

การวิเคราะห์ร่องรอยคาร์บอนเพื่อประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนในกลุ่มยานยนต์ไฟฟ้า

Carbon footprint analysis for assessing electric vehicle carbon emissions

ไชยพร หล่อทองคำ¹ และ ชัยนพพัทธ์ ชลธาร²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร chaiyapo_chaiya@hotmail.com

²วิศวกรรมไฟฟ้า กองจัดหา 3 ฝ่ายจัดหา การไฟฟ้านครหลวง Chainapat.ch@mea.or.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เสนอการวิเคราะห์ร่องรอยคาร์บอนเพื่อประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนในกลุ่มยานยนต์ไฟฟ้า บนพื้นฐานแนวคิด “จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (Well-to-Wheel: WtW)” ด้วยการสร้างสเปรดชีตบนโปรแกรม Microsoft Excel ใช้เป็นเครื่องมือช่วยประเมินร่องรอยคาร์บอนและคำนวณปริมาณการปล่อย CO₂ โดยพิจารณาจากแพ็คเกจพื้นฐานด้านประเภทของเชื้อเพลิงต้นทาง ตลอดจนเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่า ยานยนต์ไฟฟ้าขับเคลื่อนด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่มีศักยภาพในการลดการปล่อย CO₂ ในช่วง Tank-to-Wheel ได้อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ผลกระทบในช่วง Well-to-Tank ขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตไฟฟ้าต้นทางที่ใช้อัดประจุให้แบตเตอรี่และการจัดการวัฏจักรชีวิตของแบตเตอรี่

คำสำคัญ: ยานยนต์ไฟฟ้า, ร่องรอยคาร์บอน, การปลดปล่อยคาร์บอน

Abstract

This paper presents the carbon footprint analysis for assessing electric vehicle carbon emissions. It was investigated based on the “Well-to-Wheel: WtW” concept. The Microsoft Excel spreadsheet was created to assess the carbon footprint and calculate the amount of CO₂eq emissions. The fuel type, engine technology, and technology for battery manufacturing as well as management are considered as the key evaluation factors. The results indicate that BEVs have significant potential to reduce CO₂ emissions in the Tank-to-Wheel stage, whereas in the Well-to-Tank stage, CO₂ emissions still highly depend on electricity generation and battery lifecycle management.

Keywords: electric vehicle, carbon footprint, carbon emissions

1. บทนำ

ประเทศไทยมีนโยบายลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยตั้งเป้าหมายเป็นกลางทางคาร์บอน (carbon neutrality) ภายในปี พ.ศ. 2593 (ค.ศ. 2050) และ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (net zero emission) ภายในปี พ.ศ. 2608-2613 (ค.ศ. 2065-2070) [1] เพื่อช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รัฐบาลจึงมีนโยบายลดภาษีเพื่อส่งเสริมการใช้นานยนต์ไฟฟ้าอีกทั้งราคายานยนต์ไฟฟ้าลดลงจากการแข่งขันในตลาด สร้างแรงจูงใจให้ผู้บริโภคมีการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยานยนต์ไฟฟ้า และเชื้อเพลิงชีวภาพยังมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอน อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการศึกษาผลกระทบทาง

สิ่งแวดล้อมในแต่ละเทคโนโลยีให้รอบด้านผ่านการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) เพื่อให้เข้าใจถึงผลกระทบอย่างครบถ้วน

บทความนี้เสนอผลการวิเคราะห์ร่องรอยคาร์บอนและประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนในกลุ่มยานยนต์ไฟฟ้า ประกอบด้วยยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV), ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV), ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) และยานยนต์ไฟฟ้าแบบเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) บนพื้นฐานแนวคิด “จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (Well-to-Wheel)” เป็นแนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมตลอดห่วงโซ่พลังงานเชื้อเพลิงและไฟฟ้า ประกอบด้วยกระบวนการจากแหล่งกำเนิดสู่ถังเชื้อเพลิง (WtT) และกระบวนการจากถังเชื้อเพลิงสู่การขับเคลื่อน (TtW) เป็นการพิจารณาวัฏจักรชีวิตการใช้เชื้อเพลิงอย่างครอบคลุมตั้งแต่ขั้นกระบวนการผลิต มีประโยชน์ต่อการพัฒนานโยบายด้านพลังงานของประเทศเกิดประสิทธิภาพครบถ้วน

2. หลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ร่องรอยคาร์บอน (carbon footprint)

ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas emissions and removals: GHGs) ที่ปล่อยออกจากผลิตภัณฑ์หรือจากกิจกรรมการดำเนินงานขององค์กร วัดรวมอยู่ในรูปของกิโลกรัมหรือตันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂eq) โดยก๊าซเรือนกระจก (GHGs) มี 7 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), มีเทน (CH₄), ไนตรัสออกไซด์ (N₂O), ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs), เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs), ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) และไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF₃) [2]

2.2 Carbon footprint of Organization

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับองค์กร หรือหน่วยงานทั้งทางตรงและทางอ้อม ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตามหลักสากลแหล่งที่มาของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ Scope 1 คือ การปลดปล่อยโดยตรงจากกิจกรรมขององค์กร เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตหรือการปล่อยก๊าซมีเทน, Scope 2 คือ การปลดปล่อยทางอ้อมจากการใช้พลังงานที่ซื้อจากภายนอก เช่น ไฟฟ้า ความร้อน หรือไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ในโรงไฟฟ้า และ Scope 3 คือ การปลดปล่อยทางอ้อมจากกิจกรรมอื่นที่องค์กรมีส่วนเกี่ยวข้องแต่ไม่ได้ควบคุมโดยตรง เช่น การขนส่งสินค้า การเดินทางของพนักงาน และการจัดการของเสีย โดยการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ 1 กิโลกรัม เท่ากับร่องรอยคาร์บอน 1 กิโลกรัม และด้วยความที่ก๊าซเรือนกระจกมีหลายชนิด จึงคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นหน่วยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂eq) [2-3]

2.3 Carbon footprint of Product

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่ถูกปลดปล่อยออกตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ, กระบวนการผลิต, การขนส่ง, การใช้งานไปจนถึงการกำจัดซากผลิตภัณฑ์หลังหมดอายุการใช้งาน

2.4 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (lithium-ion battery)

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นเทคโนโลยีหลักที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าเนื่องจากมีความหนาแน่นของพลังงานสูง น้ำหนักเบา อายุการใช้งานยาวนาน และสามารถชาร์จไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีหลายชนิด คือ

1) Lithium Cobalt Oxide (LCO)

มีความหนาแน่นพลังงานสูง เหมาะกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พกพา แต่มีอายุการใช้งานต่ำและความปลอดภัยน้อยเมื่อเทียบกับชนิดอื่น

2) Lithium Manganese Oxide (LMO)

มีความปลอดภัยสูง แต่ความจุพลังงานต่ำ เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟสูงในช่วงสั้น

3) Lithium Iron Phosphate (LFP)

มีความปลอดภัยและอายุการใช้งานสูง แต่ความหนาแน่นพลังงานต่ำ ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้าที่ไม่เน้นระยะทางไกล

4) Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC)

มีสมดุลที่ดีระหว่างพลังงาน อายุการใช้งาน และความปลอดภัย เป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้มากที่สุดในยานยนต์ไฟฟ้า

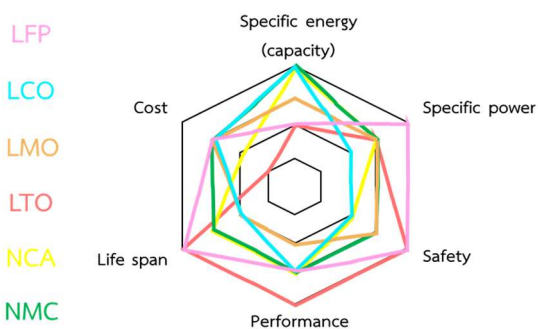
5) Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (NCA)

มีความหนาแน่นพลังงานและอายุการใช้งานสูง แต่ต้นทุนสูง ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ระดับพรีเมียม

6) Lithium Titanate (LTO)

