Project No. CRRP2020-04MY-Sethi

การประยุกต์ใช้เครื่องมือ ICLAP เพื่อส่งเสริมการวางแผนสภาพภูมิอากาศบนพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของเมืองในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก

Mahendra Sethi [a,*] , Shilpi Mittal [a], Eva Ayaragarnchanakul [b,c] , Ram Avtar [d] , Li-jing Liu [e,f], Aki Suwa [g], Akhilesh Surjan [h]

[a] Indian Society for Applied Research & Development, New Delhi 110092, India
[b] Department of Economics, Prince of Songkla University, Songkhla 90110, Thailand, eva.a@psu.ac.th
[c] Sustainability Economics of Human Settlements, Technical University Berlin, Berlin 10623, Germany
[d] Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Sapporo 060-0810, Hokkaido, Japan; ram@ees.hokudai.ac.jp
[e] Center for Energy and Environmental Policy Research, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; liulijing@bit.edu.cn
[f] School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China
[g] Faculty of Contemporary Society, Kyoto Women's University, Kyoto 605-8501, Japan; suwa@kyoto-wu.ac.jp
[h] Humanitarian, Emergency and Disaster Management Studies Program, Charles Darwin University, Darwin NT 0810, Australia; akhilesh.surjan@cdu.edu.au

* **Correspondence: mahendrasethi@hotmail.com**

บทคัดย่อ

ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีส่วนสนับสนุนและผลพวงมาจากแก๊สเรือนกระจกทั่วโลก
หากแต่มีข้อตกลงที่ชัดเจนในหมู่นักวิทยาศาสตร์ว่าความท้าทายเรื่องภาวะโลกร้อนที่ 2°C
สามารถจัดการได้ด้วยความร่วมมือกันระหว่างหลายภาคส่วนและระดับการปกครอง อย่างไรก็ตาม
เราตระหนักดีว่าธรรมาภิบาลด้านสภาพอากาศในท้องถิ่นนั้นเต็มไปด้วยความซับซ้อน
เนื่องจากการความสัมพันธ์กันของตัวแปรที่แตกต่างกันจำนวนมาก เช่น ส่วนเบี่ยงเบนของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน (precipitation) ในสถานที่ที่แตกต่างกัน
สถานการณ์แก๊สเรือนกระจกภายใต้เส้นตัวแทนความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ RCPs (Representative Concentration Pathways) และช่วงเวลาที่แตกต่างกัน
ตลอดจนการทดลองใช้วิธีการแก้ไขปัญหาสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง
โดยหน่วยงานในระดับเมือง ด้วยเหตุผลดังกล่าว
จึงมีความจำเป็นในการพัฒนาเครื่องมืออัจฉริยะที่มีความสามารถในการบูรณาการข้อมูลที่หลากหลายและซับซ้อนเช่นนี้
เพื่อประมวลผลให้กับรัฐบาลท้องถิ่นเพื่อทำการตัดสินใจตามหลักฐานเชิงประจักษ์เกี่ยวกับการริเริ่มนโยบายด้านสภาพภูมิอากาศในอนาคต *เครื่องมือการวางแผนการดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศแบบบูรณาการปี 2050* หรือ *Integrated Climate Action Planning* (ICLAP) เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ได้รับการออกแบบสำหรับเมืองที่มีประชากรมากกว่า 5 ล้านคนในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก
โดยพิจารณาถึงความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในอนาคตและสถานการณ์การปล่อยแก๊สเรือนกระจกในระยะยาว
พร้อมทั้งรายงานเกี่ยวกับการแก้ปัญหาสภาพภูมิอากาศของเมืองต่างๆทั่วโลกอย่างเป็นระบบ
งานวิจัยชิ้นนี้มีประโยชน์ในการปรับปรุงการแก้ปัญหาสภาพภูมิอากาศในแต่ละเมืองและนโยบายพัฒนาเมืองระดับชาติ
ควบคู่ไปกับการส่งเสริมความร่วมมือด้านการวิจัยด้านสภาพภูมิอากาศระดับนานาชาติและระดับภูมิภาค

คำสำคัญ: การวิจัยสภาพภูมิอากาศในเมือง, การวางแผนปฏิบัติการด้านสภาพภูมิอากาศแบบบูรณาการ (integrated climate action plan) ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ, เอเชียแปซิฟิก, แก๊สเรือนกระจก

ไฮไลท์

- เครื่องมือ ICLAP ถูกออกแบบมาสำหรับเมืองในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกที่มีประชากรตั้งแต่ 5 ล้านคนขึ้นไปจำนวน 49 แห่ง
- เครื่องมือดังกล่าวรายงานผลการพยากรณ์แก๊สเรือนกระจกในอนาคตของแต่ละเมือง ความแปรปรวนของสภาพอากาศในภูมิภาค และแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุด (best practice) ระดับโลก
- วิธีการประมาณค่าใช้การบูรณาการระหว่างการรวมรวมบรรณาณุกรม (bibliometric) การวิเคราะห์ทางสถิติ และวิธีการเชิงพื้นที่
- เครื่องมือนี้ช่วยให้นักวิจัย ผู้ออกแบบนโยบาย และหน่วยงานที่ดูแลเมือง ออกแบบนโยบายที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานทางวิทยาศาตร์
- เครื่องมือนี้มีประโยชน์ในระดับเมือง ระดับภูมิภาค และระดับโลก ในการสร้างขีดความสามารถและความร่วมมือด้านสภาพภูมิอากาศ

1. บทนำ

จากข้อมูลล่าสุดที่รวบรวมโดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization: WMO) พบว่าจากปี 2558 ถึง 2565 เป็น 8 ปีที่มีอุณหภูมิร้อนที่สุดในประวัติศาสตร์ย้อนหลังไปถึงปี 2393 อุณหภูมิเฉลี่ยทั่วโลกในปี 2565 อยู่ที่ 1.15 (± 0.13) °C สูงกว่าช่วงก่อนยุคอุตสาหกรรมดังเช่นปี 2393-2443 โดยเฉลี่ย (WMO 2022) แนวโน้มของภาวะโลกร้อนและแนวโน้มอื่นๆของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาวคาดว่าจะดำเนินต่อไป อันเป็นผลมาจากระดับแก๊สเรือนกระจกที่ดักจับความร้อน (heat-trapping GHG) ในชั้นบรรยากาศเป็นประวัติการณ์ ในขณะเดียวกัน ข้อตกลงปารีสเรียกร้องให้ทุกประเทศพยายามมุ่งสู่ขีดจำกัดของภาวะโลกร้อนที่ 1.5°C ผ่านการดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศร่วมกันตามการมีส่วนร่วมที่กำหนดโดยแต่ละชาติ (Nationally Determined Contributions: NDC) ที่สมจริง กล่าวคือ แต่ละประเทศมีการวางแผนที่จะชะลอภาวะโลกร้อนของประเทศนั้นๆ ในขณะที่ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีส่วนสนับสนุนและผลพวงจากแก๊สเรือนกระจกทั่วโลก นอกจากนี้ยังมีข้อตกลงระดับสูงในหมู่นักวิทยาศาสตร์ว่าภาวะโลกร้อนสามารถจัดการได้ด้วยความร่วมกันที่กระจายไปยังระดับนานาชาติ ระดับภาคส่วน และระดับการปกครอง (UN 2015, UNFCCC 2015, IPCC 2018) อีกด้วย ภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกเป็นสัดส่วนสำคัญในเชิงจำนวนประชากรโลก เป็นหนึ่งในภูมิภาคที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วที่สุด และมีส่วนก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจก (greenhouse gases: GHGs) เกินครึ่งหนึ่งของโลก ภูมิภาคนี้ยังมีเมืองที่ราบต่ำส่วนใหญ่ของโลกและรัฐที่เป็นเกาะเล็กๆที่เปราะบางอีกด้วย สัปดาห์สภาพภูมิอากาศแห่งเอเชียแปซิฟิกปี 2564 (Asia-Pacific Climate Week 2021) ซึ่งจัดขึ้นในช่วงการประชุม COP26 แสดงให้เห็นว่าแต่ละภูมิภาคเผชิญกับความท้าทายที่โดดเด่นในการบรรลุเป้าหมายสภาพภูมิอากาศโลกอย่างไร (UNFCCC 2021) สภาพอากาศสุดขั้วในช่วงนี้มีความรุนแรงและมีความถี่ที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดไฟป่า พายุไซโคลน และน้ำท่วมในอินเดีย ปากีสถาน ญี่ปุ่น จีน อินโดนีเซีย ออสเตรเลีย ฯลฯ การพลัดถิ่นของประชากรจำนวนมากเป็นการเน้นย้ำถึงความจำเป็นในการจัดการกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศผ่านการประยุกต์ใช้ทางออก (solution) ที่สร้างสรรค์และใช้งานได้จริง นอกจากนี้ยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ว่ารัฐบาลท้องถิ่นในภูมิภาคกำลังเผชิญกับความท้าทายสามประการ (three-pronged challenge) ในการรับประกันการพัฒนาเศรษฐกิจเพื่อปรับปรุงมาตรฐานการครองชีพ การลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจก และการลดมลพิษทางอากาศในเมือง ขณะเดียวกันก็ต้องปกป้องประชากรจากภัยพิบัติที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Farzaneh 2019)

