วารสารเกษตรนเรศวร
ISSN : 0859-3027
ISSN (Online) : 2730-356X

บทความปริทัศน์

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและภาคส่วนป่าไม้โลก

อิสรภาพ คงมีทรัพย์[1*]

[1]สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จังหวัดพิจิตร 66000
*Corresponding author: aris-mun@hotmail.com
(Received November 11, 2020; Revised November 23; Accepted December 4, 2020)

บทคัดย่อ

ป่าไม้มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ พบว่าป่าไม้ช่วยกักเก็บคาร์บอนได้ประมาณหนึ่งในหกส่วนของปริมาณที่ถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศทั้งหมด ยังพบว่าป่าไม้มีศักยภาพในการช่วยดูดซับและกักเก็บคาร์บอนถึงประมาณ 30% ของปริมาณทั้งหมดที่ถูกปลดปล่อยจากภาคส่วนการใช้พลังงานฟอสซิลและภาคส่วนอุตสาหกรรม โดยเก็บกักอย่างยั่งยืนเป็นเวลาหลายทศวรรษหรืออาจกักเก็บได้ถึงหลายศตวรรษในรูปของมวลชีวภาพ ดิน และรูปแบบต่าง ๆในระบบป่าไม้ ประมาณว่าส่วนชีวภาคของโลก ซึ่งเป็นแหล่งเก็บคาร์บอนในอัตราประมาณ 2.3 พันล้านตันต่อปีนั้น คิดเป็นปริมาณคาร์บอนที่ถูกเก็บสะสมในพื้นที่ป่าไม้ของโลกประมาณ 1,100 พันล้านตันคาร์บอน ในขณะเดียวกันศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของป่าธรรมชาติมีความผันแปรขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ในแต่ละชีวนิเวศ นอกจากนั้น ป่าไม้สามารถช่วยลดระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ถึงประมาณหนึ่งในสามของระดับที่ต้องการควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิน 2 ℃ ภายในปี พ.ศ.2573 (ภายใต้ความตกลงปารีส) ดังนั้นป่าไม้จึงเป็นภาคส่วนที่ช่วยชะลอปัญหาสภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกได้อย่างดี อย่างไรก็ตาม ปัญหาการทำลายพื้นที่ป่าไม้กลับทำให้พื้นที่ป่าไม้กลายเป็นแหล่งปล่อยระดับก๊าซเรือนกระจกถึงระดับ 12% และปลดปล่อยคาร์บอนออกสู่บรรยากาศในอัตรา 0.92 พันล้านตันคาร์บอนต่อปี ดังนั้นการรบกวนหรือทำลายพื้นที่ป่าไม้ส่งผลอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ในทางกลับกันการคาดการณ์ว่าการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่จะยังคงเกิดขึ้นต่อเนื่องไปถึงศตวรรษหน้าจะส่งผลย้อนกลับต่อระบบนิเวศป่าไม้อย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งกว่านั้นความหลากหลายของระบบนิเวศภายโลกจะถูกเปลี่ยนแปลงภายในศตวรรษนี้เช่นกันภายใต้สถานการณ์ดังกล่าว ดังนั้น จึงมีความจำเป็นเร่งด่วนที่ต้องดำเนินการในการรองรับปัญหานี้ โดยการกำหนดยุทธศาสตร์ชาติ และ นโยบายระดับชาติ รวมทั้งการสร้างแรงจูงใจในเชิงบวกเพื่อดำเนินกิจกรรมการจัดการลดการปล่อยคาร์บอนจากปัญหาการทำลายป่าไม้และป่าเสื่อมโทรม กิจกรรมเหล่านี้จะส่งผลต่อการเพิ่มแหล่งเก็บคาร์บอนในธรรมชาติที่ยั่งยืน สุดท้ายโดยการฟื้นคืนสภาพป่าเพื่อสร้างศักยภาพให้กลับมายืดหยุ่นต่อสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและการให้บริการเชิงนิเวศจะเป็นการช่วยบรรเทาปัญหาและปรับตัวต่อสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในระยะยาว

คำสำคัญ: ป่าไม้, การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ, การกักเก็บคาร์บอน, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

NARESUAN AGRICULTURE JOURNAL
ISSN : 0859-3027
ISSN (Online) : 2730-356X

Review Article

Interactions between Climate Change and the World's Forest Sector

Issarapap Kongmeesup[1*]

[1]Provincial Office for Natural Resources and Environment Phichit, Phichit, Thailand 66000
*Corresponding author: Aris-mun@hotmail.com
(Received November 11, 2020; Revised November 23; Accepted December 4, 2020)

Abstract

Forests have major roles in climate change situation, they currently contribute about one-sixth of global carbon emissions. They have the potential to absorb and store about 30 % of current levels of carbon emissions from fossil fuels and industry sectors into their biomass, soils and products and store them in perpetuity for decades or even centuries. The earth's biosphere constitutes a carbon sink that absorbs approximately 2.3 GtC yr^{-1}. Estimated global carbon stock in the world's forests are 1,100 GtC, highly varying among different forest ecosystems. Estimated that forests and other ecosystems could provide more than one-third of the total CO_2 reductions required to keep global warming below 2 °C through to 2030 (under Paris Agreement). Hence, forests are supposed to slow global warming and global climate change. At present, about 12 per cent of global greenhouse gas emissions are estimated to derive from deforestation. Emissions annual carbon fluxes from deforestation reported by 0.92 GtC yr^{-1}. Hence, forest disturbances are highly sensitive to climate change situation. Conversely, climate change over the next century is expected to have significant reverse impacts on forest ecosystems. Moreover, world's diverse ecosystems will be also changed by the next century under this situation. Therefore, urgent action is needed for implementations of national strategy, national policies including positive incentives for activities relating to reducing emissions from deforestation and forest degradation. These activities will contribute to enhance sustainable natural carbon sinks. Finally, recovery of degraded forests to redevelop their resilience and their ecosystem services will provide part of a long-term approach to mitigating and adapting to climate change.

Keywords: Forest, Climate Change, Carbon Stock, CO_2

สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศไม่ใช่เรื่องใหม่ แต่เป็นปัญหาระดับโลกและมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์จำนวนมากบ่งชี้อย่างชัดเจนว่าการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเกิดขึ้นจริงเนื่องจากสาเหตุที่มนุษย์ดำเนินกิจกรรมที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยกลุ่มก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญเช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) หรือไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีศักยภาพต่อการสร้างระดับความร้อนให้แก่พื้นที่ผิวโลกในระดับสูง (IPCC, 2013) กลุ่มก๊าซเหล่านี้สะสมในชั้นบรรยากาศระดับโทรโพสเฟียร์ ในปริมาณมากมายมหาศาลจนเกินศักยภาพในการรองรับของชั้นบรรยากาศหลายทศวรรษ กลุ่มก๊าซเรือนกระจกมีศักยภาพในการดูดซับและปล่อยรังสีช่วงคลื่นอินฟราเรดซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาวกลับสู่พื้นผิวโลก และเนื่องด้วยช่วงคลื่นอินฟราเรดสามารถแผ่รังสีความร้อน (thermal radiation) ได้ดีเมื่อมีการหักเหช่วงคลื่นยาวดังกล่าวกลับสู่ชั้นบรรยากาศและสะท้อนกลับสู่พื้นโลกอีกครั้ง จึงทำให้ความร้อนสุทธิของพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงทางสถิติพบว่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโลกสูงขึ้นทุกปีอย่างต่อเนื่องหลายทศวรรษพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโลก เพิ่มขึ้นประมาณ 0.075± 0.013°C ในปี ค.ศ.2012 (พ.ศ. 2555) โดยมี ค.ศ. 1901 เป็นปีฐาน (พ.ศ. 2444) (กณิตา ธนเจริญชณภาส, 2558) และยังคงมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นต่อไป หากมนุษย์ยังไม่สามารถควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้พิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ

มนุษย์ปล่อยก๊าซเรือนกระจกชนิด CO_2 CH_4 และ N_2O เพิ่มขึ้นในชั้นบรรยากาศ ถึงประมาณ 40 % 150 % และ 20 % ตามลำดับ เมื่อเทียบกับช่วงยุคก่อนพัฒนาอุตสาหกรรม และมีอัตราเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 ppm ต่อปี จากแหล่งปลดปล่อยสำคัญ คือการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินรวมทั้งการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญของโลก เพื่อเป็นพื้นที่เกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ส่งผลทำให้ระดับการปลดปล่อยและสะสมก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยของโลกในปี ค.ศ. 2017 (พ.ศ. 2560) สูงถึงระดับ 53.5 $GtCO_2e$ (หน่วยคือระดับจิกะตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยที่ 1 จิกะตัน [Gt] = 1, 000, 000, 000 ตัน) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับปี ค.ศ.2016 พบว่าเพิ่มขึ้นประมาณ 0.7 $GtCO_2e$ ในระยะเวลาเพียง 1 ปี (UNEP, 2018) ยิ่งกว่านั้นข้อมูลจากรายงาน IPCC ฉบับที่ 5 (AR5) ได้ประเมินสถานการณ์ภายใต้ภาพฉายอนาคตตามเส้นทางการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก RCP (Representative Concentration Pathways) และคาดการณ์ว่าระดับอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโลกจะเพิ่มขึ้นเกินระดับ 2°C ร่วมกับการเพิ่มระดับ CO_2 ที่สูงกว่า 1,000 ppm ภายใต้ภายฉายอนาคต RCP8.5 ซึ่งเป็นระดับที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มระดับอุณหภูมิจนทำให้แรงแผ่รังสีเพิ่มขึ้นที่ระดับ 8.5 W.m-2 โดยคาดการณ์เมื่อสิ้นสุดปี ค.ศ.2100 เทียบกับช่วงก่อนยุคอุตสาหกรรม (เปรียบเทียบในช่วงปี ค.ศ. 2081–2100 กับ ช่วงปี ค.ศ.1850–1900) (กณิตา ธนเจริญชณภาส และคณะ, 2563)

การเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลกในขณะนี้อยู่ในสภาวะที่ควบคุมได้ยาก ระบบภูมิอากาศได้เปลี่ยนแปลงจนไม่สามารถย้อนกลับมาเหมือนเดิมได้อีกต่อไป สาเหตุสำคัญคือการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างต่อเนื่องและยังไม่มีแนวโน้มว่าจะถึงจุดสูงสุดที่ระดับความเข้มข้นเท่าไหร่ หรือจะควบคุมการปล่อยได้เมื่อใด จนทำให้โลกเราอยู่ในสภาวะที่ไม่สามารถยืดหยุ่นกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อีก สถานการณ์ดังกล่าวเร่งทำให้องค์กรสากลมีความกังวลและก่อให้เกิดการดำเนินการสร้างภาคีระดับโลกและระดับประเทศเพื่อดำเนินงานร่วมกันในการรับมือ ปรับตัว หรือ บรรเทาปัญหามาอย่างต่อเนื่อง (IPCC, 2013; Hare et al., 2016) ในขณะที่การดำเนินงานระดับนานาชาติภายใต้ความตกลงปารีส (Paris Agreement) (ดูกล่องข้อความ) ซึ่งให้แต่ละภาคีมีส่วนร่วมในการกำหนดกรอบระดับการดำเนินงานร่วมกัน (Nationally

determined contributions: NDCs) โดยได้กำหนดนโยบายมุ่งเป้าที่การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อให้ระดับคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า(CO_2e) ลดลงมากที่สุด (decarbonization) ในการกำหนดเป้าหมายร่วมกันของภาคีสมาชิกได้กำหนดระดับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไว้ที่ร้อยละ 25 ถึงร้อยละ 55 ภายในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ. 2573) โดยใช้ระดับก๊าซเรือนกระจกที่ระดับ 53–56 $GtCO_2e$ ณ ปีค.ศ. 2017 (พ.ศ. 2560) เป็นระดับฐานและปีฐานในการเปรียบเทียบ และได้ตั้งกรอบไว้ว่าหากต้องการควบคุมระดับอุณหภูมิเฉลี่ยระดับพื้นผิวโลกไม่ให้เกิน 2°C ต้องควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้เหลือเพียง 40 $GtCO_2e$ อย่างไรก็ตามหากจะควบคุมระดับอุณหภูมิไม่ให้เกิน 1.5°C ระดับต้องควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไว้ที่ระดับ 24 $GtCO_2e\ yr^{-1}$ (หรือลดลงให้ได้ประมาณ 25-55% เปรียบเทียบกับปีฐาน ค.ศ. 2017) (UNFCCC, 2015; Hare et al., 2016; UNEP, 2018)

> ความตกลงปารีส (Paris Agreement) เป็นความตกลงที่เป็นส่วนขยายและเพิ่มเติม (supplementary agreement) ของอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ เกิดขึ้นจากที่ประชุมรัฐภาคีแห่งอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Conference of Parties: COP.) ครั้งที่ 21 หรือที่เรียกกันว่า “COP.21” เป็นการประชุมร่วมกันภายหลังพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ที่หมดอายุในปี ค.ศ. 2012 (พ.ศ. 2555) ความตกลงปารีสเน้นการร่วมหามาตรการและข้อตกลง ในระดับนานาชาติเพื่อที่จะรับมือกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ที่กำลังจะสิ้นสุดลงในปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2563) ทั้งนี้ กลไกสำคัญของความตกลงปารีสประกอบไปด้วยเรื่องสำคัญๆ ได้แก่ การลดก๊าซเรือนกระจก (Mitigation) การปรับตัว (Adaptation) โครงสร้างทางการเงิน (Climate Finance)กลไกการสร้างความโปร่งใส (Transparency) และการทบทวนการดำเนินงานระดับโลก (Global Stock take)
>
> (United Nations, 2015)

ดังนั้น หนึ่งในเป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืนของโลกในลำดับที่ 13 (Sustainable Development Goals: SDGs) (Brack, 2019) กำหนดไว้ว่าจะต้องเร่งดำเนินการรับมือและปรับตัวกับสภาวะโลกร้อนโดยการปรับตัวด้วยการบูรณาการการมาตรการรับมือทุกรูปแบบที่เหมาะสมนำไปสู่การสร้างนโยบายยุทธศาสตร์และแผนงานระดับชาติในแต่ละประเทศ เพื่อรองรับกับปัญหาดังกล่าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งการรับมือและปรับตัวในทุกภาคส่วนซึ่งรวมทั้งภาคส่วนการจัดการป่าไม้ โดยองค์การสหประชาชาติวางเป้าหมายไว้ว่าจะดำเนินการฟื้นคืนสภาพพื้นที่ป่าไม้ในรูปแบบต่าง ๆ ทั่วโลก และจะทำให้พื้นที่ป่าไม้ทั่วโลกเพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ซึ่งจะทำให้ปริมาณคาร์บอนเก็บสะสมในพื้นที่ป่าไม้คงที่หรือเพิ่มขึ้นในระยะเวลาระหว่างปี ค.ศ. 2017-2030 (พ.ศ. 2560-พ.ศ. 2573) เป้าหมายดังกล่าวจึงนับว่ามีความสอดคล้องกันกับข้อตกลงปารีส เนื่องจากมีเป้าหมายประสงค์ที่นำไปสู่การบรรเทา การปรับตัว การลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้อย่างยั่งยืน (United Nations, 2017)

บทบาทของทรัพยากรป่าไม้ต่อการเก็บกักคาร์บอน

ป่าไม้เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อมนุษยชาติ ป่าไม้เป็นแหล่งนิเวศบริการของโลกช่วยค้ำจุนเชิงนิเวศให้แก่สิ่งชีวิต มีอิทธิพลต่อการสร้างความสมดุลระบบภูมิอากาศ รวมทั้งเป็นหนึ่งของแหล่งเก็บคาร์บอนโดยธรรมชาติที่สำคัญ (carbon sink) โดยกลไกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปแบบที่สามารถดูดซับคลื่นรังสีอินฟราเรดและสะท้อนกลับสู่พื้นที่ผิวโลก ให้เป็นคาร์บอนในรูปแบบของมวลชีวภาพ

ในราก ลำต้น กิ่งก้าน และใบ ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนั้นพื้นที่ป่าไม้ยังเป็นแหล่งสำคัญสำหรับการสะสมคาร์บอนในดินผ่านกระบวนการย่อยสลายของซากอินทรีย์ต่าง ๆ และบางส่วนของกระบวนการย่อยสลายจะปลดปล่อยคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่บรรยากาศเป็นวัฏจักร (USDA Forest Service, 2018) พลวัตของการเก็บและปล่อยคาร์บอน (carbon storage and carbon flux) ในพื้นที่ป่าไม้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่นระดับอุณหภูมิและความชื้นในดิน ชนิดและปริมาณอินทรีย์สารในดินปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาในบรรยากาศ ชนิดและอายุของพรรณไม้ และการจัดการป่าไม้ในพื้นที่ ปัจจัยที่แตกต่างกัน (Brack, 2019) โดยเฉลี่ยแล้วต้นไม้ในพื้นที่ป่าไม้สามารถที่จะกักเก็บคาร์บอนสะสมไว้ในเนื้อไม้และรากได้เป็นระยะเวลายาวนานหลายทศวรรษ ต้นไม้บางต้นสามารถเก็บคาร์บอนไว้ได้นานเป็นเวลาหลายร้อยปี (Popkin, 2019) อย่างเช่นประเทศไทยมีไม้หลายชนิดที่มีคุณสมบัติดังกล่าว เช่น ไม้สักถือว่าเป็นไม้ที่มีความคงทน ซึ่งนิยมนำไปใช้ในการปลูกสร้างบ้านเรือน หรือ เฟอร์นิเจอร์โดยไม่ได้นำมาใช้ในวัตถุประสงค์ด้านเชื้อเพลิง ซึ่งปัจจุบันประชาชนมีการนำมาปลูกเป็นจำนวนมาก และรวมถึงหลายๆ ประเทศ ซึ่งสามารถช่วยในการกักเก็บคาร์บอนในระยะยาว (Kongmeesup, 2015) อย่างไรก็ตาม สถานการณ์ป่าไม้ได้ถูกคุกคามจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ อาทิเช่นการลดลงของสัดส่วนไม้ต่อพื้นที่ป่า หรือการเปลี่ยนแปลงสถานภาพป่าไม้เป็นป่าเสื่อมโทรม ก็เป็นสาเหตุที่สำคัญที่ส่งผลต่อการลดแหล่งเก็บคาร์บอน