ชาร์จเร็วมากและมีอายุการใช้งานยาวนานที่สุด แต่มีความหนาแน่นพลังงานต่ำ จึงใช้ในระบบที่ต้องการความทนทานและความปลอดภัยสูง

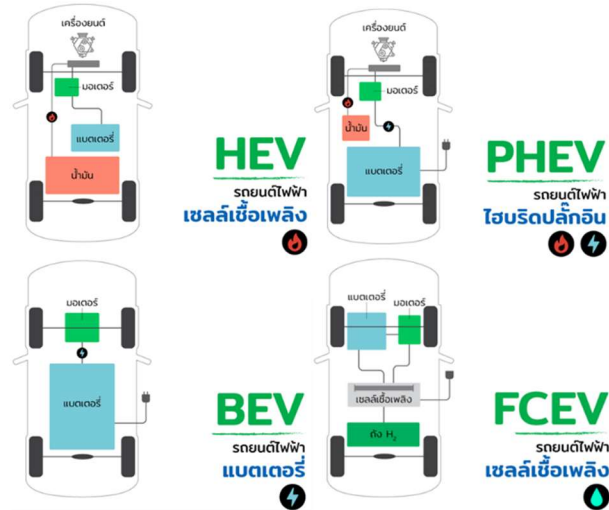
ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่แต่ละชนิดตามคุณลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ ความจุพลังงาน (Energy Capacity), อายุการใช้งาน (Cycle Life), ความปลอดภัย (Safety), เวลาในการชาร์จ (Charging Time), ความหนาแน่นของพลังงาน (Energy Density) และต้นทุนการผลิต (Cost) แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งใช้สีที่ต่างแตกต่างกันเพื่อระบุชนิดของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน [4]



รูปที่ 1 คุณลักษณะโดยรวมของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.5 ยานยนต์ไฟฟ้า (electric vehicle)

ยานยนต์ไฟฟ้า (electric vehicle: xEV) คือยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า รวมถึงประเภทที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว หรือทำงานร่วมกับเครื่องยนต์ (hybrid) [5-6] ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

กลุ่มยานยนต์ไฟฟ้า ประกอบด้วย

1) Hybrid Electric Vehicle (HEV)

ยานยนต์ที่ใช้พลังงานผสมผสานระหว่างเชื้อเพลิงทั่วไปและพลังงานไฟฟ้าจากการแบตเตอรี่ ยานยนต์ประเภทนี้มีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าแบบใช้เครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว HEV เป็นยานยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในทำงานร่วมกับมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อน สามารถแบ่งตามฟังก์ชันการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าได้ 3 ประเภท คือ Micro Hybrid (start & stop, S&S), Mild Hybrid (MHEV) และ Full Hybrid (FHEV)

2) Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV)

ยานยนต์ไฟฟ้าที่พัฒนาต่อมาจากยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด ยานยนต์ประเภทนี้มีระบบน้ำมัน และไฟฟ้าเหมือนยานยนต์ไฮบริด แต่เพิ่มการเสียบปลั๊กชาร์จไฟ หรือ Plug-in ทำให้เมื่อเสียบชาร์จแล้วสามารถวิ่งได้ในระยะทางที่ไกลกว่า ซึ่งแบตเตอรี่ที่ใช้สามารถชาร์จไฟเพิ่มเพื่อเก็บประจุได้ตามต้องการ ยานยนต์ไฟฟ้าแบบ PHEV มีการออกแบบอยู่ 2 ประเภท คือ แบบ Extended range EV (EREV) และแบบ Blended PHEV

3) Battery Electric Vehicle (BEV)

ขับเคลื่อนโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 100% มีระยะทางการวิ่งที่จำกัดขึ้นกับขนาดของแบตเตอรี่ และปัจจัยแวดล้อมอื่น มีองค์ประกอบหลักสำหรับการขับเคลื่อนคือแบตเตอรี่, อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า และมอเตอร์ไฟฟ้า เนื่องจากมีความกังวลถึงระยะทางใช้งานของรถยนต์ไฟฟ้าต่อการประจุไฟฟ้า 1 ครั้งทำให้ผู้ผลิตรถยนต์บางรายติดตั้งเครื่องยนต์ขนาดเล็กเพื่อเพิ่มระยะทางในการใช้งาน โดยเครื่องยนต์ดังกล่าวมีหน้าที่ปั่นไฟเพื่อประจุไฟฟ้าสู่แบตเตอรี่เพียงเท่านั้น

4) Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)

ยานยนต์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) ซึ่งใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนเดิมจากภายนอก โดยไม่มีการปล่อยมลพิษและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากรถยนต์โดยตรงมีเพียงการปล่อยน้ำเท่านั้น ยานยนต์ชนิดนี้ใช้มอเตอร์เป็นกำลังหลักในการขับเคลื่อน เช่นเดียวกับยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ แต่แหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้าต่างกัน เนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงกักเก็บพลังงานอยู่ในรูปของก๊าซไฮโดรเจน และเมื่อมีความต้องการใช้ไฟฟ้า ก๊าซไฮโดรเจนจะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนที่เซลล์เชื้อเพลิง เหตุที่ไม่ก่อมลพิษทาง

รูปที่ 4 แหล่งที่มาของวัตถุดิบและพลังงานของแบตเตอรี่

ตารางที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง WtT, TtW และ battery

Energy Carriers in Tanks	heating value (MJ/L MJ/kg MJ/kWh)	WtT	TtW	Battery
		(gCO ₂ /MJ)	kgCO ₂ /L kgCO ₂ /kg kgCO ₂ /kWh	(kgCO ₂ /kWh)
Gasoline (E0)	31.4800	13.7265	2.1583	-
Gasohol (E10)	30.4420	15.5270	1.9434	-
Gasohol E20	29.4040	17.3275	1.7285	-
Gasohol E85	22.6570	29.0308	0.3318	-
Diesel B7	36.2016	10.6689	2.4901	-
Diesel B10	36.1080	12.0529	2.4135	-
Diesel B20	35.7960	10.6689	2.1581	-
Electricity	3.6000	98.3333	-	97.0000
Hydrogen	120.0000	14.1079	-	97.0000

หมายเหตุ CO₂ หมายถึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือ CO₂eq

4. ผลการศึกษาและบทวิเคราะห์

4.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง WtT

การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG emissions) ในหน่วย gCO₂/MJ หมายถึงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ถูกปล่อยออกต่อพลังงาน 1 เมกะจูล (MJ) ของเชื้อเพลิง โดยการแปลงหน่วยเป็น kgCO₂/L, kgCO₂/kWh และ kgCO₂/kg จำเป็นต้องคูณค่าการปล่อยก๊าซ (gCO₂/MJ) ด้วยค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิงในหน่วยที่เหมาะสม ดังนี้

- 1) คำนวณค่าการปล่อยก๊าซในหน่วย kgCO₂/L

$$\frac{\text{kgCO}_2}{\text{L}} = \left(\frac{\text{gCO}_2}{\text{MJ}} \right) \times \left(\frac{\text{MJ}}{\text{L}} \right) \times \frac{1}{1000} \quad (1)$$

- 2) คำนวณค่าการปล่อยก๊าซในหน่วย kgCO₂/kWh

$$\frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = \left(\frac{\text{gCO}_2}{\text{MJ}} \right) \times \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \right) \times \frac{1}{1000} \quad (2)$$

- 3) คำนวณค่าการปล่อยก๊าซในหน่วย kgCO₂/kg

$$\frac{\text{kgCO}_2}{\text{kg}} = \left(\frac{\text{gCO}_2}{\text{MJ}} \right) \times \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right) \times \frac{1}{1000} \quad (3)$$

โดย $\left(\frac{\text{MJ}}{\text{L}} \right)$ คือค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์และดีเซล
 $\left(\frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \right)$ มีค่าเท่ากับ 3.6
 $\left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right)$ คือค่าความร้อนจำเพาะของพลังงานไฮโดรเจน

