

# FACTORS INFLUENCING GREENHOUSE GAS EMISSIONS: A CASE STUDY OF PTT OIL AND RETAIL BUSINESS PUBLIC COMPANY

Yanin RATCHADAMAT<sup>1</sup> and Sirikwan JAROENWIRIYAKUL<sup>1\*</sup>

1 Faculty of Economics at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Thailand;  
yanin.rat@ku.th (Y. R.); sirikwan.ja@ku.th (S. J.) (Corresponding Author)

## ARTICLE HISTORY

**Received:** 9 June 2025

**Revised:** 23 June 2025

**Published:** 7 July 2025

## ABSTRACT

Factors Influencing Greenhouse Gas Emissions: A Case Study of PTT Oil and Retail Business Public Company Limited was based on following objective 1) To examine the situation of greenhouse gas (GHG) emissions in the case of PTT Oil and Retail Business Public Company Limited (OR), and 2) To analyze the factors influencing GHG emissions. The factors included in the analysis are GHG emissions volume, revenue from sales and services, oil prices, Thailand's gross domestic product (GDP), inflation rate, and electricity consumption from renewable energy sources. The study utilizes secondary data in the form of quarterly time-series data from 2020 to 2024, a total of 20 quarters. The econometric analysis was conducted using the Ordinary Least Squares (OLS) regression model. The findings reveal that GHG emissions increased steadily between 2021 and 2023 and declined in 2024 due to the company's adoption of renewable energy sources. Moreover, the study of factors affecting influencing greenhouse gas emissions, revenue from sales and services by the statistical significance of 0.05 in the same direction, while oil prices at the statistical significance of 0.05 in the opposite direction. While other factors, which were GDP, inflation rate, and renewable energy electricity consumption did not impact of influencing greenhouse gas emissions.

**Keywords:** GHG, SDG, Renewable Energy, REC

**CITATION INFORMATION:** Ratchadamat, Y. & Jaroenwiriyaikul, S. (2025). Factors Influencing Greenhouse Gas Emissions: A Case Study of PTT Oil and Retail Business Public Company. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 3(7), 11

## ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมัน และการค้าปลีก จำกัด (มหาชน)

ญาณินท์ รัชฎาภาศ<sup>1</sup> และ ศิริขวัญ เจริญวิริยะกุล<sup>1\*</sup>

1 คณะเศรษฐศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา; yanin.rat@ku.th (ญาณินท์); sirikwan.ja@ku.th (ศิริขวัญ) (ผู้ประพันธ์บทความ)

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อ 1) ศึกษาสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) และ 2) ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า ได้แก่ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รายได้จากการขายและการให้บริการ ราคาน้ำมัน ผลผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศไทย ระดับอัตราเงินเฟ้อ และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลทุติยภูมิ ประเภทอนุกรมเวลารายไตรมาส ตั้งแต่ปี 2563 ถึง 2567 จำนวน 20 ไตรมาส ทำการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ผลการศึกษาสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีปริมาณสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ระหว่างปี 2564-2566 และลดลงในปี 2567 เนื่องจากการใช้พลังงานทดแทนจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน และผลการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกพบว่า รายได้จากการขายและการให้บริการ ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในทิศทางเดียวกันได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และราคาน้ำมัน ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในทิศทางตรงข้ามได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในขณะที่ปัจจัยอื่นๆ คือ ผลผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศไทย ระดับอัตราเงินเฟ้อ และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน ไม่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

**คำสำคัญ:** ก๊าซเรือนกระจก, เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน, พลังงานทดแทน, กลไกการซื้อขายใบรับรองด้านพลังงานหมุนเวียน

**ข้อมูลการอ้างอิง:** ญาณินท์ รัชฎาภาศ และ ศิริขวัญ เจริญวิริยะกุล. (2568). ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน). *Procedia of Multidisciplinary Research*, 3(7), 11

