แบบฟอร์มข้อเสนอโครงการวิจัย ฉบับสมบูรณ์ (Full Proposal)

งบประมาณเพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund; FF)

ชื่อหน่วยงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

<u>ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป</u>

1. โครงการวิจัยนี้อยู่ภายใต้แผนงาน ความเป็นกลางทางคาร์บอนและการจัดการของเสียและเศษเหลือทางการเกษตร

2. ชื่อโครงการวิจัย

(ภาษาไทย) ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา

(ภาษาอังกฤษ) A mathematical model predictor for (CO2) emission using Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays

3. ชื่อโครงการวิจัยย่อยภายใต้โครงการวิจัย (หากมี)

ลำดับ	ชื่อโครงการย่อย	งบประมาณ (บาท)	หัวหน้าโครงการย่อย

4. ลักษณะโครงการวิจัย

✓ โครงการใหม่ ที่เริ่มดำเนินการในปีที่เสนอขอ ดำเนินงาน .....1.....ปี

งบประมาณรวมทั้งโครงการ .....436,582 .....บาท

ปีงบประมาณ ....2569..... งบประมาณ ..... 436,582.....บาท

ปีงบประมาณ ..... งบประมาณ .....บาท

ปีงบประมาณ ..... งบประมาณ .....บาท

○ โครงการต่อเนื่อง จากปีงบประมาณที่ผ่านมา ดำเนินงาน .....ปี

งบประมาณรวมทั้งโครงการ .....บาท

ใส่รหัสข้อเสนอโครงการต่อเนื่อง.....(ระบบดึงข้อมูลมาให้ :นักวิจัยสามารถปรับแก้ข้อมูลได้)

เริ่มรับงบประมาณปี..... (กรอกปีงบประมาณที่เริ่มดำเนินงาน)

ปีงบประมาณ ..... งบประมาณ .....บาท

ปีงบประมาณ ..... งบประมาณ .....บาท

ปีงบประมาณ ..... งบประมาณ .....บาท

○ โครงการต่อเนื่องที่มีข้อผูกพันสัญญา* ดำเนินงาน .....ปี

งบประมาณรวมทั้งโครงการ .....บาท

ใส่รหัสข้อเสนอโครงการต่อเนื่อง.....(ระบบดึงข้อมูลมาให้ :นักวิจัยสามารถปรับแก้ข้อมูลได้)

เริ่มรับงบประมาณปี..... (กรอกปีงบประมาณที่เริ่มดำเนินงาน)

ปีงบประมาณ ..... งบประมาณ .....บาท

ปีงบประมาณ ..... งบประมาณ .....บาท

หมายเหตุ : *โครงการต่อเนื่องที่มีข้อผูกพันสัญญา หมายถึง ข้อผูกพันสัญญาที่ดำเนินการตามมติ ครม. หรือดำเนินงานร่วมกับหน่วยงานต่างประเทศ

ผลการดำเนินที่ผ่านมา (กรณีที่เป็นโครงการต่อเนื่อง)

ปีงบประมาณ	ผลการดำเนินงานเทียบกับแผนที่ตั้งไว้ (%)	งบประมาณที่ได้รับจัดสรร (บาท)	งบประมาณที่ใช้จริง (บาท)	สัดส่วนงบประมาณที่ใช้จริง (%)

สรุปผลการดำเนินงานที่ผ่านมา โดยอธิบายกิจกรรมที่ได้ดำเนินการแล้ว และผลผลิตที่เกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรม

.....

.....

5. โครงการยื่นเสนอขอรับทุนจากหน่วยงานอื่นหรือไม่

✓ไม่ยื่นเสนอ ◯ ยื่นเสนอ ระบุหน่วยงาน.....

6. คำสำคัญ (Keywords) (กำหนดไม่เกิน 5 คำ)

(ภาษาไทย) การพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2), วิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา, ตัวแบบพยากรณ์, ตัวแบบคณิตศาสตร์, การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ภาคขนส่ง

(ภาษาอังกฤษ) (CO2) emission prediction, Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delay, Forecasting model, Mathematical Model, (CO2) emission in transportation sector

7. สาขาการวิจัย (เลือกจากฐานข้อมูลในระบบ)

สาขาการวิจัยหลัก OECD วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ

สาขาการวิจัยย่อย OECD คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์

8. ISCED **(International Standard Classification Of Education)**

ISCED Broad field Natural sciences, mathematics and statistics

ISCED Narrow field Inter-disciplinary programmes and qualifications involving natural

sciences, mathematics and statistics

ISCED Detailed field Inter-disciplinary programmes and qualifications involving natural sciences, mathematics and statistics

9. รายละเอียดของคณะผู้วิจัย (ใช้ฐานข้อมูลจากระบบสารสนเทศกลางเพื่อบริหารงานวิจัยของประเทศ) ประกอบด้วย

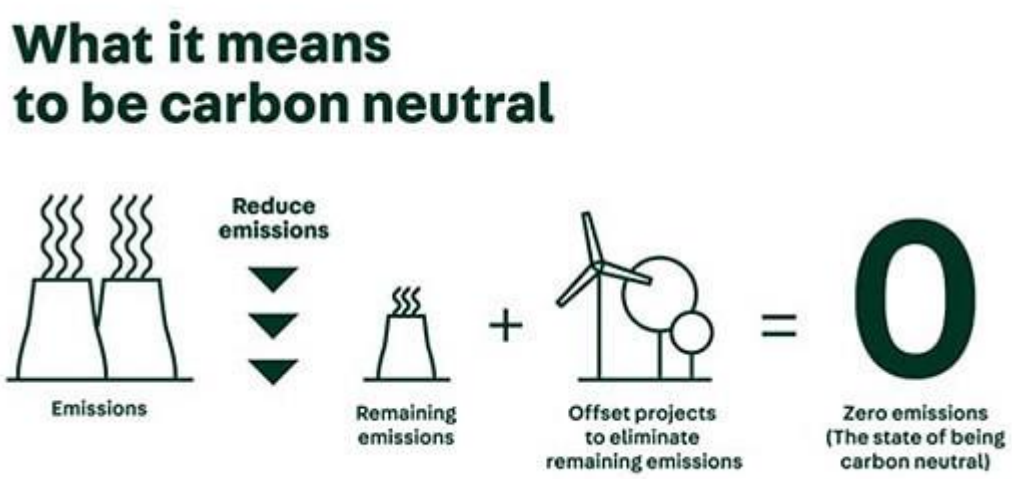
ชื่อ-สกุล	หน่วยงาน	ตำแหน่งในโครงการ	สัดส่วนการดำเนินโครงการวิจัย
ผศ. ดร.มัลลิกา ราชกิจ	สาขาวิชาสถิติและการจัดการสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์	หัวหน้าโครงการวิจัย	40 %
รศ. ดร. เกรียงไกร ราชกิจ	สาขาวิทยาการการหาภาวะที่เหมาะสมทางอุตสาหกรรม (หลักสูตรนานาชาติ) คณะวิทยาศาสตร์	ผู้ร่วมโครงการวิจัย	25 %
ดร. ประเมศ แก้วมีศรี	นักวิจัยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ (GISTDA)	ผู้ร่วมโครงการวิจัย	20 %
อ. ดร.ธวัชชัย เพชรธาราทิพย์	สาขาวิทยาการการหาภาวะที่เหมาะสมทางอุตสาหกรรม (หลักสูตรนานาชาติ) คณะวิทยาศาสตร์	ผู้ร่วมโครงการวิจัย	15 %

ส่วนที่ 2 ข้อมูลโครงการวิจัย

1. บทสรุปข้อเสนอโครงการ (ไม่เกิน 3000 คำ)

ความเป็นกลางทางคาร์บอน หรือ Carbon Neutral เป็นการดำเนินกิจกรรม โครงการ หรือกิจกรรมขององค์กร หน่วยงาน หรือประเทศ ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ โดยมีแนวทาง คือ (1) การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้นทาง เช่น การใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) แทนการใช้เชื้อเพลิง

ฟอสซิล (Fossil fuel) (2) การชดเชยคาร์บอนเครดิต (Carbon offsets) โดยการลงทุนในโครงการที่เป็นประโยชน์ต่อสภาพภูมิอากาศ เพื่อชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก



ทั้งนี้ ในการดำเนินการเพื่อมุ่งสู่การเป็น Carbon neutral ต้องมีการรวบรวมข้อมูลซึ่งเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อาทิ การใช้พลังงาน (Energy consumption) ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (Gross Domestic Product; GDP) การเผาไหม้เชื้อเพลิง ยานพาหนะ ข้อมูลสถิติประชากร เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยในการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกตามมาตรฐานการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะใช้วิธีการคำนวณตามคู่มือการคำนวณของคณะกรรมาธิการระหว่างรัฐบาลด้านสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) โดยใช้ข้อมูลของกิจกรรม (Activity data) และค่าการปลดปล่อย (Emission factor) ในการคำนวณ รวมถึงการกำหนดเป้าหมายปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละปีที่ต้องการลด เพื่อการวางแผนแนวทางในการชดเชยคาร์บอนหรือลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจำเป็นต้องมีการคาดการณ์ (Forecast) ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในปัจจุบัน การคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีหลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) แบบจำลองการถดถอย (Regression Model) การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer-based simulation) หรือแบบจำลองการเติบโต (Growth model) เป็นต้น ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์แนวโน้มการเกิดก๊าซเรือนกระจกเป็นปัจจัยสำคัญเพื่อประกอบการตัดสินใจการวางนโยบายและแนวทางการดำเนินการที่เป็นไปได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

ปัจจุบันสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโลกที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่มีแนวโน้มรุนแรงขึ้นในทุกภูมิภาคทั่วโลก โดยประเทศที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดในโลกคือประเทศจีน รองลงมาคือประเทศสหรัฐอเมริกา คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 30.3 และ 13.4 ตามลำดับ ในปี ค.ศ. 2019 ซึ่งทั้งประเทศจีนและสหรัฐอเมริกาได้ออกมาประกาศเป้าหมายเพื่อให้สามารถมุ่งเข้าสู่**ความเป็นกลางทางคาร์บอน**ในปี ค.ศ. 2060 และ 2050 ตามลำดับ

นอกจากนี้ในช่วงระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา หลากหลายประเทศทั่วโลกเริ่มตื่นตัวและพยายามให้ความร่วมมือในการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก (Climate Change) โดยตั้งเป้าหมายที่มุ่งสู่

ความเป็นกลางทางคาร์บอนอย่างเป็นรูปธรรมในช่วงที่ผ่านมา จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและติดตามการทำงานของประเทศต่าง ๆ โดย Energy & Climate Intelligence Unit พบว่ากว่า 100 ประเทศทั่วโลกได้มีการออกกฎหมายและนโยบายเพื่อบรรลุเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิลงจนเป็นศูนย์

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลจากตารางข้างต้นจะสังเกตได้ว่า ประเทศนอร์เวย์ สหภาพยุโรป ชิลี ไอร์แลนด์ สหรัฐอเมริกา และจีน มีสัดส่วนของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคอุตสาหกรรมค่อนข้างสูง เนื่องจากยังมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ อยู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้แนวทางการจัดการเพื่อเดินหน้าสู่**ความเป็นกลางทางคาร์บอน** ในภาคอุตสาหกรรมของแต่ละประเทศมีความคล้ายคลึงกัน ได้แก่ การลดหรือยกเลิกการใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินโดยเปลี่ยนไปใช้พลังงานหมุนเวียน นอกจากนี้ บางประเทศยังออกมาตรการในการเพิ่มภาษีคาร์บอน การกำหนดงบประมาณคาร์บอนเพื่อจำกัดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีการสนับสนุนเทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Capture and Storage; CCS) และส่งเสริมให้มีการปลูกป่าเพื่อเพิ่มแหล่งสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามธรรมชาติ (Carbon sink) อีกด้วย

นอกจากนี้ ยังพบว่าประเทศนอร์เวย์ ชิลี ไอร์แลนด์ สหรัฐอเมริกา และจีน ตลอดจนสหภาพยุโรป มีแนวทางการจัดการในภาคเกษตรกรรมที่คล้ายคลึงกัน ได้แก่ ลดการเผาวัสดุทางการเกษตรและลดการเผาเพื่อเตรียมพื้นที่ปลูกในฤดูกาลถัดไป สนับสนุนการใช้พลังงานชีวมวล (Biomass)การปรับปรุงการเกษตรเพื่อลดการเกิดก๊าซมีเทนซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการเลี้ยงปศุสัตว์ โดยจะต้องมีการบริหารจัดการมูลสัตว์ที่เหมาะสม การประยุกต์ใช้หลักความสัมพันธ์ของพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Energy-Environment nexus) ในการปรับใช้พลังงานสะอาดในกระบวนการผลิตผลผลิตทางการเกษตร และใช้ยานพาหนะพลังงานสะอาดในการขนส่ง อีกทั้งยังส่งเสริมการจัดการของเสียที่เหมาะสมหลังการใช้งาน โดยมีจุดประสงค์เพื่อส่งเสริมการผลิตและการบริโภคอย่างยั่งยืน (Sustainable Consumption and Production; SCP)

นอกจากนี้ยังมีการส่งเสริมการเกษตรอัจฉริยะ (Smart agriculture) ซึ่งเป็นการเกษตรที่มีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อเสริมให้การบริหารจัดการมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสามารถควบคุมทุกขั้นตอนด้วยเทคโนโลยีเพื่อทำการตรวจสอบ เก็บข้อมูล วิเคราะห์และแก้ปัญหาการเพาะปลูกได้ทันท่วงที พร้อมทั้งสามารถแสดงผลข้อมูลการเจริญเติบโตและคาดการณ์ผลผลิตได้อย่างแม่นยำ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและผลผลิตของการเกษตรกรรมอีกด้วย โดยหากนำแนวทางจัดการทั้งหมดนี้มาปรับใช้ จะส่งผลให้สามารถบรรลุเข้าสู่**ความเป็นกลางทางคาร์บอน**ได้ภายในปีที่กำหนดแนวทางที่ประเทศต่าง ๆ ใช้เพื่อขับเคลื่อนสู่**ความเป็นกลางทางคาร์บอน**ของแต่ละภาคส่วน

สำหรับประเทศไทย เป็นประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นอันดับที่ 21 ของโลก และเป็นอันดับที่ 2 ของอาเซียน รองจากประเทศอินโดนีเซีย โดยมีสัดส่วนอยู่ที่ 0.9% ของโลก หรือคิดเป็นปริมาณ 331 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในปี พ.ศ. 2562 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบโดยรวมจะประกอบด้วยสัดส่วนของภาคพลังงาน 31.9% การเผาไหม้ในภาคอุตสาหกรรมอื่น 27.7% ภาคการขนส่ง 23.3% ภาคอุตสาหกรรมที่ไม่มีการเผาไหม้ 9.5% และการใช้พลังงานภายในอาคาร 7.6% ทั้งนี้ ภาคส่วนที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่ว่าจะเป็นจากภาคพลังงาน การใช้เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมอื่น ภาคการขนส่ง และการใช้พลังงานภายในอาคาร ล้วนเกิดจากความต้องการใช้พลังงานทั้งสิ้นโดยคิดรวมกันเป็นสัดส่วนถึง 90.5% ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับการบริหารจัดการในภาค

พลังงาน ภาคการขนส่ง และภาคอุตสาหกรรม จึงควรมีการจัดตั้งคณะทำงานฯ กระทรวงพลังงานและดำเนินการศึกษาเบื้องต้นเพื่อสนับสนุนการมุ่งสู่สังคม**ความเป็นกลางทางคาร์บอน**ของประเทศไทย โดยจากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องแนวทางการจัดการที่เหมาะสมในด้านพลังงานอาทิการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า การส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนหรือเชื้อเพลิงสะอาด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ลดหรือยกเลิกการใช้โรงไฟฟ้าถ่านหินหรือฟอสซิล การจัดการระบบไฟฟ้าแบบสมาร์ทกริด (Smart grid) และเพิ่มประสิทธิภาพในทุกกระบวนการผลิตไฟฟ้าเป็นต้น

ในส่วนของภาคอุตสาหกรรมซึ่งนับว่าเป็นแหล่งขับเคลื่อนเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย พบว่ามีการผลักดันให้ใช้พลังงานสะอาดในการเผาไหม้มากขึ้น ส่งเสริมให้ผู้ประกอบการมีการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อเข้าสู่การเป็นอุตสาหกรรมเขียว (Green industry) อีกทั้งยังมีการสร้างกลไกสื่อสารต่อผู้บริโภคและผู้ผลิตให้มีความคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมมากขึ้นด้วยการจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีการใช้กลไกทางเศรษฐศาสตร์เพื่อส่งเสริมและขับเคลื่อน Carbon neutral ด้วยโครงการ T-VER (Thailand Voluntary Emission Reduction Program) ซึ่งเป็นโครงการที่สนับสนุนให้ทุกภาคส่วนมีส่วนร่วมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดย T-VER จะรับรองปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดหรือกักเก็บได้ ซึ่งเรียกว่า คาร์บอนเครดิต (Carbon credit) ที่สามารถนำไปทำการซื้อขายในตลาดคาร์บอนต่อไปได้

สำหรับภาคการขนส่ง พบว่ามีการสนับสนุนการใช้ระบบขนส่งสาธารณะและส่งเสริมให้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น โดยมีการวางแผนจัดตั้งสถานีอัดประจุไฟฟ้าให้ครอบคลุมในรัศมี 50-70 กิโลเมตร รวมทั้งส่งเสริมการจัดตั้งศูนย์ทดสอบมาตรฐานแบตเตอรี่และบริหารจัดการซากแบตเตอรี่ที่เกิดขึ้นจากการใช้งาน เพื่อความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีการออกนโยบายยกเว้นภาษีสำหรับผู้ผลิตรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยอีกด้วย

ในส่วนของภาคเกษตรกรรม ซึ่งนับว่ามีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมไทยเป็นอย่างมาก พบว่ามีการผลักดันให้ลดการเผาไหม้วัสดุทางการเกษตร (Zero burn) เพื่อลดปัญหามลภาวะทางอากาศ เช่น ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM 2.5)อีกทั้งยังมีการส่งเสริมการเกษตรอัจฉริยะ (Smart agriculture) ควบคู่กับโมเดลเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular-Green Economy; BCG Economy) ซึ่งเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวม โดยใช้แนวคิดการนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม มายกระดับเกษตรกรรมในประเทศไทยเพื่อนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพและผลผลิต เพิ่มมูลค่าและสร้างความหลากหลายให้แก่ผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังสร้างระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เน้นการแปลงของเสียเป็นแหล่งรายได้เพื่อสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน

