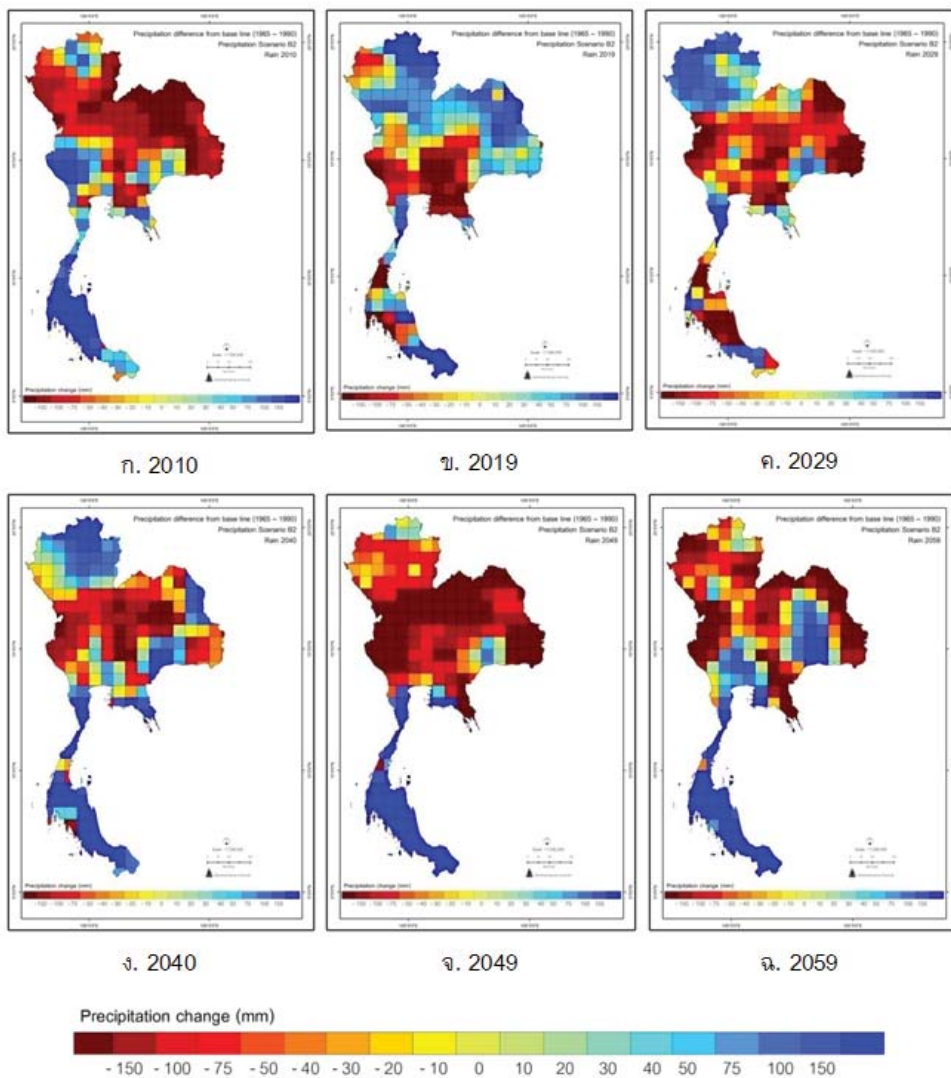


รูปที่ 4.28 ความแตกต่างปริมาณหยาดน้ำฟ้าเฉลี่ยของเดือนกรกฎาคมระหว่างปีฐานและ SRES B2



รูปที่ 4.29 ความแตกต่างปริมาณหยาดน้ำฟ้าต่ำสุดเฉลี่ยของฤดูฝน ระหว่างปีฐานและ SRES A2





รูปที่ 4.30 ความแตกต่างปริมาณหยาดน้ำฟ้าต่ำสุดเฉลี่ยของฤดูฝน ระหว่างปีฐานและ SRES B2

สรุป

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยในอนาคตอาจสังเกตได้โดยอาศัยเหตุการณ์สภาพอากาศที่อาจเกิดขึ้น เช่น วันที่อากาศร้อนซึ่งกำหนดให้เป็นวันที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส วันที่อากาศเย็นซึ่งกำหนดให้เป็นวันที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส จำนวนวันที่ฝนตกต่อเนื่อง จำนวนวันที่ฝนไม่ตกต่อเนื่อง เป็นต้น

วันที่มีอากาศร้อน

จำนวนวันที่มีอากาศร้อน หรือมีอุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส ของประเทศไทยในอนาคตภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 ในอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบ สรุปได้ดังนี้

- เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 มีจำนวนวันที่อากาศร้อนมากกว่า 50 วันในเกือบทุกภูมิภาคของประเทศ ยกเว้นในบางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางตอนล่าง และภาคใต้
- ในปีค.ศ. 2059 เมื่อเปรียบเทียบจำนวนวันที่มีอากาศร้อนระหว่างเหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 พบว่า จำนวนวันที่มีอากาศร้อนมากกว่า 100 วัน ของ SRES B2 ครอบคลุมพื้นที่กว้างกว่า A2
- ในปี ค.ศ. 2059 พื้นที่ในบริเวณภาคใต้ SRES B2 มีจำนวนวันที่อากาศร้อนมากกว่า A2
- จำนวนวันที่อากาศร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและครอบคลุมบริเวณกว้างขึ้นภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบทั้งสอง

วันที่มีอากาศเย็น

จำนวนวันที่มีอากาศเย็น หรือมีอุณหภูมิต่ำกว่า 16 องศาเซลเซียส ของประเทศไทยในอนาคตภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 ในอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบ สรุปได้ดังนี้

- พื้นที่โดยส่วนใหญ่ของประเทศไทยภายใต้ SRES A2 และ B2 มีจำนวนวันที่อากาศเย็นน้อยกว่า 50 วัน
- พื้นที่ซึ่งมีวันที่อากาศเย็นมากกว่า 50 วัน อยู่ในภาคเหนือ และตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
- พื้นที่โดยส่วนใหญ่ในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทยภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบทั้งสอง มีจำนวนวันที่อากาศเย็นน้อยกว่า 5 วัน



- ในปี ค.ศ. 2010 เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 บริเวณภาคกลางมีจำนวนวันที่อากาศเย็นมากกว่า SRES B2
- ในปี ค.ศ. 2059 เหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 มีจำนวนวันที่อากาศเย็นครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่า SRES A2
- จำนวนวันที่อากาศเย็นมีแนวโน้มลดลง ภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบทั้งสอง

วันที่มีฝนตกต่อเนื่อง

จำนวนวันที่มีฝนตกต่อเนื่องในที่นี้จะพิจารณาโดยอาศัยวันที่มีปริมาณหยาดน้ำฟ้า วันที่มีฝนตกต่อเนื่องของประเทศไทยในอนาคตภายใต้เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 และ B2 ในอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบ สรุปได้ดังนี้

- พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยภายใต้ SRES A2 และ B2 มีจำนวนวันที่ฝนตกต่อเนื่องน้อยกว่า 30 วัน
- เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 มีจำนวนวันที่ฝนตกต่อเนื่องมากกว่า 40 วัน ครอบคลุมพื้นที่ต่ำกว่า SRES B2
- เหตุการณ์จำลองแบบ SRES A2 ในอนุกรมปีที่ใช้เปรียบเทียบ มีจำนวนวันที่ฝนตกต่อเนื่องลดลงในป้อนาคต
- เหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 มีจำนวนวันที่ฝนตกต่อเนื่องเพิ่มขึ้นในป้อนาคต ในปี ค.ศ. 2059 พื้นที่ซึ่งมีฝนตกต่อเนื่อง 40 วัน ของเหตุการณ์จำลองแบบ SRES B2 ครอบคลุมพื้นที่มากกว่า SRES A2





เอกสารอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

รายชื่อเอกสารอ้างอิงบทที่ 1

- Anthes R. A., Hsie E. Y. and Kuo Y. H. 1987. Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM4). NCAR Tech Note [NCAR/TN-282+STR]., No. 66.
- Bleck R. 2002. An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic-Cartesian coordinates. *Ocean Modelling*, 4: 55-88.
- Boer, G. J., McFarlane N. A., and Lazare M. 1992. Greenhouse gas-induced climate change simulated with the CCC second-generation general circulation model. *Journal of Climate*, 5:1045-1077.
- BoonpragobK. 1999. Climate change in Thailand simulated by General Circulation Models. Page 10-1 to 10-29. *In* Boonprogob K. (ed.) Thailand' s country study on climate change 1990. TEI, Bangkok.
- Boville B. and Gent P. 1998. The NCAR Climate System Model, version one. *Journal of Climate*, 11: 1115-1130.
- Braconnot P. 1997. Adjustment and feedbacks in a global coupled ocean-atmosphere modeling. *Climate Dynamics*, 13: 507-519.
- Braconnot P., Marti O., Joussaume S., and Leclainche Y. 2000. Ocean feedback in response to 6 kyr BP insolation. *Climate Dynamics*, 13: 1537-1553.
- Caya D., Laprise R., Giguère M., Bergeron G., Blanchet J. P., Stocks B. J., Boer G. J. and McFarlane N. A. 1995. Description of the Canadian regional climate model. *Water Air and Soil Pollution*, 82: 477-482.
- Chen S. H. and Dudhia J. 2000. WRF physics: Annual report. UCAR. Available at <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/wrf-doc-physics.pdf>. Accessed September 25, 2007.
- Chinvanno S. and Snidvongs A. (eds.) 2005. The Study of Future Climate Changes Impact on Water Resource and Rain-fed Agriculture

- Production. Proceeding of the APN CAPaBLE CB-01 Synthesis Workshop, Vientien, Lao PDR, 29-30 July 2004. SEA START RC, Technical Report No. 13, 113 pp.
- Collins W. D., Rasch P. J., Boville B. A., Hack J. J., McCaa J. R., Williamson D. L., Kiehl J. T., Briegleb B., Bitz C., Lin S. J., Zhang M. and Dai Y. 2004. Description of the NCAR Community Atmosphere Model (CAM 3.0). NCAR Tech Note [NCAR/TN-464+STR], No. 226.
- Collins, W. D., Bitz C. M., Blackmon M. L., Bonan G. B., Bretherton C. S., Carton J. A., Chang P., Doney S. C., Hack J. J., Henderson T. B., Kiehl J. T., Large W. G., McKenna D. S., Santer B. D., and Smith R. D.. 2006. The Community Climate System Model Version 3 (CCSM3). *J. Climate*, 19 (11), 2122-2143. [Main website: <http://www.ccsm.ucar.edu>]
- Cullen M. J. P. 1993. The unified forecast/climate model. *Meteorological Magazine*, 122: 81-94.
- Del Genio A. D. and Yao M. S. 1993. Efficient cumulus parameterization for long-term climate studies: The GISS scheme. *In The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models*, AMS Meteor. Monograph. K. A. Emanuel and D. A. Raymond, Eds. American Meteorological Society, 24: 181-184.
- Delworth T. L., Rosati A., Stouffer R. J., Dixon K. W., Dunne J., Findell K., Ginoux P., Gnanadesikan A., Gordon C. T., Griffies S. M., Gudgel R., Harrison M. J., Held I. M., Hemler R. S., Horowitz L. W., Klein S. A., Knutson T. R., Lin S. J., Milly P. C. D., Ramaswamy V., Schwarzkopf M. D., Sirutis J. J., Stern W. F., Spelman M. J., Winton M., Wittenberg A. T. and Wyman B. 2006. GFDL's CM2 Global Coupled Climate Models. Part I: Formulation and simulation characteristics. *Journal of Climate*, 19: 643-674.
- Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ) Modellbetreuungsgruppe. 1992. The ECHAM3 atmospheric general circulation model. DKRZ Tech. Report No. 6, ISSN 0940-9237, Deutsches Klimarechenzentrum, Hamburg, Germany, 184 pp.



- Dudhia J., Gill D., Guo Y. R., Manning K., Wang W. and Chriszar J. PSU/NCAR Mesoscale Modeling System tutorial class notes and user's guide: MM5 modeling system version 3. ESSL's Mesoscale and Microscale Meteorology Web Site. 2000. Available at <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/documents/tutorial-v3-notes-pdf/assign.pdf>. Accessed September 25, 2007.
- Flato G. and Boer G. J. 2001. Warming asymmetry in climate change simulations. *Geophysical Research Letters*, 28: 195-198.
- Giorgi M., Marinucci R. and Bates G. T. 1993 a. Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary layer and radiative transfer processes. *Monthly Weather Review*, a; 121: 2794–2813.
- Giorgi M., Marinucci R. and Bates G. T. 1993 b. Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Monthly Weather Review*, b; 121: 2814–2832.
- Gordon C., Cooper C., Senior C. A., Banks H. T., Gregory J. M., Johns T. C., Mitchell J. F. B. and Wood R. A. 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics*, 16: 147-168.
- Gordon H. B. and O'Farrell S. P. 1997. Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea-ice *Monthly Weather Review*, 125: 875-907.
- Gordon H. B., Rotstayn L. D., McGregor J. L., Dix M. R., Kowalezyk E. A., O'Farrell S. P., Waterman L. J., Hirst A. C., Wilson S. G., Collier M. A., Watterson I. G. and Elliott T. I. 2002. The CSIRO Mk3 Climate System Model. CSIRO Atmospheric Research Technical Paper No. 60, 134 pp.
- Gordon H. B., Whetton P. H., Pittock A. B., Fowler A. M., Haylock M. R. 1992. Simulated changes in daily rainfall intensity due to the enhanced greenhouse effect implications for extreme rainfall events. *Climate Dynamics*, 8: 83–102.