## บทนำ

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG) เป็นหนึ่งในประเด็นที่ทั่วโลกให้ความสำคัญ เนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณสูงจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การผลิตพลังงาน การขนส่ง การเกษตรกรรม และการอุตสาหกรรมอื่นๆ เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงเป็นเป้าหมายหลักของนโยบายพลังงานทั่วโลก จากที่ประชุมสุดยอดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของสหประชาชาติ ครั้งที่ 26 (COP26) มีผู้แทนจาก 200 ประเทศทั่วโลกเข้าร่วมการประชุมดังกล่าว เพื่อประกาศเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศตัวเองต่อประชาคมโลก ภายใต้ข้อตกลงปารีส (Paris Agreement) โดยจัดขึ้นที่เมืองกลาสโกว์ สหราชอาณาจักร ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2564 เพื่อเสริมสร้างความพยายามในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและจำกัดอุณหภูมิโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นเกิน 1.5 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม ซึ่งประเทศไทยได้เข้าร่วมเป็นภาคีความตกลงปารีส และเสนอเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศที่ร้อยละ 20-25 ภายในปี พ.ศ.2573 จากสาขาพลังงานและขนส่ง กระบวนการทางอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ และการจัดการของเสีย สำหรับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทยมีหน่วยงานที่ดูแลคือ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก หรือ อบก. ซึ่งเป็นองค์การมหาชนที่มีหน้าที่ส่งเสริมโครงการต่างๆ เกี่ยวกับการลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย และเป็นผู้กำกับดูแลโครงการ CDM ในประเทศไทย โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกมีแผนงานจะนำเอาระบบซื้อขายสิทธิในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาใช้ เพื่อบรรลุเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกตามที่ประเทศไทยแสดงเจตจำนงไว้

ประเทศไทยมีการพัฒนาหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมพลังงานและการค้าปลีก ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ อย่างไรก็ตามการพึ่งพาพลังงานฟอสซิลยังคงสูง ทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน การเลือกใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานชีวมวล พลังงานทดแทนสามารถไปใช้ได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ การนำไปใช้โดยตรง และการนำพลังงานไปเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานจลน์ พลังงานกล หรือพลังงานศักย์ เช่น แผงโซลาร์เซลล์ กังหันลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) จึงถูกมองว่าเป็นทางเลือกที่สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืน

บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) หรือ PTT Oil and Retail Business Public Company Limited (OR) เป็นหนึ่งในบริษัทในประเทศไทยที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมพลังงานและการค้าปลีก โดยมีกิจกรรมหลายด้านที่อาจส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น การผลิตและจำหน่ายน้ำมัน การบริการสถานีบริการน้ำมัน การค้าปลีกสินค้า และการดำเนินกิจกรรมทางธุรกิจอื่นๆ ซึ่งการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไม่เพียงแต่จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังสามารถสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันในตลาดและเป็นส่วนสำคัญในการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ที่องค์กรต่างๆ ทั่วโลกกำหนด

จากความสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่กล่าวมานั้น จึงทำให้ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญในการศึกษาเรื่อง “ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน)” โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อ 1) เพื่อศึกษาสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) และ 2) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) เพื่อให้เกิดประโยชน์เสริมสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับปัจจัยทางเศรษฐกิจที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคธุรกิจพลังงาน และเป็นข้อมูลสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้อง ใช้เป็นแนวทางการศึกษาเพิ่มเติมในด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืนในอุตสาหกรรมพลังงาน ซึ่งมีผลดีต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

## การทบทวนวรรณกรรม

วารสาร สามโกเศศ (2560) ได้ศึกษาถึงทฤษฎีผลักดัน (Nudge Theory) ที่เป็นแนวคิดทางเศรษฐศาสตร์พฤติกรรม (Behavioral Economics) โดยสามารถประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้นสำหรับการส่งเสริมการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้คน กลุ่มคน หรือตัวเอง ผ่านการสะกด หรือ กระตุ้น ผ่านการสร้างสิ่งแวดล้อมเพื่อให้มนุษย์มีพฤติกรรมตามที่ต้องการ โดยการออกแบบทางเลือกจะมีอิทธิพลต่อการคิดและการตัดสินใจของคนตามจริง ซึ่งแตกต่างจากการใช้กฎหมายหรือการทำตามผู้กำหนดนโยบายหรือผู้นำที่ส่วนใหญ่จะเป็นการเน้นบังคับปฏิบัติ ซึ่งทฤษฎีผลักดัน นั้น เหตุการณ์ที่สำคัญของโลกเลยก็คือ ข้อตกลงลดโลกร้อน COP21 หรือ Paris Agreement ซึ่งเป็นข้อตกลงร่วมกันระหว่าง 174 ประเทศ เมื่อปี พ.ศ.2558 โดยมีเป้าหมายให้สมาชิกลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ตามความสมัครใจ เพื่อให้โลกมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส ในปี พ.ศ.2593 เมื่อเทียบกับตอนปฏิวัติอุตสาหกรรมในปลายศตวรรษที่ 18 ข้อตกลงนี้กำหนดให้ทุกประเทศต้องรายงานต่อสหประชาชาติเป็นประจำทุกปีว่าได้ทำอะไรไปแล้วบ้าง