นอกจากนี้ยังมีในส่วนของภาคอุตสาหกรรมที่ไม่มีการเผาไหม้ซึ่งมีสัดส่วน 9.5%ที่เกิดจากการอุปโภคและบริโภคสินค้าในชีวิตประจำวันโดยสามารถประยุกต์ใช้แนวทางในการปรับตัวในชีวิตประจำวัน ทั้งการปลูกฝังการลดการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายยากและสร้างจิตสำนึกในการลดการเกิดขยะ โดยมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดและให้ความสำคัญกับการจัดการขยะและของเสียที่เกิดขึ้น เพื่อการเติบโตของเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนจากที่กล่าวถึงมาทั้งหมดนี้จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันทั้งภาครัฐและภาคเอกชนต่างให้ความร่วมมือและมีความมุ่งมั่นที่จะแสดงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะส่งผลให้ประเทศไทยมีโอกาสเดินหน้าเข้าสู่สังคมที่ไร้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ในอนาคต

สำหรับประเทศไทยได้มีการตั้งเป้าหมายในการลดก๊าซเรือนกระจกไว้ในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งกำหนดตัวชี้วัดไว้ 5 ด้าน โดยมีตัวชี้วัดหลักในการตั้งเป้าหมายลดก๊าซเรือนกระจกจากภาคพลังงานและขนส่ง อุตสาหกรรม การใช้ผลิตภัณฑ์และการกำจัดของเสียลงอย่างน้อยร้อยละ 20 จากกรณีปกติ ในปี พ.ศ. 2580 (ค.ศ. 2037)โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Energy-Environment nexus) ในการจัดการในสาขาพลังงานและขนส่ง กระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ และการจัดการของเสีย เช่น การเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนแต่ยังคงต้องรักษาระดับค่าความเข้มของการใช้พลังงาน (Energy Intensity; EI) ของประเทศให้อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้หรือเพิ่มสูงขึ้น การพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานและการจัดการคมนาคม การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมแบบปล่อยคาร์บอนต่ำ ตลอดจนลดการก่อให้เกิดของเสีย

ค่าเป้าหมายดังกล่าวนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นเป้าหมายขั้นต่ำในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย เนื่องจากได้มีมติคณะรัฐมนตรีเห็นชอบต่อข้อเสนอการมีส่วนร่วมของประเทศในการลดก๊าซเรือนกระจกและการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Nationally Determined Contribution; NDC) โดยกำหนดเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกขั้นต่ำที่ร้อยละ 20 และกำหนดเป้าหมายขั้นสูงที่ร้อยละ 25 จากกรณีปกติภายในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) รวมถึงการปรับตัว (Adaptation) เพื่อลดความสูญเสียและเสียหายจากภัยธรรมชาติและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น ภัยพิบัติ โรคอุบัติใหม่ (Emerging diseases)และการมุ่งเป้าสู่การลงทุน (Investment) ที่เป็นมิตรต่อสภาพภูมิอากาศในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของภาครัฐและเอกชน ด้วยการพัฒนามาตรการด้านเศรษฐศาสตร์ การเงิน และการคลัง ในการส่งเสริมและสนับสนุนให้ภาคส่วนที่เกี่ยวข้องสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการพัฒนาระบบรายงานข้อมูลที่สามารถวัดผล รายงานผล และตรวจสอบพิสูจน์ผลได้ (Measurable, Reportable and Verifiable; MRV) โดยมีการเชื่อมโยงของเครือข่ายข้อมูลในทุกภาคส่วน ซึ่งทิศทางในการกำหนดแนวทางการพัฒนาและเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยนี้ สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals; SDGs) เป้าหมายที่ 13 Climate Action ที่กำหนดเป้าประสงค์ในการเตรียมความพร้อมรับเพื่อมือผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในรูปแบบต่างๆ การผลักดันให้แต่ละประเทศกำหนดนโยบายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการสร้างความตระหนักและความเข้าใจของสังคมเกี่ยวกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

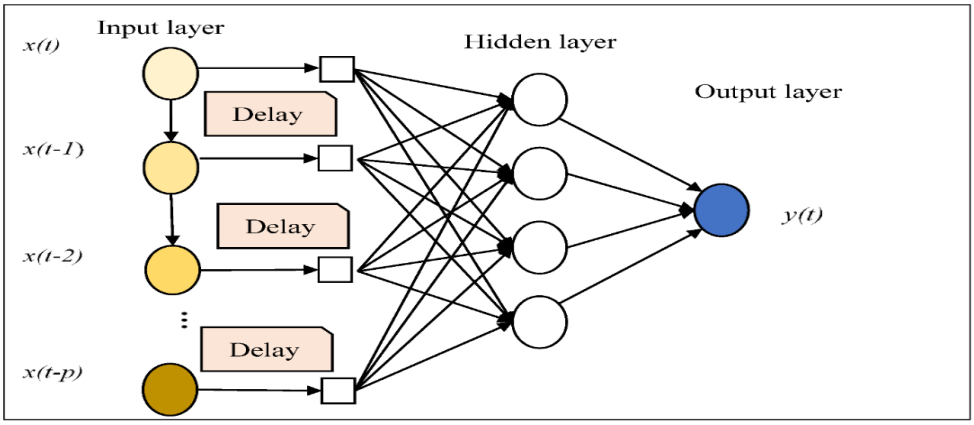
จากข้อมูลข้างต้นโครงการวิจัยนี้ จะทำการศึกษาและออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใหม่ของโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) และได้ศึกษาวิเคราะห์ความเสถียรภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใหม่ที่ได้สร้างขึ้น โดยใช้หลักการทฤษฎีบทความเสถียรภาพ พร้อมทั้งได้สร้างทฤษฎีบทขึ้นมาใหม่เพื่อรับรองความเสถียรภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใหม่ของโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) ได้หาเงื่อนไขที่เพียงพอใหม่สำหรับความเสถียรภาพ และได้สร้างเครื่องมือวัดประสิทธิภาพของการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใหม่ของโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional

associative memory artificial neural network with time-varying delays) ซึ่งประกอบด้วย การวัดประสิทธิภาพแบบ H_∞ การวัดประสิทธิภาพแบบแพสซิพ การวัดประสิทธิภาพแบบดิสซิเพทีพและ การวัดประสิทธิภาพแบบ $L_2 - L_\infty$ โดยการใช้เทคนิคของทฤษฎีเสถียรภาพไลปูนอฟ เทคนิคการควบคุมแบบจุดที่ปรับเปลี่ยนได้ พารามิเตอร์ที่ใช้ข้อมูลอัพเดต และเทคนิคอินทิกรัลแบบใหม่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใหม่ของโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) ที่ได้รับการศึกษาจากงานวิจัยนี้จะครอบคลุมกว่างานวิจัยที่มีอยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งผู้วิจัยจะทำการยกตัวอย่างเชิงตัวเลขเพื่อแสดงประสิทธิภาพและประโยชน์ของทฤษฎีที่ได้ และทำการเปรียบเทียบเงื่อนไขเพียงพอที่ได้กับงานวิจัยปัจจุบันเพื่อยืนยันผลของทฤษฎีที่ถูกปรับปรุงดีขึ้น ต่อมาผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาชุดโปรแกรมเพื่อใช้ทดสอบความเสถียรภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใหม่ของโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) เพื่อรองรับงานด้านปัญญาประดิษฐ์สำหรับการส่งและเรียนรู้ในข้อมูลขนาดใหญ่ โดยการใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) และสามารถประมวลผลออกมาได้อย่างน่าเชื่อถือ ซึ่งมีประโยชน์มากในการประยุกต์ใช้กับทางด้านการจัดการรูปภาพ (image processing) การทำนายข้อมูลขนาดใหญ่ และในงานวิจัยนี้ได้หาเทคนิคใหม่ ๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น รวมทั้งได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานกับวิธีอื่นด้วย

คอมพิวเตอร์ทั่วไปในปัจจุบันได้มีการพัฒนาคอมพิวเตอร์ไปสู่ระบบประมวลผลชนิดใหม่ ซึ่งสามารถประมวลผลข้อมูลจำนวนมหาศาลได้ในฉับพลัน ตลอดจนมีความ สามารถ ในการเรียนรู้และคิดได้ ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็น "สมองกล" อย่างแท้จริง จึงเป็นเป้าหมายสำคัญเป้าหมายหนึ่งของวงการวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน แนวทางหนึ่งซึ่งนักวิทยาศาสตร์กำลังให้ความสนใจอยู่เป็นอย่างมาก คือ การพยายามศึกษาและเลียนแบบ ประมวลผลของสมองสิ่งมีชีวิต โดย มุ่งเน้นว่าระบบประมวลผลที่ได้จะมี "ปัญญา" (Intelligence) ในลักษณะเดียวกับสิ่งมีชีวิต ระบบประมวล ผลดังกล่าวคือ "ปัญญาประดิษฐ์" (Artificial intelligence) และระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ประยุกต์ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันคือ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) คือโมเดลทางคณิตศาสตร์ สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ (Connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และการสร้างความรู้ใหม่ (Knowledge Extraction) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาโครงข่ายไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric Network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ "นิวรอน" (Neurons) และ "จุดประสานประสาท" (Synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า "เดนไดรท์" (Dendrite) ซึ่งเป็น input และปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า "แอคซอน" (Axon) ซึ่งเป็นเหมือน output ของเซลล์ เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรท์เข้าสู่นิวเคลียสซึ่งจะเป็นตัวตัดสินว่าต้อง

กระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอนิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอคซอนของมัน นักวิจัยส่วนใหญ่ในปัจจุบันเห็นตรงกันว่าโครงข่ายประสาทเทียมมีโครงสร้างแตกต่างจากโครงข่ายในสมอง แต่ก็ยังเหมือนสมอง ในแง่ที่ว่าโครงข่ายประสาทเทียม คือการรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อย ๆ และการเชื่อมต่อนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของโครงข่าย เมื่อพิจารณาขนาดแล้วสมองมีขนาดใหญ่กว่าโครงข่ายประสาทเทียมอย่างมาก รวมทั้งเซลล์ประสาทยังมีความซับซ้อนกว่าหน่วยย่อยของโครงข่าย อย่างไรก็ดีหน้าที่สำคัญของสมอง เช่น การเรียนรู้ยังคงสามารถถูกจำลองขึ้นอย่างง่ายด้วยโครงข่ายประสาท สำหรับการสร้างแบบจำลองของโครงข่ายประสาทขึ้นมาเป็นโครงข่ายประสาทเทียมนั้น ทำได้โดยการพยายามทำความเข้าใจกับกระบวนการทำงานของสมองแล้วพยายามอธิบายการทำงานด้วยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ จากนั้นออกแบบระบบคอมพิวเตอร์ หรือเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะทำงานตามแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ได้ จากการทำงานของเซลล์ประสาทกระแสประสาทจะใช้เวลาในการทำงานในหน่วย Millisecond แต่การทำงานของ Neural Networks จะทำงานในหน่วย nanosecond เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมมีกระบวนการทำงาน ภายใต้การทำงานขององค์ประกอบย่อยตามรูปแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทของสิ่งมีชีวิตทำให้รูปแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบ Multiprocessor Computer System ซึ่งมีลักษณะดังนี้ คือ มีการประมวลผลในแต่ละส่วนอย่างง่าย ๆ มีการเชื่อต่อภายในระบบมากมาย มีการส่งผ่านข้อมูลที่มีขนาดเล็ก เข้าใจง่าย ภายในระบบ และมีการเปลี่ยนแปลงการทำงานในแต่ละองค์ประกอบมีผลกระทบถึงกัน จึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ในปัจจุบัน

โดยในโครงข่ายประสาทเทียมทั่วไป มักจะมีตัวหน่วง (delay) ที่เกี่ยวข้องในระบบ โดยอาจจะเกิดจากการถูกรบกวนจากภายนอก หรือจากระยะทาง เช่น การทำนายปริมาณน้ำฝนในอนาคต การทำนายแนวโน้มของหุ้น ระบบการสื่อสาร เป็นต้น ซึ่งระบบต่าง ๆ เหล่านั้น มีการใช้ข้อมูลย้อนหลังหรือตัวหน่วง เพื่อบอกแนวโน้มของข้อมูลในอนาคต อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า ตัวหน่วงเหล่านี้อาจจะส่งผลให้ระบบไม่เสถียรได้ ดังนั้นการศึกษาเงื่อนไขการมีเสถียรภาพของโครงข่ายประสาทเทียมที่ซับซ้อนที่มีตัวหน่วงจึงเป็นหัวข้อวิจัยที่สำคัญอย่างมาก และในทำนองเดียวกัน ในระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ซับซ้อนที่มีตัวหน่วงโดยทั่วไป มักจะมีการถูกรบกวนจากทั้งปัจจัยภายในและจากภายนอก ซึ่งการถูกรบกวนนี้เราไม่ทราบแน่นอนถึงปริมาณเชิงกายภาพ แต่เราสามารถควบคุมให้ปัจจัยรบกวนเหล่านี้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งสามารถอธิบายในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ที่มีตัวหน่วงซึ่งอธิบายดังสมการต่อไปนี้



$$\dot{x}_i(t) = -Px_i(t) + Qf\big(x_i(t)\big) + Rg\left(x_i\big(t-h(t)\big)\right) + S\left(\int_{t-k(t)}^{t} h(x_i(s))ds\right) + l_i \quad (1)$$

โดยที่ $x_i(t) = [x_{i,1}(t), x_{i,2}(t), \dots, x_{i,n}(t)]^T \in \mathbb{R}^n, i = 1,2,\dots,N$ เป็นสถานะของเซลล์ประสาทเทียมของโครงข่ายที่ i เป็นจำนวนของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ในการเชื่อมต่อ, $P = \{P_{ij}\}, Q = \{q_{ij}\}, R = \{r_{ij}\}, S = \{s_{ij}\}$ เป็นเมทริกซ์ถ่วงน้ำหนักของตัวเชื่อมต่อ, $f\big(x_i(t)\big), \left(x_i\big(t-h(t)\big)\right), h\big(x_i(t)\big)$, เป็นฟังก์ชันกระตุ้นของเซลล์ประสาทที่มีตัวหน่วง, I_i เป็นตัวใส่ข้อมูลสัญญาณ, $h(t)$ เป็นตัวหน่วงที่แปรผันตามเวลา, $k(t)$ เป็นตัวหน่วงแบบแจกแจงที่แปรผันตามเวลาและเงื่อนไขของ$f\big(x_i(t)\big), g\left(x_i\big(t-h(t)\big)\right), h\big(x_i(t)\big)$,ได้กำหนดเงื่อนไขไว้ดังนี้

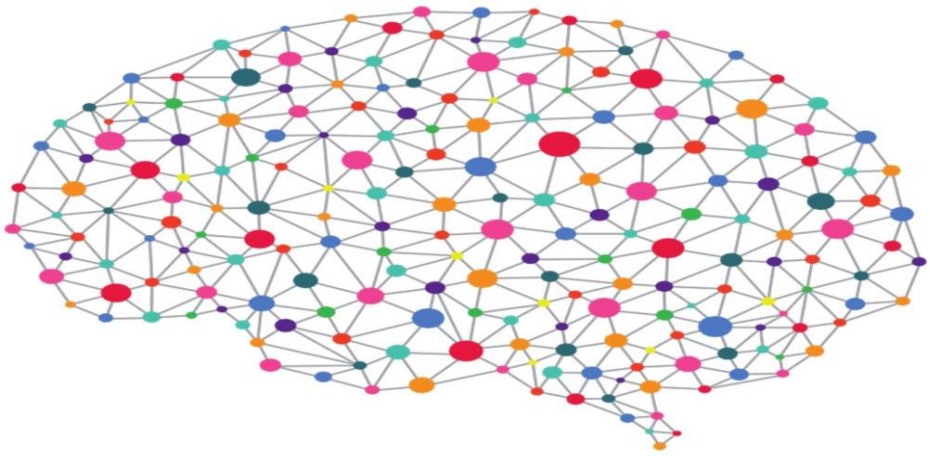
กำหนด $x_1, x_2 \in \mathbb{R}$ และค่าคงที่ $\sigma_r^-, \sigma_r^+,\ \beta_r^-, \beta_r^+,\ \delta_r^-, \delta_r^+,$ ฟังก์ชันกระตุ้นของเซลล์ประสาทสอดคล้องกับ

$$\sigma_r^- \le \frac{f_r(x_1) - f_r(x_2)}{x_1 - x_2} \le \sigma_r^+,\ \ r = 1,2,\dots,n$$

$$\beta_r^- \le \frac{g_r(x_1) - g_r(x_2)}{x_1 - x_2} \le \beta_r^+,\ \ r = 1,2,\dots,n$$

$$\delta_r^- \le \frac{h_r(x_1) - h_r(x_2)}{x_1 - x_2} \le \delta_r^+,\ \ r = 1,2,\dots,n$$

โดยคณะผู้วิจัยจะพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา โดยทำการเชื่อมต่อโครงข่ายประสาทเทียมเข้าด้วยกันหลายๆโครงข่าย ซึ่งจะเรียกว่า โครงข่ายที่ซับซ้อน Complex network โครงข่ายประสาทเทียมที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ซึ่งจะพิจารณาการทำงานพร้อมกันสำหรับโครงข่ายที่ซับซ้อนของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ซึ่งดูได้อธิบายจากภาพดังนี้



รูปที่ 1 แสดงการเชื่อมต่อของโครงข่ายประสาทเทียม โดยแต่ละจุดคือโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายควบคุมได้รับการออกแบบและอธิบายในรูปแบบสมการเชิงอนุพันธ์ได้ดังนี

$$\dot{x}_i(t) = -Ax_i(t) + Bf\big(x_i(t)\big) + Cg\left(x_i\big(t-h(t)\big)\right) + DL\left(\int_{t-k(t)}^{t} x_i(s)ds\right) + c_1\sum_{j=1}^{N} a_{ij}\Gamma_1 g_l\big(x_i(t)\big) + \sum_{l=1}^{M} c_{2l}\sum_{j=1}^{N} b_{ij}^{l}\Gamma_2^{l} g_l\left(x_i\big(t-h_l(t)\big)\right) + \sum_{l=1}^{M} c_{3l}\sum_{j=1}^{N} c_{ij}^{l}\Gamma_3^{l}\int_{t-k_l(t)}^{t} g_l\big(x_i(s)\big)ds, \tag{1}$$

$$\dot{y}_i(t) = -Ax_i(t) + Bf\big(x_i(t)\big) + Cg\left(x_i\big(t-h(t)\big)\right) + DL\left(\int_{t-k(t)}^{t} x_i(s)ds\right) + c_1\sum_{j=1}^{N} a_{ij}\Gamma_1 g_l\big(y_i(t)\big) + \sum_{l=1}^{M} c_{2l}\sum_{j=1}^{N} b_{ij}^{l}\Gamma_2^{l} g_l\left(y_i\big(t-h_l(t)\big)\right) + \sum_{l=1}^{M} c_{3l}\sum_{j=1}^{N} c_{ij}^{l}\Gamma_3^{l}\int_{t-k_l(t)}^{t} g_l\big(y_i(s)\big)ds + U_i(t) + w_i(t), \tag{2}$$

$$x_i(t_0+s) = \phi_{1i}(s),\ y_i(t_0+s) = \phi_{2i}(s), s \in [t_0-\tau, t_0], \qquad i = 1,2,\dots,N$$

