

การประเมินการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตในภาคการผลิตไฟฟ้า ของประเทศไทย

สุชิน ฉวีวงศ์¹, สุพรรณนิกา วัฒนะ²

^{1,2}คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Email: supannika.w@msu.ac.th²

Received: Apr 21, 2025

Revised: May 01, 2025

Accepted: May 02, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยเชิงสาเหตุที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตสาขาไฟฟ้าของประเทศไทยในอนาคต ตามเป้าหมายการพัฒนาประเทศไทยให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยการสร้างแบบจำลอง Long-Structural Equation modeling based on latent growth model (LSEM-LG model) เพื่อเป็นเครื่องมือสำคัญต่อการนำไปใช้ในการบริหารประเทศให้เกิดประสิทธิภาพตามเป้าหมายที่กำหนดเรื่อง net zero emission ใน พ. ศ. 2608 ผลการวิจัยพบว่า ตั้งแต่อดีต (2535-2568) มีการเติบโตเฉพาะด้านเศรษฐกิจ (economic sector) และสังคม (social sector) เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีอัตราการเติบโตที่สูงอย่างต่อเนื่อง และในขณะเดียวกันได้ส่งผลเสียให้กับด้านสิ่งแวดล้อมให้เสื่อมโทรมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจากผลการวิจัยในครั้งนี้ ทำให้ผู้วิจัยค้นพบว่า CO₂ emission จากอันเนื่องจากการใช้พลังงานในสาขาไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นกว่าเกณฑ์ความสามารถในการรองรับได้ (เกณฑ์กำหนดไว้ไม่เกิน 65.05 Mt CO₂ Eq. (2025-2034) ซึ่งมีอัตราการเติบโต (2034/2025) เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 31.52% ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นเป็น 75.79 Mt CO₂ Eq. (2025-2034) ดังนั้น สำหรับงานวิจัยนี้ได้ค้นพบ new scenario policy คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิงไปอดีเซล และ อัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ ช่วยลดอัตราการเพิ่มของ CO₂ emission เพิ่มขึ้นแค่เพียง 52.31 Mt CO₂ Eq. (2025-2034) ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจบริหารประเทศสู่เป้าหมาย green industrial ในอนาคตได้

คำสำคัญ : การใช้พลังงาน, การพัฒนาอย่างยั่งยืน, การเติบโตของสิ่งแวดล้อม, การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

Life Cycle Energy Assessment in the Electricity Generation Sector of Thailand

Suchin Chaweewong¹, Supannika Wattana²

^{1,2} Faculty of Engineering, Mahasarakham University

Email: supannika.w@msu.ac.th²

Received: Apr 21, 2025

Revised: May 01, 2025

Accepted: May 02, 2025

Abstract

This research aims to study the relationship of causal factors affecting energy consumption throughout the life cycle in Thailand's electricity production sector in the future, in line with the country's development goal toward sustainability. A Long-Structural Equation Modeling based on the Latent Growth Model (LSEM-LG model) was developed as a key tool to be applied in managing the country efficiently toward the net zero emission goal by the year 2065. The research findings revealed that from the past (1992–2024), there has been continuous and significant growth in the economic and social sectors. However, this growth has simultaneously caused ongoing environmental degradation. The study found that CO₂ emissions resulting from energy use in the electricity sector have increased beyond the acceptable threshold (set not to exceed 65.05 Mt CO₂ Eq. for 2024–2034). The projected growth rate between 2025 and 2034 is 31.52%, resulting in CO₂ emissions reaching 75.79 Mt CO₂ Eq. As a result, the study proposes a new policy scenario: increasing the use of biodiesel and gasohol fuels can help reduce the growth rate of CO₂ emissions to only 52.31 Mt CO₂ Eq. (2025–2034). This demonstrates that the model developed in this study is suitable for application in national decision-making to drive the country toward a green industrial future.