ในความเป็นจริง ความรู้ที่เมืองต่างๆมีเกี่ยวกับสถานการณ์สภาพภูมิอากาศนั้นมีความซับซ้อน ไม่แน่นอน/แปรปรวน และมีการกระจายตัวในระดับสูง (Sethi et al. 2021) ในงานวิจัยชิ้นนี้ คณะวิจัยได้ทบทวนแผนปฏิบัติการด้านสภาพภูมิอากาศ (Climate Action Plans: CAPs) ที่กำลังดำเนินอยู่ใน 17 เมือง (โตเกียว โอซาก้า ปักกิ่ง เซี่ยงไฮ้ กวางโจว เทียนจิน เซินเจิ้น นิวเดลี มุมไบ โกลกาตา เบงกาลูรู เชนไน สิงคโปร์ กรุงเทพฯ มะนิลา ซิดนีย์ และเมลเบิร์น) ที่ตั้งอยู่ใน 7 ประเทศในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก (ออสเตรเลีย จีน อินเดีย ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ และไทย) เพื่อประเมินนโยบายแบบแบ่งออกเป็นส่วนๆ (disintegration) และจัดการความพร้อมของข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเมืองต่างๆ (Sethi et al. 2022) ทั้งนี้ การวิจัยสภาพภูมิอากาศในเมืองเต็มไปด้วยความซับซ้อน เนื่องจากความสัมพันธ์กันของตัวแปรที่แตกต่างกันจำนวนมาก เช่น ความเบี่ยงเบนของอุณหภูมิหรือปริมาณน้ำฝน (precipitation) และสถานการณ์ GHG ภายใต้เส้นตัวแทนความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ RCPs (Representative Concentration Pathways) และช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ตลอดจนแนวทางการแก้ปัญหาสภาพภูมิอากาศและเครื่องมือกำกับดูแลที่แตกต่างกันทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งโดยหน่วยงานระดับท้องถิ่นในเมืองต่างๆ (Sethi et al. 2021) สิ่งนี้เป็นตัวกำหนดให้มีการออกแบบเครื่องมือในการตัดสินใจที่มีความสามารถในการบูรณาการข้อมูลที่ซับซ้อนและหลากหลายดังกล่าว และประมวลผลเพื่อให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจวางกรอบนโยบายสภาพภูมิอากาศในเมืองตามหลักฐานเชิงประจักษ์ ด้วยเป้าหมายนี้ คณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนา*เครื่องมือการวางแผนการดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศแบบบูรณาการ* หรือ *Integrated Climate Action Planning* (ICLAP) ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษสำหรับเมืองที่มีประชากรมากกว่า 5 ล้านคนในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก ซึ่งพิจารณาความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในระยะยาวและสถานการณ์การปล่อยแก๊สเรือนกระจก พร้อมกับรายงานการแก้ปัญหาสภาพภูมิอากาศอย่างเป็นระบบของเมืองต่างๆทั่วโลก ในบทความวิจัยชิ้นนี้ คณะผู้วิจัยได้แนะนำกรอบระเบียบวิธีและการวิเคราะห์หลักของเครื่องมือ ICLAP โดยเน้นที่องค์ประกอบเชิงพื้นที่ สถิติ และบรรณานุกรมเป็นหลัก (ส่วนที่ 2 ระเบียบวิธีวิจัย) เรายังแสดงให้เห็นเพิ่มเติมว่ากรอบการทำงานนี้ถูกนำไปใช้อย่างไร (ส่วนที่ 3 ผลการวิเคราะห์และอภิปราย) เพื่อแสดง (3.1) แนวทางปฏิบัติระดับโลกในด้านสภาพภูมิอากาศในเมือง (3.2) ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศและทิศทางการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในอนาคตในระดับเมือง (3.3) ผลกระทบระดับภูมิภาคของผลลัพธ์ดังกล่าว ตามด้วยการอภิปรายเกี่ยวกับ (3.4) วิธีแก้ปัญหาสภาพภูมิอากาศในเมืองที่เป็นไปได้สำหรับเมืองต่างๆ ในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก งานวิจัยนี้สรุปด้วยการตีความผลการวิจัยที่สำคัญและข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย (ส่วนที่ 4) เพื่อส่งเสริมธรรมาภิบาลในระดับต่างๆของสภาพภูมิอากาศตามหลักฐานเชิงประจักษ์ในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก

2. ระเบียบวิธีวิจัย

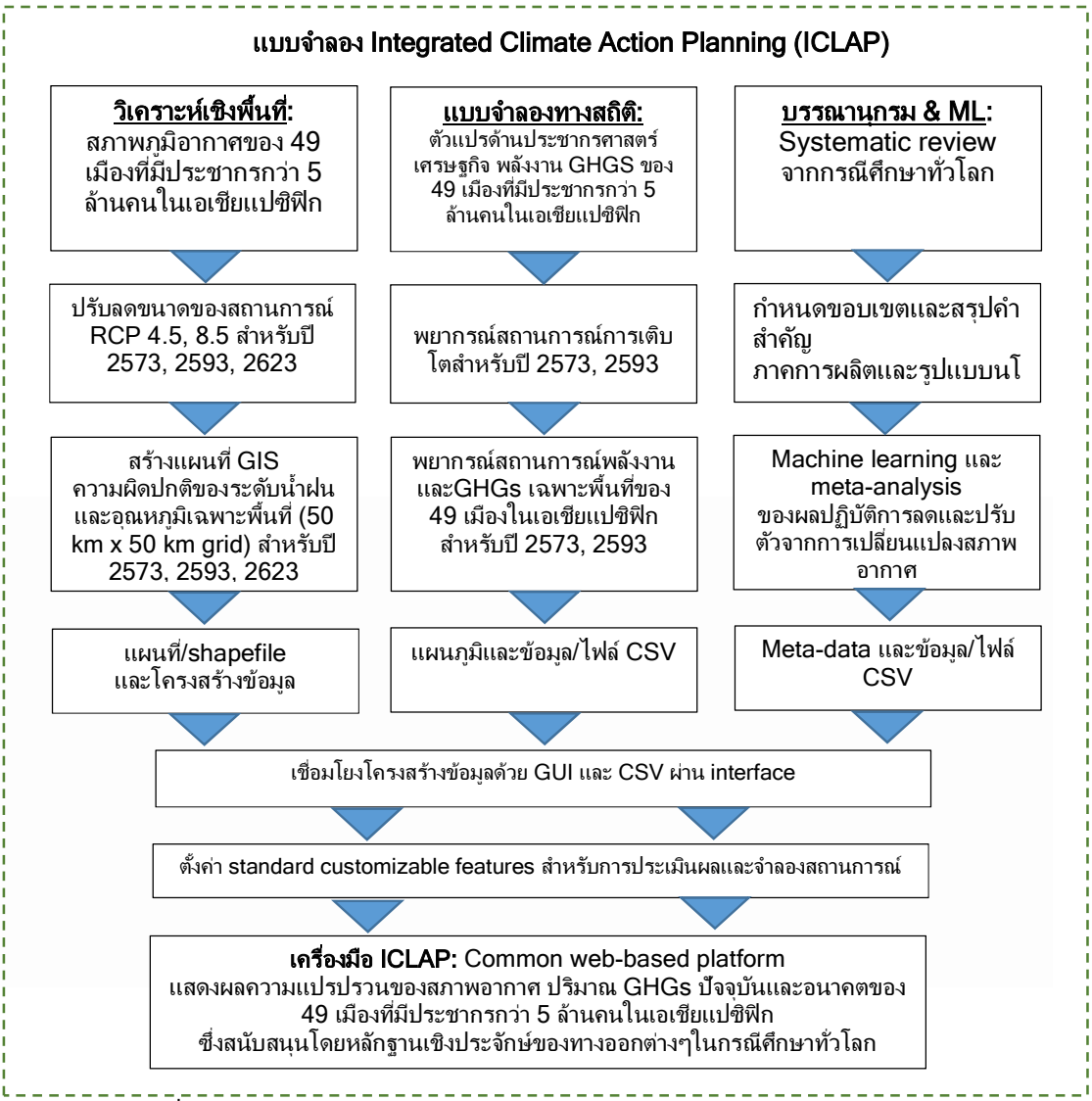
แนวคิดของการวางแผนบูรณาการเพื่อมุ่งสู่การดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศได้รับการยอมรับแล้วในข้อตกลงปารีส (UNFCCC 2015) และรายงาน AR5 (The Fifth Assessment Report) ของ UNFCCC (IPCC 2014) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเขตเมืองมีลักษณะที่ซับซ้อนมากและต้องใช้แนวทางที่เป็นระบบเพื่อประเมินความเชื่อมโยงต่อกัน ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา

มีความก้าวหน้าในการเตรียมการและการใช้เครื่องมือและแบบจำลองสภาพอากาศในเมืองอย่างเห็นได้ชัด เช่น ในทวีปยุโรป จากประชากรในเมืองกว่า 300 ล้านคน มีตัวแทนเข้าร่วมพันธสัญญาของนายกเทศมนตรี (Covenants of Mayors) จำนวนถึง 10,774 คน นอกจากนี้ เมืองต่างๆกำลังริเริ่มการแบ่งปันความรู้ด้านสภาพภูมิอากาศผ่านฐานข้อมูล Good Practices ซึ่งบันทึกประวัติของเมือง กรณีศึกษา วิถีทัศน์ของโครงการที่ประสบความสำเร็จ ฯลฯ (Covenants of Mayors 2021) เป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่ายสำหรับผู้มีอำนาจตัดสินใจและผู้วางแผนนโยบายในการเผยแพร่ข้อมูลการดำเนินการด้านสภาพอากาศเกี่ยวกับเมืองอื่นๆอย่างมหาศาล รัฐบาลท้องถิ่นทั่วโลกเพื่อความยั่งยืน (Local Governments for Sustainability) ที่รู้จักกันในชื่อ ICLEI ได้จัดเตรียมเครื่องมืออัจฉริยะหลายแบบสำหรับการวางแผนสภาพภูมิอากาศในเมือง (ICLEI 2021) เช่น ซอฟต์แวร์ Clean Air and Climate Protection (CACP) ฐานข้อมูลการปรับตัวและเครื่องมือการวางแผน (ADAPT) และ HEAT+ ยิ่งกว่านั้น C40-Cities ได้ริเริ่มเครื่องมืออัจฉริยะที่สนับสนุนให้เมืองต่างๆเข้าใจถึงความเชื่อมโยงระหว่างการปรับตัวต่อสภาพภูมิอากาศและการบรรเทาผลกระทบในการร่วมกันบรรเทาความเสี่ยงที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศเมื่อเร็วๆนี้อีกด้วย (C40-Cities 2021) การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้งานได้จริงและหลากหลายแง่มุมสำหรับการประเมินสภาพภูมิอากาศในเมืองถือเป็นงานที่ซับซ้อนมาก เครื่องมืออัจฉริยะที่มีจุดประสงค์ในการชี้แนะการตัดสินใจเกี่ยวกับสภาพอากาศของเมืองในภูมิภาคต่างๆอย่างครอบคลุมจะต้องเป็นการบูรณาการกันระหว่างภาคส่วนการทำงานและวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่แตกต่างกัน