เมื่อ $x_i(t) = (x_{i1}(t), x_{i2}(t), \dots, x_{in}(t))^t \in R^n, y_i(t) = (y_{i1}(t), y_{i2}(t), \dots, y_{in}(t))^t \in R^n$
คือ เวกเตอร์สถานะของโครงข่ายประสาทตามลำดับ n คือจำนวนของระบบประสาท และ

$$f\big(x_i(t)\big) = [f\big(x_1(t)\big), f\big(x_2(t)\big), \dots, f\big(x_n(t)\big)]$$
$$g\big(x_i(t)\big) = [g\big(x_1(t)\big), g\big(x_2(t)\big), \dots, g\big(x_n(t)\big)]$$
$$L\big(x_i(t)\big) = [L\big(x_1(t)\big), L\big(x_2(t)\big), \dots, L\big(x_n(t)\big)]$$

คือฟังก์ชันการตัดสินใจ $P = diag(p_1, p_2, \dots, p_n)$ คือ พจน์ผลลัพธ์ของตัวเอง และ A, B, C, D คือเมทริกซ์ค่าน้ำหนักการเชื่อมต่อ

ต่อมาในปัจจุบันนี้ได้มีการประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการจำแนกภาพ (image classification) ซึ่งเป็นหัวข้อที่มีความสำคัญและได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงทศวรรษนี้ กล่าวคือ หน่วยงานราชการใช้การจำแนกภาพในด้านความปลอดภัยและความมั่นคงของชาติ เช่น การบันทึกข้อมูลอาชญากรรม การตรวจคนเข้าเมือง การสืบหาบุคคลต้องสงสัย เป็นต้น ในอีกด้านหนึ่ง องค์กรเอกชน อาทิเช่น Facebook ใช้การจำแนกภาพในการระบุ (tag) บุคคลในรูปภาพ Google ใช้การรู้จำหน้าซึ่งเป็นหัวข้อย่อยของการจำแนกภาพในการระบุบุคคล สิ่งของ และสถานที่ที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ (user) และบริษัทผู้ผลิตสมาร์ทโฟนใช้การรู้จำหน้าในการปลดล็อกหน้าจอสมาร์ทโฟน เป็นต้น ดังนั้น การจำแนกภาพ (image classification) จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างมากในปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะการจำแนกภาพเป็นเทคโนโลยีที่ใช้การวิเคราะห์ภาพหน้าของบุคคล หรือภาพของวัตถุ ซึ่งไม่จำเป็นต้องได้รับความ

ร่วมมือจากบุคคลนั้น ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำการจำแนกภาพไปใช้ในหลากหลายแขนง อาทิเช่น การจำแนกคุณภาพผลผลิตทางการเกษตร การบันทึกข้อมูลทางการแพทย์ การตรวจคนเข้าเมือง เป็นต้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ในประเทศไทย ซึ่งโดยส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากภาคอุตสาหกรรม ภาคการขนส่ง ภาคเศรษฐกิจ และภาคการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น โดยการศึกษาในครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาพร้อมทั้งเก็บรวมรวมข้อมูลที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) อาทิ ปริมาณการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้น้ำมัน จำนวนประชากร และผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) เป็นต้น หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อออกแบบตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สามารถพยากรณ์ปริมาณก๊าซ (CO2) ได้อย่างแม่นยำ โดยการประยุกต์ใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) ประมวลผล โดยใช้โปรแกรมภาษาไพทอน (Python) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำมากที่สุด พิจารณาจาก ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root Mean Square. Error: RMSE) ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation: MAD) หรือ (Mean Absolute Error: MAE) ดังนั้น ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) เป็นวิธีที่เหมาะสมสามารถพยากรณ์ปริมาณก๊าซ (CO2) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำมากที่สุด

2. หลักการและเหตุผล/ปัญหา/โจทย์การวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังให้ความสำคัญและพยายามพัฒนาประเทศในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น ด้านเศรษฐกิจ ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม เป็นต้น เพื่อให้เป็นผู้นำในภูมิภาคเอเชีย รัฐบาลจึงมีนโยบายเร่งพัฒนาทั้งเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศ นอกจากนี้แล้วยังปรับเปลี่ยนสิ่งต่าง ๆ ไม่ว่าเรื่องกฎหมาย ภาษี การลงทุน เพื่อดึงดูดบริษัทต่างชาติเข้ามาลงทุนหรือจัดตั้งโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศทำให้เกิดการก่อสร้างตึกพาณิชย์ และโครงสร้างพื้นฐานของโลจิสติกส์ (Logistics Infrastructure) เกิดการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมและการเพิ่มขึ้นของจำนวนพาหนะ เครื่องจักร รวมถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรอย่างรวดเร็วผลที่ตามมาจากดำเนินนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศคือ เกิดของเสียจากทรัพยากรและพลังงาน และที่สำคัญการเพิ่มขึ้นของของปริมาณก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) จากกิจกรรมการดำรงชีวิตของมนุษย์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) เป็นหนึ่งในประเภทของก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสภาวะโลกร้อน โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากถึงร้อยละ 87 (Pratum, C., 2015) ซึ่งผลกระทบของภาวะโลกร้อนต่างส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตมากมาย โดยเฉพาะ

เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของสภาพอากาศทำให้เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น อุทกภัย ภัยแล้ง ไฟป่า การกัด เซาะชายฝั่ง หรือการเพิ่มขึ้นของแมลงพาหนะนำโรค เป็นต้น (Bunprom, P., Kaewdam, J., 2011) ดังนั้นหลาย ๆ ประเทศทั่วโลกต่างให้ความสำคัญและตระหนักถึงอันตรายของภาวะโลกร้อน จะเห็นได้จากการได้จัดตั้งโครงการที่พยายามแก้ปัญหาของภาวะโลกร้อน เช่น คาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) ในขณะเดียวกันภาคธุรกิจก็ต่างนำปัญหาเหล่านี้มาเป็นหนึ่งในกลยุทธ์การดำเนินธุรกิจ เนื่องจากปัญหาโลกร้อน ส่วนสาเหตุการเพิ่มขึ้นของปริมาณเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เกิดจากกิจกรรมจากภาคอุตสาหกรรม ภาคการขนส่ง ภาคเศรษฐกิจ และภาคการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น โดยเฉพาะภาคการขนส่งซึ่งต้องพึ่งพาการใช้เชื้อเพลิงเป็นหลัก ซึ่งได้แก่ น้ำมันสำเร็จรูป ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น และจากการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันสำเร็จรูปมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สูงที่สุดคือ ร้อยละ 39 รองลงมาคือ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน/ลิกไนต์ ร้อยละ 32 และ ร้อยละ 29 ตามลำดับ (EPPO, 2559) และในปี พ.ศ. 2560 พบว่าภาคการผลิตไฟฟ้า ภาคการขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และภาคเศรฐกิจ อื่น ๆ มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้น้ำมันสำเร็จรูปอยู่ที่ ระดับ 1.1, 67.9, 10.7 และ 40.2 ล้านตัน ตามลำดับ (EPPO, 2560) จะเห็นว่าภาคการขนส่งมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการใช้น้ำมันสำเร็จรูปมากที่สุด ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะลอยขึ้นไปเหนือบรรยากาศทำให้เกิดการเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกอันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของโลก ซึ่งโดยปกติแล้วก๊าซเรือนกระจกที่อยู่ในชั้นบรรยากาศจะมีปริมาณเหมาะสมที่ไม่เกินร้อยละ 1 ของบรรยากาศ และอุณหภูมิบนพื้นผิวโลกที่เหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตจะต้อง ประกอบด้วยไอน้ำ (H_2O) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) (Prertpreaw, W., 2536) แต่จากการรายงานการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของประเทศไทยจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของประเทศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสัมพันธ์กันกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในชั้นบรรยากาศของประเทศด้วย เช่นกัน (Thai Meteorological Department, 2563) และเพื่อเตรียมการรับมือพร้อม ๆ กับการศึกษาหาแนวทางการป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของประเทศอันเนื่องมากจากสาเหตุของก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้นหลาย ๆ หน่วยงานทั้งภาครัฐและภาคเอกชนรวมถึงนักวิจัยต่างพยายามศึกษารูปแบบหรือตัวแบบที่สามารถพยากรณ์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกอันประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4), และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดจากภาคการขนส่ง แต่ยังไม่มีตัวแบบที่สามารถพยากรณ์ก๊าซดังกล่าวได้อย่างแม่นยำเท่าที่ควร เนื่องจากยังขาดเครื่องมือและเทคโนโลยีที่สามารถช่วยประมวลผลการพยากรณ์

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยจะต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายภาคส่วนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคพลังงานและภาคขนส่งที่เป็นภาคส่วนที่มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงแต่ก็มีศักยภาพที่จะลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้สูงเช่นกัน โดยแนวทางในภาพกว้างเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่

1) แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงาน เช่น การใช้เชื้อเพลิงสะอาด การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า และการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน (Renewable Energy; RE)

2) แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคขนส่ง เช่น การปรับมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง และการเปลี่ยนไปใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle; EV)

อย่างไรก็ตาม แนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใน 2 ภาคส่วนนี้เป็นการปรับตัวในฝั่งอุปทาน (Supply-side) เพียงอย่างเดียว แต่การที่จะบรรลุเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นจะต้องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในฝั่งอุปสงค์ (Demand-side) ด้วยเช่นกัน ทั้งการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อลดการใช้พลังงานในภาคครัวเรือนหรือในอาคาร รวมถึงการเลือกใช้ยานยนต์ไฟฟ้าหรือพลังงานสะอาด แต่การที่จะบรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกยังคงต้องการอีก 4กลไกที่สำคัญในการขับเคลื่อนให้อุปสงค์มาพบกับอุปทานที่เปลี่ยนแปลงไปตามแนวทางที่ได้วางไว้ ได้แก่

1) กลไกทางการเงิน หรือเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่จะช่วยผลักดันฝั่งอุปสงค์ เช่น การอุดหนุนด้านราคาเพื่อให้เกิดความต้องการใช้พลังงานสะอาดหรือยานยนต์ไฟฟ้า ตลอดจนการคิดภาษีคาร์บอน (Carbon tax) ในฝั่งผู้ผลิต เพื่อเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในฝั่งอุปทาน ซึ่งในที่นี้อาจหมายรวมถึงมาตรฐานพลังงานทางเลือก (Renewable Energy Certificate; REC) ซึ่งเป็นการผลักดันให้เกิดตลาดในการซื้อ-ขายพลังงานสะอาดภายในภาคอุตสาหกรรมด้วย นอกจากกลไกทางการเงินเพื่อการสนับสนุนทั้งฝั่งอุปสงค์และอุปทานแล้ว ยังมีอีกหนึ่งปัจจัยด้านการเงินที่เกี่ยวข้องกับประเด็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ Social cost of carbon[1]ซึ่งหมายถึง มูลค่าทางเศรษฐกิจจากความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ ที่น่าจะเป็นต้นทุนอีกหนึ่งส่วนที่นำมาใช้ในการออกนโยบายเพื่อสนับสนุนหรือชดเชยแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกอย่างเหมาะสม

2) เทคโนโลยีและนวัตกรรม ที่รองรับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นภายใต้ความพยายามในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งจะช่วยเติมเต็มระบบนิเวศในการสร้างสังคมคาร์บอนต่ำหรือสังคมที่มี**ความเป็นกลางทางคาร์บอน** ได้ โดยสามารถแบ่งประเภทของนวัตกรรมออกได้เป็น 4 ประเภท ที่จัดอยู่ใน 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่

- นวัตกรรมสำหรับฝั่งอุปทาน ได้แก่ กระบวนการ (Process) และโมเดลธุรกิจ (Business model) ใหม่ที่ตอบโจทย์ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เช่น กระบวนการดักจับคาร์บอนเพื่อกักเก็บหรือใช้ประโยชน์ ระบบสมาร์ทกริด (Smart grid) และเทคโนโลยีไฮโดรเจน
- นวัตกรรมฝั่งอุปสงค์ ได้แก่ การบริการ (Service) และผลิตภัณฑ์ (Product) ที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในเชิงพฤติกรรมและการเลือกใช้พลังงานสะอาด เช่น ยานยนต์ไฟฟ้า หรือระบบจัดการพลังงานในอาคาร (Building energy management)

นวัตกรรมที่มีความจำเป็นนี้จึงเป็นโอกาสสำหรับผู้ประกอบการทั้งวิสาหกิจขนาดกลางและเล็ก (SMEs) และธุรกิจสตาร์ทอัพ (Start-up) ในการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทุกรูปแบบที่จำเป็นสำหรับการขับเคลื่อนไปสู่การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3) ภาคขนส่งโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) กระทรวงคมนาคม ในการวางนโยบายที่ส่งเสริมให้เกิดการเปลี่ยนผ่านไปสู่การขนส่งแบบคาร์บอนต่ำที่ยั่งยืน (Sustainable low-carbon transportation) ตลอดจนระบบสาธารณูปโภคที่จำเป็นที่ช่วยผลักดันไปสู่**ความเป็นกลางทาง**

คาร์บอนไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า ไปจนถึงการขนส่งในรูปแบบอื่น เช่น การขนส่งผ่านระบบรางที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้

4) ภาคอุตสาหกรรม ที่เกี่ยวข้องทั้งในฝั่งอุปสงค์และอุปทานอาจเกิดการสร้างความร่วมมือระหว่างธุรกิจในลักษณะของกิจการร่วมการค้า (Joint venture) ในภาคอุตสาหกรรม อาทิเช่น รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle; BEV) เครื่องปรับอากาศ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้รับฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 การบริหารจัดการอาคาร ระบบควบคุมอัจฉริยะ (Smart control)เทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Capture and Storage; CCS) การดักจับและนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ใหม่ (Carbon capture and utilization; CCU) การขนส่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซไฮโดรเจนทางท่อ (CO_2/H_2 pipeline) ระบบสมาร์ทกริด เป็นต้นเพื่อยกระดับความสามารถและประสิทธิภาพในการดำเนินธุรกิจ ให้บรรลุเป้าหมายร่วมกันในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าที่น่าจะเป็นโอกาสในการลงทุนสีเขียว (Green investment) และการฟื้นตัวเศรษฐกิจอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Green recovery) ของประเทศไทย

กลไกทั้ง 4 ส่วนนี้จำเป็นต้องมีการขับเคลื่อนบนข้อมูลที่มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือเพื่อทำให้การตัดสินใจในเชิงการออกแบบนโยบายและการบริหารจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิให้เป็นไปอย่างเหมาะสมและเกิดผลสัมฤทธิ์สูงสุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่พิจารณาในรูปคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint; CF) และความเข้มของการใช้พลังงาน (Energy Intensity; EI) ที่เป็นการวัดมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงาน เพื่อให้เกิดการพัฒนาที่มีความสมดุลระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจ การใช้พลังงานเพื่อการยกระดับคุณภาพชีวิต และการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

นอกจากแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคพลังงานและภาคขนส่งแล้ว ยังมีภาคส่วนอื่นที่สามารถมีส่วนร่วมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมได้ ยกตัวอย่างเช่นในภาคอุตสาหกรรมที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง อาจพิจารณาการใช้เชื้อเพลิงสะอาดและพลังงานทดแทน ตลอดจนการเลือกใช้เทคโนโลยีดักจับคาร์บอนเพื่อกักเก็บหรือใช้ประโยชน์ และอีกภาคส่วนหนึ่งที่สำคัญซึ่งมีส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกก็คือจากสินค้าและอาหารที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งในกระบวนการผลิต การใช้เพื่ออุปโภคบริโภค ไปจนถึงการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพื้นที่อาศัยมีสัดส่วนจากการซื้อสินค้าและอาหารกว่าร้อยละ 40 ดังนั้นการส่งเสริมการผลิตและการบริโภคอย่างยั่งยืน (Sustainable Consumption and Production; SCP) ที่มีการใช้หรือบริโภคผลิตภัณฑ์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสมด้วยแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy; CE) ที่จะช่วยลดทรัพยากรที่ต้องใช้ก็จัดเป็นแนวทางหลักที่สามารถประยุกต์ใช้เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการอุปโภคบริโภคได้

แนวทางทั้งหมดที่ได้กล่าวถึงนั้นเป็นการจัดการเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งกำเนิด (Source) แต่หากพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิแล้วนั้น จะพบว่ายังมีอีกส่วนหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญอย่างมาก คือ พื้นที่สีเขียวที่เป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Sink) ทั้งนี้ ในยุทธศาสตร์ชาติ20 ปี ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเองก็ได้มีการกำหนดเป้าหมายในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวของประเทศให้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 55 ซึ่งมีการประมาณการว่าน่าจะช่วยดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ประมาณ

100 ล้านตันต่อปี ยิ่งไปกว่านั้น การจัดการพื้นที่สีเขียวหรือทรัพยากรป่าไม้อย่างเหมาะสมยังช่วยส่งเสริมการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศผ่านโมเดลเศรษฐกิจฐานชีวภาพ (Bio Economy) ได้อีกทางหนึ่ง

โดยในส่วนของการบริหารจัดการพื้นที่สีเขียวซึ่งเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และการติดตามสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยนั้น จะอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมซึ่งกำกับดูแลทั้งในส่วนของการจัดการทรัพยากรป่าไม้และพื้นที่สีเขียว และยังเป็นหน่วยประสานงานกลางของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่งจะเป็นผู้นำเสนอ NDC ของประเทศในเวทีสหประชาชาติตามที่ประเทศไทยได้เข้าร่วมเป็นภาคีในความตกลงปารีส (Paris Agreement) การดำเนินงานของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในทั้ง 2 ด้านนี้จะอยู่ภายใต้แผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นแผนหลักของกระทรวงที่ใช้เป็นกรอบในการดำเนินงานเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ป่าไม้ ทรัพยากรชายฝั่งและความหลากหลายทางชีวภาพ และการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมของประเทศซึ่งหมายรวมถึงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยเช่นกันตลอดจนการสร้างการมีส่วนร่วมและการสื่อสารเพื่อสร้างองค์ความรู้ในการจัดการก๊าซเรือนกระจกและแนวทางการปรับตัวเพื่อรับมือผลกระทบให้กับสังคมในทุกภาคส่วนที่เป็นหนึ่งในบทบาทที่สำคัญของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม จึงเรียกได้ว่ากระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็นอีกหนึ่งหน่วยงานที่มีบทบาทสำคัญยิ่งในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อมุ่งสู่การเป็นประเทศที่มี**ความเป็นกลางทางคาร์บอน**ได้ในการจัดการส่วนของการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(Carbon sink)และภาพรวมในการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกที่ต้องทำงานร่วมกับหน่วยงานอื่นที่รับผิดชอบในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต้นทางอย่างใกล้ชิด

