

# รายงาน IPCC & TARC

## องค์ความรู้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ของโลกและไทย



สำนักงานกองทุน  
สนับสนุนการวิจัย



T-GLOB

ศูนย์ประสานงานและพัฒนา  
งานวิจัยด้านโลกร้อนและการ  
เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

รายงาน IPCC & TARC : องค์ความรู้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกและไทย



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>

# “รายงาน IPCC & TARC : องค์กรความรู้ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกและไทย”

ในการประชุมวิชาการระดับชาติ

เรื่อง ประเทศไทยกับภูมิอากาศโลกครั้งที่ 2: การเปลี่ยนกระบวนทัศน์สู่เศรษฐกิจสีเขียว  
วันที่ 19 สิงหาคม 2554 ณ ศูนย์ประชุมอิมแพ็ค เมืองทองธานี

เรื่องการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่โลกกำลังเกิดเผชิญในขณะนี้ มีหลักฐานคำอธิบายทั้งจากข้อสรุปการศึกษาของ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) และจากเหตุการณ์ความผิดปกติของสภาพอากาศและภัยพิบัติธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วโลก ซึ่งข้อเท็จจริงเหล่านี้ทำให้เกิดความตระหนักที่ทุกคนบนโลกต้องหันมาร่วมมือกันเพื่อแก้ไขปัญหา นักวิทยาศาสตร์ไทยที่ร่วมงานกับ IPCC ได้ริเริ่มการทำงานร่วมกับนักวิชาการในศาสตร์ต่างๆ เพื่อประมวลความรู้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย สังเคราะห์ประเด็นสำคัญที่มีนัยยะต่อการกำหนดนโยบาย รวมถึงองค์ความรู้ที่ยังเป็นช่องว่างและจำเป็นต้องการกำหนดนโยบาย กระบวนการทำงานและการเชื่อมต่อประสานองค์ความรู้ระหว่างโลกและไทย ได้นำมาสู่การเกิดขึ้นของแหล่งองค์ความรู้ที่เป็นรูปธรรมด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทยหรือ Thailand's First Assessment Report on Climate Change : (1<sup>st</sup> TARC)



ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ  
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย



## กำหนดการประชุม

### “IPCC & TARC : องค์ความรู้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ของโลกและไทย”

Time	Programme
09.00 - 09.15	<b>Keynote Speech</b> <b>Carbon Finance and Funding for post 2012 Credits</b> <b>Mr. Vijay Jagannathan</b> Sector Manager Infrastructure Unit, East Asia and Pacific Region, World Bank
09.15 – 10.45	<b>นักวิทยาศาสตร์ไทยกับประสบการณ์ร่วมงาน Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) องค์กรที่ได้รับรางวัล Nobel Prize 2007</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● รศ.ดร. กันตธีร์ บุญประกอบ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง</li> <li>● รศ.ดร. สิรินทรเทพ เต่าประยูร บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี</li> <li>● รศ.ดร. อำนาจ ชิดไธสง บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี</li> </ul>
	<b>IPCC &amp; TARC : พลวัตขับเคลื่อนองค์ความรู้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● จาก IPCC สู่ Thailand's First Assessment Report on Climate Change (TARC)            รศ.ดร. อำนาจ ชิดไธสง            บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม            มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี</li> </ul>

Time	Programme
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ประเด็นสำคัญด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ รศ.ดร. กัณทิพย์ บุญประกอบ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ดร. อัครมน ลิ้มสกุล ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ประเด็นสำคัญด้านผลกระทบ ความล่อแหลม และการปรับตัว ผศ.ดร. อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลง ของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</li> <li>● ประเด็นสำคัญด้านการลดก๊าซเรือนกระจก รศ.ดร. สิรินทรเทพ เต่าประยูร บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี</li> </ul>
	ผู้ดำเนินรายการ: นายแพทย์ยงยุทธ มัยลาภ
10.45 – 11.00	Coffee Break
11.00 – 12.30	<p><b>วิพากษ์ : จาก Thailand's First Assessment Report on Climate Change (TARC) สู่ นโยบาย</b></p> <p>เลขาธิการคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ เลขาธิการสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เลขาธิการสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร เลขาธิการสำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมแห่งชาติ ผู้อำนวยการสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน อธิบดีกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ผู้นำการวิพากษ์: นายศิริธัญญ์ ไพโรจน์บริบูรณ์ ผู้อำนวยการองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การ มหาชน)</p>
	ผู้ดำเนินรายการ: นายแพทย์ยงยุทธ มัยลาภ

# ที่มาและกระบวนการจัดทำรายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานการณ์ องค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 พ.ศ.2554

## 1. บทนำ

การเตรียมการรับมือกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมีความยากและซับซ้อน เนื่องจากมีเงื่อนไขเวลาที่ยาวนาน (มากกว่า 50 ปี) มีความไม่แน่นอนสูงในเรื่องแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง และความรุนแรงของผลกระทบที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังต้องอาศัยความรู้จากสาขาที่ครอบคลุมหลายมิติและหลายระดับ การวางนโยบายเพื่อตั้งรับและสร้างความสามารถในการปรับตัวเพื่อลดการสูญเสียจึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้และข้อมูลที่น่าเชื่อถือและมีการประสานงานอย่างเป็นระบบระหว่างหน่วยงานวิชาการที่เป็นผู้สร้างข้อมูล และหน่วยงานระดับนโยบายที่นำข้อมูลไปปรับใช้

ในระดับโลกและระดับภูมิภาค มีหน่วยงานหลัก คือ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ทำหน้าที่เชื่อมระหว่างภาควิชาการกับหน่วยงานตัดสินใจนโยบาย โดย IPCC ได้รับการสนับสนุนจากองค์การสหประชาชาติผ่าน WMO (World Meteorological Organization) และ UNEP (United Nations Environment Program) มีการดำเนินงานที่เน้นคุณภาพของข้อมูล มีความเป็นกลาง และมีความเป็นอิสระในเชิงวิชาการ ในการทำงาน IPCC ได้สนับสนุนด้านการเงินให้กับนักวิทยาศาสตร์จากประเทศกำลังพัฒนา ทำให้มีโอกาสเข้าถึงข้อมูลความรู้ใหม่ๆ มีโอกาสเข้าไปทำงานร่วมแลกเปลี่ยนข้อมูลความรู้กับนักวิทยาศาสตร์จากประเทศที่พัฒนาแล้ว ซึ่งรัฐบาลของประเทศเหล่านั้นลงทุนสนับสนุนการเงินให้นักวิทยาศาสตร์ของตนเองเข้ามาทำงานกับ IPCC ทำให้เกิด Platform การแลกเปลี่ยนและพัฒนาองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพความสำเร็จในการดำเนินงานของ IPCC ได้ปรากฏให้เห็นจากการอ้างอิงที่แพร่หลายและการได้รับยอมรับจากหน่วยงานและรัฐต่าง ๆ ทั่วโลก ข้อมูลที่รายงานโดย IPCC นั้นมีความน่าเชื่อถือสูง มีความโปร่งใสทั้งในการเสนอและ

การวิเคราะห์ข้อมูล นอกจากการทำหน้าที่ประเมินและสังเคราะห์องค์ความรู้เป็นระยะๆ แล้ว IPCC ยังตอบสนองต่อความต้องการเฉพาะหน้าต่างๆ โดยการทำการประเมินองค์ความรู้เฉพาะเรื่อง การดำเนินงานของ IPCC จึงถือได้ว่าเป็นรูปแบบการดำเนินงานที่น่าศึกษาและนำมาประยุกต์ใช้เพื่อผลักดันให้มีการพัฒนาองค์ความรู้ที่สอดคล้องกับความต้องการจากผู้กำหนดนโยบายในระดับต่างๆ ในประเทศไทย

สำหรับในประเทศไทยที่ผ่านมา ปรากฏว่าประเด็นเรื่องการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้รับความสนใจจากหน่วยงานต่างๆ อย่างแพร่หลาย หน่วยงานสนับสนุนการวิจัยทั้ง สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ หน่วยงานและสถาบันการศึกษาต่างๆ ต่างให้ทุนศึกษาวิจัยเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ทำให้เกิดองค์ความรู้และความตระหนักด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในสังคมไทยมากขึ้น หน่วยงานระดับนโยบายเริ่มที่จะนำประเด็นด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศบูรณาการเข้ากับแผนนโยบายมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการที่สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้กำหนดยุทธศาสตร์ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศไทย และต่อมาได้กำหนดให้มีการดำเนินการจัดทำแผนแม่บทและแผนปฏิบัติการเพื่อให้หน่วยงานในระดับปฏิบัติสามารถนำไปดำเนินการได้

นโยบายและยุทธศาสตร์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยนั้น จำเป็นต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานองค์ความรู้และข้อมูลจากการศึกษาวิจัยที่ถูกต้องทันสมัย และได้รับการปรับปรุงพัฒนาอยู่เสมอๆ ให้มีความเป็นปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยจึงสนับสนุนให้ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (THAI-GLOB) เป็นแกนประสานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ 1) สังเคราะห์องค์ความรู้ ด้านการเปลี่ยนภูมิอากาศที่สามารถเป็นที่อ้างอิงของประเทศได้ ใน 3 ประเด็นหลัก คือ ด้านวิทยาศาสตร์พื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ด้านผลกระทบ ความล่อแหลมและการปรับตัว และด้านศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และ 2) เป็นแนวทางในการพัฒนาองค์ความรู้



ที่ไม่มี โดยผลลัพธ์ คือ รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2554 (Thailand's First Assessment Report on Climate Change 2011 - 1<sup>st</sup> TARC)

## 2. การสังเคราะห์ประมวลองค์ความรู้ (Assessment) คืออะไร

โดยหลักการแล้ว การสังเคราะห์ประมวลองค์ความรู้ (Assessment) ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ หมายถึง การดำเนินการอย่างเป็นระบบและเป็นขั้นตอนในการรวบรวมองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่มี จากนั้นจึงนำองค์ความรู้ดังกล่าวมาสังเคราะห์เพื่อให้เห็นเนื้อหาสาระที่สำคัญ ให้เห็นการพัฒนาองค์ความรู้และสถานภาพองค์ความรู้จากอดีตถึงปัจจุบัน ให้เห็นความเชื่อมโยงองค์ความรู้ที่มีอยู่ ตลอดจนประเมินว่าองค์ความรู้ที่มีความถูกต้องหรือน่าเชื่อถือมากน้อยแค่ไหน นอกจากนี้ยังรวมถึง การให้ข้อเสนอแนะเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือหรือเพื่อสร้างองค์ความรู้ที่ยังไม่ชัดเจนหรือไม่มี ข้อมูลหรือองค์ความรู้ที่นำมาสังเคราะห์ประมวลควรเป็นข้อมูลที่เปิดเผยต่อสาธารณะและได้รับการยอมรับจากนักวิชาการในสาขานั้นๆ (ผ่านการ review หรือตรวจสอบก่อนได้รับการตีพิมพ์) ซึ่งหมายความว่า การทำ Assessment แตกต่างไปจากการรวบรวมองค์ความรู้ (literature reviews) โดยทั่วไป เพราะการทำ Assessment มีความเข้มข้น มีกระบวนการที่เป็นระบบและเป้าหมายที่กว้างและลึกกว่า

อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ Assessment อาจไม่ได้ทุกอย่างตามที่คาดไว้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของผู้ทำการประมวลและสังเคราะห์ และความพร้อมหรือการมีอยู่ของข้อมูล เช่น ในกรณีที่ไม่มีงานวิจัยหรือความรู้มากพอ ผลการทำ Assessment แทนที่จะเป็นองค์ความรู้แต่อาจจะเป็นประเด็นปัญหาหรือองค์ความรู้ที่ขาด (gap of knowledge) และการจัดลำดับความสำคัญขององค์ความรู้ นั้น เป็นต้น ดังนั้น การทำ Assessment เป็นการสะท้อนถึงความพร้อมบนพื้นฐานความรู้ของสังคมในการตั้งรับและแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศด้วย



### 3. รูปแบบการจัดทำ 1<sup>st</sup> TARC

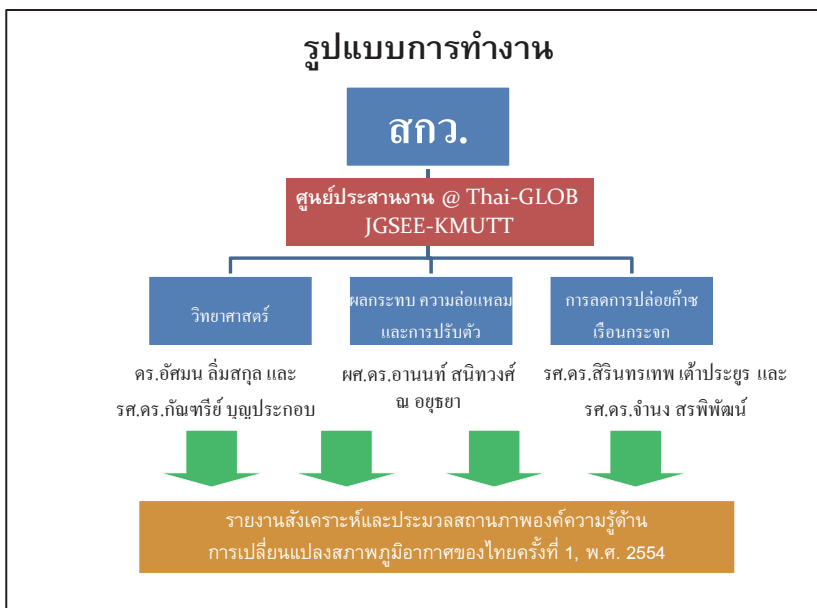
การจัดทำรายงานเพื่อสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 นี้ ทางศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ของ สกว. (Thailand Research Fund's Research Development and Coordination Center for Global Warming and Climate Change; THAI-GLOB) ได้นำรูปแบบการจัดทำรายงานของ IPCC model มาประยุกต์ใช้โดยมีกรอบงานครอบคลุมการวิเคราะห์ประเมิน (Assessment) และสังเคราะห์ (Synthesis) องค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ซึ่งรวมถึงการสังเคราะห์องค์ความรู้ที่เป็นพื้นฐาน (Scientific basis เช่น climate observation ในอดีตจนถึงปัจจุบัน) ผลกระทบ ความล่อแหลมและการปรับตัว (Impacts, vulnerability and adaptation) และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย (Greenhouse gas mitigation) โดยมีคณะทำงานที่ประกอบด้วยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง เป็นกลไกหลักในการดำเนินการ ซึ่งคณะทำงานดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก (รูปที่ 1) ดังกล่าวข้างต้น โดยแต่ละกลุ่มจะมีผู้นำ (Coordinating Lead Authors, CLA) เป็นผู้ประสานงานหลักตลอดจนรวบรวมและตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาในเบื้องต้นและมีคณะทำงาน (Lead Authors, LA) อีกกลุ่มละประมาณ 10-15 คน ที่เป็นผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน รับผิดชอบในการสังเคราะห์และประมวลองค์ความรู้ในเรื่องนั้นๆ ต่อไป

บทบาทของผู้ประมวลองค์ความรู้ คือ รวบรวมข้อมูล ความรู้ จากแหล่งอ้างอิงต่างๆ จัดเตรียมและสังเคราะห์เนื้อหาของเรื่อง และเข้าร่วมประชุมย่อยภายในกลุ่มทำงาน โดยดำเนินการเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ของการจัดทำรายงานเพื่อสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 (Thailand's First Assessment Report on Climate Change – 1<sup>st</sup> TARC) ซึ่งให้ความสำคัญกับความน่าเชื่อถือและคุณภาพของข้อมูลวิจัย โดยข้อมูลที่นำมาใช้ควรได้รับการตีพิมพ์ในสิ่งพิมพ์ที่

สามารถอ้างอิงได้และผ่าน peer review เป็นหลัก อย่างไรก็ตาม พบว่ายังมีข้อมูลที่อยู่ในข่ายที่สามารถนำมาอ้างอิงเพื่อประกอบการจัดทำรายงานเพื่อสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 ได้แก่

- รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์จากหน่วยงานสนับสนุนทุนวิจัย เช่น สกว. วช. สสส. รายงานโครงการวิจัยและรายงานประจำปีของหน่วยงานภาครัฐและเอกชนและองค์กรอิสระ (NGOs) ทั้งในและต่างประเทศ
- วิทยานิพนธ์ที่ได้รับการรับรองความถูกต้องสมบูรณ์ของเนื้อหาจากหน่วยงานต้นสังกัดแล้ว
- Proceedings ของการจัดประชุมสัมมนาวิชาการ workshops
- ฐานข้อมูลจาก Website และ ข้อมูล Online อื่นๆ

ทั้งนี้การที่พิจารณาใช้หรือไม่ใช้ข้อมูลที่ไม่ผ่านการ peer review เหล่านี้ ผู้ประมวลองค์ความรู้อาจประเมินความน่าเชื่อถือและการปรึกษากันในแต่ละกลุ่มเพื่อประกอบการตัดสินใจ เมื่อตัดสินใจจะใช้ข้อมูลใดๆ ผู้ประมวลฯ จะรวบรวมเอกสารที่ใช้ในการอ้างอิงนั้นๆ อย่างครบถ้วน (ชื่อเรื่อง, ผู้แต่ง, ชื่อรายงานหรือหนังสือ, และชื่อผู้ที่สามารถติดต่อในกรณีที่ต้องการข้อมูลเพิ่มเติมได้ เป็นต้น) เพื่อการจัดเก็บรวบรวมเป็นฐานข้อมูลและใช้ประโยชน์ในลักษณะอื่นๆ ต่อไป



**รูปที่ 1** รูปแบบการจัดทำรายงานเพื่อสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1

#### 4. หลักการการจัดทำ 1st TARC

การจัดทำรายงานเพื่อสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 มีหลักการที่สำคัญคือ

1) มีความเป็นกลางในเชิงเนื้อหา ครอบคลุมงานวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของทุกหน่วยงานทั่วประเทศ มีการประเมินและประมวลความก้าวหน้าความรู้ต่างๆ ที่เกิดขึ้นอย่างตรงไปตรงมาและตั้งอยู่บนหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่อ้างอิงได้ การกำหนดหัวข้อที่จะทำการประเมิน กระทำโดยการประชุมระดมความคิดเห็นจากผู้มีส่วนที่เกี่ยวข้อง และมีการประชุมเพื่อติดตามความก้าวหน้าและเพิ่มเนื้อหาให้ครอบคลุมองค์ความรู้ทั้งในและต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง (รูปที่ 2)

2) ความโปร่งใส โดยเปิดโอกาสให้มีการตรวจสอบความถูกต้องโดยนักวิทยาศาสตร์มืออาชีพ และ หน่วยงานที่มีส่วนได้ส่วนเสีย ซึ่งในการที่จะทำสำเร็จได้ทั้งผู้ประเมิน/สังเคราะห์องค์ความรู้ และผู้ review ต้องมีความเข้มแข็งและมีคุณภาพเท่าเทียมกัน ในการจัดทำ 1<sup>st</sup> TARC จึงจัดให้มีการประเมิน โดยผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด 2 รอบ โดยรอบแรกเป็นการประเมินในเชิงเทคนิคโดยนักวิชาการ/นักวิจัยผู้ทรงคุณวุฒิ (technical review) ผู้ที่ทำการประเมินได้รับการเสนอชื่อจากที่ประชุมหรือคัดเลือกจากฐานข้อมูลนักวิจัยของสำนักงานสนับสนุนการวิจัย ส่วนการประเมินในรอบที่ 2 เป็นการประเมินโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจทั่วไป (government review) โดยใช้กลไกการประชุมระดมสมองซึ่งมีเข้าร่วมประชุมจากหน่วยงานต่างๆ มากกว่า 100 คน

ขั้นตอนหลังจากที่ทาง สกว. ได้รับผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว ทาง สกว. จะส่งผลดังกล่าวให้กับ CLAs และ LAs เพื่อนำมาปรับปรุงต้นฉบับให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ ทั้งนี้ LAs ที่รับผิดชอบในแต่ละหัวข้อ จะตอบคำถามหรือชี้แจงประเด็นเหล่านั้น และข้อความทั้งหมดจะถูกนำขึ้น website กลางของ TARC เพื่อให้ประชาชนผู้สนใจสามารถเข้ามาอ่านได้ โดยทราบว่าผู้ที่ทำการ review คือใครและผู้เขียน (LAs) คือใคร ทั้งนี้ ทาง สกว. จะได้แจ้งผู้เชี่ยวชาญให้ทราบว่า คำถามหรือข้อเสนอแนะนั้น ได้รับการชี้แจง ปรับปรุงแก้ไขหรืออธิบายเพิ่มเติมแล้ว โดยสามารถดูรายละเอียดได้ทาง website ของ TARC (<http://climatechange.jgsee.org>)



## รูปที่ 2 ขั้นตอนและกระบวนการการจัดทำรายงานการสังเคราะห์และประมวล สถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1

## คณะทำงานกลุ่มที่ 1

องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

### ผู้นำกลุ่ม (Coordinating Lead Author)

รศ.ดร.กัณห์รีย์ บุญประกอบ, ดร.อัศมน ลิ้มสกุล

### ผู้ประมวลองค์ความรู้ (Lead Author)

รศ.ดร.กัลยา วาธยากร, ผศ.ดร.จิรสรณ์ สันตสิริสมบุญ, รศ.ดร.เจียมใจ เครือสุวรรณ,  
ดร.ดุขฎิ ศุขวัฒน์, อาจารย์ชชนันฐ ภัทรสถาพรกุล, รศ.ดร.นาฏสุดา ภูมิจำนงค์,  
ดร.ปัทมา สิงห์รักษ์, ดร.สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ดร.แสงจันทร์ ลิ้มจิรกาล,  
รศ.ดร.เสริม จันทร์ฉาย

### ผู้ประเมินรายงาน

ดร.สมเกียรติ อภินวนวิศว์, ดร.สมเกียรติ ขอเกียรติวงศ์, ศ.ดร.นิพนธ์ ตั้งธรรม,  
ดร.วนิสา สุรพิพิท, รศ.ดร.วีระศักดิ์ อุดมโชค, คุณสิริรัตน์ จันทรมหเสถียร,  
รศ.ดร.สุจริต คุณธนกุลวงศ์

## คณะทำงานกลุ่มที่ 2

องค์ความรู้ด้านผลกระทบ ความล่อแหลมและการปรับตัว

### ผู้นำกลุ่ม (Coordinating Lead Author)

ผศ.ดร.อานนท์ สนิทวงศ์ ณ อยุธยา

### ผู้ประมวลองค์ความรู้ (Lead Author)

ผศ.น.สพ.ดร.จักรกริศา เนื่องจำนงค์, คุณทิพย์วดี วิมุตติสุนทร, ดร.นฤมล หิญาชีระนันท์  
อรุโณทัย, ดร.นเรศ ดำรงชัย, รศ.ดร.ยงยุทธ ไตรสุรัตน์, คุณวรวิมล ตันติวนิช,  
ดร.วิจิตรบุษบา มารมย์, รศ.ดร.ศันสนีย์ ชูแหว, คุณศุภกร ชินวรรณ, รศ.ดร.สุจิต  
คุณธนกุลวงศ์, รศ.นพ.สุนทร สุขพงษ์, รศ.ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์,  
รศ.ดร.สุวลักษณ์ สาธมนัสพันธ์, รศ.ดร.อรรณชัย จินตะเวช

### ผู้ประเมินรายงาน

ดร.จีราภา อินธิแสง, ศ.ดร.ชนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล, คุณบุญชัย งามวิทย์โรจน์,  
รศ.สมพร อิกวิลานนท์, ดร.สมิท ธรรมเชื้อ, รศ.ดร.สุริยพงศ์ วัฒนาศักดิ์,  
รศ.ดร.อิทธิ ทริสิริสตัยวงศ์, ดร.อัศมน ลิ้มสกุล,



## คณะทำงานกลุ่มที่ 3

### องค์ความรู้ด้านการลดก๊าซเรือนกระจก

#### ผู้นำกลุ่ม (Coordinating Lead Author)

รศ.ดร.สิรินทร์เทพ เต่าประยูร และ รศ.ดร.จ่านง สรพิพัฒน์

#### ผู้ประมวลองค์ความรู้ (Lead Author)

ดร.ชโลธร แก่นสันตีสุนทรมงคล, รศ.ดร.ชาติ เจียมไชยศรี, ดร.ณัฐพงษ์ ชยวัชโร, ดร.บุญรอด สัจกุลนุกิจ, ผศ.ดร.ลดาวัลย์ พวงจิตร, คุณรินทวัฒน์ สมบัติศิริ, ศ.ดร.สุรพงศ์ จิระรัตนานนท์