Keywords : Energy consumption, Sustainable development, Environmental growth, Climate change

บทนำ

องค์กรสหประชาชาติได้มีการจัดประชุมใหญ่ในโลกเกี่ยวกับการพิทักษ์สิ่งแวดล้อมขึ้น จำนวน 3 ครั้ง คือครั้งที่ 1 ในปี ค.ศ. 1972 ณ กรุงสตอกโฮล์ม ประเทศสวีเดน และได้มีการจัดตั้งองค์กรรับผิดชอบโดยตรงขึ้นในปี ค.ศ. 1983 ชื่อว่า United Nation Environmental Process (UNEP) และต่อมาในปี 1992 ได้มีการประชุมใหญ่ชื่อว่า Earth Summit, Rio Conference หรือ การประชุมสหประชาชาติว่าด้วยเรื่องสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา (UN Conference on Environment and Development; UNCED)" ณ กรุงริโอเดอจาเนโร สหพันธ์สาธารณรัฐบราซิล โดยมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อกำหนดยุทธศาสตร์ว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา ซึ่งนับเป็นการประชุมครั้งแรกที่ได้กำหนดแนวทางการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่จะต้องดำเนินการพัฒนาให้ครอบคลุม 3 เสาหลักของการพัฒนาที่ยั่งยืน คือ สังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม [1] โดยที่ประชุมได้มีมติให้จัดตั้งคณะกรรมการว่าด้วยการพัฒนาที่ยั่งยืน (Commission on Sustainable Development; CSD) ประกอบด้วย สมาชิกจำนวน 53 ประเทศ รับผิดชอบเรื่องการพัฒนายั่งยืน และติดตามกำหนดแนวทางในการนำผลการประชุม WSSD ไปปฏิบัติ ให้เป็นรูปธรรม โดย CSD จะรายงานผลต่อสมัชชาสหประชาชาติ (UN General Assembly) โดยผ่านคณะมนตรีเศรษฐกิจ และสังคมแห่งสหประชาชาติ (Economic and Social Council - ECOSOC) ทั้งนี้ที่ประชุมได้ให้การรับรองเอกสาร 3 ฉบับและอนุสัญญา 2 ฉบับ ได้แก่ 1) ปฏิญญาริโอ (Rio Declaration on Environment and Development) เป็นหลักการเกี่ยวกับสิทธิและความรับผิดชอบของ สหประชาชาติในการดำเนินงานพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณภาพชีวิตของประชาชน 2) แถลงการณ์เกี่ยวกับหลักการด้าน

ป่าไม้ (Statement of Forest Principle) เป็นแนวทางสำหรับการจัดการทรัพยากร ป่าไม้อย่างยั่งยืน และ 3) แผนปฏิบัติการ 21 (Agenda 21) เพื่อเป็นแผนแม่บทของโลกในการดำเนินงานเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ทั้งทางสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม และมีอีก 2 อนุสัญญา ได้แก่ อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ไทยให้สัตยาบันเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2537 และ อนุสัญญาว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพ ไทยให้สัตยาบันเมื่อวันที่ 29 มกราคม 2547 นอกจากนี้ยังมีการประชุมครั้งล่าสุดในปี ค.ศ. 2005 ณ กรุงโจฮันเนสเบิร์ก ประเทศอิตาลี สำหรับการประชุมสำคัญดังกล่าว ทั้ง 3 ครั้งนั้นประเทศไทยได้เข้าร่วมและปฏิบัติโดยเคร่งครัดมาตลอดเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามเป้าหมายยุทธศาสตร์ชาติในระยะยาว [1-2]

ก่อนเกิดวิกฤตเศรษฐกิจและช่วงการเกิดวิกฤตเศรษฐกิจ (1997-2001) พบว่า ประเทศไทยได้มีการดำเนินการในด้านดังกล่าว ไม่ประสบความสำเร็จอย่างยั่งยืนได้ เนื่องจากมีการเศรษฐกิจไม่มีการเติบโตและเกิดวิกฤตทำให้ประเทศไทยต้องไปกู้ยืมเงินต่างประเทศมาช่วยพยุงด้านเศรษฐกิจ [3-4] ซึ่งส่งผลให้การพัฒนาทางสังคมก็ไม่สามารถพัฒนาได้เลย ประชาชนไม่มีความปลอดภัย ปัญหาเรื่องสาธารณสุขก็เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ด้านสิ่งแวดล้อมก็มีการทำลายอย่างหนักเกิดก๊าซเรือนกระจกที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [4-5] ดังนั้น ด้วยเหตุผลดังกล่าว ประเทศไทยได้ปรับแผนการบริหารประเทศใหม่ ใน พ.ศ. 2545 เป็นต้นมาโดยให้ความสำคัญอย่างมากต่อการดำเนินด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน (sustainable development) [6] โดยได้กำหนดนโยบายการบริหารประเทศขึ้นมาเพื่อดำเนินการอย่างเป็นรูปธรรม และเพื่อให้เกิดความชัดเจนของนโยบายในการนำไปใช้เพื่อการ