- Grell A. G., Dudhia J. and Stauffer D. R. 1994. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Tech Note [NCAR/TN-398+STR]. National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 122 pp.
- Hansen J., Fung I., Lacis A., Rind D., Lebedeff S., Ruedy R., Russel G., and Stone P. 1988. Global Climate Changes as Forecast by Goddard Institute for Space Studies Three- dimensional model. *Journal of Geophysical Researches*, 93: 9341 -9364.
- Hansen J., Russell G., Rind D., Stone P., Lacis A., Lebedeff S., Ruedy R. and Travis L. 1983. Efficient three-dimensional global models for climate studies: Models I and II. *Monthly Weather Review*, 111: 609-662.
- Hartke G. J., and Rind D. 1997. Improved surface and boundary layer models for the Goddard Institute for Space Studies general circulation model. *Jounral of Geophysical Researches*, 102: 16407-16442.
- Hasumi H. and Emori S. 2004. [Eds.]. K-1 coupled model (MIROC) description. Center for Climate System Research, University of Tokyo. K-1 Technical Report No. 34.
- Haylock M. R., Cawley G. C., Harpham C., Wilby R. L. and Goodess C. M. 2006. Downscaling heavy precipitation over the United Kingdom: A comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios. *International Journal of Climatology*, 26: 1397-1415.
- Hong S. Y. and Leetma A. 1999. An evaluation of the NCEP RSM for regional climate modeling. *Journal of Climate*, 12: 592-609.
- Houghton J. T., Jenkins G. J. and Ephraums J. J. (eds.). 1990. *Climate Change, the IPCC Scientific Assessment*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 365 pp.
- Hudson D. A. and Jones R. G. 2002. Regional climate model simulations of present-day and future climates of southern Africa. Met Office Hadley Centre. Technical Note, 39.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Contribution of Working Group I, II, and III to the Third Assessment Report of the



- Inter Governmental Panel on Climate Change, [Watson R. T. and Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 398 pp.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri R.K. and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Johns T. C., Carnell R. E., Crossley J. F., Gregory J. M., Mitchell J. F. B., Senior C. A., Tett S. F. B. and Wood R. A. 1997. The Second Hadley Centre Coupled Ocean-Atmosphere GCM: Model Description, Spin up and Validation. *Climate Dynamics*, 13: 103-134.
- Johns T. C., Gregory J. M., Ingram W. J., Johnson C. E., Jones A., Lowe J. A., Mitchell J. F. B., Roberts D. L., Sexton D. M. H., Stevenson D. S., Tett S. F. B. and Woodage M. J. 2003. Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emissions scenarios. *Climate Dynamics*, 20: 583-612.
- Jones R. G., Noguer M., Hassell D. C., Hudson D., Wilson S. S., Jenkins G. J. and Mitchell J. F. B. 2004. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, Met Office Hadley Centre. Exeter, UK, 40 pp.
- Juang H. M. H. and Kanamitsu M. 1994. The NMC Nested Regional Spectral Model. *Monthly Weather Review*, 122: 3-26.
- Juang H. M. H., Hong S. Y. and Kanamitsu M. 1997. The NCEP regional spectral model: an update. *Bulletin of American Meteorological Society*, 78: 2125-2143.
- Kidson J. W., Thompson C. S. 1998. A comparison of statistical and model-based downscaling techniques for estimating local climate variations. *Journal of Climate*, 11: 735-753.
- Kiehl J. T., Hack J., Bonan G., Boville B., Briegleb B., Williamson D. and Rasch P. 1998. The National Center for Atmospheric Research Community Climate Model: CCM3. *Journal of Climate*, 11: 1131-1149.

- Klemp J., Skamarock W. and Dudhia J. 2000. Conservative split-explicit time integration methods for the compressible nonhydrostatic equations: WRF Eulerian prototype model equations height and mass coordinates. ESSL's Mesoscale and Microscale Meteorology. Available at <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/wrf-dyn-num.html>. Accessed September 25, 2007.
- Li Z. X. and Conil S. A. 2003. 1000-year simulation with the IPSL ocean-atmosphere coupled model, *Annals of Geophysics*, 46: 39–46.
- Liang X. Z., Choi H., Kunkel K. E., Dai Y., Joseph E., Wang J. X. L. and Kumar P. 2005. Development of the regional climate-weather research and forecasting model (CWRF): Surface boundary conditions. Illinois State Water Survey Scientific Research. Available at http://www.sws.uiuc.edu/pubs/pubdetail.asp?CallNumber_ISWS+SR+2005%2D01. Accessed September 25, 2007.
- Manabe S. and Wetherald R. T. 1987. Large-scale changes of soil wetness induced by an increase in atmospheric carbon dioxide. *Journal of Atmospheric Sciences*, 44: 1211-1235.
- Manabe S., Bryan K. and Spelman M. D.. 1990. Transient response of a global ocean-atmosphere model to a doubling of atmospheric carbon dioxide. *Journal of Physical Oceanography*, 20: 722-749.
- Marti O., Braconnot P., Bellier J., Benshila R., Bony S., Brockmann P., Cadulle P., Caubel A., Denvil S., Dufresne J. L., Fairhead L., Filiberti M. A., Fichefet T., Friedlingstein P., Grandpeix J. Y., Hourdin F., Krinner G., L'evy C., Musat I., Talandier C. 2005. The new IPSL climate system model: IPSL-CM4. Institut Pierre Simon Laplace des Sciences de l'Environnement Global. Available at <http://igcmg.ipsl.jussieu.fr/Doc/IPSLCM4>. Accessed September 25, 2007.
- McFarlane N. A., Boer G. J., Blanchet J. P. and Lazare M. 1992. The Canadian Climate Centre second-generation general circulation model and its equilibrium climate. *Journal of Climate*, 5: 1013-1044.
- McGregor J. L. 1996. Semi-Lagrangian advection on conformal-cubic grids. *Monthly Weather Review*, 124: 1311–1322.



- McGregor J. L., Gordon H. B., Watterson I. G., Dix M. R. and Rotstayn L. D. 1993. The CSIRO 9-level atmospheric general circulation model. CSIRO Division of Atmospheric Research technical paper., 26: 89.
- McGregor L. J. and Katzfey J. J. 1998. Simulating typhoon recurvature with a variable resolution conformal-cubic model. Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling, WMO/TD., 942: 3.19–3.20
- Michalakes J. 2000. Weather research and forecast model 1.0: Software design and implementation. ESSL's Mesoscale and Microscale Meteorology. Available at <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/wrf-architect.html>. Accessed September 25, 2007.
- Mitchell J. F. B., Senior C. A. and Ingram W. J.. 1989. CO₂ and Climate: A missing Feedback, Nature, 341: 132-134.
- Murphy J. 1999. An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. Journal of Climate, 12: 2256–2284.
- Nozawa T., Emori S., Takemura T., Nakajima T., Numaguti A., Abe-Ouchi A. and Kimoto M. 2000. Coupled ocean-atmosphere model experiments of future climate change based on IPCC SRES scenarios. Preprints of the 11th Symposium on Global Change Studies, 9-14 January 2000, Long Beach, USA, 352-355.
- Pal J. S., Giorgi F., Bi X., Elguindi N., Solomon F., Gao X., Francisco R., Zakey A., Winter J., Ashfaq M., Syed F. S., Bell J. L., Diffenbaugh N. S., Karmacharya J., Konare A., Martinez D., da Rocha R. P., Sloan L. C. and Steiner A. 2007. The ICTP RegCM3 and RegCNET: regional climate modeling for the developing world. B Am Meteorol Soc. in press,
- Pope V. D., Gallini M. L., Rowentree P. R., Stratton R. A. 2000. The impact of new physical parameterization in the Hadley center climate model: HadAM3. Climate Dynamics, 16: 123-146.
- Roeckner E., Arpe K., Bengtsson L., Brinkop S., Dümenil L., Esch M., Kirk E., Lunkeit F., Ponater M., Rockel B., Suasen R., Schlese U., Schubert S. and Windelband M. 1992. Simulation of the present-day climate with the ECHAM-4 model: impact of model physics and resolution. Max-Planck Institute for Meteorology: Technical Report,

93, 171.