ส่วนชีวภาคของโลก (biosphere) เป็นแหล่งเก็บสะสมคาร์บอนในอัตราประมาณ 2.3 GtC yr^{-1} (พันล้านตันคาร์บอนต่อปี) (Coxet et al., 2000) และหน่วยงาน IPCC (the Intergovernmental Panel on Climate Change) ประมาณว่าปริมาณคาร์บอนสะสมรวมในพื้นที่ป่าไม้ทั่วโลกมีปริมาณถึง 1,100 GtC คำนวณแล้วเป็นปริมาณที่สูงกว่าคาร์บอนที่เก็บสะสมในรูปแบบฟอสซิลที่มนุษย์ใช้เป็นพลังงานประมาณ 1.3 เท่า (ประเมินว่าคาร์บอนเก็บในรูปแบบพลังงานจากฟอสซิลมีประมาณ 800 Gt) (IPCC, 2000) อย่างไรก็ตาม ในปี ค.ศ. 2010 องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (the Food & Agriculture Organization :FAO) ได้ประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมในพื้นที่ป่าไม้เหลือเพียง 652 Gt ซึ่งปริมาณทั้งหมดนี้ถูกเก็บสะสมในรูปแบบมวลชีวภาพร้อยละ 44 เก็บสะสมในรูปแบบซากไม้ร้อยละ 5 เก็บรูปแบบอินทรีย์วัตถุร้อยละ 6 และ เก็บสะสมในดินร้อยละ 45 (FAO, 2010) ต่อมาในปี ค.ศ. 2011ได้มีงานวิจัยประเมินระดับการเก็บกักและการปลดปล่อยคาร์บอนโดยใช้หลักการการคาดการณ์พลวัตที่เกิดขึ้นจากระดับล่างสู่ระดับบน (bottom-up) โดยอิงจากฐานจากฐานข้อมูลบัญชีก๊าซเรือนกระจกและการเก็บตัวอย่างภาคสนามสรุปว่าการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าของโลกรวมมีประมาณ 861 ± 66 GtC ด้วยปริมาณนี้สัดส่วนของคาร์บอนกระจายแหล่งเก็บในสัดส่วนดังนี้ คาร์บอนร้อยละ 42 เก็บกักในมวลชีวภาพ ร้อยละ 8 เก็บกักในซากไม้ร้อยละ 5 เก็บกักในอินทรียวัตถุและร้อยละ 44 ในดิน (Yude et al., 2011) จากข้อมูลต่าง ๆ ที่กล่าวมาในเบื้องต้น ต่อมาจึงได้มีการประยุกต์ความรู้และหลักการทางภูมิศาสตร์ประเมินการเก็บกักคาร์บอนซึ่งกระจายในพื้นที่ป่าทั่วโลกพบว่าป่าเขตร้อนชื้นมีสัดส่วนการกักเก็บคาร์บอนสูงสุดคือร้อยละ 55 (242 tonC.ha-1) รองลงมาก คือ ป่าสนมีปริมาณคาร์บอนกักเก็บร้อยละ 32 (239 tonC.ha-1) ส่วนป่าเขตอบอุ่นมีสัดส่วนการเก็บกักคาร์บอนต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 14 (155 tonC.ha-1) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการเก็บคาร์บอนระหว่างในมวลชีวภาพและในดิน ในพื้นที่ป่าเขตร้อนและป่าสนพบว่ามีลักษณะสัดส่วนที่ค่อนข้างแตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากการเก็บสะสมคาร์บอนในป่าเขตร้อนชื้นนั้นจะมีสัดส่วนการเก็บกักคาร์บอนในมวลชีวภาพ:คาร์บอนในดิน เท่ากับ 56% : 32% ในขณะที่การเก็บคาร์บอนในป่าสนนั้นมีสัดส่วน

การเก็บอยู่ที่ 20% : 60% (Brack, 2019) นั่นคือเหตุผลสำคัญที่ทำให้ป่าเขตร้อนชื้นเป็นพื้นที่หลักสำหรับการเก็บกักคาร์บอนของโลก

ดินเป็นภาคส่วนในระบบนิเวศที่มีบทบาทต่อวัฏจักรของคาร์บอนในโลกเช่นกัน สัดส่วนของคาร์บอนที่พบมากที่สุดอยู่ในดิน โดยพบอินทรีย์คาร์บอนในดิน (Soil Organic Carbon: SOC) ประมาณ 1,550 PgC (1 เพนตากรัมคาร์บอน (Pg C) = 1015 กรัมคาร์บอน หรือเท่ากับ .1 พันล้านตัน) และอนินทรีย์คาร์บอน (Soil Inorganic Carbon, SIC) ประมาณ 750 Pg C ที่ระดับความลึก 1 เมตร (Batjes, 1996) ดังนั้นสัดส่วนของคาร์บอนที่ถูกเก็บกักอยู่ในดินมีมากกว่าที่อยู่ในชั้น บรรยากาศ (770 PgC) ถึง 3 เท่า และมีมากกว่า 3.8 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนชีวภาพ (610 PgC) (Sarmiento and Gruber, 2002) อย่างไรก็ตาม การสะสมคาร์บอนในดินจะสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นไม้และพืชพรรณต่าง ๆ ในแหล่งที่อยู่นั้น ๆ โดยผ่านกลไกการหมุนเวียนเชิงชีวธรณีเคมี (Biogeochemical Cycle) ดังนั้นการสูญเสียพื้นที่ป่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการสะสมคาร์บอนในดินด้วยเช่นกัน

ปัญหาของการลดลงของพื้นที่ป่าไม้และผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

พื้นที่ป่าเป็นแหล่งความหลากหลายทางชีวภาพในระดับที่สูงกว่าแหล่งระบบนิเวศประเภทอื่นๆ ในภาคพื้นทวีป ปัจจุบันโลกของเรามีพื้นที่ป่าปกคลุม 4.06 ล้านเฮกแตร์ หรือประมาณ 0.5 เฮกแตร์/คน อย่างไรก็ตาม พื้นที่ป่าไม่ได้กระจายทุกพื้นที่ของโลกแต่พบว่า 50 % หรือครึ่งหนึ่งของพื้นที่ป่าของโลกพบหนาแน่นในพื้นที่ 5 ประเทศเท่านั้นคือ รัสเซีย บราซิล แคนาดา สหรัฐอเมริกา และประเทศจีน ส่วนอีก 66% (หรือประมาณ 2/3 ของพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมด) พบในพื้นที่สำคัญเช่นออสเตรเลีย คองโก อินโดนีเซีย เปรู อินเดีย และประเทศอื่นๆ ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และอเมริกาใต้ (FRA, 2020)

เนื่องจากป่าไม้เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญมากสำหรับมนุษยชาติดังนั้น เป้าหมายหลักหนึ่งของการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) คือเรื่องการเพิ่มพื้นที่ป่าไม้ (เป้าหมายที่ 15: ปกป้อง ฟื้นฟู และสนับสนุนการใช้ระบบนิเวศบนบกอย่างยั่งยืน จัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน ต่อสู้กับการกลายสภาพเป็นทะเลทราย หยุดการเสื่อมโทรมของที่ดินและฟื้นสภาพกลับมาใหม่ และหยุดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ) พบว่าพื้นที่ป่าไม้ลดลงจาก 32.5% เหลือเพียง 30.8% ในช่วงเวลา 3 ทศวรรษระหว่างปี ค.ศ. 1990-ค.ศ. 2020 (พ.ศ. 2533 - พ.ศ. 2563) ประมาณว่าโลกสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ไปถึง 4.74 ล้านเฮกแตร์/ปี เมื่อพิจารณาข้อมูลใน Table 1 ที่ได้ระบุถึงการเปลี่ยนแปลงสุทธิ (ล้านเฮกแตร์/ปี) พบว่าในช่วงระหว่างปี ค.ศ.1990 - ค.ศ.2020 พื้นที่ป่าไม้โลกมีอัตราการลดลงสูงอย่างเด่นชัด ข้อมูลในช่วงทศวรรษอื่นๆ ลดลง 5.17 และ 4.74 ล้านเฮกแตร์/ปี ถึงแม้ว่าแนวโน้มดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ก็ยังเป็นค่าสุทธิที่ติดลบ (FAO, 2020)

ป่าไม้มีบทบาทสำคัญในการช่วยลดปริมาณการสะสมก๊าซ CO_2 ในบรรยากาศโดยการกักเก็บในรูปแบบมวลชีวภาพและในรูปแบบต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ป่าไม้จึงเปรียบเสมือนกับแหล่งกันชนธรรมชาติต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (buffer zone) (Ciais et al., 2013) การลดลงของพื้นที่ป่านี้มีสาเหตุมาจากมนุษย์เกิน 50% มนุษย์เป็นผู้ที่ทำลายกันชนธรรมชาตินี้โดยการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าให้กลายเป็นป่าเสื่อมโทรม โดยการนำเนื้อไม้ไปใช้ในวงการอุตสาหกรรมเช่นการทำเฟอร์นิเจอร์ การทำกระดาษหรือเปลี่ยนการใช้ที่ดินเป็นการทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น เป็นพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่อยู่อาศัยของชุมชน เป็นต้น

Table 1 Annual rate of forest area change

Period	Net change (million ha.yr^{-1})	Net change rate (%.yr^{-1})
1990–2000	–7.84	–0.19
2000–2010	–5.17	–0.13
2010–2020	–4.74	–0.12

Source : FAO and UNEP, (2020)

การประเมินสาเหตุหลักของการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ของโลก พบว่าเกิดจากปัจจัยหรือกิจกรรม 5 ประเด็นหลัก ในช่วงระยะระหว่าง ค.ศ.2001-2015 โดยมีรายละเอียดดังนี้ (Curtis et al., 2018)

1. (27%) – การเติบโตของภาคการผลิตสินค้าเพื่ออุปโภคและบริโภค ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้เพื่อเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ปศุสัตว์ เพื่อการผลิตธัญพืช พืชพลังงาน พืชเพื่อการแปรรูป เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด ปาล์มน้ำมัน ถั่วเหลือง พื้นที่เลี้ยงโคเนื้อ หรือโคนม หรือแม้กระทั่งการรุกรานพื้นที่ป่าไม้เพื่อนำทรัพยากรน้ำมันมาใช้ประโยชน์ หรือเปลี่ยนเป็นพื้นที่อุตสาหกรรม ซึ่งพื้นที่ในกิจกรรมเหล่านี้จะไม่สามารถจัดการหรือฟื้นฟูกลับมาเป็นพื้นที่ป่าได้อีก

2. (26%) –สูญเสียจากการจัดการป่าไม้ที่ขาดประสิทธิภาพ เช่นการปลูกต้นไม้ในป่าที่ขาดการจัดการที่มีศักยภาพเพียงพอในการดูแลอย่างต่อเนื่อง

3. (24%) –สูญเสียจากการเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรกรรมโดยวิธีการตัดถางและเผา หรือการทำไร่เลื่อนลอยเพื่อการปลูกพืชอายุสั้น

4. (23%) –ปัญหาไฟป่า ถึงแม้ว่าภายหลังเหตุการณ์ไฟป่า ป่าไม้อาจจะฟื้นฟูกลับมาได้ด้วยตนเองโดยกระบวนการธรรมชาติของระบบนิเวศแต่ใช้ระยะเวลานาน พบว่า ในช่วงระยะ ค.ศ. 2001-2015 พื้นที่ป่าในเขตประเทศแคนาดา รัสเซีย ประสบกับปัญหาไฟป่าอย่างรุนแรงต่อเนื่อง

5. (0.6%) –การรุกรานพื้นที่ป่าเพื่อเป็นพื้นที่อยู่อาศัยของชุมชน กรณีนี้มักจะเกิดจากการขยายตัวของชุมชนในพื้นที่ หรือการขยายตัวของเขตเมืองมาถึงเขตชุมชนชนบทซึ่งติดกับขอบเขตป่าไม้ หรือ ป่าชุมชน