โดยข้อค้นพบของ มิ่งสรรพ์ ขาวสะอาด และ กอบกุล รายนาค (2552) ได้ให้แนวคิดเกี่ยวกับเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์โดยมีวัตถุประสงค์สำคัญ อย่างน้อย 2 ประการ คือ 1) เพื่อเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้ผลิตและผู้บริโภค ในการลดการก่อกมลพิษ เช่น ลดการก่อให้เกิดขยะหรือของเสีย ลดการใช้พลังงาน และเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม และ 2) เพื่อสร้างแรงจูงใจให้ลด (Disincentive) การก่อกมลพิษ ทำให้ผู้ก่อกมลพิษพยายามดำเนินมาตรการ หรือปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อทำให้เกิดน้ำเสียน้อยลง เป็นต้น

เป้าหมายที่จะส่งผลให้ผลกระทบบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดีขึ้นนั้น จากข้อค้นพบของ ปฏิญญา จีระพรมงคล (2566) ศึกษาปัจจัยที่มีนัยสำคัญสู่ความสำเร็จของเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนของโรงงานควบคุมที่ปฏิบัติตามระบบการจัดการพลังงาน พบว่า แรงผลักดันให้องค์กรต้องดำเนินกิจกรรมลดการใช้พลังงานหรือลดการปล่อยคาร์บอน นั้น ล้วนแต่มาจากปัจจัยด้านการใช้ทรัพยากรทั้งสิ้น นั่นคือ การใช้พลังงาน เนื่องด้วยปริมาณการใช้พลังงานสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณการปล่อยคาร์บอน อีกทั้งกฎหมายพลังงานกำหนดให้เป็นโรงงานควบคุมที่ต้องจัดทำระบบการจัดการพลังงาน สรุปได้ว่าปัจจัยสำคัญที่เป็นผลสัมฤทธิ์นี้ ประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยแรกเป็นบุคลากรในองค์กรทั้งหมด (ผู้บริหาร คณะทำงาน พนักงานปฏิบัติการ รวมถึงพนักงานช่าง) ที่ต้องร่วมดำเนินการผ่านกิจกรรมการมีส่วนร่วม (Small Group Activity) โดยผู้บริหารต้องให้การสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง และปัจจัยที่สองเป็นระบบการจัดการที่ดี รวมไปถึงงานของ นะโม ชวลิต (2566) ศึกษาเรื่องการลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย โดยเก็บข้อมูลจากเว็บไซต์ขององค์กรที่ลงทะเบียนในโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER) ทั้งสิ้น 30 องค์กร และใช้วิธีการจัดหมวดหมู่เนื้อหาเพื่อหารูปแบบของข้อมูล ใช้เวลาทั้งสิ้น 8 สัปดาห์ พบว่า ลักษณะกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก 8 กิจกรรม ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน การพัฒนาพลังงานทดแทน การจัดการของเสีย การจัดการภาคขนส่ง การอนุรักษ์ป่า การสร้างผลิตภัณฑ์ การออกนโยบาย และการสร้างพันธมิตร โดยองค์กรที่ต้องการเริ่มกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก ควรจะเริ่มจากการทำนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการลดก๊าซเรือนกระจกให้ชัดเจน ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในองค์กร ดำเนินกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจกพร้อมทำการประเมินอีกครั้งเพื่อวัดประสิทธิภาพ และทำอย่างต่อเนื่องจึงได้ผลที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม การใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ไม่ใช่ว่าการกำกับและควบคุม แต่เป็นการสร้างแรงจูงใจทางเศรษฐกิจเพื่อให้บุคคลหรือองค์กรตระหนักถึงต้นทุนที่แท้จริงของทรัพยากร และคำนึงถึงผลกระทบภายนอก (External cost) ของกิจกรรมนั้น จึงเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้ผลิตหรือผู้บริโภคตัดสินใจเองว่าจะดำเนินมาตรการหรือเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดมลพิษน้อยลง