- Roeckner E., Arpe K., Bengtsson L., Christoph M., Claussen M., Dümenil L., Esch M., Giorgetta M., Schlese U. and Schulzweida U. 1996. The atmospheric general circulation model ECHAM-4: model description and simulation of present-day climate. Max-Planck Institute for Meteorology: Technical Report, 218: 90.
- Roeckner E., Bäuml G., Bonaventura L., Brokopf R., Esch M., Giorgetta M., Hagemann S., Kirchner I., Kornblüeh L., Manzini E., Rhodin A., Schlese U., Schulzweida U. and Tompkins A. 2003. The atmospheric general circulation model ECHAM 5. Part I: Model description. MPI Report No. 349.
- Rosenzweig C. and Abramopoulos F. 1997. Land-surface model development for the GISS GCM. *Journal of Climate*, 10: 2040-2054.
- Russell G. L., Miller J. R. and Rind D. A. 1995. coupled atmosphere-ocean model for transient climate change studies. *Atmosphere-Ocean*, 33, 683-730.
- Russell G. L., Miller J. R., Rind D., Ruedy R. A., Schmidt G. A. and Sheth S. 2000. Comparison of model and observed regional temperature changes during the past 40 years. *Journal of Geophysical Researches*, 105: 14891-14898.
- Schmidt G. A., Ruedy R., Hansen J. E., Aleinov I., Bell N., Bauer M., Bauer S., Cairns B., Canuto V., Cheng Y., Del Genio A., Faluvegi G., Friend A. D., Hall T. M., Hu Y., Kelley M., Kiang N. Y., Koch D., Lacis A. A., Lerner J., Lo K. K., Miller R. L., Nazarenko L., Oinas V., Perlwitz Ja, Perlwitz Ju, Rind D., Romanou A., Russell G. L., Sato Mki, Shindell D. T., Stone P. H., Sun S., Tausnev N., Thresher D. and Yao M. S. 2006. Present day atmospheric simulations using GISS ModelE: Comparison to in-situ, satellite and reanalysis data. *Journal of Climate*, 19: 153-192.
- Slingo A. [ed.]. 1985: Handbook of the Meteorological Office 11-layer atmospheric general circulation model. Vol. 1: Model description. DCTN 29, United Kingdom Meteorological Office, Bracknell, Berkshire RG12 2SZ, UK.



- Timmreck C., Graft H. F., Feitcher J. 1999. Simulation of Mt. Pinatubo Aerosol with the Hamburg Climate Model (EKHAM 4). *Journal of Theoretical and Applied Meteorology*, 62: 85-108.
- Tokioka T., Noda A., Kitoh A., Nikaidou Y., Nakagawa S., Motoi T., Yukimoto S. and Takata K. 1996. A transient CO₂ experiment with the MRI CGCM: Annual mean response. *In* CGER's Supercomputer Monograph Report Vol 2. Japan: Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies; Environment Agency of Japan, Ibaraki, Japan, 86 pp.
- Washington W. M., Weatherly J. W., Meehl G. A., Semtner Jr. A. J., Bettge T. W., Craig A. P., Strand Jr. W. G., , Arblaster J. M., Wayland V. B., James R., Zhang Y. 2000. Parallel climate model (PCM) control and transient simulations. *Climate Dynamics*, 16: 755-774.
- Wetherald R. T. and Manabe S. 1990. Hydrologic sensitivity to CO₂-induced global warming. *Civil Engineering Practice Journal*, 5: 33-36.
- Wilby R. L., Hay L. E., Gutowski W. J., Arritt R. W., Takle E. S., Pan Z. T., Leavesley G. H., Clark M. P. 2000. Hydrological responses to dynamically and statistically downscaled climate model output. *Geophysical Research Letters*, 27: 1199–1202.
- Wilby R. L., Wigley T. M. L., Conway D., Jones .P. D., Hewitson B. C., Main J., Wilks D. S. 1998. Statistical downscaling of general circulation model output: A comparison of methods. *Water Resources Research*, 34: 2995–3008.
- Williamson D. L. 1983. Description of the NCAR Community Climate Model (CCM0B). NCAR Tech Note [NCAR/TN-210+STR]. National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 88 pp.
- Williamson D. L., Kiehl J. T., Ramanathan V., Dickinson R. E., Hack J. J. 1987. Description of NCAR Community Climate Model (CCM1). NCAR Tech Note, [NCAR/TN-285+STR] ,112.
- Wilson C. A., and Mitchell J. F. B. 1987. A doubling of CO₂ Climate Sensitivity Experiment with a Global Climate Model Including a Simple Ocean. *Journal of Geophysical Researches*, 92: 315-343.

Yukimoto S., Endoh M., Kitamura Y., Kitoh A., Motoi T. and Noda A. 2000. ENSO-like interdecadal variability in the Pacific Ocean as simulated in a coupled GCM. *Journal of Geophysical Researches*, 105: 13945-13963.

รายชื่อเอกสารอ้างอิงบทที่ 2

IPCC. (2000). *Special Report on Emission Scenarios (SRES)*. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.

Jones, R.G., M. Noguer, D.C. Hassell, D. Hudson, S. Wilson, G. Jenkins and J.F.B. Mitchell. 2004. *Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS*, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, Ringland, G. 2006. *Scenario Planning: managing for the future*. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex, England.

Simson, W., D. Hassell., D. Hein, R. Jones. and R. Taylor. 2006. *Installing using the Hadley Centre regional climate modeling system, PRECIS: version 1.4.6*. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.

รายชื่อเอกสารอ้างอิงบทที่ 3

Bell J.L., Sloan L.C., Snyder M.A. 2004. Regional changes in extreme climatic events: a future climate scenario. *Journal of Climate*, 17:81-87

Chen F., Dudhia J. 2001. A Coupling and advanced land-surface/hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: model implementation and sensitivity. *Monthly Weather Review*, 129: 569-585.

Dudhia J., Gill D., Manning K., Wang W. and Bruyere C. 2002. *SU/NCAR Mesoscale Modeling System (MM5 version 3) tutorial class notes and user's guide*. Available from the National Center for Atmospheric



- Research, Boulder, Colorado, USA, June 2002.
- David H. B., Lesheng B., and Gudmundur G. Bjarnason. 2005. High-Resolution Regional Climate Simulations over Iceland Using Polar MM5, *Monthly Weather review*, 133: 3527-3547
- Grell G.A., Dudhia J., and Stauffer D.R. 1994. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5), NCAR Tech. Note, NCAR/TN-398+STR, 122 pp.
- Hahmann A.N., Rostkier-Edelstein D., Warner T.T., Liu Y., Vandenberghe F., and Swerdlin S.P.. 2008. Toward a climate downscaling for the Eastern Mediterranean at High-Resolution. *Advances in Geosciences*, 12: 159-164.
- Kain J. 2004. The Kain-Fritsch Convective Parameterization: An Update. *Journal of Applied Meteorology*, 43: 170–181.
- Kain J. and Fritsch J.M. 1993a. Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch Scheme. *Meteorological Monograph*, 24: 165–170.
- Kain J. and Fritsch J.M. 1993b. Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme, the representation of cumulus convection in numerical models, *American Meteorological Society*, 246 pp.
- Kotroni V., Lykoudis S., Lagouvardos K., Lalas D. 2008. A fine resolution regional Climate change experiment for the Eastern Mediterranean :Analysis of the present climate simulations. *Global and Planetary Change*, 64: 93-104.
- Mandal M., Mohanty U.C., Raman. S. 2004. A study on the impact of parameterization of physical processes on prediction of tropical cyclones over the Bay of Bengal with NCAR/PSU mesoscale model. *Natural Hazard*, 31: 391-414.
- Maslin M. 2005. *Global Warming: A Very Short Introduction*, Oxford University Press.
- Salathe´ E. P., Jr., Steed R., Mass C. F., and Zahn P. H. 2008. A high-resolution climate model for the United States Pacific Northwest, part II:Mesoscale feedbacks and local responses to climate change,