สำหรับประเทศไทยประสบปัญหาพื้นที่ผืนป่าในไทยลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน การสำรวจล่าสุดในปี พ.ศ. 2559 พบว่า ปัจจุบันมีพื้นที่ป่าไม้เหลือเพียงร้อยละ 31.58 ของพื้นที่ประเทศไทย หรือเท่ากับ 102.17 ล้านไร่ คิดเป็น 163,479.69 ตารางกิโลเมตร ลดลงจากปี พ.ศ. 2558 ร้อยละ 0.02 หรือประมาณ 65,500 ไร่ ซึ่งถือว่าค่อนข้างน้อยเมื่อพิจารณาว่าประเทศไทยอยู่ในพื้นที่ชีวนิเวศป่าเขตร้อนชื้น และจากสถิติพื้นที่ป่าไม้ประเทศไทยจากปี พ.ศ. 2557- พ.ศ. 2559 ที่ผ่านมา พื้นที่ป่าลดลงร้อยละ 0.02 ทุกปี แยกเป็นรายภูมิภาคพบว่าภาคเหนือมีพื้นที่ป่ามากที่สุดร้อยละ 64.37 ของพื้นที่ในภูมิภาครองลงมาคือภาคตะวันตก ร้อยละ 59.03, ภาคใต้ ร้อยละ 24, ภาคตะวันออก ร้อยละ 21.84, ภาคกลาง ร้อยละ 21.09 และภาคที่มีพื้นที่ป่าเหลือน้อยที่สุดคือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ร้อยละ 14.93 ของพื้นที่ โดยภูมิภาคที่มีอัตราการลดลงของพื้นที่ป่าไม้รุนแรงที่สุดคือภาคตะวันออก ร้อยละ 36.38 ของพื้นที่ป่าที่เคยมีจาก ปี พ.ศ. 2504 รองลงมาคือภาคใต้ มีพื้นที่ป่าหายไปถึงร้อยละ 34.82 ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ร้อยละ 27.68, ภาคตะวันตก ร้อยละ 24.45 ภาคกลาง ร้อยละ 23.01 และภาคเหนือ ร้อยละ 9.1 (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2561)

การทำลายพื้นที่ป่าไม้ส่งผลเร่งปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศให้เกิดขึ้นเร็วขึ้นเนื่องจากเป็นกลไกเพิ่มการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศแทนการกักเก็บในระบบนิเวศ พบว่าโลกสูญเสียศักยภาพการเก็บกักคาร์บอนในแหล่งกักเก็บสำคัญเช่น ป่าไม้ อย่างมีนัยสำคัญโดยการประเมินจากค่าแตกต่างทางสถิติ

ร่วมกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประเมินว่าโลกสูญเสียศักยภาพในแหล่งเก็บคาร์บอนประมาณ 0.4 ± 0.3 GtC yr^{-1} ในช่วงระหว่าง ปี ค.ศ.2005 - ค.ศ.2014 (พ.ศ.2548 - พ.ศ.2557) แต่เมื่อประเมินเปรียบเทียบระหว่างยุคเริ่มต้นการปฏิวัติอุตสาหกรรมจนถึงปี ค.ศ.2017 (ค.ศ.1870 - ค.ศ.2017) พบว่าโลกสูญเสียคาร์บอนในแหล่งกักเก็บในภาคพื้นทวีปไปแล้วในปริมาณที่สูงถึง 20 ±15 GtC (Quéré et al., 2018) เมื่อวิเคราะห์การสูญเสียคาร์บอนจากแหล่งป่าเสื่อมโทรมหรือป่าที่ถูกทำลายในแต่ละประเทศพบว่ามีอัตราการปล่อยคาร์บอนกลับสู่บรรยากาศ ในอัตรา 0.92 GtC yr^{-1} (Federici et al., 2016) ผลกระทบของการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีรูปแบบแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของป่าไม้ด้วยเช่นกัน ในกรณีการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ที่มีขนาดปริมาตรเนื้อไม้สูงและความหนาแน่นมากย่อมส่งผลต่อการปลดปล่อยคาร์บอนได้สูงกว่าการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ที่มีลักษณะตรงข้ามกัน เมื่อพิจารณาความยืดหยุ่นหรือการปรับตัวต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศพบว่าป่าที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูงจะมีความยืดหยุ่นหรือปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้ดี เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบป่าธรรมชาติกับระบบป่าปลูก เช่น สวนป่าพบว่าสวนป่ามีความเสี่ยงต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้เร็วกว่าและรุนแรงกว่าเนื่องจากความหลากหลายทางชีวภาพต่ำกว่าป่าธรรมชาติ (Thompson et al., 2009) ดังนั้น การจัดการป่าไม้เพื่อเพิ่มพื้นที่ป่า หรืออนุรักษ์ฟื้นฟูป่าไม้ให้มีศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องเหล่านี้และดำเนินการให้ป่าปลูกมีสภาพความหลากหลายทางชีวภาพในระดับที่เหมาะสมจะเป็นวิธีการที่ช่วยบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างยั่งยืน

ป่าพรุซึ่งปัจจุบันได้ถูกรุกรานและทำลายได้อย่างรวดเร็วยิ่งกว่าป่าไม้ทั่วไป ป่าพรุซึ่งมีเนื้อที่ประมาณร้อยละ 3 ของภาคพื้นทวีป เป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในเนื้อดินสูงถึง 2,000 tonC ha^{-1} (ในขณะที่คาร์บอนในเนื้อดินป่าชายเลนมีปริมาณ 1,000 tonC ha^{-1}) คิดเป็นสัดส่วน 20-25% ของปริมาณการสะสมคาร์บอนในเนื้อดินของพื้นที่ภาคพื้นทวีปทั้งหมด (Seymour & Busch, 2016) อย่างไรก็ตามการศึกษาระบุว่าพื้นที่ป่าของโลกที่สูญเสียหรือถูกทำลายเพียง 1 ปี ณ ปี ค.ศ.2015ส่งผลต่อการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ถึงปริมาณ 1/4 ส่วนของปริมาณที่ปล่อยสะสมระหว่างปี ค.ศ. 2001 ถึง ค.ศ.2010 ซึ่งเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นถึง 1/3 ของปริมาณที่ปล่อยสะสมระหว่างปี ค.ศ.2011-ค.ศ.2015 ซึ่งป่าเสื่อมโทรมยังเป็นจุดเริ่มต้นของการเร่งสถานการณ์เปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในทางอ้อม เช่น การใช้พื้นที่ป่าเสื่อมโทรมเป็นเส้นทางคมนาคมทำให้เป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกผ่านกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือการใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกชนิดต่าง ๆ (Brack, 2019)

การเปลี่ยนแปลงการสะสมคาร์บอนในพื้นที่ป่าไม้โลก

การกักเก็บคาร์บอนและปลดปล่อยคาร์บอน สามารถคาดคะเนได้จากการหมุนเวียนคาร์บอนทั้งหมดในระบบ Odum (1983) อิทธิพลของป่าไม้ที่มีต่อการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับปริมาณสุทธิระหว่างประสิทธิภาพของการดูดซับและกักเก็บปริมาณคาร์บอน (carbon storage) ในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้และการปลดปล่อยในรูปแบบการย่อยสลายและการสูญเสียไม้ (carbon fluxes) ผลการศึกษาในปี ค.ศ.2017 ประเมินว่าพื้นที่ป่าไม้เก็บสะสมคาร์บอนประมาณ 3.8 PgC แต่การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินกลับทำให้เป็นแหล่งปล่อยคาร์บอนในสัดส่วนร้อยละ 12 ของแหล่งคาร์บอนปล่อยทั้งหมด เมื่อพิจารณาแหล่งปล่อยคาร์บอนจากการใช้พลังงานฟอสซิลพบว่าเกิดจากแหล่งอุตสาหกรรมสูงสุดข้อมูลใน Table 2 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนสุทธิจากการคำนวณจากพื้นที่เก็บคาร์บอน (carbon sink) คือชั้นบรรยากาศ มหาสมุทร และระบบนิเวศภาคพื้นทวีป และกิจกรรมปลดปล่อยคาร์บอนจากแหล่งปล่อย (carbon sources)

คือการใช้พลังงานฟอสซิล และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ข้อมูลจากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอัตราการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นจากปริมาณ 1.7±0.07 GtC yr^{-1} ในช่วงระยะเวลา 10 ปี ระหว่างปี ค.ศ. 1960-1969 (พ.ศ.2503-พ.ศ.2512) เป็นปริมาณ 4.7±0.02 GtC yr^{-1} ระหว่างปี ค.ศ. 2008 - 2017 (พ.ศ. 2551-พ.ศ.2560) ในขณะที่การสะสมคาร์บอนในส่วนภาคพื้นทวีปดูเหมือนจะเพิ่มขึ้นจากปริมาณ 1.2±0.5 GtC yr^{-1}ในปี ค.ศ.1960-1969 เป็นปริมาณ 3.2 ± 0.7 GtC yr^{-1} ในช่วงระยะเวลาระหว่างปี ค.ศ. 2008–2017 อย่างไรก็ตามการปลดปล่อยในรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ป่าไม้กลับมีปริมาณการปลดปล่อยที่สูงกว่าการเก็บคาร์บอน ทั้งใน 2 ช่วงระยะเวลาดังกล่าว ดังนั้นปริมาณสุทธิของคาร์บอนที่เป็นแหล่งการปลดปล่อยยังมีค่าสูงกว่าการเป็นแหล่งคาร์บอนในแหล่งกักเก็บ และส่งผลทำให้ปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 จนถึงระยะการศึกษาในปี ค.ศ. 2017 (Quéréet et al., 2018)

Table 2 Decadal mean in the five components of the anthropogenic carbon budget (Quéré et al.(2018)