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis: CBA) เป็นเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของสังคมที่เกิดขึ้นในแต่ละทางเลือกเพื่อนำมาจัดลำดับว่าทางเลือกใดมีประสิทธิภาพสูงสุด หรือ มีประโยชน์สุทธิ (Net Benefit) สูงสุด เมื่อนึกถึงต้นทุนและผลประโยชน์ คนส่วนใหญ่ก็มักจะนึกถึงเพียงต้นทุนและผลประโยชน์ของตนเอง (Private Costs and Private Benefits) เท่านั้น เช่น ในกรณีของบริษัทเอกชนในการตัดสินใจ

เพื่อลงทุนโครงการต่าง ๆ บริษัทก็จะพิจารณาเพียงต้นทุน (ค่าใช้จ่าย) และประโยชน์ (รายได้) ที่เกิดขึ้นของบริษัทเท่านั้น แต่ในการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์นั้นเป็นการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ทั้งหมดของสังคมในภาพรวม ดังนั้นในบางครั้งก็จะเรียกเครื่องมือนี้ว่าการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของสังคม (Social Cost-Benefit Analysis) โดยในการวิจัยครั้งนี้ ได้มาจากทบทวนวรรณกรรม หากบริษัทมีรายรับที่เพิ่มมากขึ้นย่อมจะส่งให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งรวมไปถึงยอดขายของน้ำมันของบริษัทด้วย แต่ก็จะมีต้นทุนที่อาจจะเพิ่มขึ้นเช่นกันโดยจะวิเคราะห์ผ่านปัจจัยทางด้านเงินเพื่อ ที่ส่งผลกระทบต่อราคาสินค้าที่มีราคาแพงขึ้นได้นั่นเอง แต่หากจะให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง อาจจะต้องแทนที่จากพลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียนอีกทางหนึ่ง จึงกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ รายได้จากการขายและการให้บริการ ราคาน้ำมัน ผลผลิตทั้งหมดรวมภายในประเทศไทย ระดับอัตราเงินเฟ้อ และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน

### สมมติฐานการวิจัย

- 1) รายได้จากการขายและการให้บริการ ผลผลิตทั้งหมดรวมภายในประเทศของประเทศไทย และระดับอัตราเงินเฟ้อ ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) ในทิศทางเดียวกัน
- 2) ราคาน้ำมัน และปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) ในทิศทางตรงข้าม

### กรอบแนวคิดการวิจัย

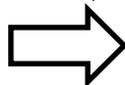
ตัวแปรอิสระ

- 1) รายได้จากการขายและการให้บริการ (REV)
- 2) ราคาน้ำมัน (OIL)
- 3) ผลผลิตทั้งหมดรวมภายในประเทศไทย (GDP)
- 4) อัตราเงินเฟ้อ (INF)
- 5) ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน (REC)

ตัวแปรตาม

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) : (GHG)

Multiple  
Regression (OLS)



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา

### วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Secondary Data) เพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้ ผู้ศึกษาจึงแบ่งการวิเคราะห์ผลของงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย

- 1) การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) โดยการนำเสนอข้อมูลในเชิงพรรณนา เป็นการอธิบายข้อมูลจากการตรวจสอบเอกสาร โดยนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์และอาศัยวิธีทางสถิติอย่างง่าย เช่น ร้อยละ ในรูปของกราฟ และตารางประกอบการอธิบายสถานการณ์ทั่วไปของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) รายไตรมาส ตั้งแต่ปี พ.ศ.2563 ถึงปี พ.ศ.2567 รวมเป็นระยะเวลา 20 ไตรมาส โดยทำการเก็บข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) รายได้จากการขายและการให้บริการ ราคาน้ำมัน ผลผลิตทั้งหมดรวมภายในประเทศไทย ระดับอัตราเงินเฟ้อ และปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน จากเอกสารการเผยแพร่แก่นักลงทุน แบบแสดงรายการข้อมูลประจำปี (แบบ 56-1 One Report) รวมถึงหนังสือ และวารสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการส่งออก รวมทั้งบทความต่างๆ ผ่านสื่อออนไลน์
- 2) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ในรูปแบบระบบสมการที่มีการประมาณแบบจำลองด้วยวิธีการประมาณค่ากำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares: OLS) ผ่าน log liner function เพื่ออธิบายผลกระทบในรูปของค่าร้อยละได้ โดยที่ผู้ศึกษาได้กำหนด

แบบจำลองปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) สามารถนำมาวิเคราะห์เป็นสมการถดถอยเชิงพหุ โดยสามารถแสดงรายละเอียดของแบบจำลอง ดังนี้

$$\ln \text{GHG}_t = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{REV}_t + \beta_2 \ln \text{OIL}_t + \beta_3 \ln \text{GDP}_t + \beta_4 \ln \text{INFLATION}_t + \beta_5 \ln \text{REC}_t + e_t$$

GHG แทน ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Ton CO<sub>2</sub>)

REV แทน รายได้จากการขายและการให้บริการ (ล้านบาท)

OIL แทน ราคาน้ำมัน (ดอลลาร์ต่อบาเรล)

GDP แทน ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศไทย (ล้านบาท)

INF แทน อัตราเงินเฟ้อ (ร้อยละ)

REC แทน ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Ton CO<sub>2</sub>)

$e$  แทน ค่าความคลาดเคลื่อน

$t$  แทน ช่วงเวลารายไตรมาสตั้งแต่ปี 2563 ถึง 2567

## ผลการวิจัย

เมื่อนำข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) มาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติเบื้องต้น สามารถสรุปผลทางสถิติดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** สถิติเบื้องต้นของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน)

สถิติ	GHG	REV	OIL	GDP	INF	REC
ค่าเฉลี่ย	6,950.40	161,179	73.91	2,672,176.40	1.58	400.35
ค่าสูงสุด	10,625	211,431	108.10	2,918,940	7.30	2,349
ค่าต่ำสุด	5,261	84,149	30.60	2,343,919	-2.70	0

ที่มา: บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) และสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2568)

สถิติข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6,950.40 Ton CO<sub>2</sub> โดยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) สูงสุดอยู่ที่ 10,625 Ton CO<sub>2</sub> และมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ต่ำสุดอยู่ที่ 5,261 Ton CO<sub>2</sub> รายได้จากการขายและการให้บริการ (REV) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 161,179 ล้านบาท โดยมีรายได้จากการขายและการให้บริการสูงสุดอยู่ที่ 211,431 ล้านบาท และมีรายได้จากการขายและการให้บริการต่ำสุดอยู่ที่ 84,149 ล้านบาท ราคาน้ำมัน (OIL) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.91 ดอลลาร์ต่อบาเรล โดยมีราคาน้ำมันสูงสุดอยู่ที่ 108.10 ดอลลาร์ต่อบาเรล และมีราคาน้ำมันต่ำสุดอยู่ที่ 30.60 ดอลลาร์ต่อบาเรล ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศไทย (GDP) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,672,176.40 ล้านบาท โดยมีผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศไทยสูงสุดอยู่ที่ 2,918,940 ล้านบาท และมีผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศไทยต่ำสุดอยู่ที่ 2,343,919 ล้านบาท ระดับอัตราเงินเฟ้อ (INFLATION) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.58 โดยมีระดับอัตราเงินเฟ้อสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 7.30 และมีระดับอัตราเงินเฟ้อต่ำสุดอยู่ที่ร้อยละ -2.70 ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน (REC) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 400.35 Ton CO<sub>2</sub> โดยมีปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนสูงสุดอยู่ที่ 2,349 Ton CO<sub>2</sub> และมีปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนต่ำสุดอยู่ที่ 0 Ton CO<sub>2</sub>

## ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares: OLS)

ตารางที่ 2 ผลการประมาณการโดยใช้แบบจำลองสมการเชิงซ้อน (Multiple Regression) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares: OLS)

Variable	InREV	InOIL	InGDP	INF	InREC
Coefficient	1.361562 (2.679803)*	-0.756401 (-2.409857)*	-0.780401 (-0.897117) <sup>NS</sup>	-0.006654 (-0.207753) <sup>NS</sup>	-0.007616 (-0.311855) <sup>NS</sup>
R-squared	0.505138				
Adjusted R-squared	0.328401				

หมายเหตุ : ค่าที่แสดงในวงเล็บ คือ ค่า t-Statistic

\* หมายถึง ค่า Probability Value มีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05