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง Well-to-Tank สำหรับการใช้เชื้อเพลิงแต่ละประเภทเทียบเป็นต่อระยะทาง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของยานยนต์เฉลี่ยต่อระยะทาง 100 กิโลเมตร (kgCO₂/100 km) ตามสมการที่ (4) และ สมการที่ (5) สำหรับยานยนต์ PHEV ผลลัพธ์ที่ได้แสดงในตารางที่ 2

$$\frac{\text{kgCO}_2}{100 \text{ km}} = \left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{หน่วยเชื้อเพลิง}} \right) \times \left(\frac{\text{หน่วยเชื้อเพลิง}}{100 \text{ km}} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\text{kgCO}_2}{100 \text{ km}} = \left[\left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{L}} \right) \times \left(\frac{\text{L}}{100 \text{ km}} \right) \right] + \left[\left(\frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} \right) \times \left(\frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}} \right) \right] \quad (5)$$

จากตารางที่ 2 พบว่า BEV มีการปล่อย CO₂ สูงสุดที่ 6.3013 kgCO₂/100 km ในขณะที่ HEV-B7 มีการปล่อย CO₂ ต่ำที่ 1.2728 kgCO₂/100km ซึ่งการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพอย่าง E85 กระบวนการผลิตอาจสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าที่คาดการณ์ ผลการศึกษานี้

แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นถึงการพิจารณาวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงทั้งหมดให้ครอบคลุมตั้งแต่ขั้นกระบวนการผลิต เพื่อให้การพัฒนานโยบายด้านพลังงานของประเทศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพครบถ้วน

ตารางที่ 2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง WtT

พลังงานเชื้อเพลิง	GHG Emissions (kgCO ₂ /L kgCO ₂ /kWh kgCO ₂ /kg)	ประเภทเครื่องยนต์และยานยนต์	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	อัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้า	WtT
			L/100km, kg/100km	kWh /100km	kgCO ₂ /100 km
Gasoline 95 (E0)	0.4321	HEV-E0	4.4844	-	1.9378
		PHEV-E0	2.0992	7.7596	3.6540
Gasohol 91,95 (E10)	0.4724	HEV-E10	4.6322	-	2.1895
		PHEV-E10	2.1684	7.7596	3.7718
Gasohol E20	0.5095	HEV-E20	4.7901	-	2.4405
		PHEV-E20	2.2423	7.7596	3.8893
Gasohol E85	0.6578	HEV-E85	6.1527	-	4.0469
		PHEV-E85	2.8801	7.7596	4.6413
Diesel B7	0.3862	HEV-B7	3.2954	-	1.2728
		PHEV-B7	1.5426	6.5398	2.9109
Diesel B10	0.4352	HEV-B10	3.2995	-	1.4359
		PHEV-B10	1.5445	6.5234	2.9815
Diesel B20	0.3819	HEV-B20	3.2903	-	1.2566
		PHEV-B20	1.5402	6.5054	2.8911
Electricity	0.354	BEV	-	15.8393	6.3013
Hydrogen	1.6959	FCEV	-	0.8813	1.4946

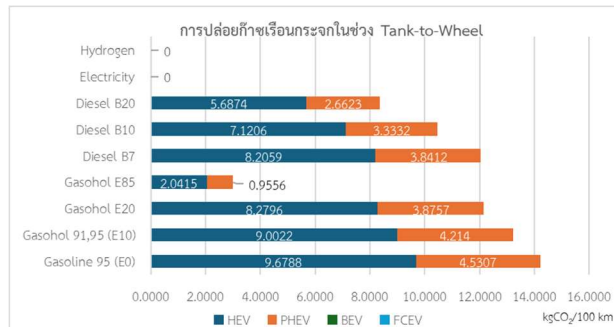
4.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง TtW

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง TtW คำนวณจากการปล่อยก๊าซตามประเภทเชื้อเพลิง คูณอัตราสิ้นเปลืองพลังงานของยานยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเหล่านั้นต่อระยะทาง 100 กิโลเมตร การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง TtW จากเชื้อเพลิงแต่ละประเภท ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยประเมินจากค่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงของกลุ่มยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด หรือการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อนของ EV ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลกระทบของพลังงานแต่ละประเภทต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อการพัฒนานโยบายลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคขนส่งได้