	Mean (GtC yr^{-1})						
	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2008-2017	2017
Total emissions							
Fossil CO2 emissions (E_{FF})	3.1 ± 0.2	4.7 ± 0.2	5.4 ± 0.3	6.3 ± 0.3	7.8 ± 0.4	9.4 ± 0.5	9.9 ± 0.5
Land-use change emissions (E_{LUC})	1.5 ± 0.7	1.2 ± 0.7	1.2 ± 0.7	1.4 ± 0.7	1.3 ± 0.7	1.5 ± 0.7	1.4 ± 0.7
Total emissions	**4.7 ± 0.7**	**5.8 ± 0.7**	**6.6 ± 0.8**	**7.6 ± 0.8**	**9.0 ± 0.8**	**10.8 ± 0.8**	**11.3 ± 0.9**
Partitioning							
Growth rate in atmospheric CO_2 concentration (G_{ATM})	1.7 ± 0.07	2.8 ± 0.07	3.4 ± 0.02	3.1 ± 0.02	4.0 ± 0.02	4.7 ± 0.02	4.6 ± 0.2
Ocean sink (S_{OCEAN})	1.0 ± 0.5	1.3 ± 0.5	1.7 ± 0.5	2.0 ± 0.5	2.1 ± 0.5	2.4 ± 0.5	2.5 ± 0.5
Terrestrial sink (S_{LAND})	1.2 ± 0.5	2.1 ± 0.4	1.8 ± 0.6	2.4 ± 0.5	2.7 ± 0.7	3.2 ± 0.7	3.8 ± 0.8
Budget imbalance							
BIM = $E_{FF}+E_{LUC}-(G_{ATM}+S_{OCEAN}+S_{LAND})$	**(0.6)**	**(-0.3)**	**(-0.3)**	**(0.2)**	**(0.2)**	**(0.5)**	**(0.3)**

ข้อมูลในปี ค.ศ. 2017 (พ.ศ. 2560) ประเมินว่าพื้นที่ป่าไม้ทั่วโลกเป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนประมาณ 3.8 PgC และข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกันกลับบ่งชี้ในทางกลับกันว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (เน้นพื้นที่ป่าไม้) ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนสะสมในชั้นบรรยากาศถึง 12 % ของแหล่งปล่อยทั้งหมด (Brack, 2019) ดังนั้นการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงแหล่งเก็บคาร์บอนในเขตชีวนิเวศต่าง ๆทั่วโลกจึงมีความสำคัญต่อการนำไปสู่การสร้างยุทธศาสตร์ในการรับมือในภาคส่วนป่าไม้ ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2010 - ค.ศ. 2015 (พ.ศ. 2553 - พ.ศ.2558) เช่นเขตพื้นที่ยูโรเซีย และเขตตอนเหนือของยุโรปมีพื้นที่ป่าสนเพิ่มขึ้น ขณะที่ป่าสนในเขตประเทศแคนาดากลับลดลงเนื่องจากสถานการณ์ไฟป่า และการระบาดของแมลงศัตรูพืช สอดคล้องกับข้อมูลการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าไม้ทั่วโลกในระหว่างปี ค.ศ.2010- ค.ศ.2015 พบว่าการสะสมคาร์บอนเพิ่มขึ้นในพื้นที่ป่าเขตยุโรปและพื้นที่ตอนเหนือและตอนกลางของอเมริกา FAO(2015) ได้ทำการรายงานสถานการณ์การสะสมคาร์บอนในเขตพื้นที่ป่าทั่วโลกพบว่ามีศักยภาพในการสะสมคาร์บอนลดลงโดยเห็นแนวโน้มชัดเจนตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1990 (Table 3) เนื่องจากปริมาณคาร์บอนสะสมในพื้นที่ป่าไม้ทั่วโลกซึ่งมีค่าประมาณ 307.6 GtC ในปี ค.ศ. 1990 กลับลดลงเหลือเพียง 296.2 ในปี ค.ศ.2015GtC (ลดลง 3.7%) และพบแนวโน้มการลดลงอย่างเด่นชัดที่สุดในเขตพื้นที่ป่าเขตแอฟริกาใต้และแอฟริกาใต้ ซึ่งพบว่าลดลง 7.5% เมื่อเปรียบเทียบการเก็บสะสมคาร์บอนระหว่างปี ค.ศ. 1990 และ ค.ศ. 2015 สอดคล้องกับสถานการณ์พื้นที่ป่าไม้ลดลง

อย่างต่อเนื่องในช่วงระยะเวลาดังกล่าว นอกจากนั้นยังพบว่าแหล่งเก็บกักคาร์บอนลดลงอย่างชัดเจนในแถบเอเชียเช่นกัน โดยปริมาณคาร์บอนสะสมจาก 38.1 GtC ในปี ค.ศ.1990 ลดลงเหลือเพียง 36.3 GtC ในปี ค.ศ. 2015 (4.7%) และในปัจจุบันถึงแม้ว่าจะมีการฟื้นฟูพื้นที่ป่าไม้ และมีความพยายามเพิ่มพื้นที่ป่าไม้ทั่วโลก อย่างไรก็ตาม ก็ยังไม่สามารถชดเชยกับพื้นที่ป่าไม้ที่สูญเสียออกไปได้ (FAO, 2015)

Table 3 Carbon stocks in forest living biomass by region, 1990-2015 (FAO, 2015)

Region	Carbon stocks (giga tonnes of carbon: GtC)				
	1990	**2000**	**2005**	**2010**	**2015**
Europe	41.4	42.5	43.2	44.4	45.5
Africa	66.5	63.5	62.1	60.8	59.7
Asia	38.1	37.7	37.2	36.8	36.3
North and Central America	33.9	34.9	35.3	35.6	35.9
Oceania	16.1	15.9	15.9	15.9	15.7
South America	111.5	107.8	105.5	104.0	103.1
World	**307.6**	**302.3**	**299.2**	**297.6**	**296.2**

การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้และปฏิสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ป่าไม้ทำหน้าที่หลักในด้านนิเวศบริการต่อการธำรงดุลระบบภูมิอากาศให้แก่โลก ป่าไม้เป็นแหล่งควบคุมวัฏจักรน้ำให้แก่ระบบนิเวศผ่านกระบวนการคายระเหย (evapotranspiration) กระบวนการนี้มีปัจจัยทางกายภาพและเคมีของดินและกระบวนการทางสรีรวิทยาพืชมาเกี่ยวข้อง โดยปกติถ้ากระบวนการคายระเหยเกิดขึ้นตามปกติจะส่งต่อการควบคุมระดับชื้นและอุณหภูมิในบรรยากาศให้มีความสมดุล ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อคุณลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาในบรรยากาศให้มีรูปแบบปกติตามเขตภูมิอากาศนั้นๆ ประมาณว่ากระบวนการคายระเหยมีอิทธิพลอย่างน้อยร้อยละ 40 ของปัจจัยทั้งหมดที่ก่อให้เกิดฝนตก ดังนั้นการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้หรือป่าเสื่อมโทรมส่งผลต่อการรบกวนกระบวนการคายระเหยดังกล่าวและมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการเกิดฝนในระยะที่ห่างไกลจากพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมถึง 1,000 กิโลเมตร (ในทิศใต้ลม) การเปลี่ยนแปลงของอัตราการคายระเหยดังกล่าวยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงศักยภาพการสะท้อนแสงของพื้นผิวโลก (ค่าอัลบีโด :Albedo) โดยปกติป่าไม้เป็นแหล่งดูดซับคลื่นรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ดีทำให้ค่าอัลบีโดต่ำทำให้การสะท้อนกลับของรังสีคลื่นยาวออกสู่บรรยากาศลดน้อยลงส่งผลต่อการรักษาระดับอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศไม่ให้สูงเกินไป ป่าไม้จึงมีอิทธิพลต่อระดับอุณหภูมิเฉลี่ยประจำฤดูกาลในแต่ละเขตภูมิอากาศของโลก ทำให้ระดับอุณหภูมิบริเวณนั้นไม่สูงจนเกินไปหรือทำให้อากาศเย็นสบาย ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ดีว่าเพราะเหตุใด จึงมีการจัดการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองต่าง ๆ ของโลกเพื่อลดสภาวะเกาะความร้อน (urban heat island) ในเมืองใหญ่ที่มีจราจรหนาแน่น (Locatelli, 2016) ป่าไม้ยังส่งผลต่อปริมาณน้ำในแหล่งเก็บน้ำ พบว่าพื้นที่ป่าในเขตละติจูดสูงส่งผลต่อการเกิดความชื้นและการก่อตัวเป็นเมฆฝน ทำให้เกิดน้ำผิวดินจากการดูดซับน้ำในดินของป่าไม้ในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ ส่งผลต่อการเก็บน้ำในพื้นที่ปลายน้ำได้ถึง 75% ป่าไม้ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูงจะมีประสิทธิภาพในการเก็บน้ำและควบคุมน้ำท่วมได้ดีเนื่องจากความ

หลากหลายของพรรณไม้ที่มีความยาวของราก ความแข็งแรงของราก และรูปแบบของการใช้น้ำ การคายระเหยที่แตกต่างกัน ปัจจัยเหล่านี้จะควบคุมการชะล้างพังทลายของดินได้ดี

การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้รบกวนสมดุลการไหลของพลังงานความร้อนระหว่างภาคพื้นทวีปและบรรยากาศส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของกระแสลมประจำถิ่น นักวิชาการได้ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ประเมินว่าผลกระทบของป่าเสื่อมโทรม และการสูญเสียพื้นที่ป่าไม้จะทำให้บางพื้นที่ของโลกประสบกับปัญหาภัยแล้งจากปริมาณฝนที่ลดลงประมาณ 30% และจะส่งผลย้อนกลับต่อการลดลงของพื้นที่ป่าไม้เนื่องจากการขาดน้ำฝนส่งผลต่อการเกิดภัยแล้ง รวมทั้งการเกิดปัญหาไฟป่าอย่างต่อเนื่อง (Ellison, 2018) โดยปกติป่าไม้ถูกทำลายโดยธรรมชาติอยู่แล้วโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากปัญหาไฟป่า อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศส่งผลต่อการเพิ่มศักยภาพของปัญหาที่เกิดจากธรรมชาติดังกล่าวให้รุนแรงขึ้นและขยายพื้นที่เพิ่มขึ้นจนทำให้พื้นที่ป่าไม้เปลี่ยนเป็นระบบนิเวศรูปแบบอื่นๆ เช่นข้อมูลในปี ค.ศ.2018 (พ.ศ.2561) พบว่าปัญหาไฟป่าเกิดขึ้นอย่างรุนแรง และเกิดขึ้นยาวนานชัดเจนกว่าในอดีตในเขตพื้นที่ป่าสนประเทศสหรัฐอเมริกา ไซบีเรีย ออสเตรเลีย และพื้นที่เขตยุโรป โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาไฟป่าที่เกิดขึ้นในรัฐแคลิฟอร์เนียถือว่าเป็นเหตุการณ์ร้ายแรงที่สุดในประวัติศาสตร์ของรัฐแคลิฟอร์เนีย และเกิดขึ้นมากกว่า 2 ครั้ง ในช่วงปี ค.ศ.1980- ค.ศ.1999 (พ.ศ.2523-2543) (Doerr and Santín, 2018) พื้นที่ตอนเหนือของทวีปยุโรปก็ประสบกับปัญหาไฟป่าที่รุนแรงในช่วงปีนี้เช่นกัน โดยความรุนแรงของปัญหาไฟป่าครั้งนี้ถือว่ารุนแรงที่สุดเท่าที่เคยเกิดขึ้นในรอบทศวรรษ ทำให้มีการประเมินว่าหากปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศยังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจะส่งผลต่อความรุนแรงของปัญหาไฟป่าทั่วโลกเพิ่มขึ้นและในที่สุดทำให้พื้นที่ป่าจะเปลี่ยนสภาพเป็นป่าเสื่อมโทรมได้เร็วขึ้นยิ่งกว่าปัจจัยการทำลายโดยกรณีอื่นๆ (เช่นการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม) เมื่อเปรียบเทียบสถานการณ์ไฟป่าในพื้นที่ป่าเขตร้อนชื้นพบว่าพื้นที่ชีวนิเวศส่วนนี้ประสบปัญหาไฟป่าที่มีอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศน้อยกว่าเขตชีวนิเวศป่าเขตอบอุ่น เนื่องจากป่าเขตร้อนชื้นมีระดับความชื้นในบรรยากาศสูงกว่าอย่างชัดเจนซึ่งทำให้บรรเทาปัญหาไฟป่าได้ดีกว่าเขตอื่นๆของโลก (Brack, 2019) ปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศส่งผลต่อการความรุนแรงของปัญหาไฟป่าดังที่กล่าวมาแล้ว ในทางกลับกันกระบวนการไฟป่าที่เกิดขึ้นนั้นเป็นสาเหตุสำคัญของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ ซึ่งกลุ่มก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยจากไฟป่านั้นประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งเป็นกลุ่มก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพในการก่อให้สภาวะโลกร้อนในลำดับต้นๆ เมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซเรือนกระจกทุกชนิด และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเป็นวงจรต่อเนื่อง (Federici et al., 2016) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่มีต่อป่าไม้มีหลากหลายประเด็น และมีผลกระทบระยะสั้นและระยะยาวที่แตกต่างกันไป และยังพบว่าปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศนั้นมีปฏิสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน และมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงหรือรบกวนระบบนิเวศป่าไม้ดังรายละเอียดใน Table 4

Seidl et al. (2017) ได้รวบรวมข้อมูลปัจจัยสำคัญหลักๆที่ก่อให้เกิดพลวัตของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ 5 ปัจจัย และมีปฏิสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ปัจจัยเหล่านี้ ประกอบด้วยปัจจัยทางกายภาพและปัจจัยทางชีวภาพ คือ ไฟป่า ความแห้งแล้ง กระแสลม หิมะและน้ำแข็ง (ปัจจัยทางกายภาพ) แมลงและโรคพืชป่า (ปัจจัยทางชีวภาพ) ปัจจัยเหล่านี้จะถูกรบกวนและเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสภาวะภูมิอากาศที่แปรปรวนหรือเปลี่ยนแปลงไปจากรูปแบบปกติในพื้นที่ของระบบป่าไม้ก่อให้เกิดผลกระทบ 2 มิติ คือ ผลกระทบโดยตรง (ผลกระทบที่เกิดขึ้นรวดเร็ว หรือเกิดขึ้นทันที) นำไปสู่ผลกระทบทางอ้อม(ผลกระทบต่อเนื่องหรือผลกระทบระยะยาว) รวมทั้งรูปแบบปฏิสัมพันธ์ร่วมกันทั้ง 2 มิติ ข้อมูลใน Table 4 แสดงให้เห็น

รายละเอียดของผลกระทบทางตรงคือผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่ส่งผลทันทีต่อปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพในระบบนิเวศ ส่วนผลกระทบทางอ้อมเป็นผลกระทบต่อเนื่องจากผลกระทบทางตรงหรือเกิดขึ้นภายหลังแต่ก็มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศป่าไม้ในระยะยาว Seidl et et al. (2017) ประเมินว่าปัจจัยทั้ง 5 ประการในภาพรวมที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมีอิทธิพลต่อการรบกวนระบบนิเวศป่าไม้ถึง 57.1% ในขณะที่ปัจจัยที่เป็นผลกระทบทางอ้อมจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและผลกระทบร่วมกันมีอิทธิพลต่อการรบกวนหรือเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศป่าไม้เท่ากับ 25.0% และ 17.9% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาข้อมูลใน Table4 โดยละเอียด พบปฏิสัมพันธ์ 2 รูปแบบดังนี้

- การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในสถานการณ์เพิ่มระดับความร้อนร่วมกับเพิ่มระดับความแล้ง (warmer and drier) ส่งผลกระทบอย่างชัดเจนต่อปัจจัยการเพิ่มความรุนแรงของสถานการณ์ไฟป่าสถานการณ์ความแล้ง (ภัยแล้ง) รบกวนระบบนิเวศของแมลงในป่าไม้
- การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในสถานการณ์เพิ่มระดับความร้อนร่วมกับเพิ่มระดับความชื้น (warmer and wetter) ส่งผลกระทบชัดเจนต่อปัจจัยกระแสลม ความรุนแรงร่วมกับการระบาดของโรคพืชป่า การระบาดของแมลงบางสปีชีส์ของระบบนิเวศป่าไม้

เมื่อพิจารณาปัจจัยแต่ละประเภทที่มีปฏิสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศพบว่ามีรายละเอียดที่เป็นรูปแบบแตกต่างกันไป เช่น

- ปัจจัยไฟป่า-การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมีอิทธิพลโดยตรง 63% ต่อการรบกวนปัจจัยนี้โดยทำให้ความชื้นของเชื้อเพลิงธรรมชาติลดลง ส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณของเชื้อเพลิงตามธรรมชาติ เร่งความรุนแรงของสถานการณ์ไฟป่าและมีอิทธิพลทางอ้อม 25% ต่อการเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องในด้านการเจริญเติบโตของพืชในพื้นที่ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอนินทรียสารในพื้นที่ป่าไม้
- ปัจจัยความแล้ง-การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมีอิทธิพลโดยตรง 72.5% ต่อความแล้ง ซึ่งส่งผลต่อการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ระบบนิเวศป่าไม้เนื่องจากการรบกวนสมดุลน้ำในวัฏจักร และมีอิทธิพลต่อเนื่อง 24.6% ต่อพืชพรรณอย่างต่อเนื่องภายใต้ปัจจัยข้อจำกัดความเพียงพอของน้ำ และมีอิทธิพล 2.9 % จากปฏิสัมพันธ์ร่วมกันของผลกระทบที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างป่าไม้ในระยะยาว

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาปัจจัยที่ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและได้รับอิทธิพลในระดับสูงคือปัจจัยโรคพืชป่า(ได้รับอิทธิพลจากภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงถึง 76.1%) เนื่องจากเชื้อโรคอาจจะที่มีอัตรารอดและเจริญได้ดีขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงขึ้น พบว่ามีอิทธิพลต่อพืชอาศัย (host) อาจส่งผลการลดความหลากหลายทางชีวภาพในระยะยาวได้เนื่องจากพืชอาศัยจะมีการตอบสนองต่อเชื้อโรคในระดับที่แตกต่างกันไป ในปัจจุบันพบว่าการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศกำลังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรและการกระจายของโรคและแมลงในพื้นที่ป่าซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างป่าไม้อย่างมีนัยสำคัญนั่นเอง ผลย้อนกลับของผลกระทบดังกล่าวต่อเนื่องทำให้พืชป่าอ่อนแอต่อการต้านทานโรคพืช หรือแมลง พบว่าพืชพรรณป่าสปีชีส์ที่อ่อนไหวไม่สามารถสร้างกลไกป้องกันตนเองได้ จะกลายเป็นพันธุ์ไม้ที่มีความหนาแน่นน้อยลงหรือในระยะยาวอาจกลายเป็นพันธุ์ที่หายไปจากพื้นที่ ปัจจุบันมีงานวิจัยศึกษาจำนวนมากพบว่าการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศกระตุ้นการระบาดของโรคพืชในพื้นที่ป่าเขตต่าง ๆของโลก เช่น ป่าทางเหนือของยุโรป (สวีเดน อิตาลี) ป่าเขตตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศจีน (Linnakoski et al., 2019)

Table 4 Important processes through which climate influences forest disturbances. (Seidl et al., 2017)

Disturbance agent	Direct effects: climate impact through changes in ...	Indirect effects: climate impact through changes in ...	Interaction effects: climate impact through changes in
Fire	Fuel moisture Ignition (for example, lightning activity) Fire spread (for example, wind speed) (25.3%)	Fuel availability (for example, vegetation productivity) Flammability (for example, vegetation composition) Fuel continuity (for example, vegetation structure) (63.5%)	Fuel availability (for example, via wind or insect disturbance) Fuel continuity (for example, avalanche paths as fuel breaks) (11.2%)
Drought	Occurrence of water limitation Duration of water limitation Intensity of water deficit (24.6%)	Water use and water-use efficiency (for example, tree density and competition) Susceptibility to water deficit (for example, tree species composition) (72.5%)	Water use and water-use efficiency (for example, insectrelated density changes) Susceptibility to water deficit (for example, fire-mediated changes in forest structure) (2.9%)
Wind	Occurrence of strong winds Duration of wind events Intensity of wind events (for example, peak wind speeds) Tree anchorage (for example, soil forest) (35.7%)	Wind exposure (for example, tree growth) Wind resistance (for example, tree species composition) (48.2%)	Wind exposure (for example, insect disturbances increases canopy roughness) Soil anchorage (for example, pathogens decrease rooting stability) Resistance to stem breakage (for example, pathogens decrease stability) (16.1%)
Snow and ice	Snow occurrence Snow duration Occurrence of freezing rain (22.0%)	Exposure of forest to snow Avalanche risk (66.1%)	Avalanche risk (for example, through gap formation by bark beetles (11.9%)