#### ผู้ประเมินรายงาน

รศ.ดร.กัณห์วิทย์ บุญประกอบ, ดร.โกวิทย์ ฉายสุรีย์ศรี, ศ.ดร.จงรักษ์ ผลประเสริฐ, ผศ.ดร.จากรวรรณ ชนม์ธนววัฒน์, ดร.ชัยวัฒน์ มั่นเจริญ, คุณชวลิต พิชาลัย, รศ.ดร.ชยันต์ ดันตวิธดาการ, ศ.ดร.นิพนธ์ ตั้งธรรม, รศ.ดร.นิรมล สุธรรมกิจ, คุณบัณฑิต เศรษฐศิริโรตม์, รศ.ดร.ประเสริฐ ภาสันต์, ผศ.ดร.ปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา, รศ.ดร.สมชาย จันทร์ขาวนา, ศ.สมร มุตามมะระ, คุณสิริรัตน์ จันทร์มหเสถียร, ดร.สุจิตรา จางตระกูล, รศ.ดร.สุวิทย์ เตีย

#### ผู้จัดการโครงการ

ดร.คมศิลป์ วังยาว

#### ผู้ประสานงาน

คุณเฟินิจ กลิ่นบุปผา



---

# **รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1**

## **ข้อเสนอทางเทคนิค Technical Summary**

---

# องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

## องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

คณะทำงานกลุ่มที่ 1 รายงานสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 ให้ความสำคัญกับบริบทของประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในอดีตจนถึงปัจจุบันจากหลักฐานของบรรพภูมิอากาศและข้อมูลตรวจวัด ลักษณะและกระบวนการสำคัญของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในระดับภูมิภาค และภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตสเกลละเอียดในระดับท้องถิ่นหรือประเทศ โดยใช้ข้อมูลจากงานวิจัยและรายงานทางวิชาการของไทยเป็นหลัก เพื่อให้ตระหนักถึงความสำคัญของข้อมูล และองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเชิงวิทยาศาสตร์ของประเทศไทยที่ได้มีการศึกษาวิจัยแล้ว ประเด็นที่ยังไม่ชัดเจนและจำเป็นต้องศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต โดยใช้ลักษณะการตั้งคำถาม-ตอบ เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ

### 1. สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ระบบภูมิอากาศเป็นระบบที่ซับซ้อน ซึ่งพลวัตและความแปรปรวนเกิดจากการพยายามรักษาสมดุลของพลังงานระหว่างองค์ประกอบที่สำคัญของระบบภูมิอากาศโลก ได้แก่ 1) บรรยากาศ 2) พื้นดินและหิน 3) ชARNน้ำแข็งและหิมะ 4) มหาสมุทรและแหล่งน้ำ และ 5) สิ่งมีชีวิต โดยมีพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นแรงขับเคลื่อนที่สำคัญ การเปลี่ยนแปลงส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบภูมิอากาศโลก เช่น บรรยากาศมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกซึ่งดูดกลืนความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างส่วนประกอบทั้งห้าเพื่อปรับสมดุลขึ้นใหม่ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

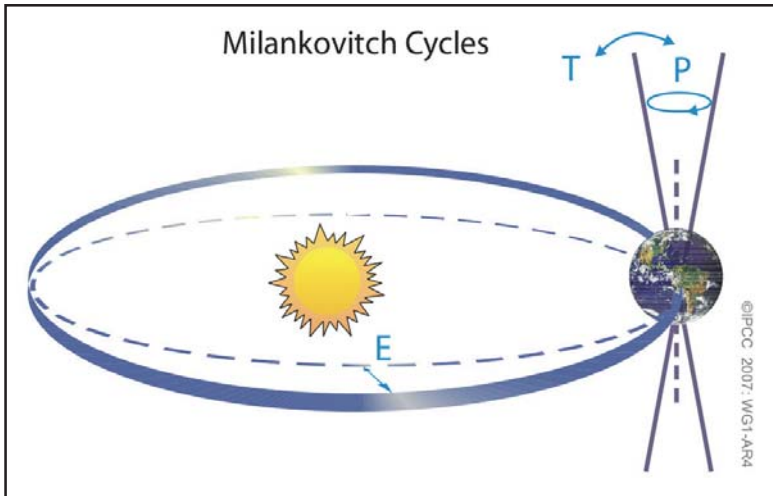


พลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์และขับเคลื่อนให้เกิดยุคน้ำแข็งเป็นวัฏจักรตามธรรมชาติในบรรพกาลมีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับระยะทางที่โลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ ซึ่งไม่สม่ำเสมอ กัน ตามวัฏจักรมิลานโควิช(Milankovitch cycle) โดยประกอบด้วย ระยะห่างของ วงโคจรของโลก รอบดวงอาทิตย์ (Eccentricity, E) แกนโลกที่เอียงทำมุมกับดวงอาทิตย์ (Axial tilt, T) และการหมุนเหวี่ยงของแกนโลกขณะหมุนรอบตัวเอง (Precession,P) (รูปที่ 1) ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้ มีลักษณะของการเกิดเป็นวัฏจักร (cycle) โดยแต่ละรอบใช้เวลาตั้งแต่ประมาณ 100,000 ปี ถึง 20,000 ปี

จากหลักฐานทางบรรพภูมิอากาศในช่วง 650,000 ปีที่ผ่านมา พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณมากที่สุดในบรรยากาศโลก ก๊าซชนิดนี้ไม่เคยมีปริมาณสูงเกินกว่า 300 ส่วนในล้านส่วน แต่ภายหลังยุคอุตสาหกรรม (เริ่ม~ค.ศ.1750 หรือประมาณ พ.ศ.2293) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณเพิ่มขึ้นมาก โดยเพิ่มสูงเกินกว่า 380 ส่วนในล้านส่วน ในปี ค.ศ.2010 (พ.ศ.2553) นอกจากนี้ก๊าซมีเทนและก๊าซไนตรัสออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก มีปริมาณเพิ่มขึ้นเช่นกัน ทำให้บรรยากาศโลกดูดกลืนความร้อนไว้มากขึ้น ส่งผลให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง

ความรู้พื้นฐานด้านภูมิอากาศเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นความจำเป็นอันดับแรก ในการสร้างภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต เพื่อเตรียมการรับมือกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ อย่างเป็นระบบตามหลักวิชาการ การศึกษาในด้านนี้ได้มีการพัฒนาและมียุคความรู้ใหม่เกิดขึ้นเสมอ โดยมีรายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC) เป็นแหล่งของข้อมูลและองค์ความรู้ที่สำคัญ





**รูปที่ 1** วัฏจักรมิลานโควิช (Milankovitch cycle) มีผลต่อพลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ และการเกิดยุคน้ำแข็งตามธรรมชาติในรอบเวลาต่างๆ ได้แก่ ระยะห่างของวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ (Eccentricity, E รอบละ 100,000 ปี) แกนเอียงของโลกที่ทำมุมกับดวงอาทิตย์ (Axial tilt, T รอบละ 41,000 ปี) และการหมุนเหวี่ยงของแกนโลก (Precession, P รอบละ 21,000 ปี)

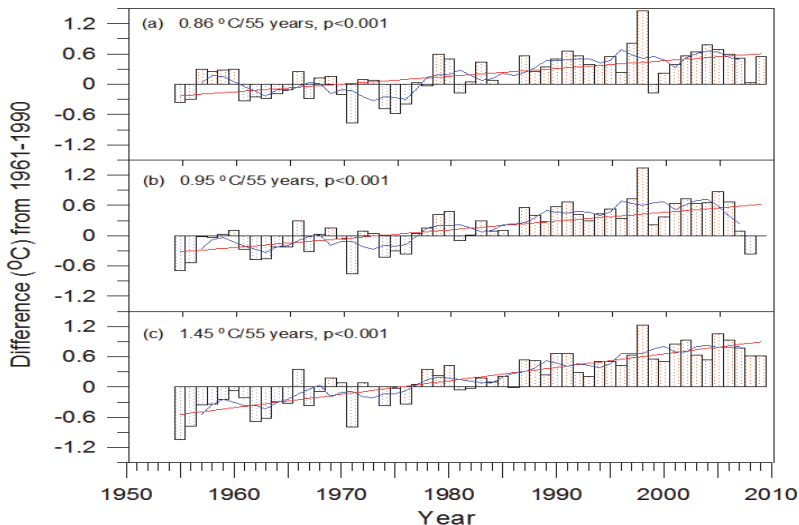
## 2. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและฝนในประเทศไทย

ข้อมูลตรวจวัดจากสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ บ่งชี้ว่าอุณหภูมิในประเทศไทยในรอบ 55 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2498-2552) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ระดับความเชื่อมั่นมากกว่า 99% หรือ ค่า  $p < 0.001$ ) โดยค่าเฉลี่ยรายปีของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.86 0.95 และ 1.45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (รูปที่ 2) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของไทย (0.95 องศาเซลเซียส) มีอัตราที่สูงกว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก (0.69 องศาเซลเซียส) (รูปที่ 3) ส่วนอุณหภูมิผิวน้ำทะเล

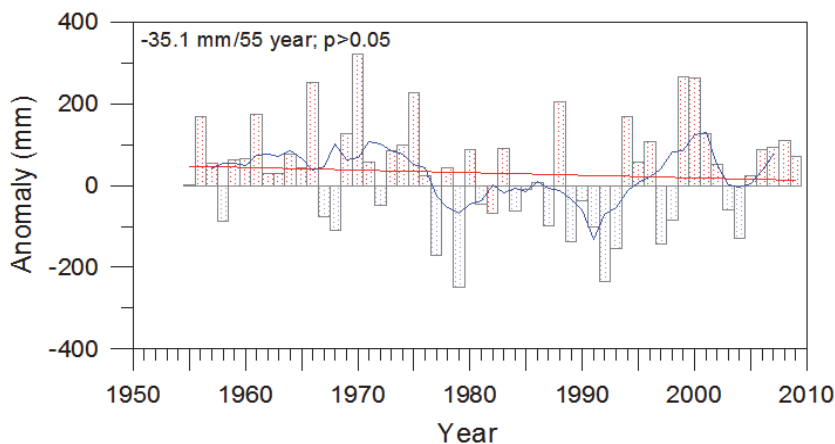


เฉลี่ยในอ่าวไทยและทะเลอันดามันในรอบ 50 ปี (พ.ศ.2510-2549) มีแนวโน้มสูงขึ้นประมาณ 0.1 องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ไม่ปรากฏในปริมาณฝนสะสมรายปีของประเทศไทยในช่วงเวลาเดียวกัน (พ.ศ.2498-2552) โดยการเปลี่ยนแปลงระหว่างปีซึ่งสัมพันธ์กับความแปรปรวนของลมมรสุมและปรากฏการณ์เอนโซ (El Niño-Southern Oscillation หรือ ENSO) เป็นรูปแบบที่โดดเด่นของปริมาณฝนในประเทศไทย (รูปที่ 4) นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยรายปีของความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ ) ในอัตราร้อยละ 2.2 และ 0.71 องศาเซลเซียส ในรอบ 42 ปี (พ.ศ.2508-2549) ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการระเหยของน้ำที่ตรวจวัดด้วยถาดวัดการระเหยในประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ.2513-2552 กลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญในอัตรา 7.7 มิลลิเมตรต่อปี

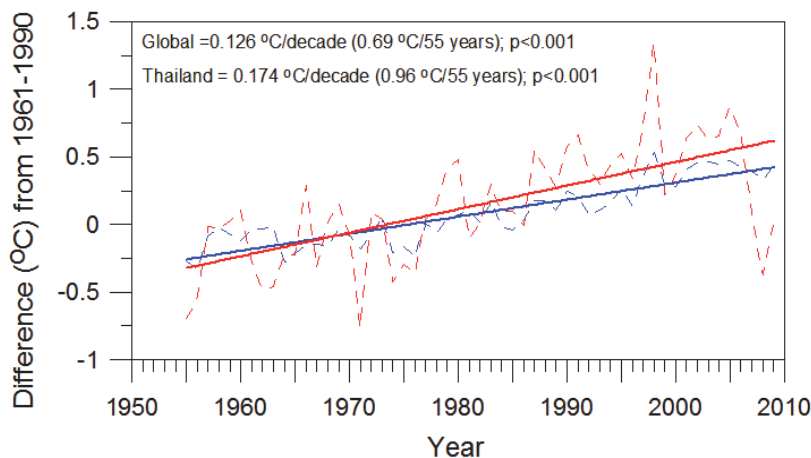
**รูปที่ 2** ค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยในช่วงค.ศ.1961-1990 (พ.ศ. 2504-2533) ของ



(a) อุณหภูมิสูงสุด (b) อุณหภูมิเฉลี่ย และ (c) อุณหภูมิต่ำสุด เส้นสีแดงและน้ำเงิน แสดงแนวโน้มเชิงเส้นตรงและค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ในคาบเวลา 5 ปี ตามลำดับ



รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโลก (เส้นสีน้ำเงิน) และประเทศไทย (เส้นสีแดง) ในช่วง ค.ศ.1961-1990 (พ.ศ. 2504-2533)



รูปที่ 4 ค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยในช่วงค.ศ.1981-2000 (พ.ศ. 2524-2543) ของปริมาณฝนสะสมรายปีจาก 43 สถานีในประเทศไทย เส้นสีแดงและน้ำเงิน แสดงแนวโน้มเชิงเส้นตรงและค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ในคาบเวลา 5 ปี

### 3. สภาวะสุดขีดของลมฟ้าอากาศจากอดีตถึงปัจจุบัน มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

การวิเคราะห์เหตุการณ์ลมฟ้าอากาศที่มีความถี่ของการเกิดไม่บ่อยครั้ง นับแต่มีระดับที่รุนแรง จากฐานข้อมูลฝนและอุณหภูมิรายวัน พบว่า ดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิ (temperature extreme index) ในประเทศไทยหลายดัชนี มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ในรอบ 36 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2513-2549) โดยรูปแบบการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะสอดคล้องกับแนวโน้มการร้อนขึ้นของประเทศไทย แนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิในประเทศไทย ประกอบด้วย ดัชนีช่วงระยะเวลาที่อบอุ่น ดัชนีจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 องศาเซลเซียส ดัชนีจำนวนคืนที่อุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ดัชนีค่าสูงสุดรายเดือนของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประจำวัน ดัชนีค่าต่ำสุดรายเดือนของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดประจำวัน ดัชนีจำนวนวันและคืนที่อบอุ่น ในขณะที่ แนวโน้มการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิในประเทศไทย ปรากฏในดัชนีจำนวนวันและคืนที่หนาวและดัชนีช่วงระยะเวลาที่หนาว (ตารางที่ 1) ทั้งนี้ แนวโน้มของสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในลักษณะที่สอดคล้องกันและมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันเป็นบริเวณกว้างทั้งประเทศนี้ บ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิต่ำสุด และมีลักษณะที่คล้ายคลึงและสอดคล้องกับหลักฐานการเปลี่ยนแปลงที่ตรวจพบในหลายพื้นที่ของโลก

ขณะที่ดัชนีสภาวะสุดขีดของฝนในประเทศไทย มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงในอัตราที่แตกต่างกัน ปริมาณฝนสะสมรายปี จำนวนวันฝนตกรวมรายปีและความถี่ของเหตุการณ์ฝนหนัก มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลายสถานี การเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวเนื่องกับแนวโน้มการลดลงของเหตุการณ์ดังกล่าว คือ ดัชนีความแรงฝนและจำนวนวันที่ฝนไม่ตกอย่างต่อเนื่อง มีการเพิ่มขึ้นเกือบทั่วทุกภาค นอกจากนี้ ความแห้งแล้งในประเทศ

ไทยในระดับรุนแรง มีความถี่ของการเกิดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังจาก  
ปลายทศวรรษที่ 1970

**ตารางที่ 1** ดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิในประเทศไทยที่คำนวณจาก 65  
สถานี ค่าในวงเล็บคือ ค่าเฉลี่ยของทุกสถานี โดยค่าเปอร์เซ็นต์ แสดงถึงการ  
เปลี่ยนแปลงที่ลดลง (-) หรือเพิ่มขึ้น (+) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น  
95%

ดัชนีสภาวะสุดขีดของอุณหภูมิ	การเปลี่ยนแปลง (1970-2006)
1. จำนวนวันที่อบอุ่น (วันต่อทศวรรษ) สัดส่วนของวันที่อุณหภูมิสูงสุด สูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90	-0.6 to 9.2 (3.4) <b>80.0%</b>
2. จำนวนคืนที่อบอุ่น (วันต่อทศวรรษ) สัดส่วนของวันที่อุณหภูมิต่ำสุด สูงกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90	-0.3 to 8.8 (3.5) <b>83.1%</b>
3. จำนวนวันที่หนาว (วันต่อทศวรรษ) สัดส่วนของวันที่อุณหภูมิต่ำสุด ต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10	-3.9 to 0.1 (-1.9) <b>92.3%</b>
4. จำนวนคืนที่หนาว (วันต่อทศวรรษ) สัดส่วนของวันที่อุณหภูมิต่ำสุด ต่ำกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10	-7.5 to 0.9 (-3.0) <b>83.1%</b>
5. ช่วงระยะเวลาที่หนาว (วันต่อทศวรรษ) จำนวนวันที่ต่อเนื่องอย่างน้อย 6 วันที่อุณหภูมิต่ำสุด ต่ำกว่าค่า เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10	-13.4 to 6.0 (-1.9) <b>60.0%</b>
6. ช่วงระยะเวลาที่อบอุ่น (วันต่อทศวรรษ) จำนวนวันที่ต่อเนื่องอย่างน้อย 6 วันที่อุณหภูมิสูงสุด สูงกว่าค่า เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90	-0.5 to 19.5 (4.3) <b>72.3%</b>
7. ค่าต่ำสุดเฉลี่ยของอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน (องศาเซลเซียสต่อ ทศวรรษ) ค่าต่ำสุดเฉลี่ยของอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน	-0.28 to 1.85 (0.64) <b>72.3%</b>

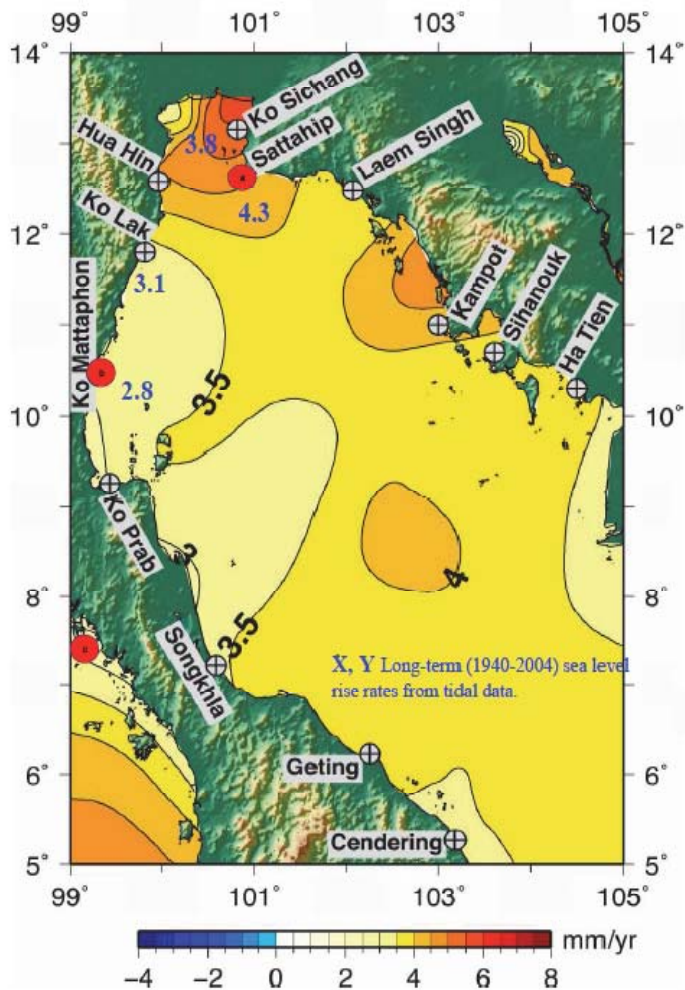
#### 4. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยทั้งในฝั่งอ่าวไทยและทะเลอันดามัน

ระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นเนื่องจาก 2 สาเหตุหลัก คือ การขยายตัวของมวลน้ำทะเลจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นและการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำทะเล เนื่องจากการละลายของธารน้ำแข็งบนแผ่นดินและการละลายของน้ำแข็งขั้วโลก การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลอันเนื่องมาจากการขยายตัวของมวลน้ำคิดเป็นร้อยละ 30 ส่วนการละลายของน้ำแข็งคิดเป็นร้อยละ 55 ของอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลระหว่างปี ค.ศ.1993-2008 (พ.ศ.2536-2551) ในระดับภูมิภาค การเพิ่มขึ้นของน้ำทะเลมีค่าไม่เท่ากันทั่วโลก โดยบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันตกมีอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลสูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วโลก

ประเทศไทยมีการตรวจวัดระดับน้ำทะเลด้วยสถานีวัดระดับน้ำโดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ตั้งแต่ปี ค.ศ.1940 (พ.ศ.2483) ที่ผ่านมาการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในระยะยาวภายในน่านน้ำไทยนั้น ยังได้ภาพที่ไม่ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากการวัดระดับน้ำที่สถานีวัดนั้น เป็นการวัดระยะห่างระหว่างผิวน้ำทะเลเทียบกับตัวเรือนสถานีที่ยึดอยู่กับแผ่นดิน ดังนั้นหากเกิดการเคลื่อนตัวของแนวตั้งของแผ่นดิน เครื่องมือย่อมบันทึกการเปลี่ยนแปลงนี้ไว้ด้วย การเคลื่อนที่แนวตั้งของแผ่นดินมี 3 สาเหตุหลัก คือ 1) การเผยตัวของเปลือกโลก เนื่องจากการละลายของน้ำแข็งหลังจากยุคน้ำแข็ง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับโลก 2) การเปลี่ยนแปลงของธรณีฐานของแผ่นเปลือกโลก เป็นการเปลี่ยนแปลงในระดับภูมิภาค เช่น แผ่นดินไหวสุมาตรา-อันดามันเมื่อปีค.ศ.2006 (พ.ศ. 2547) ทำให้เปลือกโลกในประเทศไทยมีการยกตัวขึ้น และ 3) การทรุดตัวของแผ่นดินเนื่องจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การสูบน้ำบาดาล การกักเก็บตะกอนไว้เหนือเขื่อน การขุดเจาะน้ำมัน เป็นต้น ในการหาอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลสุทธิ จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้ด้วย ปัจจุบันมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงด้วย

ระบบจีพีเอส (GPS) ทำให้สามารถหาค่าอัตราการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของเปลือกโลกได้

ผลการวิเคราะห์ระดับน้ำจากสถานีวัดระดับน้ำ 4 สถานีในอ่าวไทยในรอบกว่า 60 ปี (พ.ศ. 2483-2547) ที่แยกอัตราการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในแนวตั้งออกจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลสัมพัทธ์แล้ว พบว่าแนวโน้มของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยมีอัตราการเพิ่มขึ้น  $3.0 \pm 1.5$  ถึง  $5.0 \pm 1.3$  มิลลิเมตรต่อปี โดยความไม่แน่นอนของอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่ยังมีค่าสูงอยู่นั้น มีที่มาจากความไม่แน่นอนในการวัดอัตราการเคลื่อนตัวในทางตั้งของแผ่นดิน (ตารางที่ 2) การศึกษาล่าสุดโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมระหว่างปีค.ศ. 1993-2008 (พ.ศ. 2546-2551) พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยมีค่าอยู่ระหว่าง 3-5 มิลลิเมตรต่อปี (รูปที่ 5) โดยมีค่าสูงบริเวณอ่าวไทยตอนใน



รูปที่ 5 อัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยจากข้อมูลดาวเทียมอัลติมิเตอร์ ระหว่างปีค.ศ.1993-2008 และอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลจากสถานีวัดระดับน้ำระหว่างปีค.ศ.1940-2004 ที่ สถานีสัตหีบ เกาะสีชัง เกาะหลัก เกาะมัตโปน



**ตารางที่ 2** อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยจากสถานีวัดระดับน้ำใน  
อ่าวไทย สถานีเกาะหลักและสัตหีบ (ปี ค.ศ.1940-2004) สถานีเกาะมัตโพน  
(ค.ศ.1964-2004) สถานีเกาะสีชัง (ค.ศ.1940-1999)