- Journal of Climate, 21: 5708-5726.
- Skamarock W. C., Klemp J. B., Dudhia J., Gill D. O., Barker D. M., Wang W. and Powers J. G., 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note TN-468+STR. 113 pp
- Tadross M. A., Gutowski W. J. Jr., Hewitson B. C, Jack C. J., and New M. 2005. MM5 simulations of interannual change and the diurnal cycle of southern African regional climate, Theoretical and Applied Climatololgy, in press.
- Wang S. C., Huang S.U., Li Y. 2006. Sensitive simulation and analysis of rainstorm using nested WRF model. Journal of Hydrodynamics, 18: 578-586.
- Zhang, D. L. and Zheng W. Z.. 2004. Diurnal Cycles of Surface Winds and Temperatures as Simulated by Five Boundary Layer Parameterizations. Journal of Applied Meteorology, 43: 157-169.
- Zhang Y., Dulière V., Mote P., Salathé J.r. E. P. 2009. Evaluation of WRF and HadRM Mesoscale Climate Simulations over the United States Pacific Northwest, Journal of Climate: In Press



ກາດພນວກ

ภาคผนวก ก ข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCMs)

ข้อมูลแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (GCMs) จากบางสถาบัน โดย GCMs ของสถาบันต่างๆ มีการพัฒนาอยู่เสมอและมีรุ่น (Version) อื่นๆ นอกเหนือจากที่แสดงในตารางนี้

หมายเหตุ 1) ขนาดพิกัด (grid resolution) มีหน่วยเป็น °ละติจูด (latitude) x °ลองจิจูด (longitude) 2) L = Layer (ชั้นบรรยากาศของแบบจำลอง)

สถาบันและหน่วยงาน ที่รับผิดชอบ	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ร่วมกับ Princeton University สหรัฐอเมริกา
ชื่อ GCM รุ่น (Version) ต่าง ๆ	GFDL GFDL-R15, GFDL-R30, GFDL CM 2.0, GFDL CM 2.1
GFDL-R15	ขนาดพิกัด $4.5^\circ \times 7.5^\circ$ (หรือ $\sim 500 \times 600$ ก.ม.), 9 L โดย Manabe & Wetherald (1987) จำนวนพื้นที่แสดงผลในโลก $48^\circ \times 40^\circ$ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า 2.2°C
GFDL-R15 Q-Flux	ขนาดพิกัด $4.5^\circ \times 7.5^\circ$ (run with Q flux correction) ผู้ปรับปรุงแบบจำลอง Manabe & Wetherald (1990), Wetherald and Manabe (1990)
GFDL-R30	ขนาดพิกัด $2.22^\circ \times 3.75^\circ$, 14 L (run with Q flux) ปรับปรุงโดย Manabe & Wetherald 1990, Wetherald & Manabe (1990) Download ข้อมูลได้จาก IPCC Data Distribution Center http://www.ipcc-data.org/is92/gfdlr30_download.html
GFDL CM 2.X family GFDL CM 2.0 GFDL CM 2.1	พัฒนาใหม่ใน ค.ศ. 2004 (เป็น couple model) ประมวลผลโดยใช้ชั้นบรรยากาศ 24 ชั้น และชั้นในมหาสมุทร 50 ชั้น ขนาดพิกัด $2.5^\circ \times 2.0^\circ$ ปรับปรุงโดย Delworth <i>et al.</i> (2004) ผลลัพธ์แตกต่างจาก GFDL R15 และ GFDL R30 ยังไม่ให้บริการข้อมูลใน IPCC DDC สามารถถ่ายโอนข้อมูลได้จาก GFDL Data Portal http://data1.gfdl.noaa.gov/

สถาบันและหน่วยงานที่รับผิดชอบ	Goddard Institute for Space Studies NASA ร่วมกับ มหาวิทยาลัยโคลัมเบีย (Columbia University) ที่เมืองนิวยอร์ก (New York City) สหรัฐอเมริกา
ชื่อ GCM รุ่น (Version)	GISS GISSmodel II, GISSmodel E
GISS Model II	ต้นแบบพัฒนาโดย Hansen <i>et al.</i> 1983 ขนาดพิกัด $8^\circ \times 10^\circ$, 9 L ต่อมาได้มีการปรับปรุงอีกหลายครั้งโดย Del Genio and Yao (1993), Del Genio <i>et al.</i> (1996), Rosenzweig and Abramopoulos (1997), Hartke and Rind (1997) โดย Hansen <i>et al.</i> (1997) ทำการสรุปการปรับปรุงทั้งหมด
GISS Model E	เป็น AOGCM พัฒนาล่าสุด ต่อจาก GISS Model II โดย Schmidt <i>et al.</i> 2006 ขนาดพิกัด $4^\circ \times 5^\circ$ ใช้จำลองสภาพภูมิอากาศ (Simulation) ปี 1880–2003 แบบจำลองมหาสมุทร (Ocean model) คือ GISS-ModelE-R – Russell <i>et al.</i> (1995; 2000) GISS-ModelE-H – HYCOM (Bleck 2000; 2002) www.giss.nasa.gov/tools/modelE/ www.giss.nasa.gov/research/modeling/
สถาบันและหน่วยงานที่รับผิดชอบ	National Center for Atmospheric Research (NCAR) Boulder, Colorado, ร่วมกับ Pennsylvania State University (PNNL) สหรัฐอเมริกา
ชื่อ GCM รุ่น (Version)	CCM (Community Climate Model) มี 3 ตระกูลคือ CCM0, CCM1, CCM3 PCM (Parallel Climate Model) CSM (Climate System Model) CCSM (Community Climate System Model) CAM (Community Atmospheric Model) เป็นชื่อใหม่ของ CCM



CCM	เป็น AGCM ต้นแบบที่พัฒนาเริ่มแรกคือ CCM 0 CCM 0A Washington <i>et al.</i> (1982) CCM 0B Williamson <i>et al.</i> (1983) รุ่นต่อมาได้แก่ CCM1, 1987; ขนาดพื้นที่ $4.5^\circ \times 7.5^\circ$ CCM2, 1992 CCM3 เป็นรุ่นที่สมบูรณ์ที่สุด (Kiehl <i>et al.</i> (1998) ขนาดพิกัด $2.8^\circ \times 2.8^\circ$, 18 L
PCM 1.1	Parallel Climate Model version 1.1 โดย Washington <i>et al.</i> 2000 พัฒนาโดยสถาบันอื่นและนำมาประสานกับ CCM3 ขนาดพิกัด $2.8^\circ \times 2.8^\circ$ (~ 300 x 300 ก.ม.) www.cgd.ucar.edu/pcm
CSM	เป็น AOGCM เกิดจากการควมรวม CCM3 เข้ากับ PCM เผยแพร่ใน 1996, โดย Boville and Gent (1998) ขนาดพิกัด $2.8^\circ \times 2.8^\circ$, L18 CSM 1.0, 1996 CSM 1.1, 1998 CSM 1.2, 2000
CCSM	เป็น AOGCM CCSM 2.0 (2002) CCSM 2.0.1 (2001) CCSM 3.0 โดย Collins <i>et al.</i>, 2005 http://www.ccsn.ucar.edu
CAM	Community Atmospheric Model (2002) เป็นชื่อใหม่ของ CCM (โดย NCAR ยกเลิกชื่อ CCM) เป็น AGCM (uncouple model)
สถาบันและหน่วยงานที่รับผิดชอบ	Hadley Center for Climate Prediction and Research, Bracknell, สหราชอาณาจักร UK Meteorological Office
ชื่อ GCM รุ่น (Version)	UKMO HadAM1, HadAM3 (เป็น AGCM) HadCM2, HadCM3 (เป็น AOGCM)