ในแง่ของวิธีการ
การวางแผนสภาพภูมิอากาศตามหลักฐานเชิงประจักษ์ในบริบทของเมืองมีลักษณะเฉพาะด้วยแนวทางที่แตกต่างกัน 3 ประการ (Sethi et al. 2021) อันได้แก่ (1) *กรณีศึกษา (case studies) หรือบรรณานุกรม (bibliometrics)* ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินเชิงคุณภาพอย่างละเอียดในบริบทเฉพาะหรือการการปรับใช้ของเมืองใกล้เคียงกัน (peer practices) (2) *การวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical analytics)* ที่ขึ้นอยู่กับการประมาณการทางประชากรศาสตร์และเศรษฐกิจ รวมถึงการทำนายระดับพลังงานและแก๊สเรือนกระจก ที่สามารถนำไปสู่นโยบายการพัฒนาแบบคาร์บอนต่ำได้ (3) *แนวทางเชิงพื้นที่ (spatial approach)* ที่ประเมินความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศหรือความเปราะบางในการจัดการภัยพิบัติครอบคลุมไปยังความต้องการปรับตัวและการสร้างความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยใช้ ICLAP ซึ่งเป็นแบบจำลองการตัดสินใจที่ผสมผสานวิธีการเชิงพื้นที่ สถิติ และบรรณานุกรม (รูปที่ 1) ขณะเดียวกันก็เชื่อมโยงการบรรเทาผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การปรับตัว และวิทยาการข้อมูล (data science) (APN 2021) แบบจำลองนี้ใช้วิธีการบูรณาการเพื่อรายงานตัวเลือกทางนโยบายโดยพิจารณาจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ (ของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน) ที่ลดลง (สำหรับปี 2573, 2593, 2623) สถานการณ์ (scenarios) ที่จัดทำขึ้นโดยเฉพาะสำหรับการบรรเทาผลกระทบ และผลลัพธ์จากการแก้ปัญหาสภาพภูมิอากาศจากข้อมูลจริง (post-facto climate solutions) ในเมืองต่างๆที่มีระบบและระเบียบสูง รวมไปถึงการเชื่อมต่อทางดิจิทัล (digital interphase) ที่โปร่งใสและใช้งานง่าย (Sethi et al. 2022) ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. <u>เชิงพื้นที่ - การลดขนาดสถานการณ์สภาพภูมิอากาศและการทำแผนที่ GIS ของความแปรปรวน</u>:
เพื่อคาดการณ์ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในระดับเมือง-ภูมิภาค
ความเบี่ยงเบนของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิจากปกติจะถูกลดขนาดลงจากสถานการณ์ MICROC6 ทั่วโลกหรือระดับภูมิภาค สถานการณ์ SSP245 (RCP 4.5) และ สถานการณ์ SSP585 (RCP 8.5) สำหรับปี 2573, 2593 (Saraswat et al. 2559) และแม้กระทั่งจนถึงปี 2623 ซึ่งท้ายที่สุดก็มีความสำคัญอย่างยิ่งในการชี้แนะทางเลือกในการปรับตัว
2. <u>เชิงสถิติ - การวิเคราะห์แนวโน้มของตัวบ่งชี้เมืองและการพยากรณ์แก๊สเรือนกระจก</u>:
เป้าหมายการลดความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศจะได้รับการสนับสนุนจากการคาดการณ์แก๊สเรือนกระจก (สำหรับสถานการณ์ตามปกติ (business-as-usual: BAU) โดยมีขีดจำกัดบนและล่าง)
และคลังข้อมูลในเมืองที่ครอบคลุมประชากร เศรษฐกิจ การใช้พลังงานในการขนส่ง สิ่งก่อสร้าง เกษตรกรรม/การใช้ประโยชน์ที่ดิน ของเสีย (waste) และแก๊สเรือนกระจกที่เกี่ยวข้อง สำหรับปี 2573 และ 2593 (Fujimori et al. 2014)
ข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ในการริเริ่มความคิดในการลดความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ
3. <u>เชิงบรรณานุกรม - การวิเคราะห์อภิมาน (meta-analysis) จากหลักฐานในกรณีศึกษา</u>:
มีการดึงข้อมูลและใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (machine-learning: ML) เพื่อทบทวนวรรณกรรมจากกรณีศึกษาทั่วโลกจำนวน 644 กรณีที่เกี่ยวกับการปฏิบัติการด้านสภาพภูมิอากาศเฉพาะพื้นที่ (local climate action) อย่างเป็นระบบ หรือที่เรียกว่า systematic review โดยใช้ฐานข้อมูล Google Scholar และ Web of Science เพื่อทำการวิเคราะห์บรรณานุกรม
วิธีการดังกล่าวเป็นไปตามแนวทางการแก้ปัญหานโยบายที่สำคัญในการวิเคราะห์อภิมาน (Sethi et al. 2020, Lamb et al. 2018, Lamb et al. 2019) พร้อมทั้งเขียนโค้ดสำหรับภาคการผลิตแก๊สเรือนกระจกที่หลากหลาย (ภาคพลังงาน อุตสาหกรรม การขนส่ง การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน-สิ่งปกคลุมดิน ของเสีย ฯลฯ) ประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (relative efficiency) และรูปแบบการกำกับดูแลเพื่อนำไปใช้งานจริง (UN-Habitat 2011) เช่น การออกกฎบังคับ การสร้างกลไกที่เอื้ออำนวย (enabling mechanism) การใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ และการออกมาตรการที่อาศัยความสมัครใจ

คณะผู้วิจัยใช้ชุดข้อมูลประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองตามมาตรฐาน World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (UNDESA 2019) ส่วนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเมือง เช่น พื้นที่ที่ดิน พื้นที่สีเขียว พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง ผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ (GDP) ฯลฯ นั้นถูกรวบรวมมาจากชุดข้อมูล เช่น Global Human Settlement Layer Urban Centers Database (Florczyk 2019) สำหรับข้อมูลแก๊สเรือนกระจกของแต่ละเมืองถูกดึงมาจาก EDGAR v4.3.2 เช่น Emissions Database for Global Atmospheric Research (Crippa et al. 2018) ที่รายงานแก๊สเรือนกระจกที่เกิดจากการกิจกรรมของมนุษย์ (anthropogenic GHGs) (2513-2555) ซึ่งครอบคลุมถึง ไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO2) จากกิจกรรมการผลิตที่แตกต่างกันซึ่งเป็นไปตามคำจำกัดความหรือรหัสมาตรฐานภาคอุตสาหกรรม (IPCC 1996) อันเป็นแนวทางการปฏิบัติด้วยวิธีจากล่างขึ้นบน (bottom-up)
เพื่อให้มั่นใจถึงความสม่ำเสมอและความสามารถในการเปรียบเทียบได้ของข้อมูลดังกล่าว



รูปที่ 1: แบบจำลอง Integrated Climate Action Planning (ICLAP)

3. ผลการวิเคราะห์และอภิปราย

3.1 แนวทางปฏิบัติทั่วโลกของสภาพอากาศในเมือง: ใช้ systematic review เพื่อหาแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุด (best practices) ผ่านการวิเคราะห์บรรณานุกรมด้วย machine-learning ตรวจพบวิธีแก้ปัญหาสภาพภูมิอากาศแปรปรวนหลายประการที่มีการใช้ในเมืองต่างๆทั่วโลก จากงานศึกษาจำนวน 644 งาน มี 88 กรณีในการแก้ปัญหาสภาพภูมิอากาศแปรปรวน 41 รายการที่ให้ข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อประเมินศักยภาพในการลดแก๊สเรือนกระจก คณะผู้วิจัยจัดอันดับศักยภาพด้านอุปสงค์ในการลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเปรียบเทียบกับสถานการณ์ตามปกติ (BAU) ตามที่กำหนดไว้ในงานศึกษาแต่ละชิ้น ผลลัพธ์ที่ได้นั้นแตกต่างกันไปตั้งแต่ 5.2 ถึง 105% ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงรายงานผลโดยแบ่งออกเป็น 4 ชุด (จากศักยภาพของวิธีการในการลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่ำสุดไปสูงสุด)

ศักยภาพต่ำสุด (จนถึง 26.25%): การจัดตั้งระบบข้อมูลอาคาร, อาคารสีเขียว, มิเตอร์อัจฉริยะ/ระบบควบคุมอัจฉริยะ/เครื่องควบคุมอุณหภูมิ, รูปแบบเมือง (urban form), การออกแบบเมือง, การวางผังเมือง, การออกแบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Passive, การติดตามผล, การใช้พลังงานชีวมวล, การแปลงแก๊สชีวมวล, การออกแบบมาตรการวัดประสิทธิภาพพลังงาน, ระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent transportation systems: ITS), ไบโอดีเซล/เอธานอล, การติดตั้งกันสาดหรือที่บังแดด, การผลิตพลังงานแบบ cogeneration และ tri-generation (เฉพาะฤดูหนาว), การเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงหรือเปลี่ยนผ่านเทคโนโลยี, เมืองปลอดรถยนต์, การใช้พลังงานแสงอาทิตย์, การติดตั้งสวนบนหลังคา (สำหรับเมืองที่มีละติจูดสูง), การจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่หรือจากพลังงานที่หมดสภาพ, การปลูกป่าและการขยายพื้นที่สีเขียว, grid อัจฉริยะ, การออกแบบหลังคา/อาคารที่เย็นสบาย, และการทำความร้อน/ความเย็นแบบรวมศูนย์ (district heating/cooling)

ศักยภาพปานกลาง (26.25-52.5%): การใช้พลังงานลม, การขยายระบบขนส่งสาธารณะ, ทางออกรวมกันของภาคอาคาร พลังงานและการขนส่ง (B+E+T), การผลิตพลังงานแบบ cogeneration และ tri-generation (สำหรับในเมืองหรือเขตเมือง) การนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้, การปั๊มความร้อนใต้พิภพ, การระบายความร้อนและฉนวนกันร้อน, การพัฒนาที่มุ่งเน้นการขนส่ง (transport oriented development: TOD), การทำปุ๋ยหมักและการบำบัดทางชีวภาพของเสีย, การปรับปรุงอาคารเก่า, การออกแบบหลังคา/อาคารที่เย็นสบาย, การติดตั้งสวนบนดาดฟ้า (สำหรับเมืองที่มีละติจูดต่ำ), การติดตั้งกันสาดหรือที่บังแดด, การประเมินวงจรชีวิต (life cycle assessment: LCA), การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการด้านอุปสงค์ (Demand side management: DSM), การเปลี่ยนแปลงเวลาใช้พลังงานสูงสุด (peak shifting), การจัดการอุปสงค์ของการเดินทาง (travel demand management) ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ศักยภาพสูงกว่า (52.5-78.75%) ได้แก่ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบ tri-generation concentrating photovoltaic/thermal (CPVT), การใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ (energy efficiency: EE) ร่วมกับ PV, การติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Photovoltaic (PV), การส่งเสริมให้ใช้ขนส่งสาธารณะ, การจัดการขยะแบบผสมผสาน, การใช้ EE ร่วมกับพลังงานหมุนเวียน (renewable energy: RE) และยานพาหนะไฟฟ้า (electric vehicle: EV)