หน่วย: มิลลิเมตรต่อปี

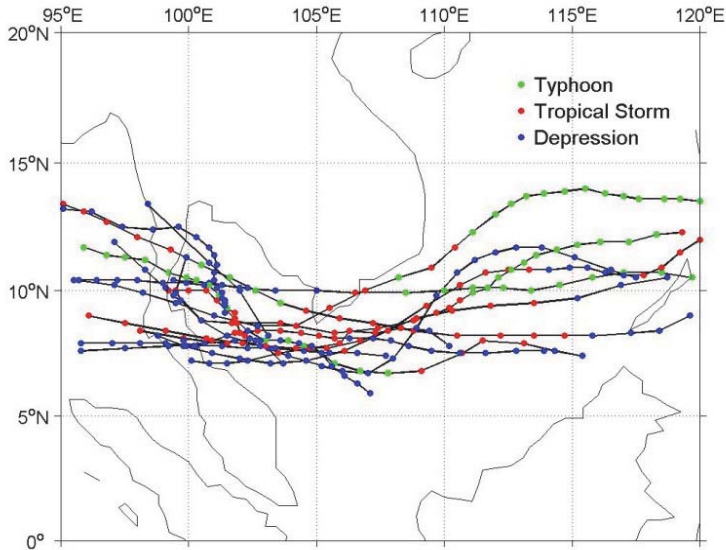
สถานี	อัตราการเพิ่มขึ้นของ ระดับน้ำทะเลสัมพัทธ์	อัตราการยกตัว ของพื้นดิน	อัตราการเพิ่มขึ้น ของระดับน้ำทะเล สุทธิ
สัตหีบ	$1.0 \pm 0.3$	$3.3 \pm 1.9$	$4.3 \pm 1.9$
เกาะสีชัง	$0.0 \pm 5.2$	$3.3 \pm 1.9$	$3.8 \pm 1.9$
เกาะหลัก	$-0.70 \pm .1$	$3.8 \pm 1.3$	$3.1 \pm 1.3$
เกาะมัตโพน	$1.50 \pm .7$	$1.30 \pm .9$	$2.8 \pm 1.1$

## 5. แนวโน้มการเกิดพายุและคลื่นพายุซัดฝั่งบริเวณประเทศไทย

คลื่นพายุซัดฝั่ง (storm surge) หมายถึง ระดับน้ำที่สูงขึ้นชั่วคราวบริเวณชายฝั่งเนื่องจากปรากฏการณ์ทางอุตุนิยมวิทยา เช่น เกิดจากพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนที่เข้าสู่ฝั่ง ซึ่งระดับความสูงของคลื่นพายุซัดฝั่งถูกกำหนดโดยความแรงของพายุและลักษณะของชายฝั่ง ได้แก่ ความลึกของชายฝั่ง ความชันของชายฝั่ง รูปร่างของชายฝั่ง และการเกิดกำทอน (resonance) โดยชายฝั่งที่ตื้นมีความลาดชันน้อย คลื่นพายุซัดฝั่งที่เกิดขึ้นจะมีระดับความสูงมากกว่าชายฝั่งที่มีความลาดชันมาก อันตรายของคลื่นพายุซัดฝั่งเกิดจากน้ำเอ่อล้นเข้าท่วมพื้นที่ชายฝั่ง หากพายุเคลื่อนที่ขึ้นฝั่งในช่วงที่พอดีกับระดับน้ำจากน้ำขึ้น-น้ำลงสูงสุด ย่อมเสริมให้ระดับน้ำสูงขึ้นมากกว่าปกติ คลื่นพายุซัดฝั่งจึงเป็นสภาวะสุดขีด (extreme event) ที่มีโอกาสเกิดขึ้นไม่บ่อยครั้งนัก แต่ทำให้เกิดความเสียหายรุนแรง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยอันเนื่องมาจากสภาวะโลกร้อนมีแนวโน้มทำให้คาบของการเกิดซ้ำ (return period) ที่ขึ้น

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับคลื่นพายุซัดฝั่งในประเทศไทย พบว่า พายุหมุนเขตร้อนในอดีตที่เคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทยฝั่งตะวันตก ทำให้ระดับน้ำสูงขึ้น 30-60 เซนติเมตร แต่เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นไม่บ่อยครั้งนัก ทั้งนี้ อ่าวไทยตอนล่างมีโอกาสพบคลื่นที่มีขนาดสูงขึ้นได้ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากมีระลอกคลื่น (swell) เคลื่อนตัวจากทะเลจีนใต้เข้ามาเสริมในช่วงที่มีระลอกอากาศหนาว ทำให้พบคลื่นยกตัวสูงมากกว่า 2 เมตร ในเขตชายฝั่ง ความสูงคลื่นในบริเวณอ่าวไทยยังอาจสูงขึ้นได้ในกรณีที่มีพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนที่ผ่าน ความสูงคลื่นอาจมากกว่า 3 เมตร ขึ้นไป

จากสถิติพายุหมุนเขตร้อนตั้งแต่ปี ค.ศ.1951-2009 (พ.ศ. 2494-2552) แสดงให้เห็นว่า พายุหมุนเขตร้อนที่พัดเข้าสู่ชายฝั่งประเทศไทยในรอบ 59 ปี มีจำนวนกว่า 40 ลูกหรือประมาณ 0.7 ลูกต่อปี ทั้งหมดเข้าสู่ชายฝั่งด้านอ่าวไทย ในจำนวนนี้เป็นพายุไต้ฝุ่น 2 ลูก ได้แก่ พายุไต้ฝุ่นเกย์ (พ.ศ.2532) และพายุไต้ฝุ่นลินดา (พ.ศ.2540) และพายุโซนร้อน 4 ลูก ได้แก่ พายุโซนร้อนแฮเรียต (พ.ศ.2505) พายุโซนร้อนแซลลี (พ.ศ.2515) พายุโซนร้อนฟอเรส (พ.ศ.2535) พายุโซนร้อนกิล (พ.ศ.2541) ที่เหลือเป็นพายุดีเปรสชัน (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 เส้นทางการเคลื่อนที่ของพายุหมุนเขตร้อนที่พัดเข้าสู่ชายฝั่งประเทศไทย ระหว่างปี ค.ศ.1951-2009 (พ.ศ.2494-2552)

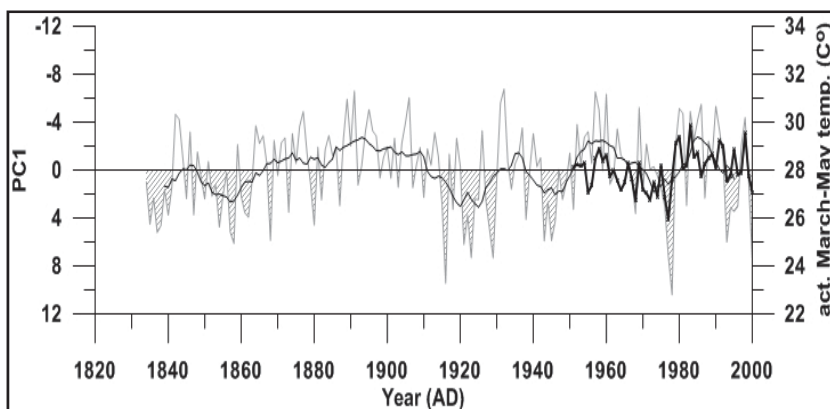
## 6. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอดีต 10,000 ปีที่ผ่านมา

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอดีต (Paleoclimate หรือบรรพภูมิอากาศ) สามารถทำได้หลายวิธี อาทิ จากบันทึกในเอกสารทางประวัติศาสตร์ หรือการหาตัวบ่งชี้ทางธรรมชาติที่เป็นตัวแทนภูมิอากาศ (climate proxy) ซึ่งตัวแทนภูมิอากาศเหล่านี้ประกอบด้วย ปะการัง (coral) ตะกอนของธารน้ำแข็ง (varved sediment) หินงอก (stalagmite) ชั้นน้ำแข็ง (ice core) และวงปีไม้ (tree ring) และละอองเรณูพืช (pollen) เป็นต้น

จากหลักฐานของบรรพภูมิอากาศในประเทศไทย ซึ่งได้จากการศึกษาชนิดและปริมาณของละอองเรณูพืช พออนุมานได้ว่า ในช่วงเวลา 14,300 ปีในอดีตที่ผ่านมา ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีอากาศที่หนาวเย็นกว่าในปัจจุบัน ละอองเรณูพืชพรรณที่พบในช่วง 4,300, 1,250,

1,150, 877, 280 และ 160 ปีที่ผ่านมา บ่งชี้ว่าโดยทั่วไปอุณหภูมิอุ่นขึ้นจากอดีตถึงปัจจุบัน ในขณะที่ละอองเรณูพืชที่แสดงถึงอากาศเย็น ค่อยๆ ลดลงทั้งชนิดและปริมาณ หลักฐานเหล่านี้แสดงว่าภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่ชัดเจนมากกว่าภาคกลางและภาคใต้

ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิก่อนฤดูลมมรสุมและความกว้างของวงปีของไม้สนจากพื้นที่ศึกษาทั้งสิ้น 16 พื้นที่ในประเทศไทยบ่งชี้ว่า ในช่วง 167 ปีที่ผ่านมา มีสภาพอากาศหนาวและชื้นเกิดขึ้นในช่วง พ.ศ. 2377-2405, 2454-2473, 2483-2493, 2513-2521 และ 2533-2543 ในขณะที่อากาศที่ร้อนและแห้งเกิดขึ้นในช่วง พ.ศ.2423-2453, 2493-2508 และ 2523-2533 (รูปที่ 7)



**รูปที่ 7** ค่าจริงของอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม ค.ศ.1951-2001 (กราฟเส้นทึบสีเข้ม) และค่าความกว้างของวงปีไม้สนระหว่างค.ศ.1834-2001 (กราฟเส้นทึบสีอ่อน) ที่เป็นค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ในคาบเวลา 11 ปีของค่าสัมประสิทธิ์เชิงเวลาในโหมดแรกของฟังก์ชันตั้งฉากเชิงประจักษ์หรือ Empirical Orthogonal Function หรือ EOF จากพื้นที่ศึกษา 16 แห่งในประเทศไทย โดยค่าบวกแสดงว่าอุณหภูมิมีค่าสูงกว่าปกติ และค่าเป็นลบแสดงว่าอุณหภูมิต่ำกว่าปกติ

## 7. การศึกษาด้านวัฏจักรคาร์บอนและความสำคัญต่อประเทศไทย

วัฏจักรคาร์บอน เป็นวัฏจักรชีวธรณีเคมี (biogeochemical cycle) ที่มีการแลกเปลี่ยนคาร์บอนระหว่างแหล่งสะสมคาร์บอนของโลก โดยทั่วไปคาร์บอนในระบบนิเวศต่างๆ มีการหมุนเวียนเป็นวัฏจักร โดยในระยะสั้นเกิดจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช การหายใจของสิ่งมีชีวิต และการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ส่วนในระยะยาวเป็นการหมุนเวียนผ่านระบบโครงสร้างของโลกทั้งในแผ่นดิน มหาสมุทรและหินปูน

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เป็นการรบกวนวัฏจักรคาร์บอนของโลกทำให้เสียสมดุลและเป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ การศึกษาวัฏจักรคาร์บอน จึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะทำให้เข้าใจการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและผลกระทบ เพื่อแสวงหาแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งในระดับประเทศและระดับโลก ซึ่งจะนำไปสู่การแก้ปัญหาด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในที่สุด

การศึกษาในประเทศไทยพบว่า น้ำทะเลบริเวณระบบนิเวศปากแม่น้ำหรือชะวากทะเล (estuary) เป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ คิดเป็นปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วง 15-836 ตันต่อปี ในขณะที่น้ำทะเลชายฝั่งบริเวณอ่าวหลายแห่งเป็นแหล่งปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็นปริมาณคาร์บอนอยู่ในช่วง 911-5,804 ตันต่อปี สำหรับป่าชายเลนรอบๆ อ่าวมีสถานภาพเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์คิดเป็นปริมาณคาร์บอน 160 พันตันต่อปี (ตารางที่ 3)

การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศของมหาสมุทรนอกจากช่วยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลกแล้ว ยังมีผลต่อมหาสมุทรอีกด้านหนึ่งคือ ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างโดยเฉลี่ยของน้ำทะเลบริเวณผิวมหาสมุทรลดลงจากช่วงก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรม 0.1 หน่วยและมีแนวโน้มจะลดลงอีก 0.3 ถึง 0.5 หน่วยภายในสิ้นศตวรรษนี้ ภาวะ

ดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างที่เป็นหินปูนของสัตว์และพืชทะเลถูกกัดกร่อนให้ละลายได้ และในระยะยาว อาจหมายถึงการละลายของหินปูนบริเวณพื้นที่ท้องสมุทรได้ด้วย นอกจากนี้ การลดลงของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทะเลอาจเกิดผลกระทบต่อการสร้างเปลือกของสิ่งมีชีวิตในทะเลจำพวกหอย ปะการัง เม่นทะเล ตลอดจนสัตว์ทะเลเศรษฐกิจอื่น ซึ่งจะมีผลกระทบอย่างต่อเนื่องถึงผลผลิตทางทะเล ความหลากหลายทางชีวภาพ และเศรษฐกิจ รวมทั้งความมั่นคงทางด้านอาหารของมนุษย์ได้ในที่สุด

**ตารางที่ 3** การดูดซับ (+) และปลดปล่อย (-) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากระบบนิเวศชายฝั่งทะเลของไทยสู่บรรยากาศ (1) หน่วยเป็นมิลลิโมลคาร์บอนต่อตารางเมตรต่อวัน และ (2) หน่วยเป็นตันคาร์บอนต่อปี

ระบบนิเวศ	สถานที่	การดูดซับ/ปลดปล่อยคาร์บอน	
		(1)	(2)
ชะวากทะเล	แม่น้ำท่าจีน	25.0	701
	แม่น้ำบางปะกง	5.0	788
	คลองชุมพร	3.6	15
	คลองสวี	15.5	123
	แม่น้ำตาปี	15.9	836
อ่าว	ปากพนัง	-1.7	-911
	สวี	-2.6	-1,452
	บ้านดอน	0	0
	ตราด	-6.3	-5,804

นอกจากนี้ ระบบนิเวศบนบกเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนที่สำคัญ ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนในพืชพรรณและในดิน โดยการสะสมคาร์บอนของป่าธรรมชาติหรือสวนป่าของประเทศไทย มีการแปรผันมาก ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดป่า พรรณไม้ที่เป็นองค์ประกอบของป่า ความหนาแน่นของป่า และปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น สภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ เป็นต้น ทั้งนี้ ความ

แตกต่างของการกักเก็บคาร์บอนในป่าธรรมชาติและสวนป่าเกิดจากความแตกต่างของปริมาณมวลชีวภาพมากกว่าปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 46.76 -50.56 ของน้ำหนักแห้ง ในขณะที่การสะสมคาร์บอนในดินมีการแปรผันตามชนิดของป่าและสภาพแวดล้อม และมีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดิน (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 4** ปริมาณคาร์บอน มวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนของป่าประเภทต่างๆ ในประเทศไทย ( <sup>1</sup>IPCC 2006 default value)

ชนิดป่า	ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละของ น้ำหนักแห้ง)	มวลชีวภาพ (ตัน/เฮกแตร์)		การกักเก็บคาร์บอน (ตัน/เฮกแตร์)	
		เหนือดิน	ใต้ดิน	เหนือดิน	ใต้ดิน
ป่าดิบชื้น	47 <sup>1</sup>	251.1 (142-336)	76.2 (35-124)	125.5 (71-168)	38.1 (18-62)
ป่าดิบแล้ง	48.07	231.2 (71-374)	67.5 (14-154)	112.5 (35-297)	32.7 (7-73)
ป่าดิบเขา	47 <sup>1</sup>	232.4 (196-285)	62.8 (53-77)	130.9 (92-159)	28.6 (22-36)
ป่าสนเขา	47 <sup>1</sup>	96.0 (20-166)	25.9 (5-45)	45.1 (9-78)	12.2 (3-21)
ป่าเบญจพรรณ	48.81	197.6 (69-500)	57.4 (19-140)	97.6 (34-250)	28.4 (10-70)
ป่าเต็งรัง	50.56	80.1 (52-123)	22.5 (15-35)	40.5 (27-62)	11.3 (7-18)
ป่าชายเลน	46.76	173.7 (113-235)	81.6 (53-110)	82.6 (53-113)	38.8 (25-53)
ปาล์มน้ำมัน		73.9 (17-164)	34.7 (8-77)	35.2 (8-79)	16.5 (4-37)



## 8. บทบาทและความสำคัญของละอองลอยในบรรยากาศต่อภูมิอากาศของประเทศไทย

ละอองในบรรยากาศ (aerosol) คือ อนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งรวมถึงควันไฟและผงฝุ่น โดยมีขนาดเล็กตั้งแต่กว่า 1 ไมครอน ( $1 \text{ ไมครอน} = 10^{-6}$  เมตร) จนถึง 100 ไมครอน สามารถลอยอยู่ในบรรยากาศได้ประมาณ 7 วัน โดยมีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

ละอองในบรรยากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวล การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในโรงงานอุตสาหกรรมและยานยนต์ต่างๆ ละอองในบรรยากาศเหล่านี้ มีองค์ประกอบและสมบัติทางฟิสิกส์แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ละอองในบรรยากาศจากการเผาไหม้ชีวมวลเป็นสารอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ได้ถึงร้อยละ 90 ส่วนละอองในบรรยากาศจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องจักรของโรงงานอุตสาหกรรมและยานยนต์ส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนดำ (black carbon) ซึ่งดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์มากถึงร้อยละ 50 ละอองในบรรยากาศที่เกิดจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจของมนุษย์ดังกล่าว มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของเศรษฐกิจของประเทศต่างๆ และมีบทบาทสำคัญต่อสมดุลของพลังงานของระบบบรรยากาศโลกทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยผลทางตรง คือ การทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลกระทบต่ออัตราการระเหยของน้ำ การสังเคราะห์แสงของพืชและอุณหภูมิของพื้นผิวโลก จากการคำนวณสมดุลของพลังงาน พบว่า ละอองในบรรยากาศประเภทสารอินทรีย์คาร์บอน มีผลทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศลดลง แต่ละอองในบรรยากาศที่เป็นคาร์บอนดำ สามารถดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศเพิ่มขึ้น แต่ทำให้อุณหภูมิของพื้นผิวโลกลดลง ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิอากาศในแนวตั้งลดลงตามระดับ (แบบเกรเดียนต์, gradient) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้อัตราการระเหยของน้ำลดลง ส่งผลให้การกักตัวของเมฆลดลงด้วย

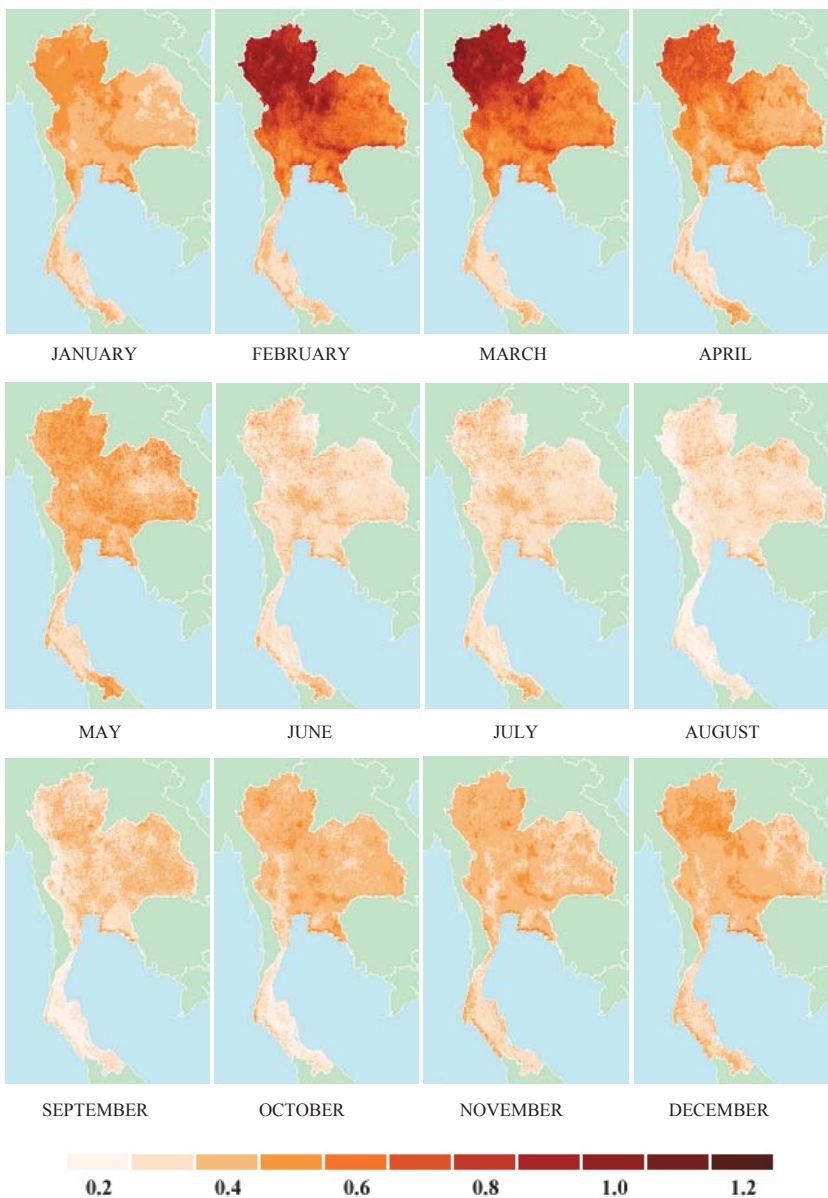


นอกจากนี้ ละอองในบรรยากาศมีผลทางอ้อมต่อเมฆ ทั้งนี้เพราะโดยทั่วไป ละอองในบรรยากาศทำหน้าที่เป็นแกนกลางของการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นเมฆ (cloud condensation nuclei, CCN) การเพิ่มขึ้นของละอองในบรรยากาศทำให้มีอนุภาคของละอองน้ำมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้ปริมาณฝนเพิ่มขึ้น จะเห็นว่า ละอองในบรรยากาศจึงมีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อระบบบรรยากาศ การเพิ่มขึ้นของละอองในบรรยากาศจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจของมนุษย์ ย่อมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระบบบรรยากาศที่รุนแรงเช่นเดียวกับก๊าซเรือนกระจก

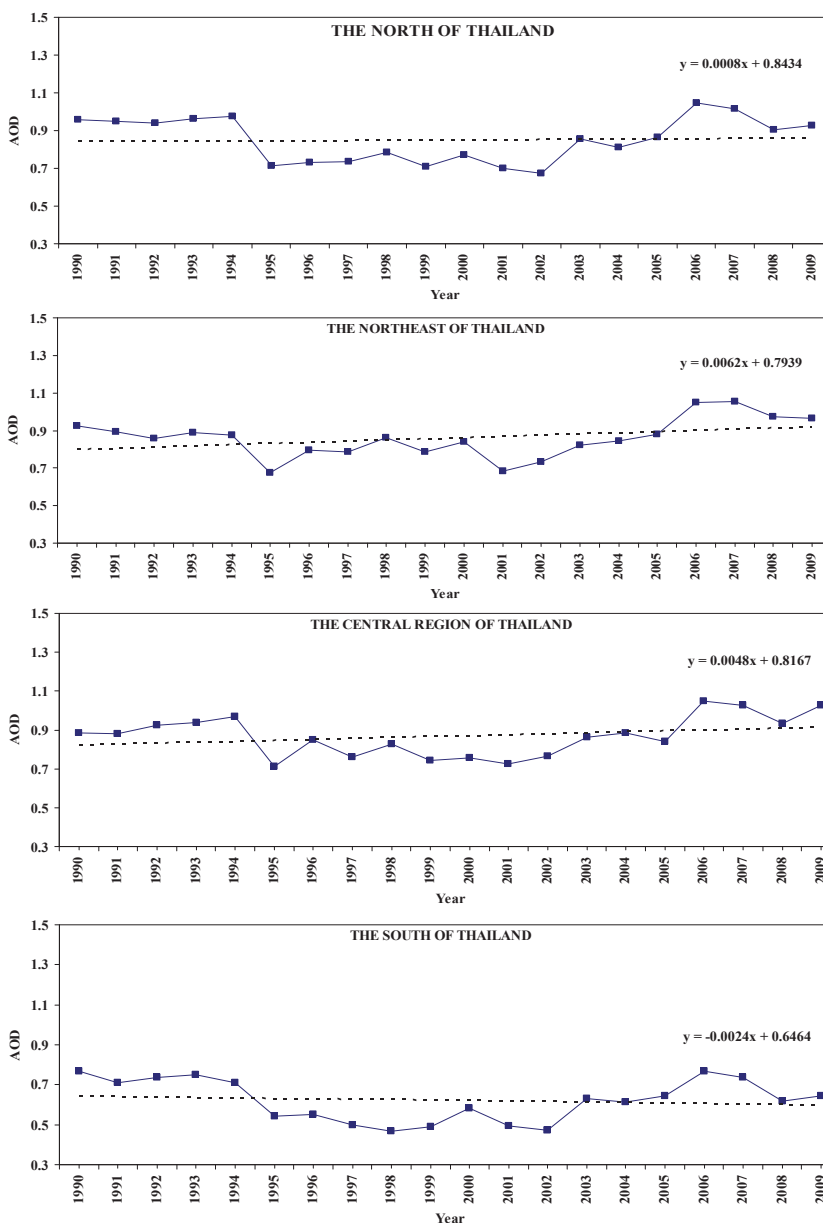
จากการวัดสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ในภูมิภาคหลักของประเทศไทย พบว่า สมบัติเชิงแสงของละอองในบรรยากาศมีค่าแปรผันตามฤดูกาลอย่างชัดเจน (รูปที่ 8) โดยได้รับอิทธิพลที่สำคัญมาจากฝนตามฤดูมรสุม และการเผาไหม้ชีวมวลภายในประเทศและประเทศเพื่อนบ้าน จากภาพถ่ายดาวเทียมในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาพบว่า ความลึกเชิงแสงของละออง AOD (aerosol optical depth) ในบรรยากาศมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง โดยมีค่า 0.0008, 0.0062 และ 0.0048 ต่อปี ตามลำดับ (รูปที่ 9) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลทั้งในประเทศและประเทศข้างเคียงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การขยายตัวของเศรษฐกิจทำให้ละอองในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้นด้วย เช่น โรงงานอุตสาหกรรม การขนส่งคมนาคม และการขยายตัวของชุมชนเมือง เป็นต้น การเพิ่มขึ้นดังกล่าวสอดคล้องกับการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์ ในกรณีของภาคใต้ละอองในบรรยากาศ ส่วนใหญ่เป็นละอองเกลือที่พัดพามาจากทะเลจึงไม่มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