ตารางที่ 3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง TtW

พลังงานเชื้อเพลิง	GHG Emissions (kgCO ₂ /L kgCO ₂ /kWh kgCO ₂ /kg)	ประเภทเครื่องยนต์และยานยนต์	การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า	TtW
			L/100km, kg/100km	kWh/100 km	kgCO ₂ /100 km
Gasoline 95 (E0)	2.1583	HEV-E0	4.4844	-	9.6788
		PHEV-E0	2.0992	7.7596	4.5307
Gasohol 91,95 (E10)	1.9434	HEV-E10	4.6322	-	9.0022
		PHEV-E10	2.1684	7.7596	4.2140
Gasohol E20	1.7285	HEV-E20	4.7901	-	8.2796
		PHEV-E20	2.2423	7.7596	3.8757
Gasohol E85	0.3318	HEV-E85	6.1527	-	2.0415
		PHEV-E85	2.8801	7.7596	0.9556
Diesel B7	2.4901	HEV-B7	3.2954	-	8.2059
		PHEV-B7	1.5426	6.5398	3.8412
Diesel B10	2.4135	HEV-B10	3.2995	-	7.1206
		PHEV-B10	1.5445	6.5234	3.3332
Diesel B20	2.1581	HEV-B20	3.2903	-	5.6874
		PHEV-B20	1.5402	6.5054	2.6623
Electricity	-	BEV	-	15.8393	0.0000
Hydrogen	-	FCEV	-	0.8813	0.0000

ข้อมูลเหล่านี้สามารถสร้างเป็นกราฟเพื่อแสดงแนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งานยานยนต์แต่ละประเภท ซึ่งช่วยให้เห็นความแตกต่างของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากเชื้อเพลิงที่ใช้ได้อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 5 โดยกราฟนี้เป็นเครื่องมือสำคัญในการเปรียบเทียบความเข้มข้นของการปล่อย CO₂ ตามชนิดเชื้อเพลิงและเทคโนโลยียานยนต์ที่ใช้



รูปที่ 5 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง TtW

พบว่า BEV และ FCEV ไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างการใช้งาน (TtW) ขณะที่ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดที่มีเครื่องยนต์เชื้อเพลิงฟอสซิลยังปล่อย CO₂ ในระดับสูง โดยระดับการปล่อย CO₂ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

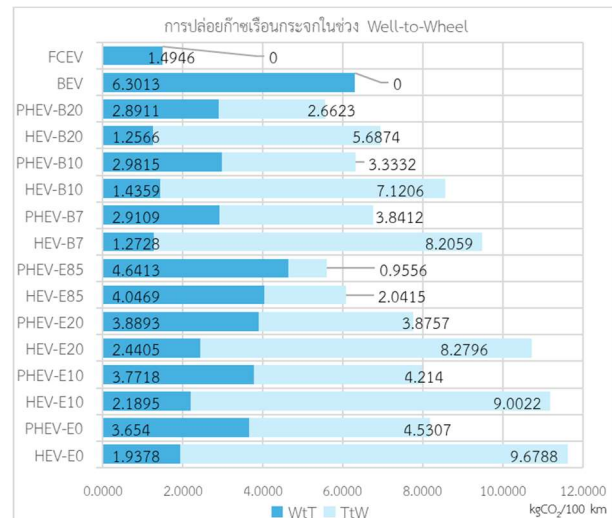
4.3 ผลรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง WtW

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง WtW เป็นผลรวมการปล่อย CO₂ ในช่วง WtT กับช่วง TtW ซึ่งสะท้อนถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจริงชีวิต ตั้งแต่กระบวนการผลิต และขนส่งเชื้อเพลิงจนถึงการใช้งานในยานยนต์ โดยแสดงในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อระยะทาง 100 กิโลเมตร (kgCO₂/100 km) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง WtW