นอกจากการเปลี่ยนแปลงในแต่ละภาคส่วนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต้นทางและการเพิ่มการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว การพัฒนาเทคโนโลยีการดักจับ การนำใช้ประโยชน์ และการกักเก็บคาร์บอน (Carbon capture, utilization, and storage; CCU/S)ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จำเป็นต้องมีการผลักดันอย่างจริงจัง โดย CCU/S นี้เป็นเทคโนโลยีในการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งกำเนิดหลัก เช่น การผลิตไฟฟ้าในภาคพลังงาน หรือในภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะการผลิตซีเมนต์และโลหะซึ่งคิดเป็นสัดส่วนกว่าร้อยละ 21 ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคอุตสาหกรรม และเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี CCU/S และตั้งเป้าไปสู่**ความเป็นกลางทางคาร์บอน**

นอกจาก 4 กลไกหลักที่เป็นแนวทางสำคัญในการขับเคลื่อนให้เกิด**ความเป็นกลางทางคาร์บอน**ของประเทศ ทั้งกลไกทางการเงิน เทคโนโลยีและนวัตกรรม และการปรับตัวของภาคขนส่งและอุตสาหกรรมแล้ว ยังมีปัจจัยส่งเสริมที่จะช่วยให้เป้าหมายในการมุ่งสู่ความเป็นกลางของคาร์บอนของประเทศสามารถประสบความสำเร็จอีก3 ด้าน ได้แก่

1) การจัดการความรู้ (Knowledge management) อย่างเป็นระบบเพื่อการถ่ายทอดสู่สาธารณะทั้งในรูปแบบของการประชาสัมพันธ์ (Public Relation; PR) และการสร้างแบรนด์ (Branding) ของการเป็นสังคมไทยที่มุ่งสู่**ความเป็นกลางทางคาร์บอน**

2) การจัดการข้อมูล (Data management) เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่สามารถวัดผล รายงานผล และตรวจสอบพิสูจน์ผลได้อย่างเป็นระบบเพื่อให้เกิดการจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมอย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลที่

ถูกต้องและน่าเชื่อถือนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบนโยบายหรือมาตรการที่มีประสิทธิภาพของภาครัฐเช่น การดำเนินการจัดทำศูนย์ข้อมูล หรือ Sensor เพื่อตรวจวัดข้อมูลในระบบ Real time

3) การวิจัยและพัฒนา (Research and Development; R&D) ที่อาจนำไปสู่การลงทุนของภาคเอกชนหรือภาครัฐในกิจกรรมที่มีความสำคัญ

ปัจจัยทั้ง 3 ด้านนี้เป็นหลักการเช่นเดียวกับความพยายามในการจัดการปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กทั้ง PM2.5 และ PM10ดังตัวอย่างในโครงการ Sensor for All ที่อาศัยทั้งเทคโนโลยีในการตรวจวัด ส่งข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแสดงผล การสร้างความรู้ความเข้าใจให้กับสังคมผ่านช่องทางต่าง ๆ และการวิจัยและพัฒนาจากข้อมูลที่ได้รับ เช่น การพัฒนาระบบคาดการณ์สถานการณ์ฝุ่นในอนาคต ซึ่งปัจจัยทั้ง 3 ด้านนี้จะช่วยส่งเสริมให้การบริหารจัดการปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่นเดียวกันกับการมุ่งสู่สังคมที่มี**ความเป็นกลางทางคาร์บอน** การสร้างปัจจัยทุกด้านให้มีความพร้อมจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการขับเคลื่อนทุกกลไกและสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาเครื่องมือที่จำเป็น ดังนั้น การเตรียมความพร้อมในเชิงโครงสร้างในการจัดตั้งหน่วยงานที่มีความเป็นกลางและน่าเชื่อถือเพื่อการจัดการองค์ความรู้ จัดการข้อมูล และช่วยกำหนดทิศทางการวิจัยและพัฒนาที่จำเป็น จึงน่าจะเป็นอีกหนึ่งประเด็นที่ควรพิจารณาในการสร้างระบบนิเวศสำหรับการขับเคลื่อน**ความเป็นกลางทางคาร์บอน**ของประเทศ

จากการศึกษาที่ผ่านมามีนักวิจัยหรือนักวิชาการหลาย ๆ ท่านได้มีการนำเสนอตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอย เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถคำนวณหาค่าผลลัพธ์จากความสัมพันธ์ที่มากกว่า 2 ตัวแปรขึ้นไปได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัยหรือตัวแปร นอกจากนี้แล้ว วิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถประยุกต์ใช้ เพื่อพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นวิธีที่จำลองการทำงานของสมองมนุษย์ โดยการฝึกสอนให้คอมพิวเตอร์ได้เรียนรู้ และจดจำความสัมพันธ์ของข้อมูล หลังจากนั้นทำการทดสอบการพยากรณ์กับข้อมูลหรือสถิติ และปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้ค่าพยากรณ์ได้ค่าที่แม่นยำหรือให้ค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุด ดังกล่าว ข้างต้นวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) จึงเป็นวิธีที่แม่นยำหรือให้ค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุดในการปยุกต์ใช้เพื่อออกแบบตัวแบบการพยากรณ์

การทบทวนวรรณกรรม

ยุทธพงศ์ และ คณะ (Panmanee, Y., Jaiphet, C., Boonpoke, A., 2013) ได้ศึกษาเพื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคอุตสาหกรรมการขนส่ง โดยเลือกการเดินรถของสหกรณ์ในจังหวัดแพร่เป็นกรณีศึกษา โดย คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระยะทาง จำนวนเที่ยว จำนวนผู้โดยสาร ตลอดจนชนิดและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของพาหนะขนส่งของกรณีศึกษา หลังจากนั้นทำการคำนวณค่า Factor การปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการพิจารณากิจกรรมของการขนส่งของกรณีศึกษา ผลการวิจัยพบว่าสหกรณ์เดินรถของจังหวัด

แพร่มีเส้นทางการเดินรถให้บริการทั้งหมด 8 เส้นทาง ใช้รถทั้งหมด 125 คัน และเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นน้ำมันดีเซลทั้งหมด และจากผลการคำนวณค่า Factor การปล่อยก๊าซ CO2 พบว่าเส้นทางการเดินรถทั้งหมดของสหกรณ์ปล่อยก๊าซ CO2 เทียบเท่า 1,488.73 ตัน

ปัญจ์พัชรภร บุญพร้อม และจิรา แก้วดำ (Bunprom, P., Kaewdam, J., 2011) ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมสุรา เบียร์ และ ไวน์ จากการวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการผลิตเครื่องดื่มทั้ง 3 ประเภท โดยใช้วิธีการคำนวณค่า Emission Factor ของกระบวนการผลิตแต่ละชนิด พร้อม ๆ กับการคำนวณแนวโน้มของปริมาณการผลิตเครื่องดื่มทั้ง 3 ประเภทนี้ ผลการศึกษาพบว่าในปี พ.ศ. 2552 อุตสาหกรรมการผลิตสุรามีแนวโน้มในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ 10.10 ล้านตันต่อปี รองลงมาคืออุตสาหกรรมการผลิตเบียร์และไวน์

ถิรยุทธ ลิมานนท์ และคณะ (Limanond, T., Uttr,a S., Chermkhunthod, C., SriKaew, A., 2010) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณและวิธีโครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้แบบแพร่กลับ เพื่อนำเสนอแบบจำลองที่เหมาะสมที่สามารถพยากรณ์การครอบครองยานพาหนะของครัวเรือนในประเทศไทยได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ผลการศึกษาดังกล่าวพบว่าแบบจำลองการพยากรณ์โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) เท่ากับร้อยละ 3.01 ในขณะที่แบบจำลองการพยากรณ์โดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (สถาปัตยกรรมแบบ 8-10-10-1) ประมวลผลโดยโปรแกรม MATLAB ให้ค่าความผิดพลาด MAPE คิดเป็นร้อยละ13.83 ดังนั้นแบบจำลองโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพ สามารถพยากรณ์การครอบครองยานพาหนะได้อย่างแม่นยำกว่าแบบจำลองโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

Wenbin Yu และคณะ (Yu, W., Zhao, F., Xu, H., Xu, M., Yang, W., Boonsiah, K., 2018) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO2 จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงธรรมชาติในห้องเผาไหม้ โดยการประยุกต์ใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมที่มีอัลกอริทึมแบบย้อนกลับ (back propagation) ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 15,000 ชุด เพื่อฝึกให้คอมพิวเตอร์ได้เรียนรู้ความสัมพันธ์ของข้อมูลและผลหลังจากนั้นทำการออกแบบตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธี Box-Behnken ผลการศึกษาผู้วิจัยสามารถพยากรณ์ปริมาณก๊าซ CO2 ได้จากการป้อนข้อมูลค่า C, H และ O ด้วยตัวแบบการพยากรณ์ที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบได้สำเร็จ

จักรกฤช (2543) ได้ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการวิเคราะห์ข้อมูลตามฤดูกาลโดยวิธีบอกซ์-เจนกินส์และวิธีปรับให้เรียบเอกซ์เนนเชียลแบบวินเตอร์ โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีฤดูกาลคือปริมาณน้ำฝนของจังหวัดเชียงใหม่เก็บรวบรวมตั้งแต่เดือนมกราคม 2530 ถึง เดือนธันวาคม 2542 จากการวิเคราะห์เชิงสถิติจากค่าคาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ผลการศึกษาพบว่าวิธีปรับให้เรียบเอกซ์โปเนนเชียลแบบวินเตอร์มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีบอกซ์-เจนกินส์

วราฤทธิ์ (2548) ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนของจังหวัดหนองคาย โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม 2539 ถึง เดือนพฤษภาคม 2548 โดยใช้วิธีการพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธีแยกส่วนประกอบ วิธีของวินเตอร์ และวิธีของบอกซ์-เจนกินส์ จากการเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ทั้งสามโดยใช้เกณฑ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) พบว่า วิธีแยก

ส่วนประกอบเป็นวิธีที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลมากที่สุด รองลงมา คือ วิธีของวินเตอร์ และวิธีของบอกซ์-เจนกินส์

ชูเกียรติ (2553) ศึกษาเรื่องการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยวิธีการปรับเรียบด้วยการเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายครั้งละ 2 และ 12 เดือน วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังอย่างง่าย และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังอย่างง่าย และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังสองครั้ง จากการตรวจสอบความแม่นยำของตัวพยากรณ์ร่วมกับข้อมูลสังเกตโดยใช้วิธี Mean Absolute Deviation (MAD) ผลการวิจัยพบว่าวิธีการปรับเรียบด้วยการเฉลี่ยเคลื่อนที่ครั้งละ 12 เดือนมีความเหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้

วรางคณา (2558) ศึกษาตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับปริมาณน้ำฝน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน จากศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคเหนือตอนบน กรมชลประทาน ตั้งแต่เดือนมกราคม 2541 ถึงเดือนสิงหาคม 2556 จำนวน 188 ค่า โดยใช้วิธีการพยากรณ์ 3 วิธี คือวิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย และวิธีการพยากรณ์รวม จากการทดลองพบว่าวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดที่ได้ศึกษา วิธีการพยากรณ์รวมเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด

ชม (2560) ศึกษาการพยากรณ์น้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้ข้อมูลจากสถานีสำรวจปริมาณน้ำฝนแบบธรรมดา ของศูนย์อุทกวิทยาชลประทาน ภาคกลาง กรมชลประทาน จำนวน 3 สถานี รูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการทดลองคือรูปแบบข้อมูลฝนรายเดือนตั้งแต่ ปี 2544 ถึง 2558 ตัวแบบที่ใช้ในการพยากรณ์นี้คือ 1) วิธีแยกส่วนประกอบ 2) วิธีทำให้เรียบของเอกโปเนนเชียลแบบวิเตอร์แบบคูณ และ 3) วิธีของบอกซ์-เจนกินส์ จากการทดลองพบว่า วิธีทำให้เรียบของเอกโปเนนเชียลแบบวิเตอร์แบบคูณให้ค่าทางสถิติ Mean Square Error (MSE) ต่ำกว่าอีกสองวิธีที่สองสถานี อีกหนึ่งสถานีนั้นวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ให้ค่าต่ำกว่าอีกสองวิธีนั้น สรุปจากการทดลองได้ว่าวิธีเอกโปเนนเชียลแบบวิเตอร์แบบคูณเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดกับข้อมูลในการศึกษานี้ รองลงมาคือวิธีของบอกซ์-เจนกินส์

Weesakul, U., and Lowanichchai, S. (2548) ศึกษาการพยากรณ์น้ำฝนทั้งหมด 31 สถานีของประเทศไทยตั้งแต่ปี 2429 ถึง ปี 2533 โดยใช้ตัวแบบ 2 วิธีคือ AutoRegressive-MovingAverage (ARMA) และ Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) จากการทดลองพบว่า วิธี ARIMA ได้ให้ค่าที่เหมาะสมกับการพยากรณ์ฝนของประเทศทั้งหมด 23 สถานี ในทางกลับกันวิธี ARMA ให้ค่าที่เหมาะสมกับการพยากรณ์ฝนของประเทศไทยทั้งหมด 8 สถานี สรุปได้ว่าแบบจำลองนั้นสามารถทำการพยากรณ์ฝนและพยากรณ์ฝนล่วงหน้าที่บริเวณประเทศไทยได้ดีในระดับหนึ่ง

Sawsan M.A. (2556) ศึกษาอนุกรมเวลาของปริมาณน้ำฝนของประเทศบังกลาเทศ โดยศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศบักลาเทศข้อมูลน้ำฝนตั้งแต่ปี 2523 ถึง ปี 2555 โดยใช้วิธีวเคราะห์ความไวร่วมกับแบบจำลองฤดูกาล ARIMA หรือ SARIMA ซึ่งสามารถแบ่งวิธีรูปแบบการทดลองได้ทั้งหมดดังนี้ SARIMA (4, 1, 0) (1, 1, 0), SARIMA (2, 1, 0) (0, 1, 0), SARIMA (0, 1, 1) (0, 1, 0), SARIMA (3, 1, 0) (0, 1, 1), SARIMA (2, 1, 3) (0, 1, 1) และ SARIMA (4, 1, 2) (0, 1, 1) จากการทดลองพบว่ารูปแบบ SARIMA (2, 1, 3) (0, 1, 1) ได้ให้ค่าจากแบบจำลองดีกว่ารูปแบบอื่น โดยให้ค่า Mean square ที่ 231 และค่า AIC ที่ 2158 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ

ข้อมูลสังเกต สรุปผลการวิจัยการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนจาก SARIMA นั้นสามารถยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลสังเกตุในการศึกษานี้

Daniel, E., and Adeyeye, F.J. (2558) ศึกษาการพยากรณ์น้ำฝนที่เมือง Warri ของประเทศ Nigeria โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ปี 2546 ถึง 2558 แล้วนำข้อมูลที่มีอยู่นำมาทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนของปี 2559 โดยใช้วิธีของ Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) และได้เลือกตัวแบบจำลองฤดูกาลร่วมกับวิธี ARIMA หรือ SARIMA ซึ่งงานวิจัยได้เลือก SARIMA (1, 1, 1) (0, 1, 1) ซึ่งค่าตัวแปรที่ได้จากการพยากรณ์มีดังนี้ ตัวแปร RSS=81.098, 773, ตัวแปร AIC=281.312,35 และ ตัวแปร SBC=289.330,84 จากการทดลองพบว่าเมื่อนำค่าที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสังเกตุแล้วนั้น ค่าของการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนของปี 2559 นั้นสามารถยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลสังเกตุในการศึกษาครั้งนี้

กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547. การประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายใยประสาทเทียม (Arificial Neural Networks (ANNs)

สถาบันพัฒนาการชลประทาน กรมชลประทาน. 2551. เอกสารการฝึกอบรม “การประยุกต์ใช้ Arificial Neural Networks (ANNs) ในงานชลประทาน’’

ผศ.ดร.เสรี ศุภราทิตย์. 2544. คู่มือการพยากรณ์น้ำโดยโครงข่ายใยประสาทเทียม สถาบันพัฒนา ชลประทาน. กรมชลประทาน

เลอพงษ์ อ่ำสุริยา. 2546.วิทยานิพนธ์, การประยุกต์ใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในการจำลอง ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ-อัตราการไหล. คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทรงพลและนุวีย์ (2563) ศึกษาข้อมูลปริมาณฝุ่น PM2.5 รายชั่วโมง โดยใช้ข้อมูล 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 ข้อมูลอนุกรมเวลา จากสถานีวัดคุณภาพอากาศ สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย ตั้งแต่วันที่ 3 สิงหาคม 2562 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2562 และประเภทที่ 2 ข้อมูลภาพถ่ายท้องฟ้า ผู้วิจัยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุดคือ training set (สิงหาคม – พฤศจิกายน 2562) และ test set (ธันวาคม 2562) โดยใช้ Deep learning จำนวน 2 วิธีคือ Convolutional Neural Networks (CNN) และ Convolutional Neural Networks-Long Short-Term Memory (CNN-LSTM) เกณฑ์ในการพิจารณาว่าวิธีใดเป็นวิธีที่เหมาะสม ใช้เกณฑ์ Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ในงานวิจัยชิ้นนี้วิธีประมาณค่าข้อมูลสูญหายด้วยวิธี Forward Filling ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เซตของค่า hyperparameters ที่เหมือนกัน พบว่าวิธี CNN-LSTM เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลที่นำมาศึกษาเนื่องจากให้ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่น้อยกว่า วิธี CNN

ตระวรรณและนพภาพร (2556) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา โดยศึกษาในพื้นที่ริมถนนในกรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษรายชั่วโมงตั้งแต่ปี 2545 – 2554 จาก 3 สถานี ได้แก่ การเคหะดินแดง สถานีไฟฟ้ า ย่อยธนบุรี และสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ ได้แก่ สหสัมพันธ์เพียร์สัน การถดถอยเชิงเส้น และการถดถอยพหุคูณ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ อุณหภมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน และความ

เข้มแสง ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิส่งผลต่อปริมาณฝุ่นมากที่สุด อีกทั้งความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ขึ้นกับขีดความสามารถของ บรรยากาศในการแพร่กระจายมากที่สุด โดยประกอบด้วยความเร็วลมที่ต่ำ อากาศเย็นและเสถียร และแสงแดด ไม่จัดมาก และข้อสรุปอีกประการหนึ่งก็คือ ฝนไม่มีผลมากนักต่อความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็ก