ตัวบ่งชี้ที่สำคัญของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศอีกดัชนีหนึ่ง คือ เมฆ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของฝน อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณเมฆจากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาที่จังหวัดเชียงใหม่ อุบลราชธานี กรุงเทพฯ และสงขลา เป็นระยะเวลา 20 ปี (พ.ศ. 2524-2543) พบว่า ปริมาณเมฆไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน





**รูปที่ 8** แผนที่แสดงค่าความลึกเชิงแสงของละอองในบรรยากาศ) aerosol optical depth, AOD (เฉลี่ยระยะยาว.ศ.ค) 1990-2009 (ของเดือนต่างๆ)



**รูปที่ 9** แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความลึกเชิงแสงของละอองใน  
บรรยากาศ ในภูมิภาคต่างๆ ของไทยระหว่างปี ค.ศ.1990-2009

## 9. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทยในอนาคต

ลักษณะภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงในอนาคต คาดการณ์ได้ด้วยการสร้างเหตุการณ์จำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (climate change scenario) จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (เรียกว่า General Circulation Model หรือ GCM) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมีความเป็นไปได้หลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของโลกในอนาคต ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งรูปแบบการพัฒนาที่เป็นไปได้ ตาม Special Report on Emission Scenarios หรือ SRES scenarios ของ IPCC ประกอบด้วยการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับเศรษฐกิจเป็นสำคัญ (แบบ A) หรือให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมด้วย (แบบ B) รวมทั้งการมีความร่วมมือกันในระดับนานาชาติ (แบบ 1) หรือภูมิภาค (แบบ 2) ซึ่งความแตกต่างของการพัฒนาเหล่านี้ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกอาจเพิ่มขึ้น 2-4 องศาเซลเซียส ภายในปีค.ศ. 2099 (พ.ศ. 2642)

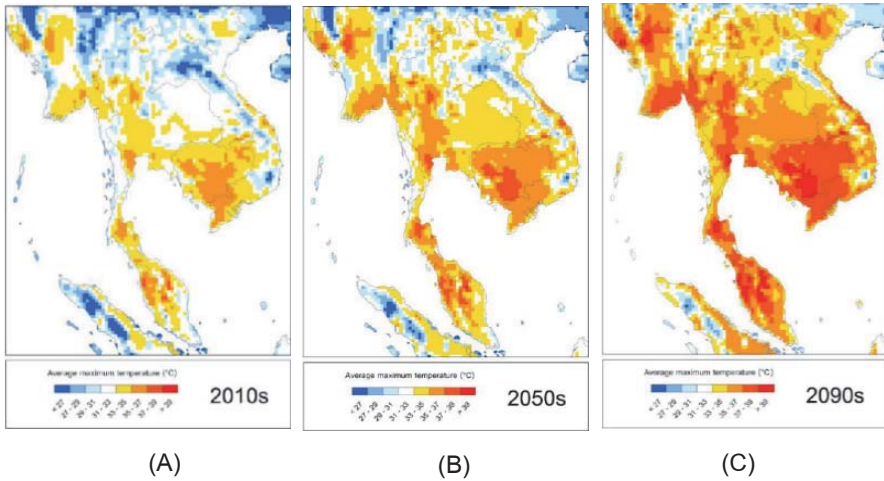
แบบจำลองภูมิอากาศโลก เป็นแบบจำลองที่ซับซ้อนซึ่งพัฒนาโดยสถาบันชั้นนำของโลก โดยได้มีการปรับปรุงตลอดมาจนสามารถจำลองเหตุการณ์ในอดีตได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น และได้รับความเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น แต่แบบจำลองภูมิอากาศโลกจากสถาบันต่าง ๆ แสดงผลการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่แตกต่างกัน และแสดงผลในภาพกว้างในพื้นที่ขนาดประมาณ 250 x 250 กิโลเมตร การสร้างเหตุการณ์จำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต จึงยังมีความไม่แน่นอนอยู่ในระดับหนึ่ง แต่สามารถทำได้โดยต้องใช้ผลลัพธ์ของแบบจำลองจากหลายสถาบัน มาประมวลหาแนวทางความเป็นไปได้ร่วมกันของภูมิอากาศที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต นอกจากนี้ การนำผลลัพธ์ของแบบจำลองเหล่านี้มาใช้ในพื้นที่ขนาดเล็กในระดับประเทศและท้องถิ่นจำเป็นต้องทำการลดขนาด (downscale) ให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการนำข้อมูลไปใช้

การสร้างภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยในอนาคต 30-100 ปี ด้วยการลดขนาดผลลัพธ์ของแบบจำลองภูมิอากาศโลกจาก 4 แบบลงบนพื้นที่ประเทศไทย ตามรูปแบบของการพัฒนาในอนาคตแบบต่างๆ พบว่า ทุกแบบจำลองให้ผลสอดคล้องกัน คือ อุณหภูมิโดยรวมเพิ่มขึ้น แต่อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิมีความแตกต่างกัน บางแบบจำลองแสดงการเพิ่มถึง 4 องศาเซลเซียส ในอีกประมาณ 100 ปีข้างหน้า ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝน ยังไม่เห็นแนวโน้มที่ชัดเจนนัก แต่แบบจำลองส่วนมากคาดว่าจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 5 และรูปที่ 10 - 13)

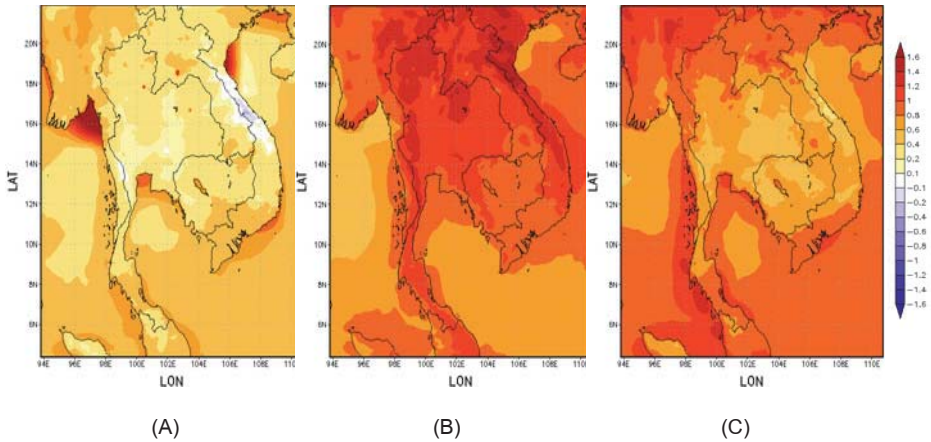
**ตารางที่ 5** การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของประเทศไทยตามภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบต่างๆ จากการย่อส่วนผลลัพธ์ของแบบจำลองภูมิอากาศโลก 4 แบบลงบนพื้นที่ประเทศไทย

แบบจำลอง	ความละเอียดเชิงพื้นที่	ปีฐาน (.ศ.ศ)	ปีอนาคตที่สร้างภาพจำลอง (.ศ.ศ)	ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก*	การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ณ ปีสุดท้ายที่ศึกษาเทียบกับปีฐาน (°C)
GFDL-R30	0.5° lat. × 0.5° long.	1965–1990	2010 – 2029 และ 2040 – 2059	B2	0.56 °C (อุณหภูมิเฉลี่ย)
MM5-RCM	45×45 km <sup>2</sup> และ 15 × 15 km <sup>2</sup>	1970–1990	2010 – 2039	A2	0.8 – 1.0 °C (อุณหภูมิสูงสุด)
				A1B	0.4– 0.8 °C (อุณหภูมิสูงสุด)
PRECIS <sup>2</sup>	25 × 25 km <sup>2</sup>	1980–1989	2010–2099	A2	2.0-4.0 °C (อุณหภูมิสูงสุด)
RegCM3 <sup>2</sup>	20 × 20 km <sup>2</sup>	1961–2000	2031–2070	A1B	2.0–2.5 °C (อุณหภูมิเฉลี่ย)

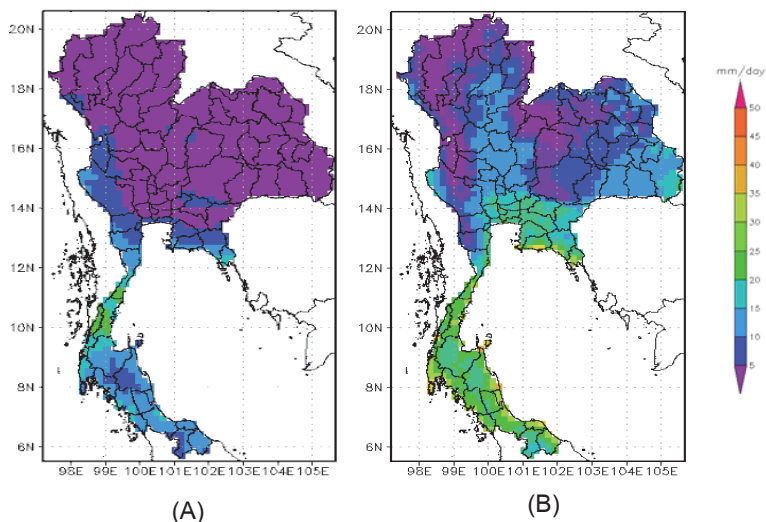
\* ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สร้างจากแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของโลกในอนาคต ตาม SRES scenarios ประกอบด้วย: A- พัฒนาโดยให้ความสำคัญกับเศรษฐกิจเป็นสำคัญ B- พัฒนาโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมด้วย 1 -มีความร่วมมือกันในระดับนานาชาติ และ 2- ร่วมมือกันระดับภูมิภาค



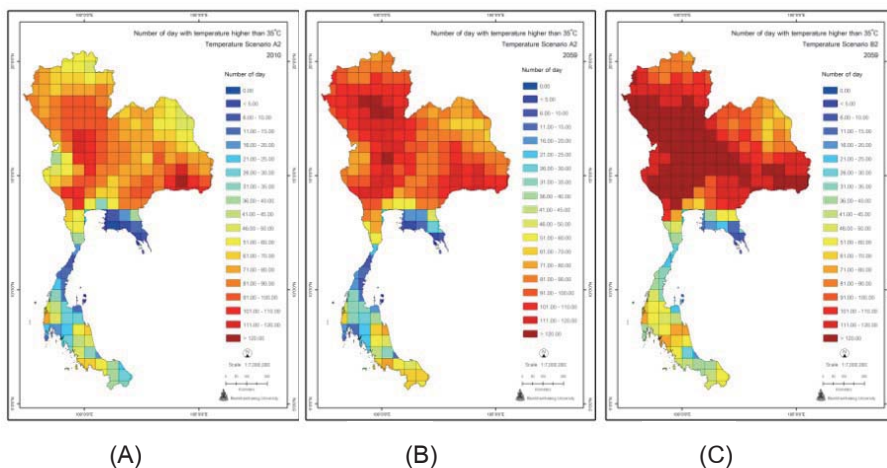
รูปที่ 10 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยในช่วงต้น (A) กลาง (B) และปลายศตวรรษ (C)  
ภายใต้ SRES-A2 แบบจำลอง PRECIS ความละเอียด 25 กิโลเมตร



รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดในฤดูร้อนในอนาคตโดยแบบจำลอง  
MM5-RCM ภายใต้เหตุการณ์จำลอง SRES แบบ A1B โดยเปรียบเทียบกับ  
ค่าเฉลี่ยในอดีต ค.ศ.1970-1990 (A) และอนาคต ค.ศ.2020-2029 (B) และ  
ค.ศ.2030-2039 (C)



รูปที่ 12 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี (มิลลิเมตรต่อวัน) ในช่วงทศวรรต 2070 (B) เทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วงปี ค.ศ.1961-2000 (A) โดยแบบจำลอง RegCM3 SRES A1B1



รูปที่ 13 จำนวนวันที่มีอุณหภูมิสูงกว่า  $35^{\circ}\text{C}$  จากแบบจำลองภูมิอากาศ GFDL โดยเปรียบเทียบอดีตในทศวรรตที่ 2010s (รูป A) กับอนาคตในทศวรรษ 2059s ตามรูปแบบการพัฒนา SRES แบบ A2 (รูป B) และแบบ B2 (รูป C)



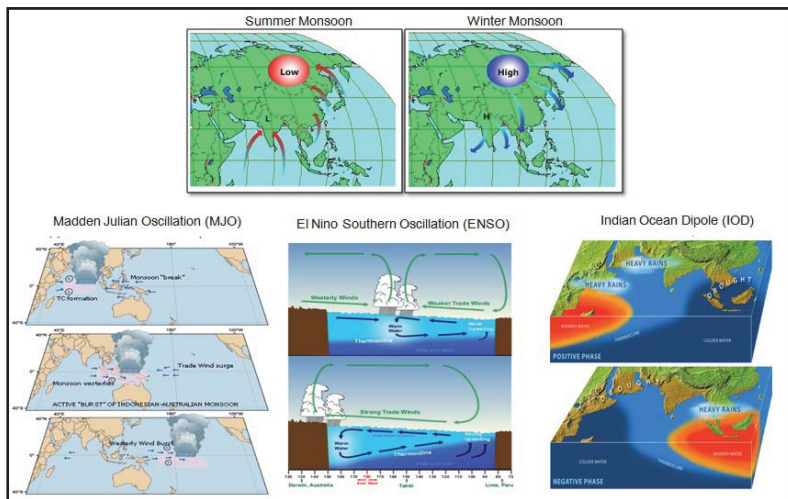
## 10. ปรากฏการณ์ด้านภูมิอากาศที่เชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย

ปรากฏการณ์ด้านภูมิอากาศ คือ ความแปรปรวนอย่างรุนแรงของสภาพอากาศทำให้เกิดความไม่ปกติหลายประการ เช่น ทำให้เกิดสภาวะสุดขีดของลมฟ้าอากาศและภัยธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากปฏิสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกันระหว่างชั้นบรรยากาศ พื้นดินและผิวหน้ามหาสมุทร ดังนั้น ความแปรปรวนของภูมิอากาศจึงเป็นประเด็นหนึ่งที่มีความสำคัญในบริบทของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ เนื่องจากความแปรผันในระยะสั้นเป็นเหตุการณ์ที่สามารถเห็นผลกระทบเชิงสาธารณะต่อทุกภาคส่วนได้อย่างชัดเจน ปรากฏการณ์ด้านภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในแต่ละภูมิภาคไม่ได้เป็นเหตุการณ์ที่อิสระต่อกัน แต่เป็นเพียงองค์ประกอบหนึ่งของระบบภูมิอากาศโลกที่บูรณาการกับความแปรปรวนของภูมิอากาศในส่วนอื่นๆ ผ่านกระบวนการเชื่อมโยงระยะไกล ‘Teleconnection’ ทั้งนี้ ปรากฏการณ์เอนโซ่ มรสุมเอเชีย ปรากฏการณ์อินเดีย-โอเชียลไดโพล (Indian Ocean Dipole, IOD) และปรากฏการณ์ MJO (Madden Julian Oscillation, MJO) เป็นปรากฏการณ์ด้านภูมิอากาศที่มีอิทธิพลสูงต่อสภาพภูมิอากาศและสภาวะสุดขีดของลมฟ้าอากาศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (รูปที่ 14) ซึ่งผลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า

1. ปรากฏการณ์เอนโซ่ มีอิทธิพลทำให้อุณหภูมิอากาศในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ และลดลงในปีที่เกิดลานีญา นอกจากนี้ พบว่าปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีมีแนวโน้มลดลงในปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ และเพิ่มขึ้นในปีที่เกิดลานีญา
2. ปรากฏการณ์อินเดีย-โอเชียลไดโพล มีอิทธิพลทำให้ปริมาณน้ำฝนสะสมรายปีของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงฤดูฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงฤดูแล้งถดถูกลงกลับมีแนวโน้มลดลง

3. ปรากฏการณ์ MJO คือ การก่อตัวของของกลุ่มเมฆฝนเป็นบริเวณกว้าง (positive MJO) และบริเวณความกดอากาศสูงและฝนแล้ง (negative MJO) ซึ่งเกิดขึ้นในเขตร้อนเหนือมหาสมุทรอินเดียและเคลื่อนผ่านไปทางตะวันออกจนสลายตัวบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก ก่อให้เกิดความแปรปรวนของปริมาณฝน ฤดูมรสุมและฝนทิ้งช่วงในเส้นทางผ่าน รวมทั้งก่อให้เกิดสภาวะสุดขีดของฝนในช่วง positive MJO เมื่อเทียบกับช่วง negative MJO มรสุมฤดูร้อนในบริเวณฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือ มีความแปรปรวนเพิ่มขึ้นแต่ความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์เอนโซยังคงเดิม ในทางกลับกัน มรสุมฤดูร้อนอินเดียมีความแปรปรวนลดลงและความเชื่อมโยงกับปรากฏการณ์เอนโซน้อยลงอย่างมาก

4. มรสุมฤดูร้อนอินเดียมีกำลังแรงขึ้น ในช่วงการก่อตัวของปรากฏการณ์เอลนีโญ และอ่อนลงเมื่อเกิด-ลานีญา ในขณะที่ มรสุมฤดูร้อนในบริเวณฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือมีกำลังแรงขึ้น ในช่วงการสลายตัวของปรากฏการณ์ลานีญา และอ่อนลงในช่วงการสลายตัวของเอลนีโญ



รูปที่ 14 ปรากฏการณ์ด้านภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อสภาพภูมิอากาศและสภาวะสุดขีดของลมฟ้าอากาศในประเทศไทย

## 11. องค์ความรู้ที่ขาดและจำเป็นต้องศึกษาวิจัยในอนาคต

การประมวลสถานภาพและทบทวนองค์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ จากผลการศึกษาวิจัยที่ได้ดำเนินการแล้วในช่วงที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ช่วยให้เข้าใจและเห็นภาพรวมที่ชัดเจนขึ้นถึงการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศด้านต่างๆ ในบริบทของประเทศไทยตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ตลอดจนภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งเป็นข้อมูลทางวิชาการที่จำเป็นต้องใช้ในการกำหนดนโยบายและมาตรการการต่างๆ รวมทั้งสร้างความตระหนักรู้และเตรียมความพร้อมในการตั้งรับและปรับตัวของภาคประชาชน ตลอดจนการศึกษาวิจัยต่อยอดด้านต่างๆ ในเชิงลึก อย่างไรก็ตาม ผลการประมวลสถานภาพและทบทวนองค์ความรู้ในครั้งนี้พบว่า ยังมีช่องว่างของข้อมูลพื้นฐานที่ทำให้องค์ความรู้และประเด็นที่สำคัญบางเรื่องยังไม่ชัดเจน จำเป็นต้องศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในอนาคตอีกหลายประเด็น สรุปได้ดังนี้

### 1. พัฒนาการสร้างภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตในพื้นที่ประเทศไทยให้มีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น

ควรให้ความสำคัญและสนับสนุนให้มีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องในการนำแบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCMs) หลายแบบและรูปแบบการพัฒนาทุกรูปแบบ (SRES scenario) โดยใช้วิธีการย่อส่วนแบบพลวัต (dynamic downscaling) และวิธีการทางสถิติ (statistical downscaling) แบบต่างๆ มาสร้างภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่ประเทศไทย แล้วทำการประมวลผลแบบจำลองร่วม (ensemble) เพื่อประเมินระดับความเชื่อมั่นและช่วงการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศของประเทศไทยในอนาคต มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง สามารถตรวจพบกระบวนการเกิดเมฆและฝน ลม แปรปรวน และการพาความร้อน รวมทั้งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระดับสเกลขนาดเล็ก เป้าหมายดังกล่าว จะลุล่วงไปได้ด้วยการเร่งสร้างบุคลากรที่หลากหลายสาขาให้ครอบคลุมศาสตร์แขนงนี้ เพื่อให้มีข้อมูลพื้นฐานที่เชื่อมั่นได้ ที่สามารถนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ

## 2. การจัดการฐานข้อมูล และเผยแพร่ข้อมูล

ควรให้มีการนำข้อมูลที่มีการตรวจวัดอยู่แล้วอย่างต่อเนื่องและฐานข้อมูลดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงมาศึกษาวิจัยด้านภูมิอากาศวิทยา เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรภูมิอากาศต่างๆ ทั้งบริเวณผิวพื้นและในชั้นบรรยากาศ รวมทั้งให้มีการปรับปรุงฐานข้อมูลและองค์ความรู้ เพื่อเผยแพร่สู่สาธารณะ และผู้บริหารระดับนโยบายและผู้ปฏิบัติ

## 3. การศึกษาบรรพภูมิอากาศในประเทศไทย

ควรให้มีการศึกษาหลักฐานทางภูมิอากาศในอดีตเพิ่มเติม เช่น หินงอก และปะการัง เพื่อเปรียบเทียบกับระหว่างหลักฐานต่างๆ ในช่วงเวลาเดียวกัน และเป็นการต่อขยายช่วงระยะเวลาให้สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอดีตของประเทศที่ยาวนานขึ้น

## 4. สร้างเครือข่ายการตรวจวัดข้อมูลทางสมุทรศาสตร์ในพื้นที่จริง

ควรให้มีการตรวจวัดข้อมูลทางสมุทรศาสตร์ที่มีความน่าเชื่อถือในพื้นที่จริงอย่างต่อเนื่องและเป็นเครือข่าย เพื่อให้สามารถการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของตัวแปรต่าง ๆ ทางสมุทรศาสตร์ รวมทั้งสร้างภาพจำลองการเปลี่ยนแปลงในอนาคตที่เกี่ยวข้องกับทะเลไทยและชายฝั่งด้วยแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค แบบจำลองทางสมุทรศาสตร์ และวิธีการทางสถิติต่างๆ เนื่องจากยังไม่มี การคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางสมุทรศาสตร์ที่สำคัญ

## 5. การหมุนเวียนคาร์บอนในทะเล

ควรสนับสนุนให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อให้มีข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นของผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่มีต่อสมดุลคาร์บอนทั้งในระยะยาวและความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในระยะสั้น ในปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มี การติดตามตรวจวัดอย่างต่อเนื่องและเป็นระบบในระยะยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการหมุนเวียนคาร์บอนในทะเล ทำให้ไม่มีข้อมูลเพียงพอที่จะสามารถสรุปแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงได้

## 6. สมดุลคาร์บอนของระบบนิเวศป่าธรรมชาติประเภทต่าง ๆ และ สวนป่า

ควรสนับสนุนให้มีการศึกษาวิจัยและ ประเมินศักยภาพในการเป็น แหล่งดูดซับหรือแหล่งปล่อยคาร์บอนของระบบนิเวศป่าไม้ประเภทต่าง ๆ ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อโครงสร้างป่าและการกักเก็บ คาร์บอนของป่าธรรมชาติ และผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อ การหายใจของระบบนิเวศ รวมทั้งสมดุลคาร์บอนของป่าธรรมชาติที่มีความ อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