พลังงานเชื้อเพลิง	ประเภทเครื่องยนต์	WtT	TtW	WtW
		kgCO ₂ /100 km		
Gasoline 95 (E0)	HEV-E0	1.9378	9.6788	11.6165
	PHEV-E0	3.6540	4.5307	8.1847
Gasohol 91,95 (E10)	HEV-E10	2.1895	9.0022	11.1917
	PHEV-E10	3.7718	4.2140	7.9858
Gasohol E20	HEV-E20	2.4405	8.2796	10.7201
	PHEV-E20	3.8893	3.8757	7.7651
Gasohol E85	HEV-E85	4.0469	2.0415	6.0884
	PHEV-E85	4.6413	0.9556	5.5969
Diesel B7	HEV-B7	1.2728	8.2059	9.4786
	PHEV-B7	2.9109	3.8412	6.7521
Diesel B10	HEV-B10	1.4359	7.1206	8.5565
	PHEV-B10	2.9815	3.3332	6.3146
Diesel B20	HEV-B20	1.2566	5.6874	6.9439
	PHEV-B20	2.8911	2.6623	5.5534
Electricity	BEV	6.3013	-	6.3013
Hydrogen	FCEV	1.4946	-	1.4946

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานในเทคโนโลยียานยนต์แต่ละประเภทที่มีการปลดปล่อย CO₂ ในแต่ละช่วง WtT และ TtW ตามความเข้มสีกราฟ แสดงดังรูปที่ 6 เพื่อใช้เปรียบเทียบจุดเด่นของเทคโนโลยี



รูปที่ 6 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วง WtT กับ TtW

พบว่ายานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดเชื้อเพลิงชีวภาพมีการปล่อย CO₂ ต่ำในช่วง TtW แต่ปล่อย CO₂ สูงในช่วง WtT โดยที่ยานยนต์ไฟฟ้า BEV และ FCEV ช่วง TtW มีการปล่อย CO₂ ต่ำสุด แต่ในช่วง WtT มีการปล่อย CO₂ สูง ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งผลิตไฟฟ้าต้นทางที่ใช้จัดประจุแบตเตอรี่ รูปแบบการนำเสนอช่วยให้สามารถประเมินศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกได้อย่างครบถ้วนตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ การศึกษาวิจัยให้เห็นความแตกต่างของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ระหว่างเชื้อเพลิงแต่ละประเภท โดยพิจารณาทั้งช่วง WtT และ TtW จากรูปที่ 6 พบว่า BEV และ FCEV ไม่มีการปล่อย CO₂ ในช่วง TtW แต่ยังคงมีการปล่อย CO₂ ในช่วง WtT จากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต้นทาง ขณะที่การใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น E85 และ B20 แม้จะมีค่าการปล่อย CO₂ ในช่วง WtT สูง แต่สามารถลดการปล่อย CO₂ ลงได้ในช่วง TtW ทำให้ยังมีผลรวมการปล่อย CO₂ ต่ำ ข้อมูลเหล่านี้แสดงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของเชื้อเพลิงที่ใช้กันได้อย่างดี การศึกษาวิจัยพบว่าหากมีการผลิตไฮโดรเจนด้วยแหล่งไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเพื่อนำไปสู่งานใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าชนิด FCEV อย่างเป็นระบบ จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ดียิ่งขึ้น

5. บทสรุป

บทความนี้เสนอผลการวิเคราะห์ร่องรอยคาร์บอนและประเมินการปลดปล่อยคาร์บอนในกลุ่มยานยนต์ไฟฟ้า ประกอบด้วยยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV), ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดปลั๊กอิน (PHEV), ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) และยานยนต์ไฟฟ้าแบบเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) บนพื้นฐานแนวคิด “จากแหล่งกำเนิดสู่การขับเคลื่อน (Well-to-Wheel)” ผลการศึกษาชี้ชัดว่ายานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) และยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (BEV) เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงสุดในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคขนส่ง โดยไม่มีการปล่อย CO₂ ในช่วงการขับเคลื่อน TtW อย่างไรก็ตามผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงการผลิตพลังงาน WtT ยังคงเป็นปัจจัยสำคัญ โดยเฉพาะการปล่อย CO₂ จากการผลิตไฟฟ้าต้นทางสำหรับใช้อัดประจุให้แบตเตอรี่ ซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนของเชื้อเพลิงฟอสซิลในระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศ กรณียานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดที่ยังมีส่วนเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICE) พบว่าการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น E85 และ B20 สามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂eq) ได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงพื้นฐานฟอสซิลประเภทอื่น

