

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและ
การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในประเทศไทย:
การประยุกต์ใช้แบบจำลอง VAR

Analyzing the Relationship between Economic Growth
and Carbon Dioxide (CO₂) Emissions in Thailand:
An Application of the VAR Model

กรนิกา ปาละสอน¹ เพียงตะวัน พลอาจ² และธนพล รัตนสมัครงการ³
Konnika Palason¹ Piangtawan Pol-ard² Tanapol Rattanasamakarn³

คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200¹

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300²

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพายัพ จังหวัดเชียงใหม่ 50000³

Faculty of Economics, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200 Thailand¹

Faculty of Management Science, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50300 Thailand²

Graduate School, Payap University, Chiang Mai 50000 Thailand³

*Corresponding Author E-mail: tanapol60@gmail.com

(Received: October 1, 2024; Revised: December 13, 2024; Accepted: December 17, 2024)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของประเทศไทย ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญสำหรับการขับเคลื่อนเศรษฐกิจสีเขียวที่ยั่งยืนโดยการศึกษาเน้นที่การทำความเข้าใจถึงผลกระทบของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจ ทั้งในระดับมหภาคและรายได้ต่อหัวของประชากร ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาค้นนี้ประกอบด้วยอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ อัตราการใช้พลังงานทางเลือก และรายได้ต่อหัวของประชากร ซึ่งถูกวิเคราะห์ผ่านโมเดลเวกเตอร์ออโตรีเกรสซีฟ (VAR

Model) เพื่อประเมินความสัมพันธ์และการตอบสนองระหว่างตัวแปรเหล่านี้ในระยะสั้นและระยะยาว ซึ่งผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลกระทบโดยตรงต่อการใช้พลังงานทางเลือก โดยเมื่ออัตราการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพิ่มขึ้น 1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) จะส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานทางเลือกเพิ่มขึ้นในปีแรก และยิ่งสูงขึ้นในปีที่ 3 ก่อนที่จะปรับเข้าสู่ดุลยภาพ นอกจากนี้ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ได้มีผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ทั้งในระดับภาพรวมและรายได้ต่อหัวของประชากร แต่การเพิ่มขึ้นของการปล่อย คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ยังแสดงให้เห็นถึงการตอบสนองที่ต่ำเพียงเล็กน้อยของอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจและรายได้ต่อหัว นอกจากนี้ ผลการศึกษานี้เน้นย้ำถึงความจำเป็นของการใช้เครื่องมือทางเศรษฐกิจและนโยบายสาธารณะที่มีประสิทธิภาพในการจัดการความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ประเทศไทยสามารถบรรลุเป้าหมาย Carbon Neutral และ Net Zero Emission ได้สำเร็จ โดยการสนับสนุนการดำเนินกิจกรรมทางเศรษฐกิจแบบเศรษฐกิจชีวภาพ – เศรษฐกิจหมุนเวียน – เศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular-Green Economy: BCG Model) เพื่อความยั่งยืนในระยะยาวของประเทศ

คำสำคัญ: การเติบโตทางเศรษฐกิจ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พลังงานทางเลือก โมเดลเวกเตอร์ออทโตรีเกรสซีฟ

Abstract

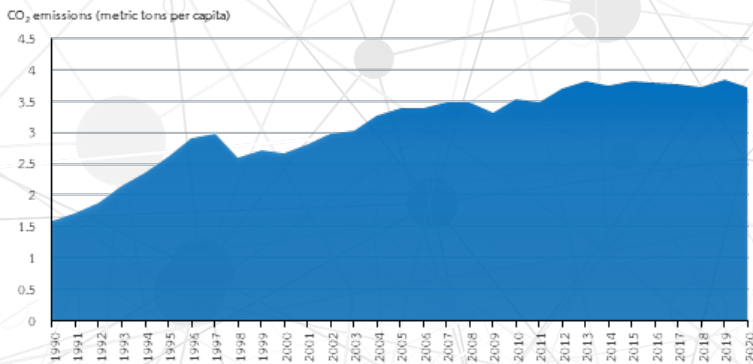
This study aims to analyze the relationship between economic growth and carbon dioxide (CO_2) emissions in Thailand, a critical issue for promoting sustainable green economic development. The research focuses on understanding the impact of carbon dioxide (CO_2) emissions on economic growth at both the macroeconomic level and per capita income. The data used in this study includes carbon dioxide (CO_2) emission rates, economic growth rates, alternative energy consumption rates, and per capita income, analyzed through a Vector Autoregressive

(VAR) model to evaluate the relationships and responses among these variables in both the short and long term. The findings indicate that changes in carbon dioxide (CO_2) emission rates have a direct impact on alternative energy consumption. When carbon dioxide (CO_2) emissions increase by 1 standard deviation (S.D.), the rate of alternative energy consumption rises in the first year, peaks in the third year, and then gradually returns to equilibrium. Additionally, carbon dioxide (CO_2) emissions do not have a direct impact on economic growth, both overall and in terms of per capita income. However, an increase in carbon dioxide (CO_2) emissions shows only a slight response in economic growth and per capita income rates. The results highlight the necessity of effective economic instruments and public policies to manage environmental risks, enabling Thailand to achieve its goals of Carbon Neutrality and Net Zero Emissions. This can be achieved by promoting activities aligned with the Bio-Circular-Green Economy (BCG Model), which supports long-term sustainability for the country by reducing waste at all stages of economic activities and enhancing the ability to reuse resources.

Keywords: Economic Growth, Carbon Dioxide (CO_2), Alternative Energy , Vector Autoregressive Model

บทนำ

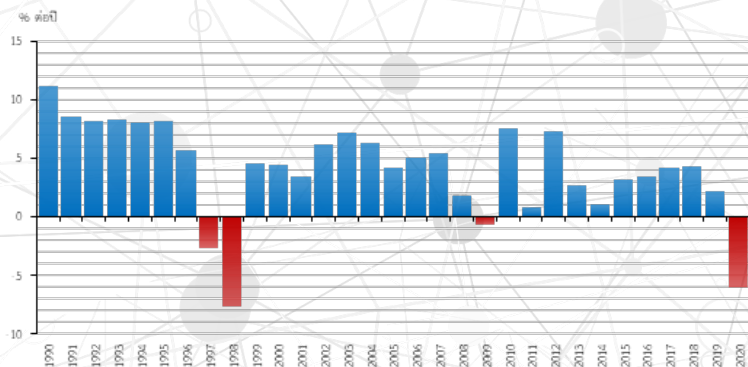
การเติบโตทางเศรษฐกิจและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจมากขึ้นในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกำลังเป็นปัญหาที่ท้าทาย ทั้งในระดับโลกและระดับท้องถิ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมที่ทำให้การผลิตและการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การเติบโตทางเศรษฐกิจควบคู่กับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกลายเป็นเป้าหมายสำคัญของหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศกำลังพัฒนาอย่างประเทศไทย ซึ่งเผชิญความท้าทายในการรักษาสมดุลระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ (UNDP, 2021) แนวทางหนึ่งที่ประเทศไทยได้นำมาใช้คือ BCG Model (Bio-Circular-Green Economy Model) ซึ่งมุ่งเน้นการพัฒนาเศรษฐกิจที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีความยั่งยืน โดยการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ในลักษณะหมุนเวียนและสร้างคุณค่าใหม่จากวัสดุเหลือใช้ (NESDC, 2021) จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของประเทศไทยในช่วงปี 1990 - 2020 มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สะท้อนถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แม้ว่าประเทศไทยจะมีนโยบายและแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้ BCG Model (Bio-Circular-Green Economy Model) แต่ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงความท้าทายที่ยังคงมีอยู่ในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน



ภาพที่ 1 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของประเทศไทย
ปี 1990 - 2020

ที่มา: World Bank Data, 2024

BCG Model เป็นกรอบแนวคิดที่เน้นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อบรรลุเป้าหมายการเติบโตทางเศรษฐกิจที่ยั่งยืน และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้พลังงานในภาคเศรษฐกิจต่าง ๆ โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และพลังงาน (NAT, 2022) การเปลี่ยนผ่านสู่เศรษฐกิจสีเขียวตามกรอบแนวคิดนี้ยังเป็นก้าวสำคัญในการตอบสนองต่อเป้าหมายของสหประชาชาติในการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (UNFCCC, 2019) ดังภาพที่ 2 แสดงให้เห็นถึงอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทยในช่วงปี 1990 - 2020 โดยการเติบโตดังกล่าวสัมพันธ์กับการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในประเทศ



ภาพที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ปี 1990 - 2020
ที่มา: World Bank Data, 2024

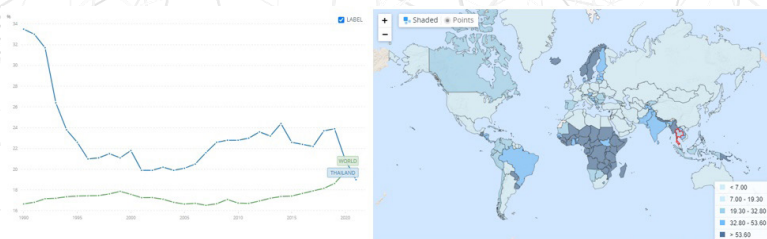
ความเชื่อมโยงระหว่าง BCG Model (Bio-Circular-Green Economy Model) กับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในประเทศไทยมีพื้นฐานจากแนวคิดในการสร้างเศรษฐกิจที่ยั่งยืน โดยการลดการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลืองและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนี้

1) เศรษฐกิจชีวภาพ (Bio Economy) เศรษฐกิจชีวภาพเน้นการใช้ทรัพยากรชีวภาพ เช่น พืชผลการเกษตรและวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิลที่ก่อให้เกิดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) การเปลี่ยนไปใช้พลังงานจากชีวมวล พลังงานชีวภาพ หรือการใช้เทคโนโลยีที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นผลจากแนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพที่สอดคล้องกับการลดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

2) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) เศรษฐกิจหมุนเวียนมีเป้าหมายในการลดการสร้างของเสียโดยการนำทรัพยากรที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่และรีไซเคิล ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยการลดการผลิตใหม่และการเผาทำลายของเสีย ตัวอย่างเช่น การนำของเสียจากภาคอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีวงจรชีวิตยาวนานขึ้น ลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

3) เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) เศรษฐกิจสีเขียวเน้นการส่งเสริมนวัตกรรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานสะอาด การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ และการลดการใช้พลังงานที่ก่อให้เกิดมลพิษ การลงทุนในพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ลม และน้ำ มีบทบาทสำคัญในการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้พลังงานแบบดั้งเดิมในประเทศไทย

ดังภาพที่ 3 อัตราการเข้าถึงพลังงานทางเลือกของไทยในช่วงปีที่ผ่านมา แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานสะอาด ซึ่งสะท้อนถึงความพยายามของภาครัฐและเอกชนในการสนับสนุนการใช้พลังงานที่มีความยั่งยืนและลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิล



ภาพที่ 3 อัตราการเข้าถึงพลังงานทางเลือกของไทย
ที่มา: World Bank Data, 2024

แนวคิดของ Environmental Kuznets Curve (EKC) ซึ่งเสนอว่าความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีลักษณะเป็นรูปตัวยูคว่ำ ดังภาพที่ 4 นั่นคือ ในช่วงเศรษฐกิจก่อนอุตสาหกรรมเป็นระยะที่ระดับรายได้ต่ำ การเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมยังคงอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจากกิจกรรมเศรษฐกิจส่วนใหญ่พึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติในระดับที่ไม่เข้มข้น เช่น เกษตรกรรมและการใช้ทรัพยากรพื้นฐาน ต่อมาในช่วงเศรษฐกิจยุคอุตสาหกรรม เมื่อประเทศเข้าสู่การพัฒนาอุตสาหกรรม รายได้ต่อหัวเพิ่มขึ้น แต่กิจกรรมอุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างเข้มข้นและการปล่อยมลพิษสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลจาก Scale Effect หรือผลกระทบจากการขยายตัวของการผลิต และสุดท้ายในช่วงเศรษฐกิจยุคหลังอุตสาหกรรม เมื่อประเทศมีรายได้สูงขึ้น การเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมเริ่มลดลง ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนโครงสร้าง

เศรษฐกิจ (Composition Effect) และการใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (Technique Effect) ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนไปใช้พลังงานหมุนเวียนและการบริหารจัดการทรัพยากรที่ยั่งยืน

แนวคิดของ Environmental Kuznets Curve (EKC) ได้ถูกนำมาใช้ในหลายงานวิจัยเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ที่ประเทศกำลังพัฒนาจะสามารถรักษาการเติบโตทางเศรษฐกิจไปพร้อมกับการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (Grossman & Krueger, 1995) อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่ครอบคลุมถึงปัจจัยเฉพาะของประเทศไทยยังคงมีจำนวนจำกัด แม้ว่าประเทศไทยจะมีบทบาทสำคัญในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และกำลังดำเนินนโยบายพลังงานสะอาดอย่างต่อเนื่อง (UNEP, 2020)



ภาพที่ 4 Environmental Kuznets Curve (EKC)

ที่มา: Mitić, P., Kresoja, M., & Minović, J., 2019

แม้ว่าจะมีการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในหลายประเทศ ประเทศทั่วโลก ตัวอย่างเช่น Dinda and Coondoo (2006) ศึกษาใน 88 ประเทศ โดยพบความสัมพันธ์แบบสองทิศทางระหว่าง คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่อหัวและ GDP ต่อหัว Lee and Lee (2009) วิเคราะห์ใน 109 ประเทศจาก 7 ภูมิภาค พบว่าข้อมูลคาร์บอนไดออกไซด์

(CO₂) และ GDP มีความคงที่ในระยะยาว Narayan and Narayan (2010) ศึกษาสมมติฐาน Environmental Kuznets Curve (EKC) ใน 43 ประเทศกำลังพัฒนา โดยประมาณ 35% ของประเทศสามารถลดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ได้เมื่อรายได้เพิ่มขึ้น งานวิจัยยังครอบคลุมการศึกษาในภูมิภาคเฉพาะ เช่น Noor and Siddiqi (2010) วิเคราะห์ในเอเชียใต้ ได้แก่ บังคลาเทศ, ศรีลังกา, เนปาล, ปากีสถาน และอินเดีย โดยพบว่าการใช้พลังงานต่อหัวที่เพิ่มขึ้นมีผลลดต่อรายได้ในระยะยาว Liu (2013) ศึกษา 30 เมืองในจีน พบว่ารายได้ต่อหัวแปรผันตรงกับการใช้พลังงานและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) โดยเฉพาะในภาคตะวันออกของจีน Kim, Lee, and Nam (2010) วิเคราะห์ในเกาหลีใต้ พบความสัมพันธ์แบบสองทางระหว่างการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และการเติบโตทางเศรษฐกิจ ในขณะที่ Jayanthakumaran, Verma, and Liu (2011) เปรียบเทียบจีนและอินเดีย พบว่ารายได้เฉลี่ยต่อหัวและโครงสร้างพื้นฐานมีผลต่อการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในจีน แต่ไม่ชัดเจนในอินเดีย สำหรับการศึกษาในบริบทของประเทศไทยซึ่งใช้ BCG Model ยังมีจำนวนจำกัด