ขจรศักดิ์ และเพชร(2550) ทำการการสำรวจปริมาณฝุ่น (PM10) ในอากาศภายในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน โดยเลือกใช้สถานีที่เก็บข้อมูลจำนวน 4 สถานีภายในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน ได้แก่ โรงพยาบาลเทศบาลฯ ตลาดวโรรส, หน้าที่ว่าการอำเภอสารภี, โรงเรียนยุพราช และชุมชนไก่แก้ว อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน ซึ่งทั้ง 4 สถานีล้วนแล้วแต่เป็นเขตชุมชน โรงเรียน สถานที่ราชการที่มีการจราจรหนาแน่น นอกจากนี้ยังมีการเก็บข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ปริมาณฝน อุณหภูมิ ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ทัศนวิสัย ความยาวนานของแสงแดด ความเร็วและทิสทางลม ผลการวิจัยพบว่า ในฤดูแล้ง มีระดับ PM10 รายวันสูงกว่าฤดูอื่น ๆ ทุกสถานี โดยเฉพาะที่อำเภอสารภีและโรงเรียนยุพราช จากความสัมพันธ์ปริมาณฝุ่น ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างแต่ละฤดูอธิบายได้ว่า ความเข้มข้น PM10 รายวันภายในจังหวัดเชียงใหม่ได้รับอิทธิพลเดียวกัน คือ แหล่งกำเนิด ลักษณะทางภูมิศาสตร์ ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา

Teerachai (2022) ทำการพยากรณ์ปริมาณฝุ่น PM2.5 ในเขตตัวเมือง ใน 3 จังหวัด บริเวณภาคเหลือ ของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ ลำปางและน่าน ซึ่งทำการศึกษาระหว่างฤดูฝนและฤดูร้อน จากหลายตัวแปร ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณ SO2, NO2, CO, O3 โดยใช้ Multivariate Linear Regression Model ผลการศึกษาพบว่า วิธี Multivariate Linear Regression เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ปริมาณฝุ่น PM2.5 โดยใช้เกณฑ์ coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE), and standard error (SE)

Kuntalee และคณะ (2021) ทำการประมาณค่าข้อมูลสูญหายของปริมาณ PM2.5 โดยใช้วิธี Gappy Proper Orthogonal Decomposition Method (gappy POD) จากทั้งหมด 57 สถานีในเขตภาคเหนือตอนบน ได้แก่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง น่าน พะเยา และแพร่ ผลการวิจัยพบว่า วิธี gappy POD เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าข้อมูลสูญหายของข้อมูลปริมาณฝุ่น PM2.5 ใน 8 จังหวัดภาคเหนือของประเทศไทย

Wongrin และคณะ (2023) ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ปริมาณฝุ่น PM2.5 ด้วยวิธีทางสถิติ ได้แก่ วิธี Holt-Winters exponential smoothing (ETS), autoregressive integrated moving average (ARIMA), and dynamic linear model (DLM) และเทคนิค deep Learning นั่นคือ Long-Short-Term Memory (LSTM) โดยประยุกต์ใช้กับข้อมูลปริมาณฝุ่น PM2.5 รายวันของ 10 จังหวัด ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำปาง นครสวรรค์ แม่ฮ่องสอน น่าน ลำพูน แพร่ พะเยาและตาก ผลการศึกษาพบว่าจากการใช้เกณฑ์ root mean square error (RMSE) วิธี ARIMA ให้ผลการพยากรณ์ที่ดีกว่าวิธี deep Learning เกือบทุกสถานี

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศในทางด้านตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying

delays) เพื่อศึกษา พัฒนา และประยุกต์ใช้ได้จริงกับเหตุการณ์ในปัจจุบันและอนาคตให้เป็นผลประโยชน์ในการวางแผนจัดการปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย ในอนาคตได้ ซึ่งจะทำการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) ที่สามารถพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า ในประเทศไทยยังไม่มีงานวิจัยที่สร้างและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) ที่สามารถพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย มาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย

จากตัวอย่างงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าส่วนใหญ่นักวิจัยยังใช้วิธีด้วยวิธี การวิเคราะห์การถดถอยในการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) จึงทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) โดยใช้เทคนิค Artificial Intelligence เรียกว่า ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) ในการศึกษา พัฒนา และประยุกต์ใช้ได้จริงกับข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย เพื่อเป็นผลประโยชน์ในการวางแผนจัดการการแก้ปัญหามลพิษทางอากาศและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2566. ข้อมูล PM2.5 ย้อนหลัง [อินเทอร์เน็ต]. เข้าถึงได้จาก: Air4Thai (pcd.go.th) (วันที่สืบค้น 2 กรกฎาคม 2566)

ขจรศักดิ์ โสภาจารีย์ และ เพชร เพ็งชัย. 2550. การสำรวจปริมาณฝุ่นในอากาศภายในจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. เข้าถึงได้จาก: CMUL (วันที่ สืบค้น 4 สิงหาคม 2566)

ตระวรรณ หาญกิจรุ่ง และ นพภาพร พานิช. 2556. อิทธิพลของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและการจราจรต่อปริมาณฝุ่น ละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ของพื้นที่ริมถนนในเขตกรุงเทพมหานคร. การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10. 2543-2550.

ทรงพล เกริกกิดาการ และ นุวีย์ วิวัฒนวัฒนา. 2563. แบบจำลองการพยากรณ์ค่าความเข้มข้น PM2.5 ล่วงหน้า 24 ชั่วโมงจากภาพถ่าย โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ และแบบหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว. 1st Proceeding of the Data Science Conference, Bangkok, Thailand. 11-15.

ปรับกระบวนทัศน์การพัฒนาเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนของสังคมไทย โดย ศ. ดร.พิสุทธิ์ เพียรมนกุล; ดร.ณัฐวิญญ์ ชวเลิศพรศิยา; ภาวินี พงศ์พันธ์พฤทธิ์; รัชนัน ชำนาญหมอ; ดร.อริสรา เพียรมนกุล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

C. Pratum, "Feasibility Study of Carbon Dioxide Recycling Using a Biological Wastewater Treatment System for Industrial Sources," Journal of Environmental Management, vol. 11, no. 2, pp. 106-133, 2015.

P. Bunprom and J. Kaewdam, "A study of Carbondaioxide Gas Emission from alcohol beverage industrial process," Suddhiparitad, vol. 25, no. 77 (September -December), pp. 7-18, 2011.

Energy Policy and Planning Office (EPPO), Ministry of Energy, " CO2 Emission by Energy Type and Sector.," Bangkok, 2559.

Energy Policy and Planning Office (EPPO), Ministry of Energy, " CO2 Emission by Energy Type and Sector.," Bangkok, 2559.

P. Wongwut, “CO2 Emission from Energy Consumption in Thailand” Thesis, Bachelor of Science, King Mongkut's Institute of Technology, 2536.

Climatogical Center (2022, March). [Online]. Available: http://www.climate. tmd.go.th/content/file/2104

Y. Panmanee, C. Jaiphet and A. Boonpoke, "Greenhouse gas emission from road transportation sector: A case study of transportation cooperative service," Naresuan Phayao Journal, vol. 6, no. 3, pp. 231-236, 2013.

T. Limanond, S. Uttra, C. Chermkhunthod and A. SriKaew, "Comparing the Performance of Automobile Ownership Model: By Multiple Linear Regression Analysis Method and Back-Propagation Learning of ANN Method," in The 3rd Atrans Symposium Student Chapter Session, Bangkok, 2010.

W. Yu, F. Zhao, H. Xu, M. Xu, W. Yang, K. Boonsiah, and S. Prabakaran, “Predictive control of CO2 emissions from a grate boiler based on fuel nature structures using intelligent neural network and Box-Behnken design,” in the 10th International Conference on Applied Energy, Hong Kong, China, 22-25 August, pp.364-369, 2018.

Statistics and research methodology for information technology. (2019, August 17) Regression Analysis. [Online]: Available:http://home.dsd.go.th/kamphaengkkam/km/inforinform/RESECARCH/000Regression.pdf

A. Sarasiri. (2019, August). An Artificial Neuron Network of Technique. [Online]. Available:https://sites.google.com/site/powerpow/phost-him/thekhnikhkarreiy nruphunthankthekhnikhkarreiynruphu

An integral element of the Ministry of Energy, the Energy Policy, and Planning Office (EPPO). (2019, August). Energy Statistics of Thailand. [Online]. Available: http://www.pagemakerth.com/eppostat2018/#p=9

Amnuaylojaroen, T., 2022. Prediction of PM2. 5 in an urban area of northern Thailand using multivariate linear regression model. *Advances in Meteorology*, pp.1-9.

Amnuaylojaroen, T., Parasin, N. and Limsakul, A., 2022. Health risk assessment of exposure near-future PM2. 5 in Northern Thailand. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *15*(11), pp.1963-1979.

Chaisee, K., Wongkaew, S. and Thawinan, E., 2021. Estimation of PM 2.5 Concentrations in Northern Thailand Using the Gappy Proper Orthogonal Decomposition Method. *EnvironmentAsia*, *14*(3), pp 71-79.

Chinsorn, A. and Papong, S., 2021. The The Estimation of PM2. 5 Pollution Using Statistical Analysis and MERRA-2 Aerosol Reanalysis for Health Risk Assessment in Northern Thailand. *Thai Environmental Engineering Journal*, *35*(3), pp.31-40.

Chirasophon, S. and Pochanart, P., 2020. The Long-term Characteristics of PM 10 and PM 2.5 in Bangkok, Thailand. *Asian Journal of Atmospheric Environment (AJAE)*, *14*(1), pp 73-83.

Kumharn, W., Sudhibrabha, S., Hanprasert, K., Janjai, S., Masiri, I., Buntoung, S., Pattarapanitchai, S., Wattan, R., Pilahome, O., Nissawan, W. and Jankondee, Y., 2022. Improved Hourly and long-term PM2. 5 Prediction Modeling Based on MODIS in Bangkok. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *28*, p.100864.

Kliengchuay, W., Worakhunpiset, S., Limpanont, Y., Meeyai, A.C. and Tantrakarnapa, K., 2021. Influence of the meteorological conditions and some pollutants on PM 10 concentrations in Lamphun, Thailand. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *19*, pp.237-249.

Mueller, W., Vardoulakis, S., Steinle, S., Loh, M., Johnston, H.J., Precha, N., Kliengchuay, W., Sahanavin, N., Nakhapakorn, K., Sillaparassamee, R. and Tantrakarnapa, K., 2021. A health impact

assessment of long-term exposure to particulate air pollution in Thailand. *Environmental Research Letters*, *16*(5), p.055018.

Pattana-Anake, V. and Joseph, F.J.J., 2022, May. Hyper parameter optimization of stack LSTM based regression for PM 2.5 data in Bangkok. In *2022 7th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR).* pp. 13-17.

Ratchagit, M. and Xu, H., 2022. A two-delay combination model for stock price prediction. *Mathematics*, *10*(19), p.3447.

Sakul-Ung, P., Ruchanawet, P., Thammabunwarit, N., Vatcharaphrueksadee, A., Triperm, C. and Sodanil, M., 2019, December. PM2. 5 prediction based weather forecast information and missingness challenges: a case study industrial and metropolis areas. In *2019 Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C)*, pp. 1-5.

Son, R., Stratoulias, D., Kim, H.C. and Yoon, J.H., 2023. Estimation of surface Pm2. 5 concentrations from atmospheric gas species retrieved from tropomi using deep learning: impacts of fire on air pollution over Thailand. *Atmospheric Pollution Research*, *14*(10), p.101875.

Thanavanich, T., Yaibuates, M. and Suchaya, P., 2021, March. Improving the accuracy of forecasting PM2. 5 concentrations with hybrid neural network model. In *2021 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunication Engineering* (pp. 18-22). IEEE.

Vinitketkumnuen, U., Kalayanamitra, K., Chewonarin, T. and Kamens, R., 2002. Particulate matter, PM 10 & PM 2.5 levels, and airborne mutagenicity in Chiang Mai, Thailand. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, *519*(1-2), pp.121-131.

Wongrin, W., Chaisee, K. and Suphawan, K., 2023. Comparison of Statistical and Deep Learning Methods for Forecasting PM 2.5 Concentration in Northern Thailand. *Polish Journal of Environmental Studies*, *32*(2). pp. 1419–1431.

3. วัตถุประสงค์ (ระบุเป็นข้อ)

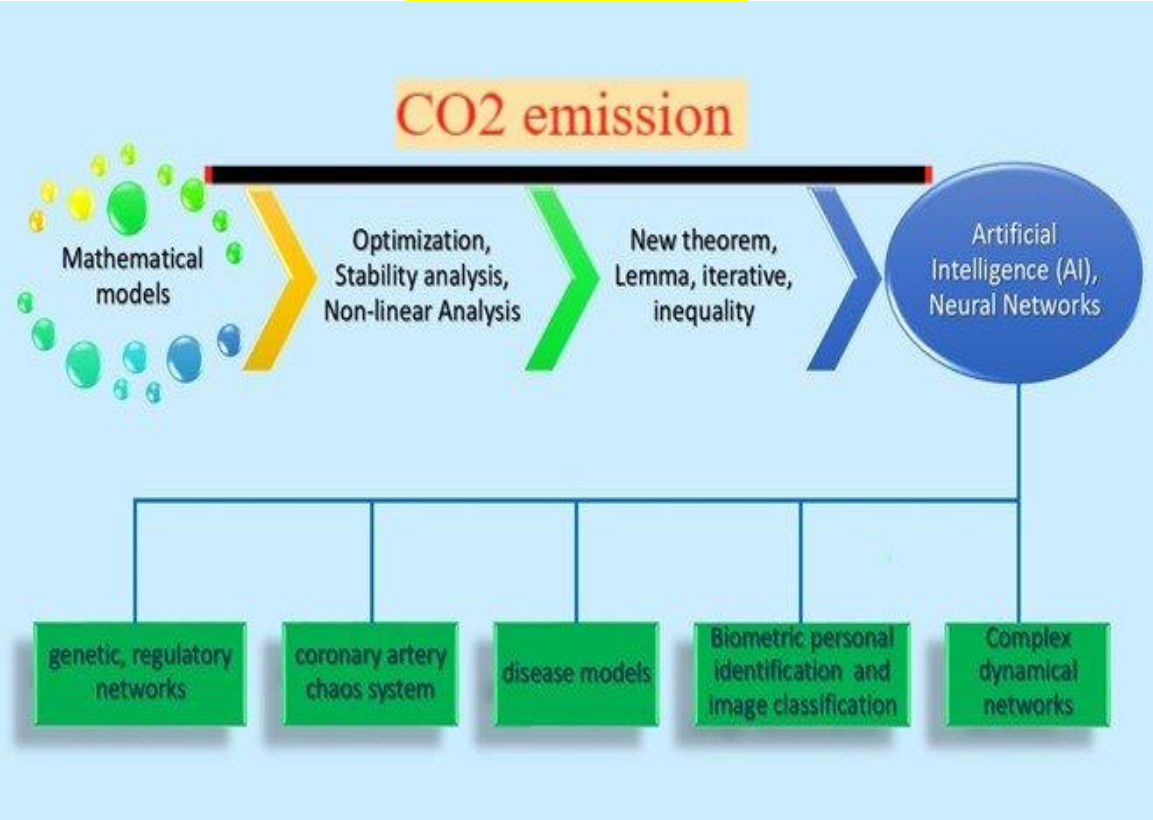
3.1. เพื่อศึกษาปัจจัยและตัวแปรที่ส่งผลต่อการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย

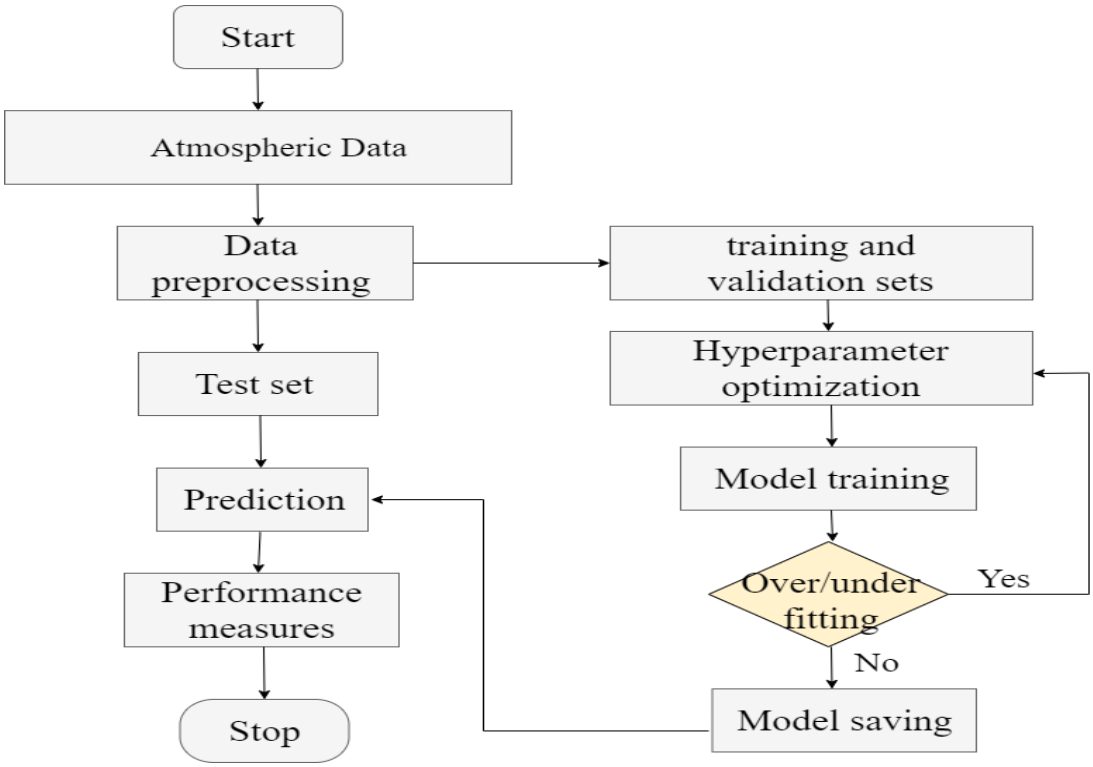
3.2. เพื่อนำเสนอแนวทางการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ สำหรับการพยากรณ์ปริมาณปริมาณก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา

4. กรอบการวิจัย/พัฒนา

กรอบการวิจัยในโครงการวิจัย





1. การเตรียมข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ บริเวณประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2549 ถึงปี 2568 (20ปี) 5 รายการดังนี้

1) จำนวนการถือครองยานพาหนะสะสม (คัน)

2) ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ล้านลิตร)

3) ค่า GDP (ล้านบาท)

4) จำนวนประชากร (คน)

5) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) (พันตัน)

2. การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ บริเวณประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2549 ถึงปี 2568 (20ปี) 5 รายการดังนี้

1) จำนวนการถือครองยานพาหนะสะสม (คัน)

2) ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ล้านลิตร)

3) ค่า GDP (ล้านบาท)

4) จำนวนประชากร (คน)

5) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) (พันตัน)

3. สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย

4. สร้างต้นแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี) บริเวณประเทศไทย

6. พยากรณ์และวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี) บริเวณประเทศไทย

5. แนวคิด ทฤษฎี และสมมติฐานงานวิจัย (ไม่เกิน 3000 คำ)

ผู้วิจัยได้รวมรวบทฤษฎีบทพื้นฐานของการมีเสถียรภาพศึกษาได้จากตำรา และจากเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง โดยในลำดับแรกจะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้น นิยาม ความหมาย และสัญลักษณ์ต่าง ๆ ตามลำดับ ดังต่อไปนี้

เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจเราจึงใช้สัญลักษณ์แทนเซตต่าง ๆ ดังนี้

$\mathbb{R}$ แทน เซตของจำนวนจริงทั้งหมด

$\mathbb{R}^+$ แทน เซตของจำนวนจริงบวกทั้งหมด

$\mathbb{R}^n$ แทน เซตของเวกเตอร์ค่าจริงทั้งหมด ที่มีมิติ $(n \times 1)$

$\mathbb{R}^{n\times n}$ แทน เซตของเมทริกซ์ค่าจริงทั้งหมด ที่มีมิติ $(n \times n)$

$C_{n,\tau}$ หรือ $C([-\tau, 0], \mathbb{R}^n)$แทน ปริภูมิบานาคของฟังก์ชันค่าเวกเตอร์ที่ส่งจากช่วงปิด

$[-\tau, 0]$ ไปยัง $\mathbb{R}^n$

$C_{n,\tau}^{v} = \{\phi \in C_{n,\tau} : \|\phi\|_c < v\}$ เมื่อ v เป็นจำนวนจริงบวก

$\|\phi\|_c = \sup_{-\tau\le t\le 0} \|\phi(t)\|$ เมื่อ $\phi \in C_{n,\tau}$

$\dot{x}(t) = \frac{dx(t)}{dt}$

กำหนดให้เมทริกซ์ $A \in \mathbb{R}^{n\times n}$

$\lambda(A)$ แทน เซตของไอเกนแวลลิว (eigenvalue) ทั้งหมดของเมทริกซ์ A

$\lambda_{\min}(A) = \min\{\mathrm{Re}\lambda : \lambda \in \lambda(A)\}$

$\lambda_{\max}(A) = \max\{\mathrm{Re}\lambda : \lambda \in \lambda(A)\}$

$A > 0$ หมายถึง $x^T Ax > 0, \forall x \neq 0, x \in \mathbb{R}^n$

$A < 0$ หมายถึง $x^T Ax < 0, \forall x \neq 0, x \in \mathbb{R}^n$

พิจารณาสมการ

$$\dot{x}(t) = f(t,x) \tag{a1}$$

โดยที่ $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n, x_i = x_i(t),\ f = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ และ $f_i = f_i(t, x_1, x_2, \dots, x_n)$ สำหรับ $i = 1, 2, \dots, n$

บทนิยาม 1 จุดสมดุลของสมการ (a1) คือ $x = a$ ที่ทำให้ $f(t,a) = 0$

บทนิยาม 2 กำหนดให้ $\bar{0} = (0,0, \dots ,0)$ เป็นจุดสมดุลของสมการที่ (a1) แล้วจะกล่าวว่า $\bar{0}$

(1) **เสถียร (stable)** ถ้าสำหรับทุก $\varepsilon > 0$ มี $\delta = \delta(\varepsilon, t_0) > 0$ ซึ่งถ้า $\|x(t_0)\| < \delta$ แล้ว $\|x(t)\| < \varepsilon$ สำหรับทุก $t \geq t_0 \geq 0$

(2) **เสถียรเชิงเส้นกำกับ (asymptotically stable)** ถ้า $\bar{0}$ เป็นจุดสมดุลเสถียรและ $\|x(t)\| \to 0$ เมื่อ $t \to \infty$

(3) **ไม่เสถียร (unstable)** ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไข (1) นั่นคือ มี $\varepsilon > 0$ ทุก $\delta > 0$ มี $x(t_0)$ ซึ่ง $\|x(t_0)\| < \delta$ และ $\|x(t)\| < \varepsilon$ สำหรับบางค่า $t \geq t_0$

บทนิยาม 3 ฟังก์ชันไลปูนอฟ (Lyapunov function)

กำหนดให้ $V(x): \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ เป็นฟังก์ชัน เรากล่าวว่า $V(x)$ เป็นฟังก์ชันไลปูนอฟของระบบสมการ (a1) ถ้าเงื่อนไขต่อไปนี้จริง

1. $V(x)$ และ ทุกอนุพันธ์ย่อย $\frac{\partial V}{\partial x_i}$ โดยที่ $i = 1,2,3, \dots, n$ ต่อเนื่อง

2. $V(x)$ เป็น **บวกแน่นอน** (positive definite) นั่นคือ $V(\bar{0}) = 0$ และ $V(x) > 0$

   สำหรับ $x \neq \bar{0}$

3. อนุพันธ์ของ $V(x)$ เทียบกับ t คือ

$$\dot{V} = \frac{\partial V}{\partial x_1}\dot{x}_1 + \frac{\partial V}{\partial x_2}\dot{x}_2 + \cdots + \frac{\partial V}{\partial x_n}\dot{x}_n$$
$$= \frac{\partial V}{\partial x_1}f_1 + \frac{\partial V}{\partial x_2}f_2 + \cdots + \frac{\partial V}{\partial x_n}f_n$$

เป็น **กึ่งลบแน่นอน** (negative semidefinite) นั่นคือ $\dot{V}(\bar{0}) = 0$ และ $\dot{V}(x) \leq 0$ สำหรับ $x \neq \bar{0}$

ทฤษฎีบท 1 พิจารณาระบบสมการ

$$\dot{x}(t) = f(t,x) \quad \text{และ} \quad f(t,\bar{0}) = 0 \quad \text{เมื่อ } x(t_0) = x_0 \tag{a2}$$

(i) จุดสมดุลของระบบ (a2) จะ **เสถียร** ถ้ามีฟังก์ชันไลปูนอฟ $V(x)$ ที่สอดคล้องกับ บทนิยาม 3

(ii) จุดสมดุลของระบบ (a2) จะ**เสถียรเชิงเส้นกำกับ** ถ้ามีฟังก์ชันไลปูนอฟ $V(x)$ ที่สอดคล้องกับบทนิยาม 3 และอนุพันธ์ของ $V(x)$ เป็นลบแน่นอน (negative definite) นั่นคือ

ถ้า $\dot{V}(\bar{0}) = 0$ และ $\dot{V}(x) < 0$ สำหรับ $x \neq \bar{0}$

พิจารณาระบบสมการเชิงอนุพันธุ์ที่มีตัวหน่วงซึ่งอยู่ในรูปแบบ

$$\dot{x}(t) = f(t, x_t), \quad t \geq t_0, \tag{a3}$$

$$x_{t_0}(\theta) = \phi(\theta), \ \ \forall\theta \in [-\tau, 0],$$

เมื่อ $x(t) \in \mathbb{R}^+, \tau \in \mathbb{R}^+, x_t(\theta) = x(t+\theta), \forall\theta \in [-\tau, 0], \phi(t) \in C_{n,\tau}^v$ เป็นฟังก์ชันเงื่อนไขค่าเริ่มต้น และ $f(t, \phi)$: $\mathbb{R}^+ \times C_{n,\tau}^v \to \mathbb{R}^n$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและสอดคล้องกับเงื่อนไขลิพชิทซ์ ซึ่ง $f(t, 0) = 0$

ทฤษฎีบทไลปูนอพ-ราซูมิคิน (Lyapunov-Razumikhin Theorem)

ให้ $f(t, \phi)$: $\mathbb{R} \times C_{n,\tau} \to \mathbb{R}^n$ เป็นฟังก์ชันที่ส่งจากเซตที่มีขอบเขตของ $C_{n,\tau}$ ไปยังเซตที่มีขอบเขตของ $\mathbb{R}^n$ และให้ u, v, w, p: $\mathbb{R}^+ \to \mathbb{R}^+$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและเป็นฟังก์ชันไม่ลด ซึ่ง $u(s), v(s), w(s), p(s)$ มีค่าเป็นจำนวนจริงบวก สำหรับ $s > 0, u(0) = v(0) = 0$

ถ้ามีฟังก์ชันต่อเนื่อง V: $\mathbb{R} \times \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ ซึ่งสอดคล้องกับอสมการ

$$u(\|x\|) \leq V(t, x) \leq v(\|x\|), \qquad t \in \mathbb{R}, \quad x \in \mathbb{R}^n$$

และสอดคล้องกับอสมการ

$$\dot{V}(t, x(t)) \leq -w(\|x(t)\|),$$

ถ้า $V(t+\theta, x(t+\theta)) < p\left(V\left(t, x(t)\right)\right), \ \forall\theta \in [-\tau, 0]$

แล้วจะได้ว่า ระบบสมการ (a3) มีเสถียรภาพเชิงเส้นกำกับเอกรูป (uniformly asymptotically stable)

ทฤษฎีบทไลปูนอพ-คราซอฟสกี (Lyapunov-Krasovskii Theorem) [20]

ให้ $f(t, \phi)$: $\mathbb{R} \times C_{n,\tau} \to \mathbb{R}^n$ เป็นฟังก์ชันที่ส่งจากเซตที่มีขอบเขตของ $C_{n,\tau}$ ไปยังเซตที่มีขอบเขตของ $\mathbb{R}^n$ และให้ u, v, w, p: $\mathbb{R}^+ \to \mathbb{R}^+$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและเป็นฟังก์ชันไม่ลด ซึ่ง $u(s), v(s), w(s)$ มีค่าเป็นจำนวนจริงบวก สำหรับ $s > 0, u(0) = v(0) = 0$

ถ้ามีฟังก์ชันต่อเนื่อง V: $\mathbb{R} \times C_{n,\tau} \to \mathbb{R}$ ซึ่งสอดคล้องกับอสมการ

(1) $u(\|\phi(0)\|) \leq V(t, \phi) \leq v(\|\phi\|_c)$

(2) $\dot{V}(t, \phi) \leq -w(\|\phi(0)\|)$

แล้วจะได้ว่า ระบบสมการ (a3) มีเสถียรภาพเอกรูป (uniformly stable)

และถ้า $w(0) = 0$ จะได้ว่า แล้วจะได้ว่า ระบบสมการ (a3) มีเสถียรภาพเชิงเส้นกำกับ ยิ่งไปกว่านั้น ถ้า $w(s) > 0, s > 0$ แล้วจะได้ว่า ระบบสมการ (a3) มีเสถียรภาพเชิงเส้นกำกับเอกรูป (uniformly asymptotically stable)

หมายเหตุ ฟังก์ชัน V ที่สอดคล้องกับทฤษฎีบทข้างต้น ถูกเรียกว่า **ฟังก์ชันไลปูนอฟ**

การออกแบบตัวควบคุมสำหรับการทำงานพร้อมกันของระบบสมการเชิงอนุพันธ์

พิจารณาระบบสมการเชิงอนุพันธ์

$$\dot{x} = f(t,x), \tag{a4}$$

$$\dot{y} = g(t,y) + u(t,x,y) \tag{a5}$$

กำหนดให้ $e(t) = y(t) - x(t)$ เราจะได้ระบบสมการความคลาดเคลื่อนของ (a4) และ (a5) ดังนี้

$$\dot{e}(t) = \dot{y}(t) - \dot{x}(t) = g(x,y) + u(t,x,y) - f(x) \tag{a6}$$

โดยที่ $x, y \in \mathbb{R}^n, f, g \in C^r[\mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^n, \mathbb{R}^n],\ u \in C^r[\mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^n, \mathbb{R}^n],\ r \geq 1,$

บทนิยาม 4 กำหนดให้ $x(t,x_0)$ และ $y(t,y_0)$ เป็นผลเฉลยของ (a4) และ (a5) ตามลำดับ เรากล่าว่า $x(t,x_0)$ และ $y(t,y_0)$ มีความพร้อมกัน หรือระบบ (a4) และ (a5) มีการทำงานพร้อมกัน ถ้า $\lim_{t\to\infty} \|x(t,x_0) - y(t,y_0)\| = 0$

บทนิยาม 5 กำหนดให้ $x(t,x_0)$ และ $y(t,y_0)$ เป็นผลเฉลยของ (a4) และ (a5) ตามลำดับ เรากล่าวว่า $x(t,x_0)$ และ $y(t,y_0)$ มีความพร้อมกันเลขชี้กำลังวงกว้าง (globally exponentially synchronization) ถ้าจุดสมดุล 0 ของระบบ (a6) เสถียรเลขชี้กำลังวงกว้าง (globally exponentially stable) นั่นคือมี $\alpha > 0, K(x_0,y_0) > 0$ ซึ่ง

$$\|e(t)\| \leq K(x_0,y_0)e^{-\alpha t}, t \geq t_0$$

ทฤษฎีบท 2 กำหนดให้ K เป็นเมทริกซ์สมมาตรจะกล่าวว่า K เป็นเมทริกซ์ลบแน่นอน ก็ต่อเมื่อทุกค่าลักษณะเฉพาะ (eigenvalue) เป็นจำนวนจริงลบ กำหนดให้ K เป็นเมทริกซ์สมมาตรจะกล่าวว่า K เป็นเมทริกซ์บวกแน่นอน ก็ต่อเมื่อทุกค่าลักษณะเฉพาะ (eigenvalue) เป็นจำนวนจริงบวก

บทตั้ง 1 [20] (Schur complement) กำหนดให้ $Q, S, R \in \mathbb{R}^{n\times n}$ เป็นเมทริกซ์ซึ่ง

$R(x) > 0, Q(x) = Q^T(x)$ และ $R(x) = R^T(x)$ จะได้ว่า

$\begin{bmatrix} Q(x) & S(x) \\ S^T & -R(x) \end{bmatrix} < 0$ ก็ต่อเมื่อ $Q(x) + S(x)R^{-1}(x)S^T(x) < 0$

บทตั้ง 2 [20] $\lambda_{min}(Q)x^Tx \leq x^TQx \leq \lambda_{max}(Q)x^Tx$ สำหรับเมทริกซ์สมมาตร $R > 0 \in \mathbb{R}^{n\times n}$

บทตั้ง 3 [20] สำหรับเมทริกซ์สมมาตรบวกแน่นอน $M(>0), r$ เป็นจำนวนจริงบวกและฟังก์ชันเวกเตอร์

$W\colon [0,r] \to \mathbb{R}^n$ อสมการต่อไปนี้เป็นจริง

$$\left(\int_0^r W(s)ds\right)^T M \left(\int_0^r W(s)ds\right) \leq r\left(\int_0^r W^T(s)MW(s)ds\right)$$

บทตั้ง 4 สำหรับเมทริกซ์ $R > 0 \in \mathbb{R}^{n\times n}$ และ ค่าคงที่ $\beta > \alpha > 0$ และเวกเตอร์ $x: [\alpha, \beta] \to \mathbb{R}^n$ อสมการต่อไปนี้เป็นจริง

$$\int_{\alpha}^{\beta}(s-\alpha)x^T(s)Rx(s)ds \geq \frac{2}{(\beta-\alpha)^2}\int_{\alpha}^{\beta}(s-\alpha)x^T(s)ds\, R\int_{\alpha}^{\beta}(s-\alpha)x(s)ds$$

บทตั้ง 5 กำหนดให้ $y(t)$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องและไม่เป็นลบที่สอดคล้องกับอสมการต่อไปนี้

$$\begin{cases}\dot{y}(t) < -ay(t) + b\bar{y}(t), & t_i \leq t \leq w_i,\\ \dot{y}(t) < cy(t) + b\bar{y}(t), & w_i \leq t \leq t_{i+1,}\end{cases} \qquad i = 0,1,2,\ldots$$

สำหรับ $t \in [\tau, \infty]$, ที่ $\tau > 0, t_i$ และ w_i เป็นช่วงของการควบคุมและมีค่าคงที่ ψ , ที่

$$\psi = \lim_{i\to\infty}\sup\frac{t_{i+1}-w_i}{t_{i+1}-t_i}.$$

ถ้า $a > b \geq 0, \delta = a + c > 0, \varrho = \lambda - \delta\psi > 0$ แล้ว

$$y(t) \leq \bar{y}(0)e^{-\varrho t}, \;\; t \geq 0,$$

ที่ $\lambda > 0$ เป็นผลเฉลยที่เป็นบวกของสมการ $\lambda - a + be^{\lambda\tau} = 0$

บทตั้ง 6 ([39]) สำหรับเมทริกซ์ค่าคงที่ใด ๆ $P \in \mathbb{R}^{n\times n}, X \in \mathbb{R}^{2n\times 2n}$, และ $Y \in \mathbb{R}^{2n\times n}$ กับเงื่อนไข $\begin{bmatrix}X & Y\\ * & P\end{bmatrix} \geq 0$ จะได้ว่ามีอสมการที่สอดคล้องดังต่อไปนี้

$$-\int_{-b}^{-a}\int_{\theta}^{0}\int_{t+\beta}^{t}\dot{w}^T(s)P\dot{w}(s)\,ds\,d\beta\,d\theta \leq \Omega_1^T(t)\left[(b^2-a^2)\mathrm{Sym}\{Y\Theta\} + \frac{b^3-a^3}{6}X\right]\Omega_1(t),$$

เมื่อ $\Theta = [I, -I]$ และ $\Omega_1 = \left[w^T(t), \int_{-b}^{-a}\int_{t+\theta}^{t}\frac{2}{b^2-a^2}w^T(s)\,ds\,d\theta\right]^T$

บทตั้ง 7 ([40]) สำหรับเมทริกซ์ $P > 0$ และสำหรับทุกฟังก์ชันต่อเนื่องที่หาอนุพันธ์ได้ $w(t)$ ใน $[a, b] \in \mathbb{R}^n$ จะได้ว่ามีอสมการที่สอดคล้องดังต่อไปนี้

$$-\int_{a}^{b}\dot{w}^T(s)P\dot{w}(s)ds \leq -\frac{1}{b-a}(\Omega_2^TP\Omega_2 + 3\Omega_3^TP\Omega_3 + 5\Omega_4^TP\Omega_4 + 7\Omega_5^TP\Omega_5),$$

เมื่อ

$$\Omega_2 = w(b) - w(a),$$

$$\Omega_3 = w(b) + w(a) - \tfrac{2}{b-a}\textstyle\int_a^b w(s)ds,$$

$$\Omega_4 = w(b) - w(a) + \frac{6}{b-a}\int_a^b w(s)ds - \frac{12}{(b-a)^2}\int_a^b\int_u^b w(s)\,ds\,du,$$

$$\Omega_5 = w(b) + w(a) - \frac{12}{b-a}\int_a^b w(s)ds + \frac{60}{(b-a)^2}\int_a^b\int_u^b w(s)\,ds\,du$$

$$-\tfrac{120}{(b-a)^3}\textstyle\int_a^b\int_u^b\int_s^b w(r)\,dr\,ds\,du$$

บทตั้ง 8 ([41]) สมมติให้ $w(t) \in \mathbb{R}^n$ และ $\eta \in \mathbb{R}$ จะได้ว่าสำหรับเมทริกซ์บวกแน่นอนใด ๆ P จะมีอสมการที่สอดคล้องดังต่อไปนี้

$$-\frac{\eta_2^3}{6}\int_{-\eta_2}^{0}\int_{\beta}^{0}\int_{t+\lambda}^{t} w^T(s)Pw(s)\,ds\,d\lambda\,d\beta \leq -\int_{-\eta_2}^{0}\int_{\beta}^{0}\int_{t+\lambda}^{t} w^T(s)ds\,d\lambda\,d\beta\,P\int_{-\eta_2}^{0}\int_{\beta}^{0}\int_{t+\lambda}^{t} w^T(s)ds\,d\lambda\,d\beta$$