UKMO	ขนาดพิกัด $5^\circ \times 7.5^\circ$, 11 L โดย Slingo (1985)
UKLO	UKLO ความละเอียดต่ำ (low resolution run) โดย Wilson and Mitchell (1987)
UKMO HadAM1	ขนาดพิกัด $2.5^\circ \times 3.75^\circ$, 19 L โดย Cullen (1993)
UKMO HadAM2	ขนาดพิกัด $2.5^\circ \times 3.75^\circ$, 19 L โดย Hewitt <i>et al</i> (1996), Johns <i>et al.</i> (1997)
HadAM3	Pope <i>et al.</i> (2000)
HadAM3H	เป็น AGCM ความละเอียดสูง (Atmospheric Higher Resolution) พัฒนาจาก HadCM3 ขนาดพิกัดประมาณ $\sim 120, 150$ ก.ม. โดย Pope <i>et al.</i> , 2000, Hudson and Jones (2002) ใช้ในการย่อส่วน (downscale) ลงในแบบจำลองภูมิภาค HadRM3H ให้มีพื้นที่แสดงผลประมาณ 25 ก.ม.
HadCM2	เป็น AOGCM ขนาดพิกัด $2.5^\circ \times 3.75^\circ$, 19 L หรือ 417×278 ก.ม. ที่ศูนย์สูตร หรือ 295×278 ก.ม. ที่ละติจูด 45° จำนวนพื้นที่แสดงผล (grid) บนผิวโลก 73×96 (ละติจูด $\times$ ลองจิจูด) อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า $(2 \times \text{CO}_2) = 1.7^\circ\text{C}$ โดย Cullen (1993), Johns <i>et al.</i> (1997)
HadCM3	ขนาดพิกัด $2.5^\circ \times 3.75^\circ$, 19 L หรือ 417×278 ก.ม. ที่ศูนย์สูตร หรือ 295×278 ก.ม. ที่ละติจูด 45° Gordon <i>et al.</i> (2000), Johns <i>et al.</i> (2003) ให้บริการข้อมูลใน IPCC DDC http://www.ipcc-data.org/sres/hadcm3_info.html



สถาบันและหน่วยงานที่รับผิดชอบ	Max Planck Institut fur Meteorologie (MPI) และ Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ) ใน Hamburg, University of Hamburg, เยอรมัน German Climate Research Center
ชื่อ GCM รุ่น (Version)	ECHAM ECHAM3, ECHAM4, ECHAM5
ECHAM3	ขนาดพิกัด $2.8^\circ \times 2.8^\circ$ หรือ $\sim 300 \times 300$ ก.ม., 19 L พัฒนาจาก European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) โดย Roeckner <i>et al.</i> (1992)
ECHAM 4	ขนาดพิกัด $2.8^\circ \times 2.8^\circ$ หรือ $\sim 300 \times 300$ ก.ม., 19 L จำนวนพื้นที่แสดงผล (grid) บนผิวโลก: 128 x 64 (ละติจูด x ลองจิจูด) อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า 1.3°C โดย Roeckner <i>et al.</i> (1996) ให้บริการข้อมูลใน IPCC DDC http://www.ipcc-data.org/is92/echam4_info.html
ECHAM4/OPYC3	ขนาดพิกัด $2.8^\circ \times 2.8^\circ$, 19 L Roeckner <i>et al.</i> (1992), (1996) Timmreck <i>et al.</i> (1999)
ECHAM5	พัฒนาต่อมาโดยชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นเป็น 31/32 ชั้น โดย Roeckner <i>et al.</i> , 2003
สถาบันและหน่วยงานที่รับผิดชอบ	Canadian Center for Climate Modeling and Analysis Victoria, BC, Canada)
ชื่อ GCM รุ่น (Version)	CCCma AGCM1, AGCM2, AGCM3, CGCM1, CGCM2, CGCM3
CCC	Canadian Climate Center โดย Boer, McFarland, and Lazare (1992)

AGCM	AGCM (แบบจำลองบรรยากาศ) ประกอบด้วยรุ่น 1 2 และ 3 AGCM1 AGCM2 AGCM3
CGCM	AOGCM (แบบจำลองควบบรรยากาศและทะเล) ประกอบด้วยรุ่น 1 2 และ 3 ขนาดพิกัด $3.75^\circ \times 3.75^\circ$, 10 L อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 2.7°C เมื่อคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เป็น 2 เท่า (ตาม CGCM1) CGCM1 CGCM2 MacFarlane <i>et al.</i> 1992 CGCM3 CGCM3.1 (2004) ขนาดพิกัด $3.8^\circ \times 3.8^\circ$
สถาบันและหน่วยงานที่รับผิดชอบ	Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) CSIRO Atmospheric Research, Melbourne, Australia
ชื่อ GCM รุ่น (Version)	CSIRO-Mk2 CSIRO MK3
Mk1 GCM	AGCM โดย McGregor <i>et al.</i> (1993).
CSIRO Mk2	AOGCM ขนาดพิกัด $5.625^\circ \times 3.25^\circ$, 9 L http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/dkrz/dkrz_index.html . Gordon and O'Farrel (1997)
CSIRO_MK3	AOGCM พัฒนาโดย Gordon <i>et al.</i> (2002) www.dar.csiro.au/publications/gordon_2002a.pdf



สถาบันและหน่วยงาน ที่รับผิดชอบ	Japanese Center for Climate System and Research (CCSR) University of Tokyo, Japan National Institute for Environmental Studies (NIES), Ibaraki Frontier Research Center for Global Change (FRCGC), Kanagawa Meteorological Research Institute (MRI)
ชื่อ GCM รุ่น (Version)	CCSR/NIES : CCSR-98 MIROC3.2 (medres) MIROC3.2 (hires) MRI
CCSR/NIES	ขนาดพิกัด $5.625^{\circ} \times 5.625^{\circ}$ โดย Numaguti <i>et al.</i> (1995)
CCSR/NIES2	ขนาดพิกัด $5.6^{\circ} \times 5.6^{\circ}$, 20 L โดย Nozawa <i>et al.</i> , (2000)
MIROC	พัฒนาที่ CCSR/NIES/FRCGC
MIROC3.2 (medres)	CCSR/NIES/FRCGC ขนาดพิกัดมีความละเอียดปานกลาง (medium resolution) ขนาดพิกัดขนาดพิกัด $2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$
MIROC3.2 (hires)	CCSR/NIES/JAMSTEC พื้นที่แสดงผลมีความละเอียดปานสูง (high resolution) ขนาดพิกัด $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$ โดย Hasumi and Emori (2004)
MRI1a	พัฒนาที่ Meteorological Research Institute ขนาดพิกัด $4^{\circ} \times 5^{\circ}$, 15 L โดย Tokioka <i>et al.</i> , (1996)
MRI2	CGCM โดย Meteorological Research Institute ขนาดพิกัด $2.8^{\circ} \times 2.8^{\circ}$, 30 L โดย Yukimoto <i>et al.</i> , 2000
MRI-CGCM2.3.2A	ปรับปรุงต่อโดย Yukimoto <i>et al.</i> (2001)