บทความนี้จึงมีความสำคัญในการวิเคราะห์ผลกระทบของการเติบโตทางเศรษฐกิจต่อการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในประเทศไทย ภายใต้กรอบแนวคิด BCG Model ดังนั้น บทความนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากมุ่งเน้นการเสริมสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับผลกระทบของการเติบโตทางเศรษฐกิจต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในบริบทของประเทศไทย โดยวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว และประเมินผลของนโยบายที่ประเทศไทยได้นำมาใช้เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนการพัฒนา นโยบายเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน ซึ่งไม่เพียงเป็นประโยชน์ต่อประเทศไทยเท่านั้น แต่ยังสามารถนำไปปรับใช้ในประเทศกำลังพัฒนาอื่น ๆ ที่เผชิญกับความท้าทายที่คล้ายคลึงกัน การศึกษานี้เกิดจากความจำเป็นในการทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เพื่อให้สามารถพัฒนานโยบายที่มีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ ทั้งนี้ การบูรณาการองค์ความรู้และผลการวิเคราะห์จากบทความนี้จะช่วยสนับสนุนการวางแผนเชิงนโยบายที่เหมาะสมและยั่งยืนในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
2. เพื่อประเมินผลกระทบของนโยบาย BCG Model ต่อการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในประเทศไทย
3. เพื่อเสนอแนวทางพัฒนาเศรษฐกิจที่ยั่งยืนและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในบริบทของประเทศไทย

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎีของแบบจำลอง Vector Autoregressive Model (VAR) เป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบหลายตัวแปรที่มีลำดับเวลา แบบจำลองนี้ได้รับการพัฒนาโดย Christopher A. Sims ในปี 1980 เพื่อแก้ไขปัญหาการระบุทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางเศรษฐกิจ โดยในบริบทของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แบบจำลองนี้มีประโยชน์อย่างมากในการจับลักษณะของความสัมพันธ์เชิงพลวัตระหว่างตัวแปรทั้งสองเมื่อเวลาผ่านไป

แนวคิดหลักของ VAR Model

1. การพยากรณ์เชิงหลายตัวแปร (Multivariate Time Series Forecasting): VAR เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ชุดข้อมูลหลายตัวแปร โดยอาศัยข้อมูลในอดีตของตัวแปรทุกตัวในระบบเพื่อคาดการณ์ค่าของตัวแปรแต่ละตัวในอนาคต ซึ่งแตกต่างจากการวิเคราะห์เชิงเดี่ยว (Univariate) ที่ใช้เฉพาะข้อมูลในอดีตของตัวแปรเดียว VAR ใช้ข้อมูลของตัวแปรทุกตัวที่เกี่ยวข้องเพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกัน

2. ความสัมพันธ์แบบทวิภาคี (Bidirectional Relationship): VAR ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบสองทิศทางได้ เช่น การเติบโตทางเศรษฐกิจอาจส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และในทางกลับกัน การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อาจส่งผลต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจด้วย ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบสำคัญของแบบจำลองนี้

3. สมการเชิงซ้อน (Simultaneous Equations): ใน VAR แต่ละตัวแปรในระบบจะถูกกำหนดโดยสมการที่มีตัวแปรอื่น ๆ รวมถึงตัวแปรของตนเองในอดีตเป็นตัวแปรอิสระ ตัวอย่างเช่น หากคุณกำลังศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง GDP และการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สมการของ GDP จะรวมข้อมูลในอดีตของ GDP และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และสมการของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก็จะรวมข้อมูลในอดีตของทั้งสองตัวแปรเช่นเดียวกัน

4. Stationarity และความสัมพันธ์ในระยะยาว: แบบจำลอง VAR ต้องใช้ข้อมูลที่เป็น Stationary (เสถียรในแง่ของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน) หากข้อมูลไม่เป็น Stationary เช่น ในกรณีของข้อมูลเศรษฐกิจ การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของผลต่างหรืออัตราการเติบโตมักจะถูกนำมาใช้ นอกจากนี้ VAR ยังสามารถตรวจจับความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างในระยะยาวระหว่างตัวแปร ซึ่งสำคัญมากในการวิเคราะห์ผลกระทบเชิงนโยบาย

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ VAR Model

1. Endogeneity และ Causality: หนึ่งในประเด็นสำคัญที่ VAR จัดการได้ดีคือเรื่อง Endogeneity ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีความสัมพันธ์แบบย้อนกลับระหว่างตัวแปร อันนี้ทำให้ VAR เป็นเครื่องมือที่ดีในการศึกษาความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนโดยทฤษฎีเศรษฐศาสตร์การพัฒนา เช่น การศึกษาของ Sims (1980) เสนอให้ใช้ VAR ในการระบุทิศทางของความสัมพันธ์และผลกระทบแบบบ่งชี้ร่วม (Granger Causality) ซึ่งสามารถช่วยตรวจสอบได้ว่าการเปลี่ยนแปลงในตัวแปรใดนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในตัวแปรอื่น ๆ

2. Impulse Response Function (IRF): IRF เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของการกระตุ้นช็อก (Shock) ในตัวแปรหนึ่งต่ออีกตัวแปรหนึ่งในระบบ VAR กล่าวคือ สามารถศึกษาว่าการเพิ่มขึ้นฉับพลันของการเติบโตทางเศรษฐกิจส่งผลต่อการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อย่างไรในระยะเวลาหนึ่ง

3. Variance Decomposition: การแยกแยะความแปรปรวนใน VAR ช่วยอธิบายว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรหนึ่งมาจากตัวแปรอื่น ๆ ในระบบมากน้อยเพียงใด เช่น สามารถวิเคราะห์ได้ว่าความแปรปรวนของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) นั้นได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของ GDP มากเพียงใดในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีการศึกษาจำนวนมากที่ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทั้งในระดับโลกและระดับภูมิภาค งานวิจัยที่สำคัญสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้

1. Environmental Kuznets Curve (EKC) และการเติบโตทางเศรษฐกิจ

งานวิจัยเชิงปริมาณที่สำรวจรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง GDP และการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในหลายประเทศได้นำเสนอ Environmental Kuznets Curve (EKC) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปตัวยูคว่ำ โดยพบว่าการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกที่เศรษฐกิจเติบโต แต่จะลดลงเมื่อถึงระดับเศรษฐกิจที่มั่นคง (Grossman and Krueger, 1995) งานวิจัยนี้มีการนำไปศึกษาในหลายประเทศกำลังพัฒนา รวมถึงประเทศไทย เช่น ผลการศึกษาของ Saboori and Sulaiman (2013) ซึ่งพบว่า มีรูปแบบ EKC ในประเทศไทย โดยการเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะยาวมีแนวโน้มลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เมื่อถึงระดับความมั่นคงทางเศรษฐกิจ