บทตั้ง 9 สมมติว่า $0 < \eta_1 < \eta_2,\ x(t) \in \mathbb{R}^n$ และ P คือเมทริกซ์บวกแน่นอนใด ๆ แล้ว อสมการอธิบายได้ดังต่อไปนี้

$$-\frac{(\eta_2^2-\eta_1^2)}{2}\int_{-\eta_2}^{-\eta_1}\int_{t+\beta}^{t} x^T(s)Px(s)dsd\beta \leq -\left(\int_{-\eta_2}^{-\eta_1}\int_{t+\beta}^{t} x^T(s)dsd\beta\right)P\left(\int_{-\eta_2}^{-\eta_1}\int_{t+\beta}^{t} x(s)dsd\beta\right),$$

$$-\frac{\eta_2^3}{6}\int_{-\eta_2}^{0}\int_{\beta}^{0}\int_{t+\beta}^{t} x^T(s)Px(s)dsd\lambda d\beta \leq -\left(\int_{-\eta_2}^{0}\int_{\beta}^{0}\int_{t+\beta}^{t} x^T(s)dsd\lambda d\beta\right)P\left(\int_{-\eta_2}^{0}\int_{\beta}^{0}\int_{t+\beta}^{t} x(s)dsd\lambda d\beta\right)$$

บทตั้ง 10 ให้ $x(s)$ คือ ฟังก์ชันที่สมารถหาอนุพันธ์ได้ $x\colon [a,b] \longrightarrow \mathbb{R}^n$ สำหรับเมทริกซ์ $R \in \mathbb{s}_{\rtimes}^{+},\ M_i \in \mathbb{R}^{k\times n}(i = 1,2,3)$ และ เวกเตอร์ใด ๆ $\xi \in \mathbb{R}^k$ แล้วอสมการอธิบายได้ดังต่อไปนี้

$$\int_{\alpha}^{\beta} \dot{x}^T(s)R\dot{x}(s)ds \leq \xi^T\left[\sum_{i=1}^{3}\frac{\beta-\alpha}{2i-1}M_iR^{-1}M_i^T + \sum_{i=1}^{3}Sym\{M_iE_i\}\right]\xi$$

โดยที่ $E_1\xi = x(\beta) - x(\alpha),$ $E_2\xi = x(\beta) + x(\alpha) - \frac{2}{\beta-\alpha}\int_{\alpha}^{\beta} x(s)ds,$

$E_3\xi = x(\beta) - x(\alpha) + \frac{6}{\beta-\alpha}\int_{\alpha}^{\beta} x(s)ds - \frac{12}{(\beta-\alpha)^2}\int_{\alpha}^{\beta}\int_{s}^{\beta} x(u)\,duds$

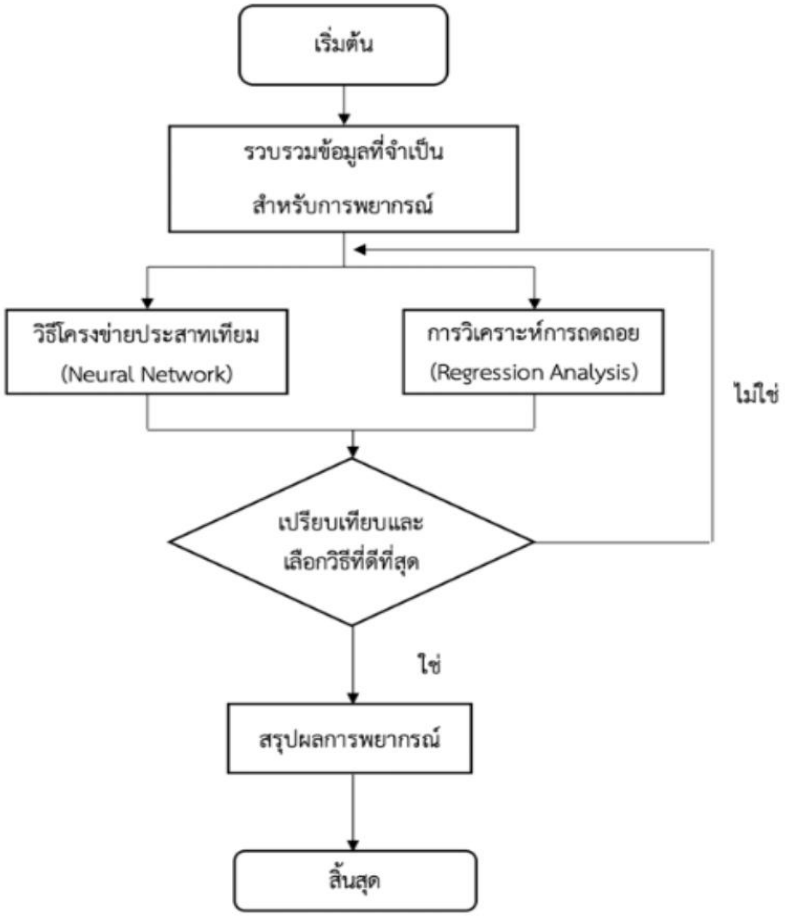
บทตั้ง 11 สำหรับเมทริกซ์ $R \in \mathbb{s}_{\rtimes}^{+},\ N_i \in \mathbb{R}^{k\times n}(i = 1,2)$, เวกเตอร์ใด ๆ $\xi \in \mathbb{R}^k$ และทุก ๆ ฟังก์ชันที่สมารถหาอนุพันธ์ได้ $x\colon [a,b] \longrightarrow \mathbb{R}^n$ ดังนั้นอสมการอธิบายได้ดังต่อไปนี้

$$\int_{\alpha}^{\beta} x^T(s)Rx(s)ds \leq \xi^T\left[(\beta-\alpha)(N_1R^{-1}N_1^T + \frac{1}{3}N_2R^{-1}N_2^T) + Sym\{N_1F_1 + N_2F_2\}\right]\xi$$

โดยที่ $F_1\xi = \int_{\alpha}^{\beta} x(s)ds,$ $F_2\xi = -\int_{\alpha}^{\beta} x(s)ds + \frac{2}{\beta-\alpha}\int_{\alpha}^{\beta}\int_{s}^{\beta} x(u)\,duds$

6. ระเบียบวิธีวิจัยและวิธีการดำเนินการวิจัย

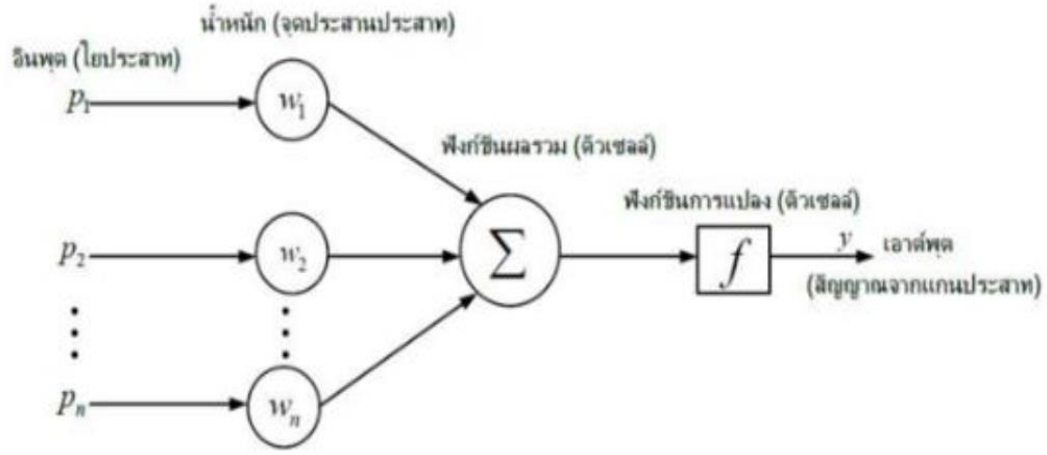
เพื่อเสนอแนวทางในการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) โดยเฉพาะในภาคส่วนอุตสาหกรรมการขนส่ง และภาคเศรษฐกิจ พบว่า ปัจจัยหลัก ๆ ที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ได้แก่ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ จำนวนการถือครองยานพาหนะสะสม จำนวนประชากร GDP รวมถึงปริมาณการปล่อยก๊าซ CO2 จากภาคการขนส่งของประเทศไทย เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลดังกล่าว โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 ถึง ปีพ.ศ. 2568 (25ปี) หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลดังกล่าวต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) โดยการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays: BAMANN) ดังแสดงใน รูปที่ 1



รูปที่ 1 Operational research algorithm for designing the predictive model of CO2

การศึกษาในครั้งนี้ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการพยากรณ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) 4 ตัวแปรด้วยกัน คือ จำนวนการถือครองยานพาหนะสะสม (คัน) ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ล้านลิตร) ค่า GDP (ล้านบาท) และจำนวนประชากร (คน) ดังนั้นผู้วิจัยสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) และประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลาเพื่อหาตัวแบบจำลองในการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) โครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา เป็นการเลียนแบบ และพัฒนามาจากการทำงานของสมองของสิ่งมีชีวิตซึ่งมีปรับเปลี่ยนตัวเองต่อการตอบสนองข้อมูลที่ป้อนตามกฎของการเรียนรู้ (learning rule) หลังจากที่โครงข่ายได้เรียนรู้สิ่งที่ต้องการแล้ว โครงข่ายนั้นจะสามารถทำงานที่กำหนดไว้ได้ โดยองค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ประกอบด้วย 5 ส่วน คือ ส่วนป้อนข้อมูล (input) ส่วนส่งกลับข้อมูล (output) ส่วนค่าน้ำหนัก (weight) ส่วนฟังก์ชั่นผลรวม (summation function) และส่วนฟังก์ชันการแปลง (transfer function) ดังแสดงในรูปที่ 2



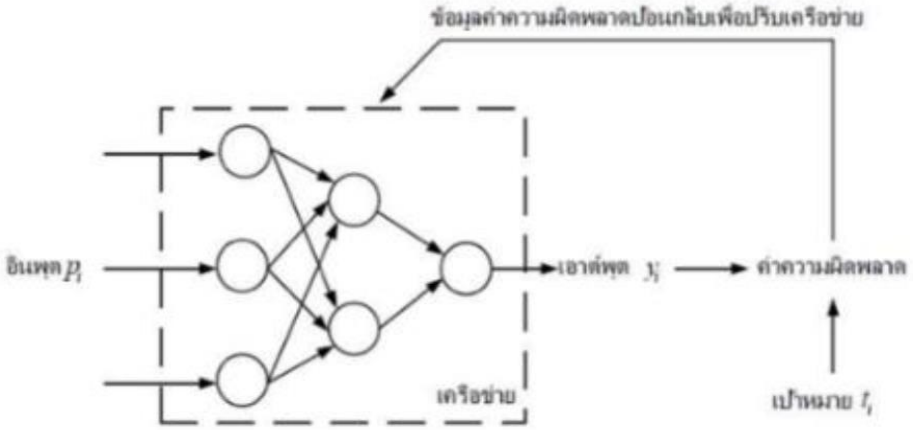
รูปที่ 2 องค์ประกอบและขั้นตอนการประมวลผลด้วยวิธี ANN

ดังนั้นเพื่อประยุกต์ใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ผู้วิจัยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. สถาปัตยกรรม 2. ค่าวนรอบซ้ำ (Epoch) 3. ฟังก์ชันการแปลง 4. Error 5. Validation fails

6. อัตราการปรับค่าการเรียนรู้ 7. อัตราการเรียนรู้ (Learning rate)

นอกจากนี้แล้ว ในการประมวลผลหาตัวแบบจำลองพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Python ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้ในกรณีประยุกต์ใช้ วิธีดังกล่าวช่วยในการประมวลผลทำให้สามารถสร้างตัวแบบจำลองการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงค่าเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ โดยโปรแกรม Python จะสั่งการคอมพิวเตอร์ผ่านโค้ดให้คอมพิวเตอร์รู้จักคิดและจดจำจากข้อมูลที่ทำการป้อน หลังจากนั้นส่งกลับค่าคำตอบให้ผลที่ออกมาจะใกล้เคียงกับเป้าหมายที่สุด (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 Supervisor learning algorithm

เพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่สามารถนำเสนอตัวแบบจำลองในการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่สุด ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) โดยการพิจารณาจากค่า MAD

$$MAD = \frac{1}{N} \times \left(\sum_{t=1}^{N} \left| A_t - F_t \right| \right)$$

โดยที่

A_t คือ ค่าจริงในช่วงเวลา t

F_t คือ ค่าพยากรณ์ในช่วงเวลา t

N คือ จำนวนข้อมูลหรือช่วงเวลาทั้งหมด

ส่วนที่ 3 แผนการทำงาน

1. แผนการดำเนินงานวิจัย (แสดงแผนการดำเนินงานรายกิจกรรมและระยะเวลาที่ใช้ ในปีงบประมาณ 2569)

ลำดับที่	กิจกรรม	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ร้อยละของกิจกรรมในปีงบประมาณ
1	ทำการจัดเก็บข้อมูล จำนวนการถือครองยานพาหนะสะสม (คัน) ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง GDP (ล้านลิตร) ค่า GDP (ล้านบาท) และจำนวนประชากร (คน) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (พันตัน) พร้อมทั้งจัดการข้อมูลให้พร้อมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับวิธี Artificial Intelligence	x	x											10
2	ศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays)	x	x	x	x	x								30
3	ทำการพยากรณ์และวิเคราะห์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) บริเวณประเทศไทย โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays)				x	x	x	x	x	x	x			30

ลำดับที่	กิจกรรม	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ร้อยละของกิจกรรมในปีงบประมาณ
4	ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ Q1 หรือ Q2							x	x	x	x	x	x	10
5	จัดอบรมการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays)											x	x	10
6	จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10
	รวม	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**100**

2. พื้นที่ทำวิจัย : โปรดระบุสถานที่ทำวิจัยจำแนกตามโครงการวิจัยโดยใช้ฐานข้อมูลจากระบบ และเพิ่มเติมชื่อเฉพาะ เช่น ชุมชน หมู่บ้าน

ในประเทศ/ต่างประเทศ	ชื่อประเทศ/จังหวัด	ชื่อสถานที่
ในประเทศ	เชียงใหม่	สาขาวิชาสถิติและการจัดการสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยโจ้ จังหวัดเชียงใหม่
ในประเทศ	กรุงเทพมหานคร	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) สำนักงานใหญ่ (ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550) เลขที่ 120 อาคารรวมหน่วยราชการ (อาคารรัฐประศาสนภักดี) ชั้น 6 และชั้น 7 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

ในประเทศ/ต่างประเทศ	ชื่อประเทศ/จังหวัด	ชื่อสถานที่
ในประเทศ	เชียงใหม่	สาขาวิทยาการการหาภาวะที่เหมาะสมทางอุตสาหกรรม (หลักสูตรนานาชาติ) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยโจ้ จังหวัดเชียงใหม่

3. พื้นที่ที่ได้รับประโยชน์จากการวิจัย

ในประเทศ/ต่างประเทศ	ชื่อประเทศ/จังหวัด	ชื่อสถานที่
ในประเทศ	เชียงใหม่	สาขาวิชาสถิติและการจัดการสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยโจ้ จังหวัดเชียงใหม่
ในประเทศ	กรุงเทพมหานคร	สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) สำนักงานใหญ่ (ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550) เลขที่ 120 อาคารรวมหน่วยราชการ (อาคารรัฐประศาสนภักดี) ชั้น 6 และชั้น 7 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210
ในประเทศ	เชียงใหม่	สาขาวิทยาการการหาภาวะที่เหมาะสมทางอุตสาหกรรม (หลักสูตรนานาชาติ) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยโจ้ จังหวัดเชียงใหม่
ในประเทศ	ประเทศไทย	บริเวณประเทศไทย

4. แผนการใช้จ่ายงบประมาณของโครงการวิจัย

4.1 แสดงรายละเอียดประมาณการงบประมาณตลอดโครงการ (กรณีของบประมาณเป็นโครงการต่อเนื่องระยะเวลาดำเนินการวิจัยมากกว่า 1 ปี ให้แสดงงบประมาณตลอดแผนการดำเนินงาน) โดยแบ่งเป็นหมวดต่าง ๆ ดังนี้

ประเภทงบประมาณ	รายละเอียด	งบประมาณ (บาท)	งบประมาณปีที่
งบดำเนินการ : ค่าตอบแทน	-ค่าจ้างผู้ช่วยนักวิจัย คุณวุฒิปริญญาตรี จำนวน 1 คน x15,000 บาท x 4 เดือน =60,000 บาท	60,000	2569
งบดำเนินการ : ค่าใช้สอย	-ค่าตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจประเมินรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ 3 ท่าน ๆ ละ 1,500 บาท = 4,500 บาท - ค่าจ้างเหมาจัดทำเว็บไซต์สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลาบริเวณประเทศไทย ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี) 20,000 บาท/เว็บไซต์ - ค่าจ้างเหมาในการเตรียมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล ตั้งแต่ปี 2549 ถึงปี 2568 (20ปี) จำนวน 5 รายการดังนี้ 1) จำนวนการถือครองยานพาหนะสะสม (คัน) 2) ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ล้านลิตร) 3) ค่า GDP (ล้านบาท) 4) จำนวนประชากร (คน) 5) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (พันตัน) 20,000 บาท/รายการ รวม 100,000 บาท	372,260	2569

ประเภทงบประมาณ	รายละเอียด	งบประมาณ (บาท)	งบประมาณ ปีที่
	- การจัดประชุม/ workshop/ conference/ ถ่ายทอดองค์ความรู้ภายในประเทศ 1 ครั้ง มีรายละเอียด ดังนี้ 1. จำนวนผู้เข้าร่วม 54 คน - ผู้วิจัย 1 คน - วิทยากร 3 คน - นิสิต นักวิจัย ภาครัฐ ภาคเอกชน 50 คน 2. จำนวน 2 วัน 3. งบประมาณในการจัดกิจกรรม มีรายละเอียด ดังนี้ - ค่าตอบแทนวิทยากร บรรยายรายละ 6 ชั่วโมง จำนวน 3 คน อัตรา 1,000 บาท/ชั่วโมง x 6 ชั่วโมง = 6,000 บาท/คน คิดเป็น 18,000 บาท - ค่าที่พักวิทยากร จำนวน 3 คน อัตรา 2,000 บาท/คืน x 3 คืน = 6,000 บาท/คน คิดเป็น 18,000 บาท - ค่าเดินทาง ยานพาหนะ วิทยากร จำนวน 3 คน อัตรา 6,000 บาท/คน คิดเป็น 18,000 บาท - ค่าอาหารกลางวัน จำนวน 54 คน อัตรา 120 บาท/คน x 2 มื้อ = 240 บาท/คน คิดเป็น 12,960 บาท - ค่าอาหารว่าง เช้า/บ่าย จำนวน 54 คนอัตรา 50 บาท/คน x 4 ครั้ง = 200 บาท/คน คิดเป็น 10,800 บาท -ค่าสถานที่ 5,000 บาท ต่อวัน/วัน จำนวน 2 วัน รวม 10,000 บาท -ค่าตีพิมพ์บทความวิจัย (Page charge) ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ Q1 หรือ Q2 จำนวน 2 เรื่อง ๆ ละ 80,000 บาท รวม 160,000 บาท		
ค่าสาธารณูปโภค	- ค่าน้ำ	4,322	2569