Table 4 Continuous

Disturbance agent	Direct effects: climate impact through changes in ...	Indirect effects: climate impact through changes in ...	Interaction effects: climate impact through changes in
Insects	Agent metabolic rate (for example, reproduction) Agent behavior (for example, consumption) Agent survival (29.3%)	Host distribution and range Agent–host synchronization (for example, budburst) Host defense (for example, carbohydrate reserves) (29.9%)	Host presence and abundance Host resistance and defense (for example, through changes in drought) (40.8%)
Pathogens	Agent metabolic rate (for example, respiration) Agent abundance (12.8%)	Host abundance and diversity Host defense Agent interaction and asynchrony (76.1%)	Agent dispersal (for example, through vector insects) (11.1%)

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศบางสถานการณ์กลับส่งผลในมิติเชิงบวกต่อระบบนิเวศป่าไม้ เช่นพบว่าการเพิ่มระดับก๊าซ CO_2 ในบรรยากาศกระตุ้นให้พืชป่าบางสปีชีส์มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าปกติ เนื่องจากก๊าซ CO_2 คือปัจจัยสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงส่งผลดีต่อการเพิ่มขนาดพื้นที่ใบ เพิ่มการสะสมคาร์บอนในส่วนลำต้น กิ่งก้าน ใบ รากและกักเก็บในดินมากขึ้น อย่างไรก็ตามภายใต้สถานการณ์การเพิ่มระดับ CO_2 ในบรรยากาศสูงเกินไปร่วมกับสถานการณ์ระดับความชื้นต่ำ (แห้งแล้ง) พืชป่าจะเปิดปากใบน้อยลงจากกลไกการปกป้องตนเอง (defense mechanism) เนื่องจากการลดการคายน้ำทำให้พืชยังคงสามารถเจริญเติบโตได้ภายใต้สถานการณ์ดังกล่าว พบว่าป่าไม้บางพื้นที่ของโลกตอบสนองเชิงบวกต่อการเพิ่มระดับ CO_2 ป่าไม้สามารถเจริญเติบโตได้ดีขึ้นทำให้พื้นที่สีเขียวในพื้นที่ป่าประเภทนี้เพิ่มขึ้นสูงสุดในรอบ 30 ปีที่ผ่านมา เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นในพื้นที่ป่าไม้เขตอบอุ่นของรัฐบริติชโคลัมเบีย ประเทศแคนาดา พบว่าพืชพรรณโดยเฉพาะไม้ยืนต้นเติบโตเพิ่มขึ้นถึง 3% ต่อปี อย่างไรก็ตามภายใต้สถานการณ์ดังกล่าวพบว่าการตอบสนองในรูปแบบนี้ยังไม่มีหลักฐานชัดเจนว่าเกิดขึ้นในพื้นที่ป่าเขตร้อนชื้นในเขตประเทศโบลิเวีย แคเมอรูน และประเทศไทย ซึ่งสันนิษฐานว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชป่าในเขตร้อนชื้นคือธาตุอาหารในดิน และปริมาณน้ำในดินที่เพียงพอต่อพืช ซึ่งมีอิทธิพลสูงกว่าระดับ CO_2 ในบรรยากาศ อย่างไรก็ตามภาพรวมผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่มีต่อป่าไม้ยังคงพบว่ามีผลกระทบเชิงลบต่อการรบกวนระบบนิเวศป่าไม้ทั่วโลกมากกว่าพื้นที่ป่าไม้ที่มีการตอบสนองเชิงบวกอย่างเด่นชัดมาตลอดหลายปีที่ผ่านมา (Ceulemans et al., 1999)

การปรับตัวและรับมือในภาคส่วนป่าไม้ต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

ข้อมูลในบทความที่กล่าวถึงในข้างต้นนั้นทำให้สรุปได้ว่า การสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ทุกประเภทล้วนส่งผลเร่งการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศให้รุนแรงมากขึ้น ในทางตรงข้ามการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศก็ส่งผลย้อนกลับต่อการทำลายป่าไม้เช่นกัน โดยมีสาเหตุมาจากความแปรปรวนของภูมิอากาศ ความแห้งแล้ง น้ำท่วม ระดับอุณหภูมิและความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละพื้นที่ชีวนิเวศ ของโลก ซึ่งทำให้เกิดเป็นวงจรของภัยพิบัติ ซึ่งแน่นอนว่าสุดท้ายแล้วจะส่งผลกระทบเป็นห่วงโซ่ต่อความเป็นอยู่ที่ดีของมนุษย์ จนกระตุ้นความรุนแรงของปัญหาความยากจนของมนุษย์ในหลายพื้นที่ เนื่องจากประชาชนกลุ่มยากจนจะเป็นกลุ่มที่มีศักยภาพในการรับมือกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้น้อยที่สุด (Figure 1) (IPCC, 2014) ดังนั้นจึงได้มีแนวทางการปรับตัวของมนุษย์ต่อปัญหานี้โดยการสร้างยุทธศาสตร์การปรับตัวในภาพรวมโดยมีฐานจากนิเวศบริการและความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ (Ecosystem-based adaptation: EBA) เพื่อช่วยให้มนุษย์สามารถรับมือกับผลกระทบเชิงลบจากการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศได้ โดยอาศัยกรอบการดำเนินงานในการประเมินผลความเปราะบาง กระทบ ความสามารถในการปรับตัวและสร้างแนวทางการรับมือโดยการฟื้นฟูการอนุรักษ์ และการใช้ระบบนิเวศอย่างยั่งยืน โดยอาศัยการมีส่วนร่วมของชุมชนในพื้นที่และเป็นการรับมือที่ได้รับการยอมรับจากชุมชนในพื้นที่ (Convention on Biological Diversity (CBD) , 2009) ซึ่งหากการดำเนินงานรับมือประสบความสำเร็จก็จะนำไปสู่การลดความเสี่ยง และทำให้มีความยืดหยุ่นต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศได้ดี (Figure 2) ซึ่งการปรับตัวรับมือนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในภาคส่วนป่าไม้เช่นกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ป่าพรุ ป่าชายเลน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงมีความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

นโยบายการสนับสนุนการเพิ่มพื้นที่สีเขียวภายใต้ความตกลงปารีส

จากประเด็นปัญหาการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ระดับโลกส่งผลต่อการลดแหล่งเก็บกักคาร์บอน ดังนั้นภายใต้ความตกลงปารีส (Paris Agreement) ได้กำหนดประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรป่าไม้เพื่อการรับมือกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโดยได้เน้นย้ำในเรื่องความสำคัญของป่าไม้ รวมถึงแหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจกในระบบนิเวศอื่น ๆ ไว้ในข้อ 5 (Article 5 of the Paris Agreement) ดังนี้รายละเอียดในข้อ 5 ของความตกลงปารีส มีดังนี้ (Brack, 2019)

1. ภาคีสมาชิกควรดำเนินการด้านการอนุรักษ์และยกระดับตามความเหมาะสมในการดำเนินการที่เกี่ยวกับแหล่งดูดซับและกักเก็บก๊าซเรือนกระจก ตามที่ได้กำหนดไว้ในข้อ 4 วรรค 1 (d) ของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และให้รวมถึงป่าไม้ด้วย

2. ส่งเสริมให้ภาคีมีการดำเนินงานและให้สนับสนุนผ่านการจ่ายค่าตอบแทนเพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์ในการดำเนินงาน (Results-based payments) ต่อกรอบการดำเนินงานที่มีอยู่ ตามแนวทางและข้อตัดสินใจที่เกี่ยวข้องที่ได้ตกลงร่วมกันแล้วภายใต้อนุสัญญาฯ สำหรับแนวนโยบายและแรงจูงใจเชิงบวกสำหรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการลดก๊าซเรือนกระจกจากการทำลายป่าและการทำให้ป่าเสื่อมโทรม และเพิ่มบทบาทของการอนุรักษ์ การจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน และการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าในประเทศกำลังพัฒนา และแนวนโยบายทางเลือกอื่น เช่น แนวทางร่วมเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกและการปรับตัว (Joint mitigation and Adaptation) เพื่อการจัดการป่าไม้อย่างบูรณาการและยั่งยืนในขณะเดียวกันยังยืนยันถึงความสำคัญของการสร้างแรงจูงใจให้เกิดประโยชน์อื่นที่ไม่ใช่คาร์บอนที่เกี่ยวกับแนวทางดังกล่าว ตามความเหมาะสม

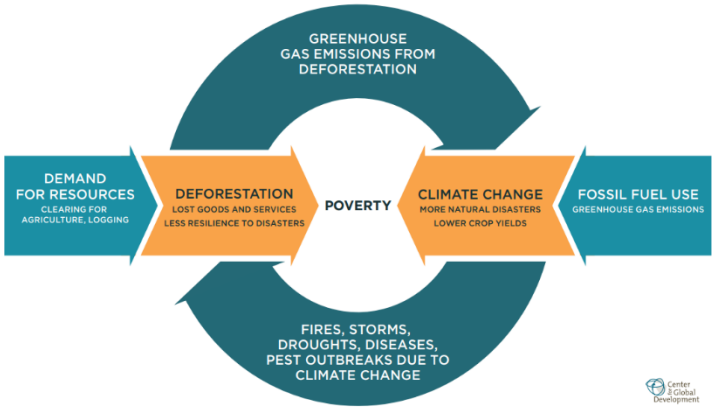

Figure 1 Deforestation and climate change drive a vicious cycle that exacerbates poverty Seymour & Busch (2016)