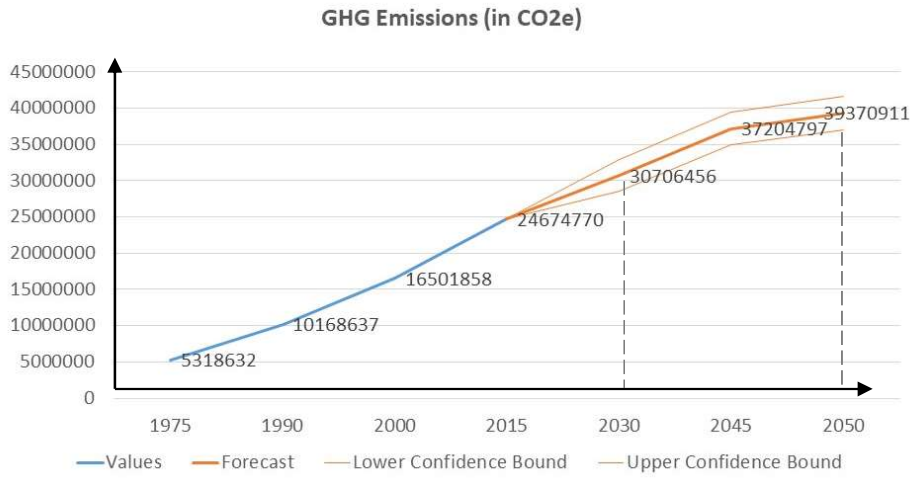
ศักยภาพสูงสุด (78.75-105%): ยานพาหนะไฟฟ้า (EV) และรถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV) ไม่ว่าจะเป็นยานพาหนะสาธารณะหรือส่วนตัว, อาคารปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (net zero emission building: NZEB), การผลิตพลังงานจากของเสีย (WtE/EfW) หรือ การแปลงของเสียเป็นพลังงาน

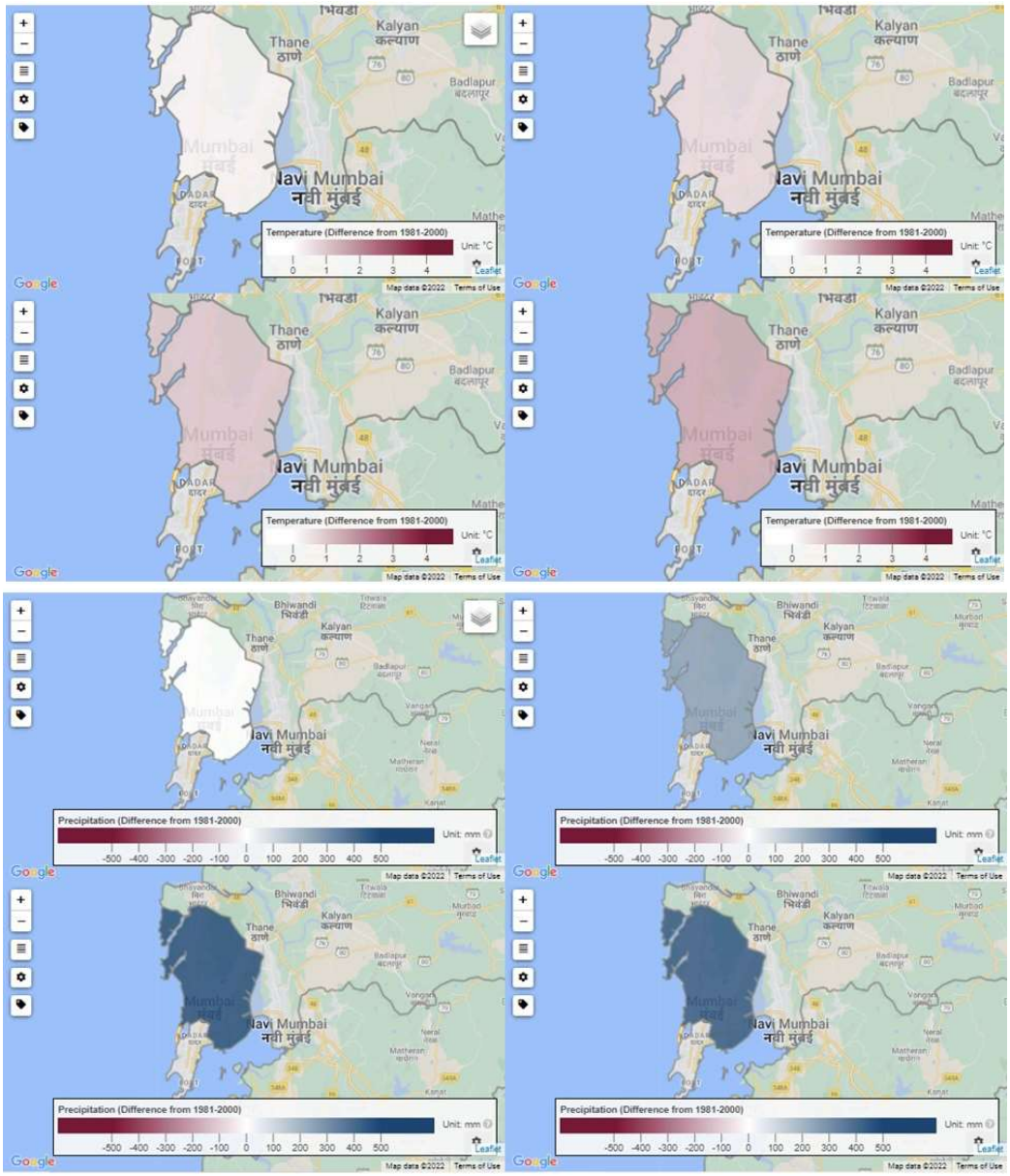
3.2 ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศและแนวทางการปล่อยแก๊สเรือนกระจกสำหรับ 49 เมืองในเอเชียแปซิฟิก

คณะผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลอง ICLAP เพื่อวิเคราะห์และรายงานความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศและทิศทาง (pathways) ของแก๊สเรือนกระจกสำหรับตัวอย่างเมืองในเอเชียแปซิฟิกจำนวน 49 แห่งที่มีประชากรมากกว่า 5 ล้านคน ผลลัพธ์สำหรับแต่ละเมืองมีการนำเสนอในรูปแบบของข้อมูลล่าสุดเกี่ยวกับการปล่อย GHGs ทิศทางของ GHGs ในอดีตและการพยากรณ์ GHGs ในอนาคตจนถึงปี 2573 และ 2593 (2 สถานการณ์) โดยอิงจาก BAU รวมถึงผลลัพธ์เชิงพื้นที่ของอุณหภูมิเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยภายใต้สถานการณ์ GHG ระดับปานกลาง (SSP2 4 5) จนถึงปี 2 573, 2 593, 2 623 (2 x3 = 6 สถานการณ์) พร้อมด้วยผลลัพธ์เชิงพื้นที่ของอุณหภูมิเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยภายใต้สถานการณ์ GHG ระดับสูง (SSP5 8 5) จนถึงปี 2 573, 2 593, 2 623 (2 x3 = 6 สถานการณ์) ดังนั้นนอกเหนือจากการรายงานสถานการณ์ปัจจุบันของแต่ละเมืองแล้ว ยังมีการนำเสนอสถานการณ์แก๊สเรือนกระจก 2 สถานการณ์ อุณหภูมิ 6 สถานการณ์ และปริมาณน้ำฝน 6 สถานการณ์ ในช่วงปี 2573-2593 เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น คณะผู้วิจัยได้รายงานผลลัพธ์สำหรับความแปรปรวนของอุณหภูมิ 3 สถานการณ์ ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน 3 สถานการณ์ และทิศทางของ GHGs สองสถานการณ์ (ภายใต้สถานการณ์ SSP245 ระดับปานกลาง) สำหรับเมืองมุมไบตามรูปที่ 2 ตามด้วยตารางที่ 1 ที่แสดงผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกันสำหรับเมืองตัวอย่างทั้งหมดในเอเชียแปซิฟิก

เมืองมุมไบ (Mumbai): การปล่อยแก๊สเรือนกระจกในเมืองมุมไบอยู่ที่ 5.3 MtCO2e ในปี 2518 เพิ่มขึ้นเป็น 10.2 MtCO2e ในปี 2533 และ 24.7 MtCO2e ในปี 2558 การปล่อยแก๊สเรือนกระจกส่วนใหญ่ในปี 2558 มีส่วนมาจากทั้งภาคพลังงาน (48%) และภาคอุตสาหกรรม (36%) ตามมาด้วยภาคที่อยู่อาศัย (9%) และภาคการขนส่ง (9%) ตามการประมาณการของแบบจำลอง ICLAP (รูปที่ 2) จะมีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกเพิ่มขึ้นที่ 3.9% ต่อปี ซึ่งนำไปสู่ระดับ 30.7 MtCO2e ในปี 2573 และ 39.4 MtCO2e ในปี 2593 ในสถานการณ์ GHGs ระดับปานกลาง (MIROC6_SSP245) ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในเมืองมุมไบมีการเพิ่มขึ้น 0.5°C ในช่วงปี 2573 (สูงกว่าอุณหภูมิขั้นพื้นฐาน (baseline) ในปี 2523) 0.7°C ในปี 2593 สูงสุดที่ 1.0°C ในช่วงปี 2560 และคงอยู่ต่อไปจนถึงปี 2623 (รูปที่ 3 ภาพบน) ในขณะเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในเมืองมุมไบแสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนระดับสูงในระยะยาว ตั้งแต่มากกว่า 200 มม. ในช่วงปี 2573 (เหนือปริมาณน้ำฝนขั้นพื้นฐานในปี 2523) ไปจนถึง 370 มม. ในปี 2593 ลดลงอีกครั้งเป็น 200 มม. ในช่วงปี 2603 และหลังจากนั้นก็ทรงตัวประมาณ 360 มม. ในช่วงประมาณปี 2613 - 2614 (รูปที่ 3 ภาพล่าง)