ประเภทงบประมาณ	รายละเอียด	งบประมาณ (บาท)	งบประมาณ ปีที่
	- ค่าไฟ		
รวม		**436,582**	

หมายเหตุ (อ้างอิง: การตั้งงบประมาณให้เป็นไปตาม ประกาศ กสว. เรื่อง หลักเกณฑ์การจัดทำคำของบประมาณและการจัดสรรงบประมาณของหน่วยงานในระบบวิจัยและนวัตกรรม)

5. มาตรฐานการวิจัย

☐ มีการใช้สัตว์ทดลอง

☐ มีการวิจัยในมนุษย์

☐ มีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานด้านเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่

☐ มีการใช้ห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวกับสารเคมี

6. หน่วยงานร่วมดำเนินการ/ภาคเอกชนหรือชุมชนที่ร่วมลงทุนหรือดำเนินการ

ลำดับที่	ปีงบประมาณ	ชื่อหน่วยงานรัฐ/บริษัท/หน่วยงานต่างประเทศ	แนวทางร่วมดำเนินการ	การร่วมลงทุนในรูปแบบตัวเงิน (in-cash) (บาท)	การร่วมลงทุนในรูปแบบอื่น (in-kind)	รวม
1						
2						

7. ระดับความพร้อมที่มีอยู่ในปัจจุบัน (ถ้ามี)*

7.1 ระดับความพร้อมทางเทคโนโลยี (Technology Readiness Level: TRL)*

1) TRL ณ ปัจจุบัน ระดับ 2

รายละเอียด มีการสร้างแนวคิดด้านเทคโนโลยีและ / หรือ การประยุกต์ใช้ การพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) บริเวณประเทศไทย

2) TRL เมื่องานวิจัยเสร็จสิ้นระดับ 4

รายละเอียด มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) บริเวณประเทศไทย โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) ณ ช่วงเวลา ตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5 ปีล่วงหน้า)

7.2 ระดับความพร้อมทางสังคม (Societal Readiness Level: SRL)*

1) SRL ณ ปัจจุบัน ระดับ 1

รายละเอียด มีการวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดความพร้อมของความรู้และเทคโนโลยีทางด้านสังคมที่มีแนวทางการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย จากองค์ความรู้จากหลายสหสาขา

2) SRL เมื่องานวิจัยเสร็จสิ้นระดับ 5

รายละเอียด มีแนวทางการแก้ปัญหาได้รับการตรวจสอบ ถูกนำเสนอแก่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ที่เกี่ยวข้อง มีมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา (Bidirectional associative memory artificial neural network with time-varying delays) ณ ช่วงเวลา ตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5 ปีล่วงหน้า) ที่ผนวกองค์ความรู้หลายสาขาวิชา เพื่อส่งเสริมและป้องกันมลพิษอากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย ได้ทันท่วงทีทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาไปพร้อม ๆ กัน จะเกิดประโยชน์ต่อการบริหารจัดการมลพิษอากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย และการป้องกันการเกิดมลพิษอากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย ได้ในอนาคต

7. แนวทางการขับเคลื่อนผลงานวิจัยและนวัตกรรมไปสู่ผลลัพธ์และผลกระทบ

7.1 การเชื่อมโยงกับนักวิจัยที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาที่ทำการวิจัยทั้งในและต่างประเทศ (ถ้ามี) (Connections with other experts within and outside Thailand) และแผนที่จะติดต่อหรือสร้างความสัมพันธ์กับผู้เชี่ยวชาญ รวมทั้งการสร้างทีมงานวิจัยในอนาคตด้วย

1. Associate Professor Honglei Xu

School of Electrical Engineering, Computing and Mathematical Sciences, Curtin University Perth, 6102, Australia

2. Professor Nikolai Dokuchaev

International Campus, Zhejiang University, Haining, China

3. Professor PN. Pathirana

School of Engineering, Deakin University, Australia.

4. Professor Jinde Cao

School of Mathematics, Southeast University, Nanjing, China.

5. Professor Young Hoon Joo

Department of Control and Robotics Engineering, Kunsan National University, South Korea.

6. Professor Chee Peng Lim

Institute for Intelligent Systems Research and Innovation, Deakin University Geelong, Australia

7. Prof. Dr. M. Syed Ali,

Department of Mathematics, Thiruvalluvar University, Vellore, Tamil Nadu, India.

8. Prof. Dr. R. Raja,

Ramanujan Centre for Higher Mathematics, Alagappa University, Karaikudi, India.

9. ดร. ประเมศ แก้วมีศรี

นักวิจัยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) หรือ (GISTDA)

<u>ส่วนที่ 4 ผลผลิต/ผลลัพธ์/ผลกระทบ</u>

1. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

✓ ด้านวิชาการ

ระบุคำอธิบาย 1. ได้ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ ที่อยู่ระดับ ควอไทล์ Q1หรือ Q2 จำนวน 2 ฉบับ

2. ได้องค์ความรู้ใหม่ทางด้านตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา

3. ได้เครือข่ายวิจัยในระดับชาติและระดับนานาชาติทางด้านตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา

4. ได้ต้นแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้จากโครงการวิจัยนี้ที่ถือเป็นนวัตกรรมที่เกิดขึ้นใหม่ ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนที่เกิดจากการนำเข้าโปรแกรมจากต่างประเทศ

ผู้ได้รับผลประโยชน์ ประชาชน นิสิต นักวิจัย ภาครัฐ ภาคเอกชน และสาขาที่เกี่ยวข้องจากโมเดล เป็นต้น

✓ ด้านสังคม

✓ ด้านสาธารณะ ✓ ด้านชุมชนและพื้นที่ ✓ ด้านสิ่งแวดล้อม

ระบุคำอธิบาย ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อสังคมเพื่อส่งเสริมและป้องกันมลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) บริเวณประเทศไทย ได้ทันท่วงทีทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาไปพร้อม ๆ กัน จะเกิดประโยชน์ต่อการบริหารจัดการมลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) บริเวณประเทศไทย และการป้องกันการเกิดมลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) บริเวณประเทศไทย ได้ในอนาคต

ผู้ได้รับผลประโยชน์ ประชาชน นิสิต นักวิจัย ภาครัฐ ภาคเอกชน และสาขาที่เกี่ยวข้องจากโมเดล เป็นต้น

✓ ด้านนโยบาย

ระบุคำอธิบาย ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อโยบายทั้งภาครัฐบาล ภาคเอกชน ที่เกี่ยวข้อง เพื่อส่งเสริมและป้องกันมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย ได้ทันท่วงทีทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาไป พร้อม ๆ กัน จะเกิดประโยชน์ต่อการบริหารจัดการมลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย และการป้องกันการเกิดมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย ได้ในอนาคต

ผู้ได้รับผลประโยชน์ ประชาชน นิสิต นักวิจัย ภาครัฐ ภาคเอกชน และสาขาที่เกี่ยวข้องจากโมเดล เป็นต้น

✓ ด้านเศรษฐกิจ

ระบุคำอธิบาย ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อเศรษฐกิจของประเทศทั้งภาครัฐบาล ภาคเอกชน ที่เกี่ยวข้องเพื่อส่งเสริมและป้องกันมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย ได้ทันท่วงทีทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาไปพร้อม ๆ กัน จะเกิดประโยชน์ต่อการบริหารจัดการมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) บริเวณประเทศไทย ได้ในอนาคต

ผู้ได้รับผลประโยชน์ ประชาชน นิสิต นักวิจัย ภาครัฐ ภาคเอกชน และ สาขาที่เกี่ยวข้องจากโมเดล เป็นต้น

2. ผลผลิตที่คาดว่าจะได้รับ (Output)

ผลผลิต	ประเภทผลผลิต	รายละเอียดของผลผลิต	จำนวนนำส่ง	หน่วยนับ
ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ	ต้นฉบับบทความวิจัย (Manuscript)	ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ ที่อยู่ระดับ ควอไทล์ Q1 หรือ Q2	2	ฉบับ
ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มี	ต้นแบบผลิตภัณฑ์หรือ เทคโนโลยี/กระบวนการใหม่หรือนวัตกรรมทางสังคม	ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลาบริเวณประเทศไทย	1	ตัวแบบจำลอง

ผลผลิต	ประเภทผลผลิต	รายละเอียดของผลผลิต	จำนวนนำส่ง	หน่วยนับ
ตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย				
ต้นแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี) บริเวณประเทศไทย	ต้นแบบผลิตภัณฑ์ หรือ เทคโนโลยี/กระบวนการใหม่ หรือนวัตกรรมทางสังคม	ต้นแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี) บริเวณประเทศไทย	1	โปรแกรม
บุคลากรที่มีทักษะพื้นฐานด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และปัญญาประดิษฐ์หรือการพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์	กำลังคน หรือหน่วยงาน ที่ได้รับการพัฒนาทักษะ	นักศึกษา นักวิจัย ภาครัฐ ภาคเอกชนและผู้ที่สนใจ	50	คน

ผลผลิต	ประเภทผลผลิต	รายละเอียดของผลผลิต	จำนวนนำส่ง	หน่วยนับ
ที่สามารถนำไปใช้งานได้				

หมายเหตุ กรอกข้อมูลเฉพาะผลผลิตที่โครงการคาดว่าจะได้รับและสามารถทำได้จริง เนื่องจากเป็นตัวชี้วัดในการประเมินผลของหน่วยงาน (หากผลผลิตข้อใดไม่มีไม่ต้องระบุ และขอให้ตัดออก)

3. ผลลัพธ์ (Expected Outcomes) ที่คาดว่าเกิดขึ้น

ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ทำ dropdown list ให้เลือก)	จำนวน	หน่วยนับ	รายละเอียดของผลลัพธ์	ผู้ใช้ประโยชน์ (Users)/ ผู้ได้รับผลประโยชน์ (Beneficiaries)
ผลงานตีพิมพ์ (Publications)	2	ฉบับ	ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ ที่อยู่ระดับ ควอไทล์ Q1 หรือ Q2	อาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา นิสิต นักวิจัยภาครัฐ ภาคเอกชน และผู้สนใจในสาขาที่ทำวิจัย
การอ้างอิง (Citations)	10	ครั้ง	ได้ถูกการอ้างอิง (Citations) ในฐานข้อมูล Scopus จำนวน 10 ครั้ง	อาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา นิสิต นักวิจัยภาครัฐ ภาคเอกชน และผู้สนใจในสาขาที่ทำวิจัย
ฐานข้อมูลและแบบจำลองวิจัย (Research Databases and Models)	1	ฐานข้อมูล/ แบบจำลองคณิตศาสตร์	-ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย -ต้นแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี) บริเวณประเทศไทย	อาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา นิสิต นักวิจัยเกษตรกร ภาครัฐ ภาคเอกชน และผู้สนใจในสาขาที่ทำวิจัย

ผลที่คาดว่าจะได้รับ (ทำ dropdown list ให้เลือก)	จำนวน	หน่วยนับ	รายละเอียดของผลลัพธ์	ผู้ใช้ประโยชน์ (Users)/ ผู้ได้รับผลประโยชน์ (Beneficiaries)
การถ่ายทอดเทคโนโลยี (Technology Transfer)	50	คน	บุคลากรที่มีทักษะพื้นฐานด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และปัญญาประดิษฐ์ หรือการพัฒนาต่อยอด เทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้	อาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา นิสิต นักวิจัยภาครัฐ ภาคเอกชน และผู้สนใจในสาขาที่ทำวิจัย

4. ผลกระทบ (Expected Impacts) ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

✓ ด้านวิชาการ

รายละเอียดผลกระทบ 1. ได้องค์ความรู้ที่ทันสมัยอันจะสามารถนำไปเป็นกระบวนวิชาทางด้านตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์และการหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมและการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ที่ทันสมัยที่เกิดจากโครงการวิจัยนี้จะส่งผลกระทบต่อการพัฒนาความเข้มแข็งเชิงวิชาการของ อาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา และผู้สนใจในสาขาที่ทำวิจัยอย่างยั่งยืน

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้จากโครงการวิจัยนี้ที่ถือเป็นนวัตกรรมที่เกิดขึ้นใหม่ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนที่เกิดจากการนำเข้าโปรแกรมจากต่างประเทศ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์เพื่อสร้างรายได้และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศตามนโยบาย Thailand 4.0

3. ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ ที่อยู่ Q1 หรือ Q2 องค์ความรู้ที่ทันสมัยที่เกิดจากโครงการวิจัยนี้จะส่งผลกระทบต่อการพัฒนาความเข้มแข็งเชิงวิชาการของอาจารย์ และเป็นการพัฒนาให้อาจารย์มีตำแหน่งวิชาการที่สูงขึ้น

✓ ด้านสังคม

O ด้านสาธารณะ ✓ ด้านชุมชนและพื้นที่ ✓ ด้านสิ่งแวดล้อม

รายละเอียดผลกระทบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม ชุมชนและพื้นที่ของประเทศทั้งภาครัฐบาล/ภาคเอกชน มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี) บริเวณประเทศไทย เพื่อส่งเสริมและป้องกันมลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

อัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ได้ทันท่วงทีทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาไปพร้อม ๆ กัน จะเกิดประโยชน์ต่อการบริหารจัดการมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา และการป้องกันการเกิดมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ได้ในอนาคต

✓ ด้านนโยบาย

รายละเอียดผลกระทบ ส่วนของผลจากการวิจัยนั้นจะสามารถทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องส่งเสริมให้ประชาชน อาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา นิสิต นักวิจัย เกษตรกร ภาครัฐภาคเอกชน และผู้สนใจในสาขาที่ทำวิจัยนั้นสามารถส่งเสริมและป้องกันมลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี) บริเวณประเทศไทย เพื่อส่งเสริมและป้องกันมลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ได้ทันท่วงทีทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาไปพร้อม ๆ กัน จะเกิดประโยชน์ต่อการบริหารจัดการมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา และการป้องกันการเกิดมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ในประเทศไทยได้ล่วงหน้า

✓ ด้านเศรษฐกิจ

รายละเอียดผลกระทบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อเศรษฐกิจของประเทศทั้งภาครัฐบาล ภาคเอกชนที่เกี่ยวข้องเพื่อส่งเสริมและป้องกันมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี) บริเวณประเทศไทย เพื่อส่งเสริมและป้องกันมลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ได้ทันท่วงทีทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาไปพร้อม ๆ กัน จะเกิดประโยชน์ต่อการบริหารจัดการมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา และการป้องกันการเกิดมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา ได้ในอนาคต

5. แผนที่ผลลัพธ์ (Outcome Mapping) ของโครงการ

Input	Activity	Output	Outcome
1. ระยะเวลา 1 ปี งบประมาณ 436,582 บาท	1. ทำการจัดเก็บข้อมูลข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ บริเวณประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2549 ถึงปี 2568 (20ปี) 5 รายการดังนี้ 1) จำนวนการถือครองยานพาหนะสะสม (คัน) 2) ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ล้านลิตร) 3) ค่า GDP (ล้านบาท) 4) จำนวนประชากร (คน) 5) ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) (พันตัน) 2. ทำการคลีนข้อมูล (Clean data) ทั้งหมดเพื่อเตรียมพร้อมในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป 3. พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย 4. ทำการพยากรณ์มลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2)	1. ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ ที่อยู่ระดับ ควอไทล์ Q1 หรือ Q2 จำนวน 2 ฉบับ 2. นักศึกษา นักวิจัย ภาครัฐ ภาคเอกชน และผู้ที่สนใจ จำนวน 50 คน 3. ต้นแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย สำหรับการเปลี่ยนแปลงมลพิษอากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี) 1 โปรแกรม 4. ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่าย	1. ได้องค์ความรู้ใหม่ทางด้านตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย สำหรับการเปลี่ยนแปลงมลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี) 2. ได้เครือข่ายวิจัยในระดับชาติและระดับนานาชาติทางด้านตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย สำหรับการเปลี่ยนแปลงมลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี)

	ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย พร้อมเช็คความแม่นยำของข้อมูลเบื้องต้น 5. ตีพิมพ์งานวิจัย 6. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ 7. การจัดอบรมการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ของการพยากรณ์มลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย	ประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย 1 แบบจำลอง 5. การพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย สำหรับการเปลี่ยนแปลงมลพิษอากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี)	3. ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติที่อยู่ Q1 หรือ Q2 จำนวน 2 ฉบับ 4. ได้ถูกการอ้างอิง (Citations) ในฐานข้อมูล Scopus จำนวน 10 ครั้ง 5. ได้ต้นแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย สำหรับการเปลี่ยนแปลงมลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ล่วงหน้าระยะยาวตั้งแต่ปี 2569 ถึงปี 2573 (5ปี) 1 โปรแกรม 6. ได้บุคลากรจำนวน 50 คน ที่มีทักษะพื้นฐานด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์และปัญญาประดิษฐ์ หรือการพัฒนาต่อยอด เทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้ 7.สามารถทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องส่งเสริมและป้องกันมลพิษอากาศปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย ได้ทันท่วงทีทั้งเชิงพื้นที่

			และเชิงเวลาไปพร้อม ๆ กัน จะเกิดประโยชน์ต่อการบริหารจัดการมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย และการป้องกันการเกิดมลพิษอากาศ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมอัจฉริยะชนิดหน่วยความจำเชื่อมโยงสองทิศทางที่มีตัวหน่วงแปรผันตามเวลา บริเวณประเทศไทย ได้ในอนาคต

ลงลายมือชื่อ หัวหน้าโครงการวิจัย/ผู้ร่วมวิจัย/ผู้บังคับบัญชาต้นสังกัด

ลงชื่อ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ราชกิจ)

หัวหน้าโครงการวิจัย

วันที่..... เดือน..กรกฎาคม.... พ.ศ.....2567....

ลงชื่อ .....

(รองศาสตราจารย์ ดร. เกรียงไกร ราชกิจ)

ผู้ร่วมวิจัย

วันที่..... เดือน..กรกฎาคม.... พ.ศ.....2567....

ลงชื่อ .....

(ดร. ประเมศ แก้วมีศรี)

ผู้ร่วมวิจัย

วันที่..... เดือน..กรกฎาคม.... พ.ศ.....2567....

ลงชื่อ .....

(อ. ดร.ธวัชชัย เพชรธาราทิพย์)

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

วันที่..... เดือน..กรกฎาคม.... พ.ศ.....2567....

ลงชื่อ .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล)

คณบดี คณะวิทยาศาสตร์

วันที่..... เดือน..กรกฎาคม.... พ.ศ.....2567....