2. งานวิจัยในบริบทของประเทศไทย

ในประเทศไทย มีงานวิจัยที่สำรวจความสัมพันธ์ระหว่างการใช้จ่ายงาน การเติบโตทางเศรษฐกิจ และการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หลายฉบับ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Siriwardana and Kunasena (2015) ได้ทำการศึกษาว่าภาคอุตสาหกรรมและการพลังงานมีส่วนสำคัญในการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อย่างไร และเสนอแนะว่านโยบายที่ส่งเสริมพลังงานหมุนเวียนจะช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และนอกจากนี้งานวิจัยบางฉบับได้นำกรอบแนวคิด BCG มาประยุกต์ใช้ในระดับภูมิภาค ตัวอย่างเช่น Kumar and et.al (2020) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียนในประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงประเทศไทย โดยพบว่าการส่งเสริมการใช้ทรัพยากรหมุนเวียนในภาคพลังงานและอุตสาหกรรมสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้ในระยะยาว ในแง่ของนโยบายงานวิจัยของ Jiranyakul (2018) ได้ศึกษาผลกระทบของนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมของไทย โดยเฉพาะการสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนและการลดการใช้พลังงานฟอสซิล พบว่าการบังคับใช้นโยบายดังกล่าวมีผลอย่างมากต่อการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในภาคพลังงาน แต่ยังคงต้องการสนับสนุนเพิ่มเติมจากภาครัฐในด้านการลงทุน

เทคโนโลยีสีเขียวเพื่อให้ได้ผลที่ยั่งยืน

3. BCG Model และการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

งานวิจัยที่เชื่อมโยงกับ BCG Model ในบริบทของประเทศไทย ยังคงค่อนข้างใหม่ แต่มีงานศึกษาที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดเศรษฐกิจสีเขียวและเศรษฐกิจหมุนเวียนซึ่งมีเป้าหมายลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Waiyakoon et al. (2021) ได้นำเสนอว่านโยบายเศรษฐกิจสีเขียวและหมุนเวียนสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมได้ โดยเน้นที่การนำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่ และการส่งเสริมพลังงานทดแทน

ระเบียบวิธีการวิจัย

ประเภทของการวิจัย

การวิจัยประเชิงสังคมประยุกต์

แหล่งข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิ โดยข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วยปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของประเทศไทย อัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทย และอัตราการเข้าถึงพลังงานทางเลือก ซึ่งข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลรายปี ตั้งแต่ปี 1990 – 2020 จำนวนทั้งสิ้น 31 ปี โดยแหล่งข้อมูลมาจากฐานข้อมูลของ World Bank Data (2024)

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง Vector Autoregression หรือ VAR Model มาใช้วิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมทางเศรษฐมิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่ไม่สามารถทราบรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรมาก่อนล่วงหน้า หากใช้ข้อมูลในอดีตมาศึกษาความสัมพันธ์กัน ซึ่งตัวแปรภายใน (Endogenous Variables) ตัวใดตัวหนึ่งอาจจะขึ้นอยู่กับค่าในอดีตของตัวเองและตัวแปรภายในตัวอื่น ๆ และค่าปัจจุบันของตัวแปรภายนอก เนื่องจากไม่สามารถทราบรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรมาก่อนล่วงหน้า จึงทำให้แบบจำลองนี้เป็นที่นิยมทำการศึกษาผลกระทบระหว่างการเปลี่ยนแปลงอย่างใดอย่างหนึ่งซึ่งส่งผลกระทบต่อกันได้ นอกจากนี้งานวิจัยในประเทศไทยยังมีความนิยมใช้แบบจำลอง Vector Autoregression เช่น การศึกษาของบัณฑิต ชัยวิษณุชาติ และสุจิต ชัยวิษณุชาติ (2549) ที่ใช้แบบจำลอง VAR ที่ใช้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงราคาน้ำมัน

ภายในประเทศที่มีผลต่อเศรษฐกิจไทย หรือการตอบสนองของเงินเฟ้อต่อตัวแปรทางเศรษฐกิจ หรือการใช้แบบจำลอง VAR เพื่อศึกษาขนาดและความล่าช้าของกลไกการส่งผ่านนโยบายการเงินต่อระบบเศรษฐกิจของไทย ดังนั้น แบบจำลองนี้จึงเหมาะสมกับการศึกษาเชิงพลวัตของการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจจากปัจจัยต่าง ๆ

ในงานศึกษานี้ได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง VAR ได้แก่ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อัตราการเข้าถึงพลังงานทางเลือก รายได้ประชาชาติ และรายได้เฉลี่ยต่อหัวของประชากร

การศึกษาค้างนี้สามารถเขียนในรูปแบบของสมการภายใต้แบบจำลอง Vector Autoregression ดังนี้

$$CO = f(CO, RE, GDP, GDC)$$

โดยที่

CO	= การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
RE	= อัตราการเข้าถึงพลังงานทางเลือก
GDP	= รายได้ประชาชาติ
GDC	= รายได้เฉลี่ยต่อหัวของประชากร

โดยมีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1. กำหนดตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลอง ผู้วิจัยเลือกใช้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อัตราการเข้าถึงพลังงานทางเลือกเป็นตัวแปรที่สะท้อนถึงนโยบาย BCG Model และตัวแปรทางเศรษฐกิจ ได้แก่ รายได้ประชาชาติ และรายได้เฉลี่ยต่อหัวของประชากร

2. ทดสอบความคงที่ (Stationary) ของตัวแปรที่ใช้ Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Data) มีลักษณะที่ควรพิจารณาคือความคงที่ของข้อมูลที่น่ามาใช้ทดสอบ โดยกลุ่มผู้วิจัยเลือกใช้วิธี Augmented Dickey-Fuller ในการทดสอบความคงที่ของข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่มีลักษณะนิ่ง (Stationary) หมายถึงข้อมูลที่อยู่ในสภาพของการสมดุลเชิงสถิติ (Statistical Equilibrium) นั่นคือ ข้อมูลอนุกรมเวลาจะไม่มีเปลี่ยนแปลง แม้เวลาจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีแนวโน้มที่ความแปรปรวนของข้อมูลจะมุ่งเข้าหาค่าเฉลี่ยเมื่อระยะเวลาผ่านไป แต่หากข้อมูลไม่มีความคงที่ (Non-Stationary) หมายถึงแนวโน้มที่ค่าความแปรปรวนของข้อมูลจะห่างออกจากเดิมมากขึ้นเรื่อย ๆ

เมื่อระยะเวลาผ่านไป และอาจไม่มีจุดสิ้นสุดของการเคลื่อนไหว โดยถ้าหากนำข้อมูลมาใช้โดยไม่มีการทดสอบความนิ่งก่อนของข้อมูลก่อน จะทำให้ค่าสถิติ (T-Statistics) มีการแจกแจงแบบไม่มาตรฐาน (Nonstandard Distributions) ซึ่งอาจนำไปสู่การลงความเห็นที่ผิด และนำไปสู่การถดถอยที่ไม่ถูกต้อง (Spurious Regression)