บริหารประเทศไทย ทั้งนี้ประเทศไทยได้เร่งพัฒนาประเทศด้วยการส่งเสริมด้านเศรษฐกิจควบคู่กับการพัฒนาด้านสังคมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวประสบความสำเร็จอย่างมาก ในปัจจุบันนี้คือ การส่งเสริมให้มีการส่งออกที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [7-8] มีการสนับสนุนการส่งออกไปยังประเทศคู่ค้าด้วยสินค้าที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น เพิ่มฐานการผลิตเพื่อการส่งออกได้มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับสร้างความเชื่อมั่นกับประเทศคู่ค้าเกี่ยวกับคุณภาพสินค้าอย่างต่อเนื่อง [9] นอกจากนี้ยังพยายามลดการนำเข้าในสินค้าหลายประเภทและเน้นส่งเสริมให้เกิดการผลิตแล้วใช้เองในประเทศให้เพียงพอ และนอกจากนี้รัฐบาลยังมีส่งเสริมให้นักลงทุนจากต่างประเทศมาทำการลงทุนด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ จำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสาขาไฟฟ้า และขยายไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วประเทศ ทั้งนี้พบว่าประเทศไทยปัจจุบันนี้ (พ.ศ. 2568) การบริโภคพลังงานในสาขาไฟฟ้ามีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 เท่า นับตั้งแต่ พ.ศ. 2545 เป็นต้นมา [10] ซึ่งรัฐบาลได้มีการส่งเสริมด้านแหล่งทุนสำคัญให้กับการผลิตด้านอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องและมีการลดค่าธรรมเนียมต่าง ๆ รวมถึงการลดภาษีประจำปี ส่งผลให้นักลงทุนจากในประเทศไทยเองและนักลงทุนจากต่างประเทศทั่วโลกหันมาทำการลงทุนเพิ่มสูงขึ้นแบบก้าวกระโดดทำให้ gross domestic product (GDP) ของประเทศมีอัตราการเติบโตในอัตราที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งถือว่ารัฐบาลไทยได้ดำเนินนโยบายด้านเศรษฐกิจประสบความสำเร็จอย่างยิ่ง [11-12]

จากการดำเนินนโยบายด้านเศรษฐกิจให้เติบโตได้อย่างต่อเนื่องแล้ว รัฐบาลยังผลักดันด้านสังคมมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน โดยการเติบโตดังกล่าวเกิดขึ้นจากแรงผลักดันที่เกิดการเติบโตด้านเศรษฐกิจเองโดยตรง [13] และยัง

ประกอบด้วยการส่งเสริม สนับสนุน และการดำเนินการให้เกิดความเติบโตด้านสังคมในทุก ๆ มิติอย่างต่อเนื่อง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า การบริโภคพลังงานก็เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน โดยก๊าซเรือนกระจกมีอัตราสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่า CO₂ emission มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะสาขาไฟฟ้าสูงสุดและมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าความสามารถในการรองรับของประเทศไทย (carrying capacity) ทั้งนี้เป็นการแสดงให้เห็นว่านโยบายความยั่งยืนที่ใช้ในปัจจุบันนี้ยังไม่เกิดประสิทธิภาพอย่างเหมาะสม นอกจากนี้เมื่อได้ศึกษางานวิจัยจึงทำให้ทราบได้ว่า ที่ผ่านมประเทศไทยยังพบปัญหาหลายประการในการดำเนินงานให้เป็นตามแผนการดำเนินงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือสำคัญเพื่อใช้ในการกำหนดนโยบายและแผนในการพัฒนาประเทศไทยต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยเชิงสาเหตุที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตสาขาไฟฟ้าของประเทศไทยในอนาคต

ระเบียบวิธีวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ พบว่า แบบจำลองที่เกิดขึ้นในอดีตการสร้างแบบจำลองนั้นไม่ได้คำนึงถึงปัญหาที่ได้จากการผลการประมาณการส่งผลให้เกิดค่าปลอม (spurious) ย่อมจะส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ผิดพลาดในการพยากรณ์ที่สูง [14-15] และแบบจำลองในอดีตจะเป็นการวิเคราะห์ในลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ตัวแปรแฝงในรูปแบบการวิเคราะห์เส้นทางความสัมพันธ์ (path analysis) จึงทำให้

ไม่สามารถทราบอิทธิพลทางตรง (direct effect) และอิทธิพลทางอ้อม (indirect effect) และแบบจำลองในอดีตจะไม่สามารถค้นพบ new scenario policy ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยฉบับนี้ โดยผู้วิจัยได้มองเห็นจุดบกพร่องดังกล่าว และได้สร้างแบบจำลอง LSEM-LG model ขึ้นมาเพื่อให้ผลการประมาณการเกิด validity และไม่เกิดปัญหา autocorrelation, multicollinearity, and heteroskedasticity

สำหรับการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้การวิจัยเชิงปริมาณโดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) ในช่วง พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2567 โดยผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลที่เป็นสารสนเทศจากหน่วยงานรับผิดชอบโดยตรงในประเทศไทยคือ Office of the National Economic and Social Development Council (NESDC) [2], Thailand greenhouse gas management organization (public organization) [3], Department of Alternative Energy Development and Efficiency. [4], and National Statistic Office Ministry of Information and Communication Technology [5] โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. คัดเลือกตัวแปรและทดสอบความเป็น stationary โดยการทดสอบ unit root test หากข้อมูลเป็น nonstationary ทำการแก้ไขโดยการ first difference แต่ถ้าไม่สามารถแก้ไขได้ก็จะต้องปรับเปลี่ยนตัวแปรดังกล่าวออกจากแบบจำลอง โดยอาศัยแนวคิดของ Dickey and Fuller [16]

2. นำตัวแปรที่เป็น stationary มาทำการตรวจสอบ co-integration test ตามแนวคิดของ Johansen [16-17]

3. ตรวจสอบคุณสมบัติของแบบจำลองและตรวจสอบ validity ของแบบจำลอง

4. ทำการพยากรณ์ CO₂ emissions ในอนาคตข้างหน้า (ตั้งแต่ พ.ศ. 2568-2577)

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนด hypothesis ไว้ 2 ประเด็นดังนี้

- 1) ตัวแปรแฝงแต่ละตัว มีความสัมพันธ์กันแบบอิทธิพลทางตรง (direct effect)

- 2) ตัวแปรแฝงแต่ละตัวแต่ละตัวมีความสัมพันธ์กันแบบอิทธิพลทางอ้อม (indirect effect)

ผลการวิจัย

1. คัดเลือก indicators ตามกรอบแผนการบริหารประเทศสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยคัดเลือก indicator ทุกตัวตามกรอบแนวคิดการบริหารของประเทศไทยสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน ทั้ง 3 ด้านมาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของ indicator ซึ่งผลการตรวจสอบ พบว่า มี indicator จำนวน 14 ตัวเท่านั้น ที่เหมาะสม จึงได้กำหนดให้ indicator ดังกล่าวเป็นตัวแปรสังเกต (observed variables) ซึ่งเป็นตัวแปรในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของแต่ละตัวแปรแฝง (latent variable) ได้แก่ urbanization rate (X_1), industrial structure rate (X_2), foreign investment rate (X_3), total export rate (X_4), expenditure rate (X_5), employment rate (w_1), health and illness rate (w_2), education rate (w_3), protection rate (w_4), biodiesel rate (M_1), Gasohol rate (M_2), total energy consumption (Z_1), energy intensity rate (Z_2), Carbon dioxide emissions (Z_3) สำหรับ indicators ทั้ง 14 ตัวมีการ take logarithm นี้ผ่านการทดสอบ Unit root test โดยพบว่า Augment Dicky Fuller test ของ indicators ทุกตัว มีค่ามากกว่า MacKinnon test ณ ระดับ first difference I(1)

แสดงให้เห็นว่า significance ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติ

2. วิเคราะห์ความสามารถในการปรับตัวสู่ดุลยภาพในระยะสั้นและระยะยาว

ในงานวิจัยนี้ได้มีการวิเคราะห์ความสามารถในการปรับตัวสู่ดุลยภาพเมื่อเกิดการกำหนด

นโยบายต่าง ๆ ด้วยวิธี co-integration test โดยผู้วิจัยนำ indicators ทุกตัว at first difference ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.01$ มาทำการทดสอบ แสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 1 การทดสอบความสามารถในการปรับตัวเข้าสู่ดุลยภาพในระยะสั้นและระยะยาว

ภาคการผลิต	Trace Statistic Test	Max-Eigen Statistic Test	Error Correction Mechanism	MacKinnon Critical Value (p-Value)	อิทธิพล ความสัมพันธ์
ภาคเศรษฐกิจ	215.05 ***	255.10 ***	-0.49 ***	$p < 0.01$	Direct effect
ภาคสังคม			-0.30 ***	$p < 0.01$	Direct effect
ภาคสิ่งแวดล้อม			-0.81 ***	$p < 0.01$	Direct effect
การกำหนดนโยบาย			0.00001 ***	$p < 0.01$	Indirect effect

*** กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.01$

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการทดสอบความสามารถในการปรับตัวเข้าสู่ดุลยภาพเมื่อรัฐบาลได้ออกนโยบายใดแล้วส่งผลกระทบต่อภาคการผลิตต่าง ๆ มีความสามารถในการปรับตัวเพื่อกลับเข้าสู่ดุลยภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่า แต่ละภาคการผลิตมีความสามารถในการปรับตัวเข้าสู่ดุลยภาพที่แตกต่างกัน โดยภาคสิ่งแวดล้อมมีความสามารถในการปรับตัวเข้าสู่ดุลยภาพได้ช้าที่สุด แต่ในขณะที่ภาคเศรษฐกิจมีความสามารถในการปรับตัวได้

รวดเร็วที่สุด ณ ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.01$ ดังนั้น รัฐบาลจะต้องออกนโยบายโดยมุ่งเน้นที่ภาคเศรษฐกิจเป็นลำดับแรกเพื่อให้การตอบสนองนโยบายประสบความสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนด

3. วิเคราะห์เส้นทางอิทธิพลของความสัมพันธ์ของปัจจัยเชิงสาเหตุ

ผลการวิเคราะห์เส้นทางอิทธิพลของความสัมพันธ์ของตัวแปรแฝงแต่ละตัว ได้แก่ ภาคเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เส้นทางอิทธิพลของความสัมพันธ์ของปัจจัยเชิงสาเหตุจาก

ตัวแปรตาม	อิทธิพล ความสัมพันธ์	ตัวแปรอิสระ			การกำหนด นโยบาย
		ภาค เศรษฐกิจ	ภาคสังคม	ภาค สิ่งแวดล้อม	
ภาคเศรษฐกิจ	DE	-	-	-	0.80***
	IE	-	-	-	-
ภาคสังคม	DE	0.61***	-	-	0.81***
	IE	-	-	-	0.01***
ภาคสิ่งแวดล้อม	DE	0.82***	0.51***	-	0.86***
	IE	-0.2***	-	-	0.10***
การกำหนดนโยบาย	DE	-	-	-	-
	IE	-	-	-	-

กำหนดให้: *** มีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับ = 0.01, DE อิทธิพลทางตรง and IE เป็นอิทธิพลทางอ้อม

จากตารางที่ 2 ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบ validity, measurement of model fit และ white noise, ของ LSEM-LG model โดยใช้เกณฑ์ค่าสถิติต่าง ๆ ซึ่งแสดงรายละเอียดดังนี้

1. การตรวจสอบ validity ของแบบจำลอง LSEM-LG model พบว่า แบบจำลองนี้มี validity เป็นไปตามเกณฑ์โดยค่าสถิติที่ทดสอบผ่านเกณฑ์การประเมินทั้งหมด ได้แก่ $HTMT_{ij} = 0.71$, $AVE_q = 0.92$, Cronbach's alpha $\alpha_q = 0.95$, and Composite Reliability (CR) $pq = 0.95$