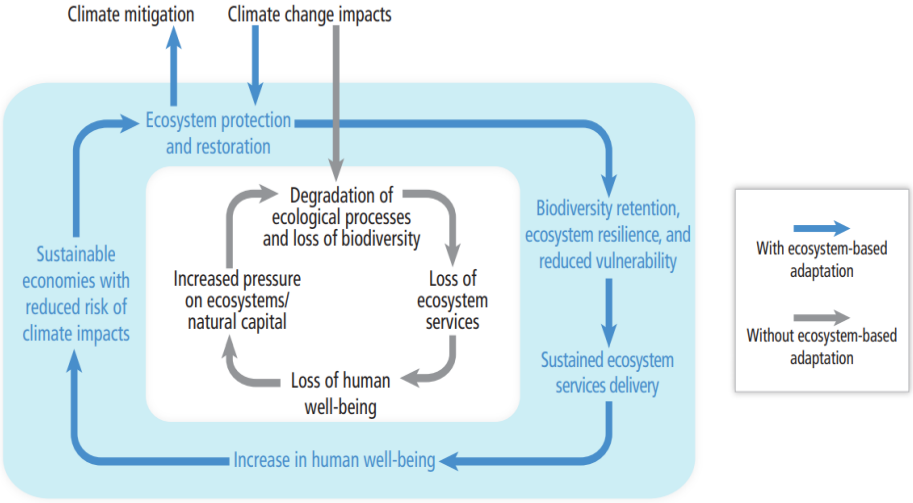

Figure 2 Ecosystem-based adaptation (EBA) uses the capacity of nature to buffer human systems from the adverse impacts of climate change. (IPCC, 2014)

สรุป

ข้อมูลการประเมินผลกระทบในภาคส่วนป่าไม้ในประเทศต่าง ๆ ระดับโลกระบุว่า ป่าไม้มีอิทธิพลต่อการชะลอหรือบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศหรือสภาวะโลกร้อนโดยการดูดซับและกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ ในซากอินทรีย์ หรือในดิน ได้ในระยะเวลายาวนาน โดยประเมินว่าภาคส่วนป่าไม้และระบบนิเวศที่เกี่ยวข้องจะเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนได้ถึง 1/3 ของปริมาณคาร์บอนที่ต้องการควบคุมภายใต้ข้อตกลงปารีสเพื่อการควบคุมระดับอุณหภูมิไม่ให้เกิน 2 °C ภายในปี ค.ศ. 2030 อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลกที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและจะทวีมากขึ้นภายในศตวรรษที่ 21 นี้ จะส่งผลกระทบย้อนกลับที่รุนแรงต่อระบบนิเวศป่าไม้ และผลกระทบนี้จะมีอิทธิพลต่อการลดความมั่นคงทางอาหารของโลก เนื่องจากการทำลายระบบป่าไม้ทำให้ห่วงโซ่อาหารเปลี่ยนแปลงไปทั้งระบบจนไม่สามารถย้อนกลับคืนสถานภาพเดิมได้

ประเทศไทยได้เห็นความสำคัญของประเด็นปัญหานี้เช่นกัน และได้กำหนดไว้ในแผนยุทธศาสตร์ 20 ปี (พ.ศ.2561- พ.ศ.2580) โดยข้อกำหนดในยุทธศาสตร์ที่ 5 ยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้วางเป้าหมายไว้ว่า ในการรักษา และฟื้นฟูฐานทรัพยากรธรรมชาติ วางแผนการอนุรักษ์และฟื้นฟูพื้นที่ป่าไม้ เพิ่มพื้นที่สีเขียวให้ ร่วมกับการเพิ่มประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจก และขีดความสามารถในการปรับตัว ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (สำนักงานเลขานุการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ, 2561) ดังนั้นการวางแผนแม่บท การวางยุทธศาสตร์หรือกำหนดนโยบายระดับประเทศและระดับนานาชาติเพื่อปรับตัวของภาคส่วนป่าไม้ต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศให้ได้ผลดีที่สุดจะต้องเป็นการจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน โดยบูรณาการทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องผ่านกระบวนการดำเนินงานที่มีประชาชนมีส่วนร่วม จึงเป็นกระบวนการที่มีความจำเป็นเร่งด่วนเพื่อบรรเทาปัญหาการทำลายป่า และป่าเสื่อมโทรม เพื่อให้ระบบนิเวศป่าไม้ยังคงเป็นกันชนธรรมชาติต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศให้แก่มนุษยชาติต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กณิตา ธนเจริญชณภาส. (2558). *การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก : ผลกระทบและการตอบสนองของสรีรวิทยาระบบนิเวศ.* พิษณุโลก: โรงพิมพ์พิษณุโลกดอทคอม.

กณิตา ธนเจริญชณภาส นเรศ ขำเจริญ โอรส รักชาติ และ ภาวัช วิจารัตน์. (2563). ผลของการเพิ่มระดับอุณหภูมิตามแนวโน้มภาพฉายอนาคต RCP4.5 และ RCP8.5 ที่มีต่อปริมาณผลผลิตสตาร์ช และค่าความหวานของข้าวไทย: พันธุ์ กข29 และไรซ์เบอรี่. *วารสารเกษตรนเรศวร*, 17(1), 1-21.

สำนักงานเลขานุการของคณะกรรมการยุทธศาสตร์ชาติ. (2561). *ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ.2561-2580 (ฉบับประกาศพระราชกิจจานุเบกษา.* กรุงเทพฯ:สำนักงานคณะกรรมการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2561). *วิกฤตป่าไม้ไทย ผลักดันยุทธศาสตร์ชาติ*. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (สำนักงานใหญ่).

Brack, D. (2019). *Background Analytical Study Forests and Climate Change*. New York, United States: United Nation.

CBD. (2009). *Connecting biodiversity and climate change mitigation and adaptation: Report of the second Ad Hoc technical expert group on biodiversity and climate change*. Montreal Canada: CBD technical series No. 41, Secretariat of the Convention on Biological Diversity (CBD).

Ceulemans, R. I., Janssens, A., & Jach, M.E. (1999). Effects of CO_2 enrichment on trees and forests: Lessons to be learned in view of future ecosystem studies. *Annals of Botany*, 84, 577–590.

Ciais, P., C. Sabine, G. Bala, L. Bopp, V. Brovkin, J. Canadell, A. Chhabra, R. DeFries, J. Galloway, M. Heimann, C. Jones, C. Le Quéré, R.B. Myneni, S. Piao, & P. Thornton. (2013). *Carbon and Other Biogeochemical Cycles', in Climate Change 201,3: The Physical Science Basis – Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom: Cambridge University Press.

Cox, P.M., Betts, R.A., Jones, C.D., Spall, S.A. & Totterdell, I.J. (2000). Acceleration of global warming due to carbon- cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408(6809), 184-187.

Curtis, P.G., Slay, C.M., Harris, N., Tyukavina, A., & Hansen, M.C. (2018). Classifying drivers of global forest loss. *Science,* 361(6407), 1108-1111.

Doerr, S.H., & Santín, C. (2018). *Why wildfires are breaking out in the 'wrong' countries,* BBC News (31 July 2018). From https://www.bbc.com/news/world-44941999 (Assessed 05 Oct 2020)

Ellison, D. (2018). *Forests and Water (Background analytical study prepared for the thirteenth session of the United Nations Forum on Forests*. New York, United States: United Nations Forum on Forests

FAO. (2015). *Global Forest Resources Assessment 2015: Food and Agriculture Organization of United Nations, How have the world's forest changed*. Rome, Italy: United Nation.

FAO & UNEP. (2020). *The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FRA. (2020). Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Federici, S., Grassi, G., Harris, N., Lee, D., Neeff, T., Penman, J., Sánchez, M.J.S. & Wolosin, W.M. (2016). *GHG fluxes from forests: An assessment of national reporting and independent science in the context of the Paris Agreement*, *working paper,* Climate and land use alliance. From file:///C:/Users/It-Station/Downloads/Documents/GHG_forest_fluxes-main-paper.pdf (Assessed 01 Oct 2020)

Hare, B., Roming, N., Schaeffer, M., & Schleussner, C.F. (2016). *Implications of the 1.5 ℃ limit in the Paris agreement for climate policy and decarbonization.*Berlin, Germany: Climate Analytics, gGmBh,

IPCC. (2000). *IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change And Forestry.* United Kingdom: Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.* Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change United Kingdom: Cambridge University Press, Cambridge.

Kongmeesup, I. (2015). *0ptimization of cutting rotation of teak plantation for increasing carbon storage*. A Thesis for doctor of philosophy degree in natural resources and environment: Naresuan University. 10-11.

Linnakoski, R., Kasanen, R., Dounavi, A., & Forbes, K.M. (2019). Editorial: Forest health under climate change: Effects on tree resilience, and pest and pathogen dynamics. *Frontiers in Plant Science*, 10(1157). 1-3.

Locatelli, B. (2016). Ecosystem services and climate change, in Potschin, M. (eds.), *Routledge Handbook of Ecosystem Services*.

Porkin, G. (2019). The forest question trees are supposed to slow global warming, but growing evidence suggests they might not always be climate saviors. *Nature*, 565, 281-282.

Quéré, C.L. (2018). Global carbon budget 2018. *Earth System Science Data*, 10, 2141-2194.

Sarmiento, F.L., & Gruber, N. (2002). Sinks for Anthropogenic carbon. *Physics today*, 55(8). 30-36.

Seymour, F. & Busch, J. (2016). The science, economics, and politics of tropical forests and climate change, Center for global development. Washington DC, USA.

Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Benito, D.M., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M.J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T.A., & Reyer, C.P.O. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7, 395–402.

Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., & Mosseler, A. (2009). *Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems.* Montreal, Canada: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.

United Nations. (2017). *Resolution adopted by the Economic and Social Council on 20 April 2017: United Nations strategic plan for forests 2017– 2030 and quadrennial programme of work*. New York, United States: United Nations Forum on Forests for the period 2017–2020 (E/RES/2017/4, July 2017).

USDA Forest Service. (2018). *Forest Inventory and Analysis national program: Data and tools. Accessed March 2017*.New York, United States:United States Forest Service.

Yang, J., Tian, H., Tao, B., Ren, W., Kush, J., Liu, Y., & Wang, Y. (2014). Spatial and temporal patterns of global burned area in response to anthropogenic and environmental factors: Reconstructing global fire history for the 20th and early 21st centuries. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 119(3), 249-263.