รูปที่ 2: กระประมาณค่า ICLAP ของแก๊สเรือนกระจกในปี 2573 และ 2593 สำหรับเมือง Mumbai





รูปที่ 3: ผลวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ย (ตามเข็มนาฬิกาจากซ้ายบน: ปัจจุบัน, 2573, 2593, 2623) ภายใต้สถานการณ์การปล่อยแก๊สเรือนกระจกระดับปานกลาง (SSP245) (บน) และภายใต้สถานการณ์การปล่อยแก๊สเรือนกระจกระดับสูง (SSP245) (ล่าง)

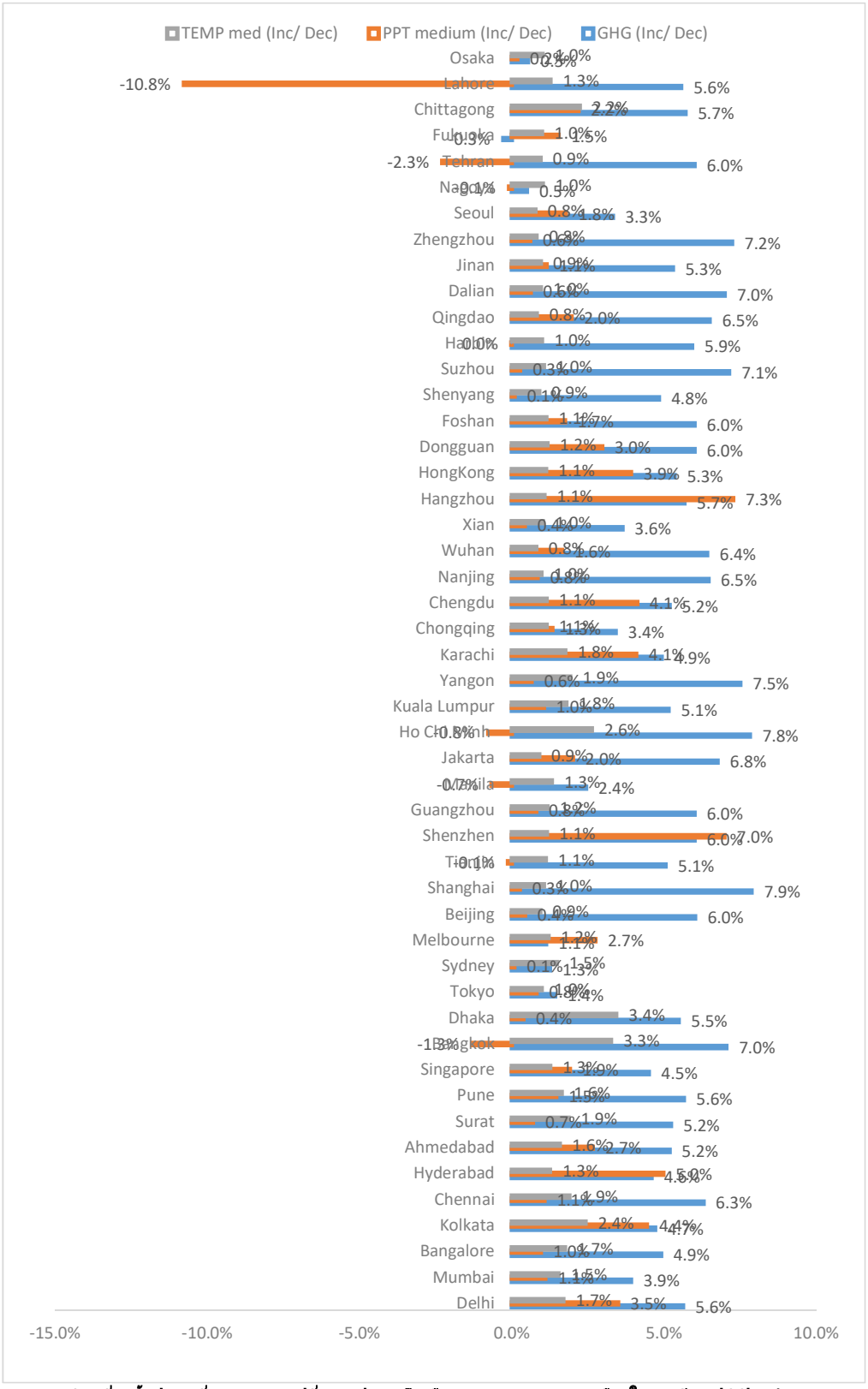
เมื่อจัดทำตารางผลลัพธ์สำหรับตัวอย่างทั้งหมดภายใต้สถานการณ์ SSP245 (ตารางที่ 1) พบว่าค่าเบี่ยงเบน GHGs ในเมืองต่างๆในเอเชียแปซิฟิกแตกต่างกันอย่างมากจาก -0.3% (เมืองฟุกุโอกะ) ถึง +7.9% (เมืองเซี่ยงไฮ้) ค่าเบี่ยงเบนอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเป็นบวกอย่างต่อเนื่องในทุกเมืองซึ่งเป็นหลักฐานสนับสนุนการเกิดภาวะโลกร้อนในภูมิภาค โดยมีขนาดแตกต่างกันไปตั้งแต่ 0.011°C (เมืองจาการ์ตา) ถึง 0.29°C (กรุงเทพฯ)

ตารางที่ 1:
การเปลี่ยนแปลงของแก๊สเรือนกระจก อุณหภูมิ และ น้ำฝน ของ 49 เมือง ภายใต้สถาณการณ์ SSP245

ในขณะเดียวกัน
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีมีความแปรปรวนจากช่วงปกติอย่างมาก จากการลดลง 2.221 มิลลิเมตรต่อปี (เมืองโฮจิมินห์) มาเป็นเพิ่มขึ้น 5.145 มิลลิเมตรต่อปี (เมืองฝั่วชาน)

เพื่อให้มีมุมมองเชิงเปรียบเทียบและมุมมองระยะยาวว่า GHGs อุณหภูมิเฉลี่ย
และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจะมีพฤติกรรมไปพร้อมกันในแต่ละเมืองอย่างไร
คณะผู้วิจัยจึงคำนวณอัตราการเติบโตต่อปีแบบทบต้น (compound annual growth rate: CAGR) สำหรับดัชนีทั้งสามตัว รูปที่ 4 แสดงการเติบโต/การลดลงแบบปีต่อปี (ในรูปแบบเปอร์เซ็นต์) จนถึงปี 2623 ทั้งนี้
การปล่อยแก๊สเรือนกระจกของเมือง 49 แห่งในเอเชียแปซิฟิกโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 5% ต่อปี
สำหรับผู้นำการเปลี่ยนแปลงนี้ โดยเฉลี่ย (ยกเว้นเมืองไม่กี่แห่งในญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และออสเตรเลีย)
มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกเพิ่มขึ้น 1.1-1.2% โดยส่วนใหญ่เป็นเมืองที่กำลังพัฒนาในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (5.9%) และจีน (5.8%)
ที่เป็นผู้นำ
และตามมาด้วยประเทศที่เหลือในเอเชีย (5.5%) และอินเดีย (5.1%)

	เมือง	GHGs (เพิ่ม/ลด)	อุณหภูมิ (เพิ่ม/ลด)	น้ำฝน (เพิ่ม/ลด)
1	Delhi	5.6%	0.022	1.520
2	Mumbai	3.9%	0.014	3.234
3	Bangalore	4.9%	0.016	0.730
4	Kolkata	4.7%	0.021	4.246
5	Chennai	6.3%	0.017	2.205
6	Hyderabad	4.6%	0.014	2.160
7	Ahmedabad	5.2%	0.018	1.372
8	Surat	5.2%	0.015	1.119
9	Pune	5.6%	0.015	3.088
10	Singapore	4.5%	0.012	3.326
11	Bangkok	7.0%	0.029	-1.827
12	Dhaka	5.5%	0.028	0.427
13	Tokyo	1.4%	0.021	0.705
14	Sydney	1.3%	0.015	0.099
15	Melbourne	1.1%	0.012	1.042
16	Beijing	6.0%	0.018	0.560
17	Shanghai	7.9%	0.019	0.222
18	Tianjin	5.1%	0.020	-0.191
19	Shenzhen	6.0%	0.015	4.068
20	Guangzhou	6.0%	0.017	4.672
21	Manila	2.4%	0.016	-0.600
22	Jakarta	6.8%	0.011	4.115
23	Ho Chi Minh	7.8%	0.022	-2.221
24	Kuala Lumpur	5.1%	0.014	2.791
25	Yangon	7.5%	0.018	2.674
26	Karachi	4.9%	0.021	-1.012
27	Chongqing	3.4%	0.023	1.290
28	Chengdu	5.2%	0.021	2.731
29	Nanjing	6.5%	0.019	0.696
30	Wuhan	6.4%	0.016	3.825
31	Xian	3.6%	0.021	0.335
32	Hangzhou	5.7%	0.020	2.694
33	Hong Kong	5.3%	0.015	4.032
34	Dongguan	6.0%	0.016	4.308
35	Foshan	6.0%	0.016	5.145
36	Shenyang	4.8%	0.020	0.114
37	Suzhou	7.1%	0.020	0.246
38	Harbin	5.9%	0.023	-0.019
39	Qingdao	6.5%	0.016	2.016
40	Dalian	7.0%	0.019	0.989
41	Jinan	5.3%	0.017	1.547
42	Zhengzhou	7.2%	0.017	0.522
43	Seoul	3.3%	0.017	1.253
44	Nagoya	0.5%	0.021	-0.042
45	Tehran	6.0%	0.023	-0.299
46	Fukuoka	-0.3%	0.019	0.352
47	Chittagong	5.7%	0.020	3.385
48	Lahore	5.6%	0.025	0.654
49	Osaka	0.5%	0.021	0.103
	ค่าเฉลี่ย:	**5.0%**	**0.018**	**1.518**