3. กำหนดจำนวนความล่าช้า (Lag) ที่เหมาะสมที่ใช้ในแบบจำลองการเลือกจำนวน Lag ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลอง โดยใช้ค่าดัชนี Information Criteria ที่มีค่าต่ำที่สุด และใช้จำนวน Lag เท่ากันในทุกตัวแปรที่ทำการศึกษา โดยกลุ่มผู้วิจัยเลือกใช้ Akaike Information Criterion (AIC) ในการพิจารณาเลือกจำนวน Lag

4. วิเคราะห์หา Cointegration ของอัตราผลตอบแทนของตัวแปรที่ทำการศึกษาก่อนทดสอบ Cointegration คือ การทดสอบความนิ่งของค่าเบี่ยงเบนที่ได้จากการประมาณค่าความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพในระยะยาว (Long-Run Equilibrium Relationship) ของตัวแปรที่ไม่คงที่ หากตัวแปรมี Cointegration แสดงว่าตัวแปรดังกล่าวมีความสัมพันธ์ร่วมกันในระยะยาว

5. ทดสอบความ Stability ของแบบจำลองเป็นการทดสอบว่าแบบจำลองมีค่า Eigen Value น้อยกว่า 1 หรือไม่

6. ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วย แบบจำลอง Vector Autoregressive Models (VAR) โดยตัวแปรแต่ละตัวถูกกำหนดจากค่าของตัวเองในอดีตและค่าของตัวแปรอื่น ๆ ในระบบ ผลการวิเคราะห์ VAR ช่วยให้เข้าใจความเชื่อมโยงเชิงพลวัตระหว่างตัวแปรการวิเคราะห์นี้ช่วยตรวจสอบผลกระทบของตัวแปรในระยะสั้นและระยะยาว และอธิบายความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนในระบบเศรษฐกิจได้อย่างชัดเจน

7. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรด้วย Cumulative Orthogonal Impulse Response Function เป็นการวิเคราะห์การตอบสนองของตัวแปรหนึ่งต่อการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติ (Shock) ของตัวแปรอื่น ๆ โดยวิเคราะห์ทิศทางของการตอบสนองในระยะสั้นและระยะยาว

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) เป็นการวิเคราะห์หาความนิ่งหรือความมีเสถียรภาพของตัวแปร 2) เป็นการวิเคราะห์หาความล่าช้าที่เหมาะสมและทดสอบเสถียรภาพของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในแบบจำลอง VAR Model และ 3) การวิเคราะห์ตัวแปรแบบแยกส่วนและการวิเคราะห์หาผลเชิงพลวัต

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบ Unit Root Test โดยวิธี Augmented Dickey – Fuller Test (ADF-Test)

Variables	Level			1 ST Difference		
	None	Intercept	Intercept&Tre	None	Intercept	Intercept & Trend
CO	0.9861	0.0668	1.000	0.0002***	0.0009***	0.0151***
RE	0.0364	0.0136	0.1723	0.0031***	0.0245***	0.0617***
GDP	0.9982	0.9759	0.8130	0.0056***	0.0219***	0.0992***
GDC	0.9958	0.9623	0.8187	0.0040***	0.0208***	0.0945***

หมายเหตุ: * หมายถึงระดับความเชื่อมั่นที่ 90% ** หมายถึงระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และ *** หมายถึงระดับความเชื่อมั่นที่ 99%

การทดสอบ Unit Root Test โดยวิธี Augmented Dickey – Fuller Test (ADF-Test) เพื่อทดสอบว่าตัวแปรต่าง ๆ ทั้งหมดมีความนิ่งหรือความมีเสถียรภาพ เพื่อป้องกันปัญหา Spurious Regression หรือตัวแปรเหมือนมีความสัมพันธ์กันแต่ไม่ได้มีความสัมพันธ์กันจริงของแบบจำลอง VAR ที่สร้างขึ้น ซึ่งจากผลการทดสอบจากตารางที่ 1 พบว่า ตัวแปรทั้งหมด มีความนิ่งที่ 1ST Difference ระดับนัยสำคัญที่ 0.01 ต่อจากนั้นจึงนำตัวแปรมาทดสอบในส่วนที่สองต่อไป

การทดสอบ Optimal Lag Length โดยวิธี Akaike Information Criteria (AIC) และการทดสอบ Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial เพื่อเลือกความล่าช้าที่เหมาะสมที่เท่ากัน และหาความเสถียรภาพของตัวแปรทั้งหมดของแบบจำลอง VAR ที่สร้างขึ้น ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์หาผลที่เหมาะสม การวิเคราะห์ความล่าช้าที่เหมาะสมจะหาได้จากการที่ค่า AIC ต่ำที่สุด จากตารางที่ 2 พบว่าค่า AIC ที่ต่ำที่สุดอยู่ใน Lag ที่ 5 สามารถอธิบายได้ว่า แบบจำลองที่มีการเลือกใช้ที่จำนวนความล่าช้าที่เหมาะสมที่สุดมีค่าที่

เหมาะสมเท่ากับ 5 เมื่อพบความล่าช้าที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการทดสอบ Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial เพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือของความมีเสถียรภาพของค่าสัมประสิทธิ์ในแบบจำลอง VAR ที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบ Optimal Lag Length

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	226.375	NA	221e-13	-17.79	-17.595	-17.736
1	295.178	110.085	330e-15	-22.014	-21.039	-21.744
2	316.5	273.2926	2.42e-15	-22.44	-20.685	-21.953
3	337.49	20.1507	2.22e-15	-22.839	-20.304	-22.136
4	362.336	15.901	2.30e-15	-23.547	-20.232	-22.627
5	505.737	45.88855*	5.52e-19	-33.73899*	-29.64357*	-32.60309*

หมายเหตุ: * หมายถึงระดับความเชื่อมั่นที่ 90% ** หมายถึงระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และ *** หมายถึงระดับความเชื่อมั่นที่ 99%

การวิเคราะห์ Vector Autoregression (VAR Model) และการวิเคราะห์ Impulse Response Function (IRF) เพื่อการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆที่กำหนดไว้ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาผลเชิงพลวัต เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ จากตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ Vector Autoregression เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ตามแบบจำลอง ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ Vector Autoregression (VAR Model)