# องค์ความรู้ด้านผลกระทบ ความล่าช้า และการปรับตัว

## องค์ความรู้ด้านผลกระทบความล่าช้า และการปรับตัว

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของภาวะเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศเนื่องมาจากมนุษย์ ที่นับวันความรุนแรงก็มีอัตราเร่งเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนเป็นที่ยอมรับในวงการวิชาการโดยทั่วไปว่าภูมิอากาศในอนาคตจะมีความแตกต่างจากในอดีตและปัจจุบันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตเพื่อประเมินผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น และหาแนวทางการปรับตัวต่อผลกระทบจึงเป็นสิ่งจำเป็น รายงานการสังเคราะห์องค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 ในส่วนของคณะทำงานกลุ่ม 2 เป็นการประมวลสถานการณ์และทบทวนความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับผลการประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อภาคส่วนต่างๆในประเทศไทย บนพื้นฐานของข้อมูล งานวิจัยและรายงานทางวิชาการที่มีในประเทศเป็นหลัก ซึ่งจากการสังเคราะห์การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าประเทศไทยยังขาดข้อมูลและองค์ความรู้ด้านนี้อย่างมาก ยังไม่มีการศึกษาอย่างเป็นระบบ ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการ ภาคสนาม และด้านแบบจำลองผลกระทบ/การปรับตัว อย่างไรก็ตาม จากหลักฐานและผลการศึกษาที่มีอยู่พอที่จะสรุปได้ดังนี้

### 1. กรอบแนวคิดในการประเมินผลกระทบ ความล่าช้า และการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศขึ้นอยู่กับ 1) การเปิดรับ (exposure) ต่อลักษณะอากาศที่พึงและไม่พึงประสงค์ ภูมิอากาศและภูมิประเทศของแต่ละพื้นที่จะเป็นตัวกำหนดพื้นฐานว่าระบบทางกายภาพและระบบนิเวศทางธรรมชาติ รวมทั้งภาคส่วนทางเศรษฐกิจและมิติทางสังคมของมนุษย์ที่อยู่ในพื้นที่นั้นจะมีการเปิดรับ (exposure) ต่อลักษณะอากาศที่พึงและ



ไม่เพียงประสงค์อย่างไร การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจะทำให้ขนาด ความถี่ และความแปรปรวนของการเกิดลักษณะอากาศที่พึงและไม่พึงประสงค์ในอนาคตมีความผันแปรไปจากที่เคยเป็นมาในอดีตและปัจจุบัน อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบภูมิอากาศจะทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถจำลองภูมิอากาศในอนาคตด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ในระดับหนึ่ง ข้อจำกัดของแบบจำลองก็ยังคงเป็นเงื่อนไขสำคัญของความไม่แน่นอนในการประเมินการเปิดรับต่อภูมิอากาศอนาคตของระบบและภาคส่วนในแต่ละพื้นที่ 2) ความอ่อนไหวหรือความไว (sensitivity) ที่ระบบหรือภาคส่วนนั้นมีความไวต่อตัวแปรทางภูมิอากาศหรือลักษณะอากาศที่ระบบหรือภาคส่วนเปิดรับอยู่ ณ เวลานั้น โดยความอ่อนไวนั้นเป็นคุณลักษณะภายในของระบบและภาคส่วนซึ่งจะถูกกำหนดโดยสภาพทางธรรมชาติและทิศทางการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคม ดังนั้นความอ่อนไหวในอนาคตจึงย่อมที่จะแตกต่างจากในปัจจุบัน

ระบบหรือภาคส่วนใดๆ ที่ถึงแม้จะมีการเปิดรับมากและมีความอ่อนไหวสูงต่อลักษณะอากาศที่พึงหรือไม่พึงประสงค์ก็ตาม ก็ไม่จำเป็นว่าจะต้องได้รับผลในทางบวกหรือทางลบอย่างรุนแรงหรือต่อเนื่องเสมอไป เพราะว่าการเปิดรับและความอ่อนไวมักจะมีความแปรผันตามเวลาและสถานที่ซึ่งอาจจะเป็นการแปรผันที่มีรูปแบบ ดังนั้นการประเมินเพื่อการวางแผนรับมือจึงมักจะอยู่บนแนวคิดของการวิเคราะห์ความเสี่ยง (risk) ในรูปของการคาดคะเนถึงโอกาสของการเกิดเหตุการณ์ในแต่ละแบบภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ที่ร่วมกันเป็นตัวกำหนดการเปิดรับและความอ่อนไหวของระบบหรือภาคส่วนนั้นๆ

ผลกระทบโดยเฉพาะผลในเชิงลบหรือความเสียหายที่เกิดจากสภาพอากาศที่ไม่พึงประสงค์ในแต่ละครั้งอาจจะสามารถบรรเทาหรือฟื้นฟูให้กลับคืนสู่ภาวะปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าระบบหรือภาคส่วนนั้นมีขีดความสามารถในการรับมือ (coping capacity) ที่เหมาะสมและเพียงพอกับขนาดและความถี่ของผลกระทบที่เกิดขึ้น ดังนั้นถึงแม้ว่าบางระบบหรือภาคส่วนอาจมีความเสี่ยงที่สูงแต่ก็สามารถที่จะมีความเปราะบางหรือความล่อแหลม (vulnerability) ที่ต่ำก็ได้ ในทางตรงกันข้ามบางระบบหรือภาคส่วนที่อาจจะมี







ความเสี่ยงหรือโอกาสของการเกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ในระดับที่ต่ำ แต่ถ้ระบบหรือภาคส่วนนั้นไม่มีการเตรียมการรับมือที่เหมาะสม เมื่อเกิดเหตุการณ์ขึ้นก็อาจจะทำให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงจึงถือว่ามีความเปราะบางสูงก็ได้

นอกจากการรับมือต่อเหตุการณ์ในระยะสั้นเป็นครั้งคราวแล้ว การปรับปรุงหรือบริหารจัดการเพื่อให้ระบบหรือภาคส่วนสามารถที่จะดำรงอยู่และดำเนินกิจกรรมไปได้ตามปกติภายใต้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในระยะยาวก็จะเป็นการรับมือโดยการเพิ่มขีดความสามารถในการปรับตัว (adaptive capacity) ซึ่งแต่ละระบบและภาคส่วนก็จะมีขีดความสามารถดังกล่าวที่แตกต่างกัน

การปรับตัว (adaptation) ต่อภูมิอากาศคือการดำเนินการใดๆ เพิ่มเติมจากที่มีอยู่เพื่อลดความเปราะบางของทั้งระบบหรือภาคส่วน ซึ่งอาจจะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการตั้งรับต่อความเสียหายและผลกระทบที่เกิดจากความแปรปรวนในระยะสั้นและ/หรือจากการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องในระยะยาว เช่น การประกันภัย การชดเชยและการฟื้นฟูความสูญเสียที่เกิดขึ้น เป็นต้น การปรับตัวยังสามารถทำได้โดยการใช้องค์ความรู้และเทคโนโลยีเพื่อลดการเปิดรับต่อสภาพอากาศที่ไม่พึงประสงค์ และการบริหารจัดการภายในระบบหรือภาคส่วนเพื่อลดความอ่อนไหวต่อตัวแปรทางภูมิอากาศ

เนื่องจากการดำเนินการเพื่อลดผลกระทบหรือแสวงหาโอกาสจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นการเตรียมรับสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต การที่จะคาดการณ์ถึงรูปแบบและความสามารถในการรับมือในอนาคตนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช่วิธีการทางอนาคตศึกษาและการสร้างภาพอนาคตของการพัฒนาภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ด้วยเช่นกัน ซึ่งการคาดการณ์อนาคตหรือการมองอนาคตหรือวิสัยทัศน์ของอนาคต (foresight, visioning) เป็นกระบวนการที่ดำเนินการอย่างเป็นระบบ ในการมองไปในอนาคตของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี เศรษฐกิจ และสังคม เพื่อการส่งเสริมให้อะไรๆ ประโยชน์สูงสุดแก่ เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม การมองอนาคตไม่ใช่การทำนาย (forecast) ที่สันนิษฐานอนาคตเพียงรูปแบบเดียว หลักสำคัญของการมองอนาคตคือ การดำเนินการที่เป็น



ระบบ มีขั้นตอนชัดเจน และมีส่วนร่วมจากผู้ที่มีส่วนร่วมเป็นเจ้าของ (stakeholders) เพื่อให้เข้าใจถึงแรงผลักดันต่างๆ ทั้งที่เห็นชัดและที่ยังไม่เห็นชัด ซึ่งจะกำหนดรูปแบบของอนาคต และทำให้เห็นเส้นทางที่จะต้องกระทำในวันนี้เพื่ออนาคตที่ดีขึ้น

## 2. ความอ่อนไหวของสิ่งมีชีวิตในทะเลและชายฝั่งต่อตัวแปรทางภูมิอากาศ

สิ่งมีชีวิตในทะเลและชายฝั่งทะเลนั้นเปิดรับต่อตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ขึ้นกับตำแหน่งที่อยู่อาศัยและปัจจัยทางกายภาพ เช่น ธรณีวิทยา ภูมิอากาศและสมุทรศาสตร์ รวมทั้งปัจจัยจากการพัฒนาในพื้นที่ชายฝั่งนั้นๆ โดยปัจจัยสำคัญที่สิ่งมีชีวิตทางทะเลและชายฝั่งมักจะเปิดรับได้แก่ อุณหภูมิ ความเค็ม ความเป็นกรด ปริมาณตะกอนแขวนลอยและสารอาหารของน้ำทะเล ความปั่นป่วนจากคลื่น กระแสน้ำ ระดับน้ำทะเล ตลอดจนความเข้มข้นหรือปริมาณของแสง ซึ่งปัจจัยทางทะเลเหล่านี้บางส่วนอาจจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยทางภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิอากาศ ลมมรสุม ความถี่และความรุนแรงของพายุ ปริมาณฝนและน้ำท่า ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาความอ่อนไหวของสิ่งมีชีวิตทางทะเลในประเทศไทยต่อการเปิดรับต่อปัจจัยที่น่าจะเกี่ยวข้องกับภูมิอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเปิดรับต่อความเค็มและอุณหภูมิ ดังสรุปในตารางที่ 1 และมักเป็นการศึกษากลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ หรือเป็นชนิดที่มีการนำมาเพาะเลี้ยง และส่วนใหญ่เป็นการศึกษาการตอบสนองในแง่ของการวางไข่ การฟัก หรือเป็นช่วงที่สิ่งมีชีวิตในระยะวัยอ่อน ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในระยะนี้มักจะเป็นช่วงที่มีความอ่อนไหวต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมมากกว่าช่วงอื่นๆ อย่างไรก็ตาม กลุ่มสิ่งมีชีวิตในบางระบบนิเวศมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความอ่อนไหวต่อปัจจัยการเปิดรับน้อยมาก เช่น หญ้าทะเลและป่าชายเลน รวมทั้งยังไม่มีการศึกษาวิจัยความอ่อนไหวของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในทะเล นอกจากนี้



นี้ยังไม่มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความอ่อนไหวของสิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศต่อระดับน้ำทะเล ยกเว้นในประเด็นการของการสูญเสียที่ดินชายฝั่ง

เป็นที่น่าสังเกตว่าถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาความอ่อนไหวในระดับสิ่งมีชีวิตต่อปัจจัยภูมิอากาศบ้างพอสมควร แต่การนำข้อมูลจากการทดลองระดับห้องปฏิบัติการไปขยายผลในระดับระบบนิเวศนั้นยังไม่มีการศึกษาเลยในประเทศไทย ดังนั้นการประเมินความเสี่ยงในระดับระบบนิเวศที่พอจะทำได้จึงเป็นเพียงการสังเกตในภาคสนาม ทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยอาศัยจากโอกาสหรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น เหตุการณ์เอลนีโญ ลานีญา หรือพายุขนาดใหญ่ เป็นต้น

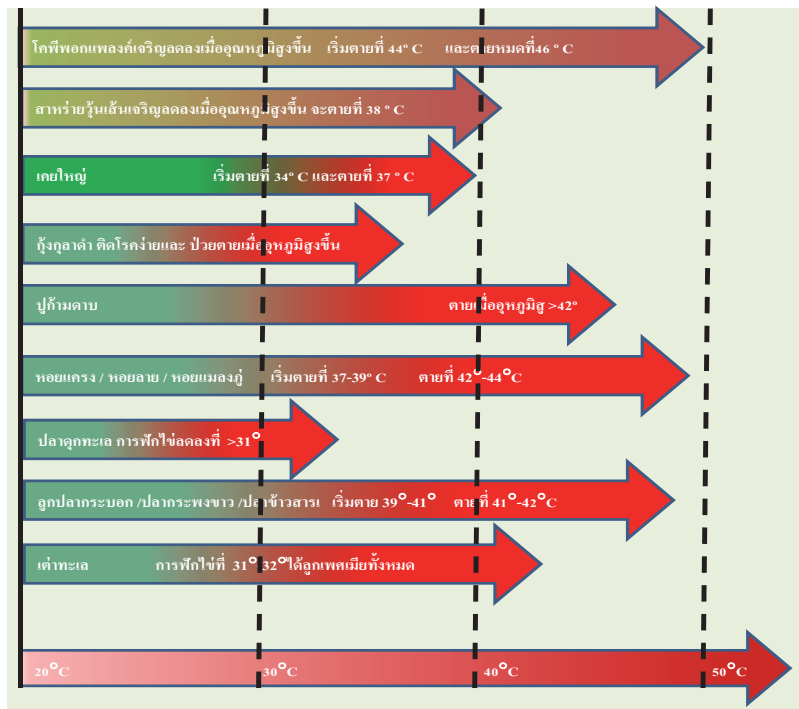
การเกิดปะการังฟอกขาวน่าจะเป็นความเสี่ยงของระบบนิเวศทางทะเลของประเทศต่อความแปรปรวนของภูมิอากาศที่มีการศึกษาอย่างเป็นรูปธรรมมากที่สุดของประเทศไทย โดยปรากฏการณ์ที่ปะการังสูญเสียสาหร่ายที่รวมอาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อ ซึ่งบางครั้งมีความรุนแรงถึงระดับที่ทำให้ปะการังตายเป็นอาณานิคมบริเวณกว้างนั้น เกิดจากอุณหภูมิของน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นจากระดับปกติต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน ซึ่งมักจะเกิดในปีที่เป็นเอลนีโญ ซึ่งที่ผ่านมาปะการังฟอกขาวเกิดขึ้นอย่างกว้างขวางในปี พ.ศ. 2534, 2538, 2541, 2546 2548 2550 และ 2553 เนื่องจากอุณหภูมิน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นผิดปกติ ประมาณ 1-3 องศาเซลเซียส

เท่าที่ผ่านมาหลักไถ่หลักในระดับนโยบายในการรับมือของระบบนิเวศทางทะเลและชายฝั่งต่อภาวะกดดันหรือการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ทั้งที่เกิดขึ้นจากสาเหตุตามธรรมชาติหรือจากมนุษย์ คือประเมินและติดตามความเสียหายที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นจึงฟื้นฟูระบบนิเวศโดยการปลูกทดแทนหรือเสริมจากที่มีอยู่เดิม ไม่ว่าจะเป็นป่าชายเลน แนวปะการัง หรือแหล่งหญ้าทะเล อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการประเมินว่าแนวคิดและขีดความสามารถในการรับมือมีอยู่สำหรับแต่ละระบบนิเวศจะเหมาะสมหรือว่าเพียงพอต่อสถานการณ์ในอนาคตหรือไม่ และอย่างไร



**ตารางที่ 1** สรุปการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความอ่อนไหวของสิ่งมีชีวิตทางทะเลต่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศ

สิ่งมีชีวิต	อุณหภูมิ	แสง	ความเค็ม	pH	ตะกอน
แพลงก์ตอนพืชและสัตว์	X	X	X		
สาหร่ายทะเล		X	X		
หญ้าทะเล					X
ต้นไม้ในป่าชายเลน			X		
ปะการัง					X
กุ้ง	X		X		
ปู	X	X	X	X	
หอย	X	X	X		
หมึก			X	X	
ปลิงทะเล			X		
ปลา	X		X	X	X
เต่าทะเล	X				



รูปที่ 1 ผลของอุณหภูมิต่อสัตว์ทะเลบางชนิดในประเทศไทย

### 3. ผลกระทบของภูมิอากาศมีต่อระบบนิเวศป่าไม้ ชนินของพืชพรรณ และสัตว์ป่า

ป่าไม้เป็นระบบนิเวศที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางภูมิอากาศ ซึ่งรวมถึงอุณหภูมิอากาศ ปริมาณและความต่อเนื่องของฝน ความชื้นในอากาศและในดิน ความเข้มแสง ความเร็วและทิศทางการลม ขนาดและความถี่ของพายุและปัจจัยอื่นๆ โดยระบบป่าแต่ละประเภทจะมีความอ่อนไหวต่อขนาดและการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางภูมิอากาศแต่ละตัวที่แตกต่างกัน และจะตอบสนองต่อความเปลี่ยนแปลงได้ในหลายรูปแบบ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศป่าไม้ ดังนี้ 1) การสูญพันธุ์



ของพืชและสัตว์ป่า 2) การออกดอกและการเจริญเติบโตของพืช 3) ขนาดและการกระจายของสังคมพืช 4) การแผ่ขยายและเพศของตัวอ่อน 5) การอพยพย้ายถิ่นของสัตว์และแมลง 6) ขนาดของถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต 7) การบุกรุกของพืชหรือสัตว์ต่างถิ่น และ 8) รูปแบบของการเกิดไฟป่า เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อประโยชน์และบริการเชิงนิเวศ (ecosystem goods and services) ที่มนุษย์จะได้รับทั้งทางตรงและทางอ้อม

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นปัจจัยคุกคามที่จะเพิ่มความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่และการสูญเสียความหลากหลายของระบบนิเวศป่า นอกเหนือจากการบุกรุกพื้นที่และการใช้ประโยชน์อย่างไม่ยั่งยืน โดยผลกระทบที่มีต่อป่าไม้และระบบนิเวศป่าบก พบว่า ป่าสนเขาของประเทศไทย ทั้ง 2 ชนิด คือ สนสองใบ (*Pinus merkusii*) และสนสามใบ (*Pinus kesiya*) ซึ่งเป็นสังคมพืชที่พบในบริเวณที่มีสภาพอากาศหนาวเย็น มีหน้าแล้งและมีหน้าฝนแตกต่างกันชัดเจนติดต่อกันหลายปี มีความเสี่ยงต่อความเสื่อมโทรมและอาจสูญหายไป หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกินจุดวิกฤตต่อความทนทานของกล้าไม้สน โดยสนสองใบซึ่งอยู่ในพื้นที่ต่ำทั้งในประเทศไทยและกัมพูชาจะมีความเสี่ยงสูง ส่วนสนสามใบซึ่งมักพบในพื้นที่ที่สูงกว่า (>1,000 m) และอากาศหนาวเย็นกว่า จะได้รับผลกระทบน้อยกว่าสนสองใบ แต่หากสนสามใบกระจายในพื้นที่ต่ำและอุณหภูมิสูง เช่น ในประเทศจีนและเวียดนาม ก็อาจจะได้รับผลกระทบเหมือนกับสนสองใบ ส่วนในป่าดิบเขาสูงหรือป่าเมฆ (montane forest) ซึ่งเป็นสังคมพืชที่มีลักษณะเฉพาะ พบในพื้นที่ภูเขาสูง และอยู่ได้ในสภาพความชื้นในอากาศสูง อุณหภูมิต่ำตลอดทั้งปี มีพืชประจำถิ่น (endemic species) หลายชนิด มีมอสส์และไลเคนปกคลุมไม้ยืนต้น จึงทำให้ป่าดิบเขาสูงหรือป่าเมฆมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และ/หรือ ความชื้นในอากาศลดลง

ส่วนผลกระทบที่มีต่อสัตว์ป่าในประเทศไทยนั้นพบว่า นกบางชนิดที่อพยพหนีหนาวจากไซบีเรียและประเทศจีนมีการเปลี่ยนแปลงเส้นทางและช่วงเวลาอพยพ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อความสมบูรณ์และปริมาณของพืชพรรณและสิ่งมีชีวิตที่เป็นอาหารของตัวอ่อน





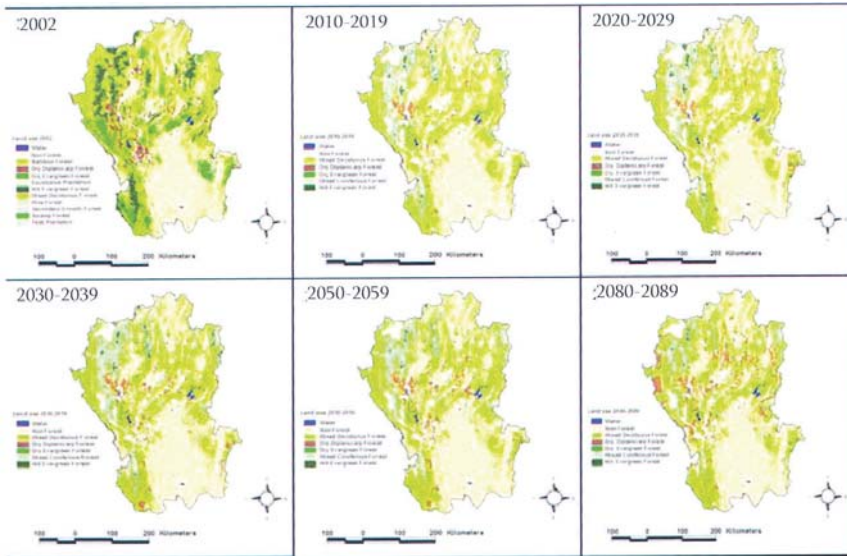
นอกจากนี้ การกระจายของไก่อ้า 2 ชนิด ในช่วงระยะเวลา 25 ปีต่อเนื่องที่อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ พบว่า จำนวนและความชุกชุมของไก่อ้าพญาลอ (Siamese Fireback, *Lophura diadi*) ซึ่งเดิมมีถิ่นที่อยู่อาศัยในพื้นที่ค่อนข้างต่ำจากระดับน้ำทะเล ได้เคลื่อนที่ไปยังพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยถิ่นที่อยู่อาศัยอันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ ในขณะที่ถิ่นที่อยู่อาศัยของไก่อ้าหลังขาว (Silver Pheasant, *L.nycthemera*) มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าไก่อ้า 2 ชนิดนี้น่าจะมีการเปิดรับและตอบสนองไหวต่อปัจจัยแวดล้อมที่แตกต่างกัน

การศึกษาในไลเคน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่ดีในการติดตามการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในระบบนิเวศป่า พบว่า เมื่ออุณหภูมิ แสงสว่าง และ/หรือ ความชื้นในป่ามีการเปลี่ยนแปลง อาจมีผลต่อการเจริญเติบโตหรืออยู่รอดของไลเคนเหล่านี้ได้ เนื่องจากไลเคนจะมีอัตราการเติบโตสูงสุดในป่าดิบเขา ซึ่งมีระดับความชื้น แสงสว่างและอุณหภูมิอากาศเหมาะสมที่สุดนอกจากปัจจัยด้านอุณหภูมิแล้ว ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูเป็นอีกปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการกระจายของพืชในภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศไทยด้วย โดยพืชที่สามารถปรับตัวลำเลียงน้ำ (xylem) ให้แคบจะสามารถมีชีวิตรอดและกระจายได้ไกล เนื่องจากการลดอัตราการผลิตมวลชีวภาพในชั้นเรือนยอดและอัตราการเจริญเติบโตในช่วงหน้าแล้ง

การคาดการณ์ความเสี่ยงและความเปราะบางในอนาคตโดยใช้แบบจำลอง MAXENT และข้อมูลอากาศเชิงชีววิทยา (bioclimatic variables) ขนาด 1 ตารางกิโลเมตร เพื่อคาดการณ์การกระจายของป่าในปี พ.ศ. 2593 พบว่า ขนาดระบบนิเวศที่เหมาะสม (ecological niches) ของป่าดงดิบ (ป่าไม่ผลัดใบ) มีขนาดลดลงและมีแนวโน้มเคลื่อนที่ไปทางเหนือและในระดับความสูงมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งป่าสนเขาจะได้รับผลกระทบมาก ส่วนระบบนิเวศของป่าผลัดใบจะมีขนาดเพิ่มขึ้นและขยายพื้นที่การกระจายมาทางภาคกลาง โดยปัจจัยเปิดรับทางภูมิอากาศที่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลง คือ อุณหภูมิต่ำสุดในช่วงหน้าหนาว และปริมาณน้ำฝนในช่วงหน้าแล้ง ซึ่งสอดคล้องกับการ



คาดคะเนการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ในภาคเหนือของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ.2553-2632 (ค.ศ.2010-2089) ภายใต้การแบบจำลองสภาพอากาศแบบ SRES A2 ดังรูปที่ 2 ซึ่งพบว่า ขนาดพื้นที่ป่าไม้ผลัดใบมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ป่าผลัดใบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 การคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงขนาดของชนิดป่าในภาคเหนือของประเทศไทย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ระหว่างปี พ.ศ. 2545-2632 (ค.ศ. 2010-2089)

#### 4. พื้นที่ชุ่มน้ำและระบบนิเวศน้ำจืดของประเทศไทยในบริบทของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

พื้นที่ชุ่มน้ำและระบบนิเวศน้ำจืด เปิดรับปัจจัยทางภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิของน้ำ ปริมาณฝน ภาวะแห้งแล้งและภาวะน้ำท่วม ลมและพายุ รวมถึงความสูงของระดับน้ำทะเล และมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยทางภูมิอากาศดังกล่าว เนื่องจากทำให้พื้นที่ชุ่มน้ำ





เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ เช่น ปริมาณน้ำท่าและอัตราการไหลของน้ำ พื้นที่ผิวน้ำ ปริมาณน้ำกักเก็บ ปริมาณการระเหยของน้ำ ปริมาณการคายน้ำของพืชน้ำ วัฏจักรทางชีวธรณีเคมี ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำ ความเค็มของน้ำ ความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากร ชนิดพันธุ์ ความหลากหลายทางชีวภาพ การเจริญเติบโต การแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ การรุกรานของชนิดพันธุ์ต่างถิ่นประชาชน

อุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นจะมีผลต่อสมดุลน้ำ การสะสมตัวและอัตราการสลายตัวของระบบนิเวศพรุ นิเวศวิทยา ความหลากหลายทางชีวภาพ และการแพร่กระจายของสังคมพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่พรุหรือใช้ประโยชน์พื้นที่พรุในช่วงสำคัญของวงจรชีวิต รวมทั้งความถี่และความรุนแรงของการเกิดไฟไหม้พรุ ดังเช่น ผลกระทบที่เกิดจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นและปริมาณฝนที่ลดลงในบางพื้นที่ภายในลุ่มน้ำโขง เมื่อปริมาณน้ำท่าลดลง ระดับน้ำใต้ดินต่ำทำให้พื้นที่ชุ่มน้ำหลายแห่งแห้งลง ไม่มีน้ำ พืชและสัตว์บางชนิดในพื้นที่ชุ่มน้ำต้องตายหรือหมดไป เพราะทนอยู่ในสภาวะที่แห้งและขาดน้ำไม่ได้ บางพื้นที่ภายในลุ่มน้ำโขงมีปริมาณฝนเพิ่มขึ้น พื้นที่ชุ่มน้ำอาจมีขนาดใหญ่ขึ้นและระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น พืชและสัตว์บางชนิดอาจต้องตายหรือหมดไป เพราะทนอยู่ในสภาวะที่มีน้ำท่วมตลอดเวลาหรือน้ำท่วมสูงไม่ได้เช่นกัน

นอกจากนี้ พื้นที่ชุ่มน้ำและระบบนิเวศน้ำจืดที่มีระดับความสูงของพื้นที่เทียบเท่ากับหรือต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง หรือตั้งอยู่บริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ ปากแม่น้ำ หรือชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะแม่น้ำสายสำคัญของภาคกลาง เช่น แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำบางปะกง และที่ราบลุ่มของแม่น้ำเหล่านี้ นับได้ว่ามีความอ่อนไหว เสี่ยง และล่อแหลมเป็นอย่างยิ่งต่อระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นและการรุกรานของน้ำเค็ม รวมทั้งพื้นที่ชุ่มน้ำชายฝั่งทะเล เช่น ทะเลสาบสงขลา เนื่องจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อระบบน้ำในทะเลสาบทั้งหมด

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสภาพการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าบุ่งป่าทามบริเวณริมฝั่งแม่น้ำชี อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร และผลกระทบจากการ





เปลี่ยน แปลงที่มีต่อพืชพรรณธรรมชาติ ดิน น้ำ และสัตว์ป่า ในช่วงปี 2535 และ 2542 พบว่า ขนาดของพื้นที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่พื้นที่ป่าสมบูรณ์ลดลงจาก 2,150 ไร่ เป็น 1,500 ไร่ (ลดลงกว่าร้อยละ 30) และพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมเพิ่มมากขึ้นจาก 50 ไร่ เป็น 1,000 ไร่ (เพิ่มขึ้นร้อยละ 100) แม่น้ำชีมีร่องน้ำลึกมากขึ้นเป็นช่วงๆ เพราะเรือดูดทรายและการขุดลอก พื้นที่ดินเค็มเพิ่มมากขึ้น มีพืชพรรณที่ไม่สามารถทนต่อความเค็มของดินที่เพิ่มขึ้น ตายกลายเป็นป่าเสื่อมโทรม พืชพรรณธรรมชาติลดน้อยลง โดยเฉพาะพืชสมุนไพร พืชอาหาร และไม้ใช้สอย พื้นที่บางส่วนมีถนนตัดผ่าน กุด หนอง แหล่งน้ำในป่าต้นเขินมีผลต่อการทำประมงของชาวบ้าน ความอุดมสมบูรณ์ของสัตว์ปาลดน้อยลง หลายชนิดหายไปจากพื้นที่ ภาวะการณ์เช่นนี้มีผลเพิ่มความเสี่ยงและความเปราะบางของป่าบุงป่าทามในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงปัจจัยทางภูมิอากาศ

## 5. ความเสี่ยงต่อภูมิอากาศในอนาคตของทรัพยากรน้ำ

แนวโน้มของความเสี่ยงต่อภูมิอากาศในอนาคตของทรัพยากรน้ำนั้น ปัจจัยเปิดรับที่สำคัญที่สุดคือ ฝน ซึ่งการศึกษาทางสถิติโดยใช้ข้อมูลตรวจวัดในอดีตพบว่า ในหลายลุ่มน้ำมีแนวโน้มลดลง เช่น ลุ่มน้ำกก บึง และน่าน ในช่วงจากปี พ.ศ. 2494-2520 แต่การศึกษาโดยใช้โมเดลภูมิอากาศกลับพบว่า แนวโน้มของฝนในอนาคตอาจเพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อย โดยในภาพรวมระดับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในอนาคต ประเมินว่าประเทศไทยจะได้รับผลค่อนข้างต่ำ กล่าวคือจะมีจำนวนประชากรที่เสี่ยงต่อการมีน้ำทำให้ใช้น้อยกว่าเกณฑ์ 1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีต่อคน อยู่ประมาณ 3.6 ล้านคน ในขณะที่ประเทศเวียดนามและอินโดนีเซียจะมีจำนวนประชากรที่อยู่ในข่ายเสี่ยงมากถึง 12.2 และ 8.6 ล้านคน ตามลำดับ

การศึกษาโดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศอนาคตต่างๆ ประกอบกับแบบจำลองทางอุทกวิทยาในระดับลุ่มน้ำพบว่า การเปลี่ยนแปลงของฝนรวมใน





ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ในอนาคตระยะกลาง(30-50 ปี) จะมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง แต่มักจะไม่เกินร้อยละ 10 จากปีฐาน อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การคายระเหยเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลง ส่วนในอนาคตระยะยาว (มากกว่า 50 ถึง 100 ปี) ปริมาณฝนรวมในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ส่วนใหญ่ของประเทศจะเพิ่มมากขึ้นจนสามารถเอาชนะการสูญเสียผ่านการคายระเหย ทำให้ปริมาณน้ำท่าในระยะยาวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

นอกจากผลของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเฉลี่ยในภาพรวมแล้ว ความแปรปรวนของฝนในอนาคตก็จะส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะในลุ่มน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กชายฝั่งทะเล เช่น ในพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งภาคตะวันออก ความแปรปรวนของน้ำท่ามีมากขึ้นประกอบกับการใช้น้ำมีอัตราที่สูงจึงนำไปสู่เสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำโดยเฉพาะในฤดูแล้ง ในขณะที่ลุ่มน้ำในจังหวัดกระบี่จะประสบกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ประกอบกับปริมาณฝนที่อาจลดลงและแปรปรวนมากขึ้น รวมทั้งระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นจะทำให้ทรัพยากรน้ำทั้งผิวดินและใต้ดินทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพลดลง

การศึกษาความเสี่ยงของน้ำใต้ดินซึ่งเกษตรกรใช้เป็นแหล่งน้ำสำรอง โดยใช้โครงการชลประทานหลายชุมพล จังหวัดพิษณุโลก เป็นพื้นที่ศึกษา พบว่าปริมาณฝนรวมทั้งปีในช่วงอนาคตอาจลดลงบ้าง แต่ฝนจะตกมากขึ้นในช่วงฤดูแล้งซึ่งจะทำให้อัตราการเติมน้ำในฤดูแล้งดีขึ้นกว่าเดิม แต่หากไม่มีการควบคุมการทำนาปรังในฤดูแล้ง เกษตรกรอาจทำนาปรังมากขึ้น ทำให้อัตราการใช้น้ำบาดาลเพิ่มสูงขึ้นด้วย และส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลลดลงกว่าปัจจุบันได้อีกถึง 1 เมตร ดังนั้นการควบคุมพื้นที่เพาะปลูกให้เป็นไปตามกลไกปีน้ำจึงจะเป็นกุญแจสำคัญของการลดความเสี่ยงต่อภูมิอากาศในอนาคต



## ความเสี่ยงต่อภัยพิบัติที่เกี่ยวข้องกับน้ำในอนาคต

พื้นที่ที่ความเสี่ยงต่อน้ำท่วมจะเพิ่มขึ้นในอนาคตอันใกล้ (ช่วงปี พ.ศ. 2558-2582) ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มลุ่มน้ำเจ้าพระยา-ท่าจีน กลุ่มลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำโขง และกลุ่มลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก ส่วนในอนาคตระยะไกล (ช่วงปี พ.ศ. 2618-2642) กลุ่มลุ่มน้ำที่มีพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมเพิ่มขึ้นมากจะอยู่ในกลุ่มลุ่มน้ำเจ้าพระยา-ท่าจีน กลุ่มลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำโขง และกลุ่มลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก โดยหมู่บ้านเสี่ยงภัยน้ำท่วมสามารถจัดกลุ่มตามปริมาณน้ำฝนสูงสุด 5 วันช่วงได้ 3 ช่วง ซึ่งจำนวนหมู่บ้านที่มีปริมาณฝนสูงสุด 5 วัน อยู่ในระดับเสี่ยงน้อย และเสี่ยงมากมีแนวโน้มลดลง โดยปรับเปลี่ยนไปเป็นหมู่บ้านที่มีความเสี่ยงในระดับปานกลางมากขึ้น (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของจำนวนหมู่บ้านเสี่ยงภัยน้ำท่วม

ระดับความเสี่ยง	จำนวนหมู่บ้านเสี่ยงภัยน้ำท่วม, หมู่บ้าน				
	ช่วงปี พ.ศ. 2522-2546	ช่วงปี พ.ศ. 2558-2582	การเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	ช่วงปี พ.ศ. 2618-2642	การเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
น้อย (85 – 197 มม.)	14,022	12,277	-12.44	12,260	-12.57
ปานกลาง (197 – 309 มม.)	1,013	2,756	172.06	2,796	176.01
มาก (ตั้งแต่ 309 มม. ขึ้นไป)	425	427	0.47	404	-4.94

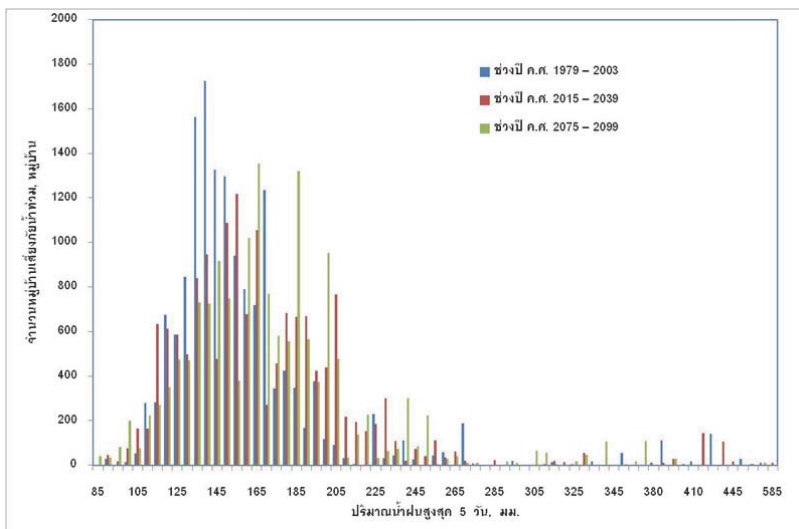
พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อภัยแล้งจะเพิ่มขึ้นมากในอนาคตอันใกล้ (ช่วงปี พ.ศ. 2558-2582) ส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มลุ่มน้ำเจ้าพระยา-ท่าจีน กลุ่มลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำโขง และกลุ่มลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันตก ส่วนในอนาคตระยะไกล (ช่วงปี พ.ศ. 2618-2642) กลุ่มลุ่มน้ำที่มีพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมเพิ่มขึ้นมากจะอยู่ในกลุ่มลุ่มน้ำเจ้าพระยา-ท่าจีน กลุ่มลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันตก

และกลุ่มลุ่มน้ำสาขาแม่น้ำสาละวิน โดยหมู่บ้านเสี่ยงภัยแล้งสามารถจัดกลุ่มตามจำนวนวันของฝนทิ้งช่วงได้ 3 ซึ่งจำนวนหมู่บ้านที่มีระยะเวลาการทิ้งช่วงอยู่ในระดับเสี่ยงมากและเสี่ยงปานกลางมีแนวโน้มลดลง โดยปรับเปลี่ยนไปเป็นหมู่บ้านที่มีความเสี่ยงน้อยมากขึ้น (ตารางที่ 3)

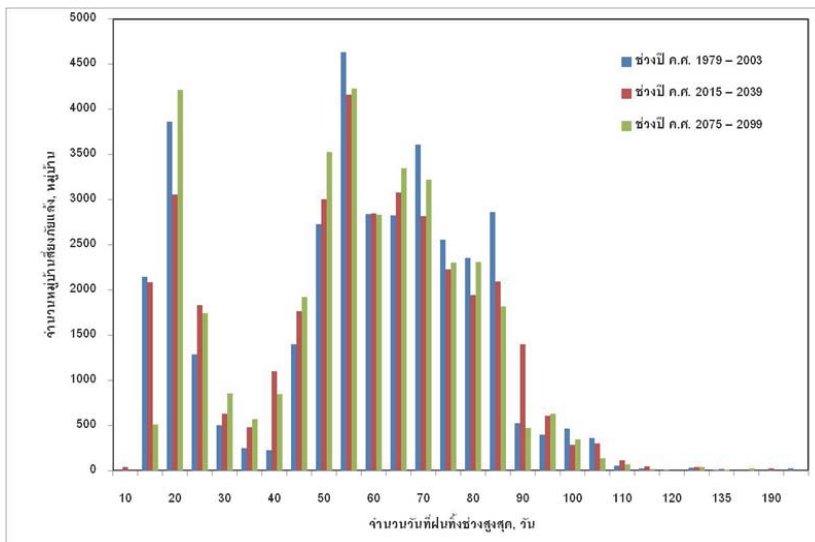
**ตารางที่ 3** แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของจำนวนหมู่บ้านเสี่ยงภัยแล้ง

ระดับความเสี่ยง	จำนวนหมู่บ้านเสี่ยงภัยแล้ง, หมู่บ้าน				
	ช่วงปี พ.ศ. 2522-2546	ช่วงปี พ.ศ. 2558-2582	การ เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	ช่วงปี พ.ศ. 2618-2642	การ เปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
น้อย (10 – 55 วัน)	17,045	18,159	6.54	18,411	8.01
ปานกลาง (55 – 99 วัน)	17,984	17,008	-5.43	16,948	-5.76
มาก (ตั้งแต่ 99 วัน ขึ้นไป)	974	836	-14.17	644	-33.88

โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสูงสุด 5 วันกับจำนวนหมู่บ้านเสี่ยงภัยน้ำท่วม ดังรูปที่ 3 และความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่ฝนทิ้งช่วงสูงสุดกับจำนวนหมู่บ้านเสี่ยงภัยแล้งดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสูงสุด 5 วันกับจำนวนหมู่บ้านเสี่ยงภัยน้ำท่วม



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่ฝนทิ้งช่วงสูงสุดกับจำนวนหมู่บ้านเสี่ยงภัยแล้ง

## 6. ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อผลผลิตทางการเกษตร และระบบเกษตร

พืชแต่ละชนิดมีความอ่อนไหวต่อการเปิดรับปัจจัยทางภูมิอากาศต่างกัน ขึ้นอยู่กับกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชนั้น จึงทำให้มีความเสี่ยงต่อภูมิอากาศในอนาคตที่แตกต่างกันด้วย โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบการผลิตข้าว จากการศึกษาคพบว่า ข้าวเกือบทุกสายพันธุ์มีความอ่อนไหวต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ทำให้อายุข้าวจะสั้นลงและผลผลิตข้าวลดลงด้วย มีผลต่อการระบาดของแมลงและโรคของข้าว รวมไปถึงการขาดน้ำยังทำให้การผสมเกสรลดลงและลดผลผลิตข้าวได้ โดยในข้าวนาปีซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือและอาศัยน้ำฝนเป็นหลักนั้น แม้ในอนาคตอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นแต่ข้าวส่วนใหญ่ยังสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ ปริมาณน้ำฝนรายปีที่อาจเพิ่มขึ้นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและลดลงในพื้นที่ภาคกลางอาจส่งผลกระทบต่อการผลิตข้าวบ้าง แต่ปัจจัยที่สำคัญคือ การเริ่มต้นของฤดูฝน หากการแปรปรวนของภูมิอากาศทำให้น้ำมาล่าช้า เกษตรกรจะไม่สามารถเตรียมแปลงกล้าได้ ซึ่งความแปรปรวนของภูมิอากาศและพายุที่อาจมีมากขึ้น จะส่งผลให้เกิดภาวะน้ำท่วมที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ รวมทั้งพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือก็ยังคงมีความเสี่ยงต่อการสูญเสียผลผลิตข้าว ส่วนในข้าวนาปรังนั้น พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตชลประทานภาคกลาง เป็นระบบการผลิตที่เปิดรับกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศโดยเฉพาะในช่วงปลายฤดู ระบบการผลิตอ่อนไหวต่อการควบคุมและระบายน้ำของภาครัฐ

ในมันสำปะหลัง ซึ่งปลูกในพื้นที่ตอนของพื้นที่ผลิตหลักในประเทศมีการเปิดรับต่อปริมาณน้ำฝนที่อาจจะเพิ่มขึ้น ทำให้หัวมันสำปะหลังมีโอกาสเน่าเสียได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้มีผลผลิตลดลง นอกจากนี้ อุณหภูมิและความชื้นในอากาศและในดินที่เปลี่ยนแปลงในอนาคตอาจจะทำให้ศัตรูของมันสำปะหลังมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ได้แก่ เพลี้ยแป้ง แมลงหริ่นขาว ไรแดง ปลวก และแมลงหนูหนหลวง แต่ยังไม่มีการศึกษาเรื่องนี้โดยตรง



อ้อยโรงงานที่ปลูกข้ามแล้งจะเปิดรับกับช่วงหน้าแล้งที่ยาวนานขึ้นกว่าอดีต อ้อยอาจจะประสบปัญหาขาดน้ำและทำให้ประชากรและความหนาแน่นของอ้อยต่อพื้นที่ลดลง และส่งผลกระทบต่อผลผลิตลดลงด้วย นอกจากนี้ ในฤดูฝนซึ่งคาดว่าจะมีปริมาณฝนมากขึ้นอาจทำให้อ้อยเปิดรับต่อภาวะน้ำขัง ส่งผลให้อ้อยชะงักการเจริญเติบโตและพัฒนาการได้ นอกจากนี้ศัตรูของอ้อย เช่น หนอนกอ ดั๋งหนวดยาว และปลวก ก็อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝน จะเปิดรับกับความไม่แน่นอนของวันเริ่มต้นของฤดูฝนทำให้การเริ่มต้นของฤดูปลูกไม่แน่นอน โดยความแปรปรวนของฝนในฤดูการผลิตอาจมีผลทำให้ข้าวโพดเสี่ยงต่อการระบาดของแมลงและโรค ส่วนการศึกษาเบื้องต้นในปาล์มน้ำมันพบว่า ผลผลิตในอนาคตอาจจะมีแนวโน้มคงที่จากระดับของปีฐาน (ปี พ.ศ. 2543-2552)

สำหรับในพืชอื่นๆ ส่วนมากยังเป็นการศึกษาความอ่อนไหวต่อผลผลิตต่อปัจจัยภูมิอากาศ โดยเฉพาะผลของอุณหภูมิต่อตัวลิส ที่พบว่าผลผลิตน้ำหนักรากแห้งลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิยังอาจจะมีผลต่อการจัดการผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวในสตรอเบอรี่ ส้มเขียวหวานพันธุ์สีทอง มะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ และข้าว

ปัจจัยเปิดรับทางภูมิอากาศ ความอ่อนไหวและมาตรการรับมือที่มีการดำเนินการและเสนอแนะในกลุ่มพืชเศรษฐกิจหลัก 5 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4





**ตารางที่ 4** สรุปปัจจัยเปิดรับทางภูมิอากาศ ความอ่อนไหวและมาตรการรับมือที่มีการดำเนินการและเสนอแนะในกลุ่มพืชเศรษฐกิจหลัก 5 ชนิด

พืช	ปัจจัยเปิดรับ (Exposures)	ความอ่อนไหว (Sensitivity)	มาตรการรับมือ (Coping Mechanisms)
ข้าวนาปี	<ul style="list-style-type: none"> <li>• วันเริ่มต้นฤดูฝน</li> <li>• ฝนรวม</li> <li>• วันฝนตก</li> <li>• อุณหภูมิ</li> <li>• พายุ</li> <li>• ดินเค็ม</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อายุ</li> <li>• การออกดอก</li> <li>• ผสมเกสร</li> <li>• ผลผลิตลด</li> <li>• ศัตรูพืช</li> <li>• ขาดน้ำ แห้งตาย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• การจัดการน้ำในนา</li> <li>• การกักการธาตุอาหารสารอินทรีย์ในดิน</li> <li>• ปรับปรุงพันธุ์</li> </ul>
ข้าวนาปรัง	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อุณหภูมิ</li> <li>• พายุ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อายุ</li> <li>• การออกดอก</li> <li>• ผสมเกสร</li> <li>• ผลผลิตลด</li> <li>• ศัตรูพืช</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ชลประทาน</li> <li>• การกักการธาตุอาหารสารอินทรีย์ในดิน</li> <li>• ปรับปรุงพันธุ์</li> <li>• ประกันราคา ประกันผลผลิต</li> </ul>
มันสำปะหลัง	<ul style="list-style-type: none"> <li>• วันเริ่มต้นฤดูฝน</li> <li>• ฝนรวม</li> <li>• วันฝนตก</li> <li>• อุณหภูมิ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ผลผลิตลด</li> <li>• หัวเน่า</li> <li>• ศัตรูพืช</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ปรับปรุงพันธุ์</li> <li>• การกักการสารอาหารสารอินทรีย์ในดิน</li> <li>• เปลี่ยนไปปลูกพืชยืนต้น</li> </ul>
อ้อยโรงงาน	<ul style="list-style-type: none"> <li>• วันเริ่มต้นฤดูฝน</li> <li>• ฝนรวม</li> <li>• วันฝนตก</li> <li>• อุณหภูมิ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ผลผลิตลด</li> <li>• ขาดน้ำ แห้งตาย</li> <li>• ศัตรูพืช</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ปรับปรุงพันธุ์</li> <li>• การกักการธาตุอาหารในดิน</li> <li>• เปลี่ยนไปปลูกพืชยืนต้น</li> </ul>
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	<ul style="list-style-type: none"> <li>• วันเริ่มต้นฤดูฝน</li> <li>• ฝนรวม</li> <li>• วันฝนตก</li> <li>• อุณหภูมิ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ผลผลิตลด</li> <li>• ขาดน้ำ แห้งตาย</li> <li>• ศัตรูพืช</li> </ul>	