รูปที่ 4: อุณหภูมิเฉลี่ย น้ำฝนเฉลี่ย และการเปลี่ยนแปลงแก๊สเรือนกระจก ของ 49 เมืองในเอเชียแปซิฟิก คำนวณแบบ year on year (yoy%) ภายใต้สถาณการณ์ SSP245

3.3 การนำผลลัพธ์ไปประยุกต์ใช้ในระดับภูมิภาค

ผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับภูมิภาคย่อยของเอเชียแปซิฟิก ภายใต้สถานการณ์ GHGs ระดับปานกลาง (SSP245) ดูได้จากตารางที่ 2 คาดว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในเมือง 49 แห่งของเอเชียแปซิฟิกจะเพิ่มขึ้น 0.018°C ต่อปี (ที่ 1.4%) เมืองในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (1.9%) และอินเดีย (1.7%) มีแนวโน้มที่จะเกิดภาวะโลกร้อนมากกว่าเมืองในออสเตรเลีย (1.3%) และจีน ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ (1.0%) ในขณะเดียวกัน ค่าเบี่ยงเบนปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงขึ้นจากค่าปกติ นั่นคือ +1.518 มิลลิเมตรต่อปี (ที่ 1.4%) เมืองต่างๆในอินเดียมีแนวโน้มที่จะมีฝนตกเพิ่มขึ้น (2.3%) สูงกว่าปกติมากที่สุด (1.8%) และออสเตรเลีย (1.4%) ในทางกลับกัน เมืองต่างๆในญี่ปุ่น เกาหลีใต้ (0.8%) เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (0.4%) และเมืองที่เหลือของเอเชีย (-1.3%) มีปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็นลบ โดยสรุปแล้ว ภายในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก เมืองต่างๆในอินเดียมีความอ่อนไหวสูงต่ออุณหภูมิทั้งปีและมีปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นทุกปีอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่เมืองในญี่ปุ่นมีความอ่อนไหวต่ำ ทั้งนี้ ผลลัพธ์ระหว่างการประเมินเป็นไปตามฤดูกาล รายเดือน รายวัน และระยะเวลาที่สั้นอาจแตกต่างกันไป

ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศคาดว่าจะเด่นชัดยิ่งขึ้น (เช่น 2.4% ต่อปี) ในสถานการณ์ SSP585 (ตารางที่ 3) สำหรับทั้งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (0.45°C) และปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น (2.95 มม.) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นมีความสำคัญในทุกภูมิภาคย่อย (ระหว่าง 2.8-3.3%) ยกเว้นจีน (1.8%) ญี่ปุ่นและเกาหลีใต้ (1.7%) ในขณะเดียวกัน ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นจะเด่นชัดในเมืองต่างๆของจีน (3.4%) อินเดีย (2.6%) เพิ่มขึ้นระดับปานกลางในญี่ปุ่น เกาหลีใต้ (1.9%) เมืองที่เหลือของเอเชีย (1.8%) ในขณะที่ไม่มีนัยสำคัญในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (1.2%) และ ออสเตรเลีย (-0.9%)

ตารางที่ 2:
หมวดหมู่ของผลการวิเคราะห์ตามภูมิภาคย่อยในเอเชียแปซิฟิกภายใต้ สถานการณ์การปล่อยแก๊สเรือนกระจกระดับปานกลาง

ทวีป	GHGs	อุณหภูมิ	อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง	ปริมาณน้ำฝน	ปริมาณน้ำฝนเปลี่ยนแปลง
ออสเตรเลีย	1.2%	0.014	1.3%	0.571	1.4%
จีน	5.8%	0.019	1.0%	1.757	1.8%
อินเดีย	5.1%	0.017	1.7%	2.186	2.3%
ญี่ปุ่น เกาหลีใต้	1.1%	0.020	1.0%	0.474	0.8%
เอเชียตะวันออกเฉียงใต้	5.9%	0.017	1.9%	1.180	0.4%
เมืองที่เหลือของเอเชีย	5.5%	0.024	1.9%	0.631	-1.3%
ช่วง	[-0.3%, 7.8%]		[0.8%, 3.4%]		[1.3%, 4.4%]
ค่าเฉลี่ย	5.0%	0.018	1.4%	1.518	1.3%

ตารางที่ 3:
หมวดหมู่ของผลการวิเคราะห์ตามภูมิภาคย่อยในเอเชียแปซิฟิกภายใต้สถานการณ์การปล่อยแก๊สเรือนกระจกระดับสูง

ทวีป	GHGs	อุณหภูมิ	อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง	ปริมาณน้ำฝน	ปริมาณน้ำฝนเปลี่ยนแปลง
ออสเตรเลีย	1.2%	0.051	3.2%	-0.433	-0.9%
จีน	5.8%	0.048	1.8%	3.400	3.4%
อินเดีย	5.1%	0.040	3.3%	3.535	2.6%
ญี่ปุ่น เกาหลีใต้	1.1%	0.045	1.7%	3.525	1.9%
เอเชียตะวันออกเฉียงใต้	5.9%	0.039	3.1%	2.421	1.2%
เมืองที่เหลือของเอเชีย	5.5%	0.050	2.8%	1.606	1.8%
ช่วง	[-0.3%, 7.8%]		[1.5%, 5.1%]		[4.8%, 6.2%]
ค่าเฉลี่ย	5.0%	0.0451	2.4%	2.954	2.4%

3.4 วิธีแก้ปัญหาสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงในเมืองที่เป็นไปได้สำหรับเมืองต่างๆในเอเชียแปซิฟิก

เมื่อใช้วิธีการเชิงบรรณานุกรม และ machine learning ด้วย ICLAP คณะผู้วิจัยได้ทบทวนว่า best practices ทั่วโลกที่เกี่ยวกับสภาพอากาศในเมือง (ส่วนที่ 3.1) สามารถตอบสนองต่อความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศของเมืองและ GHGs ที่ใกล้จะเกิดขึ้นได้อย่างไร จากการเพิ่มขึ้นของแก๊สเรือนกระจกและความแปรปรวนของอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน สามารถจัดหมวดหมู่สถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้จำนวน 4 ประการ ดังแสดงในตารางที่ 4 นั่นคือ สถานการณ์ที่ 1 บ่งชี้การเพิ่มขึ้นของทั้งอุณหภูมิคาดการณ์และปริมาณน้ำฝนคาดการณ์ สถานการณ์ที่ 2 สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่คาดการณ์ไว้แต่ปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ไว้ลดลง สถานการณ์ที่ 3 บ่งชี้ว่าอุณหภูมิที่คาดการณ์ไว้และปริมาณฝนที่คาดการณ์ลดลงทั้งคู่ ในขณะที่สถานการณ์ที่ 4 ชี้ว่าอุณหภูมิที่คาดการณ์ไว้ลดลงแต่ปริมาณฝนที่คาดการณ์ไว้จะเพิ่มขึ้น โดยสามารถสังเกตได้ว่าสถานการณ์ที่ 3 และสถานการณ์ที่ 4 นั้นไม่เกิดขึ้นในกลุ่มตัวอย่างเมืองในเอเชียแปซิฟิกที่ทางผู้วิจัยเลือกนำมาวิเคราะห์

สถานการณ์ที่ 1: เนื่องจากอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนที่สูงขึ้น เมืองส่วนใหญ่ (42 จาก 49) ในเอเชียแปซิฟิกจึงมีแนวโน้มที่จะมีอุณหภูมิสูงในแต่ละปี

พร้อมด้วยฝนตกหนักและน้ำท่วมซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์และโครงสร้างพื้นฐานในเมือง เมืองที่เกิดผลกระทบดังกล่าวกระจายอยู่อย่างเท่าเทียมกันทั่วประเทศจีน ญี่ปุ่น อินเดีย เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเมืองที่เหลือของเอเชีย ด้วยความรุนแรงของฝนที่ตกเพิ่มขึ้นจากสภาพอากาศสุดขั้ว (extreme climate) ทำให้ฝนที่ตกลงมาอย่างรุนแรงที่นำไปสู่น้ำท่วมในเมืองมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นบ่อยครั้งขึ้นในเขตเมืองที่มีความหนาแน่นหนาแน่นหลายแห่ง ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายอย่างร้ายแรงต่อโครงสร้างพื้นฐาน ระบบไฟฟ้า และการคมนาคมในเขตที่อยู่อาศัยและพาณิชยกรรมในเมือง การลดหรือการหลีกเลี่ยงผลกระทบดังกล่าวจำเป็นต้องรวบรวมทางออกในการปรับสภาพภูมิอากาศให้เข้ากับการวางผังเมืองและการกำกับดูแลอย่างเหมาะสม เช่น การบูรณาการโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว-สีน้ำเงินในระดับท้องถิ่น ระดับเมือง และระดับภูมิภาคที่ส่งเสริมสวนบนดาดฟ้า ภูมิทัศน์ที่นุ่มนวล (sift landscape) รอบถนน การฟื้นฟูทะเลสาบและป่าไม้ในเมือง การนำน้ำบาดาลมาใช้งานหมุนเวียน (groundwater recharge) ฯลฯ

สถานการณ์ที่ 2: ประมาณ 7 เมืองจาก 49 เมืองมีปริมาณน้ำฝนลดลงพร้อมกับอุณหภูมิที่พุ่งสูงขึ้น ซึ่งจะเพิ่มภาระให้แก่เครื่องปรับอากาศและความต้องการใช้พลังงานในเมืองโดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อน เมืองต่างๆ เช่น กรุงเทพฯ เทียนจิน มะนิลา โฮจิมินห์ นาโกย่า เตหะราน ลาฮอร์ ต้องเผชิญกับสภาพปริมาณน้ำฝนที่ลดลง โดยจะต้องเพิ่มงบประมาณใช้จ่ายมหาศาลในโครงสร้างพื้นฐานด้านน้ำ การจัดการระบบน้ำดื่มอย่างมีประสิทธิภาพ การจัดการด้านอุปสงค์ และความตระหนักรู้ของผู้บริโภค การสร้างระบบพลังงานและการขนส่งที่มีความยืดหยุ่น มีการติดตั้งอุปกรณ์กันความร้อน การสร้างอาคารประหยัดพลังงาน การควบคุมการแผ่ขยายของเมืองและการปล่อยแก๊สคาร์บอน การพัฒนาที่มุ่งเน้นระบบขนส่งสาธารณะ การทำเกษตรในเมือง ฯลฯ การดึงน้ำมาใช้มากเกินไปมีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ ซึ่งมีตั้งแต่ข้อพิพาททางสังคมและความตึงเครียดเกี่ยวกับน้ำ การครอบงำกรรมสิทธิ์การใช้น้ำของผู้มีอิทธิพล การใช้น้ำบาดาลในปริมาณที่มากจนเกินไป และการทรุดตัวของแผ่นดิน เป็นต้น ดังนั้น ชุมชนหรือหน่วยงานเทศบาลจะต้องมีมาตรการปรับสภาพภูมิอากาศโดยมุ่งเน้นที่การรีไซเคิลน้ำเสีย การกักเก็บน้ำฝน และการฟื้นฟูชั้นหินอุ้มน้ำตามธรรมชาติ