Variables	$\ln CO_t$	$\ln RE_t$	$\ln GDP_t$	$\ln GDC_t$
$\ln CO_{t-1}$	-0.620716 [-0.86334]	-0.750985 [-1.00880]	-2.940708 [-2.22171]	-2.939448 [-2.22313]
$\ln CO_{t-2}$	0.515649 [0.75307]	-0.659836 [-0.93069]	0.106235 [0.08427]*	0.103154 [0.08192]*
$\ln CO_{t-3}$	-0.046428 [-0.07337]*	1.153609 [1.76069]	0.812364 [0.69732]	0.812587 [0.69826]
$\ln CO_{t-4}$	-0.063088 [-0.12477]	-0.395719 [-0.75587]	0.885399 [0.95118]	0.884379 [0.95110]
$\ln CO_{t-5}$	-0.15778 [-0.24027]	-0.118711 [-0.17459]	-0.522321 [-0.43204]	-0.522035 [-0.43227]
$\ln RE_{t-1}$	0.250518 [0.34959]	-0.965718 [-1.30154]	-0.76762 [-0.58185]	-0.76586 [-0.58114]
$\ln RE_{t-2}$	0.126135 [0.25487]	-0.249563 [-0.48702]	-0.847904 [-0.93062]	-0.85058 [-0.93455]
$\ln RE_{t-3}$	-0.574476 [-1.02265]	0.548456 [0.94294]	0.138214 [0.13365]	0.13459 [0.13028]
$\ln RE_{t-4}$	0.249874 [0.58737]	-0.486642 [-1.10481]	1.289114 [1.64600]	1.288517 [1.64700]
$\ln RE_{t-5}$	0.668022 [1.12416]	-0.302553 [-0.49173]	0.139438 [0.12746]	0.138806 [0.12702]
$\ln GDP_{t-1}$	51.5954 [0.47499]	11.02176 [0.09800]*	182.2927 [0.91158]	181.4818 [0.90849]
$\ln GDP_{t-2}$	-146.4066 [-0.84722]	236.5083 [1.32181]	-306.1728 [-0.96239]	-305.5435 [-0.96143]
$\ln GDP_{t-3}$	285.2416 [1.44981]	-397.1662 [-1.94965]	476.6151 [1.31587]	476.4964 [1.31695]
$\ln GDP_{t-4}$	-207.0466 [-1.34895]	330.7634 [2.08128]	-390.1915 [-1.38087]	-390.6342 [-1.38391]
$\ln GDP_{t-5}$	27.74209 [0.33435]	-176.9851 [-2.06010]	51.88423 [0.33966]	51.62613 [0.33833]
$\ln GDC_{t-1}$	-51.38072 [-0.47314]	-10.77325 [-0.09581]*	-181.1266 [-0.90598]	-180.3177 [-0.90290]
$\ln GDC_{t-2}$	146.1297 [0.84699]	-235.9895 [-1.32106]	305.7539 [0.96264]	305.1237 [0.96168]
$\ln GDC_{t-3}$	-285.2437 [-1.44997]	396.4861 [1.94651]	-476.3777 [-1.31535]	-476.2614 [-1.31643]

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Variables	$\ln CO_{it}$	$\ln RE_{it}$	$\ln GDP_{it}$	$\ln GDC_{it}$
$\ln GDC_{t-4}$	206.8791 [1.34915]	-330.6735 [-2.08272]	389.326 [1.37913]	389.7679 [1.38217]
$\ln GDC_{t-5}$	-27.89221 [-0.33723]	176.6697 [2.06299]	-52.36616 [-0.34391]	-52.11034 [-0.34260]
Constant	-0.002319 [-0.01750]	0.109597 [0.79878]	0.135599 [0.55584]	0.137319 [0.56349]
R-squared	0.865557	0.851732	0.915598	0.917053
Adj. R-squared	0.193341	0.110391	0.493591	0.502317
Sum sq. resids	0.007329	0.007857	0.024839	0.024787
S.E. equation	0.042805	0.04432	0.078803	0.078719
F-statistic	1.287617	1.148908	2.169625	2.211173
Log likelihood	66.2116	65.34163	50.95399	50.98067
Akaike AIC	-3.616928	-3.54733	-2.396319	-2.398454
Schwarz SC	-2.593072	-2.523475	-1.372464	-1.374598
Mean dependent	0.013806	-0.003128	0.043359	0.035974
S.D. dependent	0.047659	0.04699	0.110736	0.111584

หมายเหตุ: * หมายถึงระดับความเชื่อมั่นที่ 90% ** หมายถึงระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และ *** หมายถึงระดับความเชื่อมั่นที่ 99%

[] หมายถึง T-Statistics

ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง VAR ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($\ln CO_t$) ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ ($\ln GDP_t$) และการบริโภคพลังงานโดยรวม ($\ln GDC_t$) และตัวแปรการใช้นโยบาย BCG Model คือการใช้พลังงานหมุนเวียน ($\ln RE_t$) โดยแบบจำลองนี้สามารถสะท้อนความสัมพันธ์ย้อนกลับในช่วงเวลา (Lagged Relationships) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงในระบบเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ ได้อย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น

จากการศึกษาพบว่า $\ln CO_t$ มีผลย้อนกลับที่ชัดเจนต่อค่าของตัวเองในช่วงเวลา t-2 และ t-3 ซึ่งแสดงถึงผลสะสมจากกิจกรรมเศรษฐกิจและการใช้พลังงานในอดีต ซึ่งชี้ให้เห็นว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอดีตยังคงส่งผลกระทบต่อระดับของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปัจจุบัน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการวางแผนและดำเนินนโยบายระยะยาวเพื่อจัดการกับผลกระทบสะสมดังกล่าว ในส่วนของ

$\ln RE_t$ หรือการใช้พลังงานหมุนเวียน ซึ่งเป็นตัวแทนของการดำเนินนโยบาย BCG Model ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่า ตัวแปรนี้มีความสัมพันธ์บางประการกับ $\ln GDP_t$ ในช่วง $t-4$ อย่างไรก็ตาม $\ln RE_t$ ยังไม่ได้มีบทบาทในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($\ln CO_2$) ในระยะสั้น การที่บทบาทของพลังงานหมุนเวียนยังคงจำกัดอาจเป็นเพราะข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐาน การเข้าถึงเทคโนโลยี และต้นทุนพลังงานสะอาดที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานแบบดั้งเดิม

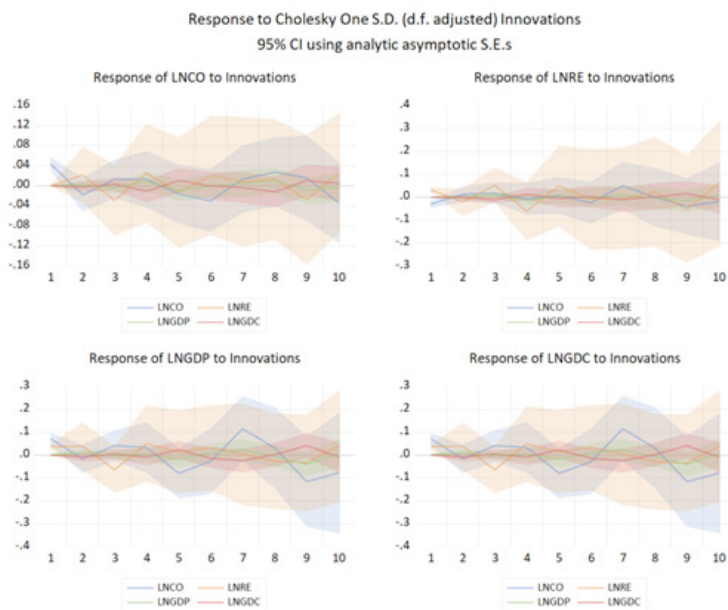
ในส่วน of ตัวแปรทางเศรษฐกิจ $\ln GDP_t$ หรือผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ พบว่าความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น ๆ เช่น $\ln CO_2$ และ $\ln RE_t$ มีทิศทางที่ซับซ้อน โดยผลย้อนกลับในช่วง $t-1$ และ $t-3$ มีทั้งทิศทางบวกและลบ ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา ตัวอย่างเช่น $\ln GDP_{t-1}$ มีความสัมพันธ์ที่นัยสำคัญเชิงบวกกับ $\ln RE_t$ ซึ่งอาจแสดงถึงการที่เศรษฐกิจที่เติบโตขึ้นช่วยสนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียนในระยะสั้น และ $\ln GDC_t$ หรือการบริโภคพลังงานโดยรวม ตัวแปรนี้มีความสัมพันธ์ทั้งในเชิงบวกและลบกับ $\ln RE_t$ ในช่วง $t-1$ และ $t-3$ ซึ่งบ่งบอกถึงการปรับตัวด้านพฤติกรรมกรรมการบริโภคพลังงานในระบบเศรษฐกิจ อันเป็นผลมาจากนโยบายพลังงานและราคาพลังงานในช่วงเวลาดังกล่าว ทางด้านประสิทธิภาพของแบบจำลอง VAR ที่ใช้นั้นสามารถวัดได้จากค่า R-squared ที่สูงในทุกสมการ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองนี้สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเป้าหมายได้ดี อย่างไรก็ตาม ค่า Adjusted R-squared ที่ต่ำในบางสมการ เช่น $\ln RE_t$ และ $\ln GDC_t$ ชี้ให้เห็นว่าอาจมีตัวแปรสำคัญอื่น ๆ ที่ไม่ได้รวมอยู่ในแบบจำลอง หรืออาจเกิดจากความแปรปรวนของข้อมูลที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรที่เลือกในปัจจุบัน