สถาบันและหน่วยงานที่ รับผิดชอบ	Institute Pierre Simon Laplace (IPSL) ประเทศฝรั่งเศส PSL Global Climate Modeling Group
ชื่อ GCM รุ่น (Version)	IPSL_CM0, IPSL_CM1, IPSL_CM2, IPSL_CM3, IPSL_CM4
IPSL_CM0	โดย (Braconnot, 1997)
IPSL_CM1	โดย (Braconnot <i>et al.</i> , 2000)
IPSL_CM2	โดย (Le Clainche <i>et al.</i> , 2001)
IPSL_CM3	(Li and Conil, 2003)
IPSL_CM4	ขนาดพิกัด 2.5 x 3.75 Marti <i>et al.</i> (2005) http://igcmg.ipsl.jussieu.fr/Doc/IPSLCM4
สถาบันและหน่วยงานที่ รับผิดชอบ	Centre National de Recherches Meteorologiques (CNRM), Meteo-France, Toulouse, France
ชื่อ GCM รุ่น (version)	CNRM
CNRM-CM3	Meteo-France/CNRM, France ขนาดพิกัด $2.8^\circ \times 2.8^\circ$ โดย Salas-Melia (2005) http://www.cnrm.meteo.fr/scenario2004/references_eng.html



ภาคผนวก v

ข้อมูลแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค (RCMs)

ตารางที่ 1-2 รายชื่อแบบจำลองสภาพภูมิอากาศภูมิภาค (Regional Climate Model) จาก
บางสถาบัน

ชื่อ RCMs และ Version	รายละเอียด
MMx	Mesoscale Model พัฒนาที่ Pennsylvania State University (PNNL) / NCAR-DOE มีหลายรุ่น เช่น MM4, MM5
MM4	Mesoscale Model รุ่น 4 โดย Anthes <i>et al.</i> (1987)
MM5	Mesoscale Model รุ่น 5 พื้นที่แสดงผล 36 x 36 ก.ม. โดย Grell <i>et al.</i> (1994); Dudhia <i>et al.</i> (2000)
RegCM	Regional Climate Model เป็นแบบจำลองสภาพภูมิอากาศภูมิภาคที่พัฒนาจาก Mesoscale model MM4 ของ Pennsylvania State University/NCAR พื้นที่แสดงผล 60 ก.ม. โดย Giorgi, Brodeur and Bate (1994)
RegCM2	ให้บริการและ บำรุงรักษา (maintain) โดย (The Abdus Salam International Center for Theoretical Physic (ICTP), Triesty, Italy พื้นที่แสดงผล 0.5 x 0.5 lat. x lon. พัฒนาจาก PSU-NCAR MM4 โดย Giorgi <i>et al.</i> (1993a); Giorgi <i>et al.</i> (1993b)

RegCM3	ปรับปรุงจาก RegCM2 โดย Pal <i>et al.</i> (2007) พื้นที่แสดงผล 50 กม 60 ใน S.AM http://news.ictp.it/php/linkout/o.php?out= http://www.ictp.trieste.it/%7Epwc
CRCM	Canadian Regional Climate Model หรือ Canadian RCM พัฒนาที่ University of Quebec (UQAM), Montreal, Canada พื้นที่แสดงผล 45 ก.ม. โดย Caya <i>et al.</i> (1995)
HadRM	Hadley Center Regional Climate Model พัฒนาโดย The Meteorological Office , Hadley Centre for Climate Prediction and Research, UK มีหลายรุ่น เช่น HadRM2, HadRM3, HadRM3H, HadRM3P
HadRM2	ขนาดพิกัด 0.44 X 0.44 ประมาณ 50 กม ใช้ HadCM2 เป็นขอบเขต (Boundary condition)
HadRM3	พื้นที่แสดงผล 50 ก.ม.
HadRM3H	พื้นที่แสดงผล 25 ก.ม. (ขนาดพิกัด 0.22 x 0.22) โดย Hudson and Jones (2002). ใช้ HadAM3H และ HadCM3 เป็นขอบเขต (boundary condition)
HadRM3P	Jones <i>et al.</i> (2003) พื้นที่แสดงผล 25 ก.ม.
PRECIS/ HadRM3	Providing Regional Climates for Impacts Studies เป็นโครงการของ The Meteorological Office, Hadley Centre for Climate Prediction and Research, UK ที่ให้บริการแบบจำลอง RCM โดยไม่คิดมูลค่าแก่ประเทศกำลังพัฒนา เพื่อใช้ในการศึกษาผล กระทบ แต่มีเงื่อนไขในการนำมาใช้ เช่นต้องเข้ารับการอบรม เป็นต้น PRECIS สามารถใช้กับ GCMs ได้หลายแบบ (ใช้เป็น boundary condition) RCM ที่ใช้ใน PRECIS คือ HadRM3P (Jones <i>et al.</i> , 2004) แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้เป็นขอบเขต ได้จาก HadCM3 ความละเอียดสูง (150 km) หรือ HadAM3H (high resolution) พื้นที่แสดงผล 50 ก.ม.



RSM	Regional Spectral Model พัฒนาที่ National Center for Environmental Prediction (NCEP) โดย Juang and Kanamitsu (1994) เริ่มพัฒนาเพื่อใช้พยากรณ์อากาศ (weather prediction) พื้นที่แสดงผล 80 ก.ม. มีการพัฒนาต่อโดย Juang <i>et al.</i> (1997) Hong and Leetma (1999) พื้นที่แสดงผล 15 - 50 ก.ม.
WRF	Weather Research and Forecasting พัฒนาที่ NCAR โดย Klemp <i>et al.</i> (2000); Michalakes (2000); Chen and Dudhia (2000) http://www.wrf-model.org/index.php
CWRF	Regional Climate- Weather Research and Forecasting เป็นแบบจำลองที่พัฒนาต่อจาก WRF โดย Illinois State Water Survey โดย Liang <i>et al.</i> (2005)
C-CAM	Conformal- Cubic Atmospheric Model พัฒนาที่ CSIRO เป็นแบบจำลองที่ใช้กับแบบจำลองโลกอื่นได้หลายแบบ โดย McGregor (1996), McGregor and Katzfey (1998) พื้นที่แสดงผล 60 ก.ม. ในออสเตรเลียและเอเชีย

ภาคผนวก ค แหล่งข้อมูลภูมิอากาศและแบบจำลอง

ข้อมูลและแบบจำลองภูมิอากาศโลกจากหลายสถาบันมีให้บริการทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย แต่ข้อมูลที่มีความละเอียดสูงหรือข้อมูลจำเพาะอาจมีค่าใช้จ่ายในบางส่วน และมีข้อจำกัดบ้าง ซึ่งสถาบันที่ให้บริการข้อมูลจากแบบจำลองโลกและภูมิภาค มีดังนี้

	สถาบัน	Website
1	IPCC Data Distribution Centre	http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/
2	Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison	http://www-pcmdi.llnl.gov/
3	World Data Center (WDC) for Meteorology	www.ncdc.noaa.gov/oa/wmo/wdca-met.html
4	The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP)	http://users.ictp.it/~pubregcm/RegCM3/globedat
5	NASA	http://www.giss.nasa.gov/tools/