ตารางที่ 4:
คำอธิบายของผลกระทบและทางออกที่เป็นไปได้ของเมืองตัวอย่างในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกที่เผชิญกับอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนที่แตกต่างกันในอนาคต (ภายใต้สถานการณ์ GHG ระดับปานกลาง)

กรณี	อุณหภูมิคาดคะเน	ปริมาณน้ำฝนคาดคะเน	จำนวนตัวอย่าง	เมือง	คำอธิบายผลกระทบ	ทางออกที่เป็นไปได้
1	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	42	New Delhi, Mumbai, Kolkata, Bangalore, Chennai, Hyderabad, Ahmedabad, Surat, Pune, Singapore, Dhaka, Tokyo, Sydney, Melbourne, Beijing, Shanghai, Shenzhen, Guangzhou, Jakarta, Kuala Lumpur, Yangon, Karachi, Chongqing, Chengdu, Nanjing, Wuhan, Xian, Hangzhou, Hong Kong, Dongguan, Foshan, Shenyang, Suzhou, Harbin, Qingdao, Dalian, Jinan, Zhengzhou, Seoul, Fukuoka, Chittagong, Osaka	อากาศที่ร้อนยิ่งขึ้นจะทำให้ใช้เครื่องปรับอากาศมากขึ้นโดยเฉพาะในช่วงมรสม มีการใช้พลังงานมากขึ้น เกิดน้ำท่วมในเมืองบ่อยขึ้น ใช้พลังงานสูบน้ำที่เพิ่มขึ้น สร้างต้นทุนในการระบายน้ำเพิ่มขึ้น ระบบไฟฟ้าและเส้นทางการคมนาคมในช่วงน้ำท่วมติดขัดหรือใช้งานไม่ได้ ควรติดตั้งเครื่องตัดไฟเพื่อป้องกันไฟรั่ว ฯลฯ	ก่อสร้างอาคารสีเขียว ติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะ ติดตั้งอุปกรณ์กระจายการใช้ไฟสูงสุดของวัน กักเก็บน้ำฝน เติมน้ำใต้ดินอย่างสม่ำเสมอ ฟื้นฟูแหล่งน้ำผิวดิน สร้างสวนบนหลังคาและปรับภูมิทัศน์เพื่อให้อาคารมีอุณภูมิที่เสถียร เพิ่มทางเลือกในการคมนาคมเมื่อเกิดน้ำท่วม ฯลฯ
2	เพิ่มขึ้น	ลดลง	7	Bangkok, Tianjin, Manila, Ho Chi Minh, Nagoya, Tehran, Lahore	น้ำบาดาลอาจหมดสิ้นลงได้ มีคลื่นอากาศร้อน (heat waves) เกิดเกาะความร้อนในเมือง (urban heat island) เกิดสภาวะคล้ายภัยแล้ง ใช้เครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อน ใช้พลังงานในการสูบน้ำเพิ่มขึ้นเพิ่มต้นทุนในการจ่ายน้ำ สายไฟถูกหลอมละลายและเสียรูป ระบบไฟฟ้าและระบบรถไฟใต้ดินล้วงจร ฯลฯ	ปลูกป่าและรักษ์โลก ก่อสร้างอาคารสีเขียว ติดตั้ง grid อัจฉริยะ ติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ PV บนชั้นดาดฟ้า รีไซเคิลน้ำและน้ำฝนในอาคาร จัดตั้งระบบการจัดการความต้องการหรือระบบข้อมูลอาคาร ติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะ ติดตั้งปั๊มความร้อนใต้พิภพ ติดตั้งเครือข่ายพลังงานทนความร้อน ปรับปรุงระบบขนส่งและระบบจ่ายไฟสำรองสำหรับอุตสาหกรรม สำนักงาน และบ้านเรือนในระหว่างการปลดภาระไฟฟ้าเพื่อรักษาเสถียรภาพของการใช้ไฟ (load-shedding) ฯลฯ
3	ลดลง	ลดลง	-	ไม่พบในเมืองตัวอย่าง	-	-
4	ลดลง	เพิ่มขึ้น	-	ไม่พบในเมืองตัวอย่าง	-	-

นอกเหนือจากบางกรณีที่กล่าวถึงข้างต้นแล้ว เมืองต่างๆ ในเอเชียแปซิฟิกที่มีเงื่อนไขทางภูมิศาสตร์ เศรษฐกิจ และนโยบายที่แตกต่างกัน ยังมีวิธีแก้ปัญหาสภาพภูมิอากาศแปรปรวนในเมืองให้เลือกอีกมากมาย

มีทางออกที่มีศักยภาพสูงสุดหลายรูปแบบ เช่น การพัฒนาที่เน้นระบบขนส่งมวลชน การใช้รถที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า อาคารที่ปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ การแปลงของเสียเป็นพลังงาน การกักเก็บน้ำฝน และการติดตั้งหลังคาสีเขียว ทางออกเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในสถานการณ์ส่วนใหญ่ ทั้งนี้ การประยุกต์ใช้ควรคำนึงถึงปัจจัยในระดับท้องถิ่นด้วย เช่น ความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจและเทคโนโลยีของโครงการ ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม ตลอดจนกลไกการกำกับดูแลสำหรับการดำเนินงานระดับตัวแทนภาคประชาชน (ground-level implementation)

4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เครื่องมือ ICLAP ช่วยให้นักวิจัยสภาพภูมิอากาศ ผู้กำหนดนโยบาย และหน่วยงานในเมือง กำหนดเป้าหมายการบรรเทาและการปรับตัวจากสภาพอากาศแปรปรวนได้อย่างเท่าเทียมกัน และสามารถประเมินทางเลือกนโยบายที่เป็นไปได้ (ตามข้อมูลข้อเท็จจริงและกรณีศึกษาทั่วโลก) ตามสถานการณ์ของตนเอง ทั้งยังช่วยอำนวยความสะดวกในกระบวนการรวบรวมข้อมูลเพื่อให้มั่นใจว่าการตัดสินใจมาจากพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ สมจริง และตรวจสอบได้มากขึ้น คณะผู้วิจัยสรุปโดยแนะนำผลกระทบระยะสั้นถึงระยะยาวของการใช้ ICLAP ในการออกแบบนโยบายด้านสภาพภูมิอากาศในเมืองในระดับของการปกครองที่แตกต่างกันออกไป โดยเน้นความเกี่ยวข้องในการวางแผนและติดตามสภาพภูมิอากาศระดับเมือง การดำเนินการด้านสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาค การดำเนินการ SDGs (sustainable development goals) ระดับโลก การพัฒนาขีดความสามารถ และความร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อม

การวางแผนและการติดตามสภาพภูมิอากาศในเมือง: การวางแผนและการจัดการสภาพภูมิอากาศที่มีประสิทธิผลจำเป็นต้องพัฒนากลยุทธ์ แผนการประเมิน และกรอบการติดตาม เพื่อดำเนินการตามวาระสภาพภูมิอากาศในเมืองอันเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการพัฒนาโดยรวมของเมือง ตัวชี้วัดที่ใช้ใน ICLAP ให้ข้อมูลเชิงปริมาณเกี่ยวกับเงื่อนไขพื้นฐานและการดำเนินการที่วางแผนไว้ ICLAP รวมชุดข้อมูลจากขอบเขตความรู้ที่แตกต่างกันสามประการ ได้แก่ ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาค (อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ฯลฯ) การปล่อยแก๊สเรือนกระจก และการศึกษาที่รวบรวมประสบการณ์ (ex-post studies) แนวทางปฏิบัติด้านสภาพภูมิอากาศในเมืองจากทั่วโลก การใช้กรอบการตรวจสอบที่ชาญฉลาดช่วยให้เมืองสามารถปรับกลยุทธ์เมืองให้สอดคล้องกับเป้าหมายด้านสภาพภูมิอากาศได้ ทำให้เกิดวงจรป้อนกลับ (feedback loop) ในกระบวนการวางแผนซึ่งผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในท้องถิ่นและหน่วยงานที่ทำการตัดสินใจมีข้อมูลที่ตรวจสอบได้สามารถประเมินผลลัพธ์ของการปฏิบัติการด้านสภาพภูมิอากาศ (climate action plan: CAP) และมีผลต่อเป้าหมายในอนาคต ดังนั้น ในทางปฏิบัติแล้ว นอกจากที่ ICLAP จะแสดงการประยุกต์ใช้โดยตรงใน CAP ของเมืองแล้ว ยังรวมไปถึงนโยบายเมืองระดับชาติและริเริ่มความคิดด้านการเงินเพื่อช่วยผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้องในการประเมินเป้าหมาย การตรวจสอบ (stock-taking) และการจัดลำดับความสำคัญของการปฏิบัติการ