<sup>NS</sup> หมายถึง ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.1

จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) พบว่า รายได้จากการขายและการให้บริการ สามารถอธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในทิศทางเดียวกันได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และราคาน้ำมัน สามารถอธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในทิศทางตรงข้าม ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยค่า R<sup>2</sup> มีค่าเท่ากับ 0.505138 หมายถึง ปัจจัยที่นำมาพิจารณาในสมการสามารถอธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) ได้ร้อยละ 50.51 และยังมีปัจจัยอื่นที่ไม่ได้นำมาพิจารณาอีกร้อยละ 49.49

### สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาจากวัตถุประสงค์ที่ทำการศึกษาคือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) พบว่า รายได้จากการขายและการให้บริการ สามารถอธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในทิศทางเดียวกันได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ และราคาน้ำมัน สามารถอธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในทิศทางตรงข้าม ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยค่า R<sup>2</sup> มีค่าเท่ากับ 0.505138 หมายถึง ปัจจัยที่นำมาพิจารณาในสมการสามารถอธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) ได้ร้อยละ 50.51 และยังมีปัจจัยอื่นที่ไม่ได้นำมาพิจารณาอีกร้อยละ 49.49 ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) มากที่สุดคือ รายได้จากการขายและการให้บริการ รองลงมา คือ ราคาน้ำมัน

### อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาแบบจำลองปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) พบว่า

1) รายได้จากการขายและการให้บริการ สามารถอธิบายความสัมพันธ์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญระดับ 0.05 ในทิศทางเดียวกัน โดยสามารถกล่าวได้ว่า เมื่อรายได้จากการขายและการให้บริการเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.36 โดยกำหนดให้ปัจจัยอื่นคงที่ หากรายได้จากการขายและการให้บริการเพิ่มขึ้น ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Cost-Benefit Analysis (CBA) และผล

การศึกษาของ ปฏิญญา จีระพรมงคล (2566) ที่ระบุว่า ปริมาณการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณคาร์บอนที่ปล่อยออกมา กล่าวคือ ยิ่งบริษัทมีการผลิตและขายเพิ่มมากขึ้น ย่อมทำให้เกิดการใช้พลังงานสูงขึ้น และปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากขึ้นตามไปด้วย

2) ราคาน้ำมัน สามารถอธิบายความสัมพันธ์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญระดับ 0.05 ในทิศทางตรงข้าม โดยสามารถกล่าวได้ว่า เมื่อราคาน้ำมันดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงร้อยละ 0.76 เมื่อกำหนดให้ปัจจัยอื่นคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ของ มิ่งสรรพ ขาวสะอาด และ กอบกุล ราชะนาคร (2552) ที่กล่าวถึงการใช้ กลไกราคา เป็นเครื่องมือในการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้ผลิตและผู้บริโภค เมื่อราคาน้ำมันสูง ผู้บริโภคมีแนวโน้มลดการใช้ น้ำมัน ส่งผลต่อยอดขายที่ลดลง และนำไปสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงตาม อย่างไรก็ตาม ผลกระทบนี้อาจไม่เกิดขึ้นในทันทีในระดับองค์กร แต่สะท้อนพฤติกรรมในระดับมหภาคและการบริหารจัดการต้นทุนของบริษัท

3) ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศไทย ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1

4) ระดับอัตราเงินเฟ้อ ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1

5) ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 เนื่องจากการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน ดำเนินการได้เพียง 2 ปี ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมความผันผวนในระยะยาวหรือสถานการณ์เฉพาะหน้า เช่น วิกฤตราคาพลังงานหรือมาตรการรัฐระยะสั้น ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของ นะโม ชวลิต (2566) ที่ระบุว่า การดำเนินโครงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำเป็นต้องใช้เวลา มีนโยบายที่ชัดเจน และมีความต่อเนื่องในการดำเนินการ

### **ข้อเสนอแนะ**

จากการศึกษาสถานการณ์ทั่วไปและปัจจัยที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก กรณีศึกษา บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน) เพื่อให้เกิดประโยชน์เสริมสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับปัจจัยทางเศรษฐกิจที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคธุรกิจพลังงาน และเป็นข้อมูลสำหรับผู้สนใจ ใช้เป็นแนวทางการศึกษาเพิ่มเติมในด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืนในอุตสาหกรรมพลังงาน ซึ่งมีผลดีต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ดังนี้