เอกสารอ้างอิง

- [1] พิษณุพร โพธิ์สง่า และ กษิพัฒน์ ลัดตามณีโรจน์, “คาร์บอนเครดิตสู่เป้าหมาย Net Zero ของไทย”, [online]. Available: <https://theactive.net/read/carbon-credit-to-net-zero/>
- [2] bsi, “Carbon Footprint คาร์บอนฟุตพริ้นท์”, [online]. Available: <https://www.bsigroup.com/th-TH/Standards/carbon-footprint/>
- [3] Ditto Thailand (2023, Dec.), “Carbon Footprint คืออะไรสำคัญอย่างไรต่อองค์กร และสิ่งแวดล้อม”, [online]. Available: <https://www.dittothailand.com/ditto/news/carbon-footprint/>
- [4] Noppadon B. (2022, Jul.), “แบตเตอรี่ลิเทียมมีกี่ชนิด What are types of Lithium Battery?” [online]. Available: <https://www.klcbright.com/lithium-battery-type.php>
- [5] Frasers Property Thailand, “ทำความเข้าใจการถนอมไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ”, [Online]. Available: <https://home.frasersproperty.co.th/Blog/214/ทำความเข้าใจการถนอมไฟฟ้า%20มีกี่ประเภท>. [Accessed: 29-Jan-2025].
- [6] Veza I., et al., “Electric vehicle (EV) and driving towards sustainability: Comparison between EV, HEV, PHEV, and ICE vehicles to achieve net zero emissions by 2050 from EV”, Alexandria Engineering Journal, Volume 82, 2023, Pages 459-467, doi: 10.1016/j.aej.2023.10.020.
- [7] สทสย. (2560), “ฐานข้อมูล National Life Cycle Inventory”, [Online]. Available: https://nstdatiis.gdcatalog.go.th/tl/dataset/dataset-13_06
- [8] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2563), “แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561-2580” ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ.
- [9] กรมธุรกิจพลังงาน (2024, มกราคม), “มาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง”, [Online]. Available: http://elaw.doeb.go.th/document_doeb/424_0001.pdf
- [10] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน (2567), “รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2567”, [Online]. Available: https://drive.google.com/file/d/1qvBxv1_9axCuR2mXoPyAOq-qRCGILen/view
- [11] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (2559, พ.ย.), “โครงการพัฒนาเมืองนำร่องตามแผนการขนส่งยั่งยืนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานเมืองหนองคาย กระทรวงคมนาคม”, [Online]. Available: https://www.otp.go.th/uploads/tiny_uploads/ProjectOTP/2559/Project03/MRVReport.pdf
- [12] M. Linder, T. Nauc ler, S. Nekovar, A. Pfeiffer, and N. Vekic, “The race to decarbonize electric-vehicle batteries”, McKinsey & Company, Feb. 2023.
- [13] Subramanian, G., and Balasubramanian, R., “A Study on Feasibility of Carbon Credit System for Road Vehicles”, SAE Technical Paper 2022-28-0011, 2022, <https://doi.org/10.4271/2022-28-0011>.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ผศ.ดร.ไชยพร ห่อทองคำ สำเร็จการศึกษาปริญญาเอก Dr.-Ing. (Doktor-Ingenieur) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงจาก ScheringInstitut Fachgebiet, Hochspannungs-technik, Der Fakult t f r Elektrotechnik und Informatik, Der Gottfried Wilhelm Leibniz Universit t Hannover, Germany สนใจงานวิจัยด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, ระบบ LPS & SPD, การทดสอบทางไฟฟ้า และการป้องกันระบบไฟฟ้า



นายชยันพัทธ์ ชลธรา
สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วศ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ม.ขอนแก่น และ วศ.ม. วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ม.เทคโนโลยีมหานคร
ปัจจุบันทำงานตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า กองจัดหา 3 ฝ่ายจัดหา การไฟฟ้านครหลวง งานวิจัยที่สนใจ: พลังงานหมุนเวียน