การปฏิบัติการด้านสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค : ICLAP มีส่วนสนับสนุนโดยตรงต่อเป้าหมายของแผนยุทธศาสตร์ที่ห้า (Fifth Strategic Plan) ของเครือข่ายเอเชียแปซิฟิก (Asia-Pacific Network: APN) อันได้แก่ การวิจัย การพัฒนาขีดความสามารถ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบนโยบายและความเป็นวิทยาศาสตร์ การมีส่วนร่วมของชุมชน (APN 2015) ประเด็นใหม่ๆที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจโดยอ้างอิงจากหลักฐานเชิงประจักษ์ (APN 2019) รวมถึงการปรับปรุงการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศเพื่อจัดการกับผลกระทบในหลายระดับ การลดความรุนแรงจากภัยพิบัติที่เกี่ยวข้องกับมรสุม การเพิ่มความยืดหยุ่นของชุมชนท้องถิ่นต่อผลกระทบที่เกิดจากปัญหาสภาพภูมิอากาศแปรปรวน การวิจัยด้านนโยบายเกี่ยวกับการใช้ NDCs และการอำนวยความสะดวกในการออกแบบนโยบายเพื่อบรรเทาผลกระทบด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการลดแก๊สเรือนกระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การประยุกต์ใช้ ICLAP มีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับโครงการด้านสิ่งแวดล้อม การบรรเทาสภาพภูมิอากาศแปรปรวน การปรับตัว และการพัฒนาเมืองในปัจจุบันของประเทศที่กำลังพัฒนาอย่างรวดเร็วจนมีความเป็นเมืองเพิ่มขึ้นในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก ดังเช่น อินเดีย (GNCTD 2017) ไทย (ONEP 2015) และจีน (NDRC 2007)

การมีส่วนร่วมเพื่อความยั่งยืนระดับโลก: ICLAP มีความเกี่ยวข้องในการสนับสนุนการดำเนินการ SDGs ระดับโลกหลายรายการ (Assembly 2015) โดยหลักๆ คือเป้าหมาย 7, 10-13 และ 17 และวาระเมืองใหม่ (New Urban Agenda) (UN-Habitat 2016) ในการชี้นำกลยุทธ์การพัฒนาท้องถิ่นอย่างมีจุดมุ่งหมาย สำหรับกรณีเช่น การแนะนำเครื่องมือนี้เพื่อแสดงให้เห็นว่าการขยายตัวของเมืองที่มีการควบคุม การพัฒนาเมืองที่มีขนาดกะทัดรัด (compact city) การขนส่งและการใช้ที่ดินแบบบูรณาการ (landuse-transport integration) และการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองให้มากขึ้น สามารถมีส่วนร่วมในการลดมลพิษในท้องถิ่นควบคู่ไปกับการลดแก๊สเรือนกระจกทั่วโลกได้อย่างไร ด้วยเหตุนี้ ผลลัพธ์จาก ICLAP จึงเกี่ยวข้องกับโครงการขององค์กร/เครือข่ายระหว่างประเทศหลายแห่ง เช่น UN-Habitat, UN, World Bank, WWF, Cities Alliance, World Resources Institute, และ ICLEI ทั้งยังเกี่ยวข้องโดยตรงกับรายงานการประเมินครั้งที่หก (Sixth Assessment Report) ของ IPCC และการรายงาน NDCs ระดับประเทศต่อ UNFCCC

การพัฒนาความรู้และความสามารถแบบสหวิทยาการ: สุดท้ายนี้ แบบจำลองแบบบูรณาการเปิดโอกาสให้เกิดความร่วมมือระหว่างผู้เชี่ยวชาญจากสหวิทยาการและผู้จัดการเมือง เพื่ออำนวยความสะดวกในเวทีสำหรับการแลกเปลี่ยนความรู้ที่ท้ายที่สุดจะสามารถสร้างขีดความสามารถสำหรับกระบวนการทางเทคนิคและกระบวนการกำกับดูแลท้องถิ่นได้ ในระยะยาว ICLAP ทำหน้าที่เป็นตัวชี้วัดและเครื่องมือที่ใช้ในการประยุกต์ใช้นโยบายบนพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ในการพัฒนาที่ยั่งยืนหลายระดับ และส่งเสริมการมีส่วนร่วมของภาครัฐและความร่วมมือกับภาคเอกชน เนื่องจากปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีสาเหตุและผลพวงที่ตามมาทั่วโลก ICLAP

จึงเป็นเสมือนเครื่องมือสภาพภูมิอากาศในเมืองที่ส่งเสริมการเปรียบเทียบระหว่างเมือง การสร้างเวทีถกเถียงข้ามทวีป ชุมชนนักวิทยาศาสตร์ องค์กรพัฒนาเอกชน (NGOs) ธุรกิจ และประชาชนทั่วไป ดังนั้น รัฐบาลแห่งชาติ หน่วยงานทางวิทยาศาสตร์ระดับภูมิภาคและระดับนานาชาติ (เช่น APN ในกรณีนี้) มีศักยภาพในการสนับสนุนเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่มีการบูรณาการและร่วมมือกันซึ่งมีการนำไปใช้อย่างมีนัยสำคัญในพื้นที่เพื่อต่อสู้กับความท้าทายด้านสภาพภูมิอากาศโลก

สิ้นสุดงานวิจัย

Acknowledgment: This research was primarily supported by grants from the Asia-Pacific Network for Global Change Research (Funder ID: https://doi.org/10.13039/100005536) vide Project No. CRRP2020-04MY-Sethi

References

APN (2015). APN Fifth Strategic Plan 2020–2024. Kobe: Asia-Pacific Network for Global Change Research accessible at https://www.apn-gcr.org/wp-content/uploads/2021/03/APN-Fifth-Strategic-Plan-v1-compressed.pdf

APN (2019). Calls for Proposals under the CRRP and CAPaBLE Programmes. Last accessed on 5 July 2021 at https://www.apn-gcr.org/news/2019-calls-for-proposals-under-the-crrp-and-capable-programmes/

APN (2021). Developing High Spatiotemporal Resolution Datasets of Low-Trophic Level Aquatic Organism and LandUse/Land-Cover in the Asia-Pacific Region: Toward an Integrated Framework for Assessing Vulnerability, Adaptation, and Mitigation of the Asia-Pacific Ecosystems to Global Climate Change. APN E-Lib. Last accessed on 8July 2021 at https://www.apn-gcr.org/publication/project-final-report-caf2017-rr02-cmy-siswanto/

Assembly, G. (2015). Sustainable development goals. *SDGs Transform Our World*, *2030*.

C40-Cities (2021). New tool will help cities understand interactions between mitigation and adaptation actions. Retrieved from https://www.c40.org/news/new-tool-will-help-cities-understand-interactions-between-mitigation-and-adaptation-actions /

Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Dentener, F., van Aardenne, J.A., Monni, S., Doering, U., Olivier, J., Pagliari, V. and G. Janssens-Maenhout (2018). Gridded Emissions of Air Pollutants for the Period 1970–2012 within EDGAR v4.3.2. Earth System Science Data 10(4):1987–2013. https://doi.org/10.5194/essd-10-1987-2018.

Farzaneh, H. (Ed.). (2019). *Devising a clean energy strategy for Asian cities*. Springer Singapore.

Florczyk, A. J., Melchiorri, M., Corbane, C., Schiavina, M., Maffenini, M., Pesaresi, M., ... & Kemper, T. (2019). Description of the GHS Urban Centre Database 2015. *Public Release*.

Fujimori, S., Masui, T., & Matsuoka, Y. (2014). Development of a global computable general equilibrium model coupled with detailed energy end-use technology. *Applied Energy*, *128*, 296-306.

GNCTD. Delhi state action plan on climate change. 2017. Available online: http://moef.gov.in/wp-content/uploads/2017/08/ Delhi-State-Action-Plan-on-Cimate-Change.pdf (accessed on 25 September 2022).

ICLEI (2021). List of Tools. Retrieved from http://old.iclei.org/index.php?id=19

IPCC (1996). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories IPCC/OECD/ IEA, Paris, 1996.

IPCC (2014). Synthesis Report. Contribution of working groups I. *ii and iii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, *138*.

IPCC (2018). Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. *World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.*

Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Creutzig, F., Khosla, R., & Minx, J. C. (2018). The literature landscape on 1.5 C climate change and cities. *Current opinion in environmental sustainability*, *30*, 26-34.

Lamb, W. F., Creutzig, F., Callaghan, M. W., & Minx, J. C. (2019). Learning about urban climate solutions from case studies. *Nature Climate Change*, *9*(4), 279-287.

NDRC (2007). China's National Climate Change Programme. Beijing: National Development and Reform Commission People's Republic of China. Last accessed on 26 June 2021 at http://www.ccchina.org.cn/WebSite/CCChina/UpFile/File188.pdf

ONEP (2015). Thailand: Climate Change Master Plan. Bangkok: **Office** of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. Last accessed on 24 July 2021 at https://www.preventionweb.net/english/professional/policies/v.php?id=60582

Saraswat, C., Kumar, P., & Mishra, B. K. (2016). Assessment of stormwater runoff management practices and governance under climate change and urbanization: An analysis of Bangkok, Hanoi and Tokyo. *Environmental Science & Policy*, *64*, 101-117.

Sethi, M., Lamb, W. F., Minx, J. C., & Creutzig, F., (2020). Climate change mitigation in cities: A systematic scoping of case studies. *Environmental Research Letters*.

Sethi, M., Liu, L. J., Ayaragarnchanakul, E., Suwa, A., Avtar, R., Surjan, A., & Mittal, S. (2022). Integrated Climate Action Planning (ICLAP) in Asia-Pacific Cities: Analytical Modelling for Collaborative Decision Making. *Atmosphere, 13*(2), 247.

Sethi, M., Sharma, R., Mohapatra, S., & Mittal, S. (2021). How to tackle complexity in urban climate resilience? Negotiating climate science, adaptation and multi-level governance in India. *PloS one*, *16*(7), e0253904.

UN (2015). The Sustainable Development Goals. https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html

UNDESA (2019). World Population Prospects 2019: Highlights. *New York (US): United Nations Department for Economic and Social Affairs*.

UNFCCC (2015). The Paris Agreement. Bonn: United Nations Framework Convention on Climate Change. Last accessed on 22 September 2022 at https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

UNFCCC (2021). Asia-Pacific Climate Week 2021 Sends Strong Signal to COP26. UN Climate Press Release (19 September 2022). Last accessed on 28 July 2021 at https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

UN-Habitat (2016). The New Urban Agenda. Nairobi: The United Nations Human Settlements Programme. Last accessed on 28 September 2022 at https://habitat3.org/the-new-urban-agenda/

UN-Habitat. (2011). *Cities and climate change: Global report on human settlements, 2011*. Routledge.

WMO (2022). State of the Global Climate 2022. Geneva: World Meteorological Association