2. ตรวจสอบ measurement of model fit ผ่านเกณฑ์ทุกค่า

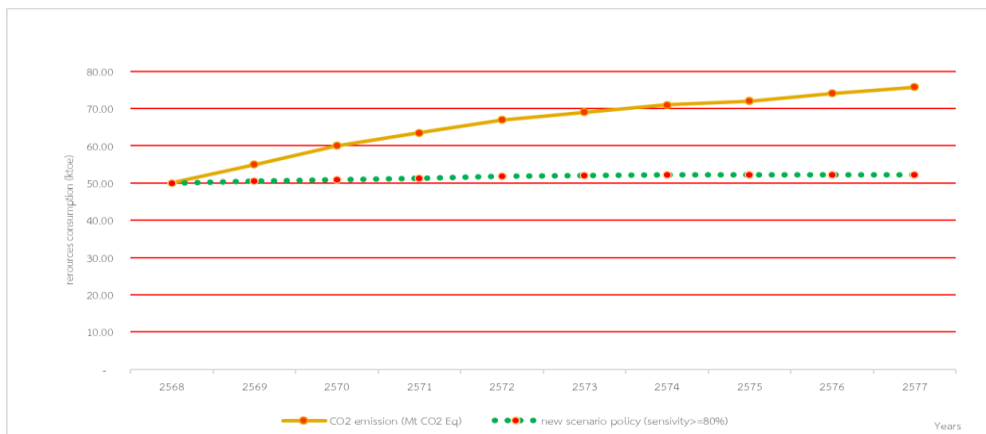
3. ตรวจสอบ spurious พบว่า ไม่เกิดปัญหา heteroscedasticity ($LM - test > LM - value$), multicollinearity ($VIF = 2.50$), and

autocorrelation (Durbin Watson: D.W.=1.99)

ดังนั้น จากผลการตรวจสอบข้างต้นของแบบจำลอง LSEM-LG model พบว่า ผ่านตามเกณฑ์การประเมินคุณสมบัติทุกด้าน แสดงว่า LMMA-FAHP ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมในการนำไปใช้เพื่อการพยากรณ์ในระยะยาวต่อไป ดังนี้

4 ผลการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญ โดยใช้ LSEM-LG model

จาก LSEM-LG model ในงานวิจัยนี้ สามารถตรวจวัดความเหมาะสมของ indicator ในการนำมากำหนดเป็น new scenario policy คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล (biodiesel rate (M_1)) และ อัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ (Gasohol rate (M_2)) ผลการศึกษา แสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 1 ผลการพยากรณ์ CO2 emission ในช่วงเวลา 2568-2577
โดยใช้แบบจำลอง LSEM-LG model

จากรูปที่ 1 พบว่า CO₂ emission เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเนื่องจากการใช้พลังงานในสาขาไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นกว่าเกณฑ์ความสามารถในการรองรับได้ (เกณฑ์กำหนดไว้ไม่เกิน 65.05 Mt CO₂ Eq. (2568-2577) ซึ่งมีอัตราการเติบโตเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 31.52% ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นเป็น 75.79 Mt CO₂ Eq. (2568-2577) ดังนั้น สำหรับงานวิจัยนี้ได้ค้นพบ new scenario policy คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล และ อัตราการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ ช่วยลดอัตราการเพิ่มของ CO₂ emission เพิ่มขึ้นแค่เพียง 52.31 Mt CO₂ Eq. (2568-2577) ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองในงานวิจัยนี้มีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจบริหารประเทศสู่เป้าหมาย green industrial ในอนาคตได้

สรุปผลและอภิปรายผล

สำหรับงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลอง LSEM-LG model ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มี validity และจากผลการประมาณการ ไม่เกิด spurious เนื่องจากไม่พบปัญหา autocorrelation multicollinearity และ heteroscedasticity ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยเชิง

สาเหตุก็สามารถอธิบายอิทธิพลของความสัมพันธ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำ LSEM-LG model ไปใช้เพื่อการพยากรณ์ในอนาคตในระยะยาว (2568-2577) ซึ่งจากผลการวิจัยแสดงให้เห็นแล้วว่า LSEM-LG model สามารถนำไปใช้เพื่อเป็นเครื่องมือสำคัญในการตัดสินใจสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบและเป็นสิ่งเตือนภัยให้กับรัฐบาลได้ดำเนินการให้ถูกต้องและเป็นไปตามแผนการพัฒนาย่างยั่งยืนได้