1) การส่งเสริมการลงทุนในพลังงานสะอาด จากผลการศึกษา พบว่าปัจจัยทางเศรษฐกิจบางตัว เช่น ราคาน้ำมัน การเปลี่ยนแปลงของกำไรจากการดำเนินงาน หรืออัตราแลกเปลี่ยน มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับหนึ่ง ควรพิจารณานำข้อมูลนี้ไปใช้วางแผนการลงทุนในโครงการพลังงานสะอาด

2) การวางแผนเชิงกลยุทธ์เพื่อบริหารต้นทุนร่วมกับเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม ควรพิจารณาใช้ผลการวิจัยในการวิเคราะห์การตัดสินใจทางธุรกิจให้สอดคล้องทั้งเป้าหมายด้านกำไรและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

### **ข้อจำกัดในการศึกษา**

1) การใช้ข้อมูลเชิงเศรษฐกิจประกอบกับข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมในกระบวนการตัดสินใจ ควรนำตัวแปรทางเศรษฐกิจ เช่น รายได้ ยอดขาย หรือต้นทุน มาใช้ร่วมกับข้อมูลสิ่งแวดล้อม เพื่อประเมินผลกระทบในมิติต่างๆ อย่างครบถ้วนมากขึ้น เช่น การประเมินโครงการเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก ควรพิจารณาถึงผลลัพธ์ทางการเงินและผลลัพธ์ด้านสิ่งแวดล้อมไปควบคู่กัน

2) ศึกษาแบบเปรียบเทียบกับบริษัทในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน ในประเทศไทยหรือต่างประเทศ จะช่วยให้ทราบว่า ประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในระดับใด และพิจารณานำแนวปฏิบัติที่ดี (Best Practices) มาปรับใช้ในองค์กร

3) เพิ่มตัวแปรด้านนโยบายหรือกลยุทธ์องค์กร งานวิจัยควรเพิ่มตัวแปรเชิงนโยบาย เช่น แผนพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainability Plan) งบประมาณด้านสิ่งแวดล้อม หรือการใช้พลังงานทดแทนในองค์กร ซึ่งอาจมีอิทธิพลสำคัญต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ไม่สามารถสะท้อนผ่านตัวแปรเศรษฐกิจได้โดยตรง

## เอกสารอ้างอิง

นะโม ชวลิต. (2566). การศึกษาเรื่องการผลิตก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย. สารนิพนธ์ การจัดการมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหิดล.

บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน). (2568). ข้อมูลบริษัท. สืบค้นจาก <https://www.pttor.com>.

บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน). (2568). เอกสารการเผยแพร่แก่นักลงทุน. สืบค้นจาก <https://investor.pttor.com/th/document/presentations>.

บริษัท ปตท. น้ำมันและการค้าปลีก จำกัด (มหาชน). (2568). แบบแสดงรายการข้อมูลประจำปี (แบบ 56-1 One Report) ปี 2563-2567. สืบค้นจาก <https://investor.pttor.com/th/document/annual-reports>.

ปริญญา จีระพรมงคล. (2566). ศึกษาปัจจัยที่มีนัยสำคัญสู่ความสำเร็จของเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนของโรงงานควบคุมที่ปฏิบัติตามระบบการจัดการพลังงาน. การศึกษาค้นคว้าอิสระ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

มิ่งสรรพ์ ขาวสะอาด และ กอบกุล ราชะนาคร. (2552). เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรารักษ์ สามโกเศศ. (2560). แนวคิด *nudge* ดัดพฤติกรรมมนุษย์. สืบค้นจาก <https://www.the101.world/nudge-richard-thaler/>.

สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. (2560). แนวปฏิบัติที่ดี เรื่อง การวิจัยทางเศรษฐศาสตร์: การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการ. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. ข้อมูลย้อนหลัง (Historical Data) สถิติผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ รายไตรมาส แบบปริมาณลูกโซ่. สืบค้นจาก [https://www.nesdc.go.th/main.php?filename=qgdp\\_page](https://www.nesdc.go.th/main.php?filename=qgdp_page).

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (ม.ป.ป.). ภาวะเศรษฐกิจรายไตรมาสและแนวโน้มเศรษฐกิจไทย ปี 2563-2567. สืบค้นจาก <https://www.nesdc.go.th/main.php?filename=macroeconomics>.

**Data Availability Statement:** The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

**Conflicts of Interest:** The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

**Publisher's Note:** All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any

product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



**Copyright:** © 2025 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).