ในภาพที่ 5 แสดงถึงผลการวิเคราะห์ Impulse Response Function ซึ่งใช้ในการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางเศรษฐกิจทั้งสองตัวแปรและการดำเนินนโยบาย BCG Model ในเวลาที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงพลวัตระหว่างการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) การใช้พลังงานทางเลือกการเติบโตทางเศรษฐกิจ และรายได้ต่อหัวของประชากรได้ดังนี้

1. การตอบสนองระหว่างการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการใช้พลังงานทางเลือกหรือการใช้นโยบาย BCG Model ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่งผลกระทบบ่อยมีนัยสำคัญต่ออัตราการใช้พลังงานทางเลือก โดยการเพิ่มขึ้นของการปล่อย

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ส่งผลให้การใช้พลังงานทางเลือกเพิ่มขึ้นในปีแรก ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความไวของการใช้พลังงานทางเลือกต่อการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ ผลการตอบสนองยังแสดงว่า การใช้พลังงานทางเลือกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงสุดในปีที่ 3 ก่อนที่จะค่อย ๆ ปรับตัวเข้าสู่สมดุลในระยะยาว สิ่งนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการผลักดันนโยบายที่สนับสนุนพลังงานสะอาด หรือสะท้อนถึงศักยภาพของนโยบาย BCG Model ในการสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านไปสู่พลังงานสะอาด โดยการเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียนสามารถตอบสนองต่อความต้องการในด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างชัดเจน ดังนั้น การผลักดันนโยบายที่สนับสนุนการลงทุนในพลังงานหมุนเวียน การลดต้นทุนพลังงานสะอาด และการสร้างแรงจูงใจให้เกิดการใช้พลังงานหมุนเวียนอย่างกว้างขวางในระบบเศรษฐกิจ จะช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในระยะยาว

2. การตอบสนองต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจในด้านความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กับการเติบโตทางเศรษฐกิจ ทั้งในระดับภาพรวมและรายได้อัตราของประชากร ผลการวิเคราะห์พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไม่ได้มีผลกระทบโดยตรงต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจ ซึ่งหมายความว่าแม้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะเชื่อมโยงกับกิจกรรมทางเศรษฐกิจในเชิงโครงสร้าง แต่ในระยะสั้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบที่ชัดเจนต่อการเติบโตของเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตาม การตอบสนองของเศรษฐกิจต่อการเพิ่มขึ้น 1 S.D. ในอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) นั้นมีลักษณะเพียงเล็กน้อยและลดลงอย่างรวดเร็ว สะท้อนถึงความยืดหยุ่นของระบบเศรษฐกิจต่อการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อม หรืออาจแสดงให้เห็นว่าการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไม่ได้เป็นปัจจัยจำกัดที่สำคัญต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจ



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์ Impulse Response Function; IRF

อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงในอัตราการ
ใช้พลังงานทางเลือกของไทยจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของ
ประเทศ (GDP) ในทิศทางบวกหรืออาจกล่าวได้ว่าการใช้พลังงานทางเลือกที่เพิ่ม
มากขึ้น ส่งผลให้เศรษฐกิจของประเทศมีการเจริญเติบโตในทิศทางที่ดีขึ้นโดยมี
ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 11.02176 ส่วนการใช้พลังงานทางเลือกที่มากขึ้นกลับส่งผล
ทำให้รายได้เฉลี่ยต่อหัวของประชากรลดลง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาระหว่างการ
ใช้พลังงานทางเลือกกับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไม่มีความสัมพันธ์กัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หรืออาจจะกล่าวได้ว่าการที่ประชากรหันมาใช้พลังงาน
ทางเลือกมากขึ้นไม่ได้ส่งผลให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
ของประเทศลดลง

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ย้อนหลังระหว่างตัวแปร
ต่าง ๆ ในระบบเศรษฐกิจ ตัวอย่างเช่น การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ($\ln\text{CO}_2$)
มีผลกระทบย้อนกลับจากค่าของตัวเองในช่วงเวลาที่ผ่านมา แสดงถึงลักษณะการ
สะสมของการปล่อยมลพิษที่ยังคงมีอิทธิพลในระยะสั้นถึงระยะกลางในขณะที่การใช้
พลังงานทางเลือก ($\ln\text{RE}$) ซึ่งสะท้อนถึงการใช้นโยบาย BCG Model มีบทบาท
เชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน แต่บทบาทต่อเศรษฐกิจโดย
รวมในระยะสั้นยังมีข้อจำกัด ส่วนการเติบโตทางเศรษฐกิจ ($\ln\text{GDP}$) พบว่ามีความ
สัมพันธ์ที่ซับซ้อนกับการปล่อยมลพิษและพลังงานทางเลือก โดยการเปลี่ยนแปลง
ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีผลกระทบที่ชัดเจนต่อการเติบโต
ทางเศรษฐกิจ ทั้งในระดับผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศและรายได้ต่อหัวประชากร
นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (เพิ่มขึ้น 1
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ส่งผลให้การใช้พลังงานทางเลือกเพิ่มขึ้นทันทีในปีแรก และ
ขยายตัวสูงสุดในปีที่ 3 ก่อนจะปรับตัวเข้าสู่สมดุลในระยะยาวสะท้อนถึงความไว
ของพลังงานสะอาดที่ตอบสนองต่อความเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อม และแสดงถึง
ศักยภาพของนโยบาย BCG Model ในการผลักดันการใช้พลังงานสะอาดให้เกิด
ผลลัพธ์เชิงบวกต่อสิ่งแวดล้อม