จากผลการศึกษาในงานวิจัยทำให้ผู้วิจัยเกิดข้อค้นพบว่า รัฐบาลจะต้องดำเนินการบริหารตามนโยบายการพัฒนาอย่างยั่งยืนนั้น จะต้องดำเนินการพร้อมกันทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ การเพิ่มผลิตภาพและรายได้ที่ยั่งยืน, การปรับตัวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งที่ผ่านมาพบว่า การบริหารประเทศนั้นเกิดความสำเร็จอย่างมากด้านเดียวเท่านั้น คือ การเพิ่มผลิตภาพและรายได้ที่ยั่งยืนเท่านั้น ซึ่งการดำเนินการนั้นจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการบริหารด้านเศรษฐกิจแต่ขาดประสิทธิภาพการบริหารสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพราะ

จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีอัตราการเติบโตแบบก้าวกระโดดอย่างต่อเนื่อง และประเทศไทยก็ยังไม่มีความสามารถในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้เลย นอกจากนี้ก็ยังไม่มีความรู้หรือเครื่องมือในการแก้ปัญหา นอกจากนี้การกำหนดเป้าหมาย net zero GHG emissions ในปี 2608 จำเป็นที่ทุกภาคการผลิตต้องลดปริมาณ ก๊าซเรือนกระจกลงไม่น้อยกว่า 20-40% และที่เหลืต้องมีการตัดสินใจสู่พื้นดินเพื่อให้เกิดความสมดุล แต่ถ้าสาขาไฟฟ้ายังคงปล่อยให้ CO₂ emission มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องต่อไปจะไม่สามารถเข้าสู่เป้าหมายดังกล่าวได้เลย และเกิดผลเสียอย่างมากในอนาคตกับระบบนิเวศ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทุกภาคการผลิตจำเป็นต้องดำเนินการดังกล่าวอย่างเป็นรูปธรรมก่อนที่จะสายเกินไป

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ผลการวิเคราะห์เพื่อสร้าง new scenario policy ของ LSEM-LG model ผลการศึกษาทำให้พบว่า การกำหนด new scenario policy ในงานวิจัยนี้ช่วยเป็นเครื่องมือสำคัญในการใช้ประกอบการตัดสินใจในการกำหนดกลยุทธ์การบริหารประเทศชาติให้มีทิศทางที่เหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพอย่างแท้จริง โดยพบว่า มีความสามารถทำให้ CO₂ emission มีอัตราการเติบโตในอัตราที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผลการวิจัยได้สอดคล้องกับสมมติฐานและแนวทฤษฎีที่กำหนดไว้

ข้อเสนอแนะ: แบบจำลอง LSEM-LG model มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินนโยบายด้านความยั่งยืนในอนาคต ซึ่งเป็นแบบจำลองที่เป็นเครื่องมือสำคัญในการกำหนดนโยบายและแผนของประเทศไทยต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งแผนการบริหารประเทศเพื่อให้เกิด Thailand 5.0 ในอนาคต ทั้งนี้แบบจำลอง LSEM-LG model เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมต่อการพยากรณ์ CO₂ emission จากการใช้พลังงานในสาขาไฟฟ้า ซึ่งสามารถไปประยุกต์ใช้กับสาขาอื่น ๆ ได้ เนื่องจาก

แบบจำลองนี้มีความเหมาะสมและมี validity สูง ซึ่งเรียกว่า the best model ประกอบกับแบบจำลองนี้ยังไม่พบปัญหาที่ทำให้แบบจำลองนี้ขาดความน่าเชื่อถือ, ที่ผ่านมามีในอดีตประเทศไทยดำเนินนโยบายโดยการวิเคราะห์แบบแยกส่วนการบริหาร และยังไม่เคยมีแบบจำลองที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสมจึงจำเป็นต้องนำแบบจำลองเก่าๆ ในอดีตมาใช้ซึ่งส่งผลต่อความผิดพลาดและการกำหนดนโยบายและแผนของประเทศไม่เกิดความยั่งยืนได้เลย ดังนั้น รัฐบาลจะต้องให้ความสำคัญกับการนำแบบจำลองที่มีคุณภาพมาใช้เพื่อเป็นเครื่องมือสำคัญในการกำหนดนโยบายได้อย่างถูกต้องและมีทิศทางดำเนินการได้อย่างเหมาะสมต่อไป

ข้อจำกัด: ซึ่งงานวิจัยนี้ได้พบคือ การวางแผนนโยบายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (sustainable development) ของประเทศไทยเป็นการวางแผนโดยไม่คำนึงถึงปัจจัยเชิงสาเหตุในด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมพร้อม ๆ กัน และขาดข้อมูลสำหรับดัชนีบางตัวที่สำคัญและจำเป็นอย่างมาก คือ oil price จึงส่งผลให้การกำหนด new scenario policy อาจจะไม่สามารถครอบคลุมได้ทุก indicators ที่สำคัญนั่นเอง และนอกจากนี้ข้อมูลที่เปิดเผยโดยรัฐบาลอาจจะมีการบิดเบือนบางประเด็นหรือไม่มี ความทันสมัยเพียงพอต่อการวิเคราะห์ในระยะยาวได้อย่างเต็มศักยภาพ

References

- [1] The World Bank. “Energy Use (Kg of Oil Equivalent Per Capita) Home Page,” Jan. 5, 2025. [Online]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.PCAP.KG.OE>

- [2] Office of the National Economic and Social Development Council (NESDC). Jan. 3, 2025. [Online]. Available: https://www.nesdc.go.th/nesdb_en/main.php?filename=index
- [3] Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). Net Zero GHG Emissions, Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.tgo.or.th/2023/index.php/th/page/PAG232>
- [4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Jan. 5, 2025. [Online]. Available: https://peidede.go.th/my_MM/dataset/energy-balance-of-thailand
- [5] National Statistical Office Ministry of Information and Communication Technology. Jan. 15, 2025. [Online]. Available: <https://dl.parliament.go.th/handle/20.500.13072/425815>
- [6] OECD, Historical Crude Oil Import Prices (Indicator). Organization for Economic Co-operation and Development. Jan. 15, 2025. [Online]. Available: <https://data.oecd.org/energy/crude-oil-import-prices.htm>
- [7] ONEP. *“Thailand’s Fourth Biennial Update Report, Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning,”* Jan. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.onep.go.th>
- [8] P. Sutthichaimethee. *“A Framework on Setting Strategies for Enhancing the Efficiency of State Power use in Thailand’s Pursuit of a Green Economy”*, Int. J. Energy Econ. Policy., 2024, vol. 14, pp. 108–120.
- [9] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, Bonn, Germany). *“The Paris Agreement: An Early Assessment. Environ.”* Policy Law, 2014, vol. 44, pp. 485–488.
- [10] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, Bonn, Germany). *“Global Progress in Environmental Law.”* Environ. Policy Law., 2016, vol. 46, pp. 23–27.
- [11] P. Sutthichaimethee, *“Forecasting Economic, Social and Environmental Growth in the Sanitary and Service Sector Based on Thailand’s Sustainable Development Policy.”* J. Ecol. Eng., 2018, vol. 19, pp. 205–210.
- [12] Pollution Control Department Ministry of Natural Resources and Environment. *“Enhancement and Conservation of National Environmental Quality Act,”* B.E. 2535, Jan. 10, 2025, [Online]. Available: <https://www.pcd.go.th/laws/5406/>

- [13] Thailand Development Research Institute, Carbon Capture Utilization. “Carbon Capture Utilization and Storage,” Jan. 15, 2025. [Online]. Available: <https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/tools/files.php?mod=YjNKblXNXBlbUYwYVc5dVgyUnZkMjVzYjJGaw&type=WDBaSlRFVlQ&files=TkRrPQ>
- [14] P. Sutthichaimethee et al., “A Long-Term CO₂ Emission Forecasting Under Sustainability Policy Using an Advanced Model Complementing the PAARIMAX Framework,” *Agriculture*, 2024, vol. 14, pp. 2342.
- [15] Harvey, A.C. Forecasting, “*Structural Time Series Models and the Kalman Filter*,” Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1980.
- [16] D.A. Dickey and W.A. Fuller. “Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root.” *Econometrica*, 1981, vol. 49, pp. 1057–1072.
- [17] S. Johansen and K. Juselius. “Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with applications to the demand for money.” *Oxf. Bull. Econ. Stat.*, 1990, vol. 52, pp.169–210.