# องค์ความรู้ด้านการลด ก๊าซเรือนกระจก

## องค์ความรู้ด้านการลดก๊าซเรือนกระจก

รายงานสังเคราะห์องค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1 ในส่วนของคณะทำงานกลุ่ม 3 ด้านองค์ความรู้ด้านการลดก๊าซเรือนกระจก เป็นการประมวลและประเมินสถานภาพ ตลอดจนแนวทางในการลดก๊าซเรือนกระจกโดยใช้วิธีสังเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ภายใต้ข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยให้ความสำคัญกับบริบทของประเทศไทย เนื้อหาจะประกอบด้วย สถานภาพการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย แนวโน้มการปล่อยในอนาคต ศักยภาพและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงาน ในส่วนของการผลิตพลังงาน สาขาขนส่ง สาขาอาคารและที่พักอาศัย ศักยภาพและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอื่นๆ ได้แก่ ภาคป่าไม้และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตร และภาคของเสีย นอกจากนี้ เนื้อหายังได้ครอบคลุมถึงต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตลอดจนนโยบายและมาตรการในการลดก๊าซเรือนกระจก รายงานนี้ได้ประมวลและสังเคราะห์บนพื้นฐานของข้อมูล งานวิจัยและรายงานทางวิชาการที่ได้ทำในประเทศเป็นหลัก เพื่อให้เข้าใจถึงสถานภาพขององค์ความรู้ และการดำเนินการที่ผ่านมา รวมถึงทิศทางและกรอบแนวทางที่เป็นไปได้ของการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ รวมถึงประเมินช่องว่างขององค์ความรู้เพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องได้ใช้เป็นแนวทางเริ่มต้นในการศึกษา เพื่อทำความเข้าใจกับปัญหา อุปสรรค และกรอบแนวทางแก้ไขลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้ง ประเด็นที่ยังไม่ชัดเจนและจำเป็นต้องศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคต

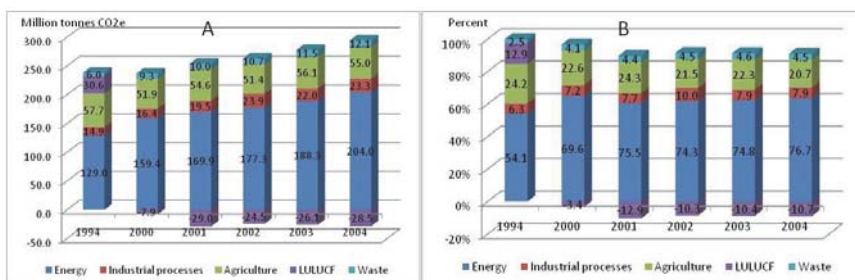
## 1. สถานการณ์และแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

ในช่วง 15 ปี (พ.ศ. 2533-2547) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดทุกภาคการปล่อยของประเทศไทยคำนวณตามคู่มือการคำนวณของ IPCC เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.25 ต่อปี ภาคที่มีความสำคัญต่อปริมาณการปล่อยเพิ่มขึ้นของประเทศคือ ภาคการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่และป่าไม้ เนื่องจากหากไม่รวมปริมาณการปล่อยในภาคนี้ อัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง 15 ปี เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 6.78 ต่อปี โดยเฉพาะช่วง 5 ปีหลัง ภาคการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่และป่าไม้มีความสำคัญและสามารถช่วยบรรเทาการปล่อยที่เพิ่มขึ้นได้ แนวโน้มของปริมาณก๊าซเรือนกระจกและสัดส่วนจากภาคการปล่อยหลักระหว่างปี พ.ศ. 2537-2547 แสดงไว้ในรูปที่ 1

ลำดับการปล่อยของภาคการปล่อยหลักของประเทศทั้ง 15 ปี ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโดยภาคที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ ภาคพลังงาน (ร้อยละ 69-76) รองลงมาคือ ภาคการเกษตร (ร้อยละ 20-24) ภาคกระบวนการอุตสาหกรรม (ร้อยละ 7-10) และภาคของเสีย ตามลำดับ (ร้อยละ 4.1-4.6) สำหรับภาคการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่และป่าไม้ พบว่ามีการดูดกลืนก๊าซเรือนกระจกในปีพ.ศ.2543-2547 ชนิดก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยมากที่สุดคือ ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ (ร้อยละ 70) ส่วนใหญ่มาจากการใช้เชื้อเพลิงในกิจกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าและการขนส่ง ก๊าซมีเทน (ร้อยละ 25) ส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมทางการเกษตร ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (ร้อยละ 5) ส่วนใหญ่มาจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการ เกษตรและกลุ่มก๊าซฟลูออโลคาร์บอนซึ่งเริ่มมีการปล่อยในช่วงหลังปีพ.ศ.2543 เป็นต้นมา แต่มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากส่วนใหญ่มาจากการใช้อุปกรณ์ทำความเย็น

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยมีการคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2543 (229 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) เป็น 2 เท่าในปี พ.ศ.2563 และเป็น 3 เท่าในปีพ.ศ.2573 การปล่อยเพิ่มขึ้นนี้ขึ้นกับโครงสร้างทางกิจกรรมการพัฒนาของประเทศมากกว่าโครงสร้างทางสังคม จึงทำให้ดัชนี

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อประชากรมีค่าสูง โดยเฉพาะดัชนีปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อประชากรในภาคพลังงาน จนถึงปี พ.ศ. 2548 ประเทศไทยปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าร้อยละหนึ่ง เมื่อเทียบกับประเทศอื่นทั่วโลก แต่ปล่อยมากเป็นลำดับสองในประเทศเอเชีย



รูปที่ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่าง ค.ศ.1994-2004 (พ.ศ. 2537-2547) (A) และสัดส่วนจากภาคการปล่อยหลัก (B)

## 2. บทบาทของพลังงานหมุนเวียนและการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน ในการลดก๊าซเรือนกระจก

ในอดีตตั้งแต่ปี พ.ศ.2540 จนถึงปัจจุบัน ภาคผลิตกระแสไฟฟ้ามีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุด โดยในปี พ.ศ. 2552 มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจำนวน 208.48 ล้านตัน การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคผลิตพลังงานประเทศไทยจำเป็นต้องส่งเสริมและสนับสนุน ในเบื้องต้นมีแนวทางในการปฏิบัติ 2 แนวทางเพื่อให้เกิดผลสำเร็จคือ มีการใช้พลังงานหมุนเวียนและการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน เพื่อชะลออัตราการเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าให้ช้าลง

การใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตไฟฟ้าตามเป้าหมายของรัฐ (แผนการพัฒนากำลังผลิตทดแทน 15 ปี) จะหลีกเลี่ยงการปล่อย CO<sub>2</sub>ได้ประมาณ 13.1



ล้านตันสำหรับภาคไฟฟ้า และประมาณ 18.8 ล้านตันสำหรับภาคความร้อน ทั้งนี้ประเทศไทยมีศักยภาพทางด้านพลังงานหมุนเวียนในระดับสูงเนื่องจากเป็นประเทศที่มีผลิตภาพทางเกษตรกรรมสูงทำให้เกิดวัตถุดิบที่สามารถผลิตพลังงานทั้งชีวมวล ก๊าซชีวภาพ รวมถึงไบโอดีเซลและเอทานอล นอกจากนี้ ยังมีที่ตั้งใกล้เส้นศูนย์สูตรทำให้มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดีอีกด้วย โดยได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ เฉลี่ยวันละ 18.2 เมกกะจูล แต่สำหรับพลังงานลม จัดอยู่ในศักยภาพที่ต่ำ ส่วนมาตรการส่งเสริมการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ (promotion of energy efficiency) ถือเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการลดความต้องการใช้พลังงานฟอสซิลได้ในระยะยาว อีกทั้งมีต้นทุนของการลดก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยพลังงานต่ำสุดโดยมาตรการต่างๆ ที่นำมาใช้มีวัตถุดิบที่จะส่งเสริมและสนับสนุนผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มเป้าหมายให้ปรับปรุงแนวทางการใช้ไฟฟ้าให้สอดคล้องกับความจำเป็นที่ผู้ใช้พลังงานยังต้องพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิลในขณะที่ผู้ใช้พลังงานยังคงได้รับคุณประโยชน์ดั้งเดิม

บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ได้จัดทำรายงานการศึกษาต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเทคโนโลยีพลังงานต่าง ๆ โดยในส่วนของเทคโนโลยีประหยัดพลังงานนั้น หม้อไอน้ำและรถยนต์ไฮโดรคาร์ประสิทธิภาพสูงจะมีศักยภาพในการลด CO<sub>2</sub> สูงสุดคือ 23.3 และ 6.59 ล้านตัน CO<sub>2</sub> ตามลำดับรองลงมาคือมอเตอร์และเตาเผาประสิทธิภาพสูง 6.3 และ 6.2 ล้านตัน CO<sub>2</sub> (ปี พ.ศ. 2573) ตามลำดับ ทั้งนี้การลงทุนด้านเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนพบว่า พลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพในการหลีกเลี่ยง CO<sub>2</sub> ได้มากและมีต้นทุนสุทธิต่ำกว่าเทคโนโลยีหมุนเวียนอื่น (แต่ยังมีต้นทุนต่อหน่วยสูงกว่าการประหยัดพลังงาน) ได้แก่ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ เอทานอล และไบโอดีเซลปริมาณ CO<sub>2</sub> ที่หลีกเลี่ยงได้เท่ากับ 9.2, 5.9, 6.4 และ 3.1 ล้านตัน (ปี พ.ศ.2573) ตามลำดับ

ปัญหาและอุปสรรคของแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการผลิตพลังงานแบ่งเป็น 2 ประเด็นหลักคือปัญหาด้านเทคนิคและปัญหาด้านการบริหารจัดการ สรุปได้ดังนี้



แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปัญหาและอุปสรรค	
	ด้านเทคนิค	ด้านการบริหารจัดการ
การใช้พลังงานหมุนเวียน	ขาดบุคลากร องค์ความรู้ และเทคโนโลยีในการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนและผลิตอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ	ขาดการจัดการด้านราคาวัตถุดิบและ/หรือต้นทุนของไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงสำเร็จรูปที่ผลิตจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนยังมีราคาสูงมาก
การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	ขาดองค์ความรู้ และความพร้อมของภาคเศรษฐกิจในรายภาคต่างๆที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาและผลิต และประยุกต์ใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง	<ul style="list-style-type: none"> <li>ขาดการบังคับใช้มาตรการที่จำเป็น โดยเฉพาะมาตรฐานประสิทธิภาพขั้นต่ำและฉลากประสิทธิภาพพลังงาน ยังไม่ครอบคลุมผลิตภัณฑ์สำคัญต่างๆ อย่างกว้างขวางพอ</li> <li>ขาดการส่งเสริมให้มีการลดความต้องการใช้พลังงานอย่างจริงจัง</li> <li>ขาดการประชาสัมพันธ์อย่างต่อเนื่องและมีการรับรู้ในวงจำกัด</li> </ul>

### 3. บทบาทของการขนส่งที่ยั่งยืนในการลดก๊าซเรือนกระจก

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ภาคการขนส่งทางถนนเป็นภาคเศรษฐกิจที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานเป็นอันดับที่ 1 ของประเทศ (คิดเป็นร้อยละ 37 ของปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมดของประเทศ) โดยสาขาการขนส่งทางถนนเป็นสาขาที่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงที่สุด ในปี พ.ศ. 2551 ภาคการขนส่งนี้มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นอันดับที่ 2 (ร้อยละ 30) รองจากภาคการผลิตพลังงาน (โรงไฟฟ้าและโรงกลั่น) โดยการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่งมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยประมาณร้อยละ 2.7 ต่อปี ในช่วงปี พ.ศ.2542-2551 ซึ่งเป็นไปตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจและจำนวนยานพาหนะส่วนบุคคลที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นในปี พ.ศ.2548 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่งของประเทศไทยคิดเป็นร้อยละ 1.04 ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก ร้อยละ 5.09 ของปริมาณการปล่อยในเอเชีย และร้อยละ 24.76 ของปริมาณการปล่อยใน ASEAN

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่งในประเทศไทยในอนาคต คือ ราคาน้ำมันปิโตรเลียม อัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจ ความเป็นเจ้าของยานพาหนะส่วนบุคคล และเทคโนโลยีของยานยนต์ จากงานวิจัยหลายชิ้นพบว่า หากอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจอยู่ระหว่างร้อยละ 3.4-4.5 ต่อปี ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่งจะอยู่ที่ประมาณ 130-208 Mt of CO<sub>2</sub>-eq ในปี พ.ศ. 2573 แนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่งแบ่งได้เป็น 3 แนวทางหลักคือ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเทคโนโลยียานยนต์ การใช้พลังงานทางเลือก และการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทาง

การพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเทคโนโลยียานยนต์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน มุ่งเน้นในการพัฒนา 2 ส่วนคือ (1) ลดปัจจัยที่มีผลลดต่อการใช้พลังงานในยานยนต์ เช่น การลดน้ำหนักของยานยนต์ และการพัฒนา





ลักษณะอากาศพลศาสตร์ของยานยนต์ และ (2) เพิ่มปัจจัยที่มีผลบวกต่อการใช้พลังงานในยานยนต์ เช่น ปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงของยานยนต์ โดยการปรับปรุงระบบส่งกำลัง พัฒนาระบบหัวฉีด และเปลี่ยนชนิดของเครื่องยนต์ไปเป็นเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพสูง

เชื้อเพลิงทางเลือกที่ถูกนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมทั่วไป (น้ำมันเบนซินและดีเซล) คือ เชื้อเพลิงชีวภาพเนื่องด้วยปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าเป็นศูนย์ (CO<sub>2</sub> neutral) และการใช้ก๊าซธรรมชาติ (กรณีที่เป็นเทคโนโลยีเพื่อใช้ก๊าซธรรมชาติโดยการเฉพาะเพียงอย่างเดียว หรือ dedicated technology) เนื่องจากมีอัตราการปล่อยก๊าซ CO<sub>2</sub> ต่ำกว่าน้ำมันเบนซินและดีเซล

การขนส่งแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ การขนส่งผู้โดยสารและการขนส่งสินค้า การเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งผู้โดยสารเน้นการส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งสาธารณะทุกรูปแบบ เช่น รถประจำทางธรรมดา รถประจำทางด่วนพิเศษ (BRT) รถไฟฟ้า และเรือโดยสารสาธารณะ และการเดินทางโดยไม่ใช้เครื่องยนต์ (non-motorized mode transport) ส่วนการขนส่งสินค้านั้นการเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งทางถนนเป็นระบบรางหรือทางน้ำ

ผลการศึกษาจากงานวิจัยพบว่า การเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงไปใช้เชื้อเพลิงทางเลือกที่เป็น CO<sub>2</sub> neutral มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงเฉพาะในระยะสั้น แต่เนื่องจากความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคตจะทำให้เกิดการขาดแคลนด้านอุปทาน (supply shortage) ทำให้ไม่มีความยั่งยืน ขณะที่การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของยานยนต์และการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางและขนส่ง จะมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซสูงกว่าในระยะยาวและมีความยั่งยืนกว่า

ช่องว่างองค์ความรู้ทางด้านวิชาการของการศึกษาแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคขนส่งในประเทศไทยแบ่งเป็น 3 ประเด็นคือ ขาดข้อมูลที่สำคัญ ขาดองค์ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะ



ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจและสังคม และขาดการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอย่างบูรณาการ

ปัญหาและอุปสรรคของแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่งแบ่งเป็น 2 ประเด็นหลักคือ ปัญหาด้านเทคนิค และปัญหาด้านการบริหารจัดการ สรุปได้ดังนี้

แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปัญหาและอุปสรรค	
	ด้านเทคนิค	ด้านการบริหารจัดการ
การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของยานยนต์	ไม่มีเทคโนโลยีเป็นของตนเอง	ขาดมาตรการสร้างแรงจูงใจหรือบังคับการผลิตและการใช้เทคโนโลยียานยนต์ที่มีประสิทธิภาพสูง
การใช้เชื้อเพลิงทางเลือก	<p><u>เชื้อเพลิงชีวภาพ</u></p> <p>อุปทานของพืชที่นำมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพมีจำกัดและไม่คงที่เพราะต้องแย่งพื้นที่เพาะปลูกกับพืชอาหาร การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพมีอัตราผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกต่ำ ราคาต่อหน่วยสูงกว่าเชื้อเพลิงทั่วไป</p> <p><u>ก๊าซธรรมชาติ</u></p> <p>โครงข่ายของระบบท่อส่งก๊าซมีจำกัดทำให้ต้นทุนในการขนส่งสูง จำนวนสถานีเติมก๊าซมีจำกัด ขาดช่างที่มีความชำนาญในการดัดแปลงและติดตั้งอุปกรณ์ รวมทั้งการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ</p>	<p>ขาดการบริหารจัดการพื้นที่เพาะปลูกพืชพลังงานอย่างเหมาะสม และการทำงานอย่างบูรณาการระหว่างหน่วยงานของภาครัฐ</p> <p>ขาดความร่วมมือระหว่างองค์กรที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน</p>

แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปัญหาและอุปสรรค	
	ด้านเทคนิค	ด้านการบริหารจัดการ
<ul style="list-style-type: none"> <li>● การเปลี่ยนรูปแบบการเดินทาง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ขาดโครงข่ายระบบขนส่งสาธารณะที่มีประสิทธิภาพและครอบคลุมในพื้นที่เขตเมือง</li> <li>● โครงข่ายระบบขนส่งสินค้าทั้งทางรางและทางน้ำมีจำกัด</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● การบริหารงานของหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบในระบบขนส่งสาธารณะและการขนส่งทางรางปัจจุบันยังขาดประสิทธิภาพ</li> <li>● ขาดการทำงานร่วมกันอย่างบูรณาการและอย่างมีประสิทธิภาพของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสาธารณะ</li> </ul>

#### 4. บทบาทของภาคอาคารและที่อยู่อาศัยต่อลดก๊าซเรือนกระจก

การปรับเปลี่ยนเศรษฐกิจและสังคมในประเทศไทยในระยะอันใกล้ข้างหน้าจะทำให้จำนวนผู้อยู่อาศัยในเขตเมืองเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 ของทั้งหมดจากร้อยละ 40 ในปัจจุบัน อาคารธุรกิจ และอาคารที่อยู่อาศัยจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก การใช้ไฟฟ้าในอาคารโดยรวมจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าครึ่งของปัจจุบันใน 20 ปีข้างหน้า ถ้าหากปล่อยการพัฒนาการเป็นไปโดยไม่มีการแทรกแซงโดยรัฐ ชีวิตความเป็นอยู่ของผู้อยู่อาศัยในเมืองทำให้การใช้พลังงานต่อคนสูงกว่าการใช้ของคนนอกเมือง และมีการปรับเปลี่ยนความเป็นอยู่ไปสู่การพึ่งพาไฟฟ้าในกิจกรรมต่างๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้การใช้พลังงานหมุนเวียนในภาคครัวเรือน เช่น ถ่านไม้ที่ใช้ประกอบอาหารจะลดลง อาคารธุรกิจมีขนาดใหญ่และใช้พลังงานมาก ภาคธุรกิจและที่พักอาศัยนั้น ใช้ไฟฟ้าเป็นร้อยละ 54 ของที่ใช้ทั้งหมดในประเทศ และสัดส่วนนี้จะเพิ่มขึ้นตามแนวโน้มที่เกิดขึ้นในประเทศ



อื่นๆ เช่น ลิงคโพร และมาเลเซีย

ประเทศไทยเพิ่งมีประสบการณ์การใช้ระบบปรับอากาศและสร้างอาคารที่ใช้วัสดุก่อสร้างที่ผลิตขึ้นจากเทคโนโลยีเมื่อประมาณ 50 ปีที่แล้ว เทคโนโลยีการออกแบบอาคารดังกล่าวเป็นเทคโนโลยีที่ถ่ายทอดจากประเทศในแถบอากาศเย็นและต้องทำความเย็น และเป็นเทคโนโลยีที่อาจไม่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศร้อน ปัจจุบันยังมีความไม่เข้าใจสาระและวิธีการออกแบบและการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารในภูมิอากาศร้อนขึ้นเช่นประเทศไทยอยู่มาก และยังมีอุปสรรคอีกมากทั้งในแง่มุมมองของเทคโนโลยี และในแง่มุมมองของการกำหนดนโยบายและการบริหารการปฏิบัติการตามนโยบายอนุรักษ์พลังงาน การอนุรักษ์พลังงานไม่ได้เพิ่มรายได้แก่ผู้ปฏิบัติ ซึ่งแตกต่างจากการสร้างระบบพลังงานหมุนเวียนที่สามารถขายพลังงานเป็นรายได้เช่นเดียวกับธุรกิจและอุตสาหกรรมอื่นๆ ดังนั้น ทั้งผู้ใช้พลังงานและผู้กำหนดนโยบายจึงให้ความสำคัญต่อพลังงานหมุนเวียน (ที่ใช้ผลิตไฟฟ้า) ทางด้านอุปทานมากกว่าการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าทางด้านอุปสงค์

อาคารหลังหนึ่งๆ ประกอบด้วย ส่วนต่างๆ และอุปกรณ์ที่มีผลต่อการใช้พลังงานทั้งโดยตรงและโดยอ้อมเป็นจำนวนมาก ปัญหาสำคัญประการหนึ่งคือการขาดการเชื่อมโยงที่ชัดเจนระหว่างสมรรถนะพลังงานของการใช้พลังงานเพื่ออุปสงค์ (end-use) หนึ่งๆ หรือองค์ประกอบแต่ละส่วนของอาคารต่อการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร ดังนั้นการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานหรือการลงทุนเพื่อปรับปรุงอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานมักให้ความสำคัญต่ออุปกรณ์ เช่น เครื่องปรับอากาศ และหลอดไฟฟ้า แต่ไม่ได้ให้ความสำคัญต่อตัวเปลือกอาคารเองหรือวิธีการที่ช่วยลดความต้องการใช้พลังงานในอาคาร ในส่วนของระบบทำความเย็น และการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ

ผลการศึกษาของโครงการการศึกษาเพื่อจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พบว่า การปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานให้สูงขึ้น จะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2573 โดยจะต้องมีการปรับเปลี่ยนหลอดไฟให้เป็นหลอดไฟที่มีประสิทธิภาพ การรักษาระดับการใช้ไฟฟ้าหรือก๊าซหุงต้มในการประกอบอาหาร แต่มีการเปลี่ยนจากการใช้ไม้ฟืนเป็นถ่านไม้ ประสิทธิภาพ



ของเตามีค่าสูงขึ้น รวมถึงการใช้เครื่องปรับอากาศชนิดที่ผลิตน้ำร้อนอบด้วย ซึ่งจะสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 30 และจะทำให้ ต้นทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ต่ำลงไปด้วย

ปัญหาและอุปสรรคของแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก ภาคอาคารและครัวเรือน สามารถสรุปได้ดังนี้

แนวทางการลดการ ปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปัญหาและอุปสรรค	
	ด้านเทคนิค	ด้านการบริหารจัดการ
การปรับปรุงเทคโนโลยี ผนังอาคาร และรูปทรง อาคารให้มีความ เหมาะสมกับภูมิอากาศ เมืองร้อนมากกว่าที่ เป็นอยู่ในปัจจุบัน	ผนังของอาคารปัจจุบันที่มี การปรับอากาศเป็นผนัง หนักที่ไม่เหมาะกับ ภูมิอากาศร้อน และอาคาร มักไม่มีอุปกรณ์บังแดด  การพัฒนาองค์ความรู้ใน ระดับลึกเกี่ยวกับผนังอาคาร สำหรับอาคารที่ใช้งานต่างๆ ที่เหมาะสมกับสภาพของแต่ละ ภูมิภาค โดยพิจารณาร่วม กับการใช้อุปกรณ์บังแดด ชนิดต่างๆ	การอนุรักษ์พลังงาน และ การเพิ่มประสิทธิภาพใน การใช้พลังงานในอาคาร และครัวเรือนของ ประเทศไทย ยังประสบ ผลสำเร็จน้อย องค์กรที่จะ ทำให้การกำหนดนโยบาย และบริหารงานอย่างได้ผล ยังขาดแคลนและไม่ลงตัว การจัดองค์กรบริหารยังไม่ เหมาะสม ยังไม่มีแนว ทางการกำหนดนโยบาย และบริหาร งานเพิ่ม
การเพิ่มประสิทธิภาพ ของการทำความเย็นใน อาคารเพื่อความสบาย เชิงอุณหภูมิ	ปัจจุบันมีแนวโน้มว่า จะมี การใช้เครื่องและระบบปรับ อากาศเพื่อสร้างความสบาย เชิงอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในอาคารทุกประเภทใน อัตราที่สูง การใช้พลังงาน เพื่อปรับอากาศในปัจจุบัน สูงเป็นครึ่งหนึ่งหรือมากกว่า ของความต้องการใช้ พลังงานในอาคาร	ประสิทธิภาพการใช้ พลังงานที่เหมาะสม  ควรมีการวิจัยเชิงนโยบาย เพื่อเสนอการจัดระบบ องค์กร (รวมถึงการจัดตั้ง องค์กรใหม่) การกำหนด หน้าที่องค์กร และการ กำหนดนโยบายและ

แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปัญหาและอุปสรรค	
	ด้านเทคนิค	ด้านการบริหารจัดการ
	<p>การพัฒนาองค์ความรู้ในระดับลึก เพื่อพัฒนาระบบทำความเย็นเพื่อสร้างความสบายที่สอดคล้องกับสภาพความเป็นอยู่ของคนไทย ภายใต้ภูมิอากาศของแต่ละภูมิภาคอย่างมีประสิทธิภาพ โดยควรพิจารณาระบบที่ใช้พลังงานหมุนเวียนเช่น พลังงานรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานร่วม</p>	<p>เป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานที่ชัดเจน และการบริหารงานอนุรักษ์พลังงานอย่างจริงจังและต่อเนื่อง</p>
<p>การเพิ่มประสิทธิภาพของการส่องสว่างในอาคาร</p>	<p>ปัจจุบัน อาคารที่ปรับอากาศมักใช้ไฟฟ้าให้แสงสว่าง ภาระไฟฟ้าที่ใช้เพื่อให้แสงสว่างคิดเป็นร้อยละ 20 ของไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในอาคาร</p> <p>การพัฒนาองค์ความรู้ในระดับลึกเกี่ยวกับการส่องสว่างในตัวอาคารที่มีประสิทธิภาพสูงร่วมกับการใช้แสงธรรมชาติส่องสว่าง</p>	
<p>การเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานในการประกอบอาหาร จากแหล่งพลังงานหมุนเวียนให้สูงขึ้น</p>	<p>ปัจจุบัน สังคมไทยกำลังปรับเปลี่ยนไปใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเฉพาะไฟฟ้าเพื่อใช้ประกอบอาหาร แทนพลังงานหมุนเวียน</p> <p>การพัฒนาองค์ความรู้</p>	

แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ปัญหาและอุปสรรค	
	ด้านเทคนิค	ด้านการบริหารจัดการ
	ของวิธีประกอบอาหารและอุปกรณ์ (เตา กระทะ และหม้อ) ที่ใช้เชื้อเพลิงที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน	
การส่งเสริมการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำความสะอาดร่างกาย (อาบ)	มีแนวโน้มว่าผู้ใช้เครื่องปรับอากาศ และผู้สูงอายุใช้เครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้าเพื่อใช้อาบเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ  การพัฒนาองค์ความรู้การใช้พลังงานจากรังสีอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อนร่วมกับการทำความเย็น	

## 5. เทคโนโลยีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม

เทคโนโลยีหรือแนวทางการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมมีหลายประเภท เช่น ระบบพลังงานความร้อนร่วม ระบบบำบัดน้ำเสียประเภทไร้อากาศ (anaerobic treatment processes) อุปกรณ์ประหยัดพลังงานชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถหาได้ง่ายในประเทศ มีอุตสาหกรรมหลากหลายประเภทที่มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยประเภทอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือความร้อน ได้แก่ ประเภทอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีความสกปรกในรูปสารอินทรีย์สูง เช่น อุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง อุตสาหกรรมผลิตเอทานอล หรืออุตสาหกรรมผลิตสุรา/เบียร์ เป็นต้น ประเภทอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในการนำ

เชื้อเพลิงชีวมวลไปใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือความร้อน ได้แก่ ประเภทอุตสาหกรรมที่มีการใช้ไอน้ำ เพื่อผลิตความร้อนใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงาน เช่น อุตสาหกรรมฟอกย้อม อุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์ม อุตสาหกรรมน้ำตาล หรืออุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์ เป็นต้น และมีความหลากหลายประเภทอุตสาหกรรม ที่มีศักยภาพการดำเนินการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (energy efficiency) โดยโรงงานอุตสาหกรรมจะเลือกวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานวิธีการใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดหรือประเภทของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ภายในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น

ปัจจุบัน ภาคอุตสาหกรรมไทยได้ให้ความสนใจในการดำเนินงานโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (หรือโครงการ Clean Development Mechanism, CDM) เป็นจำนวนมาก เนื่องจากสามารถเพิ่มผลตอบแทนให้กับตนเองเสริมไปกับกิจกรรมหลักได้ โดยจะเห็นได้จากจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ยื่นหนังสือแสดงเจตจำนงในการพัฒนาโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดกับองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ที่เพิ่มขึ้นทุกปี โดยโครงการในลักษณะที่นำก๊าซชีวภาพหรือเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าหรือผลิตความร้อนเป็นโครงการที่ภาคอุตสาหกรรมให้ความสนใจดำเนินการมากที่สุด เนื่องจากเป็นโครงการที่สามารถชดเชยการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้เป็นจำนวนมากและมีความคุ้มค่าในการลงทุนสูงในทางตรงกันข้าม โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดที่เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานเป็นโครงการที่ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้น้อยและไม่มี ความคุ้มค่าในการลงทุน

ปัญหาและอุปสรรคของแนวทางในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคอุตสาหกรรม สามารถสรุปได้ดังนี้



แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการผลิต	ปัญหาและอุปสรรค	
	ด้านเทคนิค	ด้านการบริหารจัดการ
แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการผลิต	เทคโนโลยีส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ประเทศไทยไม่มีเทคโนโลยีเป็นของตนเอง	ต้องใช้ระยะเวลาดำเนินทุนนาน ค่าตอบแทนทางเศรษฐกิจต่ำกว่าการลดก๊าซเรือนกระจกจากของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารและการเกษตร ทำให้การลงทุนเพื่อประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับการลดก๊าซเรือนกระจกโดยการแปรรูปพลังงานจากก๊าซชีวมวลหรือเชื้อเพลิงชีวมวล
แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคการจัดการของเสีย	<ul style="list-style-type: none"> <li>แม้ว่าการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลหรือก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตเป็นไอน้ำ จะมีการมีใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่เทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลหรือก๊าซชีวมวล ประเทศไทยยังต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากยังไม่มีเทคโนโลยีของตนเอง</li> <li>การลงทุนโครงการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงาน ยังมีน้อย</li> <li>เทคโนโลยีส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ</li> </ul>	<p>ไม่มีข้อมูล</p> <p>ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจยังไม่สูงมากพอเพราะราคาค่าไฟฟ้าของไทย ยังค่อนข้างต่ำ</p>

## 6. บทบาทของภาคป่าไม้ในการลดก๊าซเรือนกระจก

ภาคป่าไม้และการเปลี่ยนแปลงที่ดินก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 99.58 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ในปี พ.ศ. 2537 แต่มีการกักเก็บมากกว่า การปลดปล่อย 7.90 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ในปี พ.ศ. 2543 ภาคป่าไม้และการใช้ที่ดินจึงเป็นภาคที่มีศักยภาพในการช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย แนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้ที่สำคัญได้แก่ การลดการทำลายป่า ซึ่งมีกลไกในระดับสากลที่เกี่ยวข้องคือ REDD+ และการปลูกป่าเพื่อเพิ่มการกักเก็บคาร์บอน ซึ่งมีกลไกในระดับสากลที่เกี่ยวข้องคือ Clean Development Mechanism (CDM)

อย่างไรก็ตาม การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำลายป่า และการกักเก็บคาร์บอนจากการปลูกป่ามีข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่สำคัญได้แก่ พื้นที่ป่า/สวนป่า และปริมาณมวลชีวภาพในป่า ซึ่งความไม่แน่นอนในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้เกิดจากความไม่แน่นอนของข้อมูลทั้งสองนี้ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 14.78 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ในปี พ.ศ. 2551 เป็น 22.48 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ ในปี พ.ศ. 2593 ศักยภาพในการเพิ่มพูนการกักเก็บคาร์บอนจากการปลูกป่าในอนาคตไม่สามารถคาดการณ์ได้ เนื่องจากการปลูกป่าผันแปรขึ้นอยู่กับนโยบายของรัฐในการส่งเสริมการปลูกป่า และมาตรการในการสร้างแรงจูงใจในการปลูกป่า การใช้ที่ดินในรูปแบบอื่นๆ นอกเหนือจากป่าไม้ สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการปรับปรุงการจัดการที่ดิน เช่น เพิ่มการสะสมคาร์บอนในดิน ลดความถี่ของการเกิดไฟ ลดการให้ปุ๋ยไนโตรเจน และการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง เป็นต้น

ปัญหาและอุปสรรคในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้และการใช้ที่ดินที่สำคัญ ได้แก่ ปัญหาด้านเทคนิคในการตรวจวัดคาร์บอนที่มีความแม่นยำ ปัญหาด้านนโยบายของรัฐบาลที่ไม่มีความแน่นอน และปัญหาเรื่องงบประมาณในการดูแลรักษาป่า และการเพิ่มพื้นที่ป่า

เทคโนโลยีที่ต้องการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้และการใช้ที่ดิน ได้แก่ เทคโนโลยีในการดูแลรักษาป่า เทคโนโลยีในการเพิ่มศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของป่าปลูก เทคโนโลยีในการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในดิน และเทคโนโลยีในการประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่มีความแม่นยำ

ภาคป่าไม้และการใช้ที่ดินมีศักยภาพในการช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้มากแค่ไหน ต้องแก้ไขปัญหและอุปสรรคที่กล่าวมาข้างต้น รวมทั้งนโยบายที่ชัดเจนของรัฐด้วย

## 7. มาตรการเพื่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคเกษตร

ภาคการเกษตร ปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณหนึ่งในสี่ของก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด แต่สัดส่วนของการปล่อยจากภาคการเกษตรของประเทศ (ร้อยละ 22.6) มีมากกว่าสัดส่วนการปล่อยจากภาคการเกษตรของโลก (ร้อยละ 13.8) ก๊าซเรือนกระจกตัวหลักที่ปล่อยจากภาคการเกษตรคือ ก๊าซมีเทนและไนตรัสออกไซด์ ซึ่งแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตรนั้นมาจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ การเกิดก๊าซมีเทนในนาข้าว การปล่อยมีเทนจากการหมักในกระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้อง การปล่อยก๊าซมีเทนจากมูลสัตว์ที่ไม่ได้รับการจัดการ รวมทั้งการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากดินอันเนื่องมาจากการเติมปุ๋ยไนโตรเจนลงในดินเกษตร

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตรไม่ได้ขึ้นกับผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ ในอดีตที่ผ่านมาของภาคการเกษตรไม่ได้เพิ่มขึ้นมากนัก และในอนาคตคาดว่าจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 1 ต่อปี เนื่องมาจากในกลุ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคปศุสัตว์ (enteric fermentation และ manure management) และในกลุ่มการปล่อย  $N_2O$  จากดินเกษตร และการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม

ตามแหล่งปล่อยหลักในภาคการเกษตรมาจากการเกิดก๊าซมีเทนจากนาข้าว ซึ่งพื้นที่ทำการปลูกข้าวมีค่าค่อนข้างคงที่ จึงทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการเกษตรมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

ปัจจุบันการศึกษามาตรการและเทคโนโลยีในการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตรมีไม่กว้างขวางมากนัก มาตรการที่มีความสำคัญในปัจจุบันนั้น ได้แก่ การสนับสนุนการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ การจัดการน้ำในนาข้าว การปรับการใช้ปุ๋ยเคมีเท่านั้น ทั้งนี้หากมีการเพิ่มเทคนิคของมาตรการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตรเข้าไปเสริม จะทำให้ประเทศไทยมีศักยภาพทางเทคนิคในการลดก๊าซเรือนกระจกทางการเกษตรมีประมาณร้อยละ 12 ของกรณีปกติ ในปี พ.ศ. 2563 (8.57 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) โดยมีปริมาณการลดก๊าซมีเทนจากนาข้าวร้อยละ 50.8 จากการจัดการปศุสัตว์ร้อยละ 35.0 และจากการควบคุมปุ๋ยเคมีร้อยละ 11.2 มาตรการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตรที่ใช้ ได้แก่

(1) กลุ่มปศุสัตว์: มาตรการส่งเสริมให้มีการจัดการของเสียให้เป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร โคเนื้อ และโคนม; มาตรการเพิ่มประสิทธิภาพของ feed conversion โดยการปรับปรุงสูตรอาหารของโคเนื้อ และโคนม

(2) กลุ่มนาข้าว: การจัดการน้ำด้วยการปล่อยน้ำกลางฤดูการเพาะปลูกสามารถลดการปล่อยมีเทนจากนาข้าวได้ถึงร้อยละ 30-40; การใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต สามารถลดการปล่อยมีเทนลงได้ประมาณร้อยละ 9-15; การใช้มาตรการร่วมกันระหว่างการจัดการน้ำและการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต การเริ่มใช้มาตรการเป็นไปตามการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชลประทาน

(3) กลุ่มลด  $N_2O$  และเผาในที่โล่ง: มาตรการลดการใช้ปุ๋ยโดยใส่ปุ๋ยตามค่าการวิเคราะห์ดิน หรือเทคโนโลยีการจัดการธาตุอาหารเฉพาะที่; มาตรการใช้ปุ๋ยละลายช้า; มาตรการในการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคการเผาเศษวัสดุการเกษตร

ต้นทุนในการลดก๊าซเรือนกระจก มีการศึกษาน้อยมาก มีเพียงรายงานจากบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่การศึกษาโดยเฉพาะ

มีเทนจากนาข้าว อยู่ที่ประมาณ 10-60 ดอลลาร์สหรัฐต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้

## 8. การจัดการของเสียที่ได้ผลตอบแทนคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ และการลดก๊าซเรือนกระจก

ปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 1.2 ต่อปี โดยมีความสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศต่อประชากร โดยเฉลี่ยอัตราการผลิตขยะมูลฝอยในภาพรวมของประเทศเท่ากับ 0.64 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ส่งผลให้มีปริมาณขยะมูลฝอยรวมทั้งสิ้น 38,563 ตันต่อวัน ในปี พ.ศ. 2548 สัดส่วนของปริมาณขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการนั้น คิดเป็นร้อยละ 35 ของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมดทั่วประเทศในพื้นที่กำจัดขยะมูลฝอยรวม 927 แห่ง

ในส่วนของน้ำเสีย แหล่งกำเนิดที่สำคัญได้แก่ ชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำเสียจากชุมชนส่วนใหญ่ได้รับการบำบัดเฉพาะเบื้องต้น เช่น ส้วมซึม ร้อยละ 70 และบ่อเกรอะ ร้อยละ 25-27 ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมมีรองรับเฉพาะในชุมชนใหญ่บางแห่งเท่านั้น ส่วนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีการใช้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่หลากหลายระบบบ่อและระบบบำบัดที่อาศัยเครื่องจักรกลทั้งแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

มาตรการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคของเสียนั้น ประกอบด้วย มาตรการเชิงนโยบายได้แก่ การควบคุมอัตราการผลิตของเสีย การเพิ่มการรีไซเคิล และมาตรการใช้เทคโนโลยีในการบำบัดของเสีย โดยควรมุ่งเน้นการจัดการของเสียแบบผสมผสาน ด้วยการส่งเสริมมาตรการเชิงนโยบายที่ไม่มีค่าลงทุน และมาตรการเชิงเทคโนโลยีที่ได้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือมีค่าลงทุนต่ำ เช่น การนำกลับก๊าซฟุ้งกลบและก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะได้รับส่วนเพิ่มราคาไฟฟ้า (adder) จากการไฟฟ้าส่วนหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นเวลา 7 ปี นอกจากนี้

ยังสามารถดำเนินงานเป็นโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดเพื่อสร้างรายได้เพิ่มอีกทางหนึ่งอีกด้วย

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคของเสียในประเทศไทยอาศัยวิธีการประเมินแบบ Tier 2 เป็นหลักโดยใช้ค่าการปล่อย (Emission factor) ทั้งที่เป็นค่ากลางของ IPCC และค่าเฉพาะที่ได้จากการตรวจวัดจากงานวิจัยในประเทศ อย่างไรก็ตาม ค่าการปล่อยหลายดัชนียังการใช้ที่แตกต่างกันส่งผลให้มีความไม่แน่นอนสูง จึงควรมีการวิจัยเพื่อหาค่าการปล่อยที่เป็นค่าเฉพาะของประเทศซึ่งเป็นที่ยอมรับเพิ่มเติม

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคของเสียทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 9.32 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในปี พ.ศ.2543 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 3.9 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 80 เป็นก๊าซมีเทนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนจากพื้นที่ฝังกลบและระบบบำบัดน้ำ

## 9. บทบาทของเศรษฐศาสตร์ต่อการประเมินและการวางนโยบายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การพิจารณาเลือกมาตรการหรือเทคโนโลยีในการลดก๊าซเรือนกระจกนอกเหนือจาก ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้แล้ว ต้องมีการพิจารณาถึง การลงทุนและผลประโยชน์ที่จะได้รับด้วย ดังนั้นเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่สามารถให้คำตอบเหล่านี้ได้จึงถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้ข้อมูลประกอบการพิจารณา

การประเมินต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ การเปรียบเทียบกันทั้งหมดระหว่างทรัพยากรด้านอุปสงค์และอุปทานในกรณีใช้มาตรการหรือยุทธศาสตร์ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับกรณีปกติ (non-policy case) การประเมินต้นทุนทางเทคนิค ประกอบด้วย 3 วิธี คือ (1) Cost-benefit analysis (2) Cost effectiveness analysis และ (3) Multi-attribute analysis



ประเภทของต้นทุนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ประกอบด้วย 4 ประเภท คือ (1) ต้นทุนโดยตรงด้านวิศวกรรมและการเงินจากมาตรฐานเทคนิคเฉพาะ (technology) (2) ต้นทุนแยกในแต่ละสาขา (economic costs for a given sector) ที่เกิดจากมาตรการต่างๆ และภายใต้สถานการณ์ต่างๆ (scenario) (3) ต้นทุนด้านเศรษฐกิจมหภาค (macroeconomic costs) การประเมินผลกระทบของมาตรการในภาพรวมทั้งหมด และ (4) ต้นทุนด้านสวัสดิการ (welfare costs) ต้นทุนด้านสุขภาพ สังคม และความเป็นอยู่ของประชาชน

ปัจจัยที่มีผลต่อการประมาณต้นทุน (key assumption of Importance to costing estimates) ประกอบด้วย (1) ภาษีหมุนเวียน (tax recycling) โครงสร้างของระบบภาษีในกรณีสภาวะปกติ (baseline) และกรณีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (mitigation) (2) กำหนดเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก : ปริมาณและช่วงเวลา (target setting for GHG emission reduction: level and timing) (3) กลไกความร่วมมือระดับนานาชาติ (international Co-operative Mechanisms) เช่น การซื้อขายก๊าซเรือนกระจกระหว่างประเทศ (ET), การดำเนินโครงการลดก๊าซเรือนกระจกร่วมกัน (JI) และกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM) และ (4) การกำหนดค่าสมมูลฐาน เช่น จำนวนประชากร GDP

บทบาทของการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์เพื่อให้ได้ข้อมูลในการวางนโยบายในการลดก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญได้แก่ ข้อมูลจาก UNEP ในปี พ.ศ. 2541 การลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทยลงมากกว่าร้อยละ 10-30 ต้องมีการลงทุนต่ำกว่า 50 ดอลลาร์สหรัฐ แต่หากต้องการลดมากกว่าร้อยละ 30 ต้องลงทุนถึง ประมาณ 150-200 ดอลลาร์สหรัฐ

ข้อมูลจาก ADB รายงานว่าประเทศไทยมีศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2563 ถึง 180 ล้านตัน และในจำนวนนี้ 100 ล้านตันมาจากค่าการลงทุนที่ติดลบ โดยเป็นการลงทุนในการลดก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด 1.49 พันล้านดอลลาร์สหรัฐคิดเป็นร้อยละ 0.5 ของGDB ในปี พ.ศ.256



นอกจากนี้เครื่องมือที่สำคัญที่นิยมใช้ในการนำมาใช้วางแผนนโยบายการลดก๊าซเรือนกระจก หรือพิจารณา scenario ในการการลดก๊าซเรือนกระจกในอนาคต คือ Marginal Abatement Cost Curve (MAC) ซึ่งแสดงต้นทุนในการลดก๊าซเรือนกระจกต่อตัน เปรียบเทียบเป็นรายเทคโนโลยีและรายการมาตรการที่ใช้

การศึกษาต้นทุนการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยโดยใช้ Marginal Abatement Cost Curve พบว่า เทคโนโลยีที่ให้ค่าการลงทุนต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์เป็นค่าลบ (หมายถึงได้ประโยชน์จากการลงทุน) ส่วนใหญ่เป็นเทคโนโลยีและมาตรการในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ทั้งในระดับอุตสาหกรรม ระดับพาณิชย์และระดับครัวเรือน โดยมีค่าการลงทุนอยู่ที่ -0.625 ถึง -189 ดอลลาร์สหรัฐต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ เทคโนโลยีทางด้านขนส่งมีต้นทุนในการลดก๊าซเรือนกระจกแตกต่างกันไปขึ้นกับเทคโนโลยี โดยอาจแตกต่างกันตั้งแต่สำหรับ eco-car และสำหรับ hybrid car สำหรับต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า หากใช้เชื้อเพลิงชีวมวลหรือก๊าซชีวภาพต้นทุนมีค่าติดลบประมาณ - 1.3 ถึง 2.6 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ เทคโนโลยีพลังงานทดแทนอื่นๆ มีค่าต้นทุนในการลดก๊าซเรือนกระจกประมาณ 64.1 (สำหรับนิวเคลียร์) ถึง 796.8 (สำหรับ PV) ดอลลาร์สหรัฐ ต่อตันคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งนี้ปริมาณในการลดก๊าซเรือนกระจกจากแต่ละเทคโนโลยีและมาตรการแตกต่างกันไปด้วย

ทั้งนี้ยังไม่มี การนำเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ไปใช้ในการวางแผนและนโยบายในการลดก๊าซเรือนกระจกอย่างจริงจัง



## 10. ทิศทางของข้อตกลงพหุภาคีด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และนัยยะสำคัญกับประเทศไทย

การดำเนินการเจรจาภายใต้กรอบอนุสัญญา UNFCCC เพื่อหาข้อตกลงเกี่ยวกับเป้าหมายและรูปแบบการจัดการกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในช่วงหลังจากปี พ.ศ.2555 ยังคงไม่มีความคืบหน้าเท่าที่ควร เนื่องจากความขัดแย้งทางผลประโยชน์อย่างสูงระหว่างกลุ่มประเทศต่างๆ และรวมทั้งความไม่ไว้วางใจระหว่างกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาและกลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว

ในปัจจุบัน ได้มีการริเริ่มนำมาตรการติดตาม carbon footprint ภาคสมัครใจมาบังคับใช้ในหลายๆ ประเทศ โดยส่วนใหญ่จะเป็นผลจากการผลักดันของห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามงานศึกษาที่ผ่านมาชี้ว่า ผู้ประกอบการไทยน่าจะมิข้อได้เปรียบในการประเมิน carbon footprint เมื่อเทียบกับประเทศคู่แข่ง เนื่องจากมีต้นทุนระยะเวลาในการประเมิน และต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขออนุญาตใช้ฉลากที่ต่ำกว่า

ความพยายามในการผลักดันมาตรการฝ่ายเดียวที่เกี่ยวข้องกับประเด็นการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นในกลุ่มประเทศพัฒนาแล้วในปัจจุบัน น่าจะเป็นผลมาจากความกังวลในเรื่องของต้นทุนการผลิตที่จะเพิ่มสูงขึ้น และการสูญเสียความสามารถในการแข่งขันทางการค้า เมื่อเทียบกับประเทศกำลังพัฒนาที่ยังคงไม่ต้องมีภาระพันธกรณีการใช้วิธีการประเมินความรับผิดชอบร่วมในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามการฐานบริโศค น่าจะเป็นวิธีที่สามารถสะท้อนขนาดของความรับผิดชอบในการก่อให้เกิดปัญหาของแต่ละประเทศได้ถูกต้องกว่าการใช้วิธีการประเมินความรับผิดชอบตามการปลดปล่อยที่จุดผลิต ซึ่งเป็นแนวทางที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แต่จะมีปัญหาภาระวนการคำนวณที่ยุงยากมากกว่า และมีปัญหาความไม่แน่นอนสูงกว่า

## คณะผู้จัดทำ

ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลง  
สภาพภูมิอากาศ



บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140  
โทร 02-470-8309-10 ต่อ 4144/4119  
โทรสาร 02-872-9805  
<http://climatechange.jgsee.org>

ฝ่ายสวัสดิภาพสาธารณะ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)



เลขที่ 979/17-21 ชั้น 14 อาคารเอส เอ็ม ทาวเวอร์  
ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400  
โทร 02-278-8230-31  
โทรสาร 02-278-8225  
<http://www.trf.or.th>