1. The IPCC Data Distribution Centre (IPCC DDC)

เว็บไซต์ <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/> เป็นแหล่งข้อมูลสาธารณะที่ดีที่สุดในการเข้าถึงข้อมูลและผลลัพธ์ของแบบจำลองโลก ให้บริการข้อมูลภูมิอากาศที่ประกอบด้วย ข้อมูลภูมิอากาศพื้นฐาน (Baseline data) และภูมิอากาศในอนาคต (Scenario data) รวมทั้งเศรษฐกิจ สังคม และสภาพแวดล้อมที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลเหล่านี้จำเป็นต่อการประเมินผลกระทบ ความอ่อนไหว และการปรับตัว แหล่งข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากความร่วมมือของสถาบันชั้นนำที่ศึกษา วิจัย และตรวจวัดภูมิอากาศทั่วโลก DDC ให้บริการข้อมูล 4 หมวด พร้อมทั้งคำแนะนำ ได้แก่

1.1 ข้อมูลภูมิอากาศจากการตรวจวัด (Observed climate data)

- ▶▶ ระหว่างปี 1901–1990
- ▶▶ ขนาดพื้นที่ (Grid) $0.5^\circ \times 0.5^\circ$
- ▶▶ ค่าเฉลี่ย (mean) 10 และ 30 ปี



1.2 ข้อมูลภูมิอากาศโลกในอนาคต (Global climate model data and scenarios)

จากผลลัพธ์ของ GCM จากสถาบันต่าง โดยต้องผ่านหลักเกณฑ์ต่าง ๆ เช่น

- ▶▶ เป็นแบบจำลองภูมิอากาศโลกแบบ 3 มิติ ที่ความบรรยากาศและมหาสมุทร (Couple atmospheric – oceanic GCMs)
- ▶▶ ผ่านการพิมพ์เผยแพร่ในวารสารทางวิชาการที่มี Peer review
- ▶▶ มีความคงตัวโดยทำการประมวลผลหลายศตวรรษ (Multi-century run) เข้าร่วมในการทดสอบแบบจำลองตามโครงการเปรียบเทียบแบบจำลอง (Second Coupled Model Intercomparison Project, CMIP2)

จากข้อกำหนดดังกล่าวทำให้ปัจจุบัน มีข้อมูลจาก 7 สถาบันที่ให้บริการใน DDC โดยสามารถรับข้อมูลเชิงปริมาณ (ไม่ใช่สัดส่วน) จากผลลัพธ์ของ GCMs และข้อมูลผลลัพธ์จาก GCMs เป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนประกอบด้วย

- ▶▶ อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
- ▶▶ อุณหภูมิสูงสุด (°C)
- ▶▶ อุณหภูมิต่ำสุด (°C)
- ▶▶ ปริมาณน้ำฝน (มม/วัน)
- ▶▶ ความดันไอ (Vapor pressure) (hPa)
- ▶▶ เมฆปกคลุม (Cloud cover) (%)
- ▶▶ ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
- ▶▶ ความชื้นในดิน

1.3 ข้อมูลสภาพจำลองสังคมและเศรษฐกิจในอนาคต (Socio-economic data and scenarios)

ให้บริการข้อมูลด้านเศรษฐกิจและสังคมที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต ทั้งข้อมูลภูมิอากาศและข้อมูลที่นอกเหนือจากภูมิอากาศ เช่น การเติบโตทางเศรษฐกิจ ประชากร รายได้ ลักษณะของดิน แหล่งน้ำ การกระจายแรงงานในภาคเศรษฐกิจต่างๆ พื้นที่การเกษตร พลังงาน ความหลากหลายทางชีวภาพ เป็นต้น โดยจำแนกตามภูมิภาค

1.4 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางสภาพแวดล้อมในอนาคต (Data and scenarios for environmental change)

ให้บริการข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมที่นอกเหนือจากภูมิอากาศ เพื่อใช้ในการศึกษาผลกระทบและความอ่อนไหว โดยบริการให้ทั้งข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลสภาพจำลองในอนาคต (scenarios) เช่น ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอโซน ซัลเฟอร์ สารประกอบไนโตรเจน อนุภาคฝุ่น และควัน (particulate

matter and smoke) ระดับน้ำทะเล ดิน การใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวดิน การเกษตร ความหลากหลายทางชีวภาพ เป็นต้น

2. Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison (PCMDI)

เป็นหน่วยงานที่ Lawrence Livermore National Laboratory ในรัฐ California สนับสนุนโดย Climate Change Research Division of the U.S. Department of Energy's Office of Science, Biological and Environmental Research (BER) program ให้บริการข้อมูลภูมิอากาศตามพิกัดที่ต้องการ รวมทั้งเชื่อมโยงกับสถาบันอื่นที่มี GCMs เช่น NCAR CCSM, PCM และ GFDL CM2.0 and CM2.1 เป็นต้น

3. World Data Center (WDC) for Meteorology

เป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายในการให้บริการและแลกเปลี่ยนข้อมูลนานาชาติ ตั้งอยู่ที่ Asheville, North Carolina ภายใต้การอำนวยการของ International Council for Scientific Union (ICSU) สนับสนุนโดย National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) บริหารงานโดย National Climate Data Center (NCDC) หน่วยงานนี้ให้บริการข้อมูลภูมิอากาศ Global Baseline Data Sets สำหรับ Global change monitoring โดยไม่คิดมูลค่า ในระดับหนึ่ง ส่วนข้อมูลที่มีความจำเพาะอาจคิดค่าบริการในการจัดสรร หรือ Format ให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการใช้งานของผู้แสดงความจำนง

Website: www.ncdc.noaa.gov/oa/wmo/wdcamet.html

4. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP)

<http://users.ictp.it/~pubregcm/RegCM3/globedat.htm>

ICTP เป็นสถาบันที่สนับสนุนโดย 3 หน่วยงาน คือ รัฐบาลอิตาลี UNESCO และ IAE ให้บริการข้อมูลและแบบจำลองสภาพภูมิอากาศภูมิภาค RegCM3 โดยไม่คิดมูลค่า รวมทั้งมีเครือข่าย RegCNET สำหรับผู้ใช้บริการแบบจำลองดังกล่าวที่บำรุงรักษาโดย The Physics of Weather and Climate Group ภายใต้ ICTP ตั้งอยู่ที่ Trieste, Italy.

5. NASA

<http://www.giss.nasa.gov/tools/> หรือ <http://data.giss.nasa.gov/>

Goddard Institute of Space Studies เป็นหน่วยงานของ NASA ที่พัฒนา GCM และให้บริการข้อมูล และ Scenarios ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยให้บริการข้อมูลและแบบจำลอง GISS model II และ GISS model E รวมทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการใช้แบบจำลอง



แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต

เป็นสาระความรู้และข้อมูลการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่มองระยะยาวถึงศตวรรษที่ 21 ซึ่งประมวลจากโครงการศึกษาของกลุ่มวิจัยแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต ที่นักวิชาการจากหลายสถาบันมาทำงานร่วมกัน เริ่มตั้งแต่ แบบจำลองภูมิอากาศหลายแบบที่ใช้ศึกษา เงื่อนไขและสมมุติฐานในการจำลอง และตัวแปรภูมิอากาศและชุดข้อมูลผลลัพธ์ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมต่อการใช้งานและเผยแพร่เพื่อต่อยอดในการศึกษาวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อภาคส่วนต่างๆ ต่อไป



สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
979/17-21 ชั้น 14 อาคารเอส เอ็ม ทาวเวอร์ ถนนพหลโยธิน
แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2278 8200 โทรสาร 0 2298 0476
E-mail: callcenter@trf.or.th
Homepage: <http://www.trf.or.th>