ในทางกลับกัน การเติบโตทางเศรษฐกิจตอบสนองต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพียงเล็กน้อย และผลกระทบที่เกิดขึ้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งชี้ให้เห็นว่า การลดการปล่อยมลพิษไม่ได้ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจที่สำคัญต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะสั้น ซึ่งจากผลการศึกษาที่สอดคล้องกับแนวคิด Environmental Kuznets Curve ซึ่งอธิบายว่าในช่วงเริ่มต้นของการพัฒนาเศรษฐกิจ การปล่อยมลพิษจะเพิ่มขึ้นตามการเติบโต แต่เมื่อเศรษฐกิจเข้าสู่ระดับที่พัฒนาแล้ว ความสนใจด้านสิ่งแวดล้อมและการใช้เทคโนโลยีที่ดีขึ้นจะช่วยลดการปล่อยมลพิษในระยะยาว ในบริบทของการศึกษานี้ เราพบว่าการใช้พลังงานทางเลือกตอบสนองเชิงบวกต่อการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างชัดเจน ซึ่งแสดงถึงลักษณะของเศรษฐกิจที่เริ่มปรับตัวเข้าสู่ระยะที่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาที่ยั่งยืนตามกรอบ EKC การเข้าสู่คุณภาพของพลังงานสะอาดและการปล่อยมลพิษในระยะยาวชี้ให้เห็นถึงศักยภาพในการบรรลุเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมในระบบเศรษฐกิจที่พัฒนาแล้ว ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญของนโยบาย BCG Model ที่มุ่งเน้นการสร้างสมดุลระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในประเทศไทย

ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาในครั้งนี้ เราสามารถสรุปข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่มุ่งเน้นไปยังการสร้างสมดุลระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยอ้างอิงจากผลการวิเคราะห์แบบจำลอง VAR และ Impulse Response Function (IRF) ที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) การใช้พลังงานทางเลือก การเติบโตทางเศรษฐกิจ และการบริโภคพลังงาน

1. การส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือกควรเป็นหัวใจสำคัญของนโยบายด้านพลังงาน เนื่องจากผลการวิเคราะห์ IRF ชี้ให้เห็นว่า การใช้พลังงานทางเลือกตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปีแรก และเพิ่มสูงสุดในปีที่ 3 ก่อนที่จะเข้าสู่คุณภาพในระยะยาว สิ่งนี้สะท้อนถึงศักยภาพของพลังงานทางเลือกในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในบริบทของนโยบาย BCG Model การสนับสนุนนโยบาย เช่น การลดภาษีสำหรับการลงทุนด้านพลังงานสะอาด และการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถ

เพิ่มประสิทธิภาพของพลังงานสะอาด จะช่วยกระตุ้นการใช้พลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน

2. การบูรณาการเป้าหมายด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมผ่านการจัดทำนโยบายแบบบูรณาการ ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง VAR ระบุว่า การเปลี่ยนแปลงของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจในระยะสั้น ทั้งในระดับ GDP รวมและรายได้ต่อหัวของประชากร นี่ชี้ให้เห็นว่า การลดการปล่อยมลพิษไม่จำเป็นต้องขัดขวางการเติบโตทางเศรษฐกิจ การจัดตั้งตลาดซื้อขายสิทธิปล่อยมลพิษ (Carbon Market) หรือการสร้างแรงจูงใจทางเศรษฐศาสตร์ให้ผู้ผลิตลดการปล่อยมลพิษ สามารถช่วยให้การพัฒนาทางเศรษฐกิจเป็นไปอย่างยั่งยืนพร้อมกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

3. การกำหนดมาตรการกำกับดูแลและแรงจูงใจในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของภาคประชาชนและภาคธุรกิจควรเป็นแนวทางที่สำคัญ ผลการวิเคราะห์แสดงว่า การใช้พลังงานทางเลือกตอบสนองต่อการปล่อยมลพิษอย่างแข็งแกร่ง การกำหนดมาตรฐานพลังงานสะอาด เช่น การเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียนในภาคอุตสาหกรรม และการสนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้า สามารถช่วยลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิล นอกจากนี้ การสร้างแรงจูงใจ เช่น การลดค่าใช้จ่ายสำหรับผู้บริโภคที่ใช้พลังงานสะอาด หรือการให้เงินอุดหนุนสำหรับโครงการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จะกระตุ้นให้เกิดพฤติกรรมที่ยั่งยืนในระยะยาว

รายการอ้างอิง

- บัณฑิต ชัยวิษณุชาติ และสุจิต ชัยวิษณุชาติ. (2549). ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงราคาน้ำมันภายในประเทศที่มีผลต่อระบบเศรษฐกิจไทย. *วารสารเศรษฐศาสตร์ประยุกต์*, 12(1), 60-80.
- Dinda, S., & Coondoo, D. (2006). Income and emission: A panel data-based cointegration analysis. *Ecological Economics*, 57(2), 167-181.
- Flavelle, C. (2019). *Climate Change Threatens the World's Food Supply*. United Nations Warns.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377.
- Jayanthakumaran, K., Verma, R., & Liu, Y. (2011). carbon dioxide (CO₂) emissions energy consumption, trade and income: A comparative analysis of China and India. *Energy Policy*, 42, 450-460.
- Jiranyakul, K. (2018). The impact of environmental policy on Thailand's carbon dioxide (CO₂) emissions: Evidence from dynamic panel data analysis. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(2), 201-207.
- Kim, S., Lee, K., & Nam, K. (2010). The relationship between carbon dioxide (CO₂) emissions and economic growth: The case of Korea with nonlinear evidence. *Energy Policy*, 38, 5938-5946.
- Kumar, A., & Yadav, P. (2020). Circular economy practices in Southeast Asia: Implications for sustainability. *Resources, Conservation & Recycling*, 158, 104803.
- Lee, C. C., & Lee, J. D. (2009). Income and carbon dioxide (CO₂) emissions: Evidence from panel unit root and cointegration tests. *Energy Policy*, 37(2), 413-423.

- Liu, Y. (2013). Energy production and regional economic growth in China: A more comprehensive analysis using a panel model. *Energies*, 6, 1409-1420.
- Mitić, P., Kresoja, M., & Minović, J., (2019). A Literature Survey of the Environmental Kuznets Curve. *Economic Analysis*, 52(1), 109-127. DOI:10.28934/ea.19.52.12.pp109-127
- Narayan, P. K., & Narayan, S. (2010). Carbon dioxide emissions and economic growth: Panel data evidence from developing countries. *Energy Policy*, 38(1), 661-666.
- NAT. (2022). Overview. <http://nat2022.org/overview.php>
- NESDC. (2021). *Summary The Twelfth National Economic and Social Development Plan*. https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=9640
- Noor, S., & Siddiqi, H. W. (2010). Energy consumption and economic growth in South Asian countries: A co-integrated panel analysis. *International Journal of Human and Social Sciences*, 5(14), 921-926.
- Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). Environmental degradation, economic growth, energy consumption, and population growth in Malaysia. *Energy Policy*, 66, 470-479.
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 48(1), 1-48.
- Siriwardana, M., & Kunasena, D. (2015). Carbon dioxide emissions, energy consumption, and economic growth in South Asia. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 10(9), 869-875.
- Ternald, D. (2020). *International Environmental Technology Centre*. Annual Report. <https://www.unep.org/ietc/resources/report/annual-report-2020>

The Office of the National Economic and Social Development Council (NESDC). (2021). *Thai Economic Performance in Q4 of 2021 and the Outlook for 2022*. <https://www.linkedin.com/company/office-of-the-national-economic-and-social-development-council/>

UNEP. (2020). *Emissions Gap Report 2020*. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>

UNFCCC. (2019). *Annual report 2019*. <https://unfccc.int/about-us/annual-report/annual-report-2019>

UNDP, S. (2021). Creating a nature-positive future: *The contribution of protected areas and other effective area-based conservation measures*. New York: UNDP.

Waiyakoon, N., Choonpradub, C., & Sriprom, S. (2021). The bio-economy model and its impact on sustainability in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126233.

World Bank Data. (2024). *The world bank Data*